

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ»

На правах рукописи



Сафонова Татьяна Владимировна

**МОДЕЛИ И МЕТОДИКА ПРОЕКТИРОВАНИЯ ДИНАМИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ
ГЕОИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ
ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ АГРОПРОМЫШЛЕННЫМ КОМПЛЕКСОМ**

Специальность 1.6.20 – Геоинформатика, картография

Диссертация на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Научный руководитель:
доктор технических наук,
профессор Е. П. Истомин

Санкт-Петербург – 2023

Список сокращений и условных обозначений

АИС – Автоматизированная информационная система

АСУ – Автоматизированная система управления

АПК – Автоматизированный программный комплекс

АРМ – Автоматизированное рабочее место

ПР – Принятие решений

БД – База данных

БЗ – База знаний

СУБД – Система управления базами данных

СППР – Система поддержки принятия решений

ГИС – Геоинформационная система

ГИС ППР – Геоинформационная система поддержки принятия решений

ГБД – Гетерогенная база данных

ИС – Информационная система

ЛВС – локальная вычислительная сеть

ЛПР – Лица принимающие решения

ОЯ – Опасное явление

ПО – Программное обеспечение

РГИС – Региональная геоинформационная система

РИС – Распределенная информационная система

РБД – Распределенная база данных

РГГМУ – Российский государственный гидрометеорологический университет

РФ – Российская Федерация

СОДЕРЖАНИЕ

Список сокращений и условных обозначений.....	2
Введение.....	5
Глава 1 Анализ подходов проектирования и обработки данных геоинформационных систем на примере агропромышленного комплекса.....	15
1.1 Анализ состояния агропромышленного комплекса и тенденции развития в Российской Федерации.....	17
1.2 Анализ подходов проектирования и обработки данных геоинформационных систем.....	20
1.3 Требования к геоинформационной системе поддержки принятия решений для управления динамическими объектами на основе объектно-ориентированного подхода проектирования ГИС.....	42
Выводы по главе.....	48
Глава 2 Математическое моделирование гидрометеорологических показателей в геоинформационных системах для решения комплексных задач на примере агропромышленного комплекса.....	50
2.1 Способы моделирования урожайности культур на территориях агропромышленного комплекса.....	50
2.2 Разработка модели прогнозирования эвапотранспирации на территориях агропромышленного комплекса.....	54
2.2.1 Результаты численного моделирования эвапотранспирации на территориях агропромышленного комплекса.....	60
2.3 Разработка модели распределения датчиков на территориях агропромышленного комплекса для сбора и мониторинга гидрометеорологических параметров.....	66
2.3.1 Результаты численного моделирования распределения датчиков на территориях агропромышленного комплекса.....	69
2.4 Модель оценки вероятности и математического ожидания времени наступления опасного явления на примере динамических объектов агропромышленного комплекса.....	72
2.4.1 Реализация и верификация методики оценки вероятности наступления опасного явления на примере динамических объектов агропромышленного комплекса.....	89
Выводы по главе.....	97

Глава 3 Разработка практических рекомендаций для применения разработанных моделей и методики в геоинформационной системе поддержки принятия решений для управления динамическими объектами на основе объектно-ориентированного подхода проектирования и обработки данных ГИС на примере агропромышленного комплекса.....	99
3.1 Разработка требований для геоинформационных систем поддержки принятия решений для управления динамическими объектами на примере агропромышленного комплекса.....	101
3.2 Структура геоинформационной системы поддержки принятия решения для управления динамическими объектами на примере агропромышленного комплекса...	105
3.3 Практические рекомендации по применению разработанных моделей и методики проектирования и обработки данных в геоинформационной системе поддержки принятия решений для управления динамическими объектами на основе объектно-ориентированного подхода проектирования ГИС.....	114
Выводы по главе.....	116
Заключение.....	118
Список литературы.....	121
Приложение А.....	127
Приложение Б.....	130
Приложение В.....	131

Введение

Актуальность. В диссертационной работе исследуется разработка новой геоинформационной модели, а также нового подхода к проектированию и обработки данных геоинформационной системы поддержки принятия решений (ГИС ППР) для управления динамическими объектами с учетом объектно-ориентированного подхода на примере агропромышленного комплекса.

Глобальное развитие агропромышленного комплекса, а также намерение занять ведущие позиции на внешнеполитической арене вызвано интенсивным распространением цифровых технологий для выполнения сложных задач по развитию сельскохозяйственной территории Российской Федерации. Результатом воздействия цифровой трансформации на аграрный сектор стало масштабное изменение методов работы в отрасли, что наблюдается уже сейчас посредством использования таких технологий как: робототехническое земледелие, беспилотные летательные аппараты (БПЛА), механизированное удаление сорняков, внесение удобрений, а также сбор фруктов. В особенности стоит отметить область точного земледелия, которая формируется посредством использования почвенных карт, спутников, БПЛА, а также технологии интернета вещей. Масштабное внедрение новейших технологий дает возможность увеличить объемы производимых продуктов, затрачивая при этом минимальное количество ресурсов и отведенных площадей [1]. Процесс цифровизации агропромышленного комплекса ориентирован на внедрение современных геотехнологий, которые способны в режиме реального времени осуществлять корректные измерения химических, физических, биологических и прочих характеристик природных процессов, которые могут полноценно описать производство продукции в аграрном секторе [2]. Разнообразные данные, которые получены в различных пространственных, временных и производственных структурах агропромышленного комплекса дают возможность организовать цифровые модели ресурсов в отдельности для каждого хозяйства, регионов и, конечно, страны в целом [3].

С целью организации эффективного проектирования объектов, в том числе динамических, меняющих свои свойства (атрибуты) в объектно-ориентированных геоинформационных системах (ГИС), оптимизации методов проектирования, предоставлению управленческих решений, качественной и безопасной работы агропромышленного комплекса, гидрометеорологической безопасности необходимо максимально корректное и точное прогнозирование климатических параметров для выявления влияния на динамические объекты, что обязывает выполнять регулярный мониторинг погоды, а именно: измерение климатических показателей и динамики их

колебания на контролируемых территориях агропромышленного комплекса. Геоданные мониторинга являются базой пространственных и пространственно-временных данных для осуществления оценки экстремальных ситуаций гидрометеорологических факторов для выявления показателей окружающей среды, формированию алгоритмов действий, а также цифровизации агропромышленного комплекса. Эффективное использование может быть реализовано посредством применения системы управления пространственными и пространственно-временными данными

Для осуществления анализа и прогнозирования опасных явлений на глобальном и региональном уровнях требуется изучение гидрометеорологических процессов [4]. Диссертация посвящена вопросам разработки абсолютно нового подхода к проектированию геоинформационной системы поддержки принятия решений для управления динамическими объектами на основе объектно-ориентированного подхода проектирования ГИС в интересах обеспечения продовольственной безопасности деятельности на территориях агропромышленного комплекса.

В настоящее время агропромышленный комплекс благополучно выполняет поставленные задачи на разных территориях, пригодных для растениеводства. Аграрный сектор непрерывно осваивает новые цифровые автоматизированные технологии, с целью развития отрасли.

Степень разработанности проблемы. В ходе исследования были изучены и проанализированы труды отечественных и зарубежных авторов, работающих в данной области, таких как: Истомин Е.П., Малинин В.Н., Соколов А.Г., Жукова М.А., Улезько А.В. и другие.

Проведено изучение научных публикаций, нормативных правовых документов и практики применения программного обеспечения для проектирования и обработки пространственных и пространственно-временных данных, а также анализа объектов агропромышленного комплекса Российской Федерации.

На сегодняшний день не изучена проблема реализации проектирования и обработки данных геоинформационной системы поддержки принятия решения для управления динамическими объектами на основе объектно-ориентированного подхода проектирования ГИС на примере агропромышленного комплекса. Главным образом исследуются вопросы проектирования и обработки данных объектов ГИС, которые не меняют свои свойства и поведение в пространстве и времени, однако климатические данные обладают существенной динамикой.

Отметим, что в настоящее время существуют требования, которые предъявляются к системам поддержки принятия решений [5], но не рассматриваются задачи их практической

реализации в условиях ограниченного массива гидрометеорологических параметров на больших территориях агропромышленного комплекса.

Гидрометеорологическим данным свойственна существенная пространственно-временная динамика, а в результате ограниченности ресурсов по сбору данных на территориях агропромышленного комплекса, экспертная оценка проводится весьма субъективно (точечно), что приводит к формированию некачественного прогноза и уменьшению показателя эффективности функционирования отрасли аграрного сектора. Качественная организация деятельности отрасли аграрного сектора формируется главным образом на основании погодно-климатических факторов, где контроль осуществляет лицо, принимающее решение (ЛПР), имея все необходимые данные [6]. Имеющиеся методики поддержки принятия метеозависимых решений редко принимают во внимание характерные погодно-климатические условия южных широт Российской Федерации и редко дают возможность на качественном уровне применять данные для формирования адекватных рекомендаций с целью реализации качественной деятельности объектов агропромышленного комплекса [7].

Задачи, ориентированные на разработку и реализацию единых подходов к решению вопросов проектирования и обработки данных геоинформационной системы поддержки принятия решений для управления динамическими объектами на основе объектно-ориентированного подхода в настоящее время находятся на стадии осмысления и выработки адекватных способов преодоления ограничений цифровой эволюции отрасли, в то же время некоторые положения, ориентированные на оценку условий инициации процедур цифровой модификации хозяйствующих субъектов агропромышленного комплекса и понимания перспектив цифровизации системы аграрного сектора, остается проработан не до конца, носит дискуссионный характер и требуется дополнительное изучение. Наиболее остро отмеченная проблема фиксируется на отдаленных территориях агропромышленного комплекса Российской Федерации, где нет наблюдательных метеостанций. Поэтому разносторонние методы, модели и технологии прогнозирования, а также управления требуют дополнительного формирования и внедрения.

С целью проектирования и обработки данных динамических объектов ГИС, реализованных на объектно-ориентированном подходе, принятие управленческих решений на основании гидрометеорологических данных имеет важную роль. Для формирования практических рекомендаций необходимо точное моделирование динамического поведения климатических показателей объектов, что позволит провести качественный анализ данных динамических объектов, в частности работа направлена на изучение территорий агропромышленного комплекса, где отсутствует регулярное получение

гидрометеорологических данных. На основании имеющихся необходимых сведений о времени наступления опасного явления ЛППР может своевременно принять управленческое решение. ***Вследствие этого актуальной является научная задача разработки моделей и методики проектирования и обработки данных геоинформационной системы поддержки принятия решений для управления динамическими объектами на основе объектно-ориентированного подхода проектирования геоинформационных систем на примере агропромышленного комплекса.***

Стоит отметить, что в настоящее время существует не так много геоинформационных систем, реализующих объектно-ориентированный подход проектирования геоинформационных систем поддержки принятия решений. ГИС для реализации поддержки принятия решений динамических объектов на территориях агропромышленного комплекса не известно. Поэтому несомненно требуется разработка и последующее внедрение моделей и методики прогнозирования, а также управления динамическими объектами на территориях агропромышленного комплекса, что требует выделения объекта, предмета, цели и задач диссертации.

Цель диссертационной работы – повышение эффективности принятия решений в геоинформационной системе на основе объектной базы знаний для агропромышленного комплекса.

Объект исследования – объектно-ориентированная геоинформационная система поддержки принятия решений.

Предмет исследования – технология проектирования объектно-ориентированной геоинформационной системы.

Для выполнения поставленных целей в диссертационной работе решались **основные задачи:**

1. Анализ современных подходов проектирования геоинформационных систем с целью формирования моделей и методики проектирования и обработки данных динамического объекта объектно-ориентированной геоинформационной системы поддержки принятия решений для управления агропромышленным комплексом.
2. Разработка требований к геоинформационной системе поддержки принятия решений для управления динамическими объектами на основе объектно-ориентированного подхода проектирования геоинформационных систем.
3. Разработка модели прогнозирования суммарной потери влаги из почвы и листьев с целью формирования геоданных.
4. Разработка модели и методики оценки вероятности наступления опасного явления для агропромышленного комплекса.

5. Разработка практических рекомендаций по использованию полученных моделей и методики в геоинформационной системе поддержки принятия решений для управления динамическими объектами на основе объектно-ориентированного подхода проектирования ГИС для агропромышленного комплекса.

Методы исследования. Для решения научной задачи, сформулированной в диссертационном исследовании, использовались методы системного анализа, теория вероятностей, математическая статистика, численные методы и математическое моделирование.

Теоретические и методологические основы исследования. Теоретическая база диссертации была сформирована с использованием научных трудов отечественных и зарубежных специалистов в области прогнозирования параметров и характеристик объектов агропромышленного комплекса, оценки их ожидаемого состояния и моделирования геоинформационных систем поддержки принятия решений и технологий, реализующих прогностическую оценку состояния почвы за счет построения геоинформационных систем поддержки принятия решения для управления динамическими объектами. Методологической базой диссертации стал системный анализ, аналитические исследования, а также обобщение имеющихся научно-исследовательских трудов, реализующие модель геоинформационной системы поддержки принятия решения для управления динамическими объектами для последующего мониторинга и прогнозирования состояния территорий агропромышленного комплекса.

Для обеспечения **достоверности полученных результатов**, сделанных выводов и представленных рекомендаций были использованы следующие подходы:

- были использованы нормативные документы с целью достижения цели диссертационной работы, которые необходимы для разработки моделей и методик проектирования и обработки данных объектов ГИС ППР для управления динамическими объектами на основе объектно-ориентированного подхода проектирования на примере территорий агропромышленного комплекса;
- использовались принципы системного анализа, математические модели, аналитические исследования и другие современные технологии;
- согласованности результатов исследования с теоретической базой и гипотезами фундаментальных работ в области геоинформационного моделирования и последующего применения математических моделей;
- апробацией результатов исследования на научно-практических конференциях и отражением основных результатов диссертации в открытом доступе.

Результаты, выносимые на защиту:

1. **Требования к геоинформационной системе поддержки принятия решений для управления динамическими объектами на основе объектно-ориентированного подхода проектирования ГИС**, которые *отличаются* тем, что впервые используют понятие динамического объекта в геоинформационных системах поддержки принятия решений для аграрного сектора, содержащих пространственные и пространственно-временные данные, что *позволяет* решить проблему обеспечения геоданными на больших территориях агропромышленного комплекса и сформировать требования к геоинформационным системам поддержки принятия решений для управления объектами в аграрном секторе, а также требования к моделям и методике.

2. **Модель прогнозирования суммарной потери влаги из почвы и листьев на территориях агропромышленного комплекса** для сбора пространственных и пространственно-временных данных, которая *отличается* тем, что в ней впервые представлена модель суммарной потери влаги из почвы и листьев на основе уравнений эталонной эвапотранспирации Пенмана-Монтейна, что *позволит* обеспечить точность краткосрочных прогнозов до 95%.

3. **Модель и методика оценки вероятности наступления опасного явления для объектов агропромышленного комплекса на основе геоданных**, которая *отличается* тем, что формируется на базе геоданных посредством применения параметрической вероятностной модели, а также выявления времени наступления опасного явления, учитывая наличие начальных значений, что *позволяет* увеличить достоверность оценки риска, на основе оказанного воздействия климатических показателей с точностью до 90%. Научная новизна предложенной методики заключается в использовании сочетания графических, аналитических и статистических методов для оценки рисков на основе контролируемых параметров.

4. **Практические рекомендации по применению полученных моделей и методики в геоинформационной системе поддержки принятия решения для управления динамическими объектами на основе объектно-ориентированного подхода к проектированию ГИС** для территорий агропромышленного комплекса. Рекомендации *отличаются* тем, что используются разработанные модели и методику проектирования и анализа данных динамических объектов для территорий агропромышленного комплекса, что *позволяет* обеспечить геопространственное отображение данных для поддержки принятия решений лицами, принимающими решения.

Научная новизна. Разработаны требования к геоинформационным системам поддержки принятия решений для управления динамическими объектами на основе объектно-ориентированного подхода проектирования ГИС, реализующей отображение

динамических объектов, содержащих пространственные и пространственно-временные данные по территориям агропромышленного комплекса. Впервые посредством использования уравнения Пенмана-Монтейна разработан новый метод прогнозирования суммарной потери влаги из листьев и почвы, а также распределения датчиков на территориях агропромышленного комплекса, с учетом гидрометеорологических данных и системы сбора геоданных, с целью расчета пространственно-временной изменчивости характеристик динамического объекта геоинформационной системы. Впервые применена модель и методика оценки вероятности наступления опасного явления на основе параметрической вероятностной модели с использованием геоданных гидрометеорологического моделирования. Разработаны практические рекомендации по применению полученных моделей и методики в геоинформационной системе поддержки принятия решения для управления динамическими объектами на основе объектно-ориентированного подхода к проектированию ГИС.

Соответствие диссертации паспорту специальности. Данная диссертационная работа соответствует паспорту специальности 1.6.20 – «Геоинформатика, картография» по таким пунктам как:

1. Общая теория развития научных и методических основ геоинформатики и картографии и их информационно-логического взаимодействия с другими областями знаний.
2. Инфраструктура пространственных данных, научные и технические проблемы ее создания, развития и эффективного использования.
3. Технические средства и технологии сбора, регистрации, хранения и обработки пространственных и пространственно-временных данных с использованием вычислительной техники.
4. Геоинформационные системы (ГИС) различного назначения и геопорталы, научные и технические проблемы их проектирования, создания, развития и эффективного использования.
5. Базы и банки пространственных и пространственно-временных данных, системы управления пространственными и пространственно-временными данными, метаданные пространственных данных.
6. Базы знаний и экспертные системы по различным аспектам получения и эффективного использования пространственных (пространственно-временных) данных.
7. Математическое, информационное, лингвистическое и программное обеспечение ГИС и их приложений.
8. Теория, методы и алгоритмы математической обработки и представления пространственных данных.

Практическая и научная ценность работы заключается в решении научно-технической проблемы, связанной с управлением динамическими объектами на территориях агропромышленного комплекса, путем использования разработанных моделей и методики проектирования и обработки данных для управления динамическими объектами в объектно-ориентированных геоинформационных системах поддержки принятия решений.

Практическая значимость представленных результатов заключается в разработке методических подходов к проектированию и анализу пространственных и пространственно-временных данных, ориентированных на управление динамическими объектами на территориях агропромышленного комплекса, т. е. на учет гидрометеорологических условий, что позволит увеличить урожайность зерновых культур, уменьшая риски в труднодоступных районах, тем самым увеличивая продуктивность агропромышленного комплекса.

Практическая ценность представленных результатов исследований диссертационной работы подтверждается реализацией полученных результатов в НИР ГЗ «Климат» №FSZU-2023-0002 от 01.01.2023 г. и учебном процессе в рамках дисциплины «Управление геоинформационными системами», что подтверждено актами о внедрении результатов диссертационной работы.

Апробация работы. Результаты работы докладывались и были обсуждены на «Научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых (Российский государственный гидрометеорологический университет, Институт информационных систем и геотехнологий, Санкт-Петербург», 2020, 2022), научно-технической конференции-вебинаре «Цифровые технологии в лесном секторе» (СПБЛТУ, 2022), «2ND ALL-RUSSIAN SCIENTIFIC-TECHNICAL CONFERENCE ON DIGITAL TECHNOLOGIES IN FOREST SECTOR (Saint Petersburg, Russian Federation, 2021)», научно-технической конференции-вебинаре «Цифровые технологии в лесном секторе» (СПБЛТУ, 2022) 6TH ALL-RUSSIAN SCIENCE AND TECHNOLOGY CONFERENCE FORESTS OF RUSSIA: POLITICS, INDUSTRY, SCIENCE, EDUCATION (Saint Petersburg, Russian Federation, 2021).

Личный вклад автора. Участие на всех этапах исследований; личное участие в получении исходных данных, разработке моделей и методике, непосредственное участие в апробации полученных результатов, подготовка публикаций по выполненной диссертационной работе.

Публикации. Результаты по теме диссертационной работы опубликованы в 10 статьях, из них 6 статей опубликованы в рецензируемых из перечня ВАК Министерства образования и науки РФ, 5 публикаций в изданиях, индексируемых в международных базах данных.

Структура и объем диссертации. Диссертация состоит из списка используемых сокращений, введения, трех глав, заключения, списка литературы и приложения. Объем работы составляет 133 страницы, 60 рисунков, 8 таблиц, 49 формул. Список использованной литературы составляет 105 источников.

Во **введении** представлена актуальность научной работы, определены объект, предмет, цели и задачи исследования, описаны практическая и научная ценность работы, кратко изложено содержание диссертации по главам, представлены основные научные результаты, предлагаемые для защиты.

В **первой главе** проводится анализ состояния и условий развития агропромышленного комплекса, информационного и материально-технического обеспечения производства зерна на территории Российской Федерации.

Проведено исследование современных геоинформационных систем, где было выявлено, что они предназначены для визуального восприятия данных и, к сожалению, не отображают внутреннего содержания объектов, что ведет к потере географической информации об объектах, а также к последующему разбиению объектов местности на обособленные элементы. Выявлено, что в «классической модели» в обязательном порядке должна реализовываться предварительная подготовка пространственных данных (сшивка, редактирование значений координатных и атрибутивных представлений, поиск недостающих компонентов объектов на картах иных масштабов, либо производителей и т. д.). Показано, что классическое представление геопространственных данных несет за собой наличие серьезных ошибок, причем незначительная доработка некоторых недочетов существенно не изменит качество представления картографического материала. Указана необходимость разработки новой объектно-ориентированной модели, ориентированной на учет объектов с динамическим поведением. Разработаны требования к геоинформационной системе поддержки принятия решения для управления динамическими объектами на основе объектно-ориентированного подхода проектирования ГИС на примере агропромышленного комплекса.

Во **второй главе**, на основе анализа современных моделей прогнозирования урожайности, была разработана модель прогнозирования суммарной потери влаги из почвы и листьев (эвапотранспирации) для территорий агропромышленного комплекса.

Разработана, апробирована и верифицирована разработанная динамическая модель суммарной потери влаги из почвы и листьев (эвапотранспирации) с входными

гидрометеорологическими параметрами и топографией территорий агропромышленного комплекса. Верификация показала адекватность разработанной модели, и ошибка оперативного (краткосрочного) прогнозирования не превышает 5%.

Был проведен анализ различных определений и методик оценки риска в природных системах. На основе проведенного анализа была разработана модель и методика оценки вероятности наступления опасного явления и математического ожидания времени возникновения опасных явлений на территориях агропромышленного комплекса. Была разработана методика предварительного анализа географических данных. Была создана стохастическая модель для оценки вероятности наступления опасного явления и математического ожидания, основанная на геоданных, полученных в результате динамического моделирования при известных начальных условиях. Апробация и верификация модели проводятся на прогнозных данных за 10 лет. Верификация модели показала, что ошибка не превышает 10%.

В **третьей главе** разработаны практические рекомендации по использованию представленных моделей и методики в геоинформационной системе поддержки принятия решения для управления динамическими объектами на основе объектно-ориентированного подхода проектирования ГИС на территориях агропромышленного комплекса.

Проанализированы функциональные возможности геоинформационной системы поддержки принятия решения для управления динамическими объектами аграрной отрасли.

Проанализирована типовая структура геоинформационной системы поддержки принятия решения для управления динамическими объектами.

Сформированы требования по использованию полученных моделей и методики в геоинформационной системе поддержки принятия решений для управления динамическими объектами на основе объектно-ориентированного подхода проектирования ГИС для территорий агропромышленного комплекса. Реализована апробация полученных моделей и методики проектирования и обработки пространственно-временных геоданных в геоинформационных системах на примере прогнозирования показателя суммарной потери влаги из почвы и листьев (модели прогнозирования эвапотранспирации) и оценки вероятности наступления опасного явления для динамических объектов агропромышленного комплекса.

В **заключении** приведены выводы и предложения по результатам диссертационной работы, а также определены направления для дальнейшего исследования.

Глава 1 Анализ подходов проектирования и обработки данных геоинформационных систем на примере агропромышленного комплекса

Агропромышленный комплекс представляет собой приблизительно 10% мирового ВВП (рис.1), что определяет мировой успех многих стран, имеющих климатические и прочие задатки для ее развития.

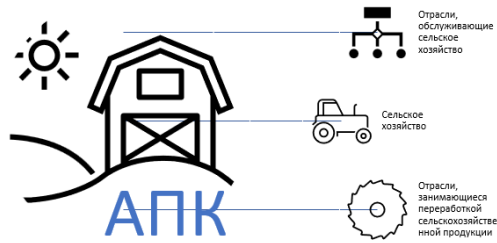


Рисунок 1 – Структура агропромышленного комплекса

Достижения в улучшении показателей эффективности агропромышленного комплекса позволят справиться с такими мировыми проблемами как голод и бедность [8, 9]. Ориентируясь на современные мировые технологии, позволяющие автоматизировать производственный процесс, стоит отметить, что их применение позволит улучшить показатели до уровня аграрного сектора развитых стран. Уже сейчас наблюдается активное использование технологий цифровой трансформации (рис.2).

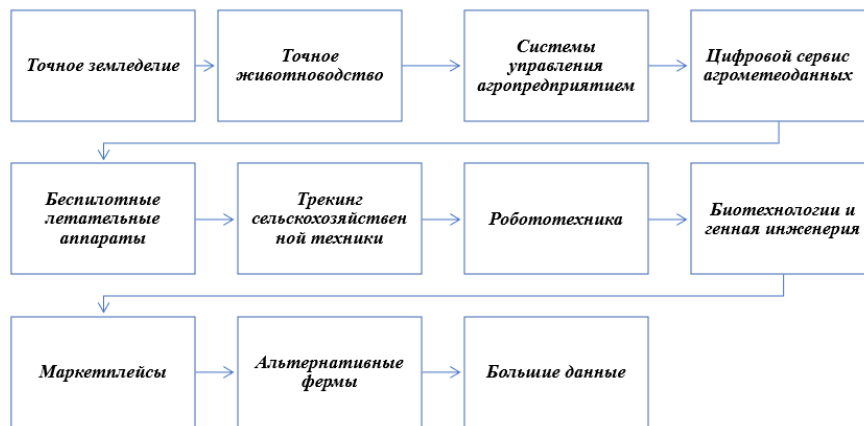


Рисунок 2 – Технологии цифровой трансформации агропромышленного комплекса

– Точное земледелие: комплекс технологий, оборудования и программного обеспечения, предназначенных для управления параметрами плодородия почвы, влияющими на рост сельскохозяйственных культур. Ключевая особенность технологии точного земледелия заключается в том, что она позволяет решить одну из самых острых проблем - непредсказуемость. Эти данные используются для планирования посевных работ, расчета норм внесения удобрений и средств защиты растений и многого другого.

– Точное животноводство: датчики и сенсоры устанавливаются не только на сельскохозяйственных угодьях, но и на животных. Новые устройства позволяют контролировать кислотность желудка, здоровье копыт, готовность к размножению, процесс беременности и многое другое. Эти данные позволяют точно отслеживать состояние здоровья животных, разрабатывать индивидуальные методы лечения и кормления.

– Системы управления агропредприятием: комплексные решения для управления сельскохозяйственным производством могут включать использование спутниковых снимков, систем видеонаблюдения, данных датчиков, метеорологических станций и других методов.

– Цифровой сервис агрометеоданных: цифровые метеостанции позволяют в режиме реального времени контролировать различные параметры: влажность воздуха и почвы, температуру воздуха и почвы на разной глубине, скорость ветра и т.д. Эти данные позволяют разрабатывать рациональную стратегию проведения полевых работ и оптимизировать затраты в сельскохозяйственной отрасли.

– Беспилотные летательные аппараты: технология используется фермерами для планирования посевной кампании, сбора урожая, создания карт полей и учета угодий. Ожидается, что в ближайшем будущем обработка этих данных позволит моделировать и прогнозировать урожайность в регионе и стране.

– Трекинг сельскохозяйственной техники: технология помогает решить проблему оптимизации движения транспортных средств на территории предприятия. GPS-трекеры позволяют отслеживать местоположение транспорта, контролировать его перемещение по территории, собирать информацию о пробеге, предотвращать несанкционированный выезд техники с полей и так далее.

– Робототехника: эксплуатация роботов для автоматизации повторяющихся операций в сельском хозяйстве позволяет фермерам сконцентрироваться на повышении общей производительности.

– Биотехнологии и генная инженерия: технология, которая улучшает методы сохранения природных ресурсов, методы защиты окружающей среды и методы устойчивого производства сельскохозяйственной продукции.

– Маркетплейсы: онлайн-платформы для торговли, которые объединяют продавцов и покупателей и облегчают их взаимодействие друг с другом.

– Альтернативные фермы: автоматизированные высокотехнологичные фермы. Вертикальные фермы в закрытых помещениях наиболее распространены.

– Большие данные: технология, позволяющая обрабатывать большие объемы разнообразной информации для ее последующего использования при планировании сельскохозяйственных работ и принятии управленческих решений.

В последние годы отмечается активный рост исследований, посвященных разработке, внедрению и использованию цифровых технологий в агропромышленном секторе, что продемонстрировало их значительную эффективность благодаря оптимизации использования водных и земельных ресурсов [10]. Геоинформационная модель динамического объекта обладает большим потенциалом для повышения эффективности решения различных задач, и ее результаты могут быть внедрены в цифровых двойников (ЦД) сельскохозяйственных объектов. ЦД агропромышленного комплекса даёт возможность воплотить в жизнь колоссальное количество научных идей и разработок, что подтверждается апробацией подобных успехов в других отраслях.

1.1 Анализ состояния агропромышленного комплекса и тенденции развития в Российской Федерации

Воздействие климатических условий глобально изменяет процесс формирования посевных площадей на всех территориях агропромышленного комплекса страны. Серьезной проблемой для агропромышленного комплекса могут стать засушливые периоды, а также влажные периоды, ведущие к нестабильности валового сбора зерна.

Основным звеном агропромышленного комплекса на территории Российской Федерации является выращивание зерновых и зернобобовых культур, которому отведено отдельное масштабное место в качестве подотрасли сельскохозяйственного сектора [11, 12]. Повышение объемов производства сельскохозяйственных культур влияет на «продовольственную безопасность страны, благосостояние населения, доступность продуктов питания, качество жизни и устойчивость экономики агропромышленного сектора» [12].

«На основании положения Доктрины продовольственной безопасности Российской Федерации предельная величина удельного веса зерна отечественного производства в общем объеме ресурсов зерна внутреннего рынка должно быть на уровне не менее 95%. За последние годы доля зерновых в общем объеме внутреннего рынка не опускалась ниже указанного показателя. Во исполнение перечня поручений Президента Российской Федерации от 12 июня 2017 г. № Пр-1127 (подпункт «а» пункта 1 раздела I) в рамках

изменений, вносимых в положения Доктрины продовольственной безопасности Российской Федерации, для оценки продовольственной независимости формируются показатели уровня самообеспечения в виде процентного отношения объема отечественного производства сельскохозяйственных товаров к объему внутреннего потребления, опирающиеся на пороговые значения, которые составляют в отношении зерна 95%. Однако на протяжении последних лет этот показатель находится на уровне 140–150 %, что говорит о том, что население Российской Федерации полностью обеспечено зерном, а также происходит формирование отрасли животноводства и наращивание экспортного потенциала» [13].

Анализ условий развития агропромышленного комплекса на территории Российской Федерации

В 1990-х годах Российская Федерация была самым крупным импортером зерновых культур. Масштабные объемы импорта зерна связаны с потребностью обеспечить продовольствием население страны. На сегодняшний день производство зерновых культур на территории Российской Федерации в полном объеме покрывает внутренний спрос и формирует существенные экспортные возможности, но пока переработка зерновых культур находится на начальной стадии развития [14].

За период с 2000 по 2018 год наблюдался значительный рост зерновой отрасли, что выражается в изменении экономической структуры, усилении государственной поддержки агропромышленного комплекса и сторонних инвестиций.

Стоит отметить, что в «период с 2000 по 2018 год был зафиксирован значительный рост урожайности основных зерновых культур в ключевых регионах производства зерна в России. Показатели урожайности увеличились с 65,4 млн тонн в 2000 году до 113,3 млн тонн в 2018 году. Средний валовой сбор зерновых за последние пять лет был выявлен на показателе в 115,9 млн т., что свойственно для экспортоориентированных регионов юга РФ, а также регионов Центрального Черноземья, где за последнее время разительно увеличивается сектор животноводства. Валовой сбор пшеницы в 2018 г., которая является главной зерновой культурой, был отмечен на уровне 63,7% (72,1 млн т). Увеличение урожайности зерновых связано с ростом спроса на экспорт. За относительно небольшой период времени РФ перешла из статуса нетто-импортера зерна к статусу одного из основных его экспортеров. Мы занимаем первое место в мире по объемам экспорта пшеницы (44 миллиона тонн от общего объема в 191,2 миллиона тонн) и второе - по объемам экспорта зерна (54,9 миллиона тонн от общемирового показателя в 451,7 миллиона тонн)» [14].

«В результате реализации приоритетного национального проекта «Развитие агропромышленного комплекса» и Государственной программы развития сельского хозяйства и регулирования рынков сельскохозяйственной продукции, сырья и продовольствия значительно увеличивается отрасль производства кормов и зерна на кормовые цели» [14].

Для успешного развития аграрного сектора требуется территория с подходящим климатом и присутствием плодородного почвенного покрова. «Это можно наблюдать на Северном Кавказе, в Центральном Черноземье, Среднем Поволжье и Южной Сибири» [15].

Анализ информационного и материально-технического обеспечения производства зерна на территории Российской Федерации

Проведение работ по выращиванию зерновых оказывает значительное влияние на объем материально-технических затрат.

В течение последних лет правительственные органы РФ проявляют тенденцию к усиленному внедрению и использованию цифровых технологий, а также геотехнологиям для внедрения в агропромышленный комплекс. На сегодняшний день на территории РФ только 10% пашни возделывается благодаря современным информационным ресурсам [16]. Применение таких технологий интегрирует в себе множество разных функций, представленных на рисунке 3.

