

МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
ФГБОУ ВО «КАЗАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ  
АГРАРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

На правах рукописи

**ВАЛИЕВ АБДУЛСАМАД АХАТОВИЧ**

**ФОРМИРОВАНИЕ И ПРОГНОЗИРОВАНИЕ УРОЖАЙНОСТИ ЯРОВОЙ  
ПШЕНИЦЫ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ УРОВНЯ ПРИМЕНЕНИЯ  
УДОБРЕНИЙ И ПОЧВЕННО-КЛИМАТИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ НА  
СЕРЫХ ЛЕСНЫХ ПОЧВАХ РЕСПУБЛИКИ ТАТАРСТАН**

06.01.04 — Агрохимия

Диссертация на соискание ученой степени  
кандидата сельскохозяйственных наук

Научный руководитель —  
доктор, сельскохозяйственных наук  
профессор Ф.Ш. Шайхутдинов

Казань – 2021

## ОГЛАВЛЕНИЕ

<b>ВВЕДЕНИЕ</b> .....	4
<b>ГЛАВА 1. ЛИТЕРАТУРНЫЙ ОБЗОР</b>	
<b>(Макроэлементы минерального питания растений)</b> .....	10
1.1.    Биофильные элементы минерального питания.....	11
1.2.    Азотный режим почв .....	12
1.3.    Фосфорный режим почв .....	16
1.4.    Калийный режим почв .....	20
1.5.    Динамика урожайности во времени и ее прогнозирование в современном земледелии.....	22
Заключение по разделу.....	28
<b>ГЛАВА 2. ПРИРОДНЫЕ УСЛОВИЯ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ</b>	30
2.1.    Природные условия.....	31
2.1.1. Почвы и почвенный покров региона.....	31
2.1.2. Почвы опытного участка с морфологическим описанием и характеристикой свойств.....	35
2.2.    Методика исследования.....	37
2.3.    Методы обработки табличных данных.....	39
<b>ГЛАВА 3. РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ</b> .....	40
3.1.    Анализ матрицы временного ряда по урожайности яровой пшеницы и ее факторов.....	40
3.2.    Первичный анализ матрицы почвенно-климатических факторов временного ряда методом главных компонент (МГК).....	50
3.3.    Особенности связи между почвенно-климатическими факторами и урожайностью яровой пшеницы без внесения удобрений.....	63
3.3.1. Парная связь между почвенно-климатическими факторами и урожайностью яровой пшеницы без внесения удобрений .....	63
3.3.2. Множественная связь между почвенно-климатическими факторами и урожайностью яровой пшеницы без внесения удобрений .....	67
3.4.    Зависимость урожайности яровой пшеницы от уровня применения минеральных удобрений и почвенных факторов .....	73
3.5.    Множественная корреляция урожайности яровой пшеницы от уровня применения минеральных удобрений и почвенно- климатических факторов.....	88

3.6.	Прогнозирование урожайности яровой пшеницы на базе разработанной математической модели .....	93
3.7.	Агрономическая и экономическая эффективность применения удобрения на посевах яровой пшеницы в условиях серой лесной почвы .....	96
<b>ЗАКЛЮЧЕНИЕ</b> .....		102
<b>ПРЕДЛОЖЕНИЯ ПРОИЗВОДСТВУ</b> .....		104
<b>СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ</b> .....		107
<b>ПРИЛОЖЕНИЯ</b> .....		132

## ВВЕДЕНИЕ

**Актуальность темы исследований.** На уровне мира и каждого государства решение вопросов продовольственной безопасности прежде всего, зависит от уровня развития производства зерна, в частности яровой пшеницы. В силу этого важнейшей проблемой агропромышленного комплекса Российской Федерации является дальнейшее увеличение объемов производства качественного зерна основной продовольственной культуры с параллельным повышением его рентабельности.

Зерно этой культуры с высоким содержанием массовой доли клейковины поставляются в основном из южных регионов Дона, Кубани, Нижнего Поволжья, а также Урала. Посевные площади северной части лесостепи Среднего Поволжья из года в год расширяются и в среднем занимают 1,1-1,2 млн. га пашни (7-8% от посевной площади яровой пшеницы в России), однако имеющиеся возможности в этом направлении пока используются недостаточно.

Следует отметить, что урожайность яровой пшеницы в регионе Среднего Поволжья остается ничтожно низкой (1,5-2,0 т/га). Для обеспечения внутренних потребностей и выполнения обязательств по экспортным договорам и, чтобы сделать возделывание этой культуры экономически выгодным необходимо повысить продуктивность до 3,5-4,0 т/га.

Достигнуть таких результатов возможно лишь создавая и поддерживая в почве оптимальный баланс макроэлементов с учетом конкретных почвенно-климатических условий, обеспечивающих прогнозирование и планирование урожайности культур. Таким образом, решение продовольственной проблемы связано с повышением урожайности яровой пшеницы.

В данном процессе главную роль занимает планирование (программирование) продуктивности агроценозов яровой пшеницы. Прогнозирование урожайности сельскохозяйственных культур возможно с использованием различных методов: экстраполяции, моделирования,

обоснования прогнозной урожайности по прибавкам от применения удобрений, экспертных оценок и аналогий. Разработка математических моделей для прогнозирования урожайности сельскохозяйственных культур задача чрезвычайно трудная и остается актуальнейшей проблемой современного земледелия.

**Степень разработанности темы.** Понятие математической модели формирования урожайности яровой пшеницы относительно новое, которое чаще фигурирует под названием «программирование» и «планирование» продуктивности агроценозов, связана с изучением связи между агрохимическими, климатическими факторами и урожайностью культур на ограниченной территории (Шатилов, 1973; Зиганшин, 2001; Давлятшин и др., 2012; Аввакумов и др., 2014; Давлятшин, Лукманов, 2016; Трубилин и др., 2017; Амиров М.Ф., 2018). В условиях РТ прогнозирование урожайности яровой пшеницы в зависимости от почвенно-климатических факторов, уровня применения удобрений с привлечением методов главных компонент и множественной корреляции и проверка достоверности такого прогноза в реальных условиях не проводились.

**Цель и задачи научных исследований.** Целью данного исследования является разработка математической модели формирования урожайности яровой пшеницы в зависимости от уровня применения удобрений, почвенно-климатических факторов, на этой основе прогнозирование и оценка точности прогноза урожайности в условиях серой лесной почвы.

Для достижения поставленной цели решались следующие задачи:

- составление матрицы временного ряда урожайности яровой пшеницы, агрохимических свойств, климатических показателей по имеющимся опубликованным источникам периодической печати;
- первичная обработка почвенно-климатических показателей методом главных компонент;

- установление особенностей связи между почвенно-климатическими факторами и урожайностью яровой пшеницы без внесения удобрений;
- оценка характера связи между урожайностью яровой пшеницы и уровнем применения минеральных удобрений и почвенно-климатических факторов;
- прогнозирование и оценка точности прогноза урожайности яровой пшеницы от уровня применения минеральных удобрений и почвенных факторов;
- расчет агрономической и экономической эффективности применения удобрений на посевах яровой пшеницы в условиях серой лесной почвы.

### **Научная новизна.**

Для оценки зависимости продуктивности сельскохозяйственной культуры от комплекса почвенно-климатических и агрохимических факторов в условиях Республики Татарстан впервые использовался метод главных компонент, который позволил сократить размерность задачи и визуализировать данные в новом пространстве и ранжировать факторы по значимости их влияний на общую изменчивость всей выборки и группировать в 4 основные группы.

В результате обработки матрицы урожайности яровой пшеницы, группы агрохимических, климатических данных временной выборки установлена теснота парной и множественной линейной корреляции, выявлены уровни их значимости на формирование продуктивности агроценоза культуры. Среди почвенно-климатических факторов на удобренной почве наибольшее положительное влияние на урожайность яровой пшеницы оказывали июньские атмосферные осадки ( $r = 0,29$ ) и содержание в пахотном слое легкогидролизуемого азота ( $r = 0,24$ ).

На удобренном фоне на урожайность яровой пшеницы наиболее сильное положительное влияние оказывали нормы внесения минеральных удобрений, содержание в почве доступных форм азота, фосфора и калия, а также количество атмосферных осадков за май и июнь. Наибольшее отрицательное

влияние на формирование урожая проявляли среднемесячные температуры июня, июля и обильные осадки во время созревания и уборки урожая (июль).

На основе статистической обработки многолетних данных (1982-2018 гг.) получена математическая модель урожайности яровой пшеницы в зависимости от регулируемых факторов - норм внесения минеральных удобрений ( ${}^yN$ ,  ${}^yP$ ,  ${}^yK$ ) и почвенных показателей ( ${}^{II}N$ ,  ${}^{II}P$ ,  ${}^{II}K$ ,  $P\phi$ ), которая позволила достаточно точно прогнозировать урожайность в течение двух последующих лет: общее относительное отклонение всей выборки, полученной в 2019 и 2020 гг., составило менее 6%.

