

**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ  
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«РОССИЙСКИЙ ЭКОНОМИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ  
ИМЕНИ Г.В. ПЛЕХАНОВА»**

Высшая школа кибертехнологий, математики и статистики (факультет)

Кафедра информатики

«Допустить к защите»

Заведующий кафедрой информатики

\_\_\_\_\_ О.В. Китова

« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2025 г.

**Выпускная квалификационная работа**

Направление 38.03.05 «Бизнес-информатика»

профиль «Цифровая трансформация бизнеса»

**ТЕМА «Разработка модуля прогнозирования урожайности  
сельскохозяйственных культур в рамках ООО «НИСОК»»**

Выполнил обучающийся Мамонтова Татьяна Юрьевна

Группа 15.11Д-БИЦТ09/216

Научный руководитель выпускной  
квалификационной работы  
Алибалаева Лейла Ибрагимовна  
доцент кафедры информатики, к.э.н.

\_\_\_\_\_  
(подпись)

Автор \_\_\_\_\_  
(подпись)

Москва – 2025

**Министерство науки и высшего образования Российской Федерации**  
**федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение**  
**высшего образования**  
**«Российский экономический университет имени Г. В. Плеханова»**

**АННОТАЦИЯ**

выпускной квалификационной работы  
Мамонтовой Татьяны Юрьевны

на тему: «Разработка модуля прогнозирования урожайности сельскохозяйственных культур в рамках ООО «НИСОК»»

Данный документ является описанием разрабатываемого модуля прогнозирования урожайности сельскохозяйственных культур в рамках ООО «НИСОК». Для функционирования модуля реализована модель прогнозирования урожайности с применением методов машинного обучения. Разработан модуль в формате веб-приложения, обеспечивающий визуализацию прогностических данных и поддержку научно-аналитических задач компании.

Основные аспекты, рассматриваемые в работе:

- исследование факторов, влияющих на урожайность сельскохозяйственных культур;
- постановка задачи с учетом специфики бизнес-процессов компании;
- реализация модели прогнозирования урожайности;
- разработка модуля в формате веб-приложения;
- разработка пользовательской инструкции к использованию модуля.

Помимо разработки модуля была проведена оценка экономического эффекта реализуемого проекта, подтвердившая целесообразность инвестирования средств.

Работа состоит из введения, трех разделов, заключения, списка использованных источников и приложений. Структура ВКР обусловлена поставленными целью и задачами.

Выпускная квалификационная работа содержит 87 страниц компьютерного набора (без приложений), 7 таблиц, 31 рисунок, 4 приложения, 30 наименований основных использованных источников.

Ключевые слова: методы машинного обучения, урожайность сельскохозяйственных культур, оптимизация кадрового планирования, веб-приложение, АПК.

Автор ВКР

\_\_\_\_\_  
(подпись)

Мамонтова Т. Ю.

**Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation**  
**Plekhanov Russian University of Economics**

**ABSTRACT**

Graduation qualification work

Mamontova Tatiana Yurievna

on the topic «Development of a crop yield forecasting module within «NISOK» LLC».

This document is a description of the developed module for forecasting crop yields within «NISOK» LLC ». To ensure the module's operation, a crop yield forecasting model using machine learning methods was implemented. A web-based module was developed to visualize predictive data and support the company's scientific and analytical tasks. The main aspects considered in the work are:

- study of the factors influencing crop yields;
- formulation of the task taking into account the specifics of the customer's business processes;
- implementation of the crop yield forecasting model;
- development of the module in the format of a web application;
- development of a user manual for the module.

In addition to the module development, an assessment of the economic effect of the implemented project was carried out, confirming the feasibility of investing funds.

The work consists of an introduction, three sections, a conclusion, a list of sources used, and an appendix. The structure of the WRC is determined by the goal and objectives set.

The final qualifying work contains 87 pages of a computer set (without attachments), 7 tables, 31 pics, 4 attachments, 30 main sources.

Keywords: machine learning methods, agricultural crop yield, optimization of workforce planning, web application, agro-industrial complex.

The author

\_\_\_\_\_  
(signature)

T. Y. Mamontova

## СОДЕРЖАНИЕ

<b>ВВЕДЕНИЕ .....</b>	<b>3</b>
<b>ГЛАВА 1. ИССЛЕДОВАНИЕ ОСНОВНЫХ ТЕНДЕНЦИЙ И ФАКТОРОВ В СФЕРЕ АПК, ВЛИЯЮЩИХ НА УРОЖАЙНОСТЬ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ КУЛЬТУР В РФ.....</b>	<b>5</b>
1.1. Агропромышленный комплекс как стратегическая отрасль экономики РФ .....	5
1.2. Факторы, влияющие на урожайность сельскохозяйственных культур в РФ .....	7
1.2.1. Инвестиции в сельское хозяйство и защиту окружающей среды .....	8
1.2.2. Состояние сельскохозяйственной инфраструктуры .....	11
1.2.3. Доступ к качественным удобрениям и семенам .....	12
1.2.4. Климатические факторы .....	14
1.3. Анализ современных подходов и методов прогнозирования урожайности сельскохозяйственных культур .....	18
1.4. Выводы по первой главе.....	22
<b>ГЛАВА 2. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ И ФОРМИРОВАНИЕ ТРЕБОВАНИЙ К ПРОЕКТУ .....</b>	<b>23</b>
2.1. Описание объекта исследования и обоснование выбора сельскохозяйственных культур .....	23
2.2. Анализ ключевых факторов, влияющих на урожайность, с учетом выбранного региона и культур.....	31
2.3. Разработка плана проекта .....	33
2.4. Функциональные и нефункциональные требования к модулю .....	38
2.5. Требования к модели прогнозирования урожайности .....	43
2.6. Сбор исходных данных .....	45
2.7. Выводы по 2 главе .....	48
<b>ГЛАВА 3. РЕАЛИЗАЦИЯ ПРОЕКТА И ОБОСНОВАНИЕ ЭКОНОМИЧЕСКОГО ЭФФЕКТА..</b>	<b>49</b>
3.1. Обоснование и выбор инструментов реализации модели прогнозирования.....	49
3.2. Предобработка и разведочный анализ исходных данных.....	50
3.3. Реализация модели прогнозирования урожайности сельскохозяйственных культур .....	58
3.4. Выбор инструментов и описание технической реализации модуля .....	66
3.5. Описание работы пользователей с модулем с помощью экранных форм.....	69
3.6. Расчет экономических показателей .....	75
3.6.1. Выбор и обоснование методики расчета.....	75
3.6.2. Расчет показателей экономического эффекта и срока окупаемости проекта .....	77
3.7. Выводы по 3 главе .....	81
<b>ЗАКЛЮЧЕНИЕ .....</b>	<b>82</b>
<b>СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ.....</b>	<b>84</b>
<b>ПРИЛОЖЕНИЯ .....</b>	<b>88</b>

## **ВВЕДЕНИЕ**

В данной работе разрабатывается модуль прогнозирования урожайности сельскохозяйственных культур, предназначенного для деятельности ООО «Национальный институт сертификации и оценки качества» (ООО «НИСОК»).

Актуальность работы обусловлена большими сезонными затратами компании, связанными с оформлением разрешительной документации на сельскохозяйственную продукцию. Ежегодное изменение объемов урожая становится причиной непредсказуемого количества поступающих заявок на сертификацию и декларирование продукции, затрудняя эффективное распределение трудовых ресурсов для своевременной обработки обращений. Разработка модуля позволит организации заблаговременно оценивать количество ожидаемых заявок и таким образом оптимизировать планирование кадрового состава, сократить операционные расходы и повысить эффективность организации процессов сертификации. Кроме того, визуализация данных об урожайности целевых культур компании в модуле будет применяться специалистами для осуществления научно-исследовательской деятельности.

Целью данной работы является разработка модуля прогнозирования урожайности сельскохозяйственных культур в рамках ООО «НИСОК».

Для достижения цели необходимо решить следующие задачи:

1. Изучить факторы, влияющие на урожайность сельскохозяйственных культур в РФ;
2. Проанализировать современные подходы и методы прогнозирования урожайности сельскохозяйственных культур;
3. Изучить и описать бизнес-процесс сертификации и декларирования продукции компании и обосновать необходимость внедрения прогнозного модуля;
4. Разработать план проекта создания модуля прогнозирования урожайности;
5. Сформулировать функциональные и нефункциональные требования к модулю, а также требования к модели прогнозирования;

6. Осуществить сбор, разведочный анализ и подготовку климатических, агротехнических и экономических данных;
7. Разработать и обучить модель прогнозирования урожайности с применением методов машинного обучения;
8. Реализовать модуль с компонентами серверной обработки и пользовательского взаимодействия в формате веб-приложения;
9. Составить инструкцию пользователя к модулю;
10. Оценить экономический эффект проекта и подтвердить целесообразность инвестиций.

Предметом исследования являются модели прогнозирования урожайности сельскохозяйственных культур.

Объектом исследования выступают показатели урожайности сельскохозяйственных культур.

Работа состоит из введения, трёх глав, заключения, списка использованных источников и 4 приложений.

# **ГЛАВА 1. ИССЛЕДОВАНИЕ ОСНОВНЫХ ТЕНДЕНЦИЙ И ФАКТОРОВ В СФЕРЕ АПК, ВЛИЯЮЩИХ НА УРОЖАЙНОСТЬ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ КУЛЬТУР В РФ**

## **1.1. Агропромышленный комплекс как стратегическая отрасль экономики РФ**

Сельское хозяйство, как один из базовых секторов экономики РФ, обладает первостепенным значением не только в обеспечении населения продовольствием, но и влияет на экономическую безопасность страны в целом. На региональном уровне для части регионов России сельское хозяйство является основополагающим и напрямую воздействует на темпы роста валового регионального продукта. Государственная политика в области аграрного сектора в настоящее время направлена на повышение его конкурентоспособности и увеличение объемов внутреннего производства.

Несмотря на снижение доли сельского хозяйства в валовом внутреннем продукте (ВВП) с 15,6% в 1989 году до 3,35% в 2023 году, значение агропромышленного комплекса (АПК) для России остается критически важной отраслью. [29]

Снижение доли сельского хозяйства в ВВП объясняется структурными изменениями в экономике, ростом доли промышленности и сферы услуг. Однако АПК остается одним из ключевых факторов продовольственной безопасности страны, определяя в немалой степени ценовую политику, уровень инфляции и благосостояние населения. Кроме того, агропромышленный сектор оказывает мультипликативное воздействие на другие отрасли, включая машиностроение, энергетику, транспорт и строительство, стимулируя их развитие и создавая новые рабочие места [11, 26].

Развитие агропромышленного комплекса в России осуществляется в рамках ряда государственных программ и законодательных актов, направленных на поддержку и стимулирование сельскохозяйственного производства. Ключевыми из них являются:

1. Государственная программа развития сельского хозяйства и регулирования рынков сельскохозяйственной продукции, сырья и продовольствия. Утверждена постановлением Правительства РФ от 14 июля 2012 года №717. Программа ориентирована на формирование благоприятных условий для стабильного функционирования сельских территорий, увеличение конкурентоспособности отечественного агропромышленного сектора и укрепление ресурсной обеспеченности продовольственного рынка страны. [5]

2. Государственная программа «Эффективное вовлечение в оборот земель сельскохозяйственного назначения и развития мелиоративного комплекса». Утверждена постановлением Правительства от 14 мая 2021 года №731. Целью программы является увеличение площади используемых сельскохозяйственных земель и улучшение их плодородия посредством мелиоративных мероприятий. [7]

3. Федеральный закон от 29 декабря 2006 года №264-ФЗ «О развитии сельского хозяйства» определяет правовые принципы государственной политики в агропромышленном секторе, ориентированные на долгосрочное развитие сельскохозяйственного производства и сельских территорий, а также на повышение конкурентных позиций отечественной продукции на внутреннем и внешнем рынках. [3]

4. Государственная программа «Комплексное развитие сельских территорий». Утверждена постановлением Правительства РФ от 31 мая 2019 года №696. Программа направлена на улучшение качества жизни в сельской местности, развитие социальной и инженерной инфраструктуры, а также создание условий для привлечения молодых специалистов в сельское хозяйство. [6]

5. Федеральный проект «Экспорт продукции АПК». Реализовывался в рамках национального проекта «Международная кооперация и экспорт» и являлся одним из национальных проектов в России на период с 2019 по 2024 годы. Ключевая цель проекта – создать отраслевую систему поддержки и



продвижения экспорта сельскохозяйственной продукции и обеспечить соответствие российской продукции требованиям регулирующих органов целевых зарубежных рынков. [8]

6. Указ Президента РФ от 6 августа 2014 года №560 «О применении отдельных специальных экономических мер в целях обеспечения безопасности Российской Федерации» стал одним из ключевых законодательных актов, оказавших влияние на развитие агропромышленного комплекса страны. Введенный в ответ на санкционные ограничения со стороны ряда западных государств, указ установил эмбарго на ввоз ряда продовольственных товаров из стран Евросоюза, США, Канады, Австралии и Норвегии. Принятие данного нормативного акта дало импульс для активного развития импортозамещения в сельском хозяйстве и пищевой промышленности. [4]

Благодаря реализации упомянутых и других программ и законодательных инициатив в России создаются условия для стабильного развития агропромышленного комплекса. Они содействуют повышению производительности сельского хозяйства в РФ, поддерживают отечественных производителей и укрепляют позиции российской продукции как на внутренней, так и на международной арене.

## **1.2. Факторы, влияющие на урожайность сельскохозяйственных культур в РФ**

Агропромышленный комплекс (АПК) Российской Федерации оказывает существенное влияние на экономику страны, обеспечивая население продовольствием, снабжая перерабатывающую промышленность сырьем и формируя значительную часть аграрного экспорта. Его развитие напрямую зависит от продуктивности сельского хозяйства, которая в значительной степени определяется уровнем урожайности тех или иных культур. Страна обладает огромными сельскохозяйственными угодьями в различных регионах, однако их

эффективность во многом обуславливается совокупностью экономических, инфраструктурных и природно-климатических факторов.

### **1.2.1. Инвестиции в сельское хозяйство и защиту окружающей среды**

Финансирование сельского хозяйства в России осуществляется через различные механизмы, включая государственные субсидии, гранты, льготное кредитование и привлечение частных инвестиций. За последние годы объем государственной поддержки агропромышленного комплекса значительно увеличился. Объем финансирования мероприятий Государственной программы по развитию сельского хозяйства вырос в 2,2 раза: с 198,1 млрд рублей в 2013 году до 442,6 млрд рублей в 2023 году.

В проекте федерального бюджета на 2025 год предусмотрено выделение порядка 550 млрд рублей на поддержку агропромышленного и рыбохозяйственного секторов в рамках четырех государственных программ. На реализацию государственной программы по развитию сельского хозяйства в 2025 году запланировано 342,5 млрд рублей, включая 75,6 млрд рублей, зарезервированных для мер государственной поддержки АПК. [24]

Субсидии, как мера поддержки агропромышленного комплекса (АПК), предоставляются для содействия различным направлениям, а именно приобретение сельскохозяйственной техники, развитие инфраструктуры и внедрение инновационных технологий. Например, существуют программы, компенсирующие часть затрат на уплату процентов по инвестиционным кредитам, взятым до 1 января 2017 года. В дополнение представлены следующие категории мер государственной поддержки агропромышленного комплекса:

- Компенсация части затрат на сертификацию продукции АПК;
- Льготный тариф на перевозку железнодорожным транспортом сельскохозяйственной продукции, а также продукции для организации сельскохозяйственного производства;

- Льготный лизинг;
- Возмещение сельхозтоваропроизводителям части расходов на мелиоративные мероприятия;
- Компенсация части затрат на приобретение семян;
- Поддержка сельскохозяйственного страхования;
- Субсидии производителям сельскохозяйственной техники;
- Компенсация части прямых понесенных затрат на создание и (или) модернизацию объектов АПК и др.

В 2024–2025 годах РФ продолжает совершенствовать финансовую поддержку агропромышленного комплекса, внедряя новые программы и расширяя существующие меры.

Для облегчения финансовой нагрузки на аграриев государство предоставляет широкий спектр кредитных продуктов на льготных условиях через такие банки, как Россельхозбанк, созданный специально для обслуживания сельскохозяйственного сектора, и Сбербанк. Эти кредиты доступны по ставке от 1% до 5% годовых и предназначены для приобретения сельскохозяйственной техники, семян, удобрений, а также для проведения полевых работ. В декабре 2024 года правительство дополнительно выделило 57,5 млрд рублей на субсидирование этой программы из резервного фонда, а позже добавило еще 10 млрд рублей, чтобы обеспечить доступность льготного финансирования для сельхозпроизводителей. [19]

В России существует и совершенствуется ряд грантовых программ, направленных непосредственно на развитие растениеводства и поддержку производителей сельскохозяйственных культур. В числе таких - программа «Агропрогресс», которая нацелена на содействие малым и микропредприятиям в сельской местности, занимающимся производством сельскохозяйственной продукции, включая растениеводство. Максимальная сумма гранта составляет 30 млн рублей, при этом государство покрывает до 25% общих затрат на реализацию инвестиционного проекта. Оставшаяся часть финансируется за счет

инвестиционного кредита (70%) и собственных средств получателя (не менее 5%). Проект должен быть новым и реализован в течение двух лет с момента получения гранта.

Сельскохозяйственные потребительские кооперативы, занимающиеся переработкой и сбытом продукции растениеводства, могут претендовать на гранты для развития материально-технической базы. Размер гранта может достигать 70 млн рублей, составляя до 60% стоимости проекта. Средства могут быть использованы на строительство и модернизацию производственных объектов, приобретение оборудования для переработки сельскохозяйственной продукции и развитие логистической инфраструктуры. [25]

Таким образом, благодаря сочетанию государственных вложений и частного капитала сельское хозяйство России развивается более динамично, это способствует увеличению объемов производства и успешному приспособлению отрасли к текущим экономическим реалиям.

Окружающая среда оказывает непосредственное влияние на агропромышленный комплекс, определяя условия для ведения сельского хозяйства, продуктивность земель и качество урожая. Изменения климатических условий, загрязнение почвы и водных ресурсов, эрозия земель и истощение природных ресурсов могут существенно снижать плодотворность сельскохозяйственных работ и повышать затраты на производство. В ответ на возрастающие проблемы в окружающей среде российские предприятия в 2023 году направили на ее охрану рекордные 1,3 трлн рублей, что на 17,3% (или 191,5 млрд рублей) больше по сравнению с предыдущим годом. Эти средства были инвестированы в мероприятия по восстановлению плодородия почв, модернизацию систем орошения, внедрение технологий рационального использования удобрений и снижение негативного воздействия сельского хозяйства на экосистему. Государственные программы и меры поддержки стимулируют аграриев к использованию экологически чистых методов ведения

хозяйства, что в долгосрочной перспективе способствует повышению продуктивности данной отрасли.

### **1.2.2. Состояние сельскохозяйственной инфраструктуры**

Современная сельскохозяйственная техника, такая как тракторы, комбайны, системы орошения, является неотъемлемым звеном в цепи сельскохозяйственного производства. Все это оборудование позволяет автоматизировать и ускорить процессы посева, ухода за различными видами культур и сбора урожая, что напрямую влияет на объемы и качество получаемой продукции.

Однако в 2024 году в России наблюдалось значительное сокращение производства ключевой сельскохозяйственной техники. Выпуск зерноуборочных комбайнов уменьшился на 17,4%, составив 4571 единицу, а производство сельскохозяйственных тракторов снизилось на 25,9%, достигнув 4295 штук. [21]

По мнению представителей ассоциации «Росспецмаш», снижение объемов производства техники связано с рядом значимых факторов. В их числе — увеличение ключевой ставки Центрального банка, что затрудняет доступ к финансированию, недостаточный уровень государственной поддержки как сельхозпроизводителей, так и предприятий, занимающихся выпуском техники, а также заметное удорожание как самого оборудования, так и сельскохозяйственной продукции.

Соответственно, хотя в России реализуются государственные меры поддержки агропромышленного комплекса, их объем может оказаться недостаточным для полноценного развития сельскохозяйственной отрасли в условиях текущих экономических ограничений. В итоге это может негативно сказываться на объемах и качестве урожая, поскольку устаревшая или недостаточная техника не позволяет своевременно и эффективно проводить агротехнические мероприятия. Для обеспечения планомерного развития и

модернизации сектора необходимо продолжать активное финансирование этой области, расширяя механизмы поддержки и снижая финансовую нагрузку на производителей.

### **1.2.3. Доступ к качественным удобрениям и семенам**

Применение различных видов удобрений оказывает прямое влияние на рост и урожайность сельскохозяйственных культур. В зависимости от типа удобрения они обеспечивают растения необходимыми питательными веществами, улучшают структуру почвы и повышают ее плодородие.

Влияние различных видов удобрений на сельскохозяйственные культуры:

— Минеральные удобрения: содержат концентрированные формы питательных элементов, таких как азот, фосфор и калий. Их использование способствует быстрому восполнению дефицита этих элементов в почве и, соответственно, приводит к увеличению урожайности и улучшению качества продукции.

— Органические удобрения: включают навоз, компост и зеленые удобрения (сидераты). Они обогащают почву органическим веществом, улучшают ее структуру и водоудерживающую способность. Длительное применение органических удобрений способствует повышению содержания гумуса в почве, что положительно сказывается на ее плодородии и устойчивости растений к стрессовым условиям.

— Комплексные удобрения: содержат несколько основных питательных элементов в сбалансированных пропорциях. Их применение обеспечивает одновременное поступление в почву необходимых веществ, что особенно эффективно при возделывании культур с высокими потребностями в питательных элементах. [10]

В России производство минеральных удобрений не перестает развиваться, демонстрируя положительную динамику. По данным на 2023 год, объем

производства минеральных удобрений в пересчете на 100% питательных веществ достиг 26 млн тонн, что на 10,3% превышает показатели 2022 года [20]. Рост производства позволяет удовлетворять внутренние потребности страны и способствует наращиванию объемов внесения удобрений в сельском хозяйстве.

Для достижения высокой урожайности и стабильных валовых сборов сельскохозяйственных культур необходимо увеличивать применение минеральных удобрений. В 2023 году объем их закупок аграриями составил 5,1 млн тонн в действующем веществе, что на 31,9 тыс. тонн больше, чем в 2022 году. При этом средний уровень внесения удобрений на гектар увеличился с 60 кг в 2022 году до 65 кг в 2023 году. Однако для достижения максимального эффекта и поддержания плодородия почвы необходимо довести этот показатель до научно обоснованной нормы – 80 кг на гектар, что планируется реализовать государством и аграриями в 2025 году.

В целях обеспечения сельхозпроизводителей необходимыми ресурсами государство применяет ряд мер, таких как введение экспортных квот на отдельные виды удобрений, фиксация цен и планирование закупок в разрезе регионов совместно с Минпромторгом. Благодаря этим инициативам сельскохозяйственные предприятия получают возможность своевременно приобретать удобрения по стабильным ценам, снижая влияние рыночных колебаний и в то же время улучшая продуктивность возделывания культур.

Помимо этого, семена являются основой сельскохозяйственного производства, определяя потенциал урожайности и качество продукции. В зависимости от вида культуры семена подразделяются на несколько категорий:

— Зерновые культуры: пшеница, ячмень, рожь, овёс, кукуруза. Эти культуры составляют основу продовольственного обеспечения и занимают значительные площади посевов в России.

— Зернобобовые культуры: горох, фасоль, соя, чечевица. Они обогащают почву азотом благодаря симбиозу с клубеньковыми бактериями, улучшая её плодородие.

— Овощные культуры: картофель, капуста, морковь. Они играют ключевую роль в продовольственном обеспечении и перерабатывающей промышленности.

— Технические культуры: подсолнечник, сахарная свёкла, лён, рапс. Используются для получения масла, сахара, волокон и других промышленных продуктов.

— Кормовые культуры: люцерна, клевер, кормовые травы. Обеспечивают кормовую базу для животноводства.

Плодородность семян определяется их генетическими характеристиками и качеством. Высокопродуктивные сорта и гибриды обладают устойчивостью к болезням и приспособлены к различным климатическим условиям. Национальный союз селекционеров и семеноводов (НССиС) имеет решающее значение в развитии отечественного семеноводства, занимаясь созданием новых сортов и гибридов сельскохозяйственных культур, адаптированных к экологии и климату России. Союз объединяет ведущие научные и производственные предприятия, занимается продвижением отечественной селекции и активно работает над снижением зависимости от импортных семян. В результате работы российских селекционных центров и расширения господдержки наблюдается стабильный рост использования семян отечественного производства.

Благодаря деятельности союза и поддержке государства, селекционно-семеноводческая отрасль получает новые возможности для модернизации, создания селекционных центров и развития генетических технологий. Все эти меры направляются на повышение урожайности и укрепление продовольственной безопасности страны.

#### **1.2.4. Климатические факторы**

В последние десятилетия на международном уровне все большее значение уделяется глобальным экологическим проблемам, в частности, связанным с ними климатическим факторами. Эти факторы выражаются в климатических



изменениях, таких как повышение средней температуры на планете, увеличении уровня мирового океана, росте кислотности вод, изменении характера осадков, таянии ледников и морских льдов, разрушении вечной мерзлоты, а также в увеличении числа экстремальных погодных явлений. Неизбежное влияние подобные изменения оказывают на многие сферы экономики и жизнь людей, в частности одной из важных отраслей является сельское хозяйство и, связанные с ним, риски доступности и достаточности продовольствия.