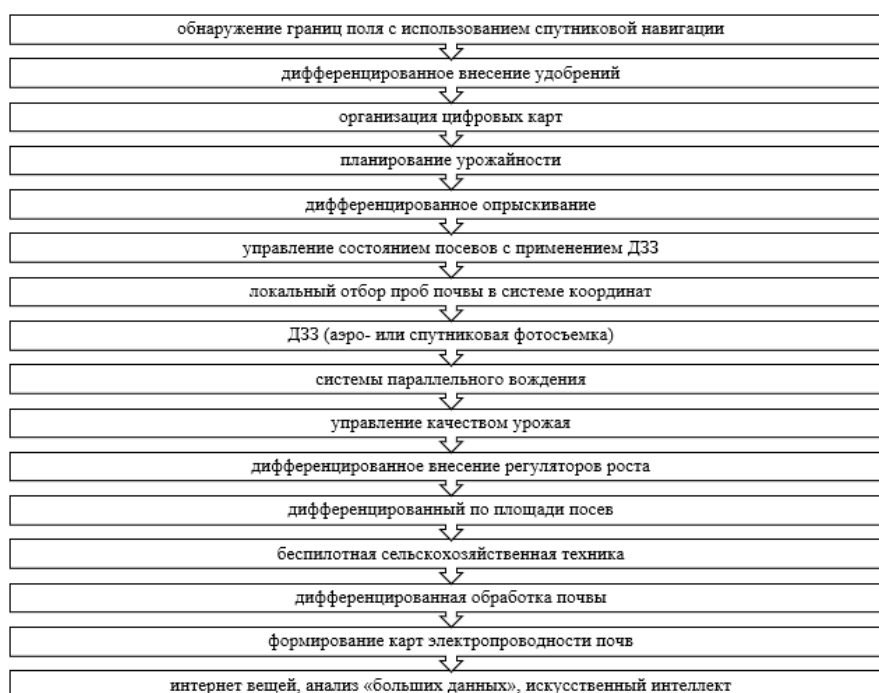


Рисунок 3 – Применение интегрированных технологий для цифровизации аграрного сектора

Анализируя агропромышленный опыт последних десятилетий отмечается существенное увеличение показателей внедрения интернет-технологий, использующих для функционирования спутниковую связь, геопозиционирование, инструменты робототехники, технологии цифровых двойников, а также систем автоматизации производственного процесса. «В современном производстве отмечается активное применение ГЛОНАСС и GPS, что бесспорно приводит к росту показателей точности в реализации двигательных функций техники по территории аграрного сектора, на базе которых реализуется технология контролируемого проезда по полю (СТФ), что в перспективе обеспечивает абсолютную замену на роботизированный транспорт и полноценную автоматизацию агропромышленного комплекса» [17, 18].

1.2 Анализ подходов проектирования и обработки данных геоинформационных систем

Геоинформационные системы являются неотъемлемой частью повседневной жизни и как правило применяются для корректного отображения объектов, процессов, а также различных явлений, ориентированных на картографические, статистические, аэро- и космические данные. Если детально рассматривать данные об объектах, стоит отметить их координатную привязку, а точнее, детальное описание в пространстве на что и ориентирована геоинформатика.

Геоинформатика представляет собой абсолютно новую, быстро развивающуюся науку, которая, как многие науки, имеет множество определений. Рассмотрим основные из них: «Геоинформатика — это область науки, позволяющая формализовать и реализовать в машинной среде операции накопления, хранения, обработки и визуализации пространственно-координатных данных с помощью средств геоинформационных систем (ГИС)» [19].

Следует добавить точное определение термина геоинформатики, зафиксированное в работах А.М. Берлянта и А. В. Кошкарева: «Геоинформатика — это наука, технология и производственная деятельность по научному обоснованию, проектированию, созданию, эксплуатации и использованию географических информационных систем, по разработке геоинформационных технологий, по приложению ГИС для практических и научных целей» [20].

Рассматривая область применения геоинформатики необходимо отметить ее востребованность непосредственно как науки, а также как современной передовой

технологии и отрасль производства в целом. С точки зрения учебной дисциплины геоинформатика ориентируется на детальное освоение социальных и природных геоинформационных систем путем применения компьютерного моделирования с использованием пространственных баз данных. Как и другие науки о Земле геоинформатика базируется на освоении геоявлений и процессов, которые возникают в геоинформационных системах, однако при этом ориентируются исключительно на собственные методы и средства. Поэтому геоинформатика как наука опирается непосредственно на пространственный анализ, включая геомоделирование [21].

Геоинформатика ориентирована на выполнение первостепенной задачи, которая заключается в поддержке процесса управления геоинформационными системами, в том числе их детальное описание, инвентаризацию, анализ, прогнозирование, методы оптимизации и т. д. С целью осуществления прикладных территориальных исследований важно отметить системный подход к освоению явлений, а также проблемных ориентаций.

Также геоинформатика масштабно применяется как технология сбора, хранения, преобразования и распространения пространственно-координированных данных. Область применения ГИС-технологий ориентирована на выполнении анализа геоинформации, а также на принятии решений.

Геоинформатика как производственная деятельность нацелена на реализацию программных продуктов, ГИС-оболочек, баз геоинформационных данных, а также на разработку ГИС-инфраструктуры.

Важно отметить, что геоинформатика опирается на такие ключевые понятия, как «пространственный объект» и «пространственные данные». Основываясь на общепринятой терминологии русского языка, важно понимать, что понятие «пространственные данные» включает в себя два разных типа информации. Первый тип относится непосредственно к предметной области геоинформатики и представляет собой пространственно-координированные данные. Например, информацию об объектах реального мира (таких как здания, дороги, реки и т.д.), цифровые изображения и карты, координаты опорных точек геодезической сети и т.п. Следующее описание ориентировано на информационное обеспечение ГИС — это цифровые данные об объектах РД (местности, территории и т.п.). В качестве тождественного определения «пространственных данных» в двух терминах применяются определения «географических данных», либо «территориальных данных» и «геопространственных данных».

Понятие «пространственный объект» аналогично «пространственным данным» может применяться двусмысленно, так как может представлять собой объект реальности, а также его цифровое представление, которое иными словами может отмечаться как

«цифровая модель объекта местности», включающая информацию о его местонахождении, территориальном положении, основанном на форме, а также содержательных свойствах [22].

Территориальные и геоинформационные системы, которые моделируются в геоинформатике, представлены в качестве специального класса управляемых систем, описывающего земное пространство всех размерностей, где определенные элементы природы располагаются в целостной связи друг с другом, при этом обладают возможностью коммуницировать с внешним и внутренним окружением и антропогенными комплексами.

В соответствии с действующими ГОСТами необходимо выделить следующие определения и понятия, применяемые в области геоинформатики:

– цифровая картографическая информация (ЦКИ) — это картографическая информация, включающая координаты, масштаб и семантические свойства объектов. Она представлена в цифровом виде на машинном носителе или в оперативной памяти компьютера.

– Разновидностью ЦКИ, которые применяются в настоящий момент, выступают цифровые карты местности, цифровые топографические карты, а также электронные карты.

– Цифровая карта местности (ЦКМ) — это цифровая модель, которая хранится на машинном носителе в виде организованной структуры и кодов на основе специальной математической основы, системы координат и разграфки, используемых для карт.

– Цифровая топографическая карта (ЦТК) — это структурированная и закодированная информация, которая хранится на машинном носителе, основанная на математической базе, системе координат и правилах разграфки для стандартных карт.

– Электронная карта — цифровая карта, которая визуализируется посредством применения программных и технических средств по установленной структуре условных знаков. Такая карта рассчитана для отображения, анализа, моделирования, включая выполнение информационно-расчетных задач, которое ориентировано на применение дополнительной информации.

Геоинформатика аккумулирует в себе комплекс геоинформационных средств, представленных на рисунке 4:

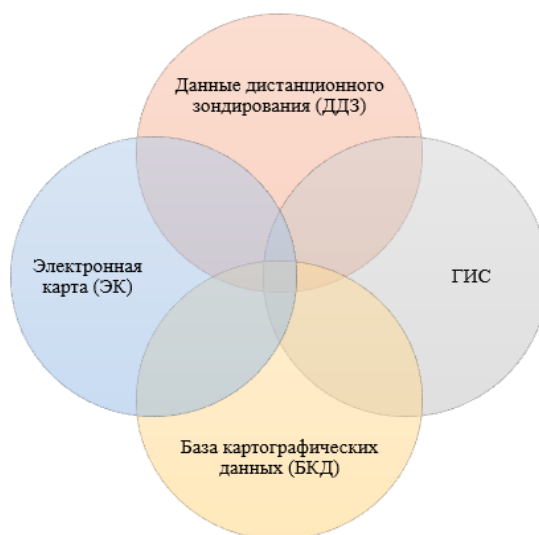


Рисунок 4 – Взаимосвязь геоинформационных средств

Не стоит забывать о том, что помимо взаимосвязи геоинформационных средств немаловажное значение имеют методы работы с геоданными:

- геоинформационных метод отображения (ГМО);
- геоинформационный метод использования (ГМИ).

Геоинформатика нацелена на различные предметные области, ввиду чего не может являться функционально-полным набором пространственно-аналитических средств для специальных тематических приложений. Опираясь на вышесказанное необходимо добавить, что необходима доработка общих методов геоинформатики [23], либо разработка на ее базе специальных методов, которые позволят выполнить геоинформационную поддержку решения задач в определенной предметной области, например: геомониторинг, территориальное планирование, боевое управление и пр.

Анализ этапов проектирования моделей данных геоинформационных систем

Геоинформационные технологии (ГИТ) представляют собой комплекс специальных средств, а также методов обработки геопространственных данных. Инструменты, обеспечивающие обработку геоданных, базируются на географических информационных системах (ГИС), разработанных в соответствии с принципом СППР для различных областей применения (рис.5).



Рисунок 5 – Функционал интеллектуальной ГИС

Типичная ГИС представляет собой независимую от предметных областей систему, включающую набор инструментов для работы с первичной и вторичной картографической информацией на разных этапах.

Структура базовой ГИТ представлена этапами, которые отображены на рисунке 6:

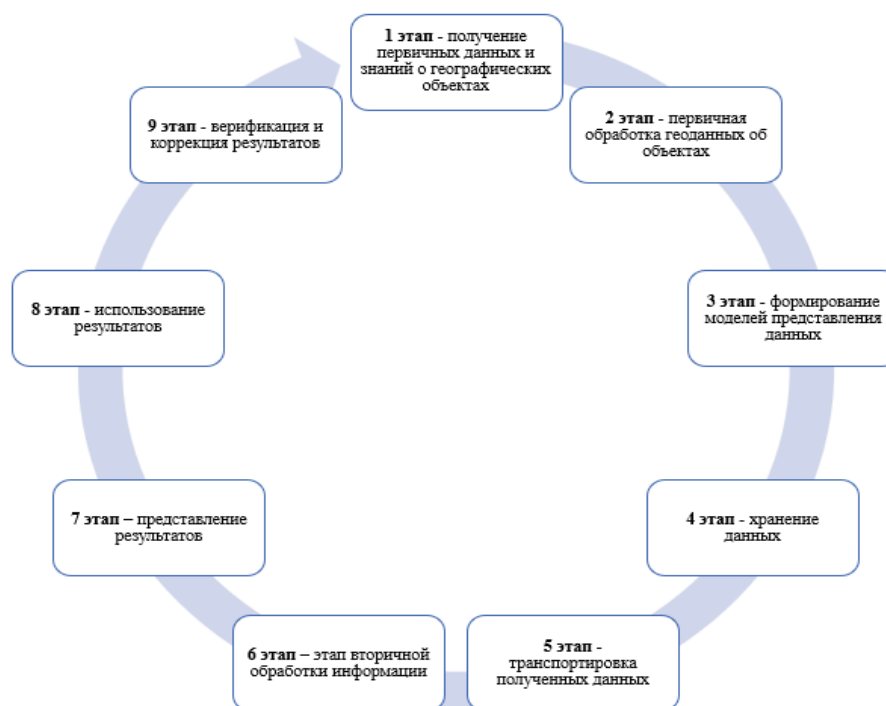


Рисунок 6 – Этапы осуществления базовой ГИТ

Стоит отметить, что под первичной картографической информацией понимаются исходные географические данные и информация, которая представляется на карте в базовом формате. Результатом выполнения операций по обработке первичной картографической информации является вторичная информация. От качества выполнения представления предметной области зависит результативность извлечения и представления данного вида информации (на концептуальном, физическом и логическом уровнях) при условии фиксации характерных черт геоданных, содержащих важнейшие значения для разработки, а также практической выполнения базовых средств ГИТ.

Следует добавить, что в качестве характерной черты выделяется необходимость применения при описании объекта двух различных видов информации, имеющей четко выявленный пространственный и описательный характер.

Объединение представленных видов информации в процессе технологических модификаций формируется через объект (координаты) и дает возможность получить его геоинформационное представление средствами обработки, хранения и визуализации.

Факт наличия двух видов информации об одном и том же географическом объекте или явлении указывает на существование огромного количества средств, которые гарантируют обеспечение технологий для отдельного преобразования, при этом этапы подобны базовой ГИТ. Представленные технологии можно именовать прикладными ГИТ. Ориентация прикладной ГИТ зависит от цели. Зачастую, прикладная ГИТ направлена на обработку пространственной или исключительно описательной информации. В этом случае возникают разнообразные возможности в обработке, а также способах интеграции неоднородной информации. В реальности формирование данных технологий указывает на существование множества систем обработки как графической, так и описательной информации в концепции применения ими баз данных и баз знаний. Стремительный рост средств коммуникаций, включая развитие корпоративных сетей, стал толчком к образованию сетевых версий прикладных ГИТ.

Главным средством, формирующим частично или полностью ГИТ, являются геоинформационные системы.

Детально анализируя ГИС-технологии нельзя не отметить понятие термина «географическая информационная система». Рассматривая определение в аспекте информатики, прилагательное «географическая» обозначает пространственное распределение данных, которое отображается картографическим изображением. В связи с этим, ГИС — это инструмент для формирования банков данных географами, геологами, землестроителями и многими другими специалистами. Основной задачей реализации ГИС-технологии стало подтверждение решения конкретной управленческой задачи. Зачастую ее задача сводится к информационному обеспечению мониторинга окружающей географической деятельности. Подобная информация может быть представлена при производстве экспедиционных работ, обработки ДДЗ, либо режимных наблюдений, а также при осуществлении модельных расчетов. На первоначальном этапе формирования ГИС существенно важно выявить требования к первичной информации, которая может быть представлена в качестве картографического материала, а также результатов измерения.

Основополагающими для территориального мониторинга стали функции учета и инвентаризации единиц районирования. Принципиально важным является качество

представления графических данных, конечно же, границ объектов. Под качеством подразумевается обилие информации, точность представления положения любой точки и линии по сравнению с натурой, правильность представления классифицированных свойств геообъектов в части иерархической и типологической принадлежности, корректность изображения графических примитивов (в частности замкнутость контуров для площадных объектов, которая встречается в визуальном представлении, а также обеспечивается в формальном геометрическом смысле. Каждая граница, примыкающая к полигону, должна быть представлена одной линией, а не двумя одинаковыми линиями, разбитыми по слоям. Рассматривая территорию как объект мониторинговых наблюдений, стоит отметить, что она должна быть отображена с атрибутами по каждой единице районирования. При возникновении ситуации, когда атрибуты отсутствуют необходимо наличие отметки «нет сведений». Слоевое разделение картографического изображения необходимо проводить в четком соответствии с принципами геологического районирования территории и не противоречить разделам легенды к карте.

Поэтому представленные требования требуют обязательного топологического контроля на этапе создания карт. Должное качество карт может быть обеспечено исключительно посредством применения топологического контроля в независимости от технологии оцифровки (дигитайзерной или сканерной с дальнейшей векторизацией) [24, 25].

Для создания эффективной геоинформационной системы поддержки принятия решений стоит принимать во внимание достоинства и недостатки используемых моделей данных. Они напрямую воздействуют на отображение географических объектов на карте. Не все модели данных могут корректно отображать различные виды географических объектов или делают это с ошибками. Поэтому важно провести анализ современных геоинформационных систем и реализуемых моделей данных в них [25].

Анализ принципов работы и проектирования векторных моделей данных в ГИС

Векторная модель данных подразумевает алгоритм отображения геопространственных данных с использованием наборов пар координат (x, y) , выделяя при этом начальную точку и направление каждого вектора.

В системе векторного моделирования применяются существующие геообъекты, (графические элементы), которые отображаются точками, линиями и полигонами.

«Линейные географические объекты (реки, дороги и пр.) отображаются дугой. Дуга — это основной геометрический элемент географической БД ГИС, который формирует

расположение существующего линейного пространственного объекта, его границы и фрагменты полигона» [26].

«Основными компонентами ГИС, такими как сегменты, линии, полигоны и другие векторные графические элементы, описываются пространственные данные о площадных объектах (участки земли, озера и пр.)» [26]. Современные ГИС предоставляют большой спектр инструментов для работы с векторной графикой.

Взаимодействие с векторной графикой в основном осуществляется через основные геометрические формы. Эти формы можно модифицировать, но координаты узлов линий и кривые изменяются. Базовые характеристики системы включают:

- функциональное миниатюрное построение;
- высококачественное графическое отображение;
- сохранение топологических отношений.

Значительная количество современных ГИС группирует географические объекты в слои. Объекты, представленные в одном слое, содержат один тип геометрии (к примеру, точки) и такой же набор атрибутов (например, биологический вид).

В процессе работы с векторными данными могут возникнуть ряд трудностей. Следует отметить, что векторные данные нуждаются в немалой работе, с последующим обслуживанием для поддержания корректности и достоверности данных. Если в процессе эксплуатации возникла ситуация, что используются некачественные векторные данные, то это факт моментально просматривается в ГИС и может быть представлен в виде разрывов, где границы прилегающих полигонов могут быть некорректно состыкованы [27]. Поэтому необходима тщательная оцифровка (рис.7, 8). Примерами векторных ГИС являются программные продукты ArcView, MapInfo, TNT и т. д.



Рисунок 7 – Образец некорректного представления данных в векторной модели

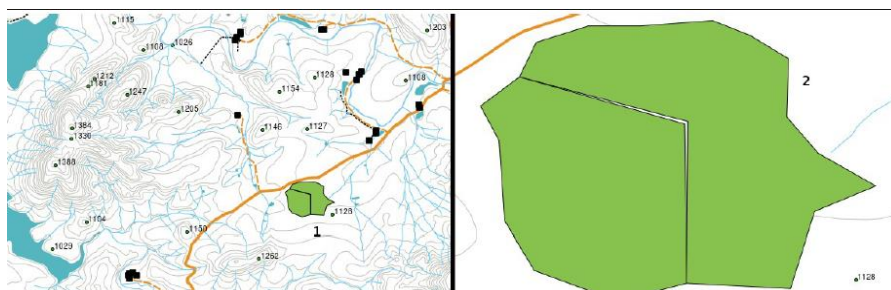


Рисунок 8 – Пример несовпадения вершин полигонов, представленный в виде разрыва

На примере MapInfo стоит отметить, что данная векторная геоинформационная система дает возможность формировать и анализировать карты, решать сложные задачи для географического исследования посредством запросов и формирования всевозможных предметных карт, формировать зависимость с удаленными базами данных, экспортировать географические объекты в сторонние программные продукты и пр. (рис.9) [28, 29].

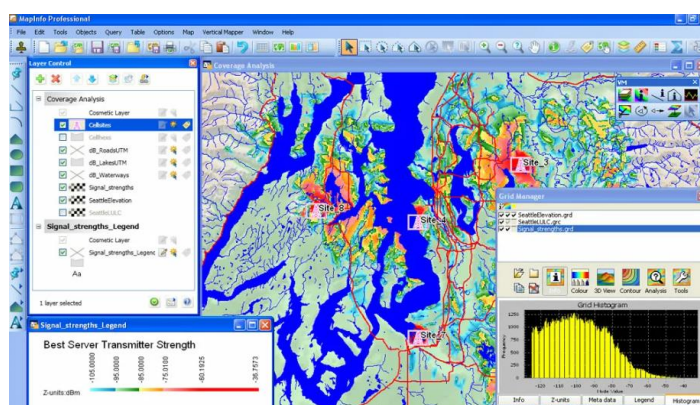


Рисунок 9 – Интерфейс ГИС MapInfo

К преимуществам использования векторной ГИС MapInfo стоит отнести:

- осуществление манипуляций с векторными данными, а также связанной предметной информацией;
- способность внесения правок картографической информации (включая снимки, которые применяются в качестве растровой подложки);
- возможность просмотра данных в неограниченном объеме и представленных в разном формате, посредством представления в окнах трех категорий: карта, список и график. Представленная технология синхронного отображения открывает параллельно несколько окон, которые включают одинаковые данные;
- разные средства отображения информации посредством формирования тематических карт;
- преобразование проекций карт;
- создание запросов разных по уровню сложности;

- прямой доступ к файлам, сформированным в dBase или графических файлах различных форматов.
- К недостаткам следует отнести:
- небольшое количество стандартных функций;
- все используемые в программе координаты имеют проекцию в математической системе координат [29].

Анализ принципов работы и проектирования растровых моделей данных в ГИС

«Растровая модель географических данных – это способ представления данных в виде сетки, образующей прямоугольный массив, где каждый элемент содержит конкретное значение, отражающее реальный географический объект на местности» [29].

«В растровой модели территория распределяется на элементы регулярной сетки или ячейки, каждая из которых обладает конкретными характеристиками. Например, это значение может отображать яркость земной поверхности или указывать на принадлежность к определенному типу объектов на растровых картах» [29].

Преимущества растровой графики включают:

- техническую готовность периферийных инструментов ввода изображений;
- фотореалистичность;
- простоту организации данных;
- эффективность моделирования при использовании ГИС.

Недостатки:

- наличие искажений при изменении изображения;
- невозможность увеличения изображения без потери качества.

Растровая модель служит основным методом представления непрерывно изменяющихся признаков для анализа и моделирования [29].

Примерами растровых ГИС являются программные продукты IDRISI, ERDAS Imagine, ILWIS и т. д.

На примере IDRISI GIS разберем возможности растровых ГИС.

IDRISI является растровым пакетом географического анализа и обработки изображений, который используется для управления и охраны природных ресурсов. Открытая архитектура дает возможность добавлять всевозможные функции любому пользователю.

В отличие от векторных систем в растровом пакете IDRISI GIS географическое положение объектов и описание атрибутов (свойств объекта) включено в один файл.

Рассматриваемая территория представляется набором точек, каждая из которых соответствует определенному числу, которое характеризует свойства конкретного участка территории (рис.10). В растровых картах числа могут показывать информацию, собранную во время наблюдений над объектом [29]. Данные, которые заключены в растровом файле, могут полноценно охарактеризовать явления, явно не представленные при наблюдении, но обнаруженные после анализа данных наблюдений.

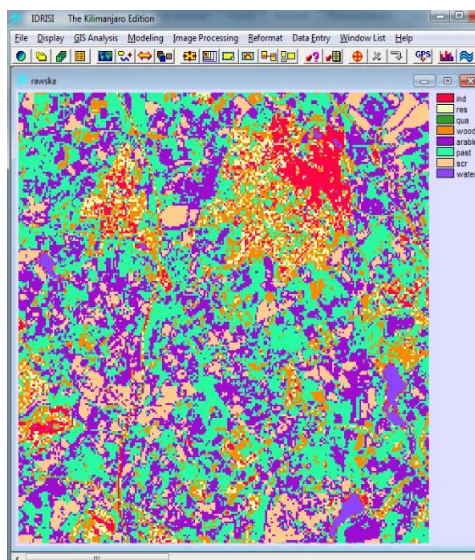


Рисунок 10 – Интерфейс IDRISI The Kilimanjaro Edition

Рассматривая IDRISI GIS со стороны функциональных возможностей, стоит отметить следующие:

- управление проектом;
- ввод и отображение географических данных;
- управление атрибутивными и пространственными данными;
- осуществление географического и статистического анализа;
- обработка изображений
- наличие периферийных модулей [28, 29].

Анализ принципов работы и проектирования Grid моделей данных в ГИС

Еще одним методом формирования модели данных является Grid. Grid модели данных представляют собой структуру геоданных, которая строится на ячейках. «Grid модель демонстрирует пространственные изменения поверхности. Векторная модель содержит точки с координатами x и y , включая топологическую связь между ними, в свою очередь Grid модель аккумулирует точки в формате матрицы ячеек, состоящую из строк и столбцов» [30]. Grid модель данных основана на ячейках, которые представляют собой

первичный строительный материал, поэтому эта модель является регулярной (регулярная сеть, Regular Grid).

«Опираясь на понятие регулярной сети, можно сказать, что это метод создания географических данных в базах данных ГИС в виде множества одинаковых по размеру и взаимосвязанных элементов, организованных в строки и столбцы. Местоположение каждой точки определяется с помощью порядковых номеров соответствующих строки и столбца» [30].

«Ячейки Grid имеют форму квадрата, где каждому присвоено числовое значение, отображающее определенную величину поверхности в данной точке. Строки и столбцы ячеек параллельны осям X и Y, ввиду того, что размер ячеек единый, поэтому местоположение и форма объекта определяются по номерам ячеек в строке и столбце» [30] (рис.11).

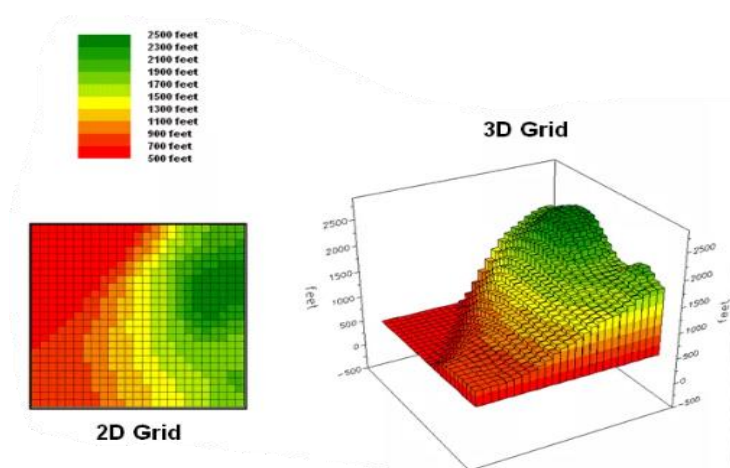


Рисунок 11 – Формирование Grid модели данных

«Координатная система Grid такая же, что и для других наборов географических данных, поэтому координатная структура Grid ориентируется на размер ячейки, количество строк, столбцов, включая координаты X, Y верхнего левого угла Grid» [30].

Следует добавить, что для «модели Grid не имеет ограничений, свойственных большинству системам данных, построенных на ячейках. Количество строк и столбцов Grid не ограничено. Масштабные Grid автоматически делятся на небольшие прямоугольные блоки, которые называются тайлами» (рис.12) [30].

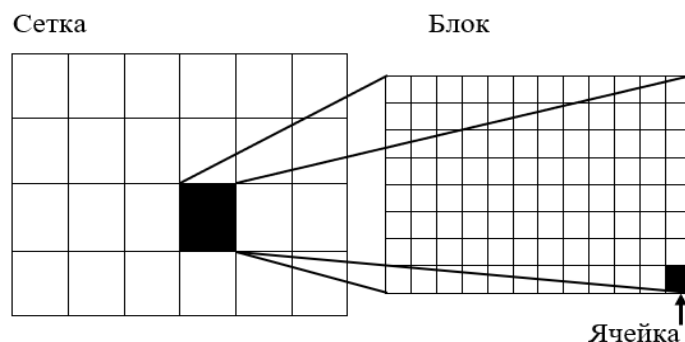


Рисунок 12 – Тайловая система Grid

«Структура Grid, базирующаяся на тайлах, повышает произвольный и последовательный доступ к ячейкам модели. Необходимо отметить, что программное обеспечение блока выполняет операцию сжатия, которая зависит от типа значений ячеек грида. Сжатие данных минимизирует условия хранения и серьезно повышает скорость доступа к ним в операциях представления и анализа конкретно для масштабных файлов Grid» [30–32].

Структура данных грида формируется на ячейках, и операции с географическими объектами (точками, линиями и полигонами) менее эффективны при использовании данных грида. Например, невозможно выполнить оценку линейной сети через Grid или создать управление данными о земельных участках, поскольку данные о них связаны с областями с четкими границами. «Постоянно фиксируются проблемы из-за разрешения Grid. Векторные модели обладают самым высоким разрешением и точностью, которые необходимы для правильного отображения географических объектов. Например, границы дорог, рек, лесных массивов и других объектов содержат четкие контуры в векторных покрытиях. Те же границы в гриде обычно обобщены. Один раз созданная сетка имеет разрешение, заданное на этапе ее создания, которое не может быть увеличено сверх этого значения, а может быть только максимально обобщено» [32]. Чтобы организовать новый Grid небольшого размера ячеек необходимо сформировать его заново на основе исходных данных, которые являются покрытием.

«Grid — это реляционная геомодель, в которой реализовывается коммуникация пространственных и атрибутивных данных, что является базой для последующей визуализации объектов, а также их моделирования. Атрибуты объекта ориентированы на географическую форму и положение благодаря уникальному идентификатору (ID). Grid могут содержать ассоциированную с ними атрибутивную информацию, которая содержится в таблицах» [32].

Преимущества и недостатки представленной модели

Grid-модель обладает простотой, благодаря которой ее «обработка является более эффективной по сравнению с другими моделями» [33]. «Проработанные алгоритмы обработки Grid базируются на методах обработки растровых изображений. Данных о высотах рельефа в GRID очень много и они значительно дешевле. Однако, регулярная структура GRID не совсем подходит для представления неровных поверхностей (теряется информация в промежутках между точками сетки или же возникает ее избыточность при плавно изменяющихся поверхностях). Однако, базовая структура GRID усложняет точное отображение линейных объектов, которым требуются большие масштабы» [33].

Анализ принципов работы и проектирования TIN моделей данных в ГИС

TIN модели данных ГИС (Triangular Irregular Networks - TIN) являются еще одним способом представления структуры поверхности. TIN модель представляет собой форму векторных цифровых геоданных, формирующихся за счет метода триангуляции набора вершин (точек), где сами вершины соединены некоторым количеством ребер, за счет чего создается сеть треугольников.

Ребра TIN организуют непрерывные, непересекающиеся треугольники, которые применяются для определения положения линейных пространственных объектов, играющих важную роль при формировании поверхности. На рисунке ниже продемонстрированы ребра и грани модели TIN (рис.13).

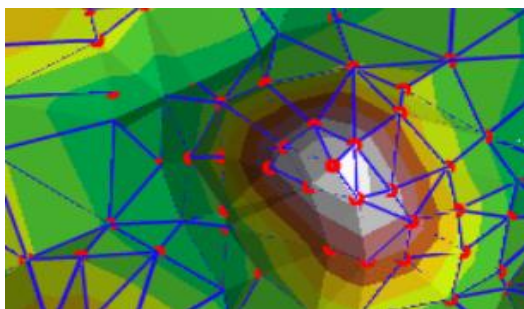


Рисунок 13 – Построение ребер и граней модели данных TIN

Следует добавить, что в «связи с неравномерным расположением узлов на поверхности, модель TIN может обладать более высоким разрешением на участках с неровной поверхностью или требующих детальной проработки, и более низким разрешением на участках с менее сложной поверхностью» [33].

Для реализации TIN применяются входные пространственные данные, которые фиксируются на местах, где локализованы узлы и ребра TIN. Такая особенность дает возможность сохранить точность входных данных при одновременном моделировании значений, находящихся между известными точками. Модели TIN не очень распространены в употреблении, ввиду того, что их обработка и построение дорогостоящие [33, 34].

Модель TIN зачастую применяется для моделирования небольших областей с очень высокой точностью, к примеру, в инженерных приложениях.

Анализ принципов работы и проектирования объектно-ориентированной модели данных ГИС

Объектно-ориентированные ГИС является современной эволюционной технологией, помогающая реализации высокоэффективных задач ГИС. Ориентируясь на данный метод стоит отметить, что объект представляет собой геопространственный элемент, который может являться и не растровым и не векторным, либо и растровым и векторным.

Объектно-ориентированная технология обладает определенными достоинствами. Следует добавить, что при выполнении объектно-ориентированного «программирования в ГИС, формируются объектные библиотеки, пригодные для повторного использования, с последовательным эффективным прототипированием характерных прикладных приложений. Использование объектных библиотек дает возможность использовать масштабируемые характеристики для крупных баз данных, что является результатом более полной и точной модели данных, а также дает возможность сократить чрезмерную информацию» [35]. «Универсальные объектные библиотеки, содержащие базы геоданных, а также информацию спецификаций приложений, могут применяться в ГИС неоднократно и предполагает настройку на ситуации частных приложений» [19].

«Еще одним достоинством объектно-ориентированного подхода при проектировании ГИС является способность решать задачи, связанные с сетевым анализом, картографической генерализацией и поддержанием целостности больших и сложных топографических баз данных» [35].

Объектно-ориентированная ГИС реализует функционал, позволяющий моделировать пространственные и непространственные связи между географическими объектами и их атрибутами. Объект описывается с помощью атрибутов, правил и местоположения.

Основой данного подхода является геообъект с его собственными атрибутами и поведением. Геообъекты могут быть определены к конкретным классам, которые имеют собственные переменные, и эти классы могут быть суперклассами.

Объектно-ориентированная ГИС отображает внутреннее содержание объектов, что невозможно в векторных, растровых, Grid и TIN моделях данных ГИС, поэтому этим моделям свойственна потеря географической информации об объектах, что приводит к последующему разбиению объектов местности на обособленные элементы.

В современных профессиональных ГИС (например, в ГИС ArcGIS) реализуется «новая модель организации данных - База геоданных, которая отличается следующим: все данные - цифровая карта, легенда, описание системы координат, связи между слоями и прочие сведения - содержатся в одном файле базы геоданных (Microsoft Access или на сервере)» [36]. «Эта база поддерживает концепцию единого источника данных. Серверная версия обеспечивает многопользовательский доступ и режим редактирования геоданных, позволяя нескольким пользователям работать с одним и тем же информационным пространством одновременно» [37].

Следует подчеркнуть, что среди продуктов ArcGIS есть такие, которые позволяют работать с данными, которые одновременно хранятся на нескольких серверах. «При этом данные из разных источников могут быть объединены на локальном компьютере, что позволяет формировать централизованные и распределенные системы» [37].

Бесспорно объектно-ориентированная ГИС позволяет избежать ряд ошибок, в отличие от моделей данных, представленных выше, т.к. «классическое» представление геопространственных данных несет за собой наличие существенных недочетов, где даже незначительная доработка существенно не изменит качество представления картографического материала.

Объектно-ориентированная ГИС, способна реализовать отображение динамических объектов, меняющих свои свойства (атрибуты) в пространстве и времени, что позволяет решить проблему обеспечения геоданными на больших территориях агропромышленного комплекса.

Проведенный сравнительный анализ позволил выявить недостатки моделей данных современных ГИС, которые отмечены в таблице 1, а также определить функциональные характеристики геоинформационных технологий (вынесены в Приложение А) [29–37].

Таблица 1 – Анализ недостатков современных ГИС

Модели данных ГИС	Недостатки моделей
Растровые модели данных	<ul style="list-style-type: none"> - отсутствие корректной информации о местоположении объектов; - увеличение пространственной мерности объектов; - ступенчатость линий; - высокие объемы требуемой машинной памяти; - обязательное отслеживания правильности интерпретации и разрешения многозначности результатов; - малая пространственная точность: некачественное определение длины линий, площадей, направлений и расстояний; - обязательное привлечение дополнительных средств для визуализации взаимосвязей геообъектов; - отсутствие возможности построения топологических структур (моделей), отношений;

	отсутствие средств представления графов (сетей).
Векторные модели данных	проблемность выполнения работы с площадными объектами и поверхностями; сложности с демонстрацией полутонов, мерцания; некачественная эффективность оверлеев; поочередная обработка ГИ (код); пространственные взаимоотношения между объектами (топология) предполагаются, а не фиксируются в компьютер в очевидной форме; отношения между объектами должны вычисляться; дополнительная вычислительная нагрузка усложняет измерения и анализ; допускаются ошибки и многозначности при машинном определении топологии; нередко требуются экспертные решения.
Модели данных типа TIN	построение и обработка модели данных типа TIN дорогостоящая; обработка модели данных типа TIN, из-за сложности структуры, менее эффективна, чем обработка растровых данных; применяется для моделирования небольших областей с очень высокой точностью.
Модели данных Grid	стандартная структура данных недостаточно эффективна для представления неровной поверхности; основной формат сетки данных модели не способен правильно показывать линейные объекты в приложениях, использующих крупные масштабы.