#### **Основные положения, выносимые на защиту:**

1. Изменчивость почвенно-климатических показателей, уровня применения удобрений и урожайности яровой пшеницы в условиях серой лесной почвы за исследуемый период (1982-2020 гг.);

2. Особенности парной и множественной корреляции урожайности яровой пшеницы от почвенных и климатических факторов без внесения минеральных удобрений;

3. Характер зависимости урожайности яровой пшеницы от уровня применения удобрений и свойств серой лесной почвы;

4. Вклад почвенно-климатических факторов и уровня применения удобрений в формирование урожайности яровой пшеницы в условиях серой лесной почвы;

5. Прогнозирование урожайности яровой пшеницы на базе разработанной математической модели и проверка достоверности прогноза в реальных условиях.

**Практическая значимость.** Разработана и рекомендована для внедрения в производство математическая модель урожайности, представляющая собой уравнение множественной регрессии, описывающая корреляцию урожайности яровой пшеницы от норм внесения минеральных удобрений ( $NPK$ ), обеспеченности почв доступными формами основных питательных элементов

(легкогидролизуемый азот, подвижные формы фосфора и калия) и продуктивной влаги в метровом слое почвы перед посевом. Модель позволяет с высокой долей вероятности предсказать ожидаемую величину урожая зерна в условиях серой лесной почвы.

Результаты исследований применяются в учебном процессе при чтении лекции, входят в учебные пособия для подготовки бакалавров и магистрантов.

**Достоверность результатов исследований** Первичный материал, во временной выборке, обрабатывался методами, входящим в базу ГОСТов Общероссийского классификаторов стандартов Российской Федерации. Достоверность исследования определяется законом нормального распределения фактической информации, статистическими параметрами – коэффициентами парной и множественной корреляции, уровнем значимости факторов, сравнительным анализом, сопоставлением фактической информации и расчетных их показателей урожайности пшеницы. Она также подтверждается публикациями, входящих в Перечень российских рецензируемых научных журналов ВАК.

**Методология и методы исследований.** Методология исследования основана на изучении и критическом анализе научных публикаций отечественных и зарубежных авторов для обоснования актуальности темы, формулирования рабочей гипотезы, цели и задач собственного изыскания, разработки программы и методов исследования. Программа исследования включала комплексное применение математико-статистических методов для обобщения и анализа многолетних (1982-2020 гг.) данных по урожайности яровой пшеницы, динамике почвенных и климатических показателей и интенсивности применения удобрений. Для установления зависимости урожайности подопытной культуры от изучаемых почвенно-климатических факторов и уровня применения удобрений использовали методы главных компонент (МГК), парной и множественной корреляции.

**Личный вклад автора.** Автор принимал личное участие в разработке



математических моделей для прогнозирования урожайности, самостоятельно проводил статистическую обработку полученных данных. Подготовил научные статьи с коллективом авторов и участвовал в их опубликовании в научных журналах и сборниках. Самостоятельно проанализировал полученные результаты, логично и грамотно изложил их в диссертации, сделал научно-обоснованные выводы и рекомендации производству.

**Апробация работы.** Основные положения и результаты исследований докладывались на международных, всероссийских и региональных научных и научно-практических конференциях (Казань, 2017; 2019; 2020; Набережные Челны, 2017).

**Публикации.** По теме диссертации опубликовано 18 статей, в том числе 6 в рецензируемых научных изданиях, рекомендованных ВАК при Министерстве науки и образования Российской Федерации, и 2 статьи в базе данных Web of Science.

**Объем и структура диссертации.** Работа изложена на 142 стр. компьютерного набора, состоит из введения, 3 глав, основных выводов, 6 приложений. Содержит 23 таблиц, 19 рисунков. Список литературы включает – 230 источников, в том числе 7 иностранных.

## **ГЛАВА I. ЛИТЕРАТУРНЫЙ ОБЗОР**

### **(Макроэлементы минерального питания растений)**

Движущей силой любой научной дисциплины является появление нового факта, закона или идеи, имеющие прямое или косвенное отношение к предмету исследования. Именно такой идеей является закон минерального питания растений, установленный Ю. Либихом в 1840 году. Этот закон служил мощным толчком развития научных исследований и в последующем создал платформу для развития управлением почвенного плодородия, перехода от экстенсивного земледелия в интенсивную в сельскохозяйственном производстве.

Этот закон утвердился на основе жесткой критики, господствовавшей в то время гумусовой теории питания и введенной А. Тэером 100 лет тому назад. На базе нового взгляда на питание растений утвердились не менее важные законы минимума и возврата минеральных элементов. Наконец, теория минерального питания растений открыла возможность и инструмент управления питанием растений, продуктивности агроценозов и рациональным использованием земельных ресурсов.

Для утверждения этих основных законов минерального питания были поставлены многочисленные опыты как в Европе, так и до революции в пределах нашей страны. Интересными являются испытания, проведенные А.И. Энгельгардтом (1868), по использованию фосфоритной муки. Также интересны опыты Д.И. Менделеева (1867) по выявлению и эффективности минеральных удобрений в различных районах, что положило основу закладки Географической сети опытов в нашей стране. П.А. Костычев (1884) изучал особенности и механизм поглощения элементов минерального питания, что изложено в его труде «Учение об удобрениях».

Дальнейшее развитие и углубление закона минерального питания связано с именем Д.Н. Прянишникова, основателя отечественной агрохимии в СССР. Непосредственно самим Прянишниковым Д.Н., а также под его личным

руководством было изучено азотное, фосфорное и калийное питание (Прянишников Д.Н., 1965). Учебник Пряшникова Д.Н. по агрохимии служил в подготовке специалистов, а сам он был организатором создания научно-исследовательских институтов.

Ниже проведен анализ по итогам изучения макроэлементов питания в СССР и современной Российской Федерации.

### 1.1. Биофильные элементы минерального питания

Анализ потребности растений, их корневой системы и содержание макроэлементов в почве (горной породы) дали основание для установления понятия биофильности элемента, которое впервые было определено А.И. Перельманом (1972). Биофильность определяется как частное от деления среднего содержания количества элемента в живом веществе на среднее его содержание в литосфере. По А.И. Перельману ряд имеет следующее расположение элементов, соответственно высокие коэффициенты указывают на биофильность данного элемента:

N – 106	Mg - 0,02
S – 1	Co - 0,01
B - 0,83	Zn - 0,006
P - 0,75	Cu - 0,004
Ca - 0,17	Fe - 0,002
K - 0,12	Mn - 0,001
Mo - 0,09	-

Среди рассмотренных элементов азот занимает верхнюю ступеньку ряда. Высшие растения по сравнению с низшими более насыщены азотом, калием, натрием, молибденом и бором (Ильин В.Б., 1985). По содержанию элементов также дифференцируются высшие растения. Злаки более богаты кремнием, обеднены кальцием, натрием, и бором. Крестоцветные растения содержат больше натрия, хлора, серы и др. Бобовые растения содержат больше азота, молибдена, гречишные – марганца, цинка и кобальта.

Считается, что в процессе эволюционного развития первоначальный набор элементов незначительно изменялся, особенно у макроэлементов. Макроэлементами называются структурные компоненты живого организма,

которые входят в состав белковых соединений или других составных веществ, имеющих фундаментальные функции (Ильин В.Б., 1985).

Потребности в макроэлементах питания растений (культур) в основном определяются их принадлежностью к семействам. Вместе с тем, экологические условия также вносят свой вклад, хотя и небольшой. Общеизвестно, что в бореальной зоне для формирования 1 тонны зерна вместе с побочной продукцией пшеницы расходуется меньше азота, чем в более засушливых южных зонах. Следствием указанного является более высокие хлебопекарные качества за счет значительного содержания клейковины пшеницы южных районов.

Формирование элементов продуктивности яровой пшеницы зависит от приемов возделывания (приложение 2) (Шайхутдинов Ф.Ш., 2018). Для формирования единицы товарной продукции соотношение N:P:K также дифференцируется (табл. 1.1). В зерновых культурах потребности в макроэлементах однотипные, в бобовых – потребности азота выше. В ряде культур потребность в калии высокая, например, у картофеля. Овощные культуры имеют более низкую потребность во всех элементах.

Таблица 1.1– Необходимое количество элементов минерального питания для формирования 1 ц/га товарной продукции, кг (по Давлятшину и др., 2013)

Наименование культуры	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O
Пшеница озимая	3,7	1,3	2,3
Яровая пшеница	3,5	1,2	2,5
Овёс	2,9	1,4	2,9
Ячмень	2,5	1,1	2,2

## 1.2. Азотный режим почв

Из макроэлементов питания азот имеет наибольший спрос среди всех культур. В растение он поступает через корневую систему из почвы в минеральной форме – катионов аммония и анионов – нитрата.

Основные запасы в почвах сосредоточены в составе гумуса, в них он представлен на 97-98% органическими соединениями и 2-3% минеральными.