Сельское хозяйство – одна из наиболее уязвимых индустрий экономики, подверженная влиянию климатических изменений. Среди неблагоприятных факторов, способных нанести ущерб аграрному сектору выделяют засухи, суховеи, внезапные заморозки, избыточное увлажнение почвы, град и другие природные явления. Кроме того, сочетание нескольких неблагоприятных погодных условий может привести к полеганию посевов, значительному снижению их урожайности, полной гибели растений и усложнению проведения сельскохозяйственных работ, особенно в период сбора урожая. В зимний период опасность для сельскохозяйственных культур представляют сильные морозы, избыточная влага и перепады температур, способствующие вымерзанию, вымоканию или выпреванию озимых культур, а также повреждению многолетних насаждений.

Согласно данным Всемирной метеорологической организации (ВМО), 2023 год стал самым теплым за всю историю наблюдений с глобальной средней приземной температурой на  $1,45^{\circ}\text{C}$  (с погрешностью  $\pm 0,12^{\circ}\text{C}$ ) выше доиндустриального уровня [18]. Этот тренд приводит к смещению климатических зон, влияя на географическое распределение сельскохозяйственных культур. В некоторых, особенно северных регионах, потепление может удлинять вегетационный период, способствуя увеличению урожайности. Так, например, благоприятные зимы положительно влияют на урожайность озимых культур. Если средние климатические температуры повысятся, в стране в целом увеличится площадь земель, подходящих для

сельского хозяйства. В то же время в более южных регионах глобальное потепление может вызывать тепловой стресс у растений (нарушить фотосинтез и репродукцию, усилить транспирацию), снижая их продуктивность. Кроме того, повышение температур способствует распространению вредителей и болезней, ранее не характерных для определенных территорий, создавая дополнительные угрозы для сельского хозяйства.

Наряду с ростом температур, увеличивается частота и интенсивность экстремальных погодных явлений. Согласно отчету Межправительственной группы экспертов по изменению климата (МГЭИК), при глобальном потеплении на 1,5°C частота экстремально высоких температур, которые ранее происходили раз в десятилетие, увеличится в 4,1 раза, а при потеплении на 2°C — в 5,6 раза, приводя к засухам. В дополнение сельское хозяйство также испытывает влияние других аномальных климатических условий, таких как волны тепла, наводнения, циклоны и лесные пожары. Эти природные катастрофы способны не только привести к значительным потерям урожая, но и разрушить сельскохозяйственную инфраструктуру, нарушив производственные процессы. Циклоны и ураганы, сопровождающиеся сильными ветрами и ливневыми осадками, наносят ущерб агропромышленному комплексу, повреждают посевы, создают риски эрозии почв, приводят к переувлажнению почвы, корневой гнили и гибели посевов. Лесные пожары уничтожают пастбища и сельскохозяйственные угодья, ухудшая условия для ведения аграрного производства. По данным МГЭИК частота и интенсивность таких явлений растут, что делает адаптацию сельского хозяйства к новым климатическим условиям приоритетной задачей.

Изменения климатических условий также сказываются на агротехнических сроках, а именно времени посева и сбора урожая. Сдвиги в температурных режимах и распределении осадков уже сейчас требуют пересмотра традиционных календарей сельскохозяйственных работ, выбора сортов культур, устойчивых к новым климатическим условиям, а также модернизации

агротехнологий. Помимо этого, для повышения эффективности ведения сельского хозяйства необходимо развивать системы орошения, применять методы сохранения влаги в почве, укреплять защитные лесополосы и дренажные системы. Важным направлением адаптации остается селекция культур, способных противостоять засухам, перепадам температур и другим климатическим изменениям, а также оптимизация применения удобрений и средств защиты растений в новых условиях.

Климат представляет собой сложную многомерную систему, в которой взаимодействуют различные параметры, такие как температура воздуха и почвы, уровень влажности, количество осадков, солнечная радиация и другие факторы. Все эти компоненты в совокупности формируют условия для функционирования агроэкосистем и оказывают непосредственное воздействие на сельскохозяйственные процессы, включая продуктивность культур и эффективность аграрного производства. Взаимосвязи между климатическими изменениями, агроэкосистемами и результатами сельскохозяйственной деятельности зачастую носят нелинейный характер и включают множество факторов, например, инерционность природных процессов и способность сельскохозяйственного сектора приспосабливаться к непрерывной трансформации. Это делает анализ влияния климатических изменений на экономику и экологию сельского хозяйства сложной задачей, требующей комплексного подхода.

В Приложении А приведены основные характеристики термического режима и увлажнения, а также методы их расчета. Такие биоклиматические и агроклиматические показатели применяются для всестороннего изучения воздействия погодных условий на сельское хозяйство и использование земельных ресурсов. [15]

Таким образом, помимо финансирования и государственной поддержки агропромышленного комплекса, нельзя недооценивать влияние климатических изменений, которые становятся одним из ключевых факторов, влияющих на

производительность и продуктивность сельского хозяйства. Смещения в температурных режимах, колебания режима осадков и рост частоты экстремальных погодных явлений создают дополнительные угрозы для выращивания сельскохозяйственных культур. Сохранение и развитие сельскохозяйственного производства требует не только экономических вложений, но и адаптации к меняющимся климатическим условиям.

Описанные тенденции обуславливают актуальность задачи прогнозирования урожайности сельскохозяйственных культур, выращиваемых в России, как одной из ключевых в области оптимизации и интенсификации аграрного производства. Особенно это важно в условиях экономической нестабильности, роста затрат на ресурсы и других факторов, влияющих на эффективность агропромышленного комплекса страны.

### **1.3. Анализ современных подходов и методов прогнозирования урожайности сельскохозяйственных культур**

Прогнозирование урожайности сельскохозяйственных культур является фундаментальным направлением современной аграрной науки, поскольку оно способствует эффективному планированию производственной системы в АПК, рациональному использованию ресурсов, снижению возможных потерь, связанных с природными и экономическими факторами и повышению доходности бизнеса. В научной литературе представлено множество подходов к решению данной задачи, включающих как традиционные статистические методы, так и современные технологии анализа данных, такие как машинное обучение и обработка спутниковых снимков. Отечественные и зарубежные исследователи рассматривают влияние климатических условий, почвенных характеристик, агротехнических приемов и других факторов, чтобы создать максимально точные модели прогнозирования. В данном обзоре представлены научные работы, отражающие эволюцию методов прогнозирования — от

классических эмпирических подходов к сложным алгоритмам машинного обучения и искусственного интеллекта.

В ранних работах эксперты применяли синоптико-статистическое моделирование, которое базируется на анализе погодных условий и исторических данных об урожайности. Автор одной из таких работ изучал урожайность сельскохозяйственных культур в Оренбургском Предуралье, демонстрируя, что использование линейных зависимостей между синоптическими параметрами и урожайностью позволяет получать базовые, но достаточно точные прогнозы. Этот подход, широко используемый в предыдущие десятилетия, послужил отправной точкой для последующего развития методов прогнозирования. [14]

Далее традиционные методики были дополнены малопараметрическими моделями динамики биомассы, основанными на спутниковых данных о вегетационных индексах подстилающей поверхности. В таком исследовании авторы применяли ограниченный набор климатических и вегетационных параметров для оценки динамики биомассы на примере спутникового мониторинга урожайности яровой пшеницы в областях Республики Беларусь, что позволяло довольно точно прогнозировать урожайность. Этот метод продемонстрировал свою эффективность в условиях, когда данные доступны только в ограниченном объёме. [12]

В одном из исследований авторы применяют имитационные модели, построенные на физико-биологических принципах, для прогнозирования урожайности сельскохозяйственных культур в Красноярском крае. Модель позволяет учитывать нетипичные зависимости между климатическими параметрами (такими как температура, количество осадков и солнечная радиация), агротехническими мероприятиями (например, сроки посева, режимы удобрения и методы орошения) и биологическими характеристиками растений (скоростью роста, фазами развития и потенциалом формирования биомассы). Авторы изучали различные сценарии развития культур, варьируя входные

параметры, чтобы проанализировать, как изменения климатических условий влияют на рост растений и формирование урожая. Результаты показали, что имитационные модели результативно отражают динамику урожайности при изменении агротехнических условий, открывая возможности для адаптации агротехнологий к современным климатическим условиям. [16]

В исследовании, опубликованном в вестнике RUDN, авторы применили многовариантный регрессионный анализ для исследования влияния климатических вариаций на урожайность сельскохозяйственных культур. Они использовали многолетние наблюдения температурных режимов и распределения осадков, чтобы определить, каким образом даже незначительные изменения в этих показателях могут оказывать весомое воздействие на продуктивность культур. Построенные модели выявили статистически значимые зависимости, что позволило сформировать обоснованные прогнозы урожайности для различных регионов с учетом специфики местного климата. Результаты работы подчеркивают, что точное моделирование климатических факторов является ключевым для разработки адаптационных агротехнических мер и повышения надежности прогнозов. [9]

Современные исследования всё чаще опираются на алгоритмы машинного обучения и искусственные нейронные сети для прогнозирования урожайности. В сравнительном анализе, проведённом в 2023 году, авторы анализировали эффективность таких методов, как случайный лес, деревья решений и линейные модели, и пришли к выводу, что ансамблевые алгоритмы обеспечивают наилучшие результаты при обработке сложных и многомерных климатических данных. Эти модели демонстрируют высокую точность (коэффициент детерминации составляет до 0.94) и низкую ошибку прогнозирования, свидетельствуя о потенциале применения методов глубокого обучения для решения аграрных задач. [13]

Со стремительным развитием вычислительной техники интеграция методов глубокого обучения и ансамблевых алгоритмов в зарубежных

исследованиях является передовым направлением. В научной статье, опубликованной в журнале «Agricultural and Forest Meteorology», авторы разработали интегрированную модель прогнозирования урожайности ключевых сельскохозяйственных культур в Китае, которая объединяет климатические индексы, спутниковые наблюдения и агротехнические параметры. Для обработки многомодальных данных применяется ансамблевый метод глубокого обучения (random forest), позволяющий учитывать такие переменные, как температура, осадки, солнечная радиация, вегетационные индексы (NDVI) и ключевые агротехнические мероприятия (сроки посева, режимы удобрения и орошения). Авторы подробно описывают этапы предварительной обработки данных, оптимизацию модели и калибровку на основе исторических наблюдений, что позволило им в конечном счете снизить погрешность прогнозов до нескольких процентов и адаптировать модель под конкретные региональные условия [28].

Кроме того, в исследовании, опубликованном в журнале «Hydrology and Earth System Sciences», авторами предлагается интеграция сезонных метеопрогнозов с имитационными моделями земной поверхности Community Land Model версии 5.0 (CLM5) для моделирования динамики почвенной влаги и оценки урожайности культур в различных регионах по всему миру. Здесь исследователи используют данные системы SEAS5 для получения сезонных прогнозов основных климатических параметров, которые затем служат входными данными для динамических моделей, описывающих эволюцию почвенной влаги. Результаты работы показали, что среднегодовая урожайность имеет максимальные различия в 0,28 и 0,36 т/га. Соответственно, комбинированное использование данных методов, по мнению авторов, существенно повышает надежность и оперативность предсказаний урожайности, что особенно актуально в условиях глобальных климатических изменений. [30]

Таким образом, зарубежные исследования показывают яркий прогресс в использовании передовых инструментов, включая машинное обучение и

интегрированные модели, для прогнозирования урожайности сельскохозяйственных культур. В то же время традиционные статистические методы, имитационные и физико-статистические модели остаются основой для совершенствования более сложных алгоритмов, способных учитывать широкий спектр климатических и агротехнических факторов. Современные научные работы подтверждают, что объединение данных из различных источников значительно повышает точность прогнозов, позволяя в дальнейшем адаптировать сельскохозяйственное производство к изменяющимся погодным и экономическим реалиям по всему миру.

#### **1.4. Выводы по первой главе**

В первой главе проведен комплексный анализ факторов, влияющих на урожайность сельскохозяйственных культур, а также современных способов прогнозирования урожайности. В результате исследования выявлено, что на продуктивность агропромышленного комплекса России оказывают значение экономические, инфраструктурные и природно-климатические условия.

Таким образом, были систематизированы ключевые параметры, обуславливающие интенсификацию АПК России, и определены современные и актуальные подходы к прогнозированию урожайности культур. Полученные выводы создают основу для дальнейшего исследования, направленного на разработку прогностической модели, учитывающей упомянутые ранее спецификации, позволяя повысить точность прогнозов урожайности выбранных сельскохозяйственных культур для решения поставленных задач.



## **ГЛАВА 2. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ И ФОРМИРОВАНИЕ ТРЕБОВАНИЙ К ПРОЕКТУ**

### **2.1. Описание объекта исследования и обоснование выбора сельскохозяйственных культур**

ООО «НИСОК» уполномочена на оказание услуг по проведению сертификации, декларирования и выдаче разрешительной документации в соответствии с законодательством РФ. На сегодняшний день организация имеет большой опыт работы в сфере обучения и оценки соответствия продукции. Компания оказывает помощь заявителям в получении сертификатов, деклараций о соответствии, свидетельств о государственной регистрации и иных разрешительных документов на продукцию по требованиям законодательства ЕАЭС, а также имеет договоры с аккредитованными испытательными лабораториями. Организация постоянно взаимодействует с таможенными органами и совершенствует уникальную информационную базу, которая позволяет специалистам компании предоставлять компетентные и исчерпывающие консультации практически по любым вопросам, возникающим у их клиентов.

Значительную долю сертификационной деятельности ООО «НИСОК» составляют злаковые, технические, масличные и овощные культуры, на которые приходится наибольшее количество сертификационных запросов. Среди них наиболее востребованными являются подсолнечник, сахарная свекла и картофель, поскольку именно эти культуры занимают ведущие позиции в агропромышленном комплексе ключевых регионов партнеров компании. Высокий спрос на сертификацию данной продукции объясняется масштабами производства этих культур и необходимостью их соответствия установленным требованиям при реализации на внутреннем и внешнем рынках. Сертификация обязательна для большинства видов сельскохозяйственной продукции, но для стратегически важных культур контроль качества особенно значим ввиду их

массового потребления и ценности в продовольственной и перерабатывающей промышленности.

Существенный объем сертификационной деятельности компании в последние годы сосредоточен именно на упомянутых ранее культурах, поскольку ее партнерами выступают сельхозпроизводители и перерабатывающие предприятия из Ставропольского края, Краснодарского края, Ростовской и Воронежской областей. Однако Ставропольский край занимает ключевое место в деятельности компании, так как является одним из крупнейших регионов по производству указанных культур. Это отражается не только в количестве сертификационных запросов, но и в структуре операционных расходов компании, где значительную долю составляет сертификация подсолнечника, сахарной свеклы и картофеля.

На сегодняшний день процесс сертификации продукции в ООО «НИСОК» выглядит следующим образом (рис. 2.1).

Сельхозпроизводители, которые выращивают культуры, после сбора урожая отправляют заявки в ООО «НИСОК» на получение сертификатов и деклараций соответствия. Эти документы необходимы им для того, чтобы продукция могла быть реализована на внутреннем или внешнем рынке.

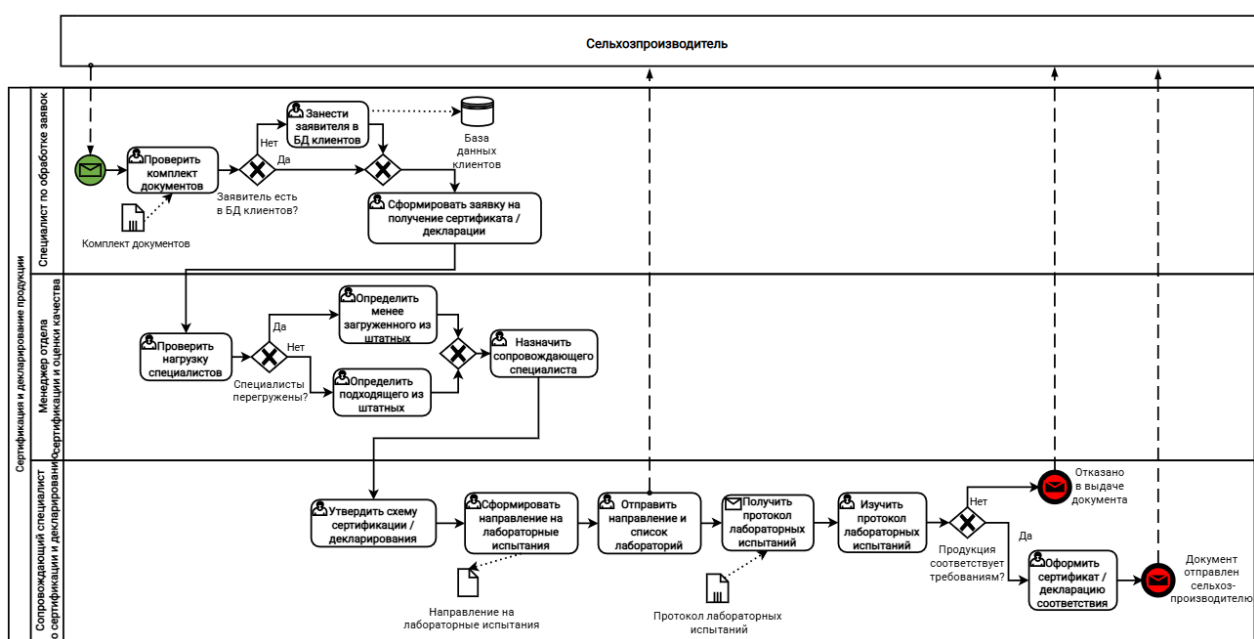
Производитель (заявитель) указывает предполагаемую схему подтверждения соответствия продукции, которая затем согласовывается с органом по сертификации. Обычно используются две наиболее распространенные схемы:

- Серийная схема (1Д или 3Д) — для регулярных объемов продукции одного сорта, выращенных по одинаковой технологии и в одинаковых условиях каждый год.
- Схема по партиям (2Д или 4Д) — для разовых или нерегулярных партий продукции.

После поступления заявки специалисты компании проверяют комплект документов, предоставленных производителем, уточняют корректность

выбранной схемы сертификации или декларирования, после чего предоставляют заявителю список испытательных лабораторий, с которыми сотрудничает компания. Заявитель направляет образцы продукции в предпочтительную лабораторию. Там проводятся испытания продукции на соответствие требованиям качества и безопасности.

После успешного завершения испытаний лаборатория формирует протокол испытаний и направляет его в ООО «НИСОК». На основании полученных результатов сотрудники компании оформляют сертификаты или декларации о соответствии, которые затем выдаются производителю. Эти документы подтверждают, что продукция безопасна, соответствует заявленным параметрам и требованиям законодательства и может быть легально реализована.



**Рис. 2.1 - Бизнес-процесс проведения сертификации и декларирования продукции без модуля (AS IS)**

Основная проблема текущего процесса связана с тем, что количество заявок на сертификацию сильно зависит от ежегодного изменения объемов урожая, которые компания заранее не знает. Когда урожайность в регионе существенно повышается, у фермеров значительно увеличиваются общие объемы собираемой продукции. Из-за этого производители начинают либо разделять большие партии на несколько более мелких, либо активно искать

новые рынки сбыта, в том числе за рубежом, что требует получения отдельных сертификатов и деклараций соответствия. Всё это приводит к заметному росту числа обращений в сертификационную компанию.

В компании для выдачи разрешительной документации на сельскохозяйственные культуры ежегодно заранее выделяется фиксированное количество штатных специалистов. При этом распределение кадров осуществляется на основе внутреннего опыта и наблюдений за динамикой предыдущих сезонов, без использования формализованных методов прогнозирования сезонной нагрузки.

Однако на практике подобное планирование нередко оказывается недостаточно эффективным. В таких случаях, когда урожайность и, соответственно, объемы урожая культуры в регионе сильно возрастают, штатные специалисты, закреплённые за соответствующими культурами, вынуждены компенсировать рост нагрузки за счёт сверхурочной работы, включая дополнительные выходы в выходные дни, в среднем три раза в месяц на протяжении всего сезона подачи заявок (с июля по ноябрь). При этом около 80% всех сверхурочных часов отдела приходится именно на обработку заявок и выдачу документации по указанным культурам. В связи с этим компанией было принято решение в первую очередь оптимизировать процесс работы именно с этими культурами.

Привлечение сотрудников из других подразделений организации невозможно, так как их загрузка формируется исходя из выполнения собственных функциональных обязанностей, а хаотичное перераспределение ресурсов между направлениями привело бы к срыву работы по другим категориям продукции.

Таким образом, текущий процесс оформления разрешительной документации обуславливает рост операционных расходов компании за счёт выплат за сверхурочную работу, снижает общую эффективность деятельности,

увеличивает сроки рассмотрения заявок, вызывает задержки в документообороте и, соответственно, повышает риск ухудшения качества обслуживания клиентов.

В целях повышения эффективности планирования кадровых ресурсов и оптимизации операционных расходов компания поставила задачу разработки модуля прогнозирования урожайности наиболее востребованных и затратных сельскохозяйственных культур. Данный модуль позволит заранее оценить ожидаемый объём заявок на сертификацию и декларирование на ближайшие сезоны, что, в свою очередь, обеспечит возможность более точного формирования кадрового состава в отделе сертификации, минимизирует необходимость привлечения сотрудников к работе в выходные дни и обеспечит своевременную обработку обращений в рамках стандартного рабочего графика.

Обоснованием для постановки данной задачи послужили результаты внутреннего анализа, проведённого сотрудниками аналитического отдела компании. Специалисты подтвердили и количественно описали взаимосвязь между урожайностью культур (картофель, сахарная свёкла, подсолнечник) и числом выданных по ним сертификатов и деклараций. Они изучили показатели урожайности этих культур в Ставропольском крае и реестр собственных выданных деклараций и сертификатов за последние 10 лет. Сопоставив оба массива данных, специалисты пришли к выводу, что колебания урожайности практически с той же амплитудой отражаются на потоке обращений. В качестве инструмента анализа была использована методика расчёта темпов прироста к предыдущему году, при которой значения урожайности и количества заявок сравнивались с соответствующими показателями за прошлый период. На основе этих данных были рассчитаны средние коэффициенты чувствительности заявок при изменении урожайности, показавшие, что прирост урожайности на 1% относительно предыдущего года сопровождается увеличением числа заявок на 1,90% для картофеля, на 0,50% для сахарной свёклы и на 1,40% для подсолнечника соответственно.

Так как компания заинтересована в оптимизации структуры затрат на персонал, то после внедрения модуля планируется сохранить оптимальное ядро штатных экспертов в отделе сертификации, а часть нынешних сотрудников перевести на другие ключевые направления деятельности компании. Их сезонную нагрузку по сертификации и декларированию во время сезона подачи и обработки заявок будут временно выполнять привлечённые внештатные специалисты, чьи услуги будут оплачиваться по более выгодной ставке.

Таким образом, внедрение модуля прогнозирования позволит ООО «НИСОК»:

- Заблаговременно определить потенциальный объем поступивших заявок на сертификацию и декларирование в текущем и следующем году на основе прогноза урожайности и накопленных статистических данных компании;
- Сформировать экономически эффективный кадровый состав;
- Сократить расходы за счёт привлечения внештатных специалистов по более выгодной ставке в периоды подачи заявок;
- Повысить точность планирования рабочих графиков и распределения нагрузки между сотрудниками;
- Заранее подготовить дополнительные необходимые шаблоны, схемы, базы заявителей и другую документацию до начала пикового сезона;
- Обеспечить предсказуемость загрузки специалистов, что положительно скажется на моральном состоянии сотрудников.
- Повысить оперативность и качество обслуживания клиентов, сократив сроки оформления сертификационных документов;
- Повысить лояльность постоянных клиентов и снизить риск их обращения в сторонние сертификационные организации.

Бизнес-процессы «ТО ВЕ» будут выглядеть следующим образом (рис. 2.2 – 2.3).