Этапы проектирования геоинформационных систем

ГИТ имеет весьма значительную историю, ввиду того, что зачатки технологии начали формироваться еще в 1960-х годах, которые уже тогда преследовали цель автоматизировать ряд операций по работе с геоданными. Следует подчеркнуть, что одни из первых систем разрабатывались при условии полного отсутствия программного обеспечения, качественной вычислительной техники, а также устройств ввода-вывода графических данных.

С развитием цифровых технологий и их повсеместным использованием стал колоссально увеличиваться объем данных, нуждающихся в обработке, при этом подобный рост происходит на регулярной основе, что приводит к образованию баз данных (БД). Поэтому с целью выполнения трудных манипуляций по поиску и выбору данных в БД, создаются полноценные системы управления базами данных [19, 20].

Стоит подчеркнуть, что в настоящее время современная ГИС является достаточно сложной информационной системой, которая содержит емкую операционную систему, интерфейс пользователя, системы управления базами данных, а также визуализацию графической информации. Наиболее общая структура ГИС зафиксирована на рисунке 14 [29, 31].

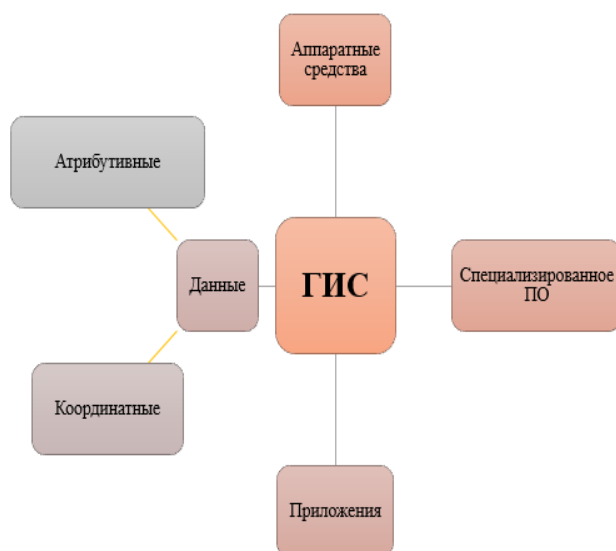


Рисунок 14 – Типовая структура ГИС

В последнее время при формировании информационных систем (ИС) заметный интерес отводится построению систем ППР [38, 39]. При исследовании характеристик, а также правил вывода управленческих решений сформированы ряд характерных требований к системам поддержки принятия решений, которые представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Типичные требования к системам поддержки принятия решений

№	Требования к решениям СППР	Требования СПП управленческих решений
1	Реальность	Цель и декомпозиция цели на задачи; Оценка располагаемых ресурсов; Сценарий достижения целей в результате решения задач
2	Механизм реализации	Содержание решения должно включать разделы, охватывающие организацию, стимуляцию, контроль при реализации решений
3	Научная обоснованность, компетентность	Решение должно отражать объективные закономерности развития объекта и системы управления им
4	Экономичность, оптимальность	Обеспечение достижения намеченных в решении целей при наименьших и оптимальных затратах ресурсов
5	Комплексность	Необходимость учета всех благоприятных и неблагоприятных факторов, относящихся к решаемой проблеме
6	Директивность	Обязательность исполнения
7	Полномочность	Принимается органом или лицом, имеющим право принимать именно это решение
8	Своевременность	С момента возникновения проблемной ситуации до принятия решения в объекте управления не должно произойти необратимых явлений, делающих это решение ненужным
9	Реализуемость	Не содержать положений, которые помешают исполнению в результате порождаемых ими конфликтов
10	Гибкость	Изменение цели и путей достижения цели при изменении внешних или внутренних условий
11	Точность	Простота и лаконичность, строгость формы

В результате проведенного анализа требований к СППР, предъявляемым к управленческим решениям, стоит отметить, что они не учитывают характерную специфику

отраслевой принадлежности, в частности в них отсутствует возможность исследования объектов с динамическим поведением в зависимости от прогностической информации гидрометеорологической обстановки.

Система поддержки принятия решений ориентирована на логический вывод, который подкреплён определенными фактами, а именно знаниями, а также эвристическими приемами по работе с данными и знаниями. Главные компоненты СППР отмечены на рисунке 15.

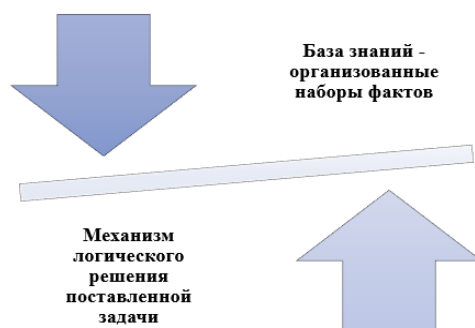


Рисунок 15 – Составляющие компоненты СППР

Высокий спрос на использование ГИС принуждает составлять правила оценивания формируемых ИС, с последующей классификацией, выделении потенциальных особенностей и пр. Приведенные ниже характеристики реализуются посредством разработки требований к эталонной ГИС.

- 1.«Способность обрабатывать массивы покомпонентной гетерогенной пространственно-координированной информации.
- 2.Способность обслуживать базы данных для масштабного класса географических объектов.
3. Обеспечение функционирования диалогового формата работы пользователя.
4. Удобная архитектура ГИС, способность активной настройки системы на выполнение конкретных задач.
5. Возможность «воспринимать» и обрабатывать пространственные показатели геоэкологических ситуаций» [40].

Процесс создания ГИС содержит такие этапы как: этап проектирования структуры, этап выявления целей и задач, этап формирования и эксплуатации ГИС, а также этап выявления потенциальных пользователей.

Этап проектирования ГИС ориентирован на использование методов системного анализа, посредством которых выполняются такие задачи как:

- формирование концептуальной модели ГИС, выявление ее подсистем, а также выявление типа взаимосвязи между ними;

- структуризация информации о геоданных, включая специфику обработки, хранения и отображения на ЭВМ и автоматических устройствах;
- выявление этапов модификации и обработки входящей природной и социально-экономической информации;
- формирование человеко-машинных систем для математического моделирования природных и социально-экономических процессов в структуре ГИС.

Этапы формирования и эксплуатации ГИС содержат стадии, отмеченные на рисунке 16. Стоит подчеркнуть, что отмеченные этапы являются наиболее обобщенными и применяются при формировании типичных ГИС.



Рисунок 16 – Стадии этапа создания и эксплуатации ГИС

Вне сомнения, что источники информации, процедуры ее получения, а также методы анализа требуют формирования этапов целого технологического процесса, который аккумулирует согласованность целей и задач ГИС. Поэтому в качестве базы для проектирования и разработки ГИС должна быть выделена общая методология. Ввиду того, что геоинформационная технология определена в роли средства машинного представления данных и знаний о Земле, требуется определить направленность построения основного инструмента познания закономерностей структуры и разработки геосистем, которое выполняется за счет ресурсов информатики, ориентированной на математическое моделирование и машинную графику.

Требования к созданию любой ГИС формируются исходя из функций и характеристик, которые она будет осуществлять, а именно: сбор, хранение, обработка и передача информации, а также применение различных методов решения географических задач [40].

Процедура применения ГИС-технологий для непосредственного пользователя системы предполагает выполнение функций, представленных на рисунке 17:

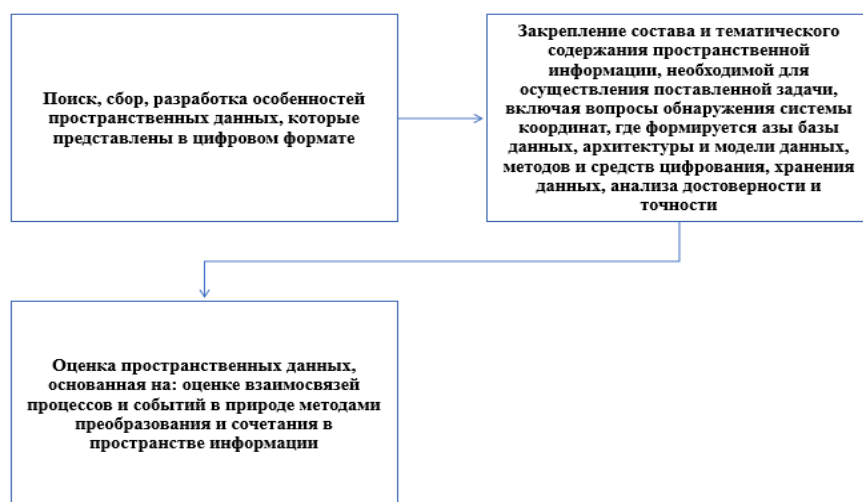


Рисунок 17 – Пользовательские функции ГИС

Для обеспечения корректной работы «федеральных, региональных и муниципальных ГИС внедрены стандарты, регулирующие базовые технические требования к ГИС, а также требования к маркировке, упаковке, транспортировке и хранению ПО и информационных ресурсов ГИС» (таблица 3) [41]:

Таблица 3 – Нормативные документы для реализации работы ГИС

№	Нормативные документы	Назначение
1.	ГОСТ 19.102–77	«Единая система программной документации. Стадии разработки»
2.	ГОСТ 19.105-78	«Единая система программной документации. Общие требования к программным документам»
3.	ГОСТ 19.201-78	«Единая система программной документации. Техническое задание. Требования к содержанию и оформлению»
4.	ГОСТ 19.301-79	«Единая система программной документации. Программа и методика испытаний. Требования к содержанию и оформлению»
5.	ГОСТ 19.601-78	«Единая система программной документации. Общие правила дублирования, учета и хранения»
6.	ГОСТ 19.603–78	«Единая система программной документации.»
7.	ГОСТ 34.003-90	«Информационная технология. Комплекс стандартов на автоматизированные системы. Автоматизированные системы. Термины и определения»
8.	ГОСТ 34.601-90	«Информационная технология. Комплекс стандартов на автоматизированные системы. Автоматизированные системы. Стадии создания»
9.	ГОСТ 15971-90	«Системы обработки информации. Термины и определения»

10.	ГОСТ 16504-81	«Система государственных испытаний продукции. Испытания и контроль качества продукции. Основные термины и определения»
11.	ГОСТ 20886-85	«Организация данных в системах обработки данных. Термины и определения»
12.	ГОСТ 21552-84	«Средства вычислительной техники. Общие технические требования, приемка, методы испытаний, маркировка, упаковка, транспортирование и хранение»
13.	ГОСТ 28195-89	«Оценка качества программных средств. Общие положения»
14.	ГОСТ 28388-89	«Системы обработки информации. Документы на магнитных носителях данных. Порядок выполнения и обращения»
15.	ГОСТ 28441-99	«Картография цифровая. Термины и определения»
16.	ГОСТ 28806-90	«Качество программных средств. Термины и определения»
17.	ГОСТ Р ИСО/МЭК 9126-93	«Информационная технология. Оценка программной продукции. Характеристики качества и руководства по их применению»
18.	ГОСТ Р 50828-95	«Геоинформационное картографирование. Пространственные данные, цифровые и электронные карты. Общие требования»
19.	ГОСТ Р 51275-99	«Защита информации. Объект информатизации. Факторы, воздействующие на информацию. Общие положения»
20.	ГОСТ Р 51353-99	«Геоинформационное картографирование. Метаданные электронных карт. Состав и содержание»
21.	ГОСТ Р 51605-2000	«Карты цифровые топографические. Общие требования»
22.	ГОСТ Р 51606-2000	«Карты цифровые топографические. Система классификации и кодирования цифровой картографической информации. Общие требования»
23.	ГОСТ Р 51607-2000	«Карты цифровые топографические. Правила цифрового описания картографической информации. Общие требования»
24.	ГОСТ Р 51608-2000	«Карты цифровые топографические. Требования к качеству» [41].

При анализе требований к информационному обеспечению ГИС ППР для управления динамическими объектами на основе объектно-ориентированного подхода проектирования ГИС необходимо отметить, что для образования баз пространственных и пространственно-временных данных ФГИС, РГИС, МГИС применяются общие компоненты, отмеченные на рисунке 18:

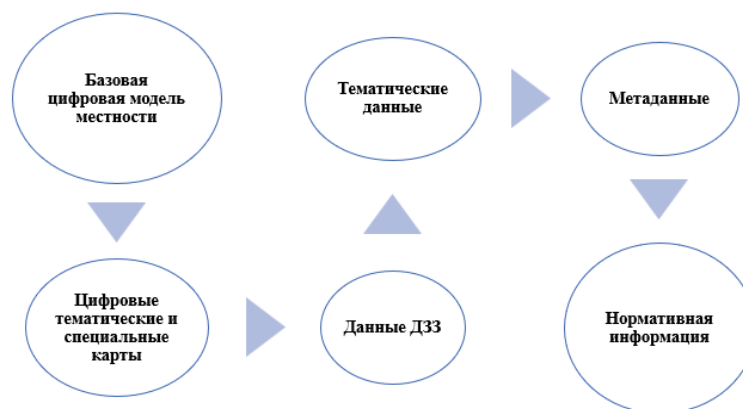


Рисунок 18 – Компоненты для формирования информационной поддержки ГИС
 При рассмотрении требований к составу ПО и информационной составляющей ГИС, созданных для дальнейшего использования, необходимо учитывать следующие элементы:

- «носитель пространственных данных, содержащий программу (исполняемый модуль ПО), или набор инсталляционных программ, позволяющий в процессе установки на конкретную электронно-вычислительную машину получить исполняемый модуль ПО, параметрически настроенный к среде и условиям функционирования» [42];
- документы по эксплуатации ПО;
- упаковка и тара.

В техническом задании фиксируется количество экземпляров комплекта программного обеспечения.

1.3 Требования к геоинформационной системе поддержки принятия решений для управления динамическими объектами на основе объектно-ориентированного подхода проектирования ГИС

В настоящее время существует необходимость в разработке модели геоинформационной системы поддержки принятия решений, позволяющих воплотить динамический объект в объектно-ориентированной геоинформационной системе. В представленной диссертационной работе в качестве динамического объекта представлена территория агропромышленного комплекса, которая обладает изменчивым характером пространственных и пространственно-временных данных. В нашем случае исследуется такая характеристика территории как суммарная потеря влаги из почвы и листьев (эвапотранспирация) в агропромышленном комплексе.

В результате исследования пространственных и пространственно-временных характеристик территории и ее реализации в объектно-ориентированной геоинформационной системе появляется возможность проектировать объекты с аналогичными динамическими характеристиками, т.е. возможность формирования шаблонов объектов с динамическим характером.

Объектно-ориентированная модель геопространственных данных является совершенно инновационным способом проектирования пространственных динамических данных ГИС ППР, которая нацелена на информационную поддержку при реализации прикладных задач и процессов моделирования в когнитивных ГИС посредством ориентирования на предельное соответствие картографическому объекту как модели существующего объекта реального мира [31].

Все отрасли промышленности могут использовать объектно-ориентированную модель ГИС из-за схожести структур объектов, отображаемых на карте [43]. Необходимо отметить, что динамические объекты (территории) обладают рядом изменяющихся свойств (атрибутов), а также характерным поведением, которое меняется в пространстве и времени, а в современных ГИС это никак не учитывается, что дает возможность в перспективе колоссально продвинуться в сфере прогнозирования, посредством учета поведенческих свойств динамических объектов.

Следует отметить, что немало структур заинтересовано в использовании учета динамики объектов, так как это свойство позволяет учитывать негативное влияние со стороны биотических, абиотических и антропогенных факторов и не только. Благодаря учету этих показателей можно построить достоверный прогноз о возможном состоянии объекта в будущем, либо об альтернативных путях и сроках их достижения. Представленная прогностическая модель формируется за счет учета динамики вероятностных прогнозов.

В данной диссертации на примере агропромышленного комплекса первостепенное значение отводится формированию модели и методики проектирования и обработки данных динамических объектов ГИС поддержки принятия управленческих решений.

При моделировании состояния динамических объектов ГИС посредством прогнозирования гидрометеорологических параметров решаются следующие задачи (рис.19):



Рисунок 19 – Задачи моделирования динамических объектов
Динамический объект позволяет реализовывать прогностическую модель, благодаря чему выполняется следующий функционал (рис.20):

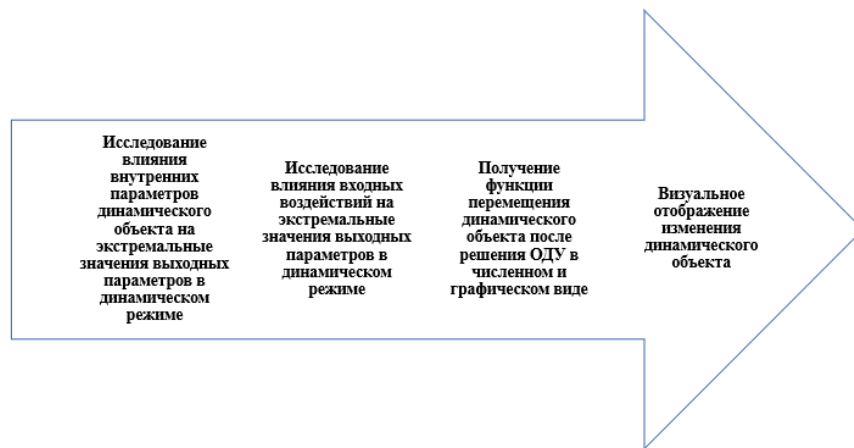


Рисунок 20 – Возможности решаемые посредством реализации динамической компьютерной модели

Динамический объект, который может быть представлен абсолютно любой территорией, подвержен воздействию различных факторов извне, влияющих на характеристики ее состояния (рис.21).



Рисунок 21 – Показатели, влияющие на характеристики состояния территории агропромышленного комплекса

Геопространственные данные, применяемые в ГИС, описываются на основе достоверных реальных стационарных объектов, таких как лесная территория, водоемы, дороги и пр.

Рассматривая область применения ГИС ППР в агропромышленном комплексе, стоит отметить высокий уровень востребованности данной технологии, ввиду ее удобства, доступности и понятности [44, 45]. Из этого следует, что для взаимодействия с ГИС пользователю не требуются определенные навыки и наличие специализированного программного обеспечения. Такие достоинства дают возможность использовать ГИС обособленным фермерам в процессе возделывания сельскохозяйственных культур.

Стоит отметить область прогнозирования урожайности культур, где также требуется качественное выполнение функций ГИС ППР для управления объектами, которая ориентируется на разнородные пространственные и пространственно-временные данные, хранящиеся в единой базе знаний. Подобная интеграция выполняется посредством формирования объектной модели данных, которая содержит следующую информацию, отмеченную на рисунке 22:



Рисунок 22 – Состав объектной модели данных

С помощью постоянного анализа формируются данные, демонстрирующие уровень роста или спада эффективности работ [46]. В связи с этим, прогнозирование уровня урожайности и оценка потерь дают возможность определения оптимальной стоимости техники и ресурсов, необходимых для уборки урожая, а также для установления закупочной цены на продукцию сельского хозяйства [47].

Немаловажное значение в процессе формирования урожая культуры имеет правильный выбор предшественника. Необходимо добавить, что под культуру определяют лучшее место в севообороте, размещая ее по предшественникам, которые оставляют после себя хороший запас питательных веществ и влаги для обеспечения дружных всходов зерновой культуры и лучшего развития [48].

Следует добавить, что ГИС ППР в процессе прогнозирования урожайности выполняет множество функций без которых полноценный прогноз невозможен, а именно:

- формирование графиков применения технического оборудования и его последующего ремонта;
- определение уровня использования технического оборудования, а также горюче-смазочных материалов, посредством анализа его перемещения, определения пробега и обработанных площадей;
- выявление благоприятного маршрута перемещения и транспортировки технического оборудования от базы до конечной точки в виде определенного поля;
- выявление наиболее приемлемого маршрута доставки зерновых культур до пунктов приема;
- мониторинг скорости перемещения технического оборудования в процессе осуществления полевых работ;
- выявление длины гона или оптимального пути между полями, а также пунктами сдачи зерновых культур по цифровой карте;
- создание учетных листов для персонала;
- создание путевых листов транспорта.

С помощью ГИС осуществляется дистанционный мониторинг работы сельскохозяйственной отрасли, включая контроль над процессами в режиме реального времени. Это позволяет проводить глубокий анализ на основе собранных данных. Данный подход позволяет оперативно контролировать местоположение технического оборудования и управлять деятельностью сотрудников.

Функционирование ГИС ППР в сочетании с новейшими инновационными разработками в области агропромышленного производства позволит усовершенствовать систему мониторинга и контроля за производственными процессами на основе актуальной пространственной и пространственно-временной информации.

В настоящее время аграрно-промышленный комплекс все активнее применяет высокоточные гидрометеорологические сенсоры, призванные обеспечить своевременный и тщательный мониторинг характеристик почвы. Это дает возможность учитывать ее свойства на конкретных участках и грамотно применять удобрения в тех местах, где это действительно требуется.

Основным элементом системы для определения характеристик состояния территории являются датчики, размещаемые в контрольных точках. Данные устройства предназначены для определения следующих характеристик: «неоднородность рельефа, тип почвы, уровня освещенности на территориях и пр. Полученная информация о состоянии почвы передается на сервер и далее на устройства пользователей. Основываясь на

полученных данных, агрономы» [49] выбирают, какие виды растений можно выращивать наиболее эффективно на конкретном участке земли, поскольку несколько видов зерновых могут расти на одном и том же участке территории. В соответствии с полученными геоданными формируются точные рекомендации по уходу за культурами [49].

Наиболее популярными сенсорными устройствами в аграрной отрасли являются датчики для мониторинга влажности почвы, которые активно применяются производителями агропромышленных товаров для выращивания культур.

На основе опыта отечественных агропредприятий, оптимальным решением использования информационных технологий является использование геоинформационных систем. Эти системы работают через интеграцию технологий «интернета вещей, аналитики больших данных и искусственного интеллекта, что позволяет управлять производственным процессом в рамках единой системы» [50].

«Цифровые двойники – это следующий уровень в повышении эффективности агропромышленного сектора с использованием современных технологий. Они позволят моделировать результаты принятых решений на основании общего массива собранных данных. Как результат, это приведет к экономии времени и ресурсов, а также поможет предотвратить вред для людей и окружающей среды» [50].

Требования к проектированию объектно-ориентированной ГИС

На основании проведенного анализа структур данных и знаний в геоинформационных системах поддержки принятия решений [46] требуется организовать корректное геоинформационное управление динамическими объектами агропромышленного комплекса, вследствие чего были сформированы требования к данной системе:

- структура данных должна работать с данными, распределенными в пространстве и времени, а также осуществлять операции с ними;
- структура знаний должна включать в себя определение понятий, отношений между ними и правила вывода для качественного хранения, обработки и применения знаний в АСУ;
- геоинформационная система поддержки принятия решений должна формировать практические рекомендации по предоставлению управленческих решений, а также качественной и безопасной работы динамических объектов агропромышленного комплекса;

- организация сетевой структуры геоинформационных систем для пространственно-распределенных объектов;
- осуществление прогностической оценки суммарной потери влаги из почвы и листьев на территориях агропромышленного комплекса;
- геомоделирование, включая формирование прогностических карт для управления динамическими объектами, с целью обеспечения продовольственной безопасности страны;
- возможность синхронизации ГИС с распределёнными базами знаний и пространственно-временными данными в базах данных;
- гибкая настройка компонентов ООГИС.

Выводы по главе

Были выделены условия, влияющие на развитие агропромышленного комплекса на территории Российской Федерации. Упомянут курс на цифровизацию и внедрение информационных технологий, свидетельствующий о необходимости применения геоинформационных методов в аграрном секторе, в том числе на небольших территориях.

В результате анализа инструментов проектирования моделей данных геоинформационных систем было выявлено, что классические методы отображения картографической модели геопространственной информации предназначены для визуального восприятия данных, к сожалению, не отображают внутреннего содержания объектов, что ведет к потере географической информации об объектах, а также к последующему разбиению объектов местности на обособленные элементы. Таким образом, следует подчеркнуть, что в подобной «классической модели» в обязательном порядке должна реализовываться предварительная подготовка пространственных данных (сшивка, редактирование значений координатных и атрибутивных представлений, поиск недостающих компонентов объектов на картах иных масштабов, либо производителей и т. д.).

Бесспорно классическое представление геопространственных данных несет за собой наличие серьезных ошибок, причем незначительная доработка некоторых недочетов существенно не изменит качество представления картографического материала. На смену данному методу необходима новая объектно-ориентированная модель проектирования и

обработки данных ГИС, ориентированная на учет объектов с динамическим поведением (изменением пространственных и пространственно-временных данных).

Объектно-ориентированная ГИС ППР, отличаются тем, что впервые использует динамический объект (территорию) в ГИС, который обладает рядом свойств (атрибутов), изменяющихся в пространстве и времени, а также посредством световых индикаторов визуально отображает состояния объекта. Использование ГИС ППР дает возможность решить проблему обеспечения геоданными на больших территориях агропромышленного комплекса и сформировать требования к геоинформационным системам управления динамическими объектами на основе объектно-ориентированного подхода проектирования и обработки данных ГИС для агропромышленного комплекса, а также требования к моделям и методике.

Глава 2 Математическое моделирование гидрометеорологических показателей в геоинформационных системах для решения комплексных задач на примере агропромышленного комплекса

В настоящее время исследование состояния территорий агропромышленного комплекса в синоптическом и климатическом масштабах имеет как научный, так и практический интерес. В практической деятельности человека переувлажнение территории, а также засуха может затруднить сбор урожая, что приведет к колоссальному росту цен на продукты первой необходимости.

Для решения этой проблемы требуются данные показателя испарения и транспирации для прогнозирования урожайности зерновых культур в аграрном секторе. Сложность заключается в том, что нет повсеместно доступных инструментальных измерений этих показателей. Учитывая огромные территории агропромышленного комплекса и высокую пространственную и пространственно-временную изменчивость, требуется достаточное количество контрольных датчиков по сбору геопространственной информации.

Рассматривая альтернативные методы можно выделить неконтактные методы с применением ДЗЗ. Однако этот метод имеет недостатки – спутниковые измерения имеют большую временную дискретность.

На основании вышеописанного выявлена потребность в разработке методов на основе числовых моделей гидрометеорологических параметров. В качестве входных данных должны применяться климатические данные.

2.1 Способы моделирования урожайности культур на территориях агропромышленного комплекса

Исследование литературных источников по теме диссертационной работы показали, что прогнозирование, представляет собой узкоориентированную научную деятельность основанную на длительной, кропотливой работе, которая проводится не одно десятилетие. «Прогнозирование (от греч. *prognosis* – знание наперед) – это вид познавательной

деятельности человека, направленной на формирование прогнозов развития определенного объекта на основе анализа тенденций его развития» [47].

Прогнозирование стало активно развиваться в середине прошлого века и затронуло практически все области человеческой деятельности, вызвав необходимость оптимизации управления сложными пространственно-временными объектами и структурами для устранения ущерба, связанного с принятием неоптимальных решений.

Для корректного формирования представления о будущих событиях или явлениях необходимо руководствоваться закономерностями, которые отслеживаются с различной периодичностью. Поэтому основная задача выявления прогноза — это определение элементов преемственности, повторяемости действий в окружающей среде, которые позволяют выявить идентичные характеристики явлений различной природы.

Классификация методов прогнозирования урожайности

«Для определения метода прогноза необходимо определить закономерные связи, которые могут наблюдаться в исследуемых процессах, событиях и явлениях. Рассматривая классификацию методов прогнозирования урожайности культур, стоит отметить, что многие исследователи, такие как Б. И. Бугера, А. И. Манелля, В. Я Узун и пр.» [48–50], касались проблемы определения методов, которые будут обеспечивать высокое качество, точность и надежность прогнозов. Рассмотрим их подробнее.

– *Моделирование* как один из методов прогнозирования урожайности сможет обеспечить за счет использования производственных функций прогноз урожая, который будет выделен посредством количественной величины влияния изучаемых характеристик. Прогнозируемый урожай, рассчитанный как сумма различных факторов, нередко значительно превышает фактический урожай.

– *Экстраполяция.* Метод экстраполяции предполагает использование при формировании прогнозов принципа обнаружения закономерностей в динамических рядах. Реализуя нормативный подход, формируются прогнозы урожайности, которые отображают информацию как получить заданный объем производства зерновых культур при неизменной величине площади посева. Самые простые процедуры экстраполирования представлены в виде линейных фильтров:

$$z_t = \sum_{i=1}^m a_i y_{t-i}, \quad \sum_{i=1}^m a_i = 1, \quad a_i \geq 0, \quad t = m+1, m+2, \dots \quad (2.1)$$

где z_t – модулируемое значение показателя в момент t ;

a_i – i -й весовой коэффициент.

«Если в исследуемом процессе присутствуют сильные помехи в виде выбросов, можно перейти к нелинейной, например, медианной фильтрации» [51].

$$z_k^{LD} = \text{med}\{Y_k - m, \dots, Y_k - 1\} \quad (2.2)$$

«Однако эти методы имеют недостаток: они плохо работают при быстрых изменениях в динамике процесса. Тем не менее скользящее среднее может стать весьма полезным инструментом, если прогнозируемый процесс достаточно плавный и предварительный анализ уже был реализован» [51].

В ответ на представленный недостаток были разработаны методы, которые его учитывают, такие как адаптивное сглаживание и экстраполяционное моделирование.

– «Адаптивное сглаживание — это метод, который реализует формирование самокорректирующейся модели, которая учитывает результаты предыдущих прогнозов. Данный метод может использоваться для осуществления краткосрочных прогнозов для аграрного сектора, так как имеет явную периодичность» [51].

Экспоненциальное сглаживание — простейший пример адаптивного сглаживания:

$$z_t = \alpha y_t + (1 - \alpha) z_{t-1}, \quad 0 < \alpha < 1 \quad (2.3)$$

где α — параметр сглаживания, который управляет реакцией модели на изменения в динамике, фильтруя при этом случайные отклонения [52].

«Одной из главных проблем при использовании адаптивного сглаживания является его неоднозначность и сложности с формализацией при выборе вида и параметров модели» [52]. Выход основывается в значительной степени зависит от эмпирических данных.

– Экстраполяционная модель (структурно-детерминированный ряд) представлена в следующем виде [53]:

$$y_t = z_t + \varepsilon_t \quad (2.4)$$

где $z_t = f(t)$ — тренд временного ряда;

ε_t — случайная составляющая.

К преимуществам таких моделей стоит отнести:

- возможность качественного описания тенденции процесса;
- модель является сложной и детальной, поэтому дает хорошее объяснение;
- при достаточном объеме данных для «реализации регрессионного анализа, возможно формирование модели, способной адекватно описать процесс» [52].

Недостатки экстраполяционных моделей:

- «отсутствие формализованной процедуры выбора наилучшей модели. Нужно задать форму трендовой модели, исходя из общих закономерностей прогнозируемого процесса или использовать различные методы обнаружения зависимостей;
- случайная составляющая без глубокого смысла;
- неустойчивость оценок параметров в условиях нестабильности случайной составляющей;
- не предполагается вероятная связь исследуемого показателя с другими показателями» [54-57].

– Аналогии и симптоматический подходы используются при составлении прогнозов урожайности через сравнение показателей передовых хозяйств или регионов, находящихся в одинаковых природно-экономических условиях.

– Экспертные оценки используются для прогнозирования урожая с учётом таких параметров, как влагообеспеченность культур, состояние колосющихся полей и количество культур и пр.

Для выбора наиболее подходящего метода или модели прогнозирования, позволяющих формировать прогнозы с минимальной разницей между фактической и прогнозируемой урожайностью, используются критерии оценки точности и качества прогноза. Точность прогноза выявляется уровнем ошибки, а конкретнее величиной отклонения, которая фиксируется разницей между реальным и предсказанным значениями урожайности. Оценка точности прогноза может применяться, когда есть данные о реальной урожайности. Однако, величина ошибок ретроспективного прогноза не позволяет делать окончательное заключение о правильности используемого метода прогнозирования. В то же время она даёт наглядное представление и является теоретически надёжным критерием [58].

Моделирование гидрометеорологических параметров для формирования прогноза

Для осуществления прогнозирования урожайности в агропромышленном комплексе необходимо отметить влияние природно-климатических условий, а также то, что система земледелия крайне нуждается в оптимальном сочетании различных инструментов мониторинга и управления, которые оказывают благотворное влияние на урожайность культур при корректной эксплуатации.

Очень важно обеспечить правильное сочетание агротехнических приемов в процессе возделывания зерновых, к которым относятся: метод основной обработки почвы, а также внесение органических и минеральных удобрений [47, 59]. Также требуется правильно

поставить акцент на осуществлении мониторинга и управления развитием культуры, условий вегетации, выявлении сроков созревания и приемлемых сроков начала уборки, осуществлении экономического анализа при минимальном и максимальном уровнях урожайности культуры при заданных параметрах окружающей среды и показателей состояния почвы.

Ориентируясь на полученный прогноз урожайности по конкретным объектам агропромышленного комплекса формируется решение о дифференцированной обработке поля. Также есть возможность провести анализ возможных потерь на основании показателей потенциального урожая на территориях с низкими показателями урожайности.

2.2 Разработка модели прогнозирования эвапотранспирации на территориях агропромышленного комплекса

Для расчета параметра суммарного испарения влаги из почвы и с поверхности растительности стоит учитывать процесс эвапотранспирации, который аккумулирует сочетание двух отдельных процессов, в результате которых почва теряет воду посредством испарения, а растения благодаря транспирации – ET [60–63]. «Эвапотранспирация – это суммарная потеря влаги из почвы за счет испарения с поверхности почвы, а также за счет транспирации с листьев растений, растущих на ней» [63].

Для того чтобы молекула воды перешла из одного состояния в другое, ей требуется конкретное количество энергии. Данная энергия может быть получена посредством воздействия прямой солнечной радиации и температуры воздуха. Следует добавить, что при детальном исследовании испарения были выявлены основополагающие природные параметры, которые оказывают глобальное влияние на этот процесс (рис.23):



Рисунок 23 – Природные факторы влияющие на процесс испарения влаги

Необходимо отметить, что на процесс испарения воды с поверхности почвы влияют такие факторы, как «степень затененности кронами растений, количество воды на испаряющей поверхности» [63] и прочие факторы. На увлажнение поверхности почвы влияют регулярные дожди, орошение, поступление воды от близко залегающих грунтовых вод. Если почва обеспечивает наличие воды для процесса испарения, то оно представляется исключительно гидрометеорологическими факторами. Тем не менее если интервал между дождями либо орошением приближается к серьезной отметке, в результате чего почва не успевает предоставлять воду для испарения, уровень ее влажности снижается, поверхность почвы высыхает. В описанных условиях наличие воды регулирует испарение с почвы. При недостатке притока воды к поверхности почвенного покрова испарение быстро снижается и может полностью закончиться в течение нескольких дней.

Транспирация включает два этапа: превращение воды, расположенной в тканях растений, в пар, а также перемещение пара в атмосферу. Следует подчеркнуть, что вода, полученная корнями из почвы, тратится на транспирацию и только малая часть остается внутри растения.