(Ильин В.Б., 1985; Завалин А.А., Соколов О.А., Шмырева Е.Я., 2018). По образному выражению Г.П. Гамзикова (2013) хранилищем почвенного азота служит гумус.

По данным В.Т. Куркаева и А.Х. Шеуджен (2000) в метровой толще серых лесных почв содержится 12,0 т/га общего азота, где минеральные и легкогидролизуемые составляют 8-13%, трудногидролизуемые – 15-24% и негидролизуемые – 63-77% от общего его содержания.

Основными каналами поступления минерального азота в почвы являются минерализация почвенного гумуса, микробиологическая азотфиксация за счет ассоциативного сообщества и клубеньковых микроорганизмов, дождевыми осадками во время гроз.

Корневой системе культурных растений азот доступен в минеральных соединениях. Соединения такого типа азота находятся в минимальных количествах и составляют до 2% от общего азота (Аканова Н.И. и др., 2015). Соответственно, минеральные формы являются результатом минерализации гумуса, интенсивность этого процесса полностью обусловлена биологической активностью почв. Размеры минерального азота в почвах также подтверждаются уровнем полученного урожая зерновых культур во время данного земледелия.

Основными каналами поступления минерального азота в корневую систему растений являются содержание общего азота в почвах, микробиологическая трансформация азота в почвы, атмосферные осадки, включающие минеральный азот за счет электрических разрядов во время грозы, вулканических извержений, выбросов промышленных объектов. Размер содержания минерального азота в почвах дает четкое представление об урожайности зерновых культур во время экстенсивного земледелия на различных почвах.

В VII-VIII веках по Булгарскому ханству урожайность зерновых культур изменялась в диапазоне 3,0-4,5 ц/га (Якушкин Н.М. и др., 1997). Так, материалы

земле - оценочных работ показывают, что средняя урожайность озимой ржи после вычета посевного материала в 1858-1859 годы по Казанской губернии составили 32,6-50,5 четвериков с десятины, или 5,53-8,57 ц/га (Курочкин М.Ф., Муртазин И.С., 1971). Более высокие показатели урожайности характеризовали наиболее богатые черноземы, а наименьшие – бедные дерново-подзолистые почвы. В начале интенсификации земледелия в республике в 1958-1963 годы урожайность зерновых культур варьировалась на уровне 5,18-11,7 ц/га (Курочкин М.Ф., Муртазин И.С., 1971). В конце экстенсивного земледелия средняя республиканская урожайность яровой пшеницы была на уровне 8,0 ц/га (Давлятшин И.Д., Бакиров Н.Б., 1999), а озимой ржи – 8,9 ц/га (Давлятшин И.Д., Бакиров Н.Б., 2005).

Представленные данные указывают на то, что содержание в почвах общего и минерального азота свидетельствуют об уровне как потенциального, так и эффективного почвенного плодородия, что еще ранее было отмечено И.В. Тюриным (1965).

Вторым каналом поступления является микробиологическая трансформация атмосферного азота в почвы. Ассоциативные микроорганизмы распространены повсеместно, в результате их жизнедеятельности поступает не менее 30-50 кг/га азота в почвы умеренной зоны, а в условиях тропиков оно несколько выше и доходит до 100 кг/га (Умаров М.М., 1986; Бабьева И.П., Зенова Г.М., 1989).

В переводе молекулярного азота атмосферы велика роль клубеньковых микроорганизмов, обитающих в симбиозе в корневой системе бобовых растений. Механизм симбиоза бобовых растений и микроорганизмов лежит взаимная выгода: микроорганизмы обеспечивают в питании растений фиксированным азотом, а растения снабжают микроорганизмы питательным веществом и энергией. В зависимости от местных условий количество фиксированного таким путем азота колеблется от 40 до 300 кг/га (Бабьева И.П., Зенова Г.М., 1989; Емцев, Шильникова, 1990). Процесс азотфиксации является

экзотермическим или энергозатратным, необходимо до 225 ккал/моль. Вместе с тем на фоне описанных процессов имеет место иммобилизация минерального азота бактериями из почвенного раствора. В результате – включение в белок клеток микробной массы, при отмирании которых этот азот снова включается в пищевой цикл растений.

Третьим каналом поступления минерального азота в почвы служат атмосферные осадки. Источниками связывания молекулярного азота являются электрические разряды во время гроз, выбросы действующих вулканов, пожаров и промышленных объектов и др. Однако их суммарный вклад в масштабах планеты не превышает 10 % от объема микробной азотфиксации (Умаров М.М., Кураков А.В., Степанов А.Л., 2007).

Мощным источником пополнения запасов минерального азота в почвах служат минеральные удобрения. Дозы минеральных удобрений зависят от уровня развития общества и экономического состояния каждого хозяйства, региона и государства. По данным ФАО (цит. по Кудеярову В.Н., 2019) в расчете на гектар посевной площади в 2014-2016 гг. по миру вносили 67,7-68,8 кг д.в. азотных удобрений, а в разрезе отдельных стран от 9,6-254,5 кг/га. Из регионов ведущее место занимает Западная Европа – за эти годы применяли 127,6-129,7 кг/га азотных удобрений. Среди государств ведущие место занимают Китай (225,8-254,5 кг), Нидерланды, Бельгия (205,0-244,9 кг), далее Великобритания и Германия (138,7-171,3 кг). В списке государств Россия занимает замыкающее место, дозы азотных удобрений составляет 9,6-11,6 кг/га. За счет применения азотных удобрений в мире 40% прироста валовой сельскохозяйственной продукции приходится на азотные удобрения (Кудеяров В.Н., 2019). За 25-летний период (1992-2016 гг.) в земледелии России вынос урожаем азота сельскохозяйственными культурами превысил внесение азота со всеми видами удобрений на 63,4 млн. т/га или в расчете на 1 га посевной площади – 792 кг, что ежегодный дефицит означает на 31,7 кг.

Вместе с тем из состава минеральных удобрений потери азота в окружающую среду достигают до 50% в виде растворимых соединений ( $NO_3$ ) и газообразных форм (преимущественно  $N_2$ ,  $N_2O$ ) (Кудеярова В.Н., 2019).

Азотные удобрения являются мощным фактором повышения урожайности зерновых культур. Однако эффективность удобрений преломляется через почвенные свойства и состояние погоды во время вегетации культур. Среди них важными являются типовая, подтиповая принадлежность почв, гранулометрический состав, устанавливающие запасы общего азота, почвенный режим кислотности, хозяйственная деятельность и набор и чередование культур, определяющие темпы, скорость трансформации, доступность корневой системе азота в почвах.

В настоящее время средняя урожайность яровой пшеницы по Республике Татарстан приближается к отметке 28-30 ц/га. В таком росте урожая принимают участие многие факторы – оснащенность сельскохозяйственной техникой, наличие рабочей силы, использование кондиционных и интенсивных сортов семян, современные средства защиты от вредителей и болезней. Но ведущим фактором в процессе повышения урожайности культур является применение минеральных и органических удобрений, действие которых также отражается на показателях некоторых свойств пахотных почв (Давлятшин И.Д., Бакиров Н.Б., 2010).

Динамика урожайности яровой пшеницы также говорит о размерах потребления азота в Республике Татарстан.

### **1.3. Фосфорный режим почв**

Фосфор является структурным элементом товарной продукции зерновых культур (Ильин В.Б., 1985), соответственно для создания 1 тонны зерна культурам необходимо поглощать из почвы 12 кг окиси фосфора.

Значимость фосфора в жизни растений обусловлена за счет физиологической его функции, являясь куратором энергетических процессов в метаболизме. Этот элемент принимает участие в синтезе белков на основе



крахмала, созданного в результате фотосинтеза крахмала – органического соединения за счет неорганических природных соединений. Соответственно огромна роль элемента в синтезе белка, основы жизни, в обмене веществ между растениями и окружающей средой, в формировании репродуктивных органов (Гинзбург К.Е., 1981; Ильин В.Б., 1985; Войтович Н.В. и др., 2005 и др.). Академик А.Е. Ферсман считал фосфор «элементом жизни и мысли», что позволяет относить его к стратегическим составляющим жизненным компонентам, по мнению (Чумаченко И.Н., 2003), одного из ведущих специалистов фосфорного питания растений.

История изучения роли фосфора в физиологических процессах богата известными именами в агрохимии и почвоведении (Соколов А.В., 1950; Чириков Ф.В., 1956; Прянишников Д.Н., 1965; Гинзбург К.Е., 1981 и др.). Последующее поколение исследователей активно участвует в оптимизации питания сельскохозяйственных культур, изучают фосфорный режим в почвах, его регулирование за счет применения органических и минеральных удобрений, минеральных агроруд в форме фосфоритов, связь между почвенными свойствами и содержанием фосфора в почвах (Шконде Э.И., 1952; Петербургский А.В., 1955, 1979, 1980; Адерихин П.Г., 1970; Никитин Б.А., 1975; Чумаченко И.Н. и др., 2001; Чумаченко И.Н., 2003; Агробиологический цикл фосфора..., 2012 и др.).