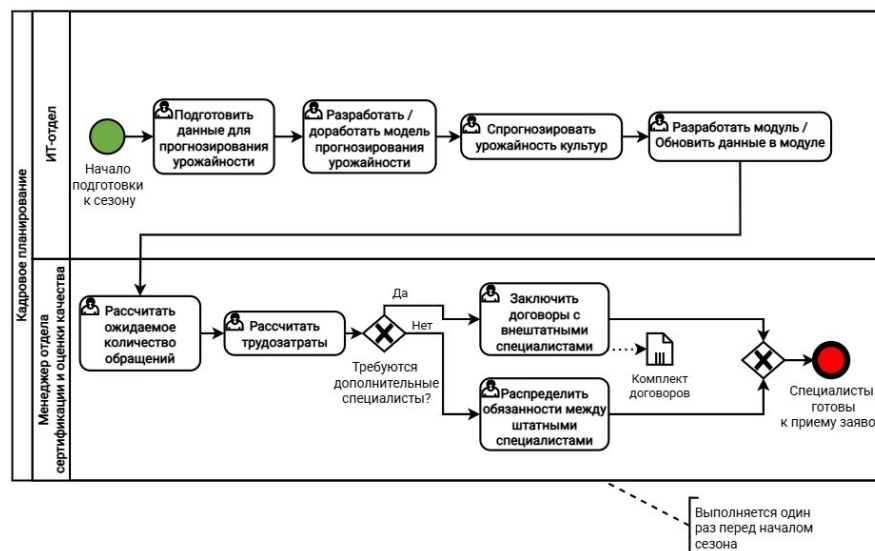


Рис. 2.2 - Бизнес-процесс кадрового планирования после внедрения модуля (ТО BE)

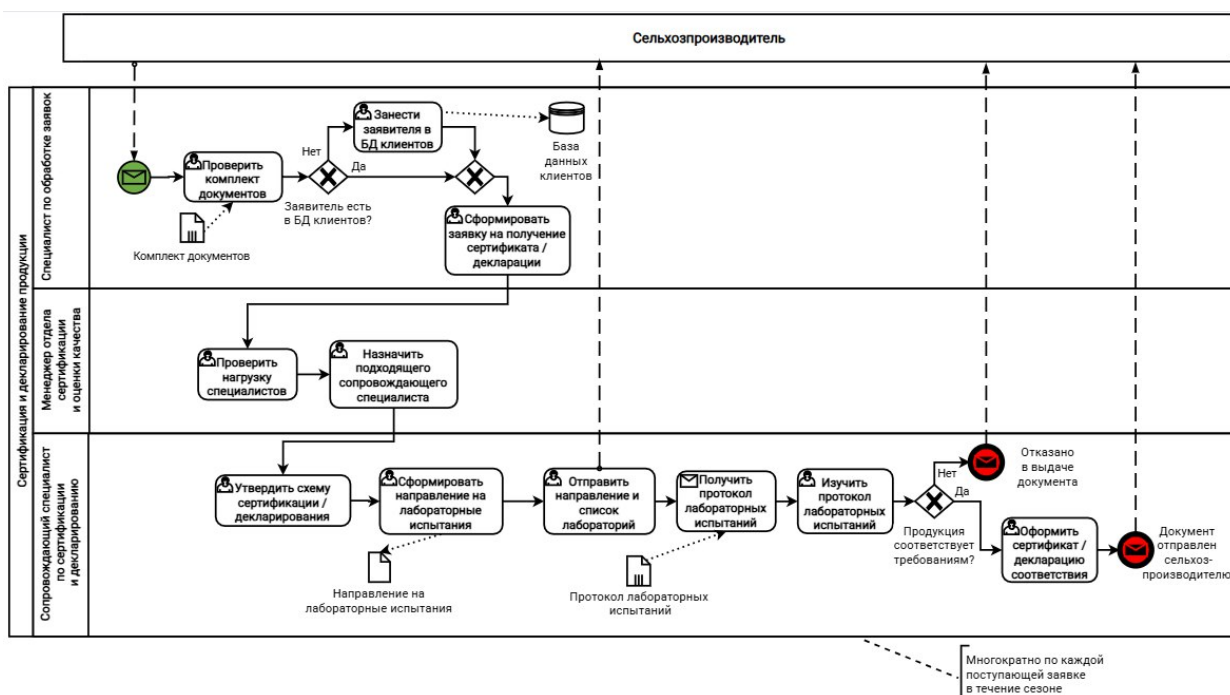


Рис. 2.3 - Бизнес-процесс проведения сертификации продукции после внедрения модуля (ТО BE)

Данный проект первоначально реализуется в рамках внутренней инициативы по оптимизации кадрового состава и сокращению операционных расходов ООО «НИСОК».

Вместе с тем, учитывая, что ООО «НИСОК» активно занимается научно-исследовательской деятельностью и анализом сельскохозяйственного

производства, в дополнение к основной задаче в рамках проекта предусмотрена реализация функционала для поддержки научных исследований.

После того, как модуль будет расширен для учета большего количества сельскохозяйственных культур и будет охватывать другие регионы России, его функциональность будет предложена региональным «Российским сельскохозяйственным центрам» (Россельхозцентрам) соответствующих округов на основе платной подписки.

Региональные Россельхозцентры, которые занимаются мониторингом сельского хозяйства и контролем качества продукции на местах, будут заинтересованы в приобретении модуля прогнозирования урожайности сельскохозяйственных культур по следующим причинам:

- Ориентируясь на прогноз урожайности и известные площади посевов в регионе, Россельхозцентры смогут заранее оценить объёмы продукции, подлежащей проверке при хранении, и спланировать количество фитосанитарных обследований. Это поможет подготовить достаточное количество необходимых ресурсов в периоды поступления продукции на склады и элеваторы.

- При высоком ожидаемом урожае увеличивается поток заявок на добровольную сертификацию продукции, особенно от производителей, планирующих выход на новые рынки. Зная об этом заранее, центры смогут скорректировать графики проверок, равномерно распределить нагрузку и обеспечить непрерывное проведение процедур.

- Прогнозы урожайности позволят формировать более точную статистику и аналитические обзоры по объемам сельскохозяйственной продукции, которые Россельхозцентры направляют в Министерство сельского хозяйства России и другие профильные ведомства для принятия управленческих решений в рамках государственной агрополитики.

Таким образом, в долгосрочной перспективе использование и коммерциализация модуля прогнозирования урожайности позволит компании не



только оптимизировать внутренние процессы и ресурсы, но и укрепить репутацию на рынке сертификационных услуг. Это позитивно отразится на привлечении новых клиентов, расширении географии и рынка предоставления услуг, и, соответственно, обеспечит рост прибыли и улучшение финансового положения ООО «НИСОК».

## **2.2. Анализ ключевых факторов, влияющих на урожайность, с учетом выбранного региона и культур**

Для комплексного анализа факторов, влияющих на урожайность сельскохозяйственных культур, в приложении Б представлены основные агроклиматические характеристики и агротехнические мероприятия для каждой из выбранных культур. Включены ключевые параметры температурного режима, требования к увлажнению, продолжительность вегетационного периода и основные методы ведения сельскохозяйственных работ. Такие данные, собранные из статистических документов ООО «НИСОК», позволяют определить, какие климатические и агротехнические условия являются критически важными для формирования урожая выбранных сельскохозяйственных культур.

Для реализации модуля прогнозирования урожайности сельскохозяйственных культур, таких как сахарная свекла, картофель и подсолнечник, необходимо учитывать и объединять широкий спектр факторов, влияющих на продуктивность сельского хозяйства. В первой главе ВКР и в Приложении А был проведен детальный анализ основных параметров, определяющих урожайность культур. Исходя из проведенного исследования, в будущем модуле прогнозирования предполагается объединение таких доступных показателей для наиболее точного предсказания урожайности требуемых сельскохозяйственных культур в Ставропольском крае в период с 2025 по 2026 год.

Таким образом, при разработке результативного модуля прогнозирования урожайности в Ставропольском крае необходимо учитывать не просто общие метеорологические данные, а специализированные биоклиматические и агроклиматические показатели (Приложение А), которые смогут более точно отразить влияние климатических условий на продуктивность культур. В отличие от стандартных метеорологических параметров, таких как среднегодовая температура или сумма осадков, упомянутые индексы будут учитывать критически важные для сельского хозяйства факторы, включая сезонные изменения, интенсивность испарения и экстремальные погодные явления, продолжительность вегетационного периода.

Кроме климатических факторов важным компонентом прогнозного модуля является учет агротехнических параметров, а именно — внесения минеральных удобрений. Внесенные удобрения играют важнейшую роль в повышении урожайности сельскохозяйственных культур, компенсируя дефицит питательных веществ в почве.

Невозможно не учитывать влияние экономических факторов на сельскохозяйственное производство, в частности, государственной поддержки агропромышленного комплекса Ставропольского края. В анализе предполагается использовать общий объем финансовой помощи сельскому хозяйству региона, поскольку он отражает доступность субсидий, дотаций и льготного кредитования, которые способствуют росту урожайности. Несмотря на отсутствие детализированной финансовой информации по каждой культуре, региональный уровень поддержки все еще позволит оценить ее влияние на сельскохозяйственное производство.

Предложенный набор факторов включает ключевые детерминанты урожайности и сможет обеспечить достаточную точность и репрезентативность модуля. Отсутствие некоторых специфических факторов (данных о сортах культур, агротехнических мероприятиях и локальных различиях в технологии возделывания) компенсируется комплексными параметрами, описанными ранее,

которые отражают основные закономерности возделывания сельскохозяйственных культур в Ставропольском крае.

### **2.3. Разработка плана проекта**

Основанием для выполнения проекта является необходимость разработки модуля прогнозирования урожайности сельскохозяйственных культур с последующим внедрением в ООО «НИСОК». Модуль реализуется с применением методов машинного обучения, а также включает разработку полноценного программного решения с серверной и клиентской частью. Все ресурсы, задействованные на проекте, можно разделить на две основные категории: материальные и человеческие.

Материальные ресурсы: для запуска программных продуктов, используемых при реализации проекта, а также их стабильной работы необходимо 2 персональных компьютера, а также 1 сервер. Потребности в закупке персональных компьютеров нет, поскольку компания полностью обеспечена необходимым компьютерным оборудованием и программным обеспечением. При этом планируется приобретение одного сервера для развертывания модульной системы и обеспечения устойчивой работы компонентов проекта.

Человеческие ресурсы: для реализации данного проекта необходимы аналитик, аналитик данных, разработчик, руководитель проекта, UX/UI-дизайнер, тестировщик и менеджер по сертификации.

Таким образом, описание функциональных обязанностей трудовых ресурсов для реализации проекта разработки модуля прогнозирования урожайности сельскохозяйственных культур представлено в приложении В.

Для создания календарно-ресурсного планирования были использованы методология CRISP-DM, ГОСТ Р ИСО/МЭК 12207–2010 и программа MS Project. Для наглядного отображения структуры проекта (иерархии работ) было

выбрано представление в форме диаграммы Ганта [1, 17].

На рис. 2.4 и 2.5 представлены этапы реализации проекта.

Режим задачи	Название задачи	Длительность	Затраты	Трудозат	Начало	Окончание	Предшест	Названия ресурсов
	<b>Проект для ООО "НИСОК"</b>	<b>143 дней</b>	<b>621 390,00 Р</b>	<b>561 ч</b>	<b>Пн 02.09.24</b>	<b>Вт 01.04.25</b>		
	Инициирование проекта	0 дней	0,00 Р	0 ч	Пн 02.09.24	Пн 02.09.24		
	<b>Понимание бизнес-целей</b>	<b>14 дней</b>	<b>51 090,00 Р</b>	<b>54 ч</b>	<b>Пн 02.09.24</b>	<b>Чт 19.09.24</b>		
	Анализ предметной области	10 дней	25 350,00 Р	30 ч	Пн 02.09.24	Пт 13.09.24	1	Аналитик
	Определение целей и задач проекта	4 дней	25 740,00 Р	24 ч	Пн 16.09.24	Чт 19.09.24	3	Аналитик;Руководитель проекта
	Бизнес-цели определены	0 дней	0,00 Р	0 ч	Чт 19.09.24	Чт 19.09.24	4	
	<b>Планирование проекта</b>	<b>16 дней</b>	<b>95 355,00 Р</b>	<b>87 ч</b>	<b>Пт 20.09.24</b>	<b>Пт 11.10.24</b>		
	Формирование команды проекта	3 дней	11 700,00 Р	9 ч	Пт 20.09.24	Вт 24.09.24	5	Руководитель проекта
	Разработка ТЗ и плана проекта	6 дней	38 610,00 Р	36 ч	Ср 25.09.24	Ср 02.10.24	7	Руководитель проекта;Аналитик
	Оценка стоимости проекта	3 дней	19 305,00 Р	18 ч	Чт 03.10.24	Пн 07.10.24	8	Руководитель проекта;Аналитик
	Оценка рисков проекта	4 дней	25 740,00 Р	24 ч	Вт 08.10.24	Пт 11.10.24	9	Руководитель проекта;Аналитик
	Проект спланирован	0 дней	0,00 Р	0 ч	Пт 11.10.24	Пт 11.10.24	10	
	<b>Начальное изучение данных</b>	<b>28 дней</b>	<b>76 440,00 Р</b>	<b>84 ч</b>	<b>Пн 14.10.24</b>	<b>Чт 21.11.24</b>		
	Сбор исходных данных	16 дней	43 680,00 Р	48 ч	Пн 14.10.24	Вт 05.11.24	11	Аналитик данных
	Описание данных	4 дней	10 920,00 Р	12 ч	Ср 06.11.24	Пн 11.11.24	13	Аналитик данных
	Исследование данных	6 дней	16 380,00 Р	18 ч	Вт 12.11.24	Вт 19.11.24	14	Аналитик данных
	Проверка качества данных	2 дней	5 460,00 Р	6 ч	Ср 20.11.24	Чт 21.11.24	15	Аналитик данных
	Данные изучены	0 дней	0,00 Р	0 ч	Чт 21.11.24	Чт 21.11.24	16	
	<b>Подготовка данных</b>	<b>15 дней</b>	<b>40 950,00 Р</b>	<b>45 ч</b>	<b>Пт 22.11.24</b>	<b>Чт 12.12.24</b>		
	Выборка и очистка данных	3 дней	8 190,00 Р	9 ч	Пт 22.11.24	Вт 26.11.24	17	Аналитик данных
	Построение новых данных	4 дней	10 920,00 Р	12 ч	Ср 27.11.24	Пн 02.12.24	19	Аналитик данных
	Интеграция данных	4 дней	10 920,00 Р	12 ч	Вт 03.12.24	Пт 06.12.24	20	Аналитик данных
	Форматирование данных	4 дней	10 920,00 Р	12 ч	Пн 09.12.24	Чт 12.12.24	21	Аналитик данных
	Данные подготовлены	0 дней	0,00 Р	0 ч	Чт 12.12.24	Чт 12.12.24	22	

Рис. 2.4 - Календарно-ресурсное планирование проекта (часть 1)

Режим задачи	Название задачи	Длительность	Затраты	Трудозат	Начало	Окончание	Предшест	Названия ресурсов
	<b>Моделирование</b>	<b>24 дней</b>	<b>65 520,00 Р</b>	<b>72 ч</b>	<b>Пт 13.12.24</b>	<b>Пн 27.01.25</b>		
	Обзор методов моделирования	5 дней	13 650,00 Р	15 ч	Пт 13.12.24	Чт 19.12.24	23	Аналитик данных
	Выбор методов и алгоритмов	8 дней	21 840,00 Р	24 ч	Пт 20.12.24	Пт 10.01.25	25	Аналитик данных
	Построение и обучение моделей	9 дней	24 570,00 Р	27 ч	Пн 13.01.25	Чт 23.01.25	26	Аналитик данных
	Оценка качества моделей	2 дней	5 460,00 Р	6 ч	Пт 24.01.25	Пн 27.01.25	27	Аналитик данных
	Завершение моделирования	0 дней	0,00 Р	0 ч	Пн 27.01.25	Пн 27.01.25	28	
	<b>Оценка и интерпретация результатов</b>	<b>8 дней</b>	<b>42 120,00 Р</b>	<b>48 ч</b>	<b>Вт 28.01.25</b>	<b>Чт 06.02.25</b>		
	Анализ результатов модели	3 дней	15 795,00 Р	18 ч	Вт 28.01.25	Чт 30.01.25	29	Аналитик данных;Аналитик
	Составление отчета с выводами и рекомендациями	3 дней	13 455,00 Р	18 ч	Пт 31.01.25	Вт 04.02.25	31	Менеджер по сертификации ;Аналитик
	Презентация модели	2 дней	12 870,00 Р	12 ч	Ср 05.02.25	Чт 06.02.25	32	Руководитель проекта;Аналитик
	Модель одобрена	0 дней	0,00 Р	0 ч	Чт 06.02.25	Чт 06.02.25	33	
	<b>Разработка программного модуля</b>	<b>25 дней</b>	<b>114 660,00 Р</b>	<b>111 ч</b>	<b>Пт 07.02.25</b>	<b>Чт 13.03.25</b>		
	Разработка архитектуры модуля	6 дней	18 135,00 Р	18 ч	Пт 07.02.25	Пт 14.02.25	34	Разработчик[50%];Аналитик[50%]
	Проектирование структуры базы данных	4 дней	7 020,00 Р	6 ч	Пт 07.02.25	Ср 12.02.25	36НН	Разработчик[50%]
	Разработка прототипов пользовательского интерфейса	2 дней	4 680,00 Р	6 ч	Пн 17.02.25	Вт 18.02.25	37;36	UX/UI-дизайнер
	Программирование и отладка backend-части	14 дней	24 570,00 Р	21 ч	Ср 19.02.25	Пн 10.03.25	38	Разработчик[50%]
	Программирование и отладка frontend-части	14 дней	40 950,00 Р	42 ч	Ср 19.02.25	Пн 10.03.25	39НН	Разработчик[50%];UX/UI-дизайнер[50%]
	Тестирование и устранение ошибок	3 дней	19 305,00 Р	18 ч	Вт 11.03.25	Чт 13.03.25	40;39	Тестировщик;Разработчик
	Модуль разработан	0 дней	0,00 Р	0 ч	Чт 13.03.25	Чт 13.03.25	41	
	<b>Внедрение</b>	<b>13 дней</b>	<b>135 255,00 Р</b>	<b>60 ч</b>	<b>Пт 14.03.25</b>	<b>Вт 01.04.25</b>		
	Планирование развертывания	4 дней	25 740,00 Р	24 ч	Пт 14.03.25	Ср 19.03.25	42	Руководитель проекта;Аналитик
	Составление документации и итогового отчета по проекту	4 дней	10 140,00 Р	12 ч	Чт 20.03.25	Вт 25.03.25	44	Аналитик
	Проведение итогового обзора проекта	2 дней	5 070,00 Р	6 ч	Ср 26.03.25	Чт 27.03.25	45	Аналитик
	Развертывание модуля	3 дней	94 305,00 Р	18 ч	Пт 28.03.25	Вт 01.04.25	46	Разработчик;Тестировщик;Серверное обо
	Модуль внедрен	0 дней	0,00 Р	0 ч	Вт 01.04.25	Вт 01.04.25	47	
	<b>Поддержка и сопровождение</b>	<b>0 дней</b>	<b>0,00 Р</b>	<b>0 ч</b>	<b>Вт 01.04.25</b>	<b>Вт 01.04.25</b>	<b>48</b>	

Рис. 2.5 - Календарно-ресурсное планирование (часть 2)

На рис. 2.6 и 2.7 отражена построенная диаграмма Ганта по проекту.

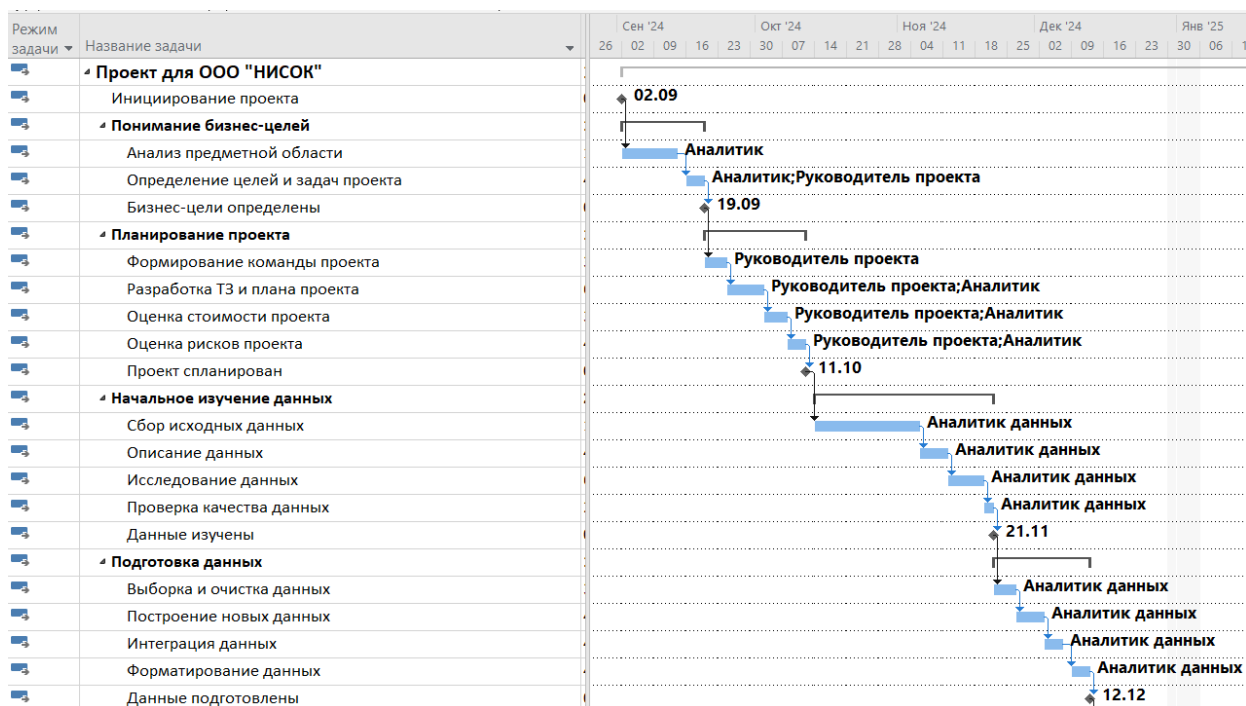


Рис. 2.6 - Диаграмма Ганта (часть 1)

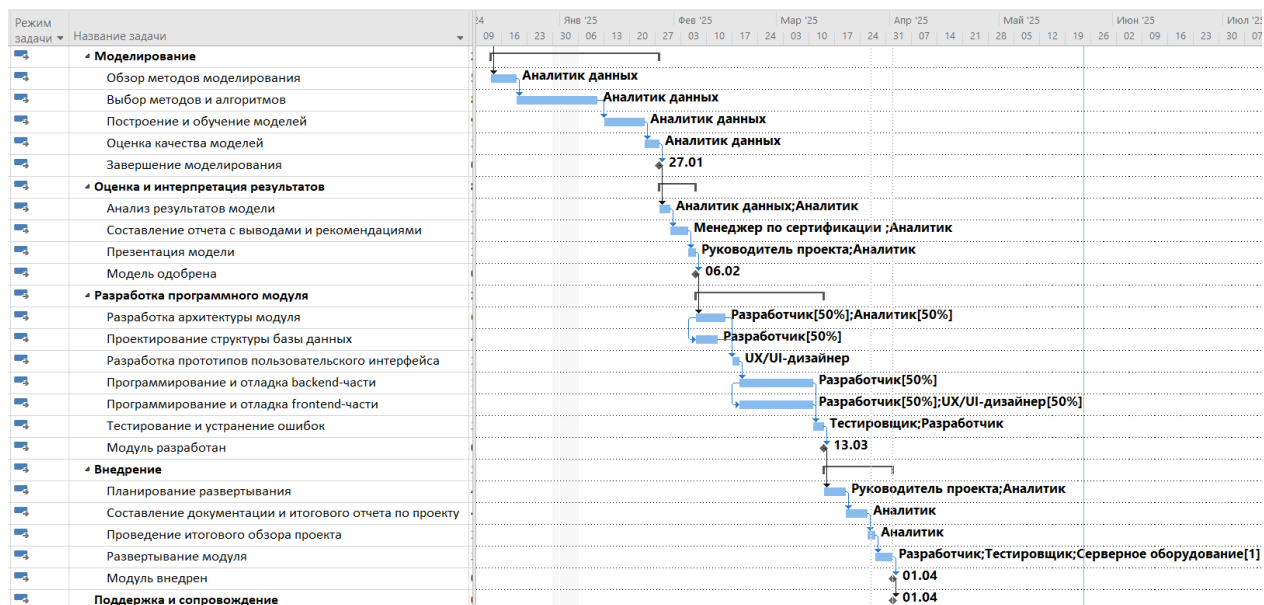


Рис. 2.7 - Диаграмма Ганта (часть 2)

При реализации проекта существует вероятность возникновения рисков, негативно влияющих на его исполнение.

Для проведения оценки проектных рисков используется матричный метод, основанный на двух показателях: вероятности возникновения риска и степени его влияния на реализацию проекта.

Составим шкалу, зависящую от процента вероятности возникновения риска: 1 – очень низкая (0–20 %); 2 – низкая (21–40%); 3 – средняя (41–60%); 4 – высокая (61–80%); 5 – очень высокая (81–100%).

Влияние рассчитывается по нескольким параметрам по формуле:

$$\text{Влияние} = (\text{Влияние на срок} + \text{Влияние на бюджет} + \text{Влияние на содержание} + \text{Влияние на качество}) / 4$$

Шкала влияния риска представлена в таблице 2.1.

Таблица 2.1

### Шкала влияния риска на проект

Балл	Влияние на реализацию проекта
1	Очень низкое (задержка отдельных задач)
2	Низкое (незначительная задержка проекта, фазы)
3	Среднее (задержка проекта, фазы, невыполнение отдельных задач)
4	Высокое (значительная задержка проекта)
5	Крайне высокое (крах проекта)

Важность риска рассчитывается как произведение вероятности возникновения риска на его влияние на реализацию проекта, а итоговая категория риска определяется по установленному диапазону значений (низкий (1–5), средний (6–14), высокий (опасный) (15–25)).