В результате определения транспирации следует учитывать следующие факторы: «радиация, температура воздуха, влажность воздуха и параметры ветра» [63]. На скорость транспирации оказывают влияние экологические аспекты растений, а также практика земледелия. Поэтому различные виды растений имеют различную транспирацию. Для оценки транспирации необходимо учитывать тип растения, его развитие, окружение и управление.

Процессы испарения и транспирации зачастую протекают одновременно и трудно их распознать. Помимо присутствия воды в почвенном покрове, для территории, которая покрыта растительностью необходима доля солнечной радиации. «Необходимо учитывать, что эта доля снижается в вегетационный период, так как кроны растений затеняют значительную площадь» [63]. В период когда культура небольшая, вода зачастую тратится на испарения с почвы, далее в процессе роста растения покрывают практически всю площадь и транспирация начинает доминировать. На рисунке 24 отражена зависимость суммарной потери влаги из почвы и листьев от площади, которую покрывает листва.

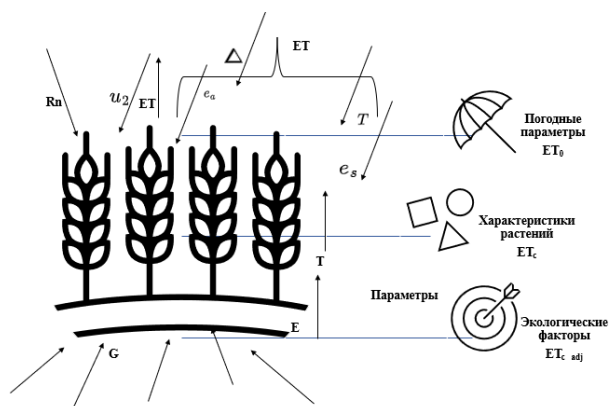


Рисунок 24 – Факторы, влияющие на эвапотранспирацию, с учетом соответствующих концепций ET

Факторы, отмеченные на данном рисунке, такие как: метеопараметры (солнечная радиация, среднесуточная температура воздуха, влажность и скорость ветра), показатели сельскохозяйственных культур (сорт культуры, изменчивость и этапы развития), нюансы управления и экологии (засоленность почвенного покрова, скудное использование удобрений, присутствие тяжелых или непроницаемых горизонтов, отсутствие отслеживания и контроля заболеваний растений и т. д.) - оказывают глобальное влияние на испарение и транспирацию. Необходимо добавить, что если в результате посева эвапотранспирация 100% идет посредством испарения, при полноценном росте растений почти 100 % ET реализуется через транспирацию (рис.25).

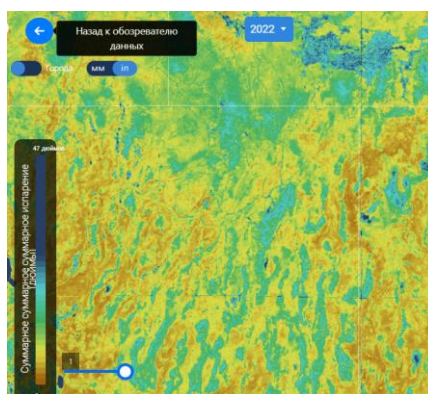


Рисунок 25 – Интерфейс OpenET «Спутниковое отображение показателя эвапотранспирации на выбранной территории»

В сфере «расчетных методов эвапотранспирации популярен метод Пенмана-Монтейта, который утвержден как стандарт оценки эвапотранспирации по климатическим данным FAO 56» [61–63].

«Эталонная эвапотранспирация по модели FAO 56 Пенмана-Монтейна представлена следующим уравнением, которое было выведено из уравнений аэродинамики и сопротивления растительности» [63]:

$$ET_0 = \frac{0,408 * \Delta(R_n - G) + y \frac{900}{T+273} u_2(e_s - e_a)}{\Delta + y(1 + 0,34 * u_2)} \quad (2.5)$$

где ET_0 – эталонная эвапотранспирация;

R_n – чистая радиация на культуре;

G – плотность теплового потока почвы;

T – среднесуточная температура воздуха на высоте;

u_2 – скорость ветра на высоте 2 м;

e_s – давление насыщенного пара;

e_a – фактическое давление пара;

$(e_s - e_a)$ – дефицит давления насыщенного пара;

Δ – наклон кривой давления пара;

y – психометрическая постоянная.

«Температура воздуха определяется либо как средняя величина между максимальной и минимальной температурой воздуха за сутки, либо как фактически измеренная средняя величина по часовым наблюдениям метеостанции. Температура воздуха является центральным показателем в уравнении ET_0 , поэтому если данные о температуре воздуха отсутствуют, то ET_0 невозможно рассчитать» [63].

$$T = \frac{T_{max} + T_{min}}{2} \quad (2.6)$$

где T_{max} – максимальная температура;

T_{min} – минимальная температура.

Психометрическая константа:

$$\gamma = \frac{c_p * P}{\varepsilon * \lambda} = 0,66742 * 10^{-3} * P \quad (2.7)$$

где y – психометрическая постоянная;

P – атмосферное давление;

λ – скрытая теплота испарения;

c_p – удельная теплоемкость воздуха при постоянном давлении;

ε – соотношение молекулярной массы водяного пара / сухого воздуха.

«Удельная теплота при постоянном давлении — это количество энергии, необходимое для повышения температуры килограмма воздуха на один градус при постоянном давлении. Его значение зависит от состава воздуха, т. е. от его влажности. В стандартных атмосферных условиях можно использовать значение $c_p = 1,013 \cdot 10^{-3}$ МДж кг⁻¹

°С⁻¹. Поскольку для каждой местности используется среднее атмосферное давление, психометрическая постоянная остается постоянной для каждого места» [63].

Атмосферное давление (P) рассчитывается с учетом высоты точки измерения над уровнем моря:

$$P = 101.3 \left(\frac{293 - 0.0065 * z}{293} \right)^{5.26} \quad (2.8)$$

где z – высота над уровнем моря.

«Параметр скрытой теплоты испарения зависит от температуры. Ввиду того, что λ изменяется незначительно в пределах обычных температурных диапазонов, в расчетах используется значение 2,45 МДж кг⁻¹. Это соответствует процедуре расчета по уравнению ФАО Пенмана-Монтейна 56. Фиксированное значение λ представляет собой теплоту испарения при температуре воздуха около 20 °С» [63].

Наклон кривой зависимости насыщения водяного пара от температуры воздуха определяется следующим образом:

$$\Delta = \frac{2503 \exp\left(\frac{17.27T}{T+237.3}\right)}{(T+237.3)^2} \quad (2.9)$$

«Для суточного периода давление насыщения водяного пара вычисляется на основе максимальной и минимальной температур воздуха» [63]:

$$e_s = \frac{e_0(T_{max}) + e_0(T_{min})}{2} \quad (2.10)$$

где $e_0(T)$ – функция давления насыщения, кПа.

«Водяной пар является газом и его давление является вкладом в атмосферное давление. Количество воды в воздухе напрямую относится к парциальному давлению, вызванному водяным паром в воздухе и является прямой мерой содержания влаги в воздухе» [63].

Давление насыщенного пара определяется как функция от температуры воздуха:

$$e_0(T) = 0.6108 * \exp\left(\frac{17.27 * T}{T + 237.3}\right) \quad (2.11)$$

где T – температура воздуха.

Формула (давление насыщенного пара) применяется для оценки параметров модели (ET_0).

Упругость водяного пара (e_a , кПа) может быть рассчитана за сутки на основе давления насыщения с учетом максимальной (RH_{max} , %) и минимальной (RH_{min} , %) влажности воздуха:

$$ea = \frac{e0(Tmax) \frac{RHmax}{100} + e0(Tmin) \frac{RHmin}{100}}{100} \quad (2.12)$$

«Относительная влажность показывает степень насыщения воздуха как отношение фактического давления пара к давлению насыщенного пара при одной и той же температуре» [63]:

$$RH = 100 \frac{ea}{e0(T)} \quad (2.13)$$

«Относительная влажность — это величина, показывающая отношение количества воды в воздухе (в виде водяного пара) при определенной температуре. Эта величина не имеет размерности и обычно выражается в процентах. В течение суток давление пара в воздухе может оставаться примерно одинаковым, в то время как относительная влажность меняется: она максимальна на рассвете и минимальна в полдень. Эти изменения обусловлены тем фактом, что давление насыщенного пара, при котором воздух уже не может удерживать большее количество влаги, зависит от температуры воздуха. А так как температура в течение суток меняется, то и относительная влажность также претерпевает значительные изменения» [63].

«Если данные о влажности недоступны или их качество неудовлетворительно, можно использовать допущение, что температура росы (температура, при которой воздух уже не может содержать большее количество водяного пара) близка к минимальной температуре за сутки» [63]. Такое допущение подразумевает, что на рассвете, когда воздух наиболее охлажден (температура близка к T_{min}), он максимально насыщен влагой, а относительная влажность составляет около 100%. Если T_{min} используется в качестве температуры росы (T_{dew}), то:

$$ea = e0(Tmin) = 0,611 \exp\left[\frac{17,27Tmin}{Tmin + 237,3}\right] \quad (2.14)$$

Процесс испарения воды зависит от множества факторов, включая скорость ветра и турбулентность воздуха. Воздух, наполненный водяным паром, который образуется в результате испарения, теряет со временем свою способность удерживать влагу. Если влажный воздух не сменяется сухим, сила, вызывающая испарение и удаление водяного пара, снижается.

В таких условиях в воздухе накапливается большое количество водяных паров до тех пор, пока ветер не позволит им испариться с поверхности. «С другой стороны, во время влажной погоды высокая влажность воздуха в сочетании с облачностью снижает скорость испарения» [63].

«Скорость испарения высока в жаркую и сухую погоду благодаря сухости воздуха и воздействию прямой солнечной радиации и тепла» [63] (таблица 4).

Таблица 4 – Зависимость параметра эвапотранспирации от средней дневной температуры в регионах

Область	Средняя температура воздуха в дневное время суток		
	≈10°C	≈20°C	> 30°C
Тропики и субтропики			
- гумидный и полу-гумидный	2–3	3–5	5–7
- аридные и полу-аридные	2–4	4–6	6–8
Умеренный регион			
- гумидный и полу-гумидный	1–2	2–4	4–7
- аридные и полу-аридные	1–3	4–7	6–9

«Скорость ветра, измеряемая на разной высоте, отличается. Трение о земную поверхность снижает скорость ветра у земли. Поэтому анемометры обычно устанавливаются на стандартной высоте - 10 метров для метеостанций и 2–3 метра для агрометеостанций. Для измерения испарения и транспирации нужно знать скорость ветра на высоте двух метров от земной поверхности» [63]. Если скорость ветра была измерена на другой высоте, мы можем использовать логарифмическое уравнение для коррекции значений. Эта формула подходит для местности с невысокой растительностью:

$$u_2 = u_z \frac{4,87}{\ln(67,8z - 5,42)} \quad (2.15)$$

где u_2 – скорость ветра на высоте 2 м над поверхностью земли [м с^{-1}];

u_z – скорость ветра, измеренная на высоте z над поверхностью земли [м с^{-1}];

z – высота измерений [м].

«Чистая радиация (R_n) — это разница между приходящей и исходящей чистой коротковолновой радиацией (R_{ns}) и исходящей чистой длинноволновой радиацией» [63] (R_{nl}):

$$R_n = R_{ns} - R_{nl} \quad (2.16)$$

2.2.1 Результаты численного моделирования эвапотранспирации на территории агропромышленного комплекса

Необходимо произвести расчет показателя эвапотранспирации на территориях Ростовской области в следующих районах: Азовский, Дубовский, Зерноградский. На основании произведенного расчета показателя суммарной потери влаги из почвы и листьев можно построить прогностическую модель объектов агропромышленного комплекса для определения периода засух и переувлажнения почвы.

$$ET_t = \frac{0.408\Delta_t(R_{nt} - G_t) + y_t \frac{900}{T_t + 273} u_{2t}(e_{st} - e_{at})}{\Delta_t + y_t(1 + 0.34u_{2t})} \quad (2.17)$$

Для этого требуются следующие гидрометеорологические данные:

где ET_t – прогнозируемая суммарная потеря влаги из почвы и листьев;

R_{nt} – чистая радиация на культуре;

G_t – плотность теплового потока почвы;

y_t – психометрическая постоянная;

T_t – среднесуточная температура воздуха на высоте;

u_{2t} – скорость ветра на высоте 2 м;

$e_{st} - e_{at}$ – дефицит давления насыщенного пара;

Δ_t – наклон кривой давления пара.

Построим график зависимости эвапотранспирации от гидрометеорологических условий в соответствии с временными показателями (временным рядом).

В ходе научных исследований была реализована модель для расчета суммарного показателя потери влаги из почвы и листьев на основе гидрометеорологических данных, которые описывают состояние окружающей среды и могут быть учтены при использовании цифрового двойника агропромышленного комплекса [62–64], реализованная в мобильном приложении для Android в среде разработки Android studio на языке программирования Kotlin. Модуль расчета эвапотранспирации представлен в Приложении Б.

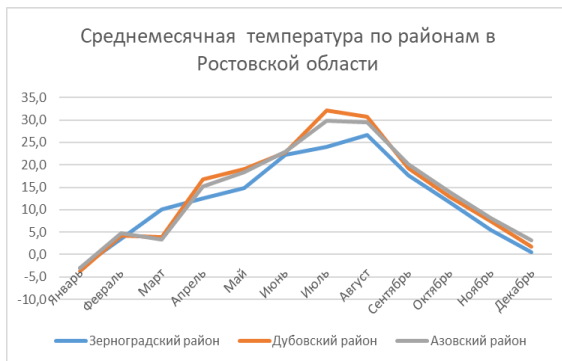
Апробация модели проводилась на гидрометеорологических данных Азовского, Дубовского и Зерноградского районов Ростовской области (рис.26). Результаты исследования дают возможность определить зависимости, которые показывают влияние погодных условий на показатель суммарной потери влаги из почвы и листьев, наблюдаемый на сельскохозяйственных культурах [65].



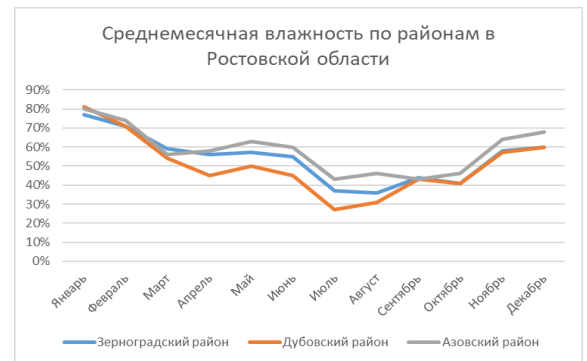
Рисунок 26 – Изменение показателя суммарной потери влаги из почвы и листьев под влиянием погодных условий

На рисунках 27 (а, б, в) продемонстрированы графики среднемесячных температур, уровня влажности воздуха и среднегодового количества солнечных часов для исследуемых районов Ростовской области, что подтверждает успешность применения предложенной модели для расчёта и последующего прогнозирования показателя суммарной потери влаги из почвы и листьев.

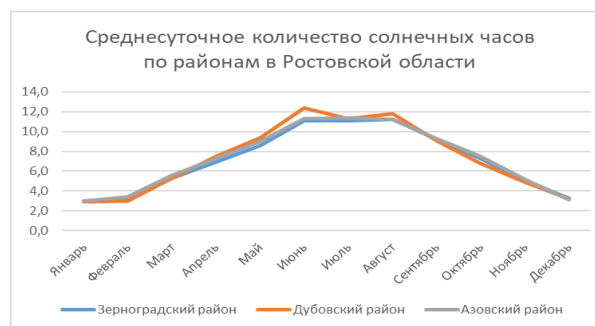
Результаты, полученные в ходе исследования районов Ростовской области, демонстрируют увеличение общего испарения влаги из почвы и с поверхности растений с ростом температуры, снижением влажности и повышением солнечной активности.



(а)



(б)



(в)

Рисунок 27 – Среднемесячная температура по районам в Ростовской области за календарный год (а), среднемесячная влажность воздуха по районам в Ростовской области за календарный год (б), Среднесуточное количество солнечных часов по районам в Ростовской области за календарный год (в)

Реализованное моделирование позволяет получить статистические данные, на основе которых можно построить графики, демонстрирующие зависимость уровня испарения от гидрометеорологических условий на данной культуре. Эталонное испарение служит стандартом, с которым можно сравнивать испарение в разные сезоны года или сравнивать испарение на разных культурах.

Разработка прогностической модели

Для разработки прогноза суммарной потери влаги из почвы и листьев будем использовать стандартную для гидрометеорологических рядов структуру, разложив ряд на три составляющие: тренд, циклические колебания (сезонность) и автокорреляционную функцию.

Первоначально представим гидрометеорологический ряд и определим наличие значимого тренда (рис.28). По t -критерию Стьюдента линейный тренд значим при уровне значимости 5% и из ряда его нужно удалить.

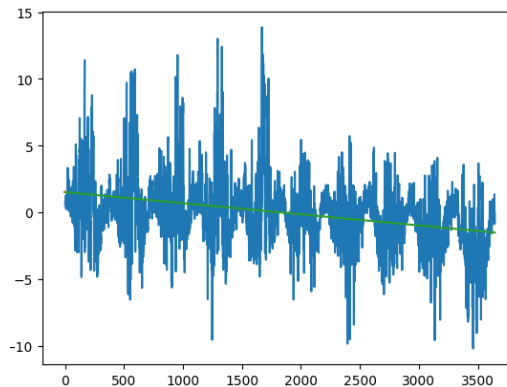


Рисунок 28 – Временной ряд эвапотранспирации с линейным трендом $y = -0.0007t + 7.71$

Удалив тренд, перейдем к выявлению сезонности (оценке гармонических колебаний). Построим периодограмму (рис.29) и определим гармоники с наиболее значимым вкладом в общую дисперсию ряда. Гармоники на периодограмме выше линии уровня значимости 5% значимы по t -критерию Стьюдента.

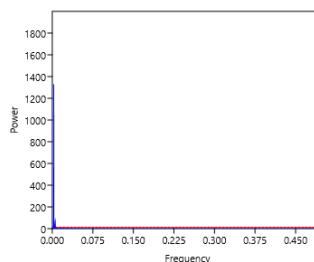


Рисунок 29 – Периодограмма для определения гармоник со значимым вкладом. Далее построен совмещенный график исходного ряда и суммы значимых гармоник (рис.30), из ряда гармоники были удалены.

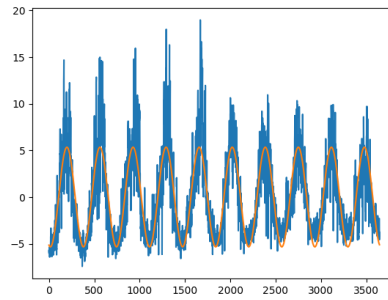


Рисунок 30 – Временной ряд и сумма гармоник

На следующем этапе рассчитана автокорреляционная функция (рис.31) и авторегрессия 1-го порядка.

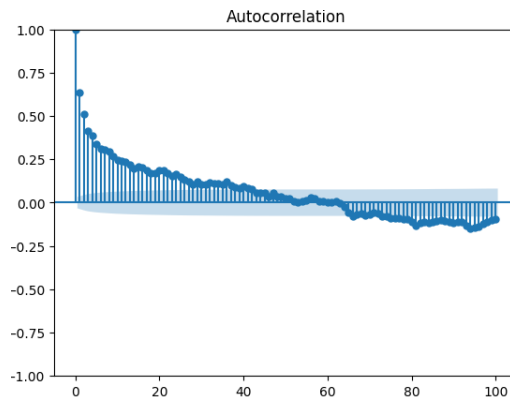


Рисунок 31 – Автокорреляционная функция

Радиус корреляции составляет 50 дней, что говорит об инерционности процесса. Видимая периодичность АКФ отсутствует, но можно предположить, что при увеличении числа сдвигов может присутствовать. Тип процесса – простая цепь Маркова, значит можем выполнить прогноз с заблаговременностью от 1 до 40 дней. Выберем наибольший коэффициент корреляции отличный от 0, следовательно заблаговременность 1 день. Авторегрессия 1 порядка с заблаговременностью 1 день (рис.32). Модель имеет вид:

$$Y_{i+1} = 0.63X_i + 1.82E-05$$

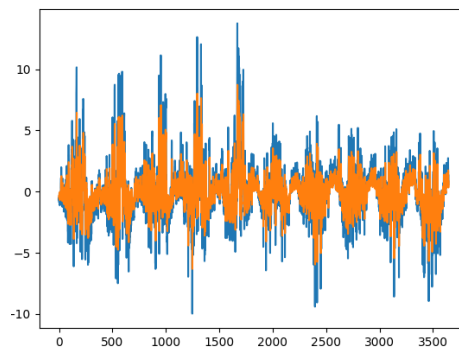


Рисунок 32 – Фактические и прогностические данные с заблаговременностью 1 день

Оценка модели показала, что по t -критерию Стьюдента зависимый коэффициент значим при уровне значимости 5%, коэффициент детерминации составляет 0.4, по

критерию Фишера при уровне значимости 5% модель адекватна исходным данным, ошибка модели не превышает стандартное отклонение исходного ряда.

Прогноз с заблаговременностью в 4 дня. Модель имеет вид (рис.33):

$$Y_{i+4}=0.38X_i+0,0006$$

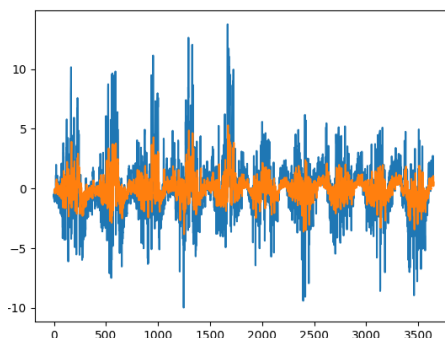


Рисунок 33 – Фактические и прогностические данные с заблаговременностью 4 дня
 Оценка модели показала, что по t -критерию Стьюдента зависимый коэффициент значим при уровне значимости 5%, коэффициент детерминации составляет 0.15, по критерию Фишера при уровне значимости 5% модель адекватна исходным данным, ошибка модели не превышает стандартное отклонение исходного ряда. Модель можно использовать для прогнозирования. Однако стоит отметить, что экстремальные значения (выбросы) модель прогнозирует плохо.

Выводы: данная модель может использоваться в геоинформационных системах цифровых двойников для прогнозирования на основе введенных данных или для отслеживания состояния сельскохозяйственных культур путем получения непрерывного потока данных с сенсорных устройств и помощи в принятии решений по уходу за культурами.

Имея данные о показателях эвапотранспирации на конкретных территориях аграрного сектора ЛПР сможет корректно и точно рассчитывать потребности зерновых культур в воде и лучше планировать орошение. Это делает эвапотранспирацию важным показателем для ЛПР и других управляющих водными ресурсами, особенно это важно на территориях, где регулярно фиксируются засухи, где большая часть воды, используемой людьми, идет на орошение культур и производство продуктов питания.

Помимо помощи ЛПР также может позволить сельским сообществам и управляющим водными ресурсами разрабатывать программы по сохранению водных ресурсов, торговле и другим инновационным программам для создания более устойчивых систем водоснабжения.

В засушливых регионах Российской Федерации, переживающих сейчас рекордную засуху, точное измерение эвапотранспирации имеет решающее значение для управления скудными запасами воды [66].

2.3 Разработка модели распределения датчиков на территориях агропромышленного комплекса для сбора и мониторинга гидрометеорологических параметров

Каждое сельскохозяйственное предприятие уникально: оно может отличаться размерами, географическим положением и преобладающими погодными условиями. Поэтому и требования к гидрометеорологическим наблюдениям также могут быть разными. Это делает необходимым индивидуальный подход к размещению датчиков для мониторинга состояния почвы на каждом предприятии.

Гидрометеорологические системы сбора информации для измерения климатических показателей

В настоящее время наблюдается значительный рост внедрения и использования технологии сенсорных датчиков в автоматизации земледелия [67], которые устанавливаются на электронных автоматизированных метеостанциях для измерения показателей почвы с часовым или даже меньшим интервалом, что дает возможность фиксировать ее состав на конкретных объектах и вносить удобрения в соответствии с необходимостью (формирование интеллектуального аграрного производства) [39].

Сенсорные датчики в области растениеводства пользуются колоссальным спросом и привлекают внимание сельхозпроизводителей наравне с основным инструментами в аграрном секторе [68]. На основе зарубежного опыта стоит отметить, что даже малые фермерские угодья площадью в несколько десятков гектар приобретают существенный финансовый эффект от размещения сенсорных датчиков и соответствующего программного обеспечения для обеспечения поддержки принятия решения [39].

На основе полученных данных ЛПР (агрономы) принимают решения какие сельскохозяйственные культуры они будут выращивать в выделенных зонах своего поля, так как одновременно можно эффективно выращивать не одну агрокультуру. Ориентируясь на выявленные показатели можно корректно и грамотно определить способ выращивания и методы ухода за растением.

Наиболее востребованные датчики в агропромышленном производстве – это сенсорные датчики влажности почвы, которые используются для орошения культуры. Зачастую сенсорные датчики подсоединены к облачным сервисам для подачи актуальной информации о текущем состоянии.

При традиционном ручном поливе норма расхода воды определяется заранее и не включает многие текущие показатели, что может привести к избыточной циркуляции воды и как следствие – к эрозии почвы. Системы датчиков влажности могут определить, ориентируясь на тип агрокультуры, фазу роста и прочие показатели, момент при котором почвенный слой увлажнен в соответствии с нормами для избежания переувлажнения почвы, что позволяет уменьшать расход воды. Такие датчики влажности стали необходимым инструментом в агропромышленном комплексе, поскольку характеристики состояния территории носят динамический характер, что подразумевает наличие непрерывной поддержки ЛПР. Динамика оправдывает применение датчиков на разных типах местности и стадиях развития растений, с учетом климатических особенностей, а также для прогнозирования погодных рисков. Вместе со спутниковыми изображениями эти данные дают возможность фермерам быть в курсе всех изменений уровня влажности почвы и вовремя принимать необходимые меры. Любая территория аграрного сектора имеет неоднородный характер, поэтому точность данных, полученных с датчиков уровня влажности почвы, напрямую зависит от их количества [69 – 71].

Распределенные на территории агропромышленного комплекса на десятки квадратных километров сенсорные датчики влажности почвы непрерывно передают по выделенным радиоканалам информацию о состоянии конкретной территории, а именно следующие параметры (рис.34):

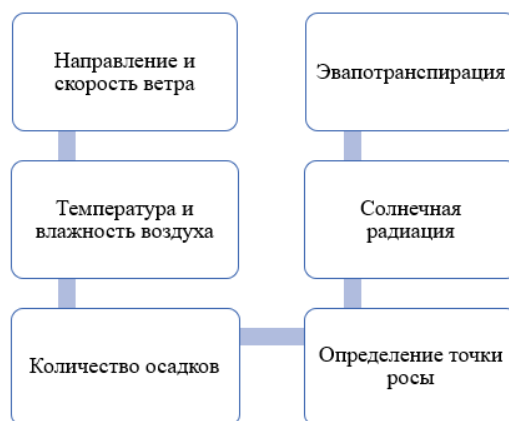


Рисунок 34 – Показатели состояния поля, собираемые сенсорными датчиками

Таким образом, если мы выполним компьютерные расчеты по уравнению Пенмана-Монтейта, которое было описано в предыдущем разделе, и используем полученные данные

о состоянии конкретного поля - в частности, данные об испарении и транспирации - с часовым интервалом, мы можем получить достаточно точные результаты.

Для максимально корректного формирования показателей состояния территории агропромышленного комплекса необходимо учитывать определение контрольных точек по установке сенсорных датчиков, что позволит, ориентируясь на неоднородности типа почвы, рельеф, освещенность территории и прочие показатели собрать достоверные сведения для последующего выращивания агрокультуры. Для этого необходимо посредством осуществления математических расчетов определить точки распределения датчиков на конкретной территории аграрного сектора.

Распределение датчиков для сбора гидрометеорологических параметров на территории агропромышленного комплекса

Определение оптимального расположения датчиков может быть выполнено с помощью имитационного моделирования. Развитие и непрерывное улучшение теории численных методов применительно к задачам со случайными факторами или полностью случайным процессам, известных как метод Монте-Карло, даёт возможность разделять задачи на небольшие и использовать вероятностные и статистические методы для решения практических вопросов.

Важно отметить, что «имитационное моделирование можно классифицировать на два вида: имитационно-вероятностное и имитационно-компьютерное моделирование» [72].

Имитация случайного процесса выполняется, если он аналогичен реальному процессу или событию, которое он описывает. «Создание вероятностной модели, применение метода Монте-Карло для «имитации» и его расчет на компьютере для определения характеристик и параметров исследуемого реального явления называют вероятностно-имитационным моделированием. В имитационно-стохастических моделях случайность и непредсказуемость связаны с событиями и процессами без внешних воздействий» [72]. В итоге объект описывается с помощью определенного алгоритма, который отражает структуру и функции объекта с учетом фактора времени и влияния случайных переменных для конкретной модели.

«Рассматривая имитационно-компьютерные модели стоит отметить, что случайность связана непосредственно с субъектом моделирования. В этой роли субъект может быть представлен как программа или комплекс программ, либо определенная среда разработки или моделирования, принимая во внимание ситуации со случайным исходом, которые отслеживаются самим субъектом» [72]. «Однако каждый субъект может фиксировать отличный компонент случайности. К представленному типу имитационно-

компьютерного моделирования относятся компьютерные модели и обучающе-контролирующие программы» (рис.35) [73].



Рисунок 35 – Классификация методов Монте-Карло по типу задач

Теория вероятности исследует только те случайные события, которые следуют принципу статистической устойчивости. Этот принцип формирует следующее представление:

«Относительная частота появления какого-либо случайного события в последовательности повторяемых независимым образом в одних и тех же условиях экспериментов приближается к некоторому числу при росте числа экспериментов» [72].

Поэтому данный принцип является общим правилом, в соответствии с которым совокупное влияние случайных факторов при приблизительно аналогичных условиях приводит к результату, не зависящему от случая.

2.3.1 Результаты численного моделирования распределения датчиков на территориях агропромышленного комплекса

Мы можем описать процесс создания контрольных точек для размещения сенсорных датчиков как непрерывную «случайную величину, при условии, что ее функция распределения $F(x)$ является непрерывной, имеет непрерывную производную и является произвольной непрерывной функцией при любом значении x » [72].

«Функция распределения непрерывной случайной величины представляет собой вероятность того, что случайная величина в результате случайного опыта будет иметь значение, меньшее текущего x , и может быть выражена как» [72]:

$$F(x) = P(X \leq x) = \int_{-\infty}^x f(y) dy \quad (2.18)$$

где $f(y)$ – плотность распределения вероятностей непрерывной случайной величины мы можем определить следующим образом

$$f(x) = \frac{dF(x)}{dx} \quad (2.19)$$

Мы можем выразить вероятность того, что наша непрерывная случайная величина попадет в заданный интервал, через плотность распределения как:

$$P(a \leq X \leq b) = \int_a^b f(x) dx \quad (2.20)$$

Свойства плотности распределения выглядят следующим образом:

$$f(x) \geq 0 \quad (2.21)$$

$$\int_{-\infty}^{+\infty} f(x) dx = 1 \quad (2.22)$$

«Закон и плотность равномерного распределения вероятностей непрерывной случайной величины в интервале $[a, b]$ могут быть выражены следующим образом» [72]:

$$F(x) = \begin{cases} 0 & \text{при } x \leq a \\ \frac{x}{b-a} & \text{при } a < x \leq b \\ 0 & \text{при } x > b \end{cases} \quad f(x) = \begin{cases} 0 & \text{при } x \leq a \\ \frac{1}{b-a} & \text{при } a < x \leq b \\ 0 & \text{при } x > b \end{cases} \quad (2.23)$$

В нашем случае при определении расположения случайным образом контрольных точек в виде сенсорных датчиков на территории аграрного сектора требуется использование геометрического алгоритма Монте-Карло, который сфокусирован на определении площади посредством стохастического алгоритма (рис.36), где:

- ограничим функцию прямоугольником S_{par} ,
- разместим на данный прямоугольник (территория аграрного сектора) точки N , являющиеся контрольными точками по установке сенсорных датчиков, координаты которых будем выбирать случайным образом;
- определим число точек (K штук), которые попадут под график функции;
- площадь представленной области, которая ограничена функцией и осями координат, представлено выражением [73]:

Распределение сенсорных датчиков в мобильном приложении для Android в среде разработки Android studio на языке программирования Kotlin, с использованием геометрического алгоритма Монте-Карло, представлено на рисунке 37.

$$S = S_{par} \frac{K}{N} \quad (2.24)$$

Наименование		S
Поле 1	га	м2
Азовский район	14500	145000000
Тип 1 (датчик) КаироBase	3 км	28260000
Тип 2 (датчик) Thetaprobe	1 км	3140000
Тип 3 (датчик) Стриж	40 км	5024000000
Тип 4 (датчик) SigFox	50 км	7850000000
Тип 5 (датчик) Dragino LSE01	45 км	6358500000

Наименование		S
Поле 2	га	м2
Дубовский район	1 200	12000000
Тип 1 (датчик) КаироBase	3 км	28260000
Тип 2 (датчик) Thetaprobe	1 км	3140000
Тип 3 (датчик) Стриж	40 км	5024000000
Тип 4 (датчик) SigFox	50 км	7850000000
Тип 5 (датчик) Dragino LSE01	45 км	6358500000

Наименование		S
Поле 3	га	м2
Зерноградский район	601 га	6010000
Тип 1 (датчик) КаироBase	3 км	28260000
Тип 2 (датчик) Thetaprobe	1 км	3140000
Тип 3 (датчик) Стриж	40 км	5024000000
Тип 4 (датчик) SigFox	50 км	7850000000
Тип 5 (датчик) Dragino LSE01	45 км	6358500000

(в)

Рисунок 36 – Наименование типов сенсорных датчик с площадью покрытия



Рисунок 37 (а, б, в) – Распределение сенсорных датчиков КаироBase на объектах в Азовском районе

2.4 Модель оценки вероятности и математического ожидания времени наступления опасного явления на примере динамических объектов агропромышленного комплекса

Процессы, оказывающие влияние на изменение климатических условий и ухудшение состояния окружающей среды, находятся в центре внимания мирового сообщества и, безусловно, являются самой масштабной проблемой текущего столетия. «На 27-й Международной конференции ООН по климату (ноябрь 2022 года) мировые главы стран, а также представители международных организаций озвучили проблему борьбы с изменениями климата как первоочередную задачу, которую необходимо решить для выживания всего человечества» [74]. Риски, сопряженные с климатическими переменами, по вероятности наступления и ожидаемому объему ущерба описываются как беспрецедентные и представляют угрозу для благополучия всех жителей планеты.

За последние несколько десятилетий скорость климатических изменений существенно возросла из-за антропогенного влияния, главным образом из-за выбросов парниковых газов.

«По данным Всемирной метеорологической организации, минувшие восемь лет были самыми жаркими с начала метеонаблюдений. Наблюдаемое изменение климатических условий вызвало увеличение частоты, интенсивности и географии природных катаклизмов и стихийных бедствий» [74]. Основываясь на данных Росгидромета, температура на территории Российской Федерации в XXI веке повышается значительно выше показателя среднего глобального потепления (рис.38).