Основные запасы соединений фосфора сосредоточены в земной коре, его содержание ( $P_2O_5$ ) в ней составляет 0,075% (Виноградов А.П., 1957). Среднее содержание в почвах равно такому количеству – 0,075%, что подтверждает о трудно растворимости этого элемента в водной среде, что является главным фактором в формировании почвообразующих пород.

Валовое содержание в почвах фосфора определяется составом и генезисом почвообразующих пород, и зональной принадлежностью почв, что обуславливает перераспределение содержания этого элемента в почвенном профиле. Согласно обобщениям В.В. Добровольского (2006) – валовым

содержанием фосфора наиболее богаты массивно-кристаллические эффузивные породы, менее богаты – осадочные. Среди последних, наименьшим содержанием отличаются породы континентального происхождения. Отложения, связанные с морским происхождением, среди осадочных пород, отличаются относительно повышенным количеством фосфора.

Биофильность элемента также отражается в профильном распределении и по почвенным типам. В черноземах верхние гумусово-аккумулятивные горизонты, как правило, имеют повышенное количество фосфора за счет высокого его содержания в составе гумуса, что связано избирательным поглощением фосфора корневой системой растений.

Таким образом, каждый почвенный тип на местности имеет определенное количество валового фосфора. В процессе выветривания (разложения) горных пород выделяются доступные формы корневой системе растений фосфора. Под агроценозами на пахотных почвах в составе товарной продукции урожаем ежегодно изымаются определенное количество фосфора, а в почвах его запасы уменьшаются. При достижении определенной его концентрации урожайность зерновых культур остается постоянно низкой. Последующее повышение урожайности культур требует внесение фосфорсодержащих в форме органических, минеральных удобрений, агроруд в виде фосфоритов.

Органические удобрения – в виде традиционного навоза, компоста, традиционных отходов промышленности (сахарной, маслобойной промышленности и других объектов пищевых предприятий) – являются вторичными, изъятыми из почвенных запасов, они полностью не смогут компенсировать изъятое из почвы содержание фосфора, что было отмечено Д.Н. Прянишниковым (1965).

Вторым мощным средством повышения фосфорного режима пахотных почв являются промышленные минеральные удобрения (Ивойлов А.В. и др..., 1993; Сычев В.Г., 2003; Шильников И.А. и др., 2006; Сычев В.Г., Шафран С.А., Андрианов С.Н., 2010; Агробиологический цикл фосфора..., 2012; Еремин Д.И.,

2015; Прошкин В.А., Козенчева Е.С., 2015; Шафран С.А., 2015; Давлятшин И.Д. и др., 2018; Давлятшин И.Д., 2019, Лукманов А.А., 2019 и др.). Согласно расчетам, минеральные удобрения в балансе фосфора в земледелии имеет самый высокий вес и считаются наиболее мощным средством повышения почвенного плодородия и урожайности яровой пшеницы (Сычев В.Г., 2003; Ивойлов А.В., 2015; Давлятшин И.Д., Лукманов А.А., 2016; Лукманов А.А., 2019 и др.).

Фосфор в органических удобрениях находится в составе органических соединений, а доступным и подвижным корням растений становится после их разложения. Это говорит о том, что действие органических удобрений требует определенного времени и условий. Фосфор в минеральных удобрениях является подвижным, а их доступность корневой системе растений зависит от многих почвенных факторов - температурного и водного режима, гранулометрического состава, содержания гумуса, кислотности и концентрации подвижных форм железа и алюминия (Кулаковская Т.Н., 1990).

Подвижность фосфора обычно снижается по мере иссушения почв (Шевелуха В.С., Дроздова Л.И., 1978), так как вода одновременно является и растворителем, и транспортным средством соединений фосфора в органы потребления, а эффективность фосфорных удобрений обусловлена положительным воздействием этого элемента на поглотительную способность корневой системы (Войтович Н.В., Сушеница Б.А., Капранов В.Н., 2005).

Температурный режим, как правило, положительно влияет на обеспеченность фосфором, что обусловлено усилением почвенной микробиологической обеспеченности.

Высокая почвенная кислотность обычно снижает обеспеченность почв подвижным фосфором, снижая их концентрацию в растворе из-за связывания фосфат ионов с катионами железа и алюминия (Авдонин Н.С., 1965; Кулаковская Т.Н., 1990; Чумаченко И.Н. и др., 2003 и др.). Известкование почв существенно повышает доступность фосфатов для корневой системы из-за

увеличения растворимости солей фосфора в нейтральной среде (Шильников И.А., Аканова Н.И., Никифорова М.В. 2001 и др.). Поэтому, известкование играет положительную роль в повышении фосфорного режима пахотных почв (Шильников И.А., Лебедева Л.А., 1987; Ломако Е.И., Нуриев С.Ш., 2001; Алиев Ш.А., Нуриев С.Ш., Шакиров В.З., 2002; Давлятшин И.Д., Лукманов А.А., Гайров Р.Р., 2019 и др.).

Вышеизложенное показывает, что обеспеченность почв подвижным фосфором и фосфорный режим является одним из важных критериев почвенного плодородия.

#### **1.4. Калийный режим почв**

Калий является важным макроэлементом минерального питания растений и относительно распространенным элементом в земном шаре. По содержанию окиса ( $K_2O$ ) занимает седьмое место как в горных породах, так и почвах. Среднее содержание окисла калия в породах составляет 2,6%, а в почвах – 1,36% (Виноградов, 1950). Разница в концентрации калия между породой и почвой объясняется особенностью химического элемента и высокой растворимостью солей калия в водной среде. Во время выветривания (первичного и вторичного) и почвообразования почти половина концентрации горной породы теряет калий (Добровольский В.В., 2003).

Для почв основным источником калия служат горные породы. В почвах валовое его содержание намного превышает над запасами азота и фосфора, что определяется главным образом генезисом материнской породы и гранулометрическим составом.

Калий содержится в почве преимущественно в виде первичных и вторичных глинистых минералов. Первичные минералы в основном представлены силикатами (Пчелкин В.У., 1966; Лозе Ж, Матье К, 1998; Минеев В.Г., 1999; Прокошев В.В., 2000). Во вторичных минералах основные запасы присутствуют во внутреннем составе пакетов слюд и глин. Доступный корням растений калий присутствует на внешней плоскости пакетов минералов

(обменный калий) (Duchaufour Ph, 1977). Тонкодисперсные минералы обычно находятся в коллоидном состоянии. Часть доступного калия также присутствует в составе почвенного раствора.

Существуют катионы калия, которые фиксированы необменно и непосредственно недоступны растениям, особенно в составе иллитов (Лозе Ж, Матье К, 1998). В зависимости от этих связей и определяется подвижное равновесие между формами калия в почве: калий почвенного раствора – обменный калий – фиксированный калий (Соколова Т.А., 1987).

Равновесное состояние подвижного калия зависит от сочетания факторов (уровень внесения калийных удобрений, усвоение калия растениями, водный режим почвы, рН – среды и т.д.), может изменяться в направлении закрепления или высвобождения калия, определяя уровень калийного питания растений. Содержание обменного калия, как правило, характеризует уровень калийной обеспеченности почвы, оно составляет от 0,8 до 3,5% от его валовых запасов (Возбуцкая А.Е., 1968).

При набухании глинистых минералов, ионы калия вытесняются другими ионами, а при иссушении почвы калий фиксируется минеральной частью почвы (Пчелкин В.У., 1966). Вместе с тем на динамику содержания обменного калия оказывают влияние биологические особенности сельскохозяйственных культур (Адерихин П.Г., 1968). Также имеется и другое мнение. По мнению Н.Н. Николаева (1963), С.А. Воробьева, Б. Г. Береснева (1966) возделываемая культура не влияет на динамику содержания обменного калия, а основным фактором в данном процессе считаются микроорганизмы почвы. Для серых лесостепных почв (серые лесные) такой же вывод делает И.Г. Абызов (1971).

В условиях применения минеральных удобрений (интенсификация земледелия) на динамику концентрации обменного калия в почве нет единого мнения. Большая часть авторов считает, что повышение обеспеченности обменным калием в пахотном горизонте повышает урожайность зерновых культур (Забавская К.М., 1970; Абызов И.Г., 1971; Шаряпов, 1975; Шакиров

В.З., 1976; Братчиков В.Г.и др., 1988; Огороков В.В., 2015; Лукманов А.А., 2011; 2019 и др.).

На агробиологической станции МГУ (Черных И.Н., 1989) внесение полного минерального удобрения и извести способствовало усилению фиксации калия почвой. Наиболее благоприятная ситуация по калийному режиму почвы складывалась при сочетании минеральных удобрений с известью и навозом.