Перечень рисков, анализ возможности их возникновения и степени воздействия на проект, а также важность риска представлены в табл. 2.2.

Таблица 2.2

### Идентификация и анализ проектных рисков

Наименование риска	Вероятность возникновения риска	Влияние на реализацию проекта	Важность риска	Категория риска
Недостаточный объем исторических данных	2	5	10	Средний
Невозможность подобрать адекватную модель прогнозирования	2	5	10	Средний
Несоответствие готового продукта ожиданиям заказчика	1	5	5	Низкий

Продолжение таблицы 2.2

Наименование риска	Вероятность возникновения риска	Влияние на реализацию проекта	Важность риска	Категория риска
Потеря интереса заказчика к теме проекта	2	5	5	Низкий
Слабое взаимодействие между участниками команды	2	4	8	Средний
Некорректное ведение проектной документации	2	4	8	Средний
Задержка сроков исполнения работ по этапам	4	5	20	Высокий
Срыв сроков финансирования проекта	3	5	15	Высокий
Сбои в работе оборудования	2	4	8	Средний
Недостаточная квалификация отдельных участников команды	1	5	5	Низкий

Только у двух рисков важность оказалась больше 15: задержка сроков исполнения работ по этапам (важность 20) и срыв сроков финансирования проекта (важность 15).

Необходимо разработать ряд мероприятий, которые позволят не только устранить опасные риски в случае их возникновения, но и предотвратить их, они перечислены в таблице 2.3.

Таблица 2.3

### Мероприятия по предотвращению самых опасных рисков

№	Наименование риска проекта	Ожидаемые последствия наступления риска	Мероприятия по предупреждению наступления риска	Мероприятия по устранению последствий риска
1	Задержка сроков исполнения работ по этапам	Увеличение сроков реализации проекта, необходимость пересмотра плана-графика, снижение темпов выполнения задач, дополнительные расходы	Разработка детального календарного плана с контрольными точками, регулярный мониторинг сроков, временное увеличение количества подходящих специалистов для быстрого завершения проекта	Перераспределение ресурсов и привлечение дополнительного персонала для ускоренного завершения этапов

Продолжение таблицы 2.3

№	Наименование риска проекта	Ожидаемые последствия наступления риска	Мероприятия по предупреждению наступления риска	Мероприятия по устранению последствий риска
2	Срыв сроков финансирования проекта	Приостановка или заморозка выполнения работ, увеличение сроков исполнения проекта, снижение качества результатов	Подписание предварительных соглашений о финансировании, резервирование средств	Оперативное перераспределение бюджета, обращение к альтернативным источникам финансирования

#### 2.4. Функциональные и нефункциональные требования к модулю

Функциональные требования — это описание того, что должна делать система или программное обеспечение. Они определяют функции, которые должны быть доступны для пользователя и как эти функции должны работать.

Нефункциональные требования — это описание того, как система или программное обеспечение должны работать. Они определяют свойства, которые должны быть удовлетворены, чтобы система была полезной и эффективной.

Требования к системе в целом. [2]

Система должна представлять собой информационный модуль, предназначенный для просмотра и анализа прогнозируемых значений урожайности сельскохозяйственных культур, полученных с использованием ранее разработанной модели, для принятия соответствующих решений.

Помимо прогностических данных, модуль должен содержать визуализированные графики и дашборды, отражающие динамику урожайности культур, сертификацией и декларированием которых занимается компания. Система должна обеспечивать возможность сравнения данных по выбранным параметрам и содержать функционал формирования и выгрузки отчётных документов. Также должен быть реализован доступ к системе по уникальным логину и паролю.



Модуль должен проектироваться с учетом возможности дальнейшего расширения: добавления новых функций, интеграции дополнительных источников данных и роста объема обрабатываемой информации.

Требования к функциям, выполняемым системой.

Модуль прогнозирования урожайности должен включать следующие функциональные разделы:

Функциональный раздел авторизации пользователей, реализующий вход в систему: пользователь должен иметь возможность вводить логин и пароль с клавиатуры; должна осуществляться проверка корректности введенных данных и отображение ошибки при неудачной авторизации.

Функциональный раздел визуализации данных по урожайности сельскохозяйственных культур, который должен включать в себя отображение динамики урожайности выбранной культуры за заданный период, сравнительного графика урожайности различных культур в виде столбчатой диаграммы за выбранный год, распределение урожайности по годам в формате круговой диаграммы. Пользовательский интерфейс должен предусматривать возможность самостоятельного выбора культуры и настройки временного диапазона отображения данных.

Функциональный раздел прогнозирования урожайности, позволяющий пользователю выбрать необходимую культуру и получить прогноз её урожайности на ближайшие два периода, а также просмотреть графическую визуализацию динамики фактических и прогнозируемых значений урожайности за весь исследуемый период.

Функциональный раздел аналитики урожайности сельскохозяйственных культур, предназначенный для отображения динамики урожайности одной или нескольких выбранных культур на общем графике за фиксированный временной период. Пользовательский интерфейс должен позволять выбирать интересующие культуры для их последующего отображения.

Функциональный раздел сравнения урожайности сельскохозяйственных культур, предназначенный для отображения сравнительных графиков урожайности нескольких выбранных культур за произвольный набор лет. Пользовательский интерфейс должен позволять выбирать интересующие культуры и задавать необходимые годы для анализа.

Функциональный раздел генерации отчетов, формирующий Excel-отчеты, которые содержат данные о фактической и прогнозируемой урожайности выбранных пользователем культур за требуемый период.

Подробнее функции модуля прогнозирования описаны на диаграмме вариантов использования (use-case), представленной на рис. 2.8.



**Рис. 2.8 - Диаграмма вариантов использования модуля**

Требования к видам обеспечения.

Информационное обеспечение.

В состав информационного обеспечения модуля прогнозирования входит массив данных, содержащий исторические и прогнозируемые значения урожайности сельскохозяйственных культур. При обновлении данных в модели прогнозирования информация в модуле должна соответствующим образом актуализироваться для отображения пользователю.

Система должна использовать структуру хранения данных, удобную для масштабирования и используемую в компании. Должен поддерживаться экспорт отчётов в формате Excel (.xlsx).

Лингвистическое обеспечение.

- Вся информация, содержащаяся в разделах системы, должна быть представлена на русском языке. Логин и пароль вводятся пользователем на английском языке. Терминология, используемая в интерфейсе, должна быть единообразной, понятной целевым пользователям.
- Разработка backend-части модуля должна осуществляться на языке Python. Интерфейс модуля должен быть реализован с использованием HTML, CSS и JavaScript.

Требования к составу и параметрам технических средств.

- Персональный компьютер или ноутбук с установленным современным веб-браузером;
- Система должна корректно функционировать на устройствах с экраном не менее 1366×768 пикселей;
- Стабильное подключение к локальной сети компании.

Требования к надежности.

Модуль должен обеспечивать корректную работу при выборе параметров пользователем из выпадающих списков. В случае отсутствия данных по выбранным значениям должно отображаться понятное сообщение об отсутствии информации. Работа интерфейса не должна нарушаться при любых комбинациях выбора.

Модуль должен продолжать функционировать в случае сбоя одного из разделов. Время восстановления после сбоев должно составлять не более 1 часа.

Требования по безопасности.

- Логин и пароль для каждого пользователя должны выдаваться специалистом ИТ-отдела;
- Все пользовательские данные (логин и пароль) должны быть уникальными;
- Доступ к системе должен быть ограничен только авторизованными пользователями.

Требования к эргономике и технической эстетике.

- Интерфейс должен быть реализован в едином стиле;
- Элементы интерфейса (кнопки, выпадающие списки, таблицы и графики) должны быть логично сгруппированы;
- Операции пользователя должны выполняться в минимальное количество шагов (не более 2–3 кликов);
- Используемые цвета и шрифты должны быть удобны для восприятия.

Требования к эксплуатации, техническому обслуживанию, ремонту и хранению компонентов системы.

- При работе в системе пользователь должен соблюдать требования безопасности при работе за компьютером;
- Для корректной работы модуля должны использоваться современные веб-браузеры: Google Chrome, Mozilla Firefox или Microsoft Edge последних версий;
- Должна осуществляться техническая поддержка пользователей в штатном режиме в рабочее время;
- Система должна обеспечивать корректную работу при одновременном обращении до 50 пользователей;
- Среднее время отклика интерфейса на действия пользователя не должно превышать 3 секунд при стандартной нагрузке.

## 2.5. Требования к модели прогнозирования урожайности

В данной работе разрабатывается модель прогнозирования урожайности сельскохозяйственных культур на основе климатических, агротехнических и финансовых факторов, результаты которой интегрируются в аналитико-прогностический модуль. Для реализации модели необходимо подготовить данные, соответствующие определенным требованиям [17]. Цель исследования данных – выявление закономерностей в факторах, влияющих на урожайность культур, разработка модели прогнозирования урожайности на 2024 год для сверки прогнозируемых значений с фактическими, а также на два следующих периода (2025–2026 годы).

Основными требованиями, предъявляемыми к исходным данным для обучения алгоритма по каждой сельскохозяйственной культуре, являются следующие:

Требования к качеству исследуемых данных:

- Отсутствие пустых значений, в том числе тех значений, которые представлены пробельными символами или закодированные как отсутствие ответа. Пустые значения в имеющихся данных подлежат удалению.
- Отсутствие ошибок в данных, таких как опечатки, некорректные числовые значения, системные ошибки. Любые ошибки в исследуемых данных должны быть исправлены.
- Отсутствие дублирования строк для анализа. Строки-дублиеры должны быть удалены из набора исследуемых данных.
- Отсутствие несогласованности кодирования. Все значения, имеющие одинаковую суть, должны быть приведены к одному виду.

Требования к качеству исследуемых данных:

- Источники исследуемых данных должны быть официальными и достоверными, предоставлять актуальную и проверенную информацию.

- Государственные источники данных должны подтверждаться официальными статистическими сборниками, государственными реестрами, нормативными правовыми актами, отчетами ведомств или публикациями в открытых базах данных.
- Метеорологические данные должны поступать из источников, имеющих соответствующую лицензию.
- Для сбора данных должны быть также использованы внутренние данные организации (статистическая или историческая информация).

Требования к объему данных:

- Минимальное количество исходных ежедневных климатических записей – 8000.
- Минимальное количество лет наблюдений (объем записей конечного датасета) – 20.
- Минимальный объем тестовых данных должен составлять 4 записи и 5–7 признаков (столбцов).

Данные, используемые для анализа, должны иметь следующие типы:

- Целое число.
- Вещественное число.
- Дата и время при необходимости.

Требования к методам моделирования:

- Должны обеспечивать высокое качество прогнозирования с учетом ограниченного объема данных.
- Должны быть устойчивыми к переобучению и работать с небольшими выборками.
- Должны учитывать нелинейные зависимости в данных.

Критерии оценки качества модели прогнозирования:

- $R^2$  (Коэффициент детерминации): допустимый минимум  $\geq 0.85$  (85%).

- MAPE (Средняя абсолютная процентная ошибка): допустимый максимум  $\leq 10\%$ .
- MAE (Средняя абсолютная ошибка): чем ниже, тем лучше.
- RMSE (корень квадратный из среднеквадратичной ошибки): чем ниже, тем лучше.

Требования к интеграции модели с модулем прогнозирования:

- Передача фактических и прогнозных значений урожайности из модели в модуль должна осуществляться в структурированном формате в виде csv файла.

## 2.6. Сбор исходных данных

Исходные данные о погодных условиях были получены из официального открытого ресурса Open-Meteo, предоставляющего исторические метеорологические сведения. Сервис работает по лицензии Creative Commons Attribution 4.0 International (CC BY 4.0) и позволяет свободно использовать информацию при условии указания источника [27]. Этот сервис формирует ретроспективные ежедневные климатические данные с 2000 года на основе различных метеорологических моделей, включая GFS (Global Forecast System), ECMWF (European Centre for Medium-Range Weather Forecasts) и другие международные источники. Это подтверждает официальность и достоверность используемых сведений для реализации модели прогнозирования урожайности сельскохозяйственных культур.

Данные по урожайности сельскохозяйственных культур (ц/га) (картофель, подсолнечник, сахарная свекла) были получены из Единой межведомственной информационно-статистической системы (ЕМИСС) и Федеральной службы государственной статистики (Росстат). В рамках исследования из ЕМИСС также были собраны сведения о ежегодном объеме внесенных сельскохозяйственными организациями минеральных удобрений (в пересчете на 100% питательных

веществ) на 1 га посева для соответствующих культур, который учитывает фактическое содержание азота, фосфора и калия в почве. [22, 23]

Информация о государственной поддержке агропромышленного комплекса Ставропольского края (размер субсидий, меры финансового стимулирования) была получена с официального сайта территориального органа Росстата по Ставропольскому краю и из нормативных правовых актов Правительства Ставропольского края соответствующих лет. Для корректного сравнения объёмов государственной поддержки, выделенной в разные годы, было учтено изменение покупательной способности денег.

Ставропольский край является одним из крупнейших сельскохозяйственных регионов России, и его климатические условия сильно варьируются в зависимости от рельефа и географического положения. Соответственно, для обеспечения точности и репрезентативности метеорологических данных при прогнозировании урожайности сельскохозяйственных культур было решено в модели прогнозирования использовать сведения с метеостанций, расположенных в городах Светлоград, Изобильный и Георгиевск. Местонахождение этих городов охватывает ключевые сельскохозяйственные зоны Ставропольского края, каждая из которых обладает характерными агроклиматическими условиями, влияющими на рост и развитие культур. К тому же такой выбор не случаен в связи с тем, что данные районы ежегодно входят в число лидеров по производству подсолнечника, сахарной свеклы и картофеля.

Светлоград, расположенный в Петровском районе, отличается развитым аграрным сектором, специализирующимся на производстве картофеля и сахарной свеклы. Изобильный, находящийся в западной части края, играет важную роль в выращивании картофеля и подсолнечника, а также выделяется среди других районов по уровню мелиорации и применению систем орошения. Георгиевск, расположенный ближе к юго-западу региона, специализируется на производстве подсолнечника и сахарной свеклы, а его климатические условия



позволяют учитывать влияние южных агроклиматических факторов. Таким образом, совокупность данных, собранных с этих метеостанций, отражает разнообразие природных условий региона, обеспечивая комплексный анализ климатического влияния на урожайность.

С метеостанций данных районов были собраны следующие ежедневные метеорологические данные за 24 года (2000–2023 г.):

- Максимальная температура воздуха (°C) на высоте 2 метра над землей – характеризует экстремальные дневные значения температуры.
- Минимальная температура воздуха (°C) на высоте 2 метра над землей – позволяет анализировать влияние ночных температур и возможных заморозков на вегетацию.
- Среднесуточная температура воздуха (°C) на высоте 2 метра над землей – отражает общий температурный режим.
- Сумма осадков (мм) – включает в себя любые осадки (дождь, снег, ливни) и используется для выявления засушливых и переувлажненных периодов.
- Эвапотранспирация (мм) – показатель суммарного испарения, процесс возвращения влаги в атмосферу в виде водяного пара, происходящий за счёт испарения воды с поверхности почвы и растительности, а также через транспирацию, то есть испарение воды растениями. Эвапотранспирация при расчете учитывает влияние температуры, солнечной радиации, скорости ветра и влажности воздуха.
- Температура почвы на глубине 3–10 см (°C) – характеризует тепловой режим верхнего слоя почвы, влияющий на прорастание семян, развитие корневой системы и начальные фазы роста растений.

Такой набор климатических переменных является необходимым и достаточным для формирования ключевых агроклиматических индексов, представленных в Приложении А и требуемых для модели прогнозирования урожайности соответствующих культур.

## **2.7. Выводы по 2 главе**

В рамках главы были изучены деятельность ООО «НИСОК», бизнес-процесс сертификации сельскохозяйственной продукции (AS IS). В результате анализа были выявлены ключевые проблемы: сезонная перегрузка специалистов, неэффективное распределение кадровых ресурсов и, как следствие, увеличение операционных затрат компании.

В связи с этим была поставлена задача разработки модуля прогнозирования урожайности сельскохозяйственных культур, позволяющего заранее планировать необходимый кадровый состав для обработки сезонных заявок без избыточных расходов (TO BE). Определены ключевые культуры, требующие приоритетного прогнозирования, и выявлены специфичные факторы, влияющие на их урожайность.

Помимо этого, сформирован календарно-ресурсный план реализации проекта, проведена оценка проектных рисков, разработаны функциональные и нефункциональные требования к создаваемому модулю, а также требования к модели прогнозирования.

Обоснован и проведен сбор исходных данных, обеспечивающий основу для последующего формирования и обучения модели.

## **ГЛАВА 3. РЕАЛИЗАЦИЯ ПРОЕКТА И ОБОСНОВАНИЕ ЭКОНОМИЧЕСКОГО ЭФФЕКТА**

### **3.1. Обоснование и выбор инструментов реализации модели прогнозирования**

Перед тем как приступить к обработке собранных данных необходимо выбрать язык и среду программирования. Одним из основных критериев при выборе языка программирования является наличие в нем необходимых библиотек для реализации модуля и работы с данными. Под такой формат работы подходит язык программирования Python, который имеет ряд основных преимуществ:

- Простой, но выразительный синтаксис;
- Большой выбор библиотек для машинного обучения;
- Высокая культура документации.

Используемая среда разработки – PyCharm. Это интегрированная среда разработки для языка Python, предоставляющая удобный интерфейс, поддержку виртуальных окружений, инструменты автодополнения, отладки, а также средства для удобной работы с внешними библиотеками, используемыми в анализе данных и разработке модуля.

Для программной реализации алгоритма прогнозирования были использованы следующие библиотеки и их версии:

Pandas версии 2.2.3 — это высокоуровневая библиотека Python для обработки и анализа табличных (структурированных) данных. Обеспечивает удобную работу с таблицами, включая фильтрацию, агрегацию, группировку и объединение данных.

NumPy версии 2.0.2 — это фундаментальная библиотека для вычислений, предоставляющая поддержку многомерных массивов и большое количество математических функций для работы с ними.

Matplotlib версии 3.9.4 — это базовая библиотека для построения графиков, диаграмм и других визуализаций в Python.

Seaborn версии 0.13.2 — это библиотека для построения статистических графиков, основанная на matplotlib. Отличается стильным внешним видом и удобной интеграцией со структурами данных pandas.

Scikit-learn (sklearn) версии 1.6.1 — это одна из самых популярных библиотек для машинного обучения. Содержит реализованные алгоритмы регрессии, классификации, кластеризации, отбор признаков, кросс-валидацию, масштабирование и многое другое.

XGBoost версии 2.1.4 — это эффективная и высокопроизводительная библиотека градиентного бустинга, особенно хорошо подходящая для задач регрессии.

Statsmodels версии 0.14.4 — это библиотека для построения статистических моделей, в том числе анализа временных рядов. Включает методы классического статистического анализа, такие как экспоненциальное сглаживание, метод Холта и др.

SciPy версии 1.13.1 — это библиотека для научных и инженерных расчётов, содержащая модули для оптимизации, линейной алгебры и статистики.

### **3.2. Предобработка и разведочный анализ исходных данных**

Для обеспечения репрезентативности собранных данных были проведены усредненные расчеты климатических показателей по трем метеостанциям в выбранных районах. Значения каждого параметра рассчитывались как среднее арифметическое по трем городам для каждого дня, что позволило сгладить локальные климатические аномалии и получить усредненную климатическую картину региона, где выращиваются требуемые сельскохозяйственные культуры.

Размер первичного датасета составил 8766 строки, где каждая строка представляет собой ежедневные климатические данные за период с 2000 по 2023 год. На этапе предобработки данных была проведена проверка на наличие пропущенных значений и анализ типов данных. Все параметры, собранные с

ресурса Open-Meteo, представлены в числовом формате с плавающей запятой (float), пропущенные значения и дублирование в исходных данных отсутствовали.

Следующим этапом проведен разведочный анализ данных, направленный на выявление закономерностей, потенциальных аномалий и особенностей распределения климатических параметров.

На рис. 3.1 приведена описательная статистика трех показателей температуры, суммы осадков, эвапотранспирации и температуры почвы на глубине 3–10 см.

	count	mean	std	min	25%	50%	75%	max
temperature_2m_max (°C)	9132	16.19	11.07	-19.57	6.87	16.37	25.53	40.23
temperature_2m_min (°C)	9132	7.40	9.24	-30.03	0.07	7.27	15.49	26.40
temperature_2m_mean (°C)	9132	11.67	10.16	-24.00	3.14	11.53	20.57	32.97
precipitation_sum (mm)	9132	1.55	3.03	0.00	0.00	0.17	1.73	51.07
et0_fao_evapotranspiration (mm)	9132	2.76	2.15	0.13	0.84	2.18	4.39	10.36
soil_temperature_3_to_10cm (°C)	9132	12.58	9.70	-7.50	3.43	11.99	21.19	33.98

**Рис. 3.1 - Описательная статистика климатических параметров**

Анализ статистических показателей температурных данных показывает, что средние и медианные значения максимальной, минимальной и среднесуточной температуры расположены близко друг к другу. Это свидетельствует об имеющейся, но незначительной асимметрии в распределении, а также о том, что экстремальные значения не оказывают критического влияния на общие характеристики выборки. Температура демонстрирует широкий диапазон значений: минимальные температуры в зимние месяцы опускались до  $-30^{\circ}\text{C}$ , тогда как максимальные летом достигали  $40^{\circ}\text{C}$ . Температурные данные варьируются в больших пределах в зависимости от времени года.

В отличие от температуры, сумма осадков (precipitation\_sum (mm)) демонстрирует значительное расхождение между средним и медианным

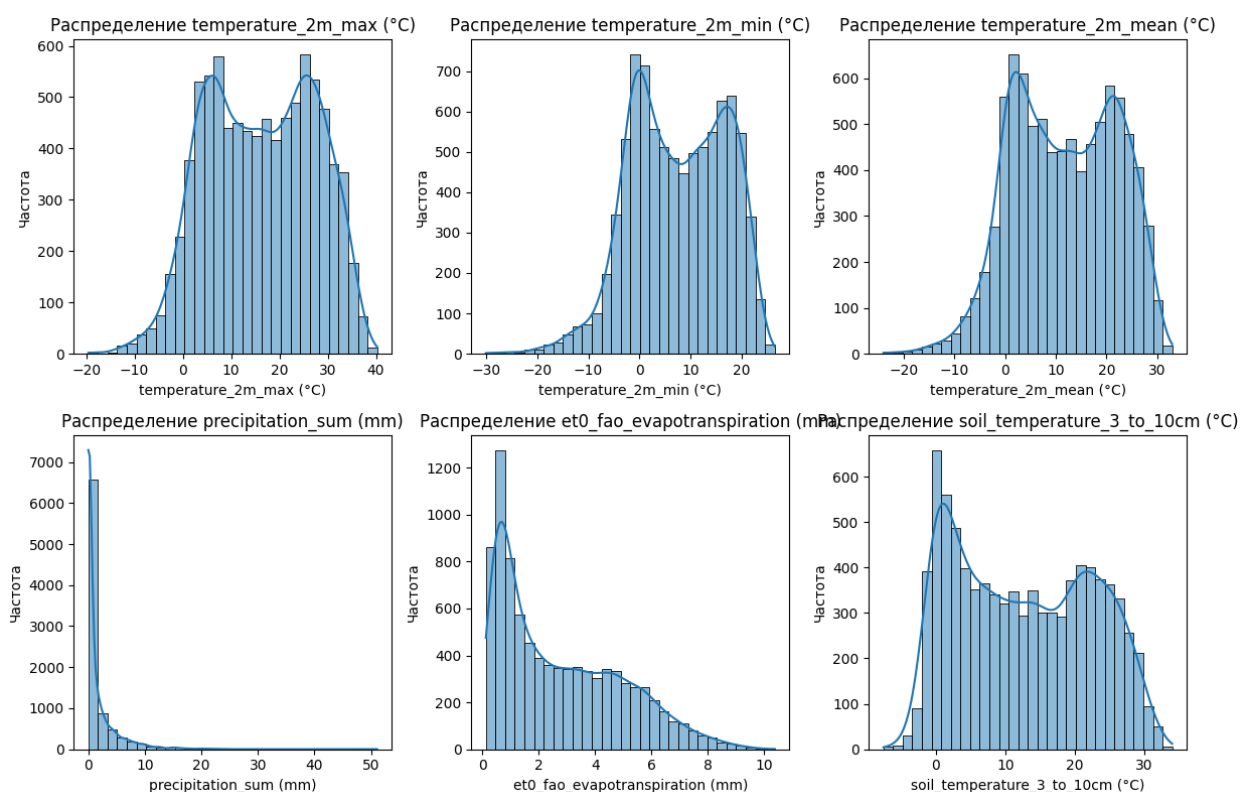
значениями. Среднее значение (1.55 мм) значительно превышает медиану (0.17 мм), указывая на неравномерное распределение данных и выраженную правостороннюю асимметрию. Большинство дней характеризовались небольшим или отсутствующим количеством осадков, однако в отдельные периоды их интенсивность значительно увеличивала среднее значение. Высокое стандартное отклонение (3.03 мм) или  $\approx 195\%$  (согласно подсчету коэффициента вариации) подтверждает сильную изменчивость данного параметра.