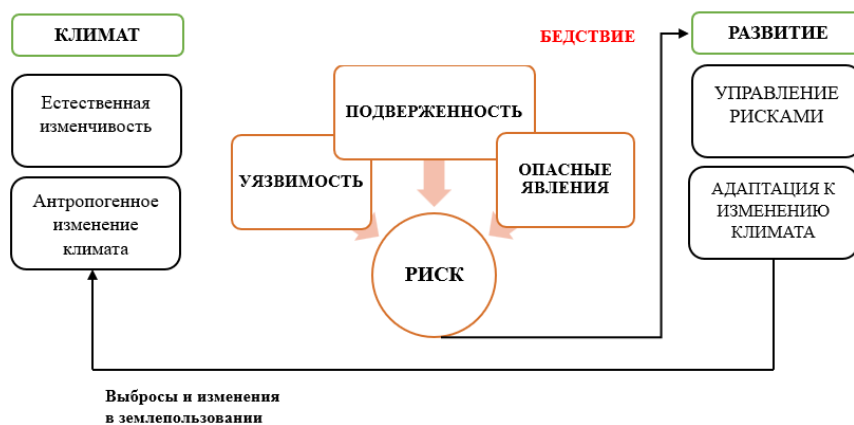


Рисунок 38 – Концепция по управлению климатическим риском

«Физические риски могут выражаться посредством опасных природных явлений в краткосрочном периоде или накопленных климатических трансформаций

в долгосрочном периоде» [72]. Площадь лесных пожаров в России стремительно увеличивается. За последние 12 лет этот показатель вырос втрое. Кроме того, наблюдается рост интенсивности засух и масштабов наводнений [73, 74].

Обеспечение продовольственной безопасности зернового комплекса Российской Федерации

«Основная роль производства зерновых культур заключается в обеспечении продовольственной безопасности и строится на основе технологических возможностей создания резервов и запасов зерна, которые рассчитаны для гарантированного снабжения населения, при этом ориентируясь на агроклиматические и географические особенности страны. Основными показателями, описывающие положение агропромышленного комплекса Российской Федерации по итогам 2018 г., является валовый сбор зерновых и зернобобовых культур» (рис.39) [74],

Валовый сбор сельскохозяйственных культур на территории Российской Федерации, %

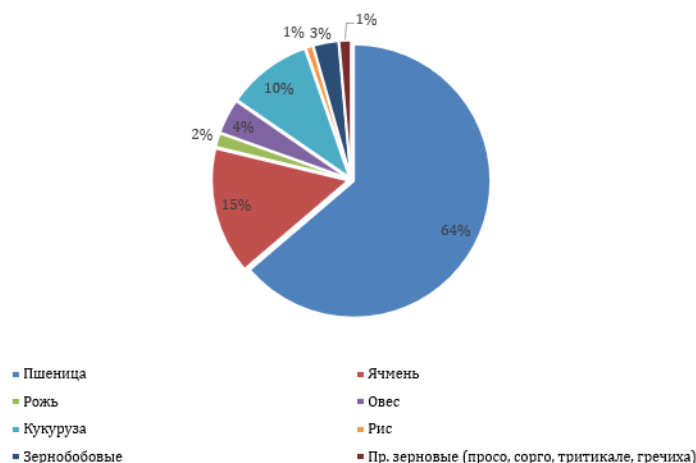


Рисунок 39 – Общие сборы зерновых и зернобобовых культур а также такие показатели как:

- «территория посевов аграрных культур – 46.3 млн гектаров;
- средняя урожайность аграрных культур – 25.4 центнера с гектара;
- объем внутреннего использования зерна – 77.1 млн тонн;
- объем культур – 56.2 млн тонн, из которых зерновых культур - 54.9 млн тонн;
- объем экспорта переработанного зерна – 1.7 млн тонн;
- эффективность морских портов – 53.2 млн тонн зерна;
- объем перевалки зерна в морских портах – 48.1 млн тонн;
- хранилища зерновых культур имеют вместимость 156.9 млн тонн;
- запасы зерна в Федеральном интервенционном фонде сельскохозяйственной продукции составляют 4 млн тонн на начало года и 3 млн тонн на конец года» [74].

«Основная территория Российской Федерации расположена в зоне субарктического и умеренного климатических поясов, где около 35% площади страны находится в умеренном поясе, для которого характерно преобладание тепла, которое позволяет выращивать зерновые и зернобобовые культуры. При этом большая территория пашни расположена в зоне рискованного земледелия с малоплодородными песчаными, тяжелосуглинистыми, заболоченными почвами, которые нуждаются в использовании больших объемов минеральных удобрений и проведении известкования. На этих территориях характерно возвращение холодов, а также засуха или переувлажнение почв» [74].

Проблемы, препятствующие развитию агропромышленного комплекса

Текущее положение агропромышленного комплекса Российской Федерации дает возможность сделать вывод, что необходимо наращивать потенциал производства зерновых культур посредством использования экстенсивных и интенсивных методов. Стоит отметить, что производство комбикормов и интенсивное формирование комплекса по переработки зерновых культур, которое ориентировано на производство товаров с высокой добавленной стоимостью, будет удовлетворять спросу на продукцию, несмотря на его постоянный рост. *Существенными проблемами формирования и развития аграрного сектора являются:*

– увеличивающаяся конкуренция на международном рынке агропромышленного комплекса продуктов переработки зерновых культур, включая растущую взаимосвязь производства и экономических составляющих аграрного сектора от ситуации на мировом рынке;

– «глобальное воздействие природно-климатических показателей (среднегодовая температура, уровень осадков и коэффициент увлажнения) на урожайность сельскохозяйственных культур» [74];

– «непостоянство фитосанитарных характеристик зерна и сельских угодий» [74];

– спад плодородия почв, включая ограниченный вклад различных удобрений;

– нестабильность фитосанитарных характеристик вызвана негативным влиянием природно-климатических факторов и ухудшающейся материально-технической ситуацией в аграрных предприятиях;

– «недостаточное обеспечение производителей зерновых культур сельскохозяйственной техникой и оборудованием, часто из-за их дороговизны» [74];

- высокие и растущие затраты на инфраструктуру и логистику из-за недостаточного развития инфраструктуры аграрного комплекса;
- «низкое развитие механизмов биржевой торговли, клиринговых и других услуг на внутреннем рынке;
- трудности в продвижении отечественного зерна и продуктов его переработки для экспорта;
- недостаточный уровень промышленной переработки зерна;
- низкая коммерциализация достижений селекционно-семеноводческих центров и медленные темпы интеграции отечественных научно-технических разработок;
- отсутствие механизма отслеживания партий зерна от производителя до потребителя, необходимого для мониторинга текущего состояния качества и количества производимого зерна;
- отсутствие контроля за показателями зерновых культур (содержание белка, клейковины и т.д.), которые продаются на рынке. Существующая классификация пшеницы не соответствует требуемым стандартам для формирования характеристик зерна на внутреннем рынке и не отвечает требованиям мировых рынков» [74];
- отсутствие союзов аграрной промышленности, которые занимаются производством на внутреннем рынке, которые превышают показатель в 2/3 «от общего объема производства определенных категорий сельскохозяйственной продукции, сырья и продовольствия и выполняющих конкретные услуги, что урезает участие имеющихся союзов в деятельности по развитию и реализации государственной аграрной политики» [74];
- «недостаток корректных сведений по запасам зерна на определенную дату, которые должны иметь все предприятия, в том числе малые формы ведения хозяйства» [74].

Риски агропромышленного комплекса на территории Российской Федерации

К рискам, влияющим на развитие зернового комплекса выделяют (рис.40):

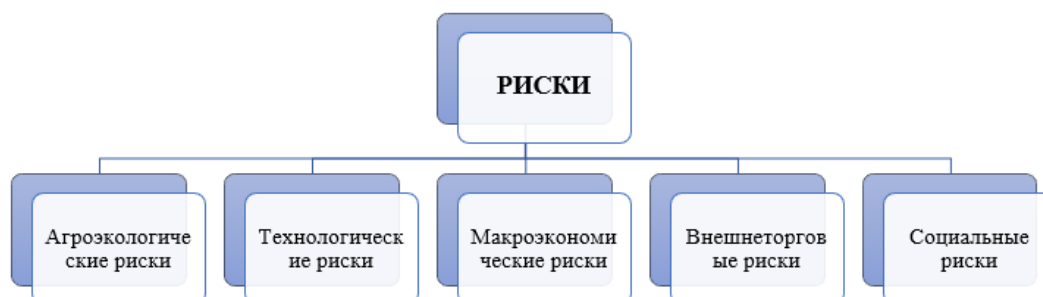


Рисунок 40 – Риски агропромышленного комплекса на территории Российской Федерации

В рамках диссертационной работы были проанализированы агроэкологические, технологические и внешние риски.

Агроэкологические риски. Под воздействием природно-климатических факторов, а также естественных и созданных человеком условий, сельскохозяйственное производство сталкивается с агроэкологическими рисками. Важнейшим агроэкологическим риском для агропромышленного сектора является дестабилизация погодных условий.

При анализе негативных факторов агроэкологических рисков можно выделить рост среднегодовых температур в преобладающих районах основных зернопроизводящих регионов страны «в начале вегетационного периода, что существенно влияет на распространение определенных вредителей зерновых культур» [75].

«Однако нашествие вредителей – не единственная проблема, которая может возникнуть в связи с повышением среднегодовой температуры» [75]. Продолжительные ливни в конце вегетативного периода, которые в последнее время наблюдаются в отдельных регионах, отрицательно влияют на состояние зерновых, вызывают разные заболевания, снижают качество зерна и во время уборочной кампании способствуют формированию неблагоприятных условий в ходе полевых работ и в процессе хранения зерна.

Главной проблемой агропромышленной отрасли является нехватка воды для регулярного полива сельскохозяйственных угодий. Еще одним препятствием является нехватка ресурсов для финансирования значительных вложений в подготовку водоснабжающих систем для территорий агропромышленного сектора.

Негативные климатические изменения приводят к увеличению себестоимости зерна и снижению его производства.

Риск сокращения урожайности может негативно повлиять на логистическую составляющую, обеспечивающие механизмы, перерабатывающую отрасль и экспорт зерновых, а также на состояние продовольственной безопасности, поскольку может вызвать проблемы в условиях ее функционирования.

Вместе с тем следует учесть косвенные признаки, свидетельствующие о появлении агроэкологических угроз: «увеличение импорта сельскохозяйственного сырья и пищевых товаров, снижение загрузки производственных мощностей предприятий агропромышленного сектора, уменьшение или прекращение вывоза продукции» [75].

Для обеспечения безопасного производства и компенсации негативного влияния климатических факторов предполагается: развивать потенциал для расширения территорий, где будут использоваться высокопродуктивные засухоустойчивые семена;

значительно увеличить использование водосберегающих методов орошения и ресурсоэффективных технологий, включая расширение площадей под озимые культуры.

«Распределение и организация аграрных территорий по регионам будет реализовываться на основе режима увлажнения, включая показатели влажности. Необходимо обязательное планирование увеличения применения различных удобрений и средств защиты для культур» [74].

Значения гидротермического коэффициента в ближайшие десять лет будут изменяться в зависимости от региона, начиная с прироста показателя равного +0,06 (Южный и Северо-Кавказский федеральные округа) достигая значения в -0,15 (Уральский федеральный округ).

«Следует добавить, что значение гидротермического коэффициента, составляющее 0,6 и менее, является одним из критериев причисления региона субъекта Российской Федерации к нежелательной для агропромышленного производства товаров» [74].

Снижение уровня влажности почвы в начале и середине сезона вегетации (кроме некоторых регионов Сибирского федерального округа) говорит о негативной динамике в плане обеспечения влагой растений. Важно отметить, что в ближайшее десятилетие увеличится количество дней вегетационного периода при влажности пахотного слоя почвы ниже 10 мм.

В этой связи стоит уделить внимание информационным методам поддержания высокой производительности сельскохозяйственной деятельности, включая применение цифровых технологий.

Технологические риски. Снижение объемов и качества продукции вызвано небольшим показателем технологического обеспечения, часто из-за несоблюдения важных технологических бизнес-процессов в установленные сроки.

«Основные технологические риски в агропромышленном комплексе вызваны вероятной длительной изоляцией отечественного аграрного сектора от передовых практик мирового агропромышленного сектора, в том числе области роботизации ключевых технологических процессов, глобального прогресса технологий ускоренной селекции и выведения новых сортов зерновых культур и т.д.» [74].

На ближайшую перспективу, на основе результатов научно-технического прогресса и частоты возникновения рисков для российской аграрной промышленности, предстоящее развитие генетически модифицированных сортов зерновых культур, в том числе формирование засухоустойчивой кукурузы, а также выход на внешний рынок генетически модифицированной пшеницы, может существенно снизить позиции отечественного производства на международной арене.

Недостаток необходимого финансирования мешает полноценному развитию приборно-инструментальной, «аналитической, технологической и материально-технической баз научно-исследовательских компаний (для переоснащения материально-технического комплекса необходима техника и оборудование на сумму 5.1 млрд рублей, а также оборудование для испытательных лабораторий на 87.1 млн рублей» [74]).

Недостаток полноценного развития инфраструктуры отечественного зернового сектора на период с прогнозом в отличии от стран-конкурентов представляет собой существенный технологический риск.

Нехватка мощностей в процессе формирования материально-технической базы агропромышленных предприятий вызывает причины возникновения порчи оборудования. Важно отметить, что были выявлены несоответствия производственных процессов и оборудования аграрного сектора требованиям стандартов и правил, включая вопросы хранения продукции.

Кроме того, имеющаяся противоречивая документация на производстве требует переработки нормативно-технической базы с учетом актуальных требований.

Технологические риски проявляются в результате производственных и технических преобразований «предприятий зернового сектора, предоставления импортного оборудования, услуг иностранных компаний по обслуживанию и ремонту оборудования» [74].

«Технологические риски могут стать причиной увеличения потерь от возделывания зерновых следующими способами:

- численные потери, выделяющиеся в физическом объеме зерновой продукции, утраченные на определенном этапе жизненного цикла, начиная с уборки зерна и завершая его потреблением;
- лишение положительных характеристик зерна, появляющаяся этапе послеуборочной доработки, хранения, перевалки, транспортировки и переработки» [74].

Для нейтрализации воздействия технологических рисков предлагается реализовывать меры государственной поддержки агропромышленного сектора. Данные меры предусматривают создание материальной и технической основы, обновление нормативно-законодательной базы и гарантию выполнения установленных правил на производстве, в том числе на этапах приемки, сбережения и перевозки зерна, а кроме того других товаров его переработки и культур злаковых растений. «Также планируется совершенствовать законодательство для улучшения государственного мониторинга качества и контроля за зерновыми культурами и продуктами их переработки в контексте закупок для государственных и муниципальных нужд и применения эффективных мер для

предотвращения утраты или порчи показателей зерна и продуктов его переработки в разных условиях технологического процесса» [74].

Внешние риски. Внешние риски включают в себя макроэкономические риски внутри страны и за ее пределами, которые можно классифицировать на национальные и глобальные макроэкономические риски, в том числе внешнеторговые.

«На зерновой сектор и продовольственную безопасность влияют национальные макроэкономические риски» [76]. Данные риски зависят от темпов инфляции, колебаний цен на материально-технические средства, используемые в зерновом секторе, налоговых и тарифных политик, а также государственной поддержки агропромышленного комплекса. Увеличение цен на топливо, минеральные удобрения, технику и оборудование, а также кредитование оказывает значительное влияние на формирование и дальнейшее развитие агропромышленного комплекса.

«Российский рынок напрямую зависит от мировых торговых притеснений, нестабильности курса валют, мировых цен на продукцию сельского хозяйства, включая параметра вовлеченности страны в процессы интеграции» [76-79].

«Сильное влияние на темпы роста зернового комплекса проявляет макроэкономический риск укрепления или ослабления национальной валюты. Исполнение экспортного потенциала с привлечением иностранных инвесторов напрямую зависит от фискальной политики государства» [74].

Анализ климатических особенностей территории Ростовской области и оценка возникновения агроэкологических рисков

Ростовская область расположена в западной части атлантико-континентальной степной зоны умеренного климатического пояса, что обуславливает ее недостаточную увлажненность и особенности климата: жаркое и сухое лето, сравнительно теплую зиму. Эти факторы существенно влияют на экономику региона и определяют некоторые ее характеристики [80]. Безусловно наличие осадков является бесспорным показателем увлажнения почвенного покрова и конечно их количество оказывает непосредственное влияние на уровень увлажненности территории, который характеризуется поверхностным и внутригрунтовым стоком, включая ливневые осадки.

Характерной особенностью Ростовской области является континентальный тип осадков, с максимальным их количеством летом. Длительные периоды высоких температур и небольшого количества осадков могут вызвать засуху, что типично для климата этого региона.

Засуха представляет собой сложное природное явление со значительными региональными аномалиями температур и влажности, включая осадки, влажность почвы и

влажностное содержание. Засушливые периоды характеризуются временным снижением влажности окружающей среды [80].

Засуха как проявление климатической изменчивости классифицируется следующим образом:

- «метеорологические засухи, определяемые главным образом недостатком осадков, сопровождаемые снижением поверхностного стока, увеличением инфильтрации и пополнением грунтовых вод, а также другими явлениями, такими как высокая температура воздуха, низкая относительная влажность, уменьшение облачности, увеличение солнечной радиации. Эти факторы создают условия для увеличения испарения и транспирации воды растениями, то есть для повышения уровня эвапотранспирации. Метеорологическая засуха развивается быстро и заканчивается также быстро» [81].

- сельскохозяйственные засухи вызываются недостатком влаги в почве и приводят к стрессу у сельскохозяйственных культур, снижению урожайности и продуктивности. Для роста растений требуется вода, что зависит от климатических условий региона, биологических особенностей растения, стадии роста и биологических и физиологических характеристик почвы. «Недостаток воды во время посадки может затруднить прорастание семян и уменьшить число всходов, что может привести к снижению урожайности. Если верхний слой почвы обладает достаточным количеством влаги для покрытия потребностей культуры на начальном этапе роста, то дефицит почвенной влаги на этой стадии не окажет влияния на урожайность, если в течение вегетационного периода не возникнет нехватка влаги» [81].

Формирование сельскохозяйственной засухи может существенно различаться по времени по сравнению с началом метеорологических условий, в зависимости от наличия запасов влаги. «Разнообразные факторы способствуют образованию засухи, мешая накоплению влаги в почве - например, в зимний период это может быть нехватка снега, а в период ранней весны - неблагоприятные условия для впитывания талой воды (активное таяние снега, непроницаемая или промерзшая почва, формирование ледяной корки и т.д.)» [81].

Образование засух на территории Российской Федерации по времени наступления классифицируются на весенние, летние и осенние. Возникают ситуации, когда засухи могут длиться несколько месяцев подряд, захватывая два или три сезона. Также принято классифицировать засухи по интенсивности и охвату на очень сильные, сильные, средние и слабые. Максимальный ущерб сельскохозяйственным культурам наносят очень сильные и сильные весенне-летние засухи [77, 78].

– гидрологические засухи проявляются в виде снижения притока воды в реки и другие водоемы, а также уменьшением их уровня, включая запасы грунтовых вод. Это создает проблемы с доступом к влаге и сокращает площадь болот.

Степень серьезности гидрологической засухи определяется для водосборных или речных бассейнов. «Гидрологическая засуха обычно наступает с некоторым запозданием по сравнению с метеорологической и сельскохозяйственной засухами. Поскольку регионы связаны между собой гидрологическими системами, область распространения гидрологической засухи может быть значительно больше, чем область, вызвавшая ее метеорологическая засуха» [78].

– Засухи, которые имеют социально-экономические последствия. К данному типу относят засухи, масштабы и интенсивность которых губительно воздействует на экономическую составляющую страны и приводит к существенным социальным проблемам, а иногда приобретают характер гуманитарной катастрофы [79].

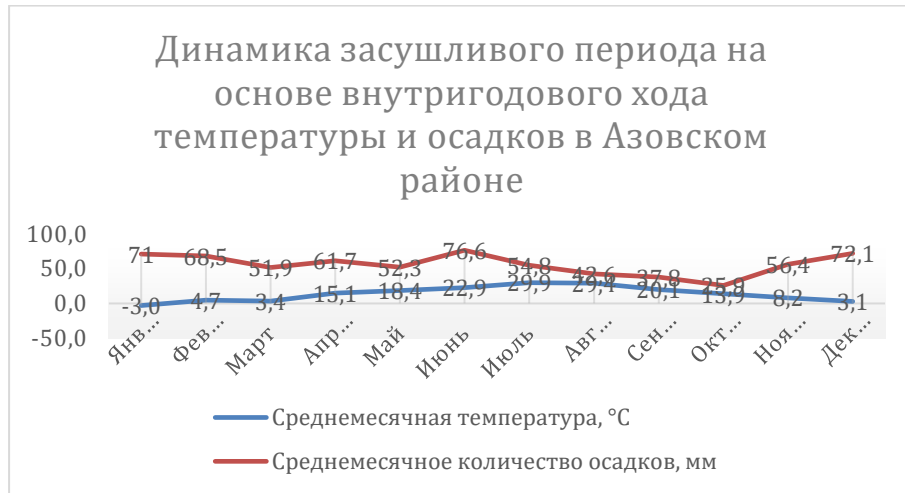
Рассматривая засуху как глобальный абиотический фактор, следует отметить, что она приводит к неблагоприятным экологическим и экономическим последствиям и часто оказывает более разрушительное воздействие, чем другие факторы, изменяющие окружающую среду [80].

На территории европейской части Российской Федерации засухи наблюдаются раз в пять лет.

Частые засухи могут губительно влиять на гидрологический режим рек, озер, подземных вод, а также водохранилищ [76, 80]. В результате отсутствия атмосферных осадков возникает ситуация сокращения водности [79]. За последние 50 лет в бассейне Азовского море зафиксировано увеличение температуры воздуха [82], что способствует росту продолжительности засушливых периодов.

Следствием сложившейся ситуации стала проблема прогнозирования засух и переувлажнения почвы.

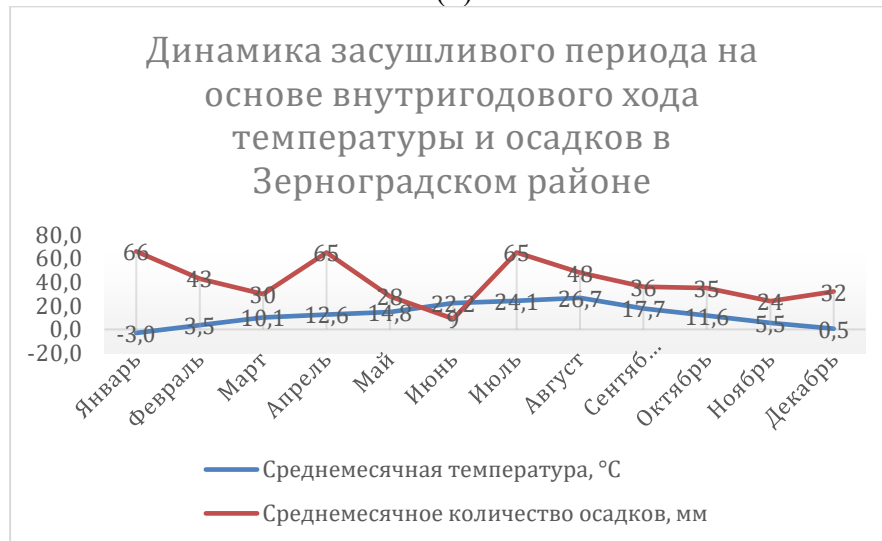
На основе изученных данных по среднемесячному количеству осадков по исследуемым аграрным территориям Ростовской области (рис.41 (а), (б), (в)) отмечается тенденция, подчеркивающая малое количество атмосферных осадков в сочетании с высокими температурами воздуха [80].



(а)



(б)



(в)

Рисунок 41 – График изменения засушливости в зависимости от внутригодовых колебаний температуры и количества осадков в Азовском районе (а), Дубовском районе (б), Зерноградском районе (в) Ростовской области

Изучаемые районы размещены в северном, западном и южном регионах Ростовской области. Например, Соколовское водохранилище - единственный источник воды для шахтерского района, а также Таганрогский залив, являющийся участком Азовского моря, который имеет существенное геополитическое и экономическое значение для Ростовской области [78, 80].

Модели оценки управления геологическими рисками с использованием управляемых параметров

На сегодняшний день зафиксировано разнообразное количество определений формулировки «управление климатическими рисками» [83]. «Комиссия по климатологии ВМО предложила определение, в котором «управление климатическими рисками» представлено как целостная и согласованная деятельность, основанная на использовании климатических данных для снижения рисков, связанных с изменчивостью и изменением климата, а также реализации потенциала для стабильного роста социальных, экономических и экологических структур» [83].

Однако в области научной деятельности в настоящее время эта сторона плохо изучена и не имеет конкретного определения. Зафиксированы случаи, когда подобные риски фиксируются как природно-естественные, зависящие от стихийных природных, погодно-климатических, гидрометеорологических и климатических условий.

В процессе исследования литературных источников выявлена неподтвержденность классификации и систематизации природно-климатических рисков.

Отмечается появление в научной литературе работ, связанных с природно-климатической устойчивостью, в качестве цели по контролю за рисками. Как уже отмечалось ранее, некоторые ученые полагают, что влияние изменений глобального климата можно уменьшить путем управления выбросами парниковых газов [84].

«Под стабилизацией климата часто подразумевают ограничение концентрации углекислого газа в атмосфере исходя из текущих показателей» [84]. Цель управления рисками можно представить как установление определенных границ в социальной системе, превышение которых может привести к критическим событиям.

Цели управления климатическими рисками, которые включают снижение инерционности современных социально-экономических систем, формирование общественного спроса на управление изменениями климата и снижение выбросов парниковых газов, были выделены В. Штеффеном, К. Ричардсоном и Д. Ливерманом [85-87].

Изменение климата связано с принятием решений в условиях неопределенности при снижении выбросов парниковых газов. «Однако, как упоминалось ранее, с течением времени представления об этом процессе стали более сложными, что привело к необходимости принимать решения по управлению климатическими явлениями, основываясь на выборе между действием и бездействием» [87–89].

Объектом исследования являются климатические риски как угроза экономике, сфере туризма и общей инфраструктуре страны. В результате проведенного анализа следует отметить, что, к сожалению, в настоящее время не существует единого мнения о целях управления климатическими рисками. Однако была зафиксирована эволюция в направлении от устранения первопричин рисков до управления последствиями этих рисков - климатическими угрозами.

«Климатические риски тесно связаны с категориями экономической безопасности и устойчивостью к рискам» [88]. Рассмотрим уровень региональных рисков, где основным субъектом управления климатическими рисками выступает в нашем случае аграрный сектор (региональный субъект), а целью управления является повышение устойчивости к негативному воздействию климатических рисков. В связи с этим возникает необходимость введения понятия «климатическая устойчивость» и описания основных принципов:

- не существует абсолютного уровня климатической устойчивости, что связано с невозможностью предотвращения катастроф и неблагоприятных явлений и событий. Поэтому, цель управления устойчивостью заключается в снижении вероятности их возникновения.

- «устойчивость — это не конкретное оптимальное климатическое состояние, а широкий диапазон возможных состояний.

- устойчивость биосистемы отличается от устойчивости отдельных экосистем или их совокупности.

- для достижения естественной и относительной климатической устойчивости необходима скоординированная политика всех стран мира.

- последствия нарушения естественного устойчивого состояния обнаруживаются и устраняются на национальном и региональном уровнях» [89].

Из представленного материала можно сделать вывод, что устойчивость к климатическим изменениям представляет собой элемент социально-эколого-экономической стабильности различных форм экономической деятельности. Данная устойчивость достигается за счет сокращения воздействия человека на природную среду,

при этом требует формирования гибкой и надежной системы управления климатическими угрозами. «Поддержка устойчивости — это глобальная цель, которую требуется регулярно реализовывать в условиях неопределенности» [91]. В свете этого, необходима концепция управления климатическими рисками, которая должна реализовывать стабильность всех составляющих системы в целом.

Модель оценки климатических рисков выглядит следующим образом [91, 92]:

$$R_{t_3} = P(ET_{t_3}) \in C, ET_0 \quad (2.25)$$

где R – величина климатического риска; $P(ET_{t_3})$ – ущерб, потери от наступления i – го негативного климатического фактора.

Понятие риска заложено в теории надежности, т. к. он характеризует устойчивость системы. Надежность обусловлена тем, что «точное значение показателей не может быть определено без указания начальных условий» [92]. Все показатели зависят от разных условий, которые необходимо учитывать.

Интенсивность и степень изменчивости состояния территории агропромышленного комплекса напрямую зависит от гидрометеорологических условий, что будет сказываться в результате на показатели урожайности. Для корректного использования территорий требуются знания о ситуациях, когда происходит пересечение границ допустимого интервала показателя суммарной потери влаги из почвы и листьев за указанный период времени. Поэтому необходимо провести предварительный анализ геоданных на основе временных рядов.

Климатические параметры, которые имеют свойство с течением времени изменяться от различных параметров, представляют собой случайные величины. Под общим понятием случайной величины представляется понятие случайной функции. Учитывая изменчивую природу условий, которые образуют случайную величину, необходимо отметить, что она также изменчива в пространстве и времени, что приводит к формированию стохастической функции [93].

Временные ряды, которые являются стохастическими функциями, меняются со временем, что приводит к образованию стохастических процессов, а с учетом пространственных изменений формируются (в нашем случае – карты). Выполнение случайной функции представлено следующим образом: $x_1(t), x_2(t), \dots, x_n(t)$ – где индекс описывает номер реализации.

При рассмотрении сечений случайной величины $X(t)$ функция распределения выглядит следующим образом:

$$F(x_1, x_2, \dots, x_n) = p(X_1 < x_1, X_2 < x_2, \dots, X_n < x_n), \quad (2.26)$$

где X_1, X_2, \dots, X_n - n сечений случайной величины.

Анализируя непрерывные стохастические процессы, используется многомерное дифференциальное распределение вероятностей. Если $F_1(x, t)$ имеет частную производную, то ее именуют одномерной функцией распределения.

$$\frac{dF_1(x, y)}{dx} = f_1(x, t), \quad (2.27)$$

Математическое ожидание стохастической функции $X(t)$ не является случайной функцией $m_x(t)$, при каждом показателе аргумента t идентично математическому ожиданию соответствующего сечения стохастической функции [92].

$$m_x(t) = M[X(t)] = \int_{-\infty}^{\infty} x(t) f(x, t) dx, \quad (2.28)$$

где $f(x, t)$ – одномерная функция вероятности.

Дисперсия стохастической функции – неслучайная функция $D_x(t)$, для каждого значения аргумента t равная дисперсии стохастической функции

$$D_x(t) = M[X(t)^2] = \int_{-\infty}^{\infty} [x(t) - m_x(t)]^2 f(x, t) dx. \quad (2.29)$$

Дисперсия описывает степень разброса возможных реализаций вокруг математического ожидания.

Следующая характеристика, которая показывает степень разброса – это стандартное отклонение, которое связано с дисперсией, а также коэффициент вариации, которые определяются следующим образом:

$$\sigma_x(t) = \sqrt{D_x(t)}, \quad C_x(t) = \frac{\sigma_x(t)}{m_x(t)} \quad (2.30)$$

«Математическое ожидание и дисперсия являются показателями каждой случайной величины и отражают внешние их свойства и не содержат информации о тесноте связи между отдельными случайными функциями, поэтому, нет представления о внутренней структуре» [92].

Изучение внутренней структуры осуществляется с помощью автокорреляционной функции, которая является неслучайной функцией $R_x[(t_1, t_2)]$ двух независимых фиксированных аргументов t_1 и t_2 и соответствует корреляционному моменту сечений данных аргументов.

$$R_x(t_1, t_2) = M\{[X(t_1) - m_x(t_1)][X(t_2) - m_x(t_2)]\} \quad (2.31)$$

«При нормальном распределении случайной величины важно учитывать ее математическое ожидание и автокорреляционную функцию» [92].

Основным понятием случайного процесса является стационарность, которая описывает устойчивость вероятностных характеристик случайных процессов, классифицирующихся на стационарные и нестационарные. «Вероятностные характеристики стационарных процессов изменяются незначительно при изменчивости аргумента и не зависят от начала отсчета» [92].

Стационарным случайным процессом $x(t)$ именуется процесс, у которого оценки выборочного среднего и дисперсии не изменяются со временем и равны математическому ожиданию и генеральной дисперсии. «Автокорреляционная функция стационарного процесса является функцией сдвига времени $\tau = t_2 - t_1$ и не зависит от конкретных значений аргументов t_1 и t_2 » [92].

Проверка на стационарность осуществляется посредством статистических методов. Это значит, что нестационарный процесс можно преобразовать в стационарный.

Проверка стационарности на практике проводится на основе одной реализации случайного процесса достаточной длины. Предполагается, что эта реализация является эргодической, то есть ее характеристики совпадают с математическим ожиданием.

Временной ряд делится на интервалы одинаковой длины, для каждого из которых рассчитываются среднее арифметическое значение и дисперсия. Далее посредством использования критериев проверки статистических гипотез, реализуется сравнение статистических критериев. Если различия между полученными характеристика для разных интервалов малы, процесс считается стационарным.

Стационарный случайный процесс характеризуется важным состоянием эргодичности, которое заключается в том, что математическое ожидание такого процесса может быть вычислено на основе единственной реализации достаточно большой длины с помощью специальной формулы.

$$m_x = \frac{1}{T} \int_0^T x(t) dt \quad (2.32)$$

где T – интервал осреднения, автокорреляционная функция вычисляется по следующей формуле

$$R_x(\tau) = \frac{1}{T-\tau} \int_0^{T-\tau} [x(t) - m_x][x(t+\tau) - m_x] dt. \quad (2.33)$$

Необходимо проверить, насколько близки вычисленные оценки к аналогичным показателям, вычисленным по множеству реализаций случайного процесса.

Процесс можно назвать эргодическим при условии, что оценки статистических характеристик стационарного случайного процесса, полученные осреднением по одной реализации, при увеличении временного интервала T стремятся к соответствующим значениям, вычисленным осреднением по множеству вероятных реализаций, с вероятностью, близкой к 1 [92].

Предварительный анализ геоданных, которые были получены с сенсорных датчиков, размещённых на территориях аграрного сектора, включает следующие процедуры, описанные ниже.