Калийные удобрения имеют обычно последствие, они продолжают действовать на повышение урожайности культур и на 3-й год (Забавской К.М.,1970). К такому же заключению пришел также английский агрохимик Д.Кук (1970).

Систематическое обобщение состояния пахотных почв имеет место после организации Агрохимической службы в Российской Федерации в 1964 году. Впервые в Республике Татарстан определено содержание обменного калия пахотного участка в разрезе полей, выявлено 421,9 тыс. га (11,3%) почв с низким содержанием обменного калия, 842,3 тыс. га (22,6%) - со средним, 727,8 тыс. га (19,6%) - с повышенным и 1733,1 тыс.га – с высоким и очень высоким. Низкая степень обеспеченности калием почв преобладала на севере лесостепи - в Предкамье.

Материалы агрохимической службы в пределах Республики обобщались Ш.А. Алиевым (2000); Ш.А. Алиевым, В.З. Шакировым, С.Ш. Нуриевым (2005), П.А. Чекмаревым, А.А. Лукмановым, С.Ш. Нуриевым (2011) и И.Д. Давлятшиным (2019).

### **1.5. Динамика урожайности во времени и ее прогнозирование в современном земледелии**

Урожайность сельскохозяйственных культур возрастает с первых шагов земледелия до современной интенсивной системы. В начале земледелия урожайность зерновых культур составляла на уровне 5 ц/га (Кук Д.У., 1970). На черноземах в середине 19 века в Российской империи озимая рожь имела

среднюю урожайность на уровне 9,6-11,0 ц/га после вычета посевного материала (Соболев С.С., Полянский И.А., 1965). В то же время на остальных почвах (дерново-подзолистые и серые лесные почвы) урожайность озимой ржи варьировала от 1,4 до 9,6 ц/га, что характеризует экстенсивную систему земледелия. Такая урожайность формируется в основном за счет природного почвенного плодородия.

В условиях интенсивного земледелия урожайность культур имеет тенденцию роста. В работе И.Д. Давлятшина и Н.Б. Бакирова (2006) в период 1947 по 1995 годы урожайность зерновых культур колебалась от 4,1 до 37,8 ц/га и при средней урожайности 16,01 ц/га и с коэффициентом вариации 52,2%, что согласуется с общей тенденцией роста.

Границу перехода от экстенсивного к интенсивной системе земледелия определили методом скользящей средней (Давлятшин И.Д., Бакиров, 1999). Таким годом считаются 1958 год со средней урожайностью яровой пшеницы 8,0 ц/га, что согласуется солнечной цикличностью равной в 22 года и 11 лет, что нашло подтверждение в работе В.П. Мережина и И.Д. Давлятшина (2002). Обоснование использования скользящей средней при длине шага 11 и 22 года также рассмотрено в работах И.Д. Давлятшин, Н.Б. Бакирова (2006, 2007) на уровне Республики Татарстан.

Скользящие средние исключают влияние агроклиматических условий на урожайность культур, фиксируют урожайность от уровня естественного плодородия и хозяйственной деятельности. Анализ фактической урожайности и скользящей средней также позволяет рассчитать темпы роста продуктивности агроценоза во времени (Давлятшин И.Д., Бакиров Н.Б., 1999, 2006, 2007, 2010).

В результате почвообразовательного процесса наследуемые от горной породы макроэлементы минерального питания - фосфор и калий становятся доступными корневой системе растений и после поглощения их корневой системой используются в процессе метаболизма в создании новых органических соединений, входящих в состав товарной продукции зерновых

культур. Третий элемент минерального питания – азот попадает в почву после фиксации почвенных микроорганизмов.

Содержание макроэлементов питания в составе репродуктивных органов, всегда находится в определенных соотношениях, варьируя в небольших пределах от зонального положения местности и их степени обеспеченности почв. Так, в условиях средней полосы Российской Федерации для формирования 1 тонны зерна яровой пшеницы расходуется 35 кг азота, 12 кг окиси фосфора и 25 кг окиси калия. В условиях Республики Татарстан для районированных зерновых культур эти показатели варьируют в небольших пределах от 25 до 37 кг азота, 11-14 кг  $P_2O_5$ , 22-29 кг  $K_2O$  (Давлятшин И.Д. и др., 2012). Между содержанием макроэлементов питания и урожайностью зерновых культур существует связь. Она выявлена как в пространственном отношении по почвам, так и во временном интервале, что составляла теоретическую основу бонитировки почв. Периодическая печать подтверждает отмеченное (Гаврилюк Ф.Я., 1974; Булгаков Д.С., 1966, 1999; Тайчинов С.Н., 1971; Семенов В.А., 1977, 1992; Лунева Р.И., Рябинина Л.Н., 1975; Давлятшин И.Д., 1976, 1993; Карманов И.И., 1980; Карманов И.И., Фриев Т.А., 1982; Щербинин В.И., 1985; Шишов Л.Л. и др., 1987; Апарин Б.Ф., Русаков А.В., Булгаков Д.С., 2002: и др.).

Динамичные почвенные свойства - агрохимические показатели почв - содержание подвижных форм фосфора и калия рассматриваются лишь в отдельных работах – публикациях В.А. Семенова (1970, 1977, 1992). Они в основном получены из обобщения полевых опытов в условиях Северо-западного региона, отражают уровень эффективного плодородия и урожайность зерновых культур.

Изучение временного ряда варьирования содержания подвижных элементов и урожайности культур стало возможным после внедрения агрохимических исследований по пахотным почвам СССР с 1964 года. Определялось содержание подвижных форм фосфора и калия, рН почвенной



суспензии, несколько позже содержание гумуса. По этим материалам исследований агрохимические показатели интерполировались по годам для получения временного ряда фактического материала. Такой временной ряд имеет урожайность зерновых культур на уровне административных районов, республики в целом. Статистическая урожайность зерновых культур на уровне хозяйств в данное время отсутствует после реорганизации колхозов и совхозов. На этом уровне изучена связь (Алиев Ш.А., Гаффарова Л.Г., Давлятшин И.И., 2001; Давлятшин И.И. и др., 2001; Давлятшин И.И., Бакиров Н.Б., 2007, 2010; Давлятшин И.Д., Миникаев Р.В., Сайфиева Г.С., 2012 и др.). При этом в пределах одного объекта с жесткими границами исключают влияние почвенного фактора на формирование урожайности культур. Для элиминации климатического фактора используется их скользящие средние при длине шага 11 и 22 года, что элиминирует влияние агроклиматического фактора на урожайность культур.

В районах распространения серых лесных почв между содержанием подвижных форм фосфора, калия и скользящими средними озимой ржи связь характеризуется коэффициентами 0,99 и 0,95 (Давлятшин И.Д., Алиев Ш.А., Гаффарова Л.Г., 2001). На уровне Лаишевского муниципального района между содержанием подвижных форм фосфора, обменного калия и фактической урожайности яровой пшеницы имеется тесная связь с коэффициентами корреляции соответственно 0,52 и 0,61 (Аввакумов О.В., Лукманов А.А., Давлятшин И.Д., 2013).

В почвенном покрове, где преобладают лесостепные черноземы в сочетании с темно-серыми лесными почвами, связь между урожайностью пшеницы характеризуется соответственно коэффициентами 0,69 и 0,50. В разрезе 8 муниципальных районов эта связь также подтверждается. Для содержания подвижного фосфора она равна 0,43-0,83, для обменного калия – минус 0,91-0,74.

Таким образом, содержание подвижных форм фосфора и калия имеют

связь с урожайностью зерновых культур. Эта связь наиболее выражена для скользящей средней урожайности зерновых, а для фактической урожайности эта связь слабая, что обусловлено влиянием на фактическую урожайность также климатических факторов. Иногда для обменного калия она принимает статистически недостоверные и отрицательные показатели. Для северной части лесостепи содержание фосфора и обменного калия пахотных почв имеет более высокие и тесные показатели, а для средней части лесостепи содержание фосфора имеет положительную, но слабую связь. Содержание обменного калия в средней полосе лесостепи с преобладанием черноземов имеет либо отрицательную связь, либо она статистически недостоверна, зачастую она слабая.

Как известно, что парная корреляция между факторами и урожайностью культур указывает лишь на долю участия данного фактора в формировании урожая. Однако урожайность представляет собой многофакторную функцию, зависит от множества факторов. Удельный вес показателей отражает множественная корреляция (Савич В.И., 1972; Рокицкий П.Ф., 1972; Дмитриев Е.А., 1995 и др.). На уровне Сабинского муниципального района анализирована множественная корреляция между 3 факторами (подвижные элементы  $P_2O_5$  и  $K_2O$ , сумма минеральных и органических удобрений в кг/га д.в.) и урожайностью яровой пшеницы. Коэффициенты корреляции для фактической урожайности составляют 0,72 при показателе коэффициента детерминации 0,54; для скользящих средних  $U_{11}$  и  $U_{22}$  – 0,91 и 0,92 (Давлятшин И.Д., Миникаев Р.В., Сайфиева Г.С., 2012). Аналогичные результаты исследований имелись и в более ранних работах (Давлятшин И.Д., Бакиров Н.Б., 2010; Лукманов А.А., 2011), что еще раз фиксирует значимость макроэлементов питания в формировании продуктивности агроценозов.