Эвапотранспирация (`et0_fao_evapotranspiration` (mm)) варьируется в широком диапазоне от 0.13 мм до 10.36 мм в день. Среднее значение составляет 2.76 мм, медиана — 2.18 мм, также указывая на выраженную правостороннюю асимметрию распределения, обусловленную редкими периодами высокой эвапотранспирации. Высокое стандартное отклонение (2.15 мм) подтверждает значительную вариативность параметра, что связано с сезонными колебаниями температуры, солнечной радиации, скорости ветра и влажности воздуха.

Температура почвы на глубине 3–10 см (`soil_temperature_3_to_10cm` (°C)) демонстрирует среднее значение 12.58°C, что близко к медианному значению 11.99°C. Это свидетельствует о том, что распределение температур в целом симметрично, а экстремальные значения либо отсутствуют, либо не оказывают значительного влияния на центральные показатели выборки. Диапазон температур достаточно широк: от -7.50°C до 33.98°C, обосновывая выраженную сезонную изменчивость.

Гистограммы распределения данных, приведенные на рис. 3.2, подтверждают выводы, сформулированные при исследовании описательной статистики. Анализ гистограмм показал, что температура (максимальная, минимальная, среднесуточная, почвы) имеет двухвершинное распределение (бимодальное), отражая сезонные изменения и выраженность холодного и теплого периодов в году. Распределение суммы осадков (`precipitation_sum` (mm)) и эвапотранспирации (`et0_fao_evapotranspiration` (mm)) имеет заметную правостороннюю асимметрию. Для первого из показателей большая часть дней

характеризуется отсутствием или минимальным количеством осадков, тогда как редкие периоды интенсивных ливней или выпадения снега вызывают резкие скачки значений, формируя длинный "хвост" графика справа. Это подтверждается тем, что среднее значение значительно превышает медиану. Аналогичный тренд наблюдается для эвапотранспирации: в большинстве дней испарение относительно низкое, но в периоды жаркой и засушливой погоды оно достигает относительно экстремальных значений, что также приводит к асимметрии в распределении.

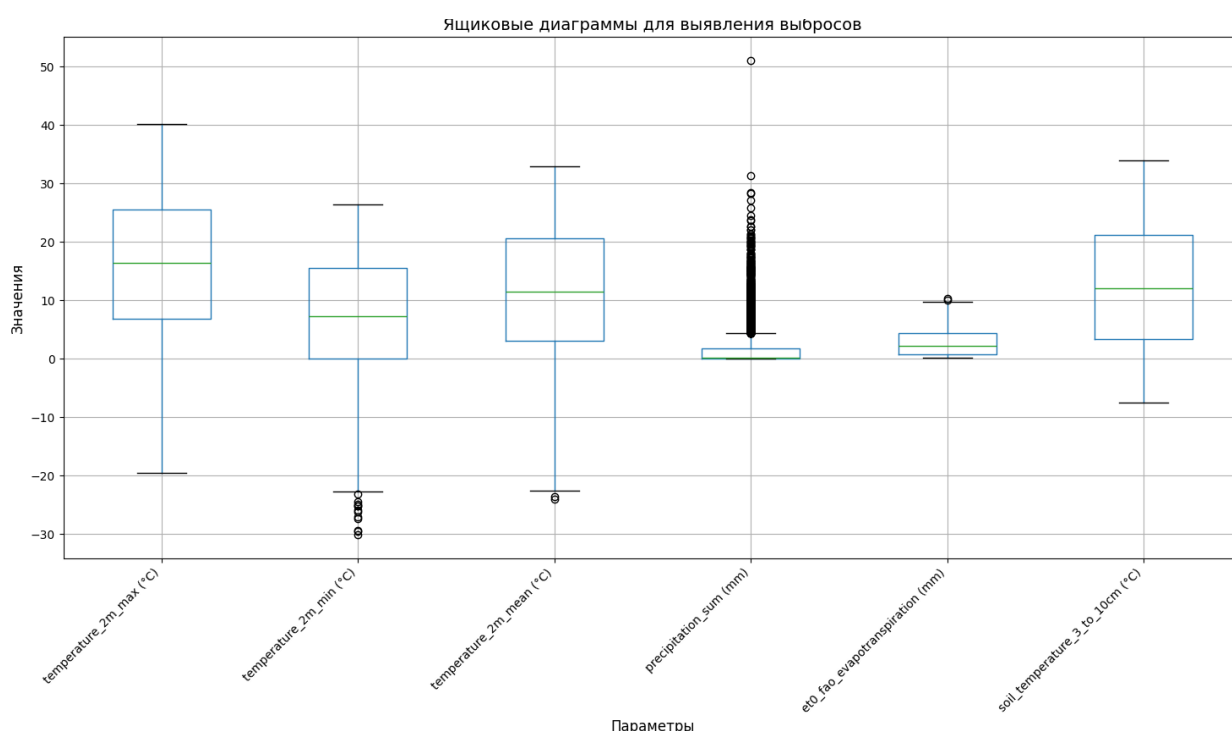


**Рис. 3.2 - Гистограммы распределения климатических данных**

Для выявления выбросов решено использовать ящиковые диаграммы (boxplot), представленные на рис. 3.3. Анализ данных диаграмм климатических параметров выявил наличие выбросов в нескольких показателях, включая минимальную и среднесуточную температуру, сумму осадков и эвапотранспирацию. Однако такие экстремальные значения являются характерной особенностью климатических данных и не свидетельствуют о наличии ошибок ввода или системных искажений. Они отражают естественные

климатические колебания, в том числе редкие периоды аномально низких температур, обильных осадков и изменчивости испарения влаги.

В данном исследовании первичные климатические показатели не используются напрямую для разработки модуля прогнозирования урожайности. Вместо этого они служат основой для расчета агроклиматических индексов, таких как гидротермический коэффициент Селянинова, коэффициент увлажнения Сапожниковой, индекс сухости Будыко и других (Приложение А). Эти индексы агрегируют данные за определенные периоды (вегетационные или годовые), что естественным образом помогает нивелировать влияние отдельных экстремальных значений. Исключение выбросов или применение методов сглаживания на исходных данных может привести к тому, что рассчитанные индексы перестанут объективно отражать реальные климатические условия. Таким образом, корректировка климатических параметров за счет удаления выбросов или их трансформации нецелесообразна.



**Рис. 3.3 - Ящиковые диаграммы для выявления выбросов в исходных собранных данных**



Следующим шагом происходит подготовка данных, непосредственно для проведения прогнозирования урожайности выбранных сельскохозяйственных культур ранее.

Исходные климатические данные были преобразованы в биоклиматические и агроклиматические индексы (Приложение А). Агрегирование данных выполнено за 24-летний период, при этом в тех индексах, где это допускается, учитывались особенности возделывания каждой культуры, включая их вегетационные периоды (Приложение Б).

Для каждой культуры – картофеля, сахарной свеклы и подсолнечника – был сформирован отдельный датасет, включающий следующие параметры:

- Агрегированные биоклиматические и агроклиматические индексы;
- Показатель внесенных сельскохозяйственными организациями минеральных удобрений (в пересчете на 100% питательных веществ) на 1 га посева для соответствующих культур;
- Размер государственной поддержки агропромышленного комплекса Ставропольского края, приведенный к сопоставимым значениям с учетом инфляции за 24-летний период;
- Целевая переменная – урожайность соответствующей культуры в ц/га.

Таким образом, для каждой культуры был получен отдельный датасет объемом 24 строки, где каждая строка соответствует году, а столбцы содержат набор факторов, потенциально влияющих на ее урожайность.

На рис. 3.4 и 3.5 представлен пример датасета для культуры «Картофель», в котором отражены все упомянутые ключевые показатели.

year	sum_temp_above_5_C	sum_temp_above_10_C	veg_period_days	days_since_start_spring_day_above_5_C	days_since_start_fall_day_below_5_C	days_since_start_spring_day_above_10_C	days_since_start_fall_day_below_10_C	mean_temp_january	mean_temp_july
2000	3998.433333	3722.366667	90	65	293	92	286	-1.559139785	25.92258065
2001	4160.1	3857.466667	94	61	298	64	289	-0.770967742	25.54731183
2002	4130.933333	3562.566667	78	60	287	62	286	-3.623655914	25.07956989
2003	3819.833333	3534.633333	119	90	301	98	291	-0.419354839	22.72903226
2004	3988.666667	3677.8	102	61	287	81	279	1.003225806	21.46989247
2005	4142.533333	3760.933333	114	73	295	98	280	1.996774194	24.40322581
2006	4263.066667	3900.833333	97	65	309	83	287	-6.597849462	22.95376344
2007	4276.7	3902.9	83	77	310	117	288	2.810752688	25.7483871
2008	4324.166667	3811.533333	117	62	312	69	273	-5.825806452	24.0516129
2009	4100.933333	3663.266667	116	67	306	89	299	-2.577419355	25.66989247
2010	4672.2	4143.7	75	80	302	92	276	-3.28172043	26.70537634
2011	3855.8	3565.9	122	75	299	85	276	-2.540860215	26.56236559
2012	4643.133333	4398.166667	100	79	317	96	306	-3.586021505	24.62580645
2013	4294.7	3785.566667	101	61	297	71	271	0.055913978	24.59139785
2014	4262.5	3886.866667	109	63	293	85	275	-2.053763441	25.53225806
2015	4364.666667	3775.833333	121	70	303	104	281	-1.384946237	25.25483871
2016	4253.1	3840.333333	78	61	291	65	286	-2.11827957	24.08924731
2017	4397.733333	3846.9	83	61	326	89	271	-2.339784946	25.72365591
2018	4495.066667	4197.2	86	63	314	77	279	-1.096774194	27.05376344
2019	4400.066667	4067.133333	97	65	304	69	282	0.523655914	23.50430108
2020	4578.1	4268.033333	75	63	316	69	310	1.075268817	27.02365591
2021	4336.033333	3882.7	77	65	299	94	273	0.866666667	26.24301075
2022	4395.1	4037.333333	112	62	305	89	294	0.602150538	23.59784946
2023	4717.966667	4342.133333	103	60	325	69	282	0.307526882	24.82795699

Рис. 3.4 - Датасет для культуры "Картофель" (часть 1)

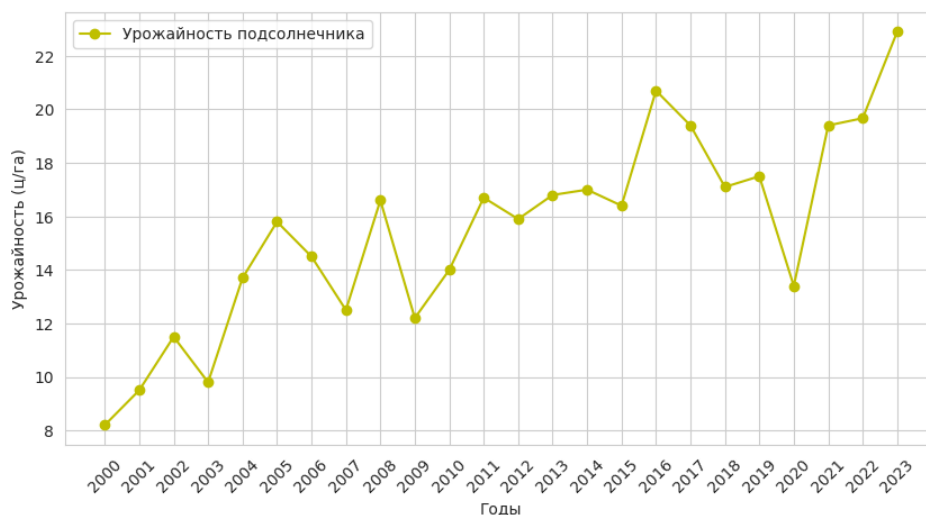
J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V
mean_temp_july	temp_amplitude	veg_spring_days	veg_autumn_days	sum_precip_above_5_C	sum_precip_above_10_C	sum_evaporation	seilaninov_gtkbudyko_dryness_index	spochnikov_ku	gospodderzhka_apk_mldr	potato_(udobren)	Картофель	
25.92258065	39.66666667	32	0	429.8	361.7	847.5333333	0.971693636	1.85243572	0.716294484	0.67	146.4	59
25.54731183	40.93333333	35	0	491.2666667	413.7666667	879.5466667	1.072638346	1.678105212	0.803777813	0.84	121	66
25.07956989	49.46666667	27	0	508.9	416.6333333	850.1833333	1.169475191	1.539151932	0.851197425	0.98	74.2	79.5
22.72903226	39.73333333	34	25	346.3	289.1	825.88	0.81796619	2.200740228	0.62808998	0.98	69.9	71.2
21.46989247	34.43333333	26	20	543.3333333	441.3666667	755.7533333	1.20083383	1.498895778	0.97016062	1.02	55.8	95.3
24.40322581	41.53333333	38	21	440.8333333	323.6666667	836.8033333	0.860601978	2.091559217	0.710155563	1.1	63.2	95
22.95376344	56.23333333	40	11	403.6666667	284.1666667	862.3766667	0.728476821	2.470909091	0.657262951	1.09	54.4	90.8
25.7483871	45.66666667	31	0	343.8333333	253.1666667	946.94	0.64866296	2.774938776	0.594066634	1.15	125	81.5
24.0516129	44.23333333	41	15	407.7	323.9	878.5766667	0.849789236	2.118172275	0.636210137	1.4	32.12	100.7
25.66989247	42.96666667	37	14	461.6	379.5	858.1166667	1.035960618	1.737517787	0.846832969	1.03	148.36	92.3
26.70537634	47.8	42	0	381.7333333	277.2	994.63	0.668967348	2.690714286	0.599815058	1.05	233.98	106.2
26.56236559	46.76666667	33	27	397.8	298.4666667	818.9533333	0.837002346	2.150531606	0.717822312	0.96	248	123.8
24.62580645	53.63333333	29	0	351.3	313.5333333	981.57	0.712872788	2.524994684	0.549593603	1.05	217.1	128.6
24.59139785	37.36666667	45	0	504.8	371.9666667	908.1833333	0.982591774	1.831889954	0.711782406	1.34	313.37	143.5
25.53225806	51.5	43	1	367.8	330.4666667	948.9233333	0.85021354	2.117115191	0.629993274	1.4	339.64	144.9
25.25483871	52.3	38	21	361.4333333	216.2666667	1000.866667	0.572763394	3.142647965	0.563310144	1.21	337.64	148
24.08924731	47.76666667	41	0	543.3666667	446.9333333	879.5266667	1.163787866	1.546673628	0.856830025	1.01	357.15	166.6
25.72365591	47.76666667	44	0	432.9333333	313.3	987.6766667	0.814422002	2.2101564	0.662583372	1.2	372.59	163.1
27.05376344	39.16666667	33	0	268.3	205.7333333	1056.766667	0.490168049	3.672209981	0.476020187	0.87	388.8	164.9
23.50430108	34.26666667	43	0	317.8	262.0666667	1014.896667	0.644352287	2.793502925	0.530404318	0.6	465.99	157.5
27.02365591	40.86666667	40	0	247.2666667	231.7	1111.07	0.542872986	3.315692706	0.443716133	0.7	490.09	168.1
26.24301075	49.2	35	0	521.4	411.0666667	903.77	1.058713438	1.700176776	0.834805929	0.62	442.38	180.2
23.59784946	34.7	37	13	502.4666667	405.9666667	976.9466667	1.005531704	1.790097709	0.759110375	0.71	403.81	201.04
24.82795699	43.26666667	39	10	512.4	412.1333333	1029.146667	0.94914942	1.896434811	0.773342252	0.61	460.17	208.77

Рис. 3.5 - Датасет для культуры "Картофель" (часть 2)

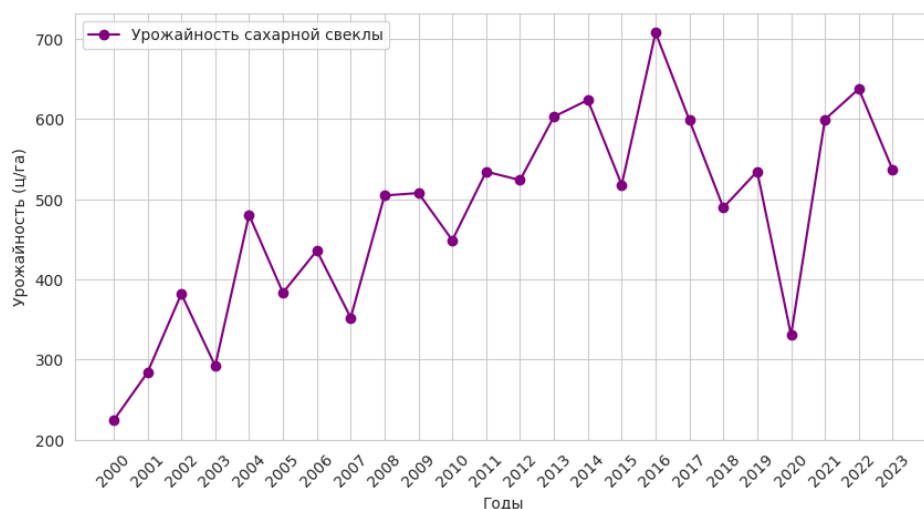
После формирования датасетов по каждой культуре необходимо визуализировать динамику урожайности за весь период исследования, чтобы выявить общие тенденции ее изменения (рис. 3.6–3.8).



Рис. 3.6 - Тренд урожайности картофеля по годам



**Рис. 3.7 - Тренд урожайности подсолнечника по годам**



**Рис. 3.8 - Тренд урожайности сахарной свеклы по годам**

Анализ графиков трендов урожайности показал, что динамика большинства культур значительно различается. Так, урожайность картофеля демонстрирует постепенный рост на протяжении исследуемого периода, в то время как для сахарной свеклы и подсолнечника отмечаются нестабильные колебания от года к году, подтверждая влияние множества различных внешних факторов. Таким образом затрудняется интуитивная оценка значений урожайности культур на будущие периоды и подчеркивается необходимость использования методов машинного обучения для получения более обоснованных и точных прогнозов.

### **3.3. Реализация модели прогнозирования урожайности сельскохозяйственных культур**

После сбора, анализа и приведения первичных данных к виду, подходящему для регрессионного анализа, осуществляется переход к реализации модели прогнозирования.

Одним из основных шагов в этом процессе является определение значимых факторов, оказывающих наибольшее влияние на целевую переменную для построения наиболее интерпретируемой модели. Соответственно, был выполнен корреляционный анализ, позволяющий выявить линейные и мультиколлинеарные зависимости между переменными. На основе этого анализа были отобраны наиболее важные признаки для дальнейшего моделирования, которые представлены в таблице Приложения Г.

После отбора факторов для прогностической модели данные были разделены на обучающую и тестовую выборки с использованием метода `TimeSeriesSplit`, предназначенного для работы с временными рядами, сохраняя их хронологическую последовательность. Число разбиений `n_splits` было выбрано равным 5, обеспечивая тестовые подвыборки длительностью 4 года.

При прогнозировании урожайности важно учитывать не только влияние отдельных факторов, но и их комбинированное воздействие, которое может усиливаться или ослабляться в зависимости от их сочетания. Поэтому для линейных моделей, входящих в состав ансамбля, была реализована функция формирования полиномиальных признаков с помощью инструмента `PolynomialFeatures` из библиотеки `sklearn`. Это позволяет повысить способность именно линейных алгоритмов учитывать сложные структуры в данных и возможные нелинейные зависимости между переменными.

Далее для корректной работы линейных моделей использовался метод `StandardScaler` из библиотеки `sklearn`, позволяющий произвести стандартизацию данных перед использованием их в модели машинного

обучения путём вычитания среднего значения и деления на стандартное отклонение.

Для учёта как линейных, так и возможных нелинейных взаимосвязей между признаками и целевой переменной (картофелем, подсолнечником или сахарной свеклой) было принято решение использовать гибкий ансамбль моделей, объединяющий различные алгоритмы, способные учитывать разнообразные характеристики данных. В качестве метода объединения моделей выбран VotingRegressor — инструмент библиотеки scikit-learn, реализующий ансамблевый подход путём агрегирования предсказаний нескольких базовых моделей. Итоговое значение определяется как среднее арифметическое прогнозов всех моделей, входящих в состав ансамбля.

Ансамбль включает следующие алгоритмы:

ElasticNet — регуляризованная линейная модель, объединяющая преимущества L1- и L2-регуляризации. Она одновременно выполняет отбор признаков (за счёт L1-компоненты) и сглаживает влияние взаимокоррелированных переменных (через L2-компоненту), обеспечивая баланс между интерпретируемостью и устойчивостью модели. Использование ElasticNet в ансамбле позволяет учесть как чётко выраженные зависимости между признаками и целевой переменной, так и менее очевидные, извлекая максимум информации из данных и повышая точность прогноза.

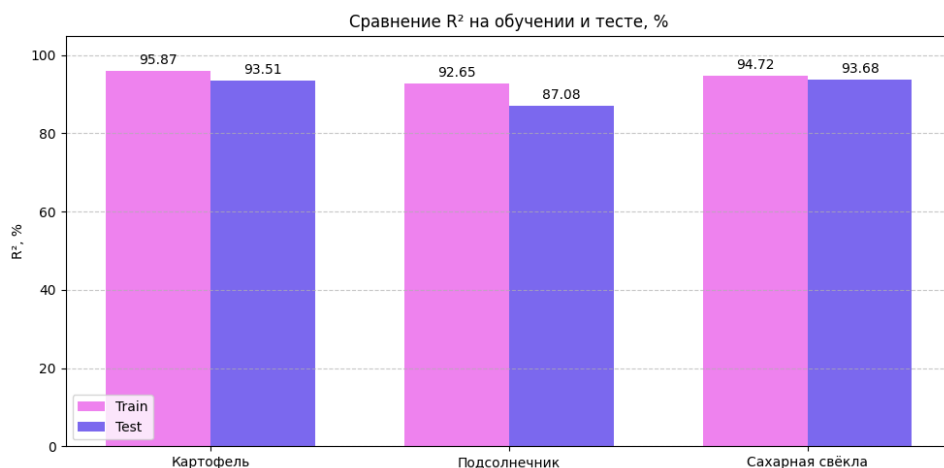
RandomForestRegressor — ансамблевый метод, основанный на построении множества решающих деревьев с последующим усреднением их предсказаний. Обладает способностью выявлять нелинейные зависимости и демонстрирует высокую устойчивость к выбросам.

XGBoost — реализация градиентного бустинга, предназначенная для повышения точности прогноза путём итеративного обучения слабых моделей с учётом ошибок предыдущих итераций. Модель эффективно выявляет нелинейные зависимости между переменными, обладает встроенными

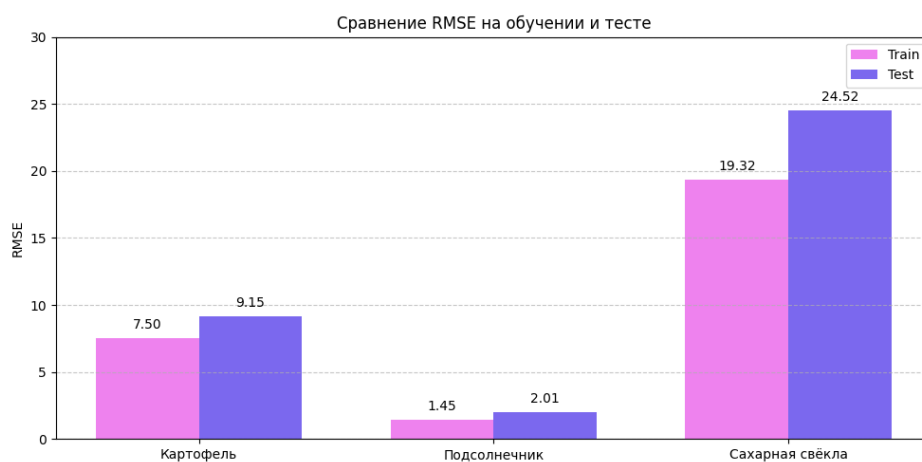
механизмами регуляризации и демонстрирует высокую обобщающую способность даже на небольших выборках.

После подготовки данных и формирования структуры ансамбля прогностических моделей их гиперпараметры и степень полинома, применяемая для создания новых признаков на основе взаимодействий между переменными, для каждой культуры подбирались автоматически с использованием метода GridSearchCV из библиотеки scikit-learn. Этот инструмент перебирает заранее заданные комбинации параметров (в данном случае степень полинома, количество деревьев, глубину, скорость обучения, коэффициенты регуляризации и другие) и оценивает каждую из них с помощью встроенной кросс-валидации. Внутри GridSearchCV была использована кросс-валидация на временных рядах с числом разбиений  $cv=5$ , реализованная через метод TimeSeriesSplit. При таком подходе каждый новый прогон использует всё больше исторических данных для обучения, а валидация (проверка) всегда проводится на следующем по времени отрезке. Таким образом модель обучается на предыдущих 4-х блоках и проверяется на следующем, сохраняя хронологию и предотвращая утечку информации из будущего. В результате автоматически выбираются такие гиперпараметры, при которых модель показывает наилучшие результаты.