Получение основных статистик позволяет получить сведения по изучаемому процессу. В диссертационной работе использовались следующие основные статистики, являющиеся базовыми для описания гидрометеорологических временных рядов:

Среднее арифметическое $\bar{X} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N X_i, \quad (2.34)$

Дисперсия $D = \frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N (X_i - \bar{X})^2, \quad (2.35)$

Среднеквадратическое отклонение $\sigma = \sqrt{D}, \quad (2.36)$

Коэффициент асимметрии $As = \frac{\sum_{i=1}^N (X_i - \bar{X})^3}{N\sigma^3}, \quad (2.37)$

Коэффициент эксцесса $Ex = \frac{\sum_{i=1}^N (X_i - \bar{X})^4 - 3}{N\sigma^4}, \quad (2.38)$

Коэффициент вариации $C = \frac{\bar{x}}{\sigma} \cdot 100\% \quad (2.39)$

Для проверки корректности результатов и изучения параметров необходимо провести некоторые тесты, в частности, построить автокорреляционную функцию для определения глубины прогнозирования. Автокорреляция случайного процесса показывает соотношение между значениями процесса в разнообразные периоды времени. Когда процесс непрерывный, автокорреляция вычисляется по формуле:

$$R(t, s) = \frac{E[(x_i - \mu)(x_3 - \mu_3)]}{\sigma_i \sigma_3} \quad (2.40)$$

Для получения корректных результатов прогнозирования глубина прогнозирования выявляется посредством коэффициента корреляции. Нас интересует высокая корреляция, ввиду того, что модель будет демонстрировать максимально корректные результаты [90].

2.4.1 Реализация и верификация методики оценки вероятности наступления опасного явления на примере динамических объектов агропромышленного комплекса

Постановка задачи

Имеется случайный процесс $ET(t)$ описывающий показатель эвапотранспирации. Существует критическое допустимое значение $ET_{крит}$, превышение которого указывает на наступление опасного явления. Предположим, что опасное явление произошло, и показатель эвапотранспирации превысил заданный порог (рис. 42). Ущерб от критического значения ET пропорционален площади под кривой $ET(t)$.

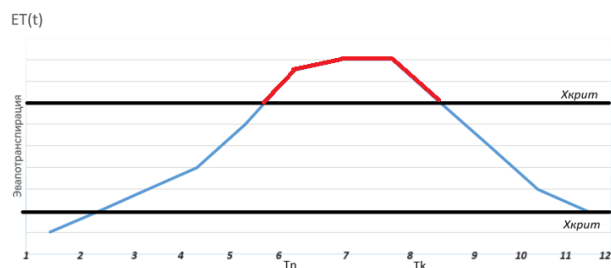


Рисунок 42 – Схема наступления опасного явления для территории Азовского района по гидрометеорологическим данным за период с января по декабрь 2022 года, где T_n – время начала опасного явления, T_k – время окончания опасного явления

Оценка риска

Для оценки риска используются оценки, представленные в работе [91, 92].

$$\bar{R}^* = (1 - P^*(t_3 / x_0)) \bar{W} - \text{верхняя оценка риска} \quad (2.41)$$

$$\bar{R}_* = (1 - P^*(t_3 / x_0)) \bar{W} - \text{нижняя оценка риска} \quad (2.42)$$

где $P(t_3/x_0)$ – вероятность того, что случайный процесс не выйдет за пределы допустимых значений, если известны его начальные значения при $t=0$, $x(t=0)=x_0$. Оценка риска будет выглядеть следующим образом

$$\bar{R}^* = (1 - P^*(t_3/x_0)) \frac{\bar{T} \cdot \bar{X}_m}{T_{min} \cdot X_{min}} \cdot W_{max} \quad (2.43)$$

$$\bar{R}_* = (1 - P^*(t_3/x_0)) \frac{\bar{T} \cdot \bar{X}_m}{T_{min} \cdot X_{min}} \cdot W_{max} \quad (2.44)$$

Следует отметить, что не только заблаговременный прогноз гидрометеорологических показателей имеет ключевое значение, но также немаловажным является оценка вероятности наступления риска [91].

Методика оценки вероятности наступления опасного явления в геоинформационных системах включает следующие расчетные этапы (рис.43):

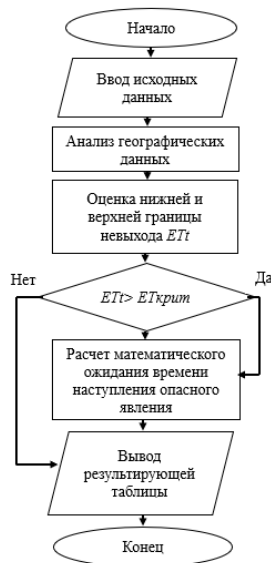


Рисунок 43 – Методика оценки вероятности наступления опасного явления в геоинформационных системах на примере территорий агропромышленного комплекса

1. Введение геоданных, полученных с помощью геомоделирования
2. Анализ географических данных: расчет статистических характеристик процесса ETt , включая математическое ожидание, дисперсию, стандартное отклонение, автокорреляционную функцию и пр.
3. Оценивание нижней и верхней границы невыхода $ET(t)$ за интервалы, полученные при прогнозировании.
4. Вычисление математического ожидания начала и продолжительности превышения заданным уровнем параметра.

5. Отображение полученных результатов в форме таблицы с указанием верхней и нижней границ вероятности не превышения случайного процесса допустимого предела, времени начала и завершения опасного явления, а также его продолжительности.

В данной диссертационной работе не рассматриваются расчеты непосредственно ущерба, его размеров или коэффициентов.

Практическая реализация

Для апробации модели был создан набор геоданных в период с 2013 по 2022 гг. с января по декабрь включительно, который содержит гидрометеорологические параметры по территории Ростовской области по следующим районам: Азовский, Дубовский, Зерноградский.

С целью организации прогнозирования вероятности наступления опасного явления был выбран параметр ET суммарной потери влаги из почвы и листьев. Данные представлены в качестве последовательности значений ET в последовательные моменты времени. После изучения физического явления становится возможным оценить значение ET в любой заданный момент на основе набора выборочных функций, образующих случайный процесс. Вначале мы выявили стационарность и эргодичность процесса для дальнейшей работы с ним.

Построение стохастической модели с целью оценки состояния общей потери влаги из почвы и листьев с известными параметрами в начальный момент расчета для определения статистических закономерностей процесса и оценки его вероятностных показателей продемонстрировано на рисунке 44.

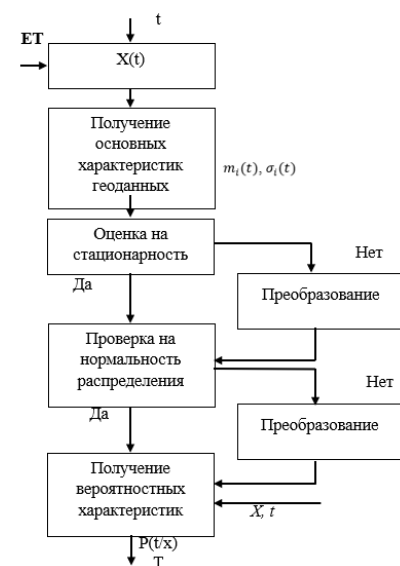


Рисунок 44 – Модель оценки вероятности наступления опасного явления для агропромышленного комплекса с известными параметрами на начальный момент времени

Данная модель имеет следующие входные данные:

- ET – суммарная потеря влаги из почвы и листьев (эвапотранспирация);
- $x(t)$ – случайная функция времени t и параметров суммарной потери влаги из почвы и листьев (ET);
- t_3 – заданное время для прогнозирования.

Выходные данные модели представлены следующими параметрами:

- $P(t_3 / x_0)$ вероятность того, что характеристика $x(t)$ не выйдет за заданный предел $ET_{крит}$;
- \bar{T} - среднее время опасного явления (математическое ожидание времени, в течение которого случайный процесс $x(t)$ находится выше критического уровня).

Методика оценки вероятности наступления опасного явления (засухи) и математического ожидания при заданной глубине прогноза и известных начальных параметрах состоит из следующих расчетных этапов с раскрытием каждого из них на примере:

1 этап. Ввод данных и задание граничных условий

Пользователем задается глубина прогноза (заблаговременность прогноза) и предельно допустимые значения показателей суммарной потери влаги из почвы и листьев.

2 этап. Анализ и предобработка данных

На этапе анализа и предобработки данных рассчитываются основные статистические показатели, соответствие нормальному закону распределения, стационарности, оценка тренда и гармонических колебаний.

$$m_x(ET_t) = M[ET(t)] = \int_{-\infty}^{\infty} ET(t)f(ET, t)dx \quad (2.45)$$

Для Марковских процессов при определении надежности систем основными требованиями к ним является стационарность и эргодичность. Применительно к гидрометеорологическим рядам они априорно считаются эргодическими процессами.

Проведем проверку на стационарность и соответствие нормальному закону распределения, что является обязательным для гидрометеорологических рядов, для наших данных.

Первоначально проведем предобработку данных, рассчитав основные статистические показатели и построим эмпирическую функцию распределения.

Далее проведем оценку на соответствие нормальному закону распределения климатического и ежегодных значений эвапотранспирации (рис.45).

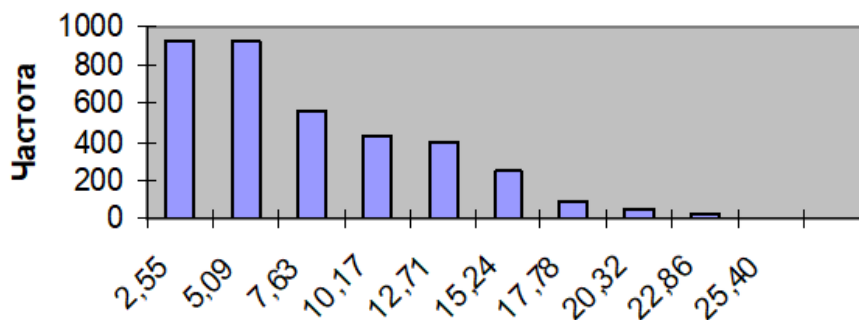


Рисунок 45 – Эмпирическая функция распределения для климатических значений эвапотранспирации за период 2013–2022 гг.

Эмпирические функции по каждому году представлены в Приложении Б. По критерию χ^2 при 5% уровне значимости ряды не следуют нормальному распределению. Такая ситуация типична для гидрометеорологических рядов данных. Поэтому все они не являются стационарными и нуждаются в дополнительных исследованиях для приведения к стационарному виду и нормальному распределению.

Для климатических значений наиболее частым состоянием являются относительно малые значения эвапотранспирации. Для ежегодных значений также отмечается одномодальное распределение с явным устойчивым состоянием низких значений эвапотранспирации. Стоит отметить, что за последние годы (2021 и 2022 гг.) отмечается двухмодальное распределение, с ярко выраженным низким значением эвапотранспирации, но появляется вторая мода порядка средних значений.

Перейдем к выявлению трендовой компоненты и циклических колебаний, которые вносят наибольший вклад в гидрометеорологические ряды, приводя к их не стационарности.

При анализе тренда проводилась оценка только линейного тренда. На рисунке 46 показан линейный тренд по отношению к динамике изменения эвапотранспирации (для ежегодных рядов изображения представлены в Приложении Б).

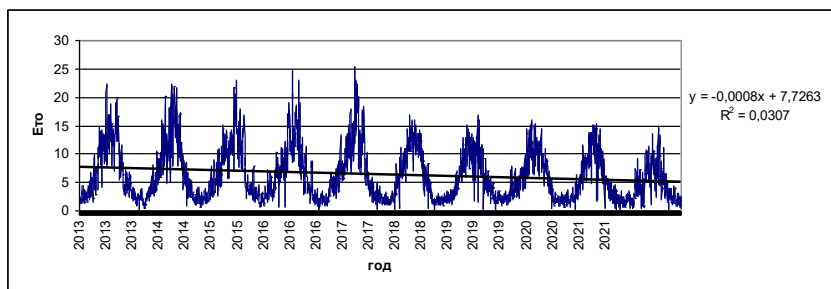


Рисунок 46 – Изменчивость эвапотранспирации за период с 2013 по 2022 гг. с линейным трендом

Стоит отметить, что внутри года за каждый год наблюдается положительный тренд от минимальной величины тренда 0,003 в 2013 году до максимальной 0,009 в 2017 году. В то же время для климатического значения наблюдается отрицательный тренд с величиной тренда 0,0008, что говорит о снижении показателей эвапотранспирации к настоящему времени. Оценка значимости трендов с использованием t -критерия Стьюдента при 5% уровне значимости продемонстрирована в таблице 5 и демонстрирует отсутствие статистически значимого тренда в 2013 и 2016 годах. Значимые тренды из рядов были удалены.

Таблица 5 – Эмпирические и критические значения критерия Стьюдента

Год	Эмпирическое значение	Критическое значение	Вывод
2013–2022	10,8	1,96	значим
2013	1,28	1,98	Не значим
2014	2,01	1,98	значим
2015	3,46	1,98	значим
2016	1,63	1,98	Не значим
2017	3,71	1,98	значим
2018	2,59	1,98	значим
2019	2,33	1,98	значим
2020	2,94	1,98	значим
2021	2,69	1,98	значим
2022	2,18	1,98	значим

После анализа тренда проводим анализ гармонических колебаний, используя спектральный анализ и гармонический анализ Фурье. Гармоники – это тригонометрические функции с периодами, кратными длине рассматриваемого ряда, и могут быть выражены как

$$G_k = A_k \cos(w_k t - \varphi_k), w_k = 2\pi / T_k \quad (2.46)$$

По рассчитанным периодограммам и спектральным таблицам определены вероятно наиболее значимые гармоники с соответствующими периодами, которые проверены на значимость по критерию Стьюдента при уровне значимости 5%. Все выделенные гармоники значимы, для климатического ряда выделена годовая гармоника, для ежегодных рядов выделена годовая и полугодовая гармоники. Из ряда гармоники также были удалены.

После предобработки данных проверим ряды повторно на стационарность и соответствие нормальному закону распределения.

Рассчитаны и построены эмпирические функции распределения для климатического ряда (рис.47) и ежегодных рядов, представлены в Приложении Б.

Оценка на соответствие нормальному закону распределения по критерию χ^2 при уровне значимости 5% представлена в таблице 6, и теперь все ряды соответствуют нормальному закону распределения и стационарны.

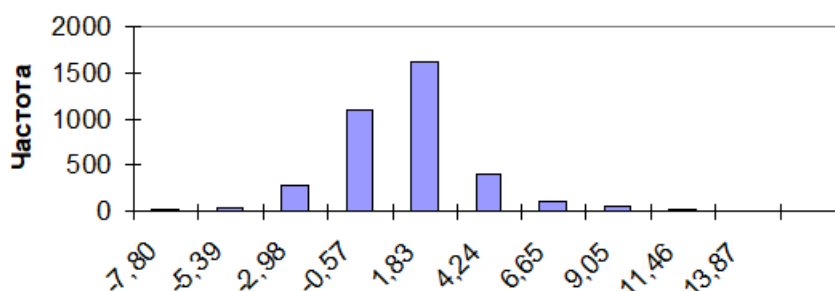


Рисунок 47 – Эмпирическая функция распределения для климатического ряда эвапотранспирации за период 2013–2022 гг.

Таблица 6 – Эмпирическое и критическое значение критерия χ^2

Год	Эмпирическое значение	Критическое значение	Вывод
2013–2022	354106	3787,59	Соответствует нормальному закону
2013	1362	409,48	Соответствует нормальному закону
2014	2437	409,48	Соответствует нормальному закону
2015	8454	409,48	Соответствует нормальному закону
2016	1886	409,48	Соответствует нормальному закону
2017	1927	409,48	Соответствует нормальному закону
2018	1205	409,48	Соответствует нормальному закону
2019	1959	409,48	Соответствует нормальному закону
2020	3333	409,48	Соответствует нормальному закону
2021	5176	409,48	Соответствует нормальному закону
2022	1256	409,48	Соответствует нормальному закону

Теперь ряды стационарны и эргодичны, можем вычислить их автокорреляционную функцию (АКФ), а также верхние и нижние границы вероятности наступления засухи и математическое ожидание. АКФ изображается графически как зависимость коэффициента

корреляции r от временного сдвига τ . Коэффициент корреляции вычисляется по следующей формуле:

$$r(\tau) = \frac{1}{\sigma_x^2 (N-1-\tau)} \sum_{i=1}^{N-\tau} (x_i - \bar{x})(x_{i+\tau} - \bar{x}) \quad (2.47)$$

где N – длина ряда;

τ – сдвиг от 1 до максимума.

Оценка АКФ для климатического ряда (рис.48) и ежегодных рядов (Приложение В) показала, что случайная составляющая аппроксимируется экспонентой.

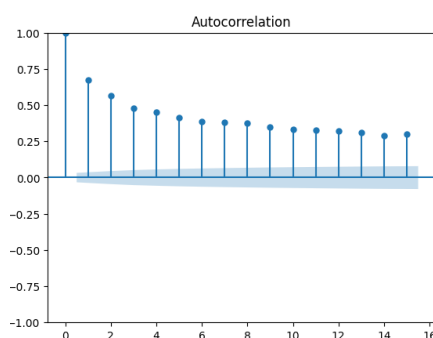


Рисунок 48 – Автокорреляционная функция для климатических значений эвапотранспирации за период 2013–2022 гг.

3 этап. Оценка верхней и нижней границы вероятности превышения параметра суммарной потери влаги из почвы и листьев над критическим значением выполняется на основе оценок

$$\bar{Q}^v = \left(\frac{1}{\sqrt{2\pi(1-r^2(0, t_3))} \int_0^t w\left(\frac{t}{ET_0}\right) dt} \right) \quad (2.48)$$

$$\bar{Q}_v = \left(1 - \left[\Phi\left\{ \frac{b - m_x(ET_t) - r_{ET}(0, t_3)[ET_0 - m_x(ET_t)]}{\sigma_{ET}\sqrt{1 - r_{ET}^2(0, t_3)}} \right\} - \Phi\left\{ \frac{-m_x(ET_t) - r_{ET}(0, t_3)[ET_0 - m_x(ET_t)]}{\sigma_{ET}\sqrt{1 - r_{ET}^2(0, t_3)}} \right\} \right] \right) \quad (2.49)$$

где $m_x(ET_t)$ – математическое ожидание случайного процесса;

σ_{ET} – среднеквадратическое отклонение;

$r_{ET}(0, t_3)$ – автокорреляционная функция;

$w(t/ET_0)$ – плотность распределения времени невыхода за пределы установленных границ $\alpha(t)$ и $\beta(t)$.

4 этап. Расчет математического ожидания, времени наступления опасного явления и продолжительности.

5 этап. Полученные результаты по этапу 3 и 4 сводятся в таблицу с выводом пояснительной записки.

Для нашего ряда климатического таблица имеет подобный вид (таблица 7) с пояснительной запиской (рис.49).

Таблица 7 – Оценка верхней и нижней границы, математическое ожидание

время		нижняя граница	верхняя граница	математическое ожидание
0	NaN	1.0177860837015145	1.3179497827157227	1.1678679332086186
1	NaN	2.173321889905815	2.4734855889200236	2.3234037394129192
2	NaN			
3	NaN			
4	NaN			
..				
3640	NaN			
3641	NaN			
3642	NaN			
3643	NaN			
3644	NaN			

+-----+
 Засуха, наступит 20/07/2023, продолжительность 5 суток

Рисунок 49 – Пояснительная записка по результатам расчетов для климатических значений за период 2013–2022 гг.

Таким образом, имея значение суммарной потери влаги из почвы и листьев в текущий момент времени t_0 , модель позволяет получить прогноз возможного возникновения опасного явления, времени его начала и продолжительности при заданной величине прогнозируемого интервала.

Выводы по главе

Чтобы провести корректную оценку эффективности агропромышленной отрасли в первую очередь необходимо руководствоваться гидрометеорологическими и географическими показателями территории, ввиду их динамичности и нестабильности. Для этого требуется качественная система контроля и управления аграрным сектором, что позволит своевременно выполнять комплекс необходимых работ для корректной организации технологического процесса производства.

Для осуществления качественного контроля за отраслью требуется наличие адекватного представления о будущих событиях или явлениях, поэтому необходимо руководствоваться закономерностями, которые отслеживаются с различной периодичностью, что требует осуществлять прогноз для выявления идентичных характеристик явлений окружающей среды. Прогнозирование способствует разумному использованию, сохранению и восстановлению орошаемых земель, а также корректной организации управления за динамическими объектами агропромышленного комплекса.

На основе изученного материала автором была проанализирована климатическая изменчивость, а также природно-климатические риски, которые представляют собой одни из самых масштабных угроз для популяции всего мира. Помимо этого, было проведено изучение особенностей природно-климатического риска. Это дало возможность разработать методологию оценки вероятности наступления опасного явления и управления рисками с целью обеспечения безопасности динамических объектов агропромышленного комплекса. В процессе разработки СППР это позволит проводить анализ природно-климатических рисков.

Для большинства подобных методов основным требованием является стационарность анализируемого временного ряда. Это включает среднее значение и дисперсию. На первом этапе анализа данных проверяется стационарность. В случае, если стационарность отсутствует, ряд приводится к стационарному виду. Еще одним существенным условием является соответствие ряду параметров, включая нормальное распределение.

В качестве апробации гидрометеорологической модели разработана программа для мобильных устройств на операционной системе Android в среде разработки Android studio на языке программирования Kotlin на примере территории Ростовской области, которая включает следующие аграрные районы: Азовский, Дубовский, Зерноградский.

Опыт применения представленной модели продемонстрировал, что она дает возможность отражать и прогнозировать главные гидрометеорологические условия, в частности показатель эвапотранспирации ET на территориях агропромышленного комплекса. В результате моделирования климатических параметров суммарной потери влаги из почвы и листьев – формируется представление об уровне влагообеспеченности почвы, что позволит правильно принять решение ЛПР.

Результаты моделирования соответствуют физическим законам. При анализе исследовательских работ и натурных наблюдений в близлежащих районах не обнаружено значительных различий между модельными результатами, что подтверждает возможность использования представленной модели. Характер динамических процессов, полученный с помощью модели, может быть использован для дальнейшего развития территорий агропромышленного комплекса и оперативного гидрометеорологического обеспечения.

Глава 3 Разработка практических рекомендаций для применения разработанных моделей и методики в геоинформационной системе поддержки принятия решений для управления динамическими объектами на основе объектно-ориентированного подхода проектирования и обработки данных ГИС на примере агропромышленного комплекса

Геоинформационные системы (ГИС) представляют собой технологию, включающую аппаратно-программное и человеко-машинное обеспечение, которое позволяет решать такие задачи как: сбор, анализ, отображение и передача географических данных в координатах пространства и времени. ГИС-технологии необходимы для решения научно-практических и теоретических вопросов, связанных с инвентаризацией, анализом, проектированием, прогнозированием и контролем за элементами внешнего окружения и территориальной структурой общества.

ГИС может описываться уровнем технологического назначения, прикладными свойствами системы, а также функциональным назначением. С точки зрения функционала ГИС классифицируется следующим образом (таблица 8):

Таблица 8 – Классификация геоинформационных систем по функциональному назначению

Наименование системы	Назначение
Геоинформационная система управления	ориентирована на поддержку принятия рациональных решений по управлению геопространственными объектами (например, сельскохозяйственные поля, земельные угодья, городские хозяйства и т. д.)
Автоматизированная информационная система	аккумулируют различные технологии и цифровые инструменты, ИС-процессы, такие как CAD, GIS, CAM, CAE, CAPP, PDM, SPM, MRP, ERP и другие
Геосистемная технология (сбор данных, анализ информации)	предназначена для геоинформационных систем (ГИС), систем картографической информации, автоматизированных систем картографирования, автоматизированных фотограмметрических систем, земельных информационных систем, автоматизированных кадастровых систем и других
Геоинформационная система, реализованная на БД	описывается широким спектром данных, собранных различными методами и технологиями, включающими текстовые и графические базы данных (экспертные системы и базы знаний)

Информационная система гео моделирования	основана на методах и процессах математического и информационного моделирования, которая разработана и используется в разных автоматизированных системах
Геоинформационная система проектных решений	применяет методы автоматизированного проектирования (САПР), нацеленная на выполнение конкретных задач
Система геоинформационного представления информации	например, автоматизированная система доступа к информации (АСДИ), предназначенная для доступа к картографическим данным разного уровня «нагружения» и «масштабирования»
Геоинформационная система интегрированных методов и технологий	основана на применении единой географической информации

В представленной диссертационной работе ГИС реализована в качестве СППР, в которой принятие правильного выбора представлено как определение из множества допустимых альтернатив, которые зависят от разных факторов, где оптимизируется результативная ценность. При определении решающего параметра с безусловным предпочтением ЛПР или СППР его следует представлять целевой функцией, при выполнении установленных конечных условий. Представленная задача является однокритериальной, которая реализуется исключительно классическими методами теории принятия решений (ПР).

С целью осуществления алгоритма принятия решения требуется системно следовать по этапам, представленным на рисунке 50:

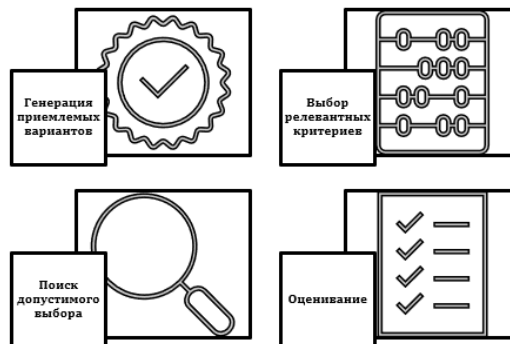


Рисунок 50 – Этапы по выполнению процедуры принятия управленческого решения

Для реализации задач СППР требуется наличие лица, принимающего решения (ЛПР), которое может быть экспертом или аналитиком, обладающим компетенциями в определенной предметной области и способным реализовывать оценку допустимых вариантов решений.

Для реализации качественной работы СППР необходимо провести анализ целей и требований к ГИС. На этапе формирования требований появляется возможность корректно исследовать область решаемой проблемы, наличие компромиссных вариантов, тем самым способствуя принятию наилучшей альтернативы [93–95].

3.1 Разработка требований для геоинформационных систем поддержки принятия решений для управления динамическими объектами на примере агропромышленного комплекса

Требования для формирования геоинформационной системы управления динамическими объектами на основе объектно-ориентированного подхода проектирования ГИС.

Геопространственная информация о состоянии климатических параметров территорий агропромышленного комплекса может храниться во всевозможных информационных системах, абсолютно на разных носителях, образовываться и изменяться в разные форматы. Вся информация, которая формируется в процессе эксплуатации, создает своеобразное информационное пространство геоинформационной системы управления динамическими объектами.

Требуется выделить информационное пространство для организации системы, которая даст возможность лицу, принимающему решения, открытый доступ к данным, их сохранение и предоставление разнообразных географических данных в разных разрезах и любых сочетаниях [95, 96].

Учитывая сложность пространственно-распределенных систем, следует отметить, что работа с геопространственной информацией будет осуществляться и храниться в нескольких ИС. Данные системы рассчитаны на применение разных технологий и способов обработки геоданных.

Уникальность представления геопространственных данных требует применения и обработки координатной информации, опираясь на привязку к атрибутивным данным. Вследствие чего организация определенного информационного пространства для управления территориями агропромышленного комплекса представляется весьма трудоемкой и дорогой задачей, которая будет востребована только в том случае, когда речь идет о формировании соответствующей системы управления данными, ориентированной на последующую интеграцию всей ответственности, интересов и полномочий [97, 98].

Представленный метод может найти свое применение в управлении регионами с развитым агропромышленным комплексом, а также в управлении крупными сложными организационными структурами (например, в области корпоративного управления информационными ресурсами).

Главные требования к реализации АСУ, которая применяется в разных областях деятельности (проектирование, управление и т. д.) аккумулирует в себе следующие процессы: описание процедуры функционирования; цель, назначение и сферы применения ИС; заключения по структуре системы; заключения по подсистемам, инструментам и методам связи; заключения по коммуникациям системы со сторонними системами; функциональные блоки и блоки задач; элементы функциональной структуры; информационные связи между элементами системы и внешней средой.

ГИС, используемые в последнее десятилетие, являются абсолютно новым видом интегрированных информационных систем, которые работают с геопространственной координатно-привязанной информацией, вследствие чего имеют характерную специфику по формированию и обработке геоданных, при этом содержат методы обработки данных предыдущих автоматизированных информационных систем. «В классическом представлении геоинформационная система (ГИС) – это информационная система, которая использует пространственные данные о различных пространственных объектах и наборах объектов в виде цифровых картографических изображений (растровых, векторных и т.д.)» [98].

Изменение «системы управления данными происходит через геоинформационные системы управления (ГИСУ) объектами, которые функционируют как функционально-ориентированные географические системы. Эти системы содержат распределенные гетерогенные» [98] БД и БЗ, использующие пространственный подход для обработки и отображения информации. Они также применяют подходящие технологии для получения, обработки, сохранения, отображения и передачи управленческой информации.

Основываясь на описанных выше аспектах реализации геоинформационного подхода в управлении, необходимо сформулировать новые требования не только к ГИСУ, но и к ее компонентам. «СППР представляют собой систему ПС: включает базу данных, базу знаний (различные модели и инструменты для разработки и реализации решений), а также управляющие программы, учитывающие специфику функциональных и структурных показателей. Управляющая программа реализует этап разработки и принятия решений с учетом» [99] направленности запроса и задач ЛПР. Она также поддерживает различные виды деятельности для:

– упрощения взаимодействия между данными и знаниями (моделей ПР и т. д.) с одной стороны и рабочей областью ЛПР в качестве пользователя данных систем с другой стороны;

– обеспечение дополнительными данными с целью решения неструктурированных или слабо структурированных задач, для которых сложно выявить данные и процедуры, необходимые для принятия решений.

Следует отметить, что управляющая программа обязательно должна контролироваться квалифицированным специалистом, который знает ее назначение, цели и задачи. Это позволяет специалисту эффективно использовать ее с учетом характерных особенностей. Система управления должна, таким образом, обеспечивать предоставление точной, достоверной, систематизированной и актуальной информации. Для формирования и использования ГИСУ ППР требуется формализовать и разработать структуру, функции, стратегию субъекта управления объектом. Выявление целей управления, особенностей используемой техники. Главные компоненты: структура и управляющие органы, стандартные процедуры, сотрудники, корпоративная культура.

«Разработка ГИСУ для управления динамическими объектами должна начинаться с анализа системы управления такими объектами соответствующего типа» [99]. Она должна обладать следующими возможностями: (рис.51):



Рисунок 51 – Функции ГИСУ

А теперь по каждой возможности ГИСУ более подробно:

– Интерактивность – дает возможность руководителям получать ценную информацию из литературных источников, изучить ее и определить предоставленные модели для решения требуемых задач. Достоинства интерактивности ИС дают возможность в реальном времени отследить доступные информационные активы, реализовать необходимые измерения, получить сравнительные показатели характеристик в рамках компонентов пространств, спрогнозировать перспективы развития при гипотетическом поведении (внедрение инновационных разработок, инвестирование и т. д.), включая анализ потенциальных альтернативных путей;

– Эффективность – ориентирована на выполнение выбора по ранее выявленным показателям: выбор перспективного решения из множества представленных (оптимизация процесса), возможность структурирования представленных решений по предпочтительным характеристикам (ранжирование), определение ряда критериев, посредством которых будет реализован процесс оценки и сравнения возможных решений;

– Гибкость – ориентирована на функциональные показатели системы, учитывая «различные уровни доступа к различным слоям геоданных: способность управлять входом и выходом, адаптивность и эффективная реакция на малейшие модификации в условиях принятия решений, динамика объектов управления и анализа, отсутствие необходимости привлекать различных квалифицированных сотрудников в сфере информационных технологий» [99];

– Масштабируемость – позволяет поддерживать принятие решений и решать проблемы, которые могут не быть заранее предвиденными; возможность использования новых перспективных методов анализа, включающих использование инструментов моделирования, и возможность расширения системы в соответствии с уровнями управления [99];

– Пространственная направленность компонентов решения – наблюдение за пространственными характеристиками субъекта решения, объектами, факторами, событиями, проблемами, исполнителями и т. д.

С целью формирования информационной поддержки систем управления в ГИС могут реализовываться разные методы, представленные на рисунке 52 [99]:

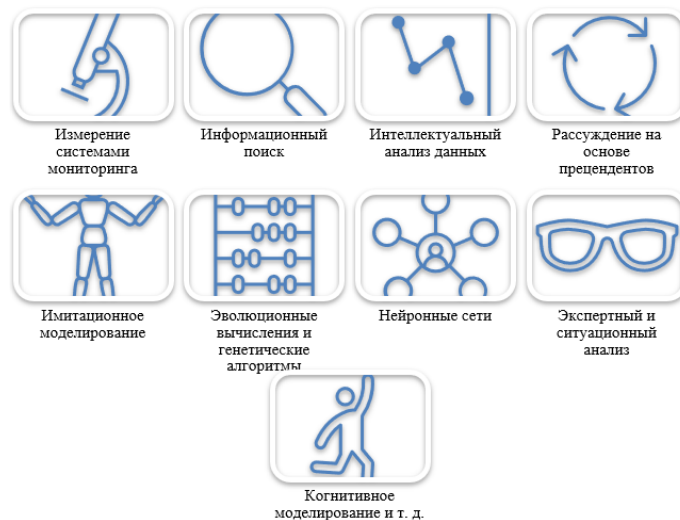


Рисунок 52 – Методы управления информационным обеспечением

По функциональным показателям ГИС ППР для управления динамическими объектами должны быть достаточно многообразны, как показано на рисунке 53 [100].

Функциональные возможности ГИСУ	Ввод данных в ГИСУ (с клавиатуры, импорт, сканирование и др.)
	Хранение, манипулирование и управление
	Вывод данных (на монитор, принтер, экспорт)
	Картометрические операции, визуализация и моделирование
	Генерация пользовательских запросов
	Оверлейные операции, согласование решений
	Построение моделей развития ситуации
	Настройка на требования пользователя. Формирование вариантов решений
	Электронное планирование. Документооборот. Подготовка бюджета. Планирование проекта.
	Преобразование пространственных данных
	Пространственный анализ

Рисунок 53 – Функциональные возможности ГИСУ

3.2 Структура геоинформационной системы поддержки принятия решения для управления динамическими объектами на примере агропромышленного комплекса

Требования к структуре и специфике данных ГИС ППР для управления динамическими объектами. База географических данных (БГД) является основной частью ГИС ППР для управления динамическими объектами, поскольку она является главным источником сведений о СППР для управления объектами. Точность и полнота сведений, которая находится в БД, определяет качество работы ГИС ППР для управления динамическими объектами, а также эффективность решений, принимаемых ЛПР. Геореляционная структура позволяет одновременно работать с цифровыми картами и реляционными БД. Формирование геореляционных структур является распространенным форматом для формирования БД. Следует отметить, что «геореляционные структуры базируются на концепции геометрической модели цифровой карты» [100].

При хранении геоданных основная проблема заключается в согласованности различных геоданных с точки зрения свойств сохраняемых атрибутивных значений. В то время как атрибуты в одной таблице можно считать эквивалентными экземплярами одного логического типа, зависящими только от списка атрибутов, геопространственные данные организованы иначе.

Пространственно-атрибутивные данные должны организовываться в наборы связанных классов, где атрибуты этих классов соответствуют заданным топологическим

отношениям. Одной из ключевых возможностей геореляционных систем является хранение геометрической информации, так как пространственные данные должны быть доступны для визуализации и анализа.