Таким образом, на фоне изучения парной корреляции между обеспеченностью макроэлементами и продуктивностью агроценозов также рассматривается множественная связь, что также позволяет вычислить

расчетную урожайность на основе уравнений.

В результате многочисленных работ изучения связи между свойствами, как фундаментальными, устойчивыми, так и динамичными, возникло новое направление – программирование урожайности сельскохозяйственных культур в области растениеводства и смежных с ним прикладных научных дисциплин – земледелия, агрохимии, агропочвоведения, агрофизики и метеорологии. Основоположником этого направления является академик И.С. Шатилов. Теоретические основы программирования продуктивности агроценозов лежат в основе накопленной информации общей биологии, физиологии растений, метеорологии, растениеводства, биофизики. На наш взгляд, к этим научным дисциплинам следует также отнести агрохимию и агропочвоведение.

И.С. Шатилов сформулировал 10 принципиальных положений программирования урожайности (Шатилов И.С., 1973; Шатилов И.С., Чудновский А.Ф., 1980). Они включают потенциальные возможности культуры по радиации, обеспеченности почв продуктивной влагой, оптимальную систему удобрений, средств защиты растений и использование для анализа математический аппарат новой вычислительной техники и др.

Исследования И.С. Шатилова дали мощный толчок к созданию научной школы и развитию программирования культур в регионах. Так, одним из учеников И.С. Шатилова – М.К. Каюмов разработал конкретную технологию программирования урожаев сельскохозяйственных культур (Справочник..., 1982,1989). Справочник включает 10 конкретных культур. Данный справочник до сих пор служит методическим руководством получения программированных урожаев культур.

В регионах были созданы местные школы по программированию урожаев зерновых культур. В Республике Татарстан эту школу возглавили А.А. Зиганшин и его ученики - Л.Р. Шарифуллин, В.Н. Фомин, В.П. Владимиров и М.Ф. Амиров (Зиганшин А.А., Шарифуллин Л.Р. (1973, 1974), Зиганшин А.А., Фомин В.Н., Владимиров В.П., 1990).

Эти факторы, влияющие на урожайность культур, рассмотрены более конкретно Л.Л. Шишовым и др. (1991):

1. Теплообеспеченность агроценозов. Данный критерий определяется солнечным излучением, относится к космической группе, зависит от почвенно-географического объекта. Фактически критерий не относится к управляемым параметрам в сельскохозяйственном производстве.

2. Обеспеченность влагой агроценозов, как правило, зависит от количества выпадающих осадков, особенностей почвенного покрова. Характер использования почвенной влаги в процессе создания биомассы во многом еще зависит от уровня теплообеспеченности. Именно соотношение влаги и тепла местности, то есть коэффициент увлажнения по И.И. Иванову (1948) обуславливает оптимальные условия для создания биомассы. Еще одним агроклиматическим показателем по исследованиям Г.Т. Селянинова (1928) является гидротермический коэффициент (ГТК), который достаточно точно характеризует влияние климата на урожайность (Таланов И.П., 2005).

3. Обеспеченность макроэлементами питания. Данный фактор представляет материальную основу создания биомассы и количества товарной продукции. В целом данная группа факторов является полностью управляемой в процессе хозяйственной деятельности, обеспечивает получение запрограммированной урожайности культур.

### **Заключение по разделу**

1. В агроценозах ежегодно из почвы больше всего отчуждаются абсолютно необходимые макроэлементы – азот, фосфор и калий в составе урожая ведущих зерновых культур, в том числе яровой пшеницы, что создает необходимость мониторинга содержания этих биофильных элементов в пахотных почвах.

2. Многочисленные исследования показали, что наиболее часто урожайность сельскохозяйственных культур коррелируется содержанием в

почве доступных форм основных макроэлементов – азота, фосфора, калия и погодными условиями. Эта связь выражается в форме линейной парной и множественной корреляции и позволяет учитывать долю каждого фактора в формировании урожайности культур. Теснота связи между факторами и урожайностью культур является основой прогнозирования урожайности сельскохозяйственных культур.

3. В исследования по моделированию, программированию и прогнозированию урожайности яровой пшеницы, проведенных в условиях Республики Татарстан до сих пор, не было работ по оценке достоверности прогнозирования урожайности в реальных условиях вне выборки, на основе которой была разработана математическая модель. В этих исследованиях достоверность и точность прогнозирования оценивалась только на основе сравнения расхождения фактической и расчетной урожайности, вычисленных в пределах той же выборки.

## ГЛАВА II. ПРИРОДНЫЕ УСЛОВИЯ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Данная работа представляет собой разработку теоретической и математической моделей формирования урожая яровой пшеницы на основе накопленной информации. Базисной информацией служили результаты полевых опытов (1982-2020 г.) кафедры растениеводства агрономического факультета Казанского государственного аграрного университета. Опыты ставились на получение планированной урожайности яровой пшеницы в размере 3,0 т/га и 4,0 т/га с применением соответствующего количества минеральных удобрений, состав которых определялся по норме расхода макроэлементов питания на получение единицы урожая с учетом побочной продукции, обеспеченности почв макроэлементами питания и коэффициентов усвоения элементов культурой из почвы и удобрений. Опыты проводились на серых лесных тяжелосуглинистых почвах опытного участка. Материалы многолетних опытов по яровой пшенице неоднократно обобщались, защищались по ним две докторские и ряд кандидатских диссертаций. Однако обработки материалов на предмет линейной множественной связи и разработки в этом аспекте модели урожайности, включающей как агрохимические свойства почв, так и метеорологические показатели до сих пор не проводились.

Основным методологическим подходом в решении поставленной задачи и целевой установки служили сравнительно-географический и сравнительно-аналитический и статистические методы, используемые при анализе накопленной информации.

Представление материалов, использованных в нашей работе, носит многоаспектный характер. Кроме взятых конкретных описаний серых лесных почв опытных участков имеются материалы, относящиеся ко всей территории Республики Татарстан. Метеорологические показатели получены как по данным измерений нашего аграрного университета, так и по сведениям метеорологической опорной станции г. Казани, предоставленные заведующим

кафедрой Казанского федерального университета профессором Казанского (Приволжского) федерального университета Ю.П. Переведенцевым.

## **2.1. Природные условия**

### **2.1.1. Почвы и почвенный покров региона**

Опытный участок Казанского государственного аграрного университета по географическому положению занимает западное крыло Предуральской провинции в пределах Лаишевского муниципального образования. Участок расположен на возвышенной холмисто-волнистой равнине Предкамья с общим уклоном поверхности на юг к долине р. Волга и Кама. Северная часть Предкамья местами имеет отметки 200 м и выше, по мере движения на юг уменьшаются до 80-140 м. Северная и центральная часть Предкамья представляет сильно денудированную возвышенную равнину, где преобладают древние пермские отложения казанского и татарского ярусов, южная его часть имеет слабонаклонную равнину с преобладанием отложений неогена и плейстоцена. Почвообразующими породами служит чехол четвертичных отложений делювиального происхождения.

Согласно последним обобщениям в почвенном покрове Предкамья формируются зональные дерново-подзолистые почвы южной тайги, лесостепные серые лесные почвы, лугово-степные черноземы. Зональные почвенные типы распространены экстразонально, что характерно для лесостепной зоны (Давлятшин И.Д., Бакиров Н.Б., 2006; Давлятшин И.Д., Лукманов А.А., Маметов И.М., 2018.). Также значительна площадь породного типа – дерново-карбонатных почв.

По изучаемому Лаишевскому району, куда входит наш объект исследования, преобладает тип серых лесных почв с тремя подтипами (72 %), субдоминантом служат дерново–подзолистые почвы (21 %), черноземы и дерново–карбонатные почвы занимают 1-2 %. Среди лесных почв преобладает обычный род светло-серых и серых лесных почвенных подтипов, а доля

пестроцветного рода этого типа небольшая - 1140 га (Справочник агрохимика..., 2013).

В пахотных землях по гранулометрическому составу преобладают суглинистые почвы – 82% га, второе место занимают супесчаные и песчаные почвы – 17%, а доля глинистых небольшая – 1%. Среди суглинистых почв наибольшую площадь занимают средние суглинки (27011 га), вторую позицию с небольшим отрывом – тяжелые суглинки (22683 га). Площадь легкосуглинистых почв составляет 12217 га.