Завершив подбор оптимальных гиперпараметров и обучение ансамбля моделей на обучающей выборке, была проведена оценка точности метрик на обучающих и тестовых данных для каждой культуры, а также качества прогнозов для каждой культуры на тестовых данных (рис. 3.9–3.13). Для этого использовались стандартные регрессионные метрики: коэффициент детерминации ( $R^2$ ), средняя абсолютная ошибка (MAE), корень квадратный из среднеквадратичной ошибки (RMSE) и средняя абсолютная процентная ошибка (MAPE).



**Рис. 3.9 - Сравнение значений  $R^2$  на обучающих и тестовых данных**



**Рис. 3.10 - Сравнение значений RMSE на обучающих и тестовых данных**

Оценка точности ансамбля моделей по урожайности картофеля с 2000 по 2023 годы:  
 $R^2$  на тестовых данных: 93.51%  
 MAE на тестовых данных: 8.69  
 RMSE на тестовых данных: 9.15  
 MAPE на тестовых данных: 9.98%

**Рис. 3.11 - Оценка точности ансамбля моделей по картофелю**

Оценка точности ансамбля моделей по урожайности подсолнечника с 2000 по 2023 годы:  
 $R^2$  на тестовых данных: 87.08%  
 MAE на тестовых данных: 1.39  
 RMSE на тестовых данных: 2.01  
 MAPE на тестовых данных: 9.84%

**Рис. 3.12 - Оценка точности ансамбля моделей по подсолнечнику**

Оценка точности ансамбля моделей по урожайности сахарной свеклы с 2000 по 2023 годы:  
R<sup>2</sup> на тестовых данных: 93.68%  
MAE на тестовых данных: 20.31  
RMSE на тестовых данных: 24.52  
MAPE на тестовых данных: 7.52%

**Рис. 3.13 - Оценка точности ансамбля моделей по сахарной свекле**

Сравнительные диаграммы метрик R<sup>2</sup> и RMSE на обучающих и тестовых данных показывают, что показатели на тестовых данных лишь незначительно уступают обучающим, подтверждая хорошую обобщающую способность модели и отсутствие признаков переобучения.

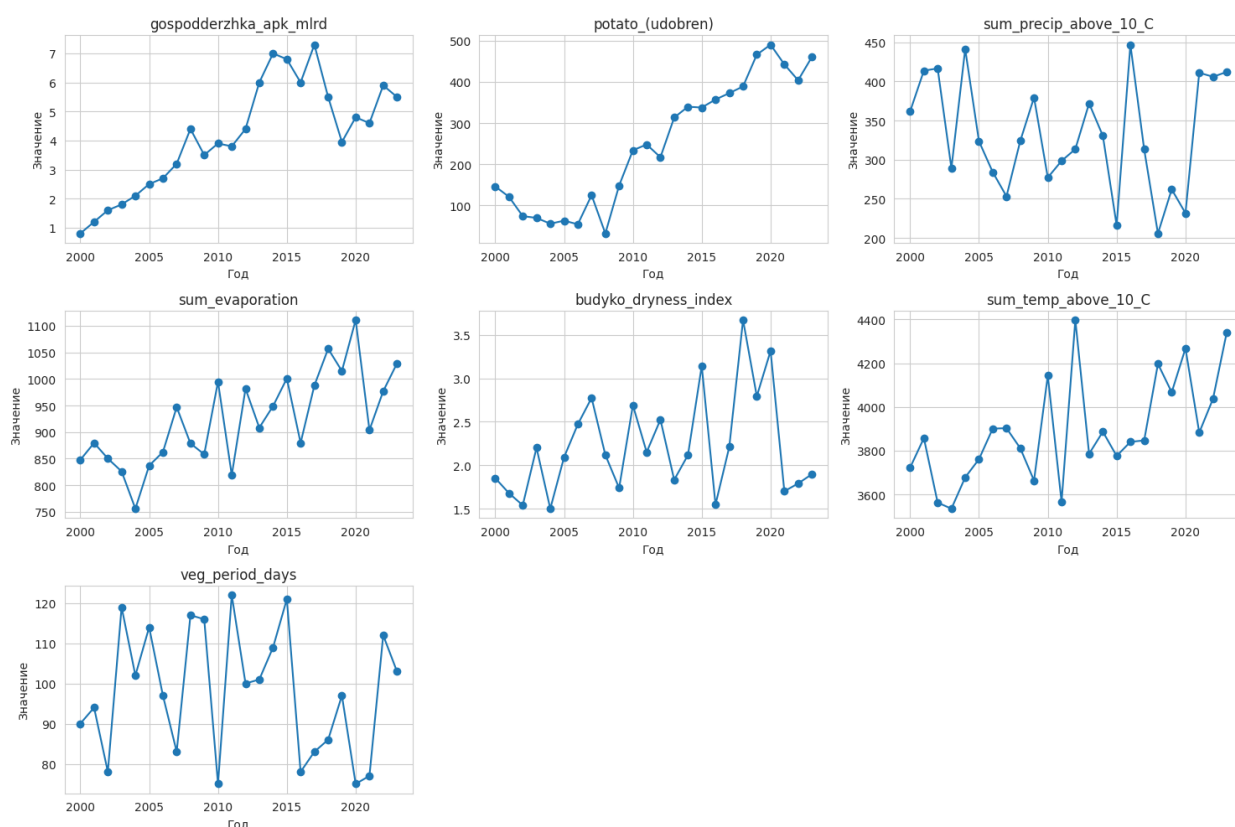
Оценка точности построенных ансамблей моделей для каждой из культур демонстрирует, что все целевые метрики соответствуют ранее установленным требованиям заинтересованных сторон компании. Во всех трёх случаях коэффициент детерминации (R<sup>2</sup>) превышает 85%, средняя абсолютная ошибка (MAE) и среднеквадратичная (RMSE) находятся на допустимом уровне, а средняя абсолютная процентная ошибка (MAPE) не превышает 10%. Это свидетельствует о высокой точности модели и её способности адекватно описывать закономерности, присущие историческим данным.

С учётом достигнутого качества прогнозирования данный ансамбль может быть использован для дальнейших прогнозов значений урожайности на будущие периоды. В соответствии с установленными в компании требованиями, необходимо осуществить прогноз урожайности каждой культуры на 2024 год — год, по которому уже имеются фактические официальные значения урожайности. Это позволит сравнить предсказанные ансамблем результаты с реальными наблюдениями и убедиться в том, что он сохраняет точность вне обучающего периода. Согласно требованиям заинтересованных сторон, допустимое отклонение прогноза от фактических значений все также не должно превышать 10%. Прогноз на 2024 год будет служить контрольной проверкой качества модели перед тем, как использовать её для оценки урожайности на ключевые 2025 и 2026 годы.



Следующим этапом перед прогнозированием урожайности на 2024–2026 годы является формирование прогнозных значений факторов, отобранных в ходе корреляционного анализа и использованных при обучении прогностической модели. Для прогнозирования значений этих признаков были выбраны методы экспоненциального сглаживания и метода Холта. Данные способы являются эффективными при работе с ограниченными объёмами временных рядов, а также при краткосрочном прогнозировании.

Соответственно, чтобы понять, имеет ли требуемый фактор линейный тренд, для каждой культуры были построены графики его изменения с течением времени. На рис. 3.14 представлен пример графика для культуры «Картофель».



**Рис. 3.14 - Динамика факторов, влияющих на урожайность картофеля**

По графикам можно визуально определить, что некоторые факторы имеют выраженный линейный тренд, однако, чтобы точно убедиться в предположениях, решено выполнить тест Манна – Кендалла (с помощью функции `kendalltau` из библиотеки `SciPy (scipy.stats)`). Эта функция возвращает коэффициент тренда и уровень его статистической значимости. Этот статистический критерий

позволяет определить, существует ли монотонная (постоянно возрастающая или убывающая) тенденция в динамике временного ряда, без необходимости предполагать конкретный тип распределения данных.

Результатом теста являются два значения:

- коэффициент  $\tau$  Кендалла, который показывает направление и силу тренда;
- $p$ -значение, на основе которого можно судить о статистической значимости выявленного тренда.

Если  $p$ -значение оказывается меньше 0.05, то тренд считается статистически значимым.

Определив наличие или отсутствие тренда у каждого фактора соответствующей культуры, было выполнено прогнозирование значений признаков на 2024–2026 годы с использованием экспоненциального сглаживания или метода Холта: первый применялся при отсутствии статистически значимого тренда, второй — при его наличии. Для прогнозирования значений факторов была реализована функция пошагового сглаживания, в которой после каждого шага новое прогнозное значение добавлялось обратно в исходный ряд.

После получения прогнозных значений требуемых факторов на 2024–2026 годы для каждой культуры были применены те же этапы, что и при обучении модели ранее: выполнено полиномиальное преобразование и стандартизация признаков. Затем была использована уже обученная модель `VotingRegressor`, объединяющая предсказания нескольких алгоритмов, прежде показавших высокую точность на тестовой выборке. Модель приняла новые входные данные и на их основе сформировала итоговый прогноз урожайности на 2024, 2025 и 2026 годы.

В таблице 3.1 представлен сравнительный анализ фактических и спрогнозированных значений урожайности каждой культуры в 2024 году, а также ожидаемые объемы урожайности на 2025–2026 годы.

Таблица 3.1

**Сравнительный анализ фактических и спрогнозированных значений  
урожайности**

Картофель			
Год	Фактическое значение (ц/га)	Прогнозное значение, (ц/га)	Отклонение от факта, %
2024	270.00	251.43	$\frac{ 270 - 251.43 }{270} * 100\% = 6.88\%$
2025	-	237.70	-
2026	-	274.58	-
Подсолнечник			
Год	Фактическое значение (ц/га)	Прогнозное значение, (ц/га)	Отклонение от факта, %
2024	14.60	15.98	$\frac{ 14.60 - 15.98 }{14.60} * 100\% = 9.45\%$
2025	-	20.23	-
2026	-	21.01	-
Сахарная свекла			
Год	Фактическое значение (ц/га)	Прогнозное значение, (ц/га)	Отклонение от факта, %
2024	409.80	426.57	$\frac{ 409.8 - 426.57 }{409.80} * 100\% = 4.09\%$
2025	-	508.91	-
2026	-	460.70	-

Сравнение прогнозируемых и фактических значений урожайности за 2024 год показало, что во всех трёх случаях отклонения не превышают установленного допустимого порога в 10%. Наибольшая разница составила 9.45% по подсолнечнику, подтверждая работоспособность модели. Полученные прогнозы урожайности на 2025 и 2026 годы могут использоваться компанией для достижения поставленных целей, а по мере накопления новых данных модель может быть переобучена и применяться для оценки урожайности в последующие годы.

Для интеграции модели в модуль фактические значения урожайности по всем культурам, а также прогнозные значения по подсолнечнику, картофелю и сахарной свёкле были собраны в единый CSV-файл. Этот файл будет использован в составе системы для загрузки данных, необходимых как для визуализации, так и для формирования отчётов.

### **3.4. Выбор инструментов и описание технической реализации модуля**

Для внедрения модуля прогнозирования урожайности принято решение использовать формат веб-приложения, поскольку он не требует установки дополнительного программного обеспечения на рабочие станции и позволяет централизованно обновлять систему на сервере без необходимости установки новых версий на каждом устройстве пользователя.

В результате веб-модуль реализуется в среде разработки PyCharm на языке программирования Python с использованием веб-фреймворка Flask, который позволяет организовать клиент-серверное взаимодействие по архитектурной модели MVC (Model–View–Controller). Серверная логика веб-приложения, подключение к базе данных, маршруты и обработчики форм фиксируются в отдельных файлах, а внешний интерфейс — создается с использованием JavaScript, HTML и CSS.

В качестве системы управления базами данных выбрана PostgreSQL, так как она эффективно интегрируется с Python и Flask через библиотеку SQLAlchemy, а также обеспечивает надёжное хранение пользовательских данных и строгую поддержку стандартов SQL. Для учёта информации о пользователях в базе данных реализуется модель, содержащая поля логина и пароля.

Авторизация пользователей реализуется с помощью Flask-Login, который обеспечивает контроль доступа и управление сессиями.

После успешного входа пользователь получает доступ к функционалу модуля, а при нажатии на кнопку «Выйти» происходит завершение сессии и возврат на стартовую страницу. Это гарантирует, что дальнейшее использование системы возможно только после повторной авторизации. Доступ к защищённым маршрутам ограничен с помощью маршрута `@login_required`, предотвращая несанкционированный доступ к функционалу.

Основной массив данных по урожайности после импорта csv файла в проект веб-модуля хранится в виде словаря `crop_data`, содержащего значения с 2000 по 2026 год, включая прогнозные данные по ключевым культурам. Доступ к этим данным осуществляется по мере необходимости в зависимости от логики страницы.

Модуль поддерживает асинхронные API-запросы, позволяющие получать данные по мере выбора пользователем параметров. Запросы обрабатываются серверной частью Flask и возвращаются в формате JSON, после чего данные визуализируются на стороне клиента с помощью библиотеки Chart.js. При этом реализуется базовая обработка ошибок с выводом сообщений в консоль и отображением уведомлений пользователю.

API применяется, в частности, на страницах:

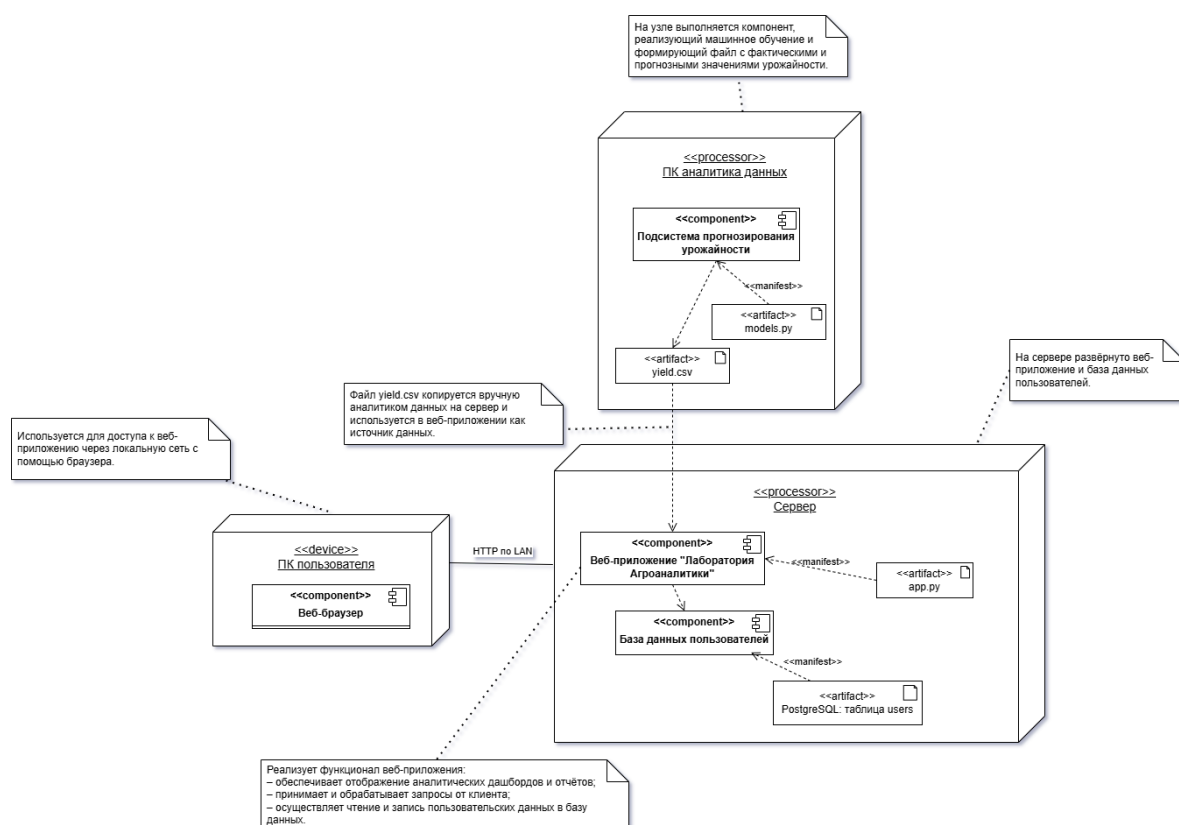
- «Аналитика» — при выборе культур;
- «Сравнение» — при одновременном выборе культур и годов;
- «Главная» — при отрисовке всех графиков на дашборде.

На странице «Отчёты» обеспечивается возможность экспорта пользовательских выборок в формат Excel. После указания культур и диапазона лет данные фильтруются и преобразуются в таблицу с помощью библиотеки Pandas, а далее — экспортируются в .xlsx файл. Формирование файла происходит в оперативной памяти, без сохранения на диск, с использованием модуля `io`. Стилизация отчёта осуществляется средствами модуля `xlsxwriter`.

Соответственно, в модуле задействуется ряд основных внешних библиотек и встроенных инструментов, каждая из которых выполняет отдельную задачу:

- Flask (версии 3.1.0) — веб-фреймворк для создания маршрутов и обработки запросов;
- SQLAlchemy (версии 2.0.40) — ORM для работы с базами данных на языке Python;
- Flask-SQLAlchemy (версии 3.1.1) — расширение для интеграции Flask-приложения с базами данных через ORM SQLAlchemy;
- psycopg2 (версии 2.9.10) — модуль PostgreSQL для Python, обеспечивающий взаимодействие с базой данных;
- Flask-Login (версии 0.6.3) — управление сессиями и контролем доступа пользователей;
- Flask-WTF (версии 1.2.2) — обработка форм с поддержкой CSRF;
- WTForms (версии 3.2.1) — создание и валидация форм в Python-приложениях;
- Chart.js (версии 4.4.1) — построение графиков (линейных, круговых, столбчатых);
- Choices.js (версии 11.1.0) — улучшение интерфейса выпадающих списков, поддержка мультивыбора и поиска;
- Pandas (версии 2.2.3) и xlsxwriter (версии 3.2.3) — формирование и стилизация табличных отчётов в формате Excel.

Архитектурная схема модуля прогнозирования урожайности оформлена в виде диаграммы развертывания UML и приведена на рис. 3.15.



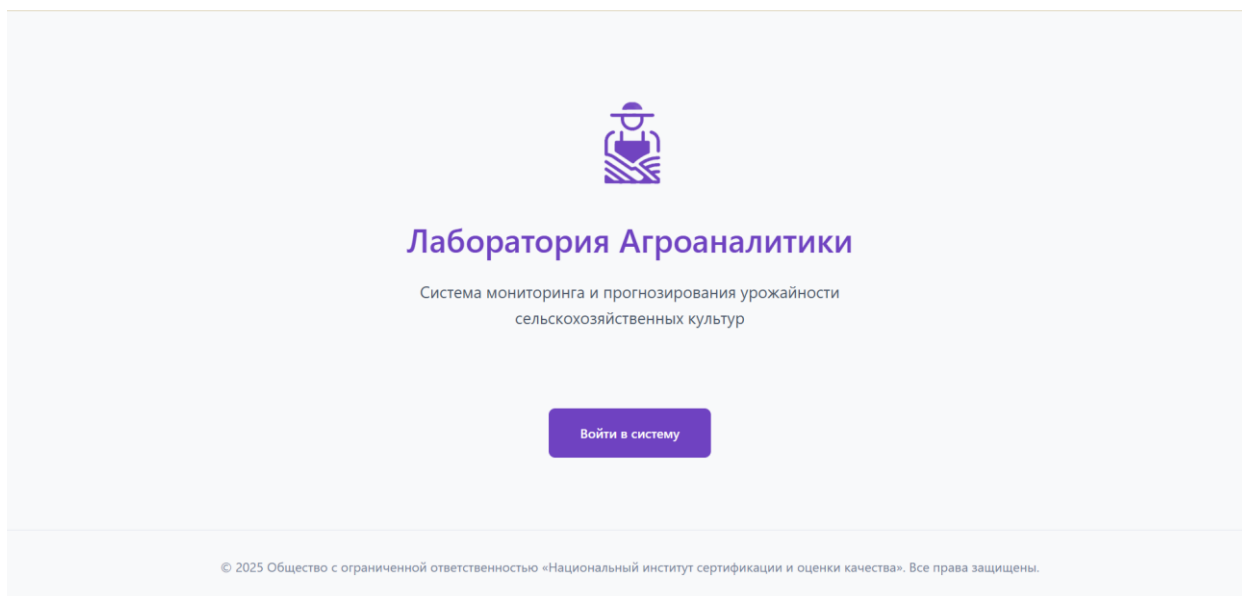
**Рис. 3.15 - Архитектура модуля прогнозирования урожайности сельскохозяйственных культур**

Таким образом, модуль проектируется как расширяемая, функциональная и визуально ориентированная система анализа и прогнозирования урожайности, предназначенная, в первую очередь, для работы во внутренней инфраструктуре организации.

### 3.5. Описание работы пользователей с модулем с помощью экранных форм

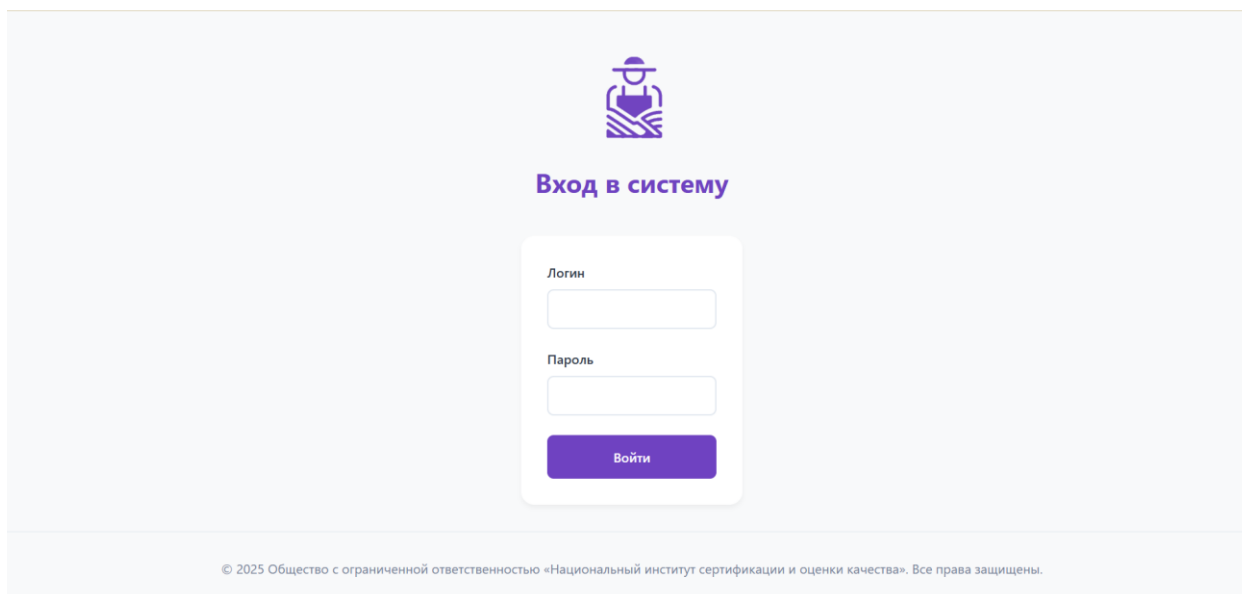
Технология работы пользователей с модулем «Лаборатория Агроаналитики» будет представлена с помощью описания макетов экранных форм в виде руководства пользователя.

Для начала работы с системой пользователь должен перейти на стартовый раздел веб-приложения. В данном разделе представлена краткая информация о модуле, и предусмотрен переход к форме авторизации (рис. 3.16).



**Рис. 3.16 - Экранная форма модуля - «Приветствие»**

После перехода в раздел авторизации пользователю предлагается ввести логин и пароль (рис. 3.17). При успешной проверке данных пользователь получает доступ к функциональным разделам системы.



**Рис. 3.17 - Экранная форма модуля - «Авторизация»**

После авторизации пользователь попадает в главный раздел модуля. Он служит обзорным экраном системы и позволяет пользователю получить наглядное представление о динамике урожайности выбранной сельскохозяйственной культуры, а также провести базовый сравнительный анализ (рис. 3.18).



В верхней части экрана расположено навигационное меню, через которое пользователь может перейти к другим разделам модуля: «Прогнозирование», «Аналитика», «Сравнение», «Отчёты», а также выполнить выход из системы.

Согласно функциональным возможностям, раздела пользователь может:

- выбрать начальный и конечный год из выпадающих списков.
- выбрать сельскохозяйственную культуру для анализа.
- нажать кнопку «Применить», чтобы загрузить соответствующие данные.

После этого в разделе отображаются:

- График динамики урожайности выбранной культуры за заданный период.
  - Столбчатая диаграмма сравнения культур за выбранный начальный год.
- При этом год для сравнения автоматически изменяется каждые 25 секунд, позволяя пользователю видеть динамику по годам без необходимости вручную переключать значения. Кроме того, при наведении курсора на столбец отображается всплывающая подсказка с указанием точного значения урожайности в центнерах с гектара (ц/га) для выбранной культуры.
- Круговая диаграмма распределения урожайности по годам выбранной культуры.