Чтобы обеспечить целостность данных, предлагается использовать множественно-реляционный подход к моделированию, который был разработан специально для работы с динамическими объектами, а также основанный на этом подходе механизм поддержания структурной согласованности, который позволяет поддерживать триангулярную целостность пространственных атрибутов вместо простой линейной ссылочной целостности обычных отношений [91]. Следует отметить, что пространственные данные обладают особенностью в виде большого количества высокоуровневых структур. Любая из классических моделей управления базами данных, разработанных в 60-е годы XX века, предлагала свое решение для этой предметной области, но ни реляционная модель, ни объектно-ориентированный подход не соответствуют полностью такой информации. «Реляционная модель хорошо работает с топологическими связями, но ей не хватает средств для представления сложных иерархических связей, протяженных в пространстве. Объектно-ориентированное моделирование работает как с топологическими, так и с иерархическими связями, но испытывает трудности с явлениями и объектами, имеющими пространственную протяженность» [91]. В реляционных БД все объекты, понятия и сущности, которые отличаются друг от друга, представлены с помощью отношений, или таблиц. Отношение описывается именем и списком различных атрибутов, описывающих его. При работе с пространственными данными требуется тип линейных сегментов для привязки данных к географической точке или объекту. В реляционных базах данных изначально не предусмотрен такой тип данных, поэтому для хранения пространственной информации приходится создавать множество таблиц и связей, что вызывает трудности при работе с данными.

Для обработки пространственной информации требуется сложная структура, предназначенная для сокращения большого смыслового разрыва между точкой зрения пользователя и реализацией базы данных. «Такого рода инструменты предоставляются в рамках объектно-ориентированной парадигмы ПО, основанной на принципах пользовательских типов данных, включающих наследование и полиморфизм» [101].

Требования к знаниям. Знания включают в себя принципы, связи, законы, методы и т. д., полученные в результате практической деятельности и научных исследований в определенной области. Их основная функция определяется их возможностью: они используются для формулирования и решения важных управленческих задач на основе имеющихся географических данных. «Качество БЗ определяется связанностью знаний и

данных, а также механизмами доступа и сопоставления, которые будут использованы для достижения целей ЛПР. Связность (агрегирование) знаний обеспечивает минимизацию времени на поиск соответствующих знаний. Знания должны быть организованы вокруг наиболее значимых объектов (сущностей) в предметной области, что позволяет связывать и представлять их как единый объект, что упрощает их поиск» [101]. В таких объектах выделяются два типа связей: внутренние – описывают структуру объекта (соединяют компоненты в единое целое); внешние – показывают зависимости от других объектов и делятся на логические и ассоциативные. Логические связи определяют семантические отношения между компонентами знаний.

Ассоциативные связи служат для обеспечения наиболее быстрого поиска знаний, соответствующих принимаемым решениям. Операция сопоставления используется для выбора нужного объекта из предложенного набора и для выполнения таких действий, как классификация, проверка, декомпозиция и последующее исправление. Неизвестный объект можно систематизировать (идентифицировать) с помощью определенных известных образцов, при сравнении с которыми получаются наиболее корректные результаты. При поиске соответствия используются для подтверждения некоторых объектов из множества возможных. Если неизвестный объект сопоставляется с известным объектом, то может быть выполнена частичная декомпозиция его описания. Операции сопоставления могут быть представлены в виде синтаксиса, при котором сравниваются формы, а не содержимое объектов. Успех означает идентичность объектов; параметрическое сравнение – в соответствии с предложенным параметром, определяющим степень соответствия; семантическое сравнение – не сравниваются образцы объектов, а только их функции; вынужденное сравнение – один сравниваемый образец анализируется с точки зрения другого. Проблема заключается в силе принуждения (эффективности выделенных процедур, связанных с объектами).

Соответствие задачам ЛПР. «Использование моделей в БЗ для принятия решений зависит от специфики поставленных задач, которые могут быть классифицированы по таким категориям» [101], как (рис.54):

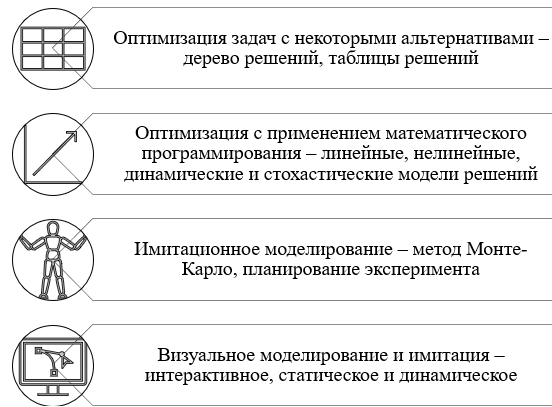


Рисунок 54 – Классификация моделей для ПР по специфике решаемых задач

Для геоинформационных систем управления наиболее востребованы последние формы представления знаний, такие как эвристика, эвристическое программирование, экспертные системы и количественные и качественные решения. «Методики в базе знаний ГИСУ являются специализированными и основаны на целевых показателях и объектах (сущностях) управления развитием территорий агропромышленного комплекса. Для представления онтологий в базе знаний может использоваться фреймовая модель представления знаний, что важно для возможности наследования, полиморфизма и создания связей между различными видами знаний. Методики логического вывода и примеры удобно представлять в виде информационной системы в формате продукционных правил и алгоритмов. Структуры и карты развития объектов могут быть представлены с помощью семантических сетей» [101]. Полученные знания позволяют принимать два типа решений:

- организационные решения – решения по распределению обязанностей в системе управления территорией;
- действенные решения – решения, связанные с развитием существующих и потенциальных объектов, кластеров и территории в целом.

Анализ характеристик территории – важнейший этап при формировании стратегии ее развития. «С методической точки зрения данный этап включает в себя определение элементов, создающих привлекательный конкурентоспособный образ территории, ее экономический потенциал. Кроме того выявляются элементы, замедляющие позитивный вектор развития, что позволяет оценить преимущества и недостатки территории» [102]. Результаты анализа могут применяться при стратегическом планировании развития территорий агропромышленного комплекса. Как правило, анализ характеристик объектов осуществляется системой мониторинга.

Для выполнения задач геоинформационного обеспечения ГИСУ должны отвечать определенным специальным требованиям. Требования, предъявляемые к функциям, могут

привести к необходимости улучшения технологий их реализации в геоинформационных системах поддержки принятия решений. «Организация единого информационного пространства требует стандартизации технологических решений для разных уровней управления и функциональных элементов, создания единой технологической и информационной среды» [102]. Таким образом, структура системы баз знаний в ГИС ЛПР для управления динамическими объектами должна отличаться от традиционных ГИС. Для объединения различных ИС в единую информационную среду требуется согласовать используемую информацию разных типов и источников, чтобы обеспечить возможность ее представления в обобщенном или сводном виде.

При создании пользовательского интерфейса нужно учитывать особенности восприятия человеком информации. Принятие во внимание опыта ЛПР к использованию опыта (так называемой типизации поведения) должно учитываться. Процесс принятия человеком решений включает четыре стадии (рис.55):



Рисунок 55 – Стадии процесса принятия решений человеком

- распознавание или обдумывание – включает определение и понимание задач, стоящих перед ЛПР (причины возникновения задач, их расположение и результат);
- проект или продумывание – при принятии решений ЛПР, обычно рассматривает и анализирует возможные варианты решения задачи, опираясь, в первую очередь, на свой собственный опыт или на опыт других, добившихся успеха руководителей;
- выбор – направлен на выбор решения из числа альтернативных предложений. На данном этапе важными становятся различные критерии и сложные аналитические модели. Их основная цель – объяснить все возможные последствия и варианты развития событий;
- реализация – при выполнении принятого решения ЛПР выделяет исполнителей, распределяет задачи и ресурсы, а также осуществляет корректное управление.

Элементами пользовательского интерфейса могут служить отдельные стандартные задачи, представленные на рисунке 56 [102].



Рисунок 56 – Типичные задачи пользовательского интерфейса информационной системы

Основными результатами программной разработки пользовательского интерфейса в геоинформационной системе поддержки принятия решений для управления динамическими объектами являются представление аргументированных альтернативных решений в привычных для пользователя формах.

Структура и функции типовой геоинформационной системы поддержки принятия решения для управления динамическими объектами

Информационное и аналитическое сопровождение деятельности руководителя (ЛПР) управляющего органа сложной территориально-распределённой социально-экономической системы и территории включает создание геоинформационной системы ППР для управления динамическими объектами, обеспечивающей поддержку принятия решений и мониторинг выполнения, учитывая пространственную и временную специфику развития объектов управления.

В процессе обработки и анализа данных формируется система рекомендаций для административных работников управляющих органов (набор решений), направленная на повышение результативности управления, улучшение организационной структуры и экономической деятельности, повышение качества основных и вспомогательных процессов. В ГИСУ создается картина актуальной обстановки, анализируется и оценивается текущее состояние, определяются управляющие воздействия, отбираются варианты решений, способствующие корректной работе информационной системы и выполнению поставленных задач, а также реализуется мониторинг и анализ результатов выполнения решений. На рисунке 57 представлена реализованная база данных

геоинформационной системы поддержки принятия решений для управления динамическими объектами агропромышленного комплекса.

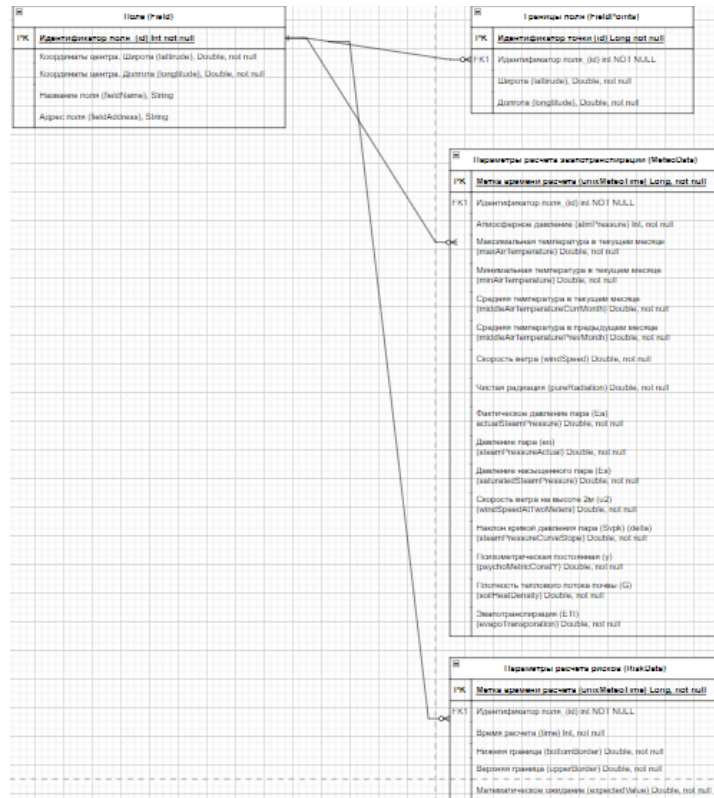


Рисунок 57 – База данных геоинформационной системы поддержки принятия решений для управления динамическими объектами агропромышленного комплекса

Созданная геоинформационная система поддержки принятия решения для управления динамическими объектами обеспечивает функциональное гомоморфное отображение части окружающего мира (моделируемого объекта) на систему понятий. Основываясь на данном определении, ключевыми компонентами геоинформационной модели являются: понятия (понятия, обозначения, символы); методы преобразования; аксиомы; формально определенные закономерности развития моделируемой системы, методы и подходы к ее преобразованию для достижения определенной цели (знания); критерии подобия, которые позволяют сравнить результаты моделирования, расчетов и трансформаций с ожидаемыми, полученными экспериментальным путем или практическими итогами [103].

Представленные общие принципы могут описывать как информационные модели-теории, так и вполне конкретные модели. Зачастую подобные модели формируют базу компонентов ГИС ППР для управления динамическими объектами.

ГИСУ можно считать информационной операционной моделью, если она позволяет получить ответы на вопросы о внешней среде и способах ее улучшения. Основное преимущество данного операционного определения заключается в том, что оно включает в

себя не только теоретическую модель, но и практические, применимые на практике модели действий. «Основываясь на общепринятом принципе о том, что слишком абстрактная модель системы является неэффективной, а слишком детализированная – приводит к заблуждениям, объем информации, включаемой в модель, и правила ее организации должны соответствовать целям системы – задачам и методам управления для ГИСУ. Физически информационная модель реализуется с помощью различных инструментов отображения и преобразования данных. Особенность использования информационной модели заключается в необходимости сопоставления данных, получаемых с помощью устройств, экранов, схем, табло и прочего, как между собой, так и с реальными объектами управления» [103]. Действия субъекта в целом включают в себя работу с этими данными. Создание точной геоинформационной модели, таким образом, становится главной задачей при разработке ГИС ППР для управления динамическими объектами.

«Физически информация определяет предсказуемость поведения и характеристик объекта во времени: чем выше уровень организованности (больше информации), тем меньше подвержен объект воздействию среды (поведение является предсказуемым)» [104]. Поэтому важно отметить, что организованность и структурность системы представляют собой возможность определять вектор развития и свое будущее. Правильное и эффективное управление невозможно без надлежащего информационного обеспечения, которое, зачастую, осуществляется на основе специализированного мониторинга текущей ситуации. «Такой мониторинг должен обеспечивать выполнение процессов сбора, передачи и обработки информации, а также предоставление соответствующих рекомендаций. Важной особенностью современных систем контроля обстановки является их связь с ГИС в качестве пространственной информационной платформы, которая обеспечивает осуществление пространственно-временной интеграции данных» [101, 102].

Современные геоинформационные системы предлагают совершенно новый подход к анализу различных проблем и решению сложных задач. Этот подход основан на учете пространственных свойств рассматриваемых систем. Возможности геоинформационных систем поддержки принятия решений для управления динамическими объектами должны включать возможность прогнозирования изменений в окружающей среде, определение и выделение ключевых пространственных факторов и причин, определение их возможных последствий, а также составление планов деятельности для различных территориально распределенных заинтересованных объектов, предоставляя им поддержку в принятии важных решений. «Геоинформационные системы поддержки принятия решений, совместно с системами мониторинга, используются для решения следующих задач: сбор и обработка данных о внешней и внутренней средах, формирование пространственной модели

контролируемого объекта и её наглядное представление, оценка динамики процессов, прогнозирование вероятности возникновения опасных ситуаций, разработка вариантов решений по управлению, а также контроль над исполнением этих решений» [104].

В настоящее время одной из самых многообещающих областей развития распределенных геоинформационных систем является разработка мобильных ГИС. Мобильная ГИС требует проведения работ по сбору и актуализации динамически изменяющихся пространственных данных. «Для обеспечения корректной работы и точной локализации объектов управления, предоставления точных данных требуется разрабатывать и изменять пространственные данные непосредственно на объектах» [105].

Классификация ГИС ППР для управления динамическими объектами может быть осуществлена с двух точек зрения: функциональной и структурной. Типовая структура ГИС ППР для управления объектами включает следующие составляющие, которые представлены на рисунке 58:

- БД (с системой управления – СУБД);
- БЗ (с системой управления – СУБЗ);
- систему управления ГИС ППР с выходом на соответствующую пользовательскую панель, согласованную с предпочтениями пользователя;
- систему мониторинга за динамическими объектами.

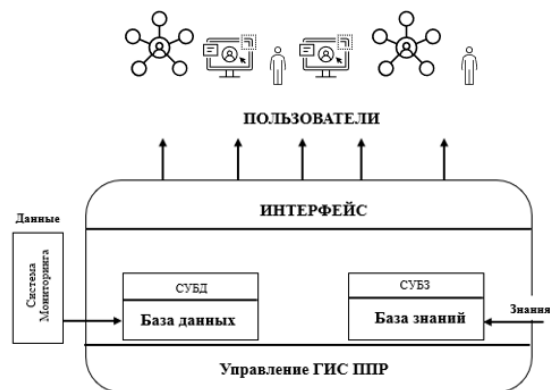


Рисунок 58 – Типовая структура ГИС ППР для управления динамическими объектами

3.3 Практические рекомендации по применению разработанных моделей и методики проектирования и обработки данных в геоинформационной системе поддержки принятия решений для управления динамическими объектами на основе объектно-ориентированного подхода проектирования ГИС

Для определения пространственного распределения параметров природно-технической среды принципиально использовать систему прогнозирования, которая поможет оценить ее будущее состояние. Расчет и прогнозирование осуществляются с использованием метеодинамического моделирования гидрометеорологических характеристик динамических объектов в соответствии с заданными гидрометеорологическими параметрами. Данные о гидрометеорологических условиях поступают в информационную систему каждые три часа из БД или вводятся вручную. Этот интервал поступления исходных данных удовлетворяет требованиям оперативной гидрометеорологической информации. Результаты проектирования представляются в качестве графиков или карт в соответствии с запросами пользователя.

Для прогнозирования гидрометеорологических параметров следует задать топологию территории агропромышленного комплекса. Результаты, полученные в результате анализа параметров, собранных с датчиков на территории, могут использоваться для формирования БЗ.

Если регулярные гидрометеорологические данные недоступны или есть какие-либо другие причины отсутствия исходных данных, использование модели может быть допустимо, хотя качество прогноза гидрометеорологических параметров может ухудшиться. При оперативном использовании (для создания краткосрочных прогнозов) результаты прогнозирования соответствуют требованиям к гидрометеорологическим прогнозам и считаются успешными, пока разница между прогнозируемыми и фактическими данными не превышает 30%.

Методика определения вероятности наступления опасного явления на базе разработанной инновационной математической модели вычисления времени наступления опасного явления при известных изначальных геопространственных данных, интегрированная в систему управления ГИС с доступом к соответствующему пользовательскому интерфейсу, может быть полезна ЛПР в процессе принятия решений по управлению динамическими объектами агропромышленного комплекса. Чтобы оценить вероятность наступления опасного явления, пользователь проводит вероятностное моделирование для определения превышения параметров суммарной потери влаги из

почвы и листьев над указанными критическими значениями. Результаты предоставляются в формате таблицы, содержащей верхнюю и нижнюю границу вероятности наступления риска, время его наступления и длительность.

Методика анализа геопространственных данных при оценке вероятности наступления опасного явления с учетом его влияния на объекты агропромышленного комплекса показана на рисунке 59.

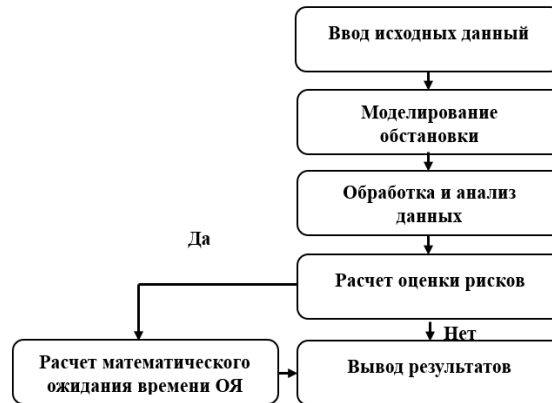


Рисунок 59 – Методика обработки геоданных

Итоговый прогноз оценки вероятности наступления опасного явления включает:

- автоматически сформированный текстовый документ с информацией о результатах возникновения опасного явления (вероятность и время превышения критических параметров, сведения о прогнозируемом параметре суммарной потери влаги из почвы и листьев, температуре воздуха, скорости ветра и пр.);
- карту территории агропромышленного комплекса с демонстрацией степени риска с использованием цветовой шкалы уровня риска. Риск определяется на основании руководящих документов для изучаемого региона, руководств по гидрометеорологическому снабжению продовольственных территорий агропромышленного комплекса и директив Росгидромета.

Апробация была проведена на основе полученных и обработанных гео- и метеорологических данных для территорий агропромышленного сектора Ростовской области (Азовский, Дубовской и Зерноградский районы). Учтены параметры внешней среды: R_n – чистая радиация на культуре, G – плотность теплового потока почвы, T – среднесуточная температура воздуха на высоте, u_2 – скорость ветра на высоте 2 м, e_s – давление насыщенного пара, e_a – фактическое давление пара, $(e_s - e_a)$ – дефицит давления насыщенного пара, Δ – наклон кривой давления пара, y – психометрическая постоянная – за каждый день с января 2013 года по декабрь 2022 года включительно с промежутком 24 часа. За данный промежуток времени были выполнены расчеты значения эвапотранспирации, а также реализован прогноз. Для оценки вероятности наступления

опасного явления были установлены предельные значения гидрометеорологических параметров. На рисунке 60 представлена гидрометеорологическая обстановка на заданный момент времени на основании климатических значений за период с 2013 по 2022 гг. включительно, что говорит о возможности принятия управленческих решений за данное время.

Тестирование разработанных моделей и методики на платформе ГИС показало, что можно получить качественные прогнозы при соблюдении основных условий модели.

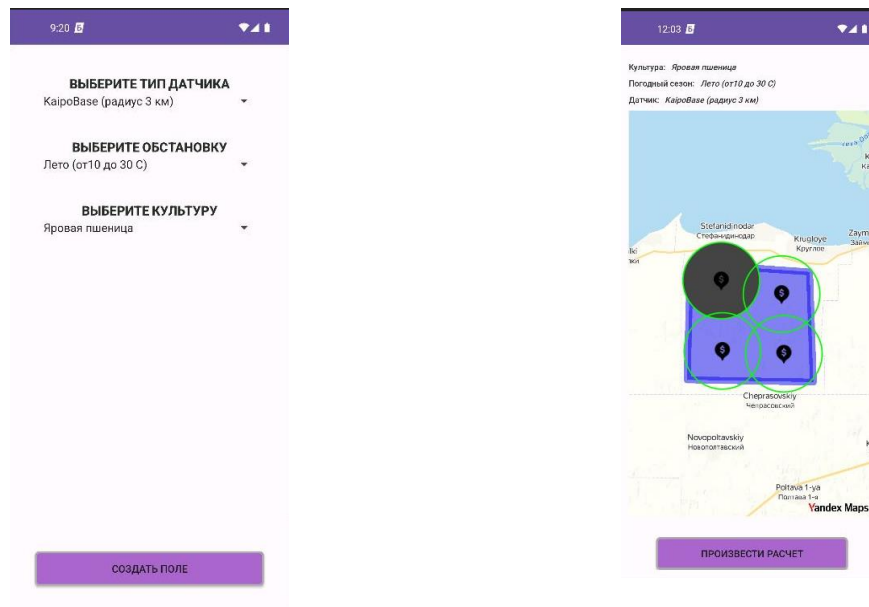


Рисунок 60 – Прогноз вероятности возникновения ОЯ на территориях агропромышленного комплекса Ростовской области

Выводы по главе

В третьей главе описаны основные функциональные возможности и характеристики ГИС ППР для управления динамическими объектами на основе объектно-ориентированного подхода проектирования ГИС, разработаны конкретные предложения по практическому использованию новых моделей и методик в ГИС ППР для управления динамическими объектами на примере АПК.

В процессе работы были изучены функциональные возможности ГИС ППР для управления динамическими объектами.

Была рассмотрена стандартная структура ГИС ППР в контексте динамического управления, основанная на объектно-ориентированном методе формирования ГИС. Были изучены требования к ГИС ППР для управления динамическими объектами, а также разработаны практические рекомендации по использованию реализованных моделей и методики в ГИС ППР для управления динамическими объектами на основе типичной структуры ГИСУ. Выявлено место и представлены характеристики моделей и методики в контексте ГИС ППР. Кроме того, были описаны способы получения данных об идентифицированных природных явлениях. Также были описано представление результатов оценки вероятности наступления опасного явления (засухи) и переувлажнения почвы. Помимо этого, были обозначены ограничения и дана оценка точности прогнозов.

В конце работы проводится тестирование геоинформационной системы управления с использованием пространственных и пространственно-временных данных, полученных посредством реализации алгоритмов, описанных во второй главе.

Тестирование проводилось на ранее представленных данных за период 10 лет на территории Ростовской области, в результате которого на картографическом слое были отображены области с различной цветовой шкалой, соответствующей уровням риска. Приводится краткое пояснение для пользователя рядом с картой.

Таким образом, разработанные практические рекомендации по применению объектно-ориентированной ГИС ППР для АПК позволяют лицам, принимающим решения, получить данные для безопасного управления динамическими объектами в аграрной отрасли.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Для решения актуальной научной задачи по разработке моделей и методики проектирования и обработки данных ГИС ППР для управления динамическими объектами на примере агропромышленного сектора были созданы **новые, научно обоснованные технические, технологические решения и разработки, имеющие первостепенное значение для развития страны**. Эти разработки включают в себя:

1. ***Требования к геоинформационной системе поддержки принятия решения для управления динамическими объектами на основе объектно-ориентированного подхода проектирования ГИС***, реализующей отображение динамических объектов, содержащих пространственные и пространственно-временные данные, которые *отличаются* тем, что впервые используют динамический объект в геоинформационной системе поддержки принятия решений, что *позволяет* решить проблему обеспечения геоданными на больших территориях агропромышленного комплекса и сформировать требования к геоинформационным системам поддержки принятия решений для управления динамическими объектами на основе объектно-ориентированного подхода проектирования и обработки данных ГИС в аграрном секторе, а также требования к моделям и методике.

Были определены условия, влияющие на развитие агропромышленного сектора на территории Российской Федерации. Определено направление развития в сторону цифровизации и внедрения информационных технологий, что подчёркивает необходимость внедрения геоинформационных технологий в аграрном секторе, включая территории малого масштаба. Метод моделирования обусловлен отсутствием систематических замеров гидрометеорологических данных на обширных территориях аграрного сектора, а также малым количеством гидрометеорологических станций. В результате анализа гидрометеорологических показателей были выявлены параметры, которые в наибольшей степени влияют на возможность возникновения рисков засухи и переувлажнения почвы на территории агропромышленного сектора и потенциальные риски для развития динамических объектов.

2. ***Модель прогнозирования суммарной потери влаги из почвы и листьев на территориях агропромышленного комплекса***, которая *отличается* тем, что в ней впервые представлена модель суммарной потери влаги из почвы и листьев на основе уравнения Пенмана-Монтейта, что *позволит* обеспечить точность краткосрочных гидрометеорологический прогнозов до 95%. Эта модель была апробирована на реальных динамических объектах (территориях агропромышленного сектора) Ростовской области

(Азовском, Дубовском и Зерноградском районах), где раньше подобные исследования по прогнозированию суммарной потери влаги из почвы и листьев не проводились. Полученные данные были верифицированы с помощью натуральных наблюдений. Оценка показала, что модель соответствует данным натуральных наблюдений, и ошибка не выходит за пределы 5%. Результаты моделирования представлены в виде пространственно-временного изменения параметров гидрометеорологических данных (среднесуточная температура воздуха, скорость ветра, относительная влажность, прямая радиация на культуру, плотность теплового потока почвы, давление насыщенного пара, фактическое давление пара и т.д.). Был проведен анализ погодных условий и выявлены особенности пространственной и временной изменчивости гидрометеорологических параметров на протяжении исследуемого периода на рассматриваемых территориях агропромышленного сектора.

3. Модель и методика оценки вероятности наступления опасного явления для объектов агропромышленного комплекса на основе геоданных, которая отличается тем, что базируется на геоданных с применением параметрической вероятностной модели. Эта модель впервые была применена для определения времени ожидания опасного явления при известных исходных геоданных, что *позволяет* увеличить точность оценки вероятности наступления опасного явления при воздействии погодных условий на объекты агропромышленного сектора до 90%.

Проводится анализ данных с помощью расчета описательной статистики, проверки стационарности и соответствия нормальному распределению. Также выполняется оценка и сглаживание тренда, а также вычисление автокорреляции. Апробация показала, что оценка верхнего и нижнего пределов вероятности возникновения риска при известных исходных условиях дает ошибку в пределах 10% в исследуемом временном интервале при заданном уровне прогнозирования.

4. Практические рекомендации по применению полученных моделей и методики проектирования и обработки данных в геоинформационной системе поддержки принятия решения для управления динамическими объектами на основе объектно-ориентированного подхода проектирования геоинформационных систем на территориях агропромышленного комплекса, которые отличаются тем, что основываются на разработанных моделях и методике создания и обработки данных для динамических объектов в объектно-ориентированных геоинформационных системах. Это *позволит* обеспечить геопространственное моделирование данных для поддержки принятия управленческих решений посредством визуализации.

В ходе работы была рассмотрена стандартная структура ГИС ППР для управления динамическими объектами, показано место и особенности созданных моделей и методики в геоинформационных системах поддержки принятия решений, подходы к получению информации об определенных природных процессах, форматы представления пользователю результатов прогнозирования опасных гидрометеорологических параметров, ограничения и анализ точности прогнозов. Суть заключается в объединении двух типов моделей, что дает множество преимуществ.

Их правильное объединение требует дальнейшего тщательного изучения и более масштабного тестирования и развития обеих моделей с учетом неучтенных явлений.

Несмотря на ряд ограничений, эксперименты показали довольно хорошие результаты для оперативной обработки и имеют потенциал для дальнейшего совершенствования.

Основные направления будущих исследований включают увеличение числа гидрометеорологических параметров модели, адаптацию моделей и методики на других территориях агропромышленного сектора, а также разработку практических рекомендаций по использованию полученных результатов специалистами в области гидрометеорологического обеспечения динамических объектов агропромышленного сектора с использованием геоинформационных систем поддержки принятия управленческих решений.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Годин В. В., Белоусова М. Н., Белоусов В. А., Терехова А. Е. Сельское хозяйство в цифровую эпоху: вызовы и решения Электронный менеджмент в отраслях. 2020. №1. С. 4–15
2. Верзун Н. А., Колбанёв М. О., Омелян А. В. Введение в инфокоммуникационные технологии и сети / учебное пособие/ Санкт-Петербургский государственный экономический университет, 2016.
3. Астахова Татьяна Николаевна, Колбанев Михаил Олегович, Романова Анна Александровна, Шамин Алексей Анатольевич Модель цифрового сельского хозяйства // International Journal of Open Information Technologies. 2019. №12.
4. Суровцева И.В. ТЕХНОЛОГИИ ДИСТАНЦИОННОГО МОНИТОРИНГА ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ ПРИ ОПРЕДЕЛЕННЫХ ЭКСТРЕМАЛЬНЫХ СИТУАЦИЯХ // Российский химический журнал. 2020. №4.
5. М.А. Шереужева, А.А. Шереужев Разработка экспертных систем для повышения эффективности выращивания растений в сельском хозяйстве Информационные технологии и телекоммуникации Известия КабардиноБалкарского научного центра РАН №5 (109) 2022
6. Перспективы цифровой трансформации сельского хозяйства / Жукова М.А., Улезько А.В. – Воронеж: ФГБОУ ВО Воронежский ГАУ, 2021. – 179 с.
7. С.С. Андреев. Интегральная оценка климатической комфортности на примере территории Южного Федерального округа России. Монография. - СПб, изд. РГГМУ, 2011 - 304с.
8. Будущее продовольствия и фермерства: вызовы и возможности для глобального устойчивого развития. Краткий обзор. Основные политические рекомендации // Вестник международных организаций: образование, наука, новая экономика. 2011. №3.
9. Смекалов Павел Васильевич, Омарова Наталья Юрьевна Глобальные тенденции и приоритетные направления развития сельского хозяйства в начале XXI века // Экономика региона. 2011. №4.
10. Шуганов В.М. ОСНОВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ РАЗВИТИЯ ЦИФРОВИЗАЦИИ СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА // Известия КБНЦ РАН. 2021. №2 (100).
11. Цифровой двойник. Анализ, тренды, мировой опыт. Издание первое, исправленное и дополненное. – М.: ООО «АльянсПринт», 2020. – 401 стр., ил.
12. Датчики для “умного растениеводства” [Электронный ресурс] URL:<https://agriecomission.com/base/datchiki-dlya-umnogo-rastenievodstva> (Дата обращения: 10.06.2023)
13. Доктрина продовольственной безопасности Российской Федерации. Министерство сельского хозяйства Российской Федерации Москва. 21.01.2020
14. Пospelова И.Н. Состояние и проблемы развития экспортного потенциала зернового хозяйства // Экономика и бизнес: теория и практика. 2019. №12-2.
15. Поляков Павел Владимирович Особенности природно-климатических зон и их влияние на экономическую оценку рационального природопользования // Экономика и экология территориальных образований. 2017. №2.
16. Даюб Нур РАЗВИТИЕ ЦИФРОВИЗАЦИИ СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА В РОССИИ И ЗАРУБЕЖНЫХ СТРАНАХ // Вестник Курской государственной сельскохозяйственной академии. 2022. №5.
17. Лебедева Ольга Анатольевна, Антонов Дмитрий Владимирович Перспективы совместного использования сигналов GPS и ГЛОНАСС // Евразийский Союз Ученых. 2014. №8-8.
18. Дубовик Дмитрий Вячеславович, Виноградов Дмитрий Юрьевич Влияние агротехнических приемов в различных погодных условиях на урожай зерна озимой

- пшеницы // Вестник Курской государственной сельскохозяйственной академии. 2014. №4.
19. Геоинформатика. Толковый словарь основных терминов (авторы Баранов Ю.Б., Берлянт А.М., Капралов Е.Г. и др.)/ под ред. Берлянта А.М., Кошкарёва А.В. М. 1999.
 20. Майоров Андрей Александрович О развитии геоинформатики и геоматики // ПНиО. 2015. №1 (13).
 21. Дубровский, А. В. Д797 Геоинформационные системы: автоматизированное картографирование [Текст] : учеб.-метод. пособие / А. В. Дубровский, О. И. Малыгина. – Новосибирск : СГУГиТ, 2016 – 94 с.]
 22. Жарновский А.А. О возможных направлениях модернизации геоинформационной технологии // Интерэкспо Гео-Сибирь. 2007. №1. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/o-vozmozhnyh-napravleniyah-modernizatsii-geoinformatsionnoy-tehnologii> (дата обращения: 09.09.2023).]
 23. Биденко С.И., Лямов Г.В., Яшин А.И., 2004 Геоинформационные технологии: Учебное пособие. - Петродворец: ВММПЭ, 2004. - 272 с.: ил.
 24. Кащенко Н. А. Геоинформационные системы [Текст]: учебн. пос. для вузов / Н.А. Кащенко, Е.В. Попов, А.В. Чечин; Нижегород. гос. архитектур.- строит. ун-т – Н.Новгород: ННГАСУ, 2012. – 130 с. ISBN 978-5-87941-863-7 (а по факту вот эта ссылка, материал без авторства: <https://studfile.net/preview/7746478/>)
 25. Проектирование баз геоданных: учеб. пособие / Е. Е. Поморцева; Харьков. нац. ун-т гор. хоз-ва им. А. Н. Бекетова. – Харьков : ХНУГХ им. А. Н. Бекетова, 2016 – 140 с.
 26. Жеребцова Юлия Андреевна, Чижик Анна Владимировна СРАВНЕНИЕ МОДЕЛЕЙ ВЕКТОРНОГО ПРЕДСТАВЛЕНИЯ ТЕКСТОВ В ЗАДАЧЕ СОЗДАНИЯ ЧАТ-БОТА // Вестник НГУ. Серия: Лингвистика и межкультурная коммуникация. 2020. №3.
 27. Ерунова, М.Г. Географические информационные системы. Построение цифровой модели населенного пункта в ГИС MapInfo: метод. указания [Электронный ресурс] / М.Г. Ерунова; Краснояр. гос. аграр. унт. – Красноярск, 2016. – 84 с.
 28. Гурьянова Л.В. Г 95 Введение в ГИС: ... / Л.В.Гурьянова.- Мн.: БГУ, 2008.- 135 с. материал взять по ссылке, но нет автора <https://studfile.net/preview/5591389/page:11/>
 29. ОСНОВЫ ГЕОИНФОРМАТИКИ // Информатика с основами геоинформатики. Часть 2: Основы геоинформатики. Учебное пособие. – М.: Географический факультет МГУ, 2016 – 200 с.
 30. Зализнюк А.Н., Карманов Д.В., Александров Ю.С., Присяжнюк А.С., Присяжнюк С.П. Объектно-ориентированная геопространственная информация, достоинства и недостатки при ее создании и применении. Информация и космос №2. 2017. С. 102-106
 31. Отраслевой стандарт Минобразования России. Информационные технологии в высшей школе. Геоинформатика и географические информационные системы. Общие положения. ОСТ ВШ 02.001-97. Дата введения 01.03.98
 32. Анализ сущности GRID-модели, выявление преимуществ и недостатков данной модели в процессе построения цифровых моделей рельефа:[Электронный ресурс] <https://vunivere.ru/work96045/page3> Дата обращения: 28.12.2022
 33. Кузнецов С. Д., Посконин А. В. Распределенные горизонтально масштабируемые решения для управления данными // Труды ИСП РАН. 2013. №.
 34. [Электронный ресурс] ARC/INFO. Управление данными. Концепции, модели данных, разработка баз данных и хранение данных. ESRI, Inc.,1994. Дата обращения: 28.12.2022
 35. А.П. Демичев, В.А. Ильин, А.П. Крюков Введение в грид-технологии Препринт НИИЯФ МГУ - 2007 - 11/832