Формула пахотных почв несколько упрощена за счет распашки верхних горизонтов и имеет следующий вид:

$$A_{\text{пах}} - A_2B - B_{1t} - B_{2t} - B_{3t} - BC - C.$$

Профиль серых лесных почв выщелочен, свободные карбонаты встречаются на втором метре почвообразующих пород. Ниже приводится конкретное описание и характеристика морфологического строения и профильного распределения свойств по опубликованному источнику (Справочник агрохимика..., 2013)

Серые лесные почвы имеют лесную подстилку ( $A_0$ ) мощностью до 5 см, которая переходит в гумусово-аккумулятивный горизонт  $A_1$  мощностью до 10-15см. Горизонт обладает мелкокомковатой, комковато-пылеватой структурой. Как правило, он пронизан и переплетен корнями травянистой растительностью.

Переходный горизонт  $A_2B$  имеет неоднородную окраску – темно-бурые с серым оттенком «заклинки» чередуются с грязнобелесыми языками. Этот переходный горизонт представляет эволюцию, то есть трансформационную фазу иллювиального горизонта под воздействием подзолистого процесса. Структура горизонта приплюснуто–мелкоореховатая с обильной присыпкой окислов кремнезема. Нижняя граница этого горизонта проходит на глубине 29,9 см. Переходный горизонт в некоторых литературных источниках фигурирует как  $BA_2$  (Классификация и диагностика, 1977; Ломако Е.И., Бакиров Н.Б., 2007),  $B_1^1$  (Утэй И.В, 1968). Вместе с тем, в горизонте протекают два процесса –



подзолистый и иллювиальный. Часто свойства иллювиального процесса являются остаточными, то есть наблюдается наложение подзолистого процесса на верхнюю часть иллювиального горизонта. Вертикальный срез показывает равномерное пространственное распределение этих процессов.

Иллювиальный горизонт *B* имеет бурую окраску, ореховато-призматическую структуру, по граням отдельностей лакировка, то есть пленка гумусовых веществ. В верхней части горизонта в белесых налетах и темно-бурых затеках. Средняя часть горизонта имеет относительно однородную бурую окраску, структурные отдельные становятся более крупными. Нижняя часть – подгоризонт *B<sub>3</sub>* светло-бурая, гумусовые затеки становятся относительно узкими.

Почвообразующая порода имеет желто-бурую окраску, она, как правило, менее плотная и более пористая.

По массовым статистическим данным мощность пахотного горизонта в среднем равна 24,5 см, она колеблется от 20 до 30 см. При этом разрезы последних лет обследований характеризуются высокими показателями (табл. 2.1).

Таблица 2.1 – Статистические средние показатели признаков и свойств серых лесных тяжелосуглинистых пахотных почв, (n = 66 – 99)

Горизонты	Нижняя граница, см	Частицы, мм, %		Гумус, %	Моль /100г		pH	Подвижные мг/100 г	
		<0,001	<0,01		Ca+Mg	Hг		P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O
<i>A<sub>пах</sub></i>	24.5	19.0	44.3	4.0	25.4	3.4	5.4	14.9	10.8
<i>A<sub>1</sub>A<sub>2</sub></i>	31.9	23.5	46.7	2.2	22.6	3.2	5.4	12.5	9.0
<i>A<sub>2</sub>B</i>	31.8	21.49	47.1	2.3	25.1	2.3	5.5	13.1	9.1
<i>B<sub>1</sub></i>	50.1	31.2	51.3	0.8	25.2	2.4	5.2	14.7	10.9
<i>B<sub>2</sub></i>	96.5	35.4	54.2	0.6	26.8	-	5.0	-	-
<i>BC</i>	122.4	34.7	51.2	-	-	-	6.8	-	-
<i>C</i>	149.6	31.5	51.2	-	-	-	6.7	-	-

На пашне часто горизонт *A<sub>1</sub>A<sub>2</sub>* выпадает из профиля, нижнюю границу его отмечают на глубине 29,9 см.

Горизонт  $A_2B$  имеет небольшую мощность, нижняя граница его проходит на глубине 31,8 см. Иллювиальный горизонт В представлен двумя подгоризонтами, его нижняя граница проходит на глубине 96,5 см. Мощность почвенного профиля более одного метра и составляет 122,4 см.

Одно из фундаментальных свойств – содержание ила варьирует в диапазоне 19,0-35,4%, где минимальные показатели характеризуют пахотный горизонт, а максимальные – подгоризонт  $B_2$ . Разница между ними равна 16,4%, а разница между показателями породы и пахотного горизонта – 12,5%.

Распределение содержания физической глины напоминает распределение илистой фракции и имеет диапазон 44,3-54,2%. Разница между ними небольшая, что еще раз подтверждает относительную устойчивость данной фракции по сравнению с предыдущей.

Для почвенного профиля рН солевой вытяжки показывает кислый диапазон – 5,0-6,8, где максимальные показатели характеризуют переходной горизонт  $BC$ .

Таким образом, картина изменения фундаментальных свойств – содержания ила, физической глины и рН солевой вытяжки говорит о дифференциации почвенного профиля.

Серые лесные почвы в пахотном горизонте в среднем содержат 4,0% гумуса, в нижних горизонтах его количество снижается до 2,2-2,3%, а в иллювиальном горизонте составляет 0,6-0,8%. Емкость катионного обмена изменяется в диапазоне 25,8-28,8 мг-экв на 100 г почвы, где максимальная ее величина приурочена к пахотному горизонту.

В профиле гидролитическая кислотность варьирует от 2,3 до 3,4 моль на 100 г почвы. Степень насыщенности основаниями изменяется от 88 до 92%, повышаясь вниз по профилю.

Серые лесные почвы содержат 12,5-14,9 мг/100 г почвы подвижного фосфора, что соответствует повышенной степени обеспеченности почв и 9,0-

10,9 мг/100 г почвы подвижного калия, что характеризует среднюю степень обеспеченности подвижным калием.

Серые лесные почвы являются одним из преобладающих зональных почв в почвенном покрове республики, они характеризуются умеренными свойствами, а получение на них высоких урожаев сельскохозяйственных культур необходимо поддерживать внесением органических и минеральных удобрений в целях создания оптимальной концентрации макроэлементов питания и периодическим известкованием почв для снятия избыточной кислотности.

### **2.1.2. Почвы опытного участка с морфологическим описанием и характеристикой свойств**

Опыты с 1982 по 2018 годы располагались на серой лесной тяжелосуглинистой почве, образованной на делювиальном суглинке и глине следующего профиля:

*A<sub>п</sub>* – пахотный слой мощностью 23-29 см, темновато-серого цвета, тяжелосуглинистый, комковато-порошистой структуры.

*A<sub>2</sub>B* – 23-33 см – серый, тяжелосуглинистый с непрочной комковатой структурой, значительным количеством пересыпки кремнезема. Переход в следующий горизонт постепенный.

*B<sub>1</sub>* – 33-54 см – темно-бурый, плотный, разнородно - ореховатый, с обильной присыпкой SiO<sub>2</sub>, переход постепенный;

*B<sub>2</sub>* – 54-94 см – бурый, тяжелосуглинистый, крупно - ореховатой структуры, очень плотный, на гранях структурных отдельностей гумусовые подтеки, переход заметный.

*BC* – 94-121 см – желто-бурый, тяжелосуглинистый, плотный, присыпка кремнезема, языками затеки гумуса, переход постепенный.

*C* – 121-180 см – желто-бурый тяжелый суглинок.

Почва – серая лесная тяжелосуглинистая. Вскипание от 10 % соляной кислоты не обнаружено.

Перед закладкой опыта проводилось подробное обследование почвы, результаты которого приведены в таблице 2.2

Таблица 2.2 – Аналитическая характеристика серых лесной почвы опытного участка (Казанского ГАУ)

Показатели	Генетические горизонты, см					
	<i>A<sub>пах</sub></i> 0 – 29	<i>A<sub>2B</sub></i> 29 – 33	<i>B<sub>1</sub></i> 40 – 50	<i>B<sub>2</sub></i> 70 – 80	<i>BC</i> 100 – 110	<i>C</i> 150 – 160
рНсолевой вытяжки	5,6	5,3	5,1	4,8	4,9	5,1
Содержание гумуса, %	2,8	1,16	0,82	0,26	0,43	0,32
Гидролитическая кислотность, ммоль/100г	2,8	2,4	2,7	2,4	1,9	-
Сумма поглощенных оснований, ммоль/100г	26	20,3	19,9	18,8	15,0	-
Степень насыщенности основаниями, %	85,2	87,9	88,2	86,4	89,2	-
Содержание в мг/кг:						
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> по Кирсанову	103,0	112,0	187,0	189,0	181,0	-
K <sub>2</sub> O по Кирсанову	79,0	88,0	110,0	108,0	99,0	-
Содержание легкогидролизуемого азота, мг/кг	114,3	43,4	30,3	20,0	18,7	-

В таблицах 2.3 и 2.4 аналитические показатели свойств и морфометрические показатели идентичны с небольшими отклонениями.

Для расчетов влагообеспеченности использованы средние показатели плотности, полученные на опытном участке (табл. 2.3).