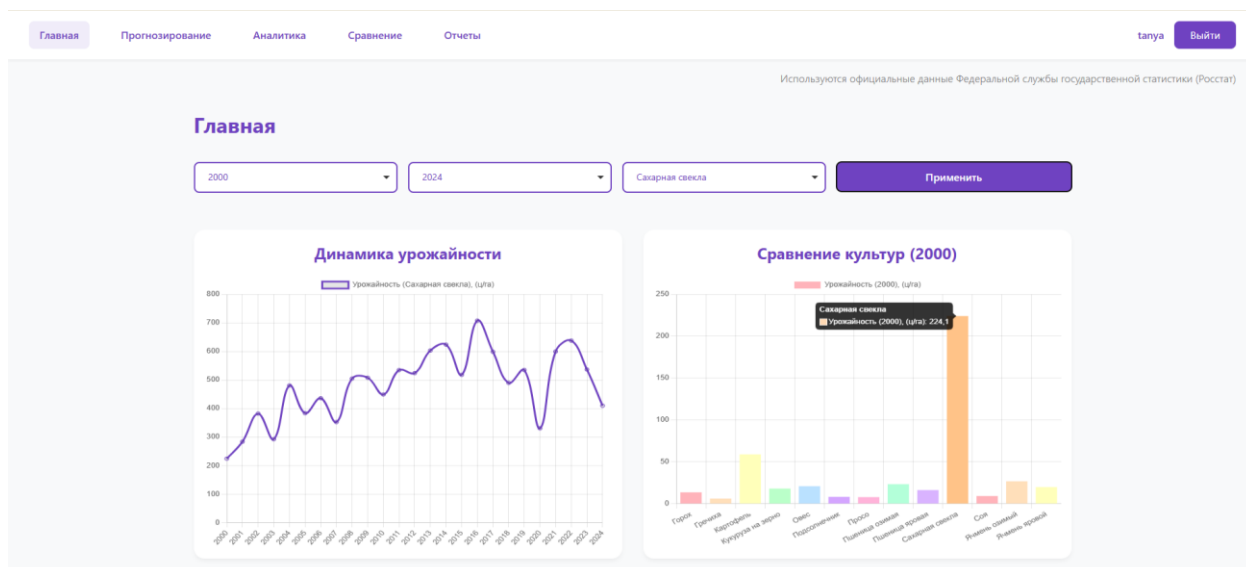
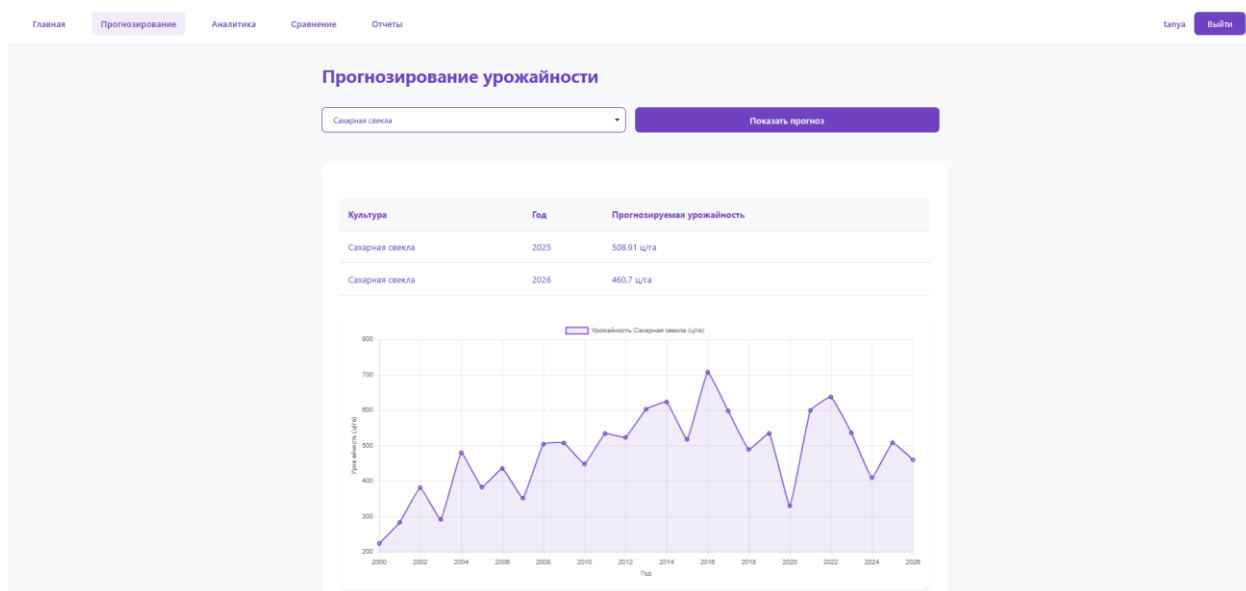


Рис. 3.18 - Экранная форма модуля - «Главная»

Далее, пользователь может переключиться в раздел «Прогнозирование» для получения прогнозируемых значений урожайности на ближайшие годы. Раздел предоставляет возможность выбрать одну из прогнозируемых в рамках работы культур и отобразить значения на будущие периоды на основе заранее подготовленных данных (рис. 3.19).

Для взаимодействия предусмотрена форма, включающая выпадающий список с перечнем доступных культур. После выбора нужной культуры и нажатия кнопки «Показать прогноз» пользователю отображаются:

- Таблица с прогнозируемой урожайностью по годам;
- Линейный график, отражающий общую динамику урожайности культуры — от фактических значений до прогнозируемых.



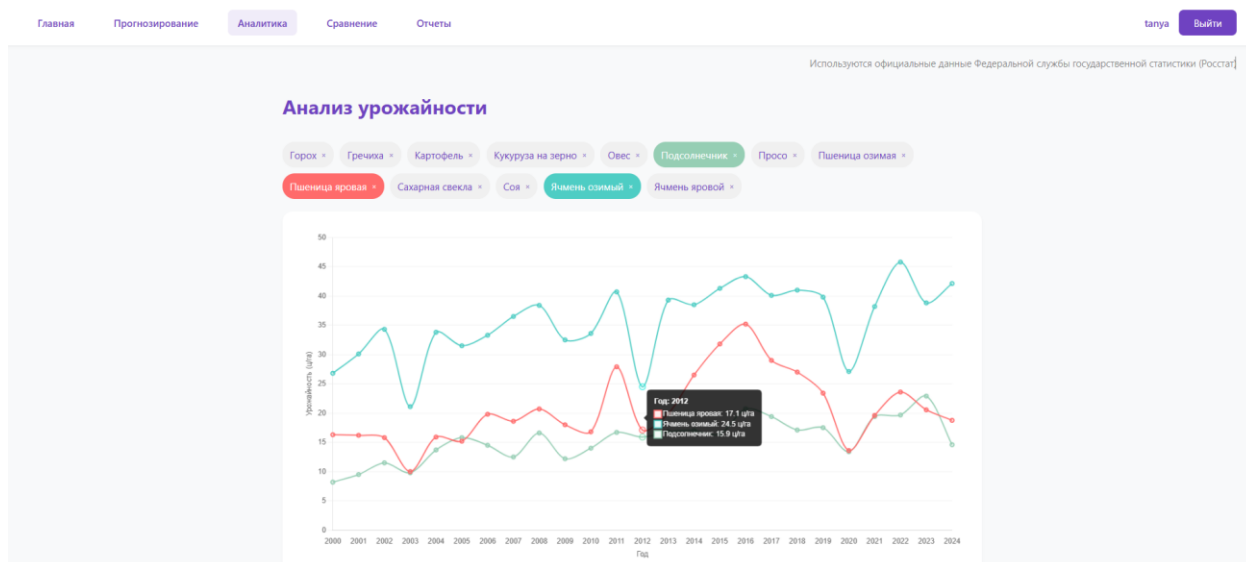
**Рис. 3.19 - Экранная форма модуля - «Прогнозирование»**

Ещё одна из ключевых возможностей модуля — это анализ динамики урожайности различных сельскохозяйственных культур по годам. Для этого предназначен раздел «Аналитика», где пользователь может гибко выбирать интересующие культуры и визуально сравнивать значения урожайности во времени (рис. 3.20).

Пользователь имеет возможность:

- выбрать одну или несколько культур из списка;

- поочерёдно включать или выключать отображение каждой из культур;
- просматривать динамику урожайности в виде многоцветного линейного графика;
- при наведении на точку на графике получить всплывающую подсказку с точными значениями урожайности каждой культуры в выбранный год.



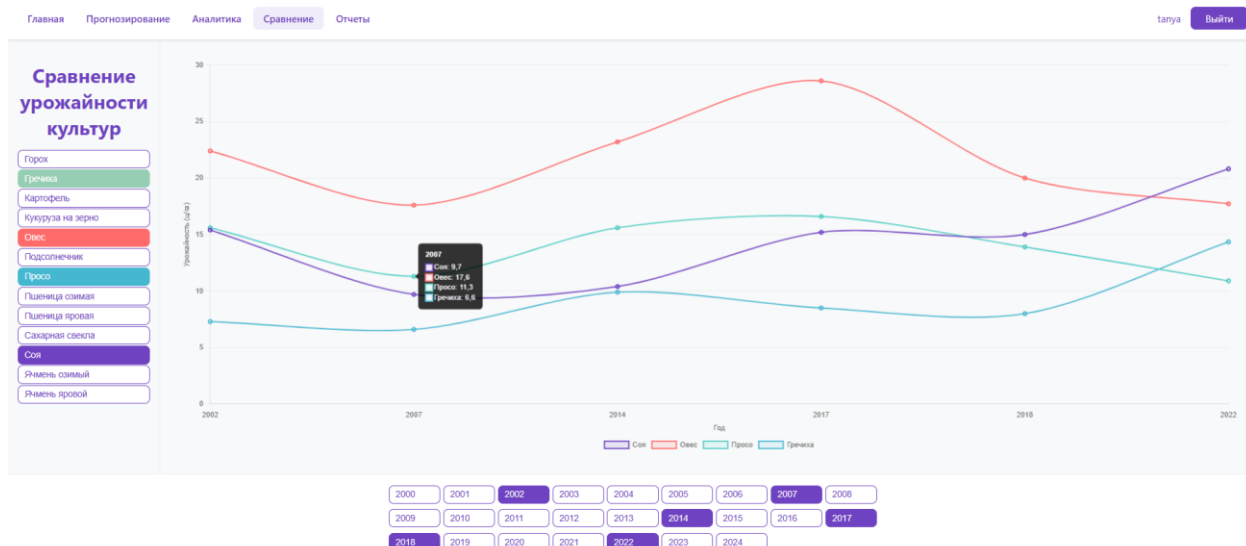
**Рис. 3.20 - Экранная форма модуля - «Аналитика»**

Для проведения визуального сопоставления урожайности разных сельскохозяйственных культур по выбранным годам предусмотрен раздел «Сравнение» (рис. 3.21). Данный раздел позволяет пользователю вручную формировать набор данных, отбирая нужные культуры и интересующие годы, после чего значения отображаются на едином графике.

Пользователь может:

- выбрать одну или несколько культур из левой панели;
- выбрать интересующие годы в нижней части страницы;
- просмотреть на графике изменение урожайности выбранных культур по годам;
- при наведении на график — получить всплывающую подсказку с точным значением урожайности каждой культуры в выбранный год.

Все действия происходят динамически, без перезагрузки страницы.



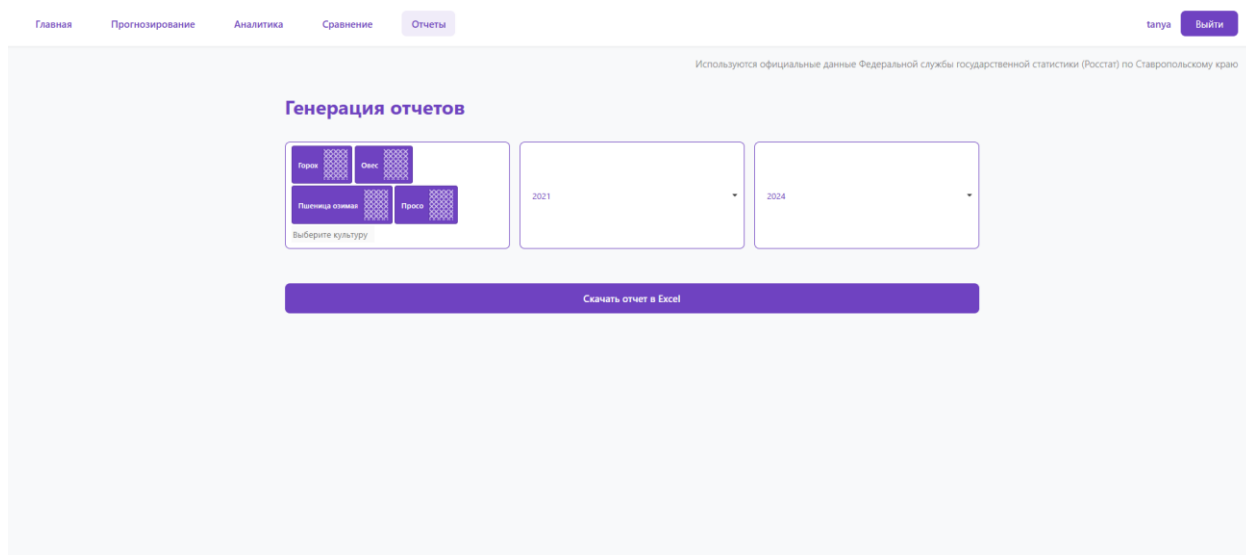
**Рис. 3.21 - Экранная форма модуля - «Сравнение»**

Последний раздел «Отчеты» предоставляет пользователю возможность создать табличный отчёт в формате Excel с данными об урожайности выбранных сельскохозяйственных культур за заданный временной интервал (рис. 3.22). Такая функция позволяет формировать формализованные аналитические материалы.

Пользователь может:

- выбрать одну или несколько культур из выпадающего списка;
- указать начальный и конечный год;
- нажать кнопку «Скачать отчёт в Excel» для генерации и загрузки файла.

После нажатия кнопки данные фильтруются на сервере в соответствии с заданными параметрами и преобразуются в табличный отчёт, который автоматически загружается на ПК пользователя в виде .xlsx-файла (рис. 3.23).



**Рис. 3.22 - Экранная форма модуля - «Отчеты»**

	A	B	C
	Культура	Год	Урожайность (ц/га)
2	Горох	2021	31.7
3	Горох	2022	19.45
4	Горох	2023	30.31
5	Горох	2024	19.9
6	Овес	2021	28
7	Овес	2022	17.72
8	Овес	2023	27.27
9	Овес	2024	22.3
10	Просо	2021	24.7
11	Просо	2022	10.9
12	Просо	2023	19.06
13	Просо	2024	15.65
14	Пшеница озимая	2021	37.4
15	Пшеница озимая	2022	40.13
16	Пшеница озимая	2023	38.14
17	Пшеница озимая	2024	36.5

**Рис. 3.23 - Пример сформированного отчета**

После завершения работы с модулем пользователь может выйти из своей учётной записи, нажав на кнопку «Выйти», расположенную в правом верхнем углу интерфейса. Кнопка доступна на всех страницах системы и обеспечивает корректное завершение пользовательской сессии и возвращение пользователя на стартовую страницу.

## **3.6. Расчет экономических показателей**

### **3.6.1. Выбор и обоснование методики расчета**

Основные затраты, необходимые для успешной реализации модуля, приходятся на заработную плату сотрудников, участвующих в этапах разработки, внедрения и доработки (сопровождения).

Чтобы оценить экономический эффект от внедрения модуля, необходимо рассчитать разность затрат до и после его введения в эксплуатацию при заданном объеме работ. Для определения срока окупаемости проекта рассчитывается совокупная стоимость владения (ТСО), отражающая общие затраты на разработку и сопровождение модуля. Под показателем ТСО также понимается сумма прямых и косвенных затрат организации на его эксплуатацию.

В данном случае прямые затраты включают в себя:

- затраты на заработную плату участников проекта, представленные в таблице 3.2 - Человеческие ресурсы.
- затраты на приобретение техники, представленные в таблице 3.3 - Материальные ресурсы.

Таблица 3.2

#### **Человеческие ресурсы**

Название ресурса	Оценка стоимости	Трудозатраты	Затраты на проект
Аналитик	650 руб./ час	144 часа	93 600 руб.
Аналитик данных	700 руб./ час	210 часов	147 000 руб.
Разработчик	900 руб./ час	75 часов	67 500 руб.
Руководитель проекта	1000 руб./ час	78 часов	78 000 руб.
Тестирующий	750 руб./ час	18 часов	13 500 руб.
UX/UI-дизайнер	600 руб./ час	27 часов	16 200 руб.
Менеджер по сертификации	500 руб./ час	9 часов	4 500 руб.
Итого			420 300 руб.

Таблица 3.3

#### **Материальные ресурсы**

№	Название ресурса	Оценка количества	Оценка стоимости
М1	Серверное оборудование (С)	1 шт.	75 000 руб.

Согласно действующему законодательству, работодатели обязаны осуществлять отчисления на пенсионное, медицинское и социальное страхование сотрудников по единому тарифу в размере 30%. Поэтому при расчете стоимости проекта суммарные затраты на оплату труда были умножены на коэффициент 1.3.

Итого, прямые затраты составили:  $420\,300 * 1.3 \text{ руб.} + 75\,000 \text{ руб.} = 621\,390 \text{ руб.}$

Косвенные затраты данного проекта включают в себя заработную плату аналитика данных, который в течение трех месяцев будет расширять модель прогнозирования урожайности на другие сельскохозяйственные культуры региона, оплату труда разработчика, осуществляющего интеграцию новых данных в модуль «Лаборатория Агроаналитики» в течение одного месяца, а также специалиста по технической поддержке, который в течение одного года будет проводить диагностику функционирования модуля и, при возникновении сбоев, оперативно их устранять (табл. 3.4).

Таблица 3.4

#### Косвенные затраты на проект

№	Название ресурса	Оценка количества	Оценка стоимости
1	Аналитик данных	1 сотрудник	132 300 руб.
2	Разработчик	1 сотрудник	56 700 руб.
3	Специалист технической поддержки	1 сотрудник	65 800 руб.

Таким образом, показатель ТСО рассчитывается как:  $621\,390 \text{ руб.} + 254\,800 * 1.3 \text{ руб.} = 952\,630 \text{ руб.}$

#### 3.6.2. Расчет показателей экономического эффекта и срока окупаемости проекта

Внедрение и развитие аналитико-прогностического модуля позволит компании заранее оценивать ожидаемое количество заявок на получение

сертификатов и деклараций в ближайшие сезоны, опираясь на прогнозные данные по урожайности сельскохозяйственных культур. Это, в свою очередь, предоставит возможность более точно планировать кадровую нагрузку отдела, избегая сверхурочной работы и нерациональных расходов. Благодаря полученной информации руководство сможет оптимально распределять обязанности между специалистами и формировать экономически эффективный состав команды на сезонные периоды, минимизируя затраты без ущерба для качества и сроков обработки обращений.

Расчет экономического эффекта проводится по формуле разности затрат до внедрения (31) и после внедрения (32) модуля, умноженной на объем выполняемых работ (N).

$$\mathcal{E} = (Z_1 - Z_2) * N$$

Показатели  $Z_1$  и  $Z_2$  рассчитываются как заработная плата сотрудников, умноженная на время (t), которое уходит на одну итерацию процесса, умноженная на количество итераций процесса (M), которые сотрудники выполняют еженедельно, умноженная на количество сотрудников (k):

$$Z_1 = ЗП_1 * t * M_1 * k_1, \quad Z_2 = ЗП_2 * t * M_2 * k_2$$

Согласно отчетности компании в период с июля по конец ноября 2024 года на три наиболее востребованные культуры поступило в совокупности 2420 обращений на оформление сертификатов и деклараций соответствия: сахарная свёкла — 1220 заявок, картофель — 800 заявок, подсолнечник — 400 заявок.

На период сезона на указанные культуры было выделено 10 штатных специалистов. Такое распределение применяется ежегодно при отсутствии предварительных оценок нагрузки.

Каждая заявка требует полного технологического цикла проверки и подготовки документации, который, по внутреннему нормативу, занимает в среднем 4 часа рабочего времени сопровождающего специалиста.

Базовый рабочий график штатных специалистов в указанный период выглядел следующим образом:



- 40-часовая пятидневная неделя на протяжении 22 календарных недель (880 часов за сезон);
- дополнительно три субботние смены в месяц по восемь часов каждая, что дополнительно составляет 120 часов сверхурочной нагрузки за пять месяцев.

Итого на одного сотрудника пришлось ровно 1 000 человеко-часов. Суммарный фонд времени десяти специалистов составил 10 000 человеко-часов.

В ООО «НИСОК» часовая ставка специалиста составляет 600 рублей с учетом обязательных отчислений работодателя. Сверхурочные часы в выходные дни оплачиваются по двойному тарифу. Таким образом, за пять месяцев (22 недели):

- 880 стандартных рабочих часов каждого сотрудника обошлись компании в  $880 \text{ ч} * 600 \text{ р} = 528\,000 \text{ рублей}$ ;
- 120 субботних часов оплатили по ставке 1 200 р/ч, что составило  $120 \text{ ч} * 1\,200 \text{ р} = 144\,000 \text{ рублей}$ .

Соответственно, в среднем почасовая ставка оплаты труда каждого специалиста составила 672 р/час, а количество обработанных заявок 12 в неделю с учетом переработок.

$$З_1 = 672 \text{ руб} * 4 \text{ ч} * 12 * 10 \text{ чел.} = 322\,566 \text{ руб.}$$

Далее было подсчитано ожидаемое количество заявок на сезоны 2025 и 2026 годов на основе прогнозируемых значений урожайности культур (с учетом МАРЕ) и ранее установленной зависимости между урожайностью и количеством заявок. По проведенной оценке, в пиковый период обращений (июль — ноябрь) ожидается около 2 870 и 3 060 обращений соответственно, что эквивалентно примерно 11 480–12 240 часов трудозатрат.

На основании проведенных расчётов руководитель отдела сертификации и оценки качества пришёл к выводу, что оптимальной моделью организации сезонной работы является такая структура, при которой 7 штатных сотрудников продолжают выполнять задачи в рамках сертификации и декларирования, а

остальные направляются на постоянную занятость в другие ключевые направления деятельности компании — научно-исследовательские проекты, работу в учебном центре и подготовку и ведение внутренней документации.

В связи с этим 7 штатных специалистов смогут покрывать до 6 160 человеко-часов за сезон, а недостающий объём трудозатрат ( $\approx 5\,320 - 6\,080$  человеко-часов) будет обеспечиваться за счёт привлечения 7 внештатных специалистов с небольшим запасом на случай непредвиденных ситуаций. Таким образом, в рассматриваемый период в совокупности будет работать 14 человек, что позволит выполнить весь объём работы без переработок.

Выбор в пользу внештатного персонала обоснован более низкой часовой ставкой — 450 руб./час с учетом обязательных отчислений работодателя. Это объясняется тем, что такие специалисты не участвуют в других внутренних процессах компании, имеют ограниченные функциональные обязанности и привлекаются исключительно для выполнения типовых задач по приёму заявок и оформлению сертификатов и деклараций соответствия.

$$\begin{aligned} Z_2 &= (600 \text{ руб} * 4 \text{ ч} * 10 * 7 \text{ чел.}) + (450 \text{ руб} * 4 \text{ ч} * 10 * 7 \text{ чел.}) \\ &= 294\,000 \text{ руб.} \end{aligned}$$

Показатель  $N$  возьмем равный 22, как количество рабочих недель в сезон приема заявок и выдачи разрешительной документации на продукцию. Необходимо дополнительно учитывать затраты на обучение 7 внештатных сотрудников, которые составят 78 300 руб. (3 дня по 6 часов на каждого при ставке 450 руб/час, включая оплату двух обучающих штатных сотрудников).

Таким образом, экономический эффект от внедрения модуля за сезон:

$$\mathcal{E} = ((322\,560 - 294\,000) * 22) - 78\,300 = 550\,020 \text{ руб.}$$

Рассчитаем срок окупаемости проекта ( $R$ ), то есть разделим ТСО разработки и сопровождения на сезонный эффект ( $\mathcal{E}$ ):

$$R = TCO / \mathcal{E} = 952\,630 / 550\,020 \approx 1.73$$

Таким образом, срок окупаемости проекта составляет практически два полноценных сезона по оформлению и выдаче разрешительной документации

или  $\approx 8,7$  месяцев. Значит данный проект является эффективным и его следует принять.

### **3.7. Выводы по 3 главе**

В ходе работы над главой были исследованы и подготовлены исходные данные для модели прогнозирования урожайности сельскохозяйственных культур, описана ее реализация, рассчитаны прогнозные значения на 2025–2026 годы и проанализированы метрики качества прогнозирования ( $R^2$ , MAPE, RMSE, MAE), соответствующие требованиям.

На основании полученных результатов описана реализация модуля прогнозирования в формате веб-приложения с пользовательским интерфейсом, составлена пользовательская инструкция к работе с модулем.

Также проведён расчёт экономического эффекта и срока окупаемости проекта.

## **ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

В ходе выполнения выпускной квалификационной работы была достигнута поставленная цель — разработан модуль прогнозирования урожайности сельскохозяйственных культур в рамках ООО «НИСОК».