36. Кучинский В.Ф., Спирина Т.П. Теоретические основы экономической информатики: учеб. пособие. – СПб: НИУ ИТМО, 2014 – 90 с.
37. Big Data = Большие данные : учеб. пособие / И. Б. Тесленко В56 [и др.] ; Владим. гос. ун-т им. А. Г. и Н. Г. Столетовых. – Владимир : Изд-во ВлГУ, 2021 – 123 с.
38. Кыштымов М. А., Уймин А. Г. Применение объектно-ориентированного программирования для разработки геоинформационных систем // Перспективы развития информационных технологий. 2012. №8.
39. Панамарева Олеся Николаевна Технологии искусственного интеллекта в географических информационных системах для автоматизированных систем управления территориально-экономическими процессами // Вестник государственного университета морского и речного флота им. адмирала С. О. Макарова. 2013. №3 (19).
40. ГОСТ Р 52571 – 2006 Геоинформационные системы. Основные понятия и определения
41. ГОСТ Р 52155-2003 НАЦИОНАЛЬНЫЙ СТАНДАРТ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ ГЕОГРАФИЧЕСКИЕ ИНФОРМАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ ФЕДЕРАЛЬНЫЕ, РЕГИОНАЛЬНЫЕ, МУНИЦИПАЛЬНЫЕ. Общие технические требования. 2003 г., N 359-ст [Электронный ресурс]chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/<https://apkgb.info/wp-content/uploads/2020/12/GOST-P-52155-2003.pdf> Дата доступа: 19.01.2023
42. Приказ Федерального агентства и картографии от 2 июня 2005 г. №91-пр «О передаче Госгисцентром копий ЦТК масштаба 1:1000 000, 1:200 000 организациям-фондодержателям Роскартографии»
43. Варшанина Татьяна Павловна Объектно-ориентированная географическая цифровая модель для геосистемного анализа // Вестник Адыгейского государственного университета. Серия 4: Естественно-математические и технические науки. 2008. №4
44. Фарбер С. К., Вараксин Г. С., Байкалов Е. М. Геоинформационные системы в сельском хозяйстве России // Вестник КрасГАУ. 2013. №3.
45. Панеш А.Х., Цалов Г.В. Прогнозирование урожайности озимой пшеницы на основе сервисов геоинформационных Вестник АГУ. 4(211) 2017
46. Карманов А.Г., Кнышев А.И., Елисеева В.В. Геоинформационные системы территориального управления: Учебное пособие – СПб: Университет ИТМО, 2015 – 121 с.
47. Статистическое моделирование и прогнозирование: учеб. пособие / Под ред. А.Г. Гранберга. М.: Финансы и статистика, 2000. – 383 с.
48. Прудников, А. Г. Краткосрочный прогноз производства зерна : монография / А. Г. Прудников. – М. : Росагропромиздат, 1989. – 120 с.
49. Прудников, А. Г. Методология прогноза производства зерна : дис. д-ра экон. наук / А. Г. Прудников. – Краснодар, 1987. – 355 с.
50. Прудников, А. Г. Размещение производства зерна / А. Г. Прудников // Экономика сельского хозяйства. – 1980. – № 10. – С. 37–40.
51. Тьюки Дж. Анализ результатов наблюдений. Разведочный анализ. – М.: Мир, 1981. – 696 с.
52. Лукашин Ю.П. Адаптивные методы краткосрочного прогнозирования временных рядов: учеб. пособие. – М.: Финансы и статистика, 2003.– 416 с.
53. Бережная Е.В., Бережной В.И. Математические методы моделирования экономических систем: учеб. пособие. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Финансы и статистика, 2006. – 432 с
54. Вапник В.Н. Восстановление зависимостей по эмпирическим данным. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 1979. – 448 с

55. Букреев В.Г., Колесникова С.И., Янковская А.Е. Выявление закономерностей во временных рядах в задачах распознавания состояний динамических объектов. – 2-е изд., испр. и доп. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2011. – 254 с
56. Тырсин А.Н. Идентификация зависимостей на основе моделей авторегрессии // Автометрия. – 2005. – Т.41, №1. – С.43-49.
57. Тырсин А.Н., Серебрянский С.М. Распознавание зависимостей во временных рядах на основе структурных разностных схем // Автометрия. – 2015. – Т.51, №2. – С.54-60
58. Прудников, А. Г. Прогнозирование урожайности в плодоводстве / А. Г. Прудников, Д. М. Горлов / Экономика сельского хозяйства России, 2012, № 3 – С. 44– 52
59. Дубовик Д.В., Дубовик Е.В., Виноградов Д.Ю. Влияние агротехнических приемов на урожайность озимой пшеницы // Земледелие. 2014. №1.
60. Полевой А.Н. Прикладное моделирование и прогнозирование продуктивности посевов. – Л.: Гидрометеиздат, 1988. – 320 с.
61. Чибисова Изабелла Станиславовна Применение информационных технологий в сельском хозяйстве России // Эпоха науки. 2018. №13.
62. Ряскова Ольга Михайловна, Зайцева Галина Александровна ПРОДУКТИВНЫЕ ЗАПАСЫ ВЛАГИ И ИХ ЗНАЧЕНИЕ ПРИ РАСЧЕТЕ УРОЖАЙНОСТИ ПОЗДНЕУБИРАЕМЫХ КУЛЬТУР // Наука и образование. 2022. №1.
63. Allen R.G. et al. Crop evapotranspiration. Guidelines for computing crop water requirements-FAO Irrigation and drainage paper 56 // FAO, Rome. - 1998. - Vol. 300, no.9.
64. Методы расчета водных балансов. Международное руководство по исследованиям и практике / Под ред.Соколов А.А., Чапмен Т.Г. - Л. : Гидрометеиздат, 1976.
65. Meissner R. et al. Measurement of dew, fog, and rime with a high precision gravitation lysimeter // Journal of Plant Nutrition and Soil Science. — 2007 — Vol.170, no. 3 — P. 335–344.
66. Ефимов А.Е., Ситдикова Ю.Р., Доброхотов А.В., Козырева Л.В. Мониторинг эвапотранспирации на сельскохозяйственном поле, определение норм и сроков полива автоматизированным мобильным полевым агрометеорологическим комплексом. //Водные ресурсы. - 2018. - Т.45. - №1. - С.100-105.
67. Доброхотов А.В. Определение пространственного распределения суммарной радиации в зависимости от типов и количества облачности с использованием данных фактора мутности Линке и цифровой модели рельефа. //Вестник СГУТиТ (Сибирского государственного университета геосистем и технологий). - 2018. Т.23.-№4. - С. 33-45.
68. Понькина Е.В., Россова А.С., Герпсумер К.Ю., Бондарович А.А., Шмидт Г., Иллигер П. Подходы к оценке потенциальной эвапотранспирации. Труды семинара по геометрии и математическому моделированию. -2019. №5 С. 125-133
69. Шевчук Елена Васильевна, Шевчук Юрий Владимирович Современные тенденции в области хранения и обработки сенсорных данных // Программные системы: теория и приложения. 2015. №4 (27).
70. Колешко В. М., Гулай А. В., Гулай В. А., Полюнкова Е. В. интеллектуальная сенсорная система цветоцветового контроля почвы: реализация функций самодостаточности // Наука и техника. 2011. №2.
71. Василенко Е.В., Тарасова Л.Л. Использование данных с прибором ASCAT/MetOp для Диптихов влажности почвы // Вестник Московского университета. Серия 5. География. 2015. №2.
72. Жданов Э.Р., Маликов Р.Ф., Хисматуллин Р.К. Компьютерное моделирование физических явлений и процессов методом Монте-Карло: Учебно-метод. пособие. – Уфа: Изд-во БГПУ, 2005 – 124с

73. Волк М. А. Процессное представление состояний распределенных имитационных моделей с учетом специфики их программной реализации // Вестник НТУ ХПИ. 2009. №13.
74. Распоряжение Правительства РФ от 10 августа 2019 г. № 1796-р О Долгосрочной стратегии развития зернового комплекса РФ до 2035 г.
75. Соколов Юрий Иосифович РИСКИ ЭКСТРЕМАЛЬНЫХ ПОГОДНЫХ ЯВЛЕНИЙ // Проблемы анализа риска. 2018. №3.
76. Климатические риски в меняющихся экономических условиях Декабрь 2022 года
77. Алисов Б.А. Климат СССР. [Климат СССР] М.: Изд. МГУ, 1956. 127 стр.
78. Панов В.Д., Лурье П.М., Ларионов Ю.А. Климат Ростовской области: вчера, сегодня, завтра. [Климат Ростовской области: вчера, сегодня, завтра] Ростов-на-Дону: Донской издательский дом, 2006. 487 с.
79. Климатические риски и адаптация к изменениям и изменчивости климата в технической сфере — Санкт-Петербург: «Издательство Кириллица», 2015 — 214 с.
80. Динамика засушливых периодов на примере бассейнов Соколовского водохранилища и Таганрогского залива В.Н. Габова, Ю.А. Федоров, О.Ю. Бэллинджер, И.В.Доценко, А.В. Михайленко Южный федеральный университет, Ростов-на-Дону
81. Климатический профиль Кыргызской Республики. – Ильясов Ш., Забенко О., Гайдамак Н., Кириленко А., Мырсалиев Н., Шевченко В., Пенкина Л. – Б.2013 – 99 с.
82. Засухи Е. И. Хлебникова, Т. В. Павлова, Н. А. Сперанская С.126-164
83. Назаренко, О.В. Международная междисциплинарная научная GeoConference Геодезическая геология и управление экологией горных работ, SGEM. 2020. 4.1. стр. 483-490
84. Дмитриева В. А. Структурно-динамические особенности, современное состояние и проблемы оптимизации ландшафтов. Воронеж, 15-17 мая 2013 г. стр.136-138.
85. Martínez R., Hemming D., Malone L. Improving Climate Risk Management at Local Level – Techniques, Case Studies, Good Practices and Guidance for World Meteorological Organization Members (Chapter 21). InTech: Risk Management – Current Issues and challenges (Edited by Nerija Banaitiene, 584 p., 12 September 2012) O'Neill B., Ermoliev Y., Ermolieva T. Endogenous risks and learning in climate change decision analysis // Lecture Notes in Economics and Mathematical Systems. 2006 Vol. 581 P. 283–300
86. Tong S., Confalonieri U., Ebi K., Olsen J. Managing and Mitigating the Health Risks of Climate Change: Calling for Evidence-Informed Policy and Action // Environmental Health Perspectives. 2016 Vol. 124, Is. 10 P. 176–179. Butler M.P., Reed P.M., Fisher-Vanden K., Keller K., Wagener T. Inaction and climate stabilization uncertainties lead to severe economic risks // Climatic Change. 2014 Vol. 127, Is. 3-4. P. 463–47
87. Giles A.R., Stadig G.S., Strachan S.M., Doucette M. Adaptation to aquatic risks due to climate change in Pangnirtung, Nunavut // Arctic. 2013 Vol. 66, Is. 2 P. 207–217
88. Botzen W.J.W., Van Den Bergh J.C.J.M. Managing natural disaster risks in a changing climate // Environmental Hazards. 2009 Vol. 8, Is. 3 P. 209–225
89. Карташов Г.Д., Шведова И.Г. Об одной задаче отбора изделий // Технич. кибернетика, 1983, № 3, с. 70-75
90. Яковлева Е.Н. Уточнение категориального аппарата методологии управления природно-климатическими рисками в России // Вестник УрФУ. Серия: Экономика и управление. 2018 Т. 17 № 2 С. 283—309]
91. Малинин В.Н. Статистические методы анализа гидрометеорологической информации. Учебник,- СПб.: изд. РГГМУ, 2008. - 408 с.

92. Статистические методы анализа гидрометеорологической информации: учебник. В 2 томах: Том. 1 Первичный анализ и построение эмпирических зависимостей. – Издание 2, испр. и доп. – СПб.: РГГМУ, 2020 – 256 с.]
93. Бокс Дж., Дженикс Г.М. Анализ временных рядов, прогноз и управление. М.: Мир, 1974. С.406
94. Разработка основ методологии геоинформационного управления объектами и территориями: монография / Соколов А.Г., Бескид П.П., и др. под общ ред. Истомина Е.П.- СПб, Изд. РГГМУ, 2016.- 250 с.
95. ГОСТ Р 12.0.006 — 2002 Система стандартов безопасности труда. Общие требования к системе управления охраной труда в организации; ГОСТ Р 52571 – 2006 Геоинформационные системы. Основные понятия и определения
96. ГОСТ Р 12.0.006 — 2002 Система стандартов безопасности труда. Общие требования к системе управления охраной труда в организации
97. Соколов А.Г., Истомина Е.П., Кирсанов С.А., Колбина О.Н. Феномен геоинформационного управления и принципы его реализации //Вестник СПбГУ. Сер.7. 2014. Вып. 4 с. 180-188.
98. Географические и земельно-информационные системы. Учебное пособие. Майкоп, 2016 – 151 с.
99. Разработка основ методологии геоинформационного управления объектами и территориями» /отчет о НИР, РГГМУ, 2014 г., № 01201459336
100. Разработка основ методологии геоинформационного управления объектами и территориями: монография / Соколов А.Г., Бескид П.П., и др. под общ ред. Истомина Е.П.- СПб, Изд. РГГМУ, 2016.- 250 с.].
101. Соколов А.Г., Истомина Е.П. и др. Феномен геоинформационного управления и принципы его реализации // – Вестник СПбГУ, серия 7, выпуск 4, СПбГУ, 2014]
102. Разработка основ методологии геоинформационного управления объектами и территориями: монография / Соколов А.Г., Бескид П.П., и др. под общ ред. Истомина Е.П.- СПб, Изд. РГГМУ, 2016.- 250 с.]
103. Соколов А.Г., Истомина Е.П., Попов Н.Н., Бурлов В.Г., Абрамов В.М.« Development of technology of process control of environmental safety on the basis of geoinformation systems », научная статья.- 17th International Multidisciplinary Scientific GeoConference SGEM 2017, www.sgem.org, SGEM2017 Conference Proceedings, 29 June - 5 July, 2017, Albena, BULGARIA (Scopus, WS)
104. Алиев Ф.К., Курочкин В.П., Маслеников О.В., Тляшев О.М. Об информатизации Вооруженных Сил Российской Федерации// Военная мысль. 2019. №12. с.66
105. Разработка основ методологии геоинформационного управления объектами и территориями: монография / Соколов А.Г., Бескид П.П., и др. под общ ред. Истомина Е.П.- СПб, Изд. РГГМУ, 2016.- 250 с.].

Приложение А
(рекомендуемое)

Сравнительные анализ геоинформационных систем

Таблица А.1 – Сравнительные анализ функциональных возможностей современных геоинформационных систем

Функции	QGIS	GeoDa	ERDAS Imagine	Idrisi	ArcGIS	Панора ма	ГИС ИнГео	
Поддержка ОС	Win, inx, Mac	Win, inx,Mac	Win	Win	Win	Win, inx	Win	
Вид лицензии	GPL	GPL	FSF	FSF	FSF	FSF	FSF	
Отображение карт с панорамами и масштабом	√	√	√	√	√	√	√	
Работа со слоями (переменная, либо параллельная; функция отключения)	√	√	√	√	√	√	√	
Защита данных	√	√	√	√	√	√	√	
Открытый исходный код	√	–	–	–	–	–	–	
API для взаимодействия с внешним ПО	√	–	–	–	–	–	√	
Обработка данных	Чтение растровых форматов	GDAL	ESRI формат, ASCII	√	Tiff, GDAL supported, ECW, IMG, Grass,ER Mapper	ECW, JPEG, TIF, geoTIFF, PNG, GIF, img, Grid, RST и т.д.	√	√
	Чтение векторных форматов	√	√	√	Stip	SHP, DXF, DGN	√	√
	Чтение табличных данных	√	√	√–	√–	√–	√	√
	Чтение БД	PostGIS	–	√–	√	√	√	√
	Запись растровых форматов	–	–	√–	√	√–	√	√

	Запись векторных форматов	OGR	SHP	√	SHP	SHP, DXF, DGN	√	√
	Запись табличных данных	–	Edited, dbf, SHP	√–	√–	Edited, dbf, SHP	√	√
	Запись БД	PostGIS	–	√–	√–	PostGIS (p), MDB (P)	√	√
Моделирование, картирование	Точечное	Цвет, размер, форма, узор заливки	цвет	√	√–	√	√	√
	Линейное	Цвет, полоса	√–	√	√–	√	√	√
	Полигонное	Цвет, контур	цвет	√	прозрачность	Цвет, контур, узоры заливки, прозрачность	√	√–
	Текстовая разметка	√	–	√	√–	√	√	√
Прогнозирование	На основе ДЗЗ	–	–	–	–	–	–	–
	Встроенный компонент	√–	–	–	–	√–	–	–
Создание топологий	Онлайн создание	√	–	√	√–	√	–	–
	триангуляция	√	–	√	√–	√	–	–
Инструменты DEM	TIN	GRASS	√	√–	√–	√	√	√–
	Анализ местности	GRASS	√	√–	√–	√	√	√–
	Анализ видимости	GRASS	√	√–	√–	√	√	√–

Поиск потерянных источников данных	√	√	√	–	√	–	–
Построение маршрута по прогностическим картам	–	–	–	–	–	–	–
Построение маршрута по пространственным данным	√–	–	–	–		–	–
Несколько видов данных (карт) в одном проекте	√	–	–	√	–	√	–
Запросы	√	√	–	√–	√–	√–	√
Работа с запросы БД	√	–	–	√–	√	√	√
Поддержка GPS	√	√	√	–	√	√	–
3D-визуализация	GRASS	√	√	√–	√	√	√–
Функции программирования	python	–	–	–	Python, VBScript, Perl, Javascript	√	C++, Delphi, Visual J++

Приложение Б
(рекомендуемое)

Пример исходного кода по расчету параметра эвапотранспирации

```

class MeteoData(
    val atmPressure: Int, //P
    val maxAirTemperature: Double, // Tmax curr month
    val minAirTemperature: Double, // Tmin curr month
    val middleAirTemperatureCurrMonth: Double, //T
    val middleAirTemperaturePrevMonth: Double, //T(t-1)
    val windSpeed: Double, // U
    val pureRadiation: Double, //Rn
) {
    //Фактическое давление пара (Ea)
    fun actualSteamPressure(): Double =
        0.611 * exp((17.27 * minAirTemperature) / (minAirTemperature + 237.3))

    //Давление пара (eo)
    fun steamPressureActual(): Double = steamPressure(middleAirTemperatureCurrMonth)

    //Давление насыщенного пара (Es)
    fun saturatedSteamPressure(): Double =
        (steamPressure(minAirTemperature) + steamPressure(maxAirTemperature)) / 2

    //Скорость ветра на высоте 2м (u2)
    fun windSpeedAtTwoMeters(): Double = (4.87 / (ln(67.8 * 10 - 5.42))) * windSpeed

    //Наклон кривой давления пара (Svpk) (delta)
    fun steamPressureCurveSlope(): Double =
        (2503 * exp((17.27 * middleAirTemperatureCurrMonth) / (middleAirTemperatureCurrMonth +
        237.3))) / ((middleAirTemperatureCurrMonth + 237.3) * (middleAirTemperatureCurrMonth + 237.3))

    // Психометрическая постоянная (y)
    fun psychoMetricConstY() = 0.000665 * atmPressure

    // Плотность теплового потока почвы (G)
    fun soilHeatDensity() =
        2.1 * ((middleAirTemperatureCurrMonth + middleAirTemperaturePrevMonth) /
        (steamPressureCurveSlope() * 48)) * (steamPressureCurveSlope() * 0.12)

    // Эвапотранспирация (ETo)
    fun evapoTransporation() =
        (0.408 * steamPressureCurveSlope() * (pureRadiation - soilHeatDensity())) + (psychoMetricConstY()
        * (900 / (middleAirTemperatureCurrMonth + 273)) * windSpeedAtTwoMeters() *
        (saturatedSteamPressure() - actualSteamPressure())) / (steamPressureCurveSlope() +
        (psychoMetricConstY() * (1 + 0.34 * windSpeedAtTwoMeters())))
    companion object {
        fun steamPressure(targetAirTemp: Double): Double =
            0.6108 * exp((17.27 * targetAirTemp) / (targetAirTemp + 237.3))
    }
}

```

Приложение В
(рекомендуемое)

Результаты апробации эвапотранспирации на территории Азовского района
Эмпирическая функция распределения для значений эвапотранспирации за период с 2013 по 2022 гг.

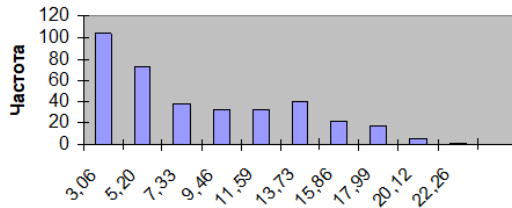


Рисунок В.1 – Эмпирическая функция распределения для значений эвапотранспирации за 2013 г.

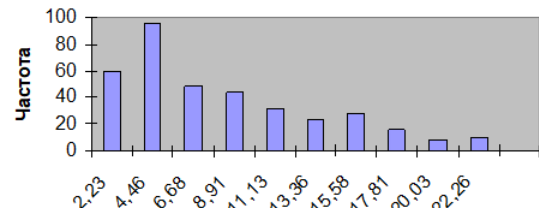


Рисунок В.2 – Эмпирическая функция распределения для значений эвапотранспирации за 2014 г.

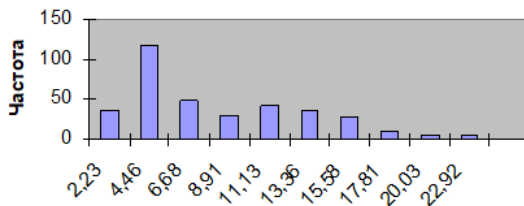


Рисунок В.3 – Эмпирическая функция распределения для значений эвапотранспирации за 2015 г.

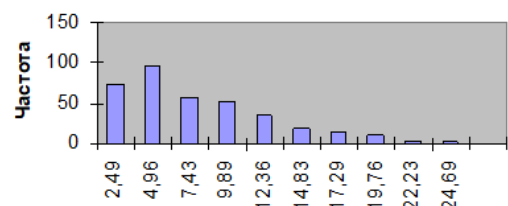


Рисунок В.4 – Эмпирическая функция распределения для значений эвапотранспирации за 2016 г.

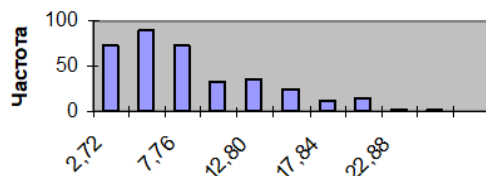


Рисунок В.5 – Эмпирическая функция распределения для значений эвапотранспирации за 2017 г.

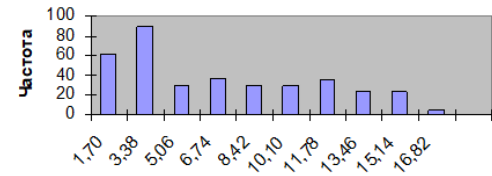


Рисунок В.6 – Эмпирическая функция распределения для значений эвапотранспирации за 2018 г.

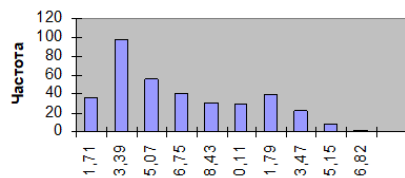


Рисунок В.7 – Эмпирическая функция распределения для значений эвапотранспирации за 2019 г.

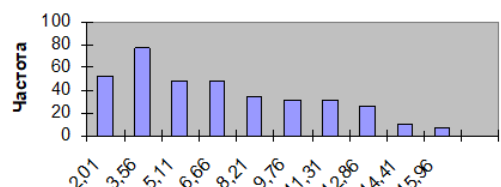


Рисунок В.8 – Эмпирическая функция распределения для значений эвапотранспирации за 2020 г.

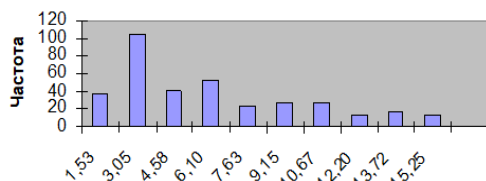


Рисунок В.9 – Эмпирическая функция распределения для значений эвапотранспирации за 2021 г.

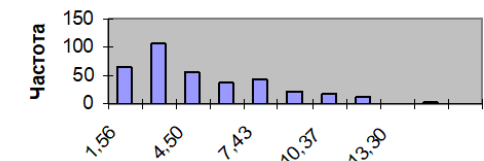


Рисунок В.10 – Эмпирическая функция распределения для значений эвапотранспирации за 2022 г.

Изменчивость эвапотранспирации за период с 2013 по 2022 гг.

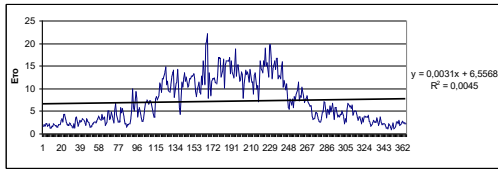


Рисунок В.11 – Изменчивость эвапотранспирации за 2013 г. с линейным трендом

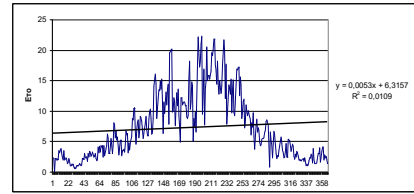


Рисунок В.12 – Изменчивость эвапотранспирации за 2014 г. с линейным трендом

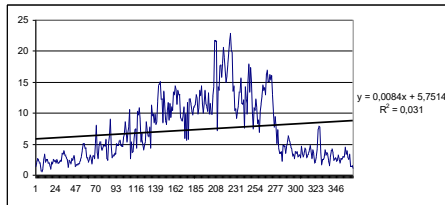


Рисунок В.13 – Изменчивость эвапотранспирации за 2015 г. с линейным трендом

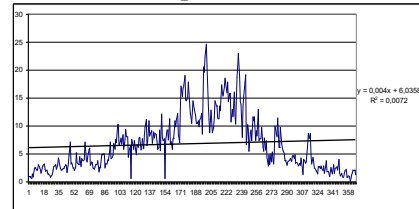


Рисунок В.14 – Изменчивость эвапотранспирации за 2016 г. с линейным трендом

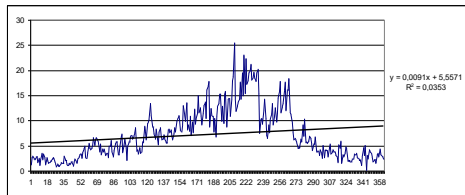


Рисунок В.15 – Изменчивость эвапотранспирации за 2017 г. с линейным трендом

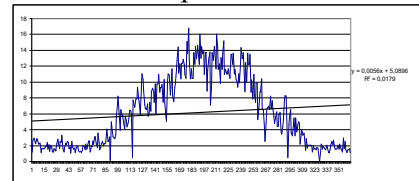


Рисунок В.16 – Изменчивость эвапотранспирации за 2018 г. с линейным трендом

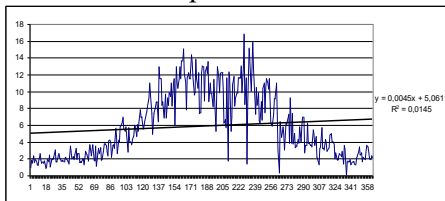


Рисунок В.17 – Изменчивость эвапотранспирации за 2019 г. с линейным трендом

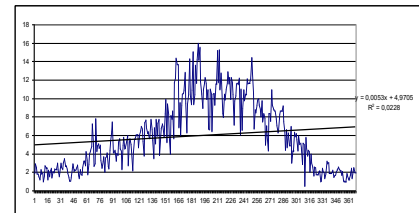


Рисунок В.18 – Изменчивость эвапотранспирации за 2020 г. с линейным трендом

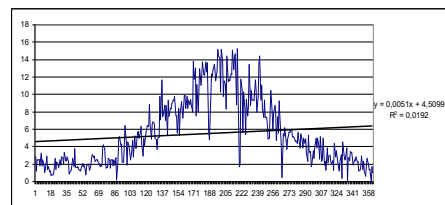


Рисунок В.19 – Изменчивость эвапотранспирации за 2021 г. с линейным трендом

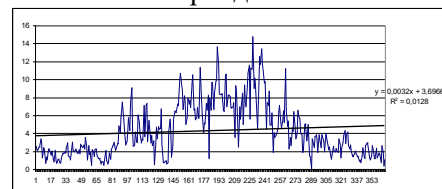


Рисунок В.19 – Изменчивость эвапотранспирации за 2022 г. с линейным трендом

Эмпирическая функция распределения для значений эвапотранспирации с 2013 по 2022 гг. после удаления тренда и гармоник

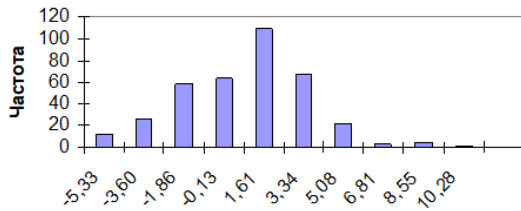


Рисунок В.20 – Эмпирическая функция распределения для значений эвапотранспирации за 2013 г. после удаления тренда и гармоник

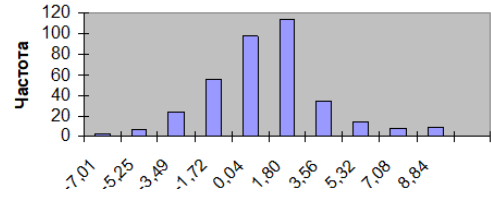


Рисунок В.21 – Эмпирическая функция распределения для значений эвапотранспирации за 2014 г. после удаления тренда и гармоник

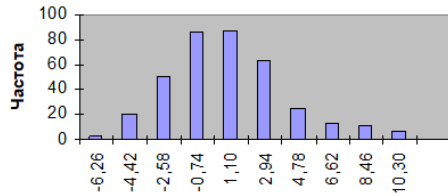


Рисунок В.22 – Эмпирическая функция распределения для значений эвапотранспирации за 2015 г. после удаления тренда и гармоник

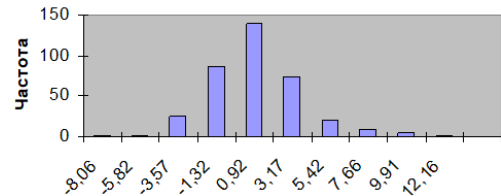


Рисунок В.23 – Эмпирическая функция распределения для значений эвапотранспирации за 2016 г. после удаления тренда и гармоник

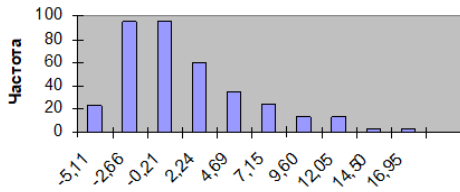


Рисунок В.24 – Эмпирическая функция распределения для значений эвапотранспирации за 2017 г. после удаления тренда и гармоник

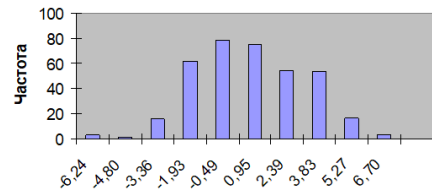


Рисунок В.25 – Эмпирическая функция распределения для значений эвапотранспирации за 2018 г. после удаления тренда и гармоник

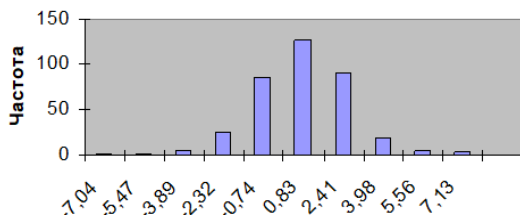


Рисунок В.26 – Эмпирическая функция распределения для значений эвапотранспирации за 2019 г. после удаления тренда и гармоник

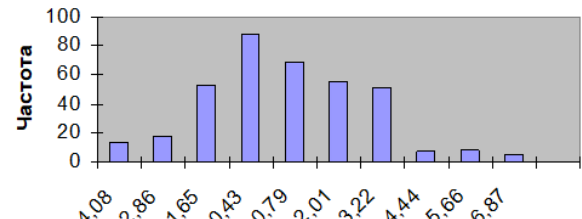


Рисунок В.27 – Эмпирическая функция распределения для значений эвапотранспирации за 2020 г. после удаления тренда и гармоник

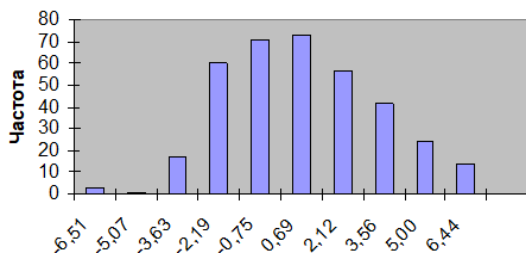


Рисунок В.28 – Эмпирическая функция распределения для значений эвапотранспирации за 2021 г. после удаления тренда и гармоник

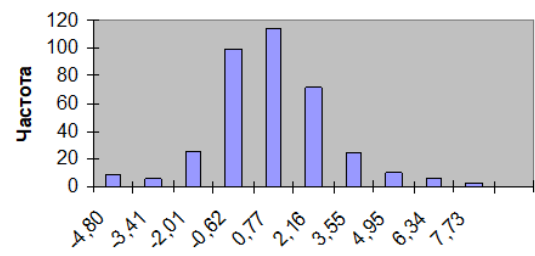


Рисунок В.29 – Эмпирическая функция распределения для значений эвапотранспирации за 2022 г. после удаления тренда и гармоник