Для достижения цели в рамках выпускной квалификационной работы были выполнены следующие задачи:

1. Изучены факторы, влияющие на урожайность сельскохозяйственных культур в Российской Федерации;
2. Проанализированы современные подходы к прогнозированию урожайности, включая традиционные статистические методы, методы машинного обучения и имитационное моделирование;
3. Изучен и описан бизнес-процесс сертификации и декларирования продукции в компании, обоснована необходимость внедрения прогнозного модуля для оптимизации планирования ресурсов;
4. Описан план проекта, итоговая длительность которого составляет 143 дня, а совокупная стоимость владения - 952 630 рублей;
5. Проведен анализ возможных рисков проекта и мер по их предотвращению;
6. Сформулированы функциональные и нефункциональные требования к модулю, включая требования к прогнозной модели и к качеству данных;
7. Осуществлены сбор, разведочный анализ и подготовка исходных данных;
8. Разработана и обучена модель прогнозирования урожайности с применением методов машинного обучения: ElasticNet-регрессии, алгоритма случайного леса (Random Forest) и градиентного бустинга (XGBoost) на языке Python;
9. Реализован модуль с компонентами серверной обработки и пользовательского взаимодействия в формате веб-приложения с использованием фреймворка Flask и с визуализацией прогнозных и исторических данных по урожайности культур;

10. Составлена пользовательская инструкция к модулю, описывающая процесс работы с системой;

11. Проведена оценка экономического эффекта проекта, рассчитан срок окупаемости и подтверждена целесообразность инвестиций.

По результатам расчетов ожидается, что проект окупится за 8,7 месяцев.

Выпускная квалификационная работа выполнена в соответствии с запланированным объемом.

Цель работы достигнута, все поставленные задачи успешно решены.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. ГОСТ Р ИСО/МЭК 12207–2010. Информационная технология. Системная и программная инженерия. Процессы жизненного цикла программных средств.
2. ГОСТ 34.602–2020. Информационные технологии. Комплекс стандартов на автоматизированные системы. Техническое задание на создание автоматизированной системы.
3. Федеральный закон "О развитии сельского хозяйства" от 29.12.2006 N 264-ФЗ (последняя редакция).
4. Указ Президента РФ от 06.08.2014 N 560 (ред. от 15.11.2021, с изм. от 18.09.2024) "О применении отдельных специальных экономических мер в целях обеспечения безопасности Российской Федерации".
5. Постановление Правительства Российской Федерации от 14.07.2012 г. № 717 О Государственной программе развития сельского хозяйства и регулирования рынков сельскохозяйственной продукции, сырья и продовольствия.
6. Постановление Правительства РФ от 31.05.2019 N 696 (ред. от 25.12.2024) "Об утверждении государственной программы Российской Федерации "Комплексное развитие сельских территорий".
7. Постановление Правительства Российской Федерации от 14.05.2021 г. № 731 О Государственной программе эффективного вовлечения в оборот земель сельскохозяйственного назначения и развития мелиоративного комплекса Российской Федерации.
8. Паспорт национального проекта «Международная кооперация и экспорт» (утв. президиумом Совета при Президенте РФ по стратегическому развитию и национальным проектам, протокол от 24.12.2018 N 16).
9. Бисчоков Р. М. Анализ, моделирование и прогноз урожайности сельскохозяйственных культур для Кабардино-Балкарской Республики с использованием аппарата нечеткой логики // Вестник РУДН. Серия: Агрономия и животноводство. 2020. №2. URL:

- <https://cyberleninka.ru/article/n/analiz-modelirovanie-i-prognoz-urozhnosti> (дата обращения: 11.03.2025).
10. Бузетти К. Д., Иванов М. В. Воздействие минеральных и органических удобрений на экосистему, качество сельскохозяйственной продукции и здоровье человека. Аграрная наука. 2020; (5):80–84. <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2020-338-5-80-84>
  11. Владимиров Н. А. Оценка влияния развития сельских территорий на агропромышленный комплекс Российской Федерации. Статистика и Экономика. 2023;20(3):35-45. <https://doi.org/10.21686/2500-3925-2023-3-35-45>
  12. Лысенко С. А. Прогнозирование урожайности сельскохозяйственных культур на основе спутникового мониторинга динамики углерода в наземных экосистемах // Исследование Земли из космоса. - 2019. - №4. - С. 48–59. doi: 10.31857/S0205-96142019448-59.
  13. Макеев К. А., Греченева А. В., Котов Я. С., Голбан А. Н., Смыслов Д. М. Сравнение эффективности алгоритмов машинного обучения в задачах прогнозирования урожайности сельскохозяйственных культур // Известия ТулГУ. Технические науки. 2023. №2. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/sravnenie-effektivnosti-algoritmov> (дата обращения: 12.03.2025).
  14. Неверов А. А. Прогнозирование урожайности сельскохозяйственных культур в Оренбургском Предуралье на основе синоптико-статистического моделирования // Известия ОГАУ. 2019. №2 (76). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/prognozirovanie-urozhaynosti-selskohozyaystvennyh-kultur> (дата обращения: 10.03.2025).
  15. Сиротенко О. Д., Павлова В. Н. Методы оценки влияния изменений климата на продуктивность сельского хозяйства // «Оценка урожайности при изменении климата». Российская академия сельскохозяйственных наук. 2016. 190 с. (дата обращения: 26.02.2025).

16. Федотова Е. В., Маглинец Ю. А., Брежнев Р. В., Стародубцев А. И. Опыт прогнозирования урожайности сельскохозяйственных культур с использованием имитационных моделей // Вестник КрасГАУ. 2020. №8 (161). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/opyt-prognozirovaniya-urozhaynosti-selskohozyaystvennyh-kultur> (дата обращения: 10.03.2025).
17. CRISP-DM: проверенная методология для Data Scientist // Хабр. — 2017. — URL: <https://habr.com/ru/company/lanit/blog/328858/> (дата обращения: 04.04.2025)
18. ВМО: показатели изменения климата достигли рекордных уровней в 2023 году // Всемирная метеорологическая организация. 19.03.2024. — URL: <https://wmo.int/ru/news/media-centre/vmo> (дата обращения: 06.03.2025).
19. Господдержка декабря: новые федеральные субсидии на льготные агрокредиты и сельскую ипотеку // Своё Фермерство от Россельхозбанка. 10.01.2025. — URL: <https://svoefermerstvo.ru/svoemedia/articles/gospodderzhka-dekabrya> (дата обращения: 01.03.2025).
20. Поклад В. Рынок минеральных удобрений 2023 и перспективы на 2024 // Группа «Деловой профиль». 18.03.2024. — URL: <https://delprof.ru/press-center/open-analytics/> (дата обращения: 04.03.2025).
21. Производство российской сельхозтехники в 2024 году упало на 12,5% // Сетевое издание "Интерфакс.ру". 04.02.2025. — URL: <https://www.interfax.ru/business/1006146> (дата обращения: 02.03.2025).
22. Федеральная служба государственной статистики: Официальный сайт. 29-СХ Сведения о сборе урожая сельскохозяйственных культур. 13.10.2024. URL: <https://www.fedstat.ru/indicator/31533> (дата обращения: 25.03.2025).
23. Федеральная служба государственной статистики: Официальный сайт. 9-СХ Сведения о внесении удобрений и проведении работ по химической мелиорации земель. 11.04.2024. URL: <https://www.fedstat.ru/indicator/30964> (дата обращения: 25.03.2025).



24. Хомяков Д. Агро в цифрах. Развитие АПК России за период 2014—2023 годов // Журнал «Агроинвестор». 18.11.2024. – URL: <https://www.agroinvestor.ru/opinion/article/43350-agro-v-tsifrakh/> (дата обращения: 01.03.2025).
25. Шестова Ю. Гранты и субсидии для сельского хозяйства в 2024 году // RUSTAX. 22.02.2024. – URL: <https://rustax.ru/articles/granty-i-subsidii-dlya-selskogo-hozyaj/> (дата обращения: 01.03.2025).
26. Шокурова Е. Минсельхоз: динамика цен на сельхозпродукцию и продукты питания ниже уровня инфляции // Журнал «Агроинвестор». 20.05.2024. – URL: <https://www.agroinvestor.ru/markets/news/42300-minselkhoz-dinamika/> (дата обращения: 26.02.2025).
27. Historical Weather API // Open-source weather Open-Meteo API. 2024. – URL: <https://open-meteo.com/en/docs/historical-weather-api>
28. Linchao Li, Bin Wang, Puyu Feng Crop yield forecasting and associated optimum lead time analysis based on multi-source environmental data across China // Agricultural and Forest Meteorology 308–309 (2021). Elsevier B.V. – URL: <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2021.108558>
29. Neven Valev, Franziska Bieri, Menna Bizuneh Share of agriculture in Russia // TheGlobalEconomy.com. 2023. – URL: [https://ru.theglobaleconomy.com/Russia/Share\\_of\\_agriculture/](https://ru.theglobaleconomy.com/Russia/Share_of_agriculture/) (дата обращения: 25.02.2025).
30. Theresa Boas, Heye Reemt Bogen, Dongryeol Ryu Seasonal soil moisture and crop yield prediction with fifth-generation seasonal forecasting system (SEAS5) long-range meteorological forecasts in a land surface modelling approach // Hydrol. Earth Syst. Sci., 27, 3143–3167, 2023. – URL: <https://doi.org/10.5194/hess-27-3143-2023>.

# ПРИЛОЖЕНИЕ А

Таблица А.1

## Перечень основных биоклиматических и агроклиматических показателей для мониторинга влияния изменений климата на сельское хозяйство

Категория показателей	Наименование показателя	Формула расчета показателя
Характеристики термического режима	Сумма среднесуточных значений температуры воздуха за период календарного года со среднесуточной температурой воздуха, превышающей 5 или 10°C, °C.	$\sum T_{>X} = \sum_{i=1}^N (T_i)$ , где $T_i > X$ . $T_i > X$ - среднесуточная температура воздуха в день $i$ ; $N$ — количество дней в году, для которых $T_i > X$ ; $X$ — заданный температурный порог (5°C или 10°C)
	Продолжительность вегетационного периода (т. е. периода календарного года, когда среднесуточная температура воздуха превышает 5 или 10°C), сут.  <i>*Возможно проведение расчетов при указании конкретных значений температуры воздуха или почвы, а также дат сбора урожая для выбранной культуры.</i>	$N_x = \sum_{i=1}^D \delta(T_i > X)$ , где: $N_x$ - продолжительность вегетационного периода (сутки); $D$ — количество дней в году (365 или 366, в зависимости от високосности); $T_i$ — среднесуточная температура воздуха в день $i$ ; $X$ — температурный порог (5°C или 10°C); $\delta(T_i > X)$ - индикаторная функция, принимающая значение 1, если $T_i > X$ , и 0 в противном случае.
	Даты перехода (номер дня от начала календарного года) среднесуточной температуры воздуха через границы 5 или 10°C весной и осенью.	$d_{\text{весна}, X} = \min\{i \mid T_i > X\}$ , $d_{\text{осень}, X} = \max\{i \mid T_i > X\}$ , где: $d_{\text{весна}, X}$ - номер дня, когда среднесуточная температура впервые превышает $X^\circ\text{C}$ весной $d_{\text{осень}, X}$ - номер дня, когда среднесуточная температура в последний раз превышает $X^\circ\text{C}$ осенью; $T_i$ — среднесуточная температура воздуха в день $i$ ;

		<p>Х — температурный порог (5°C или 10°C);</p> <p><math>i</math> - номер дня в календарном году (от 1 до 365 или 366 в високосный год)</p>
	Средняя температура воздуха в январе и июле, °C	$T_{\text{январь}} = \frac{1}{N_{\text{январь}}} \sum_{i=1}^{N_{\text{январь}}} T_i,$ $T_{\text{июль}} = \frac{1}{N_{\text{июль}}} \sum_{i=1}^{N_{\text{июль}}} T_i, \text{ где:}$ <p><math>T_{\text{январь}}, T_{\text{июль}}</math> - средняя температура воздуха за январь и июль соответственно;</p> <p><math>N_{\text{январь}}, N_{\text{июль}}</math> - количество дней в январе и июле;</p> <p><math>T_i</math> — среднесуточная температура воздуха в день <math>i</math>.</p>
	Амплитуда годового хода среднесуточной температуры, °C	<p><math>A_T = T_{\text{max}} - T_{\text{min}}</math>, где:</p> <p><math>A_T</math> - амплитуда годового хода температуры, °C;</p> <p><math>T_{\text{max}}</math> - максимальная среднесуточная температура воздуха за год;</p> <p><math>T_{\text{min}}</math> - минимальная среднесуточная температура воздуха за год.</p>
	<p>Продолжительность вегетационной весны и осени (т. е. периодов времени весной и осенью, когда среднесуточная температура воздуха находится в пределах 5-15°C), сут.</p> <p><i>*Возможно проведение расчетов при указании конкретных значений температуры воздуха или почвы для выбранной культуры.</i></p>	<p><math>N_{5-15} = \sum_{i=1}^D \delta(5^\circ\text{C} \leq T_i \leq 15^\circ\text{C})</math>, где:</p> <p><math>N_{5-15}</math> - количество дней, когда среднесуточная температура воздуха находится в пределах от 5°C до 15°C;</p> <p><math>D</math> — количество дней в сезоне (весна или осень);</p> <p><math>(5^\circ\text{C} \leq T_i \leq 15^\circ\text{C})</math> - индикаторная функция, принимающая значение 1, если температура находится в указанном диапазоне, и 0 в противном случае.</p>
Характеристики увлажнения	Сумма осадков за период календарного года со среднесуточной температурой, превышающей 5 и 10°C, мм.	<p><math>R_5 = \sum_{i=1}^D R_i * \delta(T_i &gt; 5^\circ\text{C})</math>,</p> <p><math>R_{10} = \sum_{i=1}^D R_i * \delta(T_i &gt; 10^\circ\text{C})</math>, где:</p> <p><math>R_5, R_{10}</math> - сумма осадков (мм) в дни, когда среднесуточная температура</p>

		<p>была выше 5°C и 10°C соответственно;</p> <p><math>D</math> — количество дней в году (365 или 366);</p> <p><math>R_i</math> - количество осадков (мм) в день <math>i</math>;</p> <p><math>T_i</math> — среднесуточная температура воздуха в день <math>i</math>;</p> <p><math>\delta(T_i &gt; 5^\circ\text{C})</math>, <math>\delta(T_i &gt; 10^\circ\text{C})</math> - индикаторная функция, принимающая значение 1, если <math>T_i &gt; X</math>, и 0 в противном случае.</p>
	<p>Суммарное испарение (эвапотранспирация) за вегетационный период, мм</p> <p><i>*Возможно проведение расчетов при указании конкретных значений температуры воздуха или почвы, а также дат сбора урожая выбранной культуры.</i></p>	<p><math>E^* = \sum_{i=d_{\text{весна}, X}}^{d_{\text{осень}, X}} E_i</math>, где:</p> <p><math>E^*</math> - суммарное испарение (мм) за вегетационный период;</p> <p><math>E_i</math> - испарение (мм) в день <math>i</math>;</p> <p><math>d_{\text{весна}, X}</math> - день года, когда среднесуточная температура впервые превышает <math>X^\circ\text{C}</math>;</p> <p><math>d_{\text{осень}, X}</math> - день года, когда температура осенью опускается ниже <math>X^\circ\text{C}</math>.</p>
	<p>Гидротермический коэффициент Селянинова, безразмерный.</p> <p>ГТК - характеристика уровня влагообеспеченности территории.</p> <p>ГТК характеризует увлажненность почвы теплого периода года.</p> <p>— Если ГТК &gt; 1.3, увлажнение достаточное или избыточное.</p> <p>— Если ГТК = 1.0-1.3, условия умеренно влажные.</p> <p>— Если ГТК = 0.7-1, наблюдается дефицит влаги (засушливые условия).</p> <p>— Если ГТК &lt; 0.5, это означает значительную</p>	<p><math>\text{ГТК} = \frac{\sum R_i}{0.1 \cdot \sum T_i}</math>, где:</p> <p><math>\sum R_i</math> - сумма осадков (мм) за вегетационный период;</p> <p><math>\sum T_i</math> - сумма среднесуточных температур воздуха (<math>^\circ\text{C}</math>) за вегетационный период;</p> <p>0.1 - эмпирический коэффициент, нормирующий значение ГТК.</p>

	засушливость, что требует применения орошения.	
	<p>Индекс сухости Будыко, безразмерный.</p> <p>ИС — это отношение испаряемости к годовой сумме осадков. Испаряемость при расчете ИС определяется по сумме среднесуточных значений температуры воздуха за период с температурой выше 10°C как <math>0.18 * \sum T_{&gt;10^{\circ}\text{C}}</math>.</p> <p>ИС &lt; 0.3 соответствует зоне тундры.</p> <p>ИС = 0.3-1.0 - лесная зона.</p> <p>ИС = 1.0-2.0 – степи.</p> <p>ИС = 2.0 – 3.0 – полупустыни.</p> <p>ИС &gt; 3.0 пустыни.</p>	<p>ИС = <math>\frac{0.18 * \sum T_{&gt;10^{\circ}\text{C}}}{R_{\text{I-XII}}}</math>, где:</p> <p><math>\sum T_{&gt;10^{\circ}\text{C}}</math> – сумма среднесуточных температур воздуха (°C) за дни, когда температура превышает 10°C;</p> <p><math>R_{\text{I-XII}}</math> - сумма осадков (мм) за весь календарный год;</p> <p>0.18 — эмпирический коэффициент, используемый для нормировки температуры при оценке испаряемости.</p>
	<p>Коэффициент увлажнения Сапожниковой, безразмерный.</p> <p>КУ — отношение количества осадков к величине испаряемости для данного ландшафта, является показателем соотношения тепла и влаги.</p> <p>КУ характеризует увлажненность почвы с учетом осадков холодного периода года.</p>	<p>КУ = <math>\frac{0.5 * R_{\text{X-III}} + R_{\text{IV-IX}}}{0.18 * \sum T_{\text{IV-IX}}}</math>, где:</p> <p><math>R_{\text{X-III}}</math> - сумма осадков (мм) за период с октября по март;</p> <p><math>R_{\text{IV-IX}}</math> - сумма осадков (мм) за период с апреля по сентябрь;</p> <p><math>\sum T_{\text{IV-IX}}</math> - сумма среднесуточных температур воздуха (°C) за период с апреля по сентябрь;</p> <p>0.5 и 0.18 — эмпирические коэффициенты.</p>

## ПРИЛОЖЕНИЕ Б

Таблица Б.1

### Особенности выращивания сельскохозяйственных культур в Ставропольском крае

Культура	Температурный режим	Режим увлажнения	Вегетационный период	Основные агротехнические мероприятия
Подсолнечник	Оптимальная температура для активного роста и цветения составляет 20–25°C. Культура теплолюбива и плохо переносит заморозки и резкие перепады температур. Посев начинают, когда температура почвы на заданной глубине (~5-8 см) составляет +8–12°C. Обычно уборка подсолнечника проводится с середины августа по середину сентября.	Засухоустойчивая культура, однако критична к уровню влаги в почве в период от бутонизации до налива семян. Дефицит влаги и высокое испарение в это время негативно влияют на формирование урожая.	70–140 дней.	Внесение калийно-фосфорных удобрений, соблюдение глубины посева, борьба с сорняками и болезнями.
Сахарная свекла	Оптимальная температура для роста и накопления сахаров корнеплодов — от 18 до 25°C. Сахарную свеклу сажают, когда почва прогреется до +6°C, а температура воздуха	Потребность в воде высокая на протяжении всего периода вегетации, особенно в период активного формирования корнеплодов. Недостаток осадков и высокий уровень эвапотранспирации	110–140 дней.	Необходимы высокие дозы азотных, фосфорных и калийных удобрений, регулярная обработка почвы и своевременные орошения.

	<p>установится не ниже +8°C. Уборка сахарной свеклы проводится с сентября по октябрь. Культура чувствительна к перепадам температуры и заморозкам.</p>	и требуют дополнительного полива.		
Картофель	<p>Наиболее подходящие температуры воздуха для клубнеобразования находятся в диапазоне 16–22°C. Посев начинают, когда температура почвы на заданной глубине (~6-10 см) составляет +9–10°C. При температурах выше 25°C рост клубней замедляется. Уборка картофеля проводится с августа по сентябрь.</p>	<p>Культура требовательна к регулярному увлажнению почвы, особенно в фазу цветения и клубнеобразования. Недостаток влаги и высокие потери от испарения могут привести к снижению урожайности.</p>	70–130 дней.	<p>Важна своевременная и глубокая обработка почвы, внесение органических и минеральных удобрений, качественный посадочный материал, регулярное рыхление и орошение.</p>

## ПРИЛОЖЕНИЕ В

Таблица В.1

### Описание функциональных обязанностей ресурсов проекта

Название ресурса	Функциональные обязанности
Аналитик	<ul style="list-style-type: none"><li>• Изучение предметной области.</li><li>• Определение целей и задач проекта совместно с руководителем проекта.</li><li>• Разработка технического задания и детализация требований.</li><li>• Участие в формировании структуры модуля и интерфейсов.</li><li>• Подготовка аналитического отчета.</li><li>• Презентация модели заказчику и сопровождение внедрения.</li></ul>
Аналитик данных	<ul style="list-style-type: none"><li>• Сбор и анализ исходных данных, выявление закономерностей и аномалий.</li><li>• Очистка, агрегация и трансформация данных в формат, пригодный для моделирования.</li><li>• Выбор и обучение моделей прогнозирования урожайности, сравнение точности.</li><li>• Участие в интерпретации результатов модели и построении визуальных отчетов.</li></ul>
Разработчик	<ul style="list-style-type: none"><li>• Проектирование архитектуры программного модуля и базы данных.</li><li>• Разработка backend-части.</li><li>• Разработка frontend-части.</li><li>• Тестирование функциональности и устранение технических ошибок.</li><li>• Участие в развертывании модуля.</li></ul>
Руководитель проекта	<ul style="list-style-type: none"><li>• Организация команды и распределение ролей между участниками.</li><li>• Планирование этапов проекта, участие в разработке технического задания и контроль выполнения ключевых задач.</li><li>• Оценка рисков проекта и участие в разработке плана реагирования.</li><li>• Контроль соблюдения сроков и затрат на всех этапах проекта.</li><li>• Участие в определении бизнес-целей проекта и в их верификации.</li><li>• Координация развертывания модуля в компании.</li></ul>
Тестировщик	<ul style="list-style-type: none"><li>• Тестирование отображения данных и корректности визуализации.</li><li>• Проверка соответствия реализованных функций требованиям.</li><li>• Участие в итоговом тестировании модуля перед его внедрением.</li></ul>
UX/UI-дизайнер	<ul style="list-style-type: none"><li>• Проектирование прототипов интерфейса модуля прогнозирования.</li><li>• Разработка визуальных решений для отображения данных в понятной форме.</li><li>• Оценка удобства пользовательского интерфейса.</li></ul>



	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Адаптация интерфейса под нужды целевой аудитории.</li> </ul>
Менеджер по сертификации	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Формирование прикладных бизнес-рекомендаций по управлению ресурсами и процессами компании.</li> <li>• Участие в составлении итогового аналитического отчета.</li> </ul>

## ПРИЛОЖЕНИЕ Г

Таблица Г.1

### Основные факторы, влияющие на целевые переменные согласно коэффициенту корреляции Пирсона

Картофель	
Признак	Коэффициент корреляции Пирсона
Размер государственной поддержки АПК Ставропольского края	0.858
Показатель внесенных сельскохозяйственными организациями минеральных удобрений (в пересчете на 100% питательных веществ) на 1 га посева	0.923
Сумма осадков за период календарного года со среднесуточной температурой, превышающей 10°C, мм	0.738
Сумма среднесуточных значений температуры воздуха за период календарного года со среднесуточной температурой воздуха, превышающей 10°C, °C.	-0.691
Индекс сухости Будыко	-0.794
Суммарное испарение (эвапотранспирация) за вегетационный период, мм	0.71
Продолжительность вегетационного периода	0.601
Подсолнечник	
Признак	Коэффициент корреляции Пирсона
Размер государственной поддержки АПК Ставропольского края	0.812
Показатель внесенных сельскохозяйственными организациями минеральных удобрений (в пересчете на 100% питательных веществ) на 1 га посева	0.911
Суммарное испарение (эвапотранспирация) за вегетационный период, мм	0.738
Сумма среднесуточных значений температуры воздуха за период календарного года со среднесуточной температурой воздуха, превышающей 5°C, °C.	0.648
Гидротермический коэффициент Селянинова	0.711

Амплитуда годового хода среднесуточной температуры, °С	-0.749
Сумма осадков за период календарного года со среднесуточной температурой, превышающей 10°C, мм	0.632
Сахарная свекла	
Признак	Коэффициент корреляции Пирсона
Размер государственной поддержки АПК Ставропольского края	0.769
Показатель внесенных сельскохозяйственными организациями минеральных удобрений (в пересчете на 100% питательных веществ) на 1 га посева	0.951
Средняя температура воздуха в июле, °С	-0.681
Сумма среднесуточных значений температуры воздуха за период календарного года со среднесуточной температурой воздуха, превышающей 10°C, °С.	0.722
Гидротермический коэффициент Селянинова	0.826
Амплитуда годового хода среднесуточной температуры, °С	-0.721
Коэффициент увлажнения Сапожниковой	-0.678