Таблица 2.3 – Плотность сложения почвы опытного участка

Слой почвы, см						
0-10	10-20	20-30	30-40	40-60	60-80	80-100
Плотность сложения, г/см <sup>3</sup>						
1,15	1,21	1,28	1,35	1,41	1,49	1,50

Таблица 2.4 – Агрохимическая характеристика пахотного слоя почвы опытных участков

Место проведения, район	Годы	Почвы	рН солевой	Гумус, %	Содержание, мг на кг почвы	
					P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O
Опытное поле Казанского ГАУ	1982-2018	Серая лесная	5,6	2,8-3,2	103-183	109-142

Материалы опытных площадок, технологические качества зерна яровой пшеницы были любезно представлены докторами сельскохозяйственных наук Ф.Ш. Шайхутдиновым и И.М. Сержановым.

## 2.2. Методика исследования

Опыты размещались после озимой ржи, которая возделывалась на удобренном чистом пару. Обработку зяби с предварительным лушением стерни проводили в третьей декаде августа. Удобрения рассчитывались расчетно-балансовым методом и вносились согласно результатам анализа почвы, выноса и коэффициентов использования элементов питания из почвы и удобрений под предпосевную культивацию. Посев проводили после предпосевной культивации в первые дни сева яровых зерновых культур инкрустированными семенами первого класса, на глубину 4 см с нормой высева 6млн всхожих семян на 1 га, сеялкой СН-16.

Обработка почвы, посев, уход за посевами, уборка осуществлялась орудиями и машинами, распространенными и принятыми на вооружение в производственных условиях Республики Татарстан (Система земледелия Республики Татарстан, 2013).

В опытах одновременно проводились мониторинговые наблюдения определения почвенных свойств:

1. Фенологические наблюдения за сроками наступления фаз роста и развития, учет полевой всхожести и изреженности посевов согласно методике Госсортоиспытания сельскохозяйственных культур (1969).

2. Влажность почвы определялась по фенологическим фазам яровой пшеницы в метровом слое через каждые 10 см весовым методом в трехкратной повторности, путем высушивания при 105° до постоянного веса (Роде А.А., 1969).

3. Определялась плотность сложения в почвенном разрезе перед посевом и перед уборкой по принятой методике в почвенных исследованиях.

4. Урожайность яровой пшеницы учитывалась методом сплошного обмолота растений каждой делянки и приводилась к 14% влажности и 100% чистоте.

5. Коэффициенты использования азота, фосфора и калия из почвы и удобрений определялись разностным методом по В. А. Демину (1981).

6. Расчет экономических показателей производился на основе технологических карт возделывания с/х культур для биологизированных систем земледелия РТ разработанных учеными Казанского ГАУ по хозрасчетному заданию министерства сельского хозяйства и продовольствия РТ.

Лабораторные исследования почв проводились по следующим методикам:

1. Определение гумуса по методу И. В. Тюрина в модификации ЦИНАО (ГОСТ 26213-91).

2. Приготовление солевой вытяжки и определение ее рН по методу ЦИНАО (ГОСТ 26483-85).

3. В зависимости от типовых особенностей почв подвижные соединения фосфора и обменного калия определялись по методу Кирсанова в модификации ЦИНАО, ГОСТ 26207-91.

Для оценки почв по обеспеченности питательными элементами, которые были перечислены выше, использовались оценочные шкалы (группировки почв в модификации ЦИНАО).

Статистическая обработка проводилась с помощью «MSExcel 2010» и прикладного пакета Statistica-10. Были определены статистические показатели – арифметическая средняя анализируемых данных, стандартная ошибка среднего и др. Получены корреляционно-регрессионные уравнения, доли дисперсии для каждой главной компоненты, коэффициенты нагрузок главных компонент, координаты исходной информации в пространстве главных компонент. Построены проекции факторов и исходных переменных на первые главные компоненты

При обработке выборки незначимые факторы поочередно исключались, критерием исключения фактора служил уровень значимости  $\alpha = 0,05$ .

Для оценки статистических параметров выборок использованы подходы и методы, описанные в руководствах по вариационной статистике (Годин А.М., 2016; Ивченко Г.И., 2016; Трофимов А. Г., 2019).

### **2.3. Методы обработки табличных данных**

При анализе были использованы методы классического корреляционно - регрессионного анализа, а также метод главных компонент (МГК). Были изучены парные и множественные корреляции урожайности яровой пшеницы с остальными факторами (Гореева Н.М., 2007; Носко В.П., 2011 Елисеева И.И., 2017 и др.).

Метод главных компонент использовался в качестве первичного (разведочного) анализа с целью выявления внутренних взаимосвязей и сокращения размерности (Эсбенсен К. под ред. Родионовой О.Е., 2005 и др.). Сокращение размерности выполняется путем создания обобщенных факторов, называемых главными компонентами (ГК).

Дисперсия, суммарная изменчивость факторов распределяется между этими компонентами. Доли дисперсии ранжируются по главным компонентам монотонно от максимального в ГК1 до минимального ГК12. В результате – первые главные компоненты объясняют значительную долю изменчивости факторов. В итоге двенадцатимерную задачу можно сократить с незначительной потерей информации до 2, 3, 4-мерного состояния. Анализируя состав самых значительных главных компонент, можно обнаружить группы с мультикоррелированными факторами. Представление исходных данных в пространстве главных компонент, позволило группировать временной ряд по схожим показателям и выделить как однотипные, так и нетипичные года.

## ГЛАВА III. РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

В данной главе рассматриваются результаты системного анализа влияния уровня применения удобрений и почвенно-климатических факторов на формирование урожайности яровой пшеницы. Теснота связи между 15 факторами и урожайностью яровой пшеницы за 1982-2018 гг. определялась с применением парного, множественного корреляционно-регрессионного анализа и метода главных компонент.

### **3.1. Анализ матрицы временного ряда по урожайности яровой пшеницы и ее факторов**

Исследование связи между комплексом факторов и урожайностью яровой пшеницы проводилось по материалам долгосрочных опытов, поставленных сотрудниками кафедры растениеводства и плодовоовощеводства Казанского государственного аграрного университета за 1982-2018 годы. Для получения парной и множественной связи функцией служила фактическая урожайность яровой пшеницы (Уф) в т/га, по трем фонам питания: первый фон без внесения удобрений; второй фон с внесением удобрений на получение 3,0 т/га зерна (средние нормы NPK); третий фон с внесением удобрений на получения 4,0 т/га (повышенные нормы NPK).

В качестве аргументов служили 15 факторов, которые сгруппированы в три группы: уровень применения минеральных удобрений (3 единиц), климатические показатели (8 единиц) и почвенные параметры (4 единиц).

Все эти факторы играют важную роль в формировании урожая всех сельскохозяйственных культур, в том числе яровой пшеницы.

Показатели перечисленных аргументов за 1982-2018 гг. приводятся в таблицах 3.1 и 3.2.



Таблица 3.1 – Динамика урожайности яровой пшеницы и почвенно-климатические факторы, влияющие на нее, в условиях серой лесной почвы Республики Татарстан без применения удобрений (n=37)

Годы	Уф	<sup>11</sup> N	<sup>11</sup> P	<sup>11</sup> K	Pв	Qвег	Q5	Q6	Q7	Сэт	T5	T6	T7
1982	2,13	143	128	88	171	214	59	78	39	1756	12,2	13,9	19,8
1983	1,81	144	114	101	165	279	95	95	82	1505	12,5	15	19,4
1984	1,45	130	103	82	170	241	19	89	73	1588	16,8	17,4	20,8
1985	2,01	148	126	107	166	222	39	62	96	1488	12,0	15,6	18
1986	2,34	121	165	122	130	162	20	83	61	1658	11,0	18,1	17
1987	1,94	143	117	107	140	224	40	56	108	1636	15,1	20,7	18
1988	0,99	105	109	88	145	174	14	73	67	1531	13,6	20,7	23,8
1989	1,11	109	132	112	175	256	114	27	98	1530	12,8	21,8	20,5
1990	1,76	142	173	136	181	290	23	128	77	1369	10,8	15,8	19,1
1991	1,39	122	180	90	164	107	27	24	27	1672	15,3	20,8	19,4
1992	2,14	117	147	124	166	111	30	11	47	1552	11,2	16,8	17,7
1993	2,27	113	114	112	177	123	16	71	21	1657	14,0	16,7	19,6
1994	2,56	139	149	113	171	291	62	114	81	1768	11,5	15,9	16,5
1995	1,89	145	123	103	182	134	7	16	96	1849	16,1	20,9	19,9
1996	1,97	142	126	114	286	124	32	69	20	1814	15,6	17,9	20,4
1997	2,97	148	134	139	164	205	38	95	43	1831	11,7	19,9	18,4
1998	1,14	114	119	123	165	71	48	15	80	1663	13,9	21,7	21,6
1999	1,40	129	142	127	130	82	50	34	82	1510	9,0	19,5	21,7
2000	2,02	141	148	123	145	202	55	99	30	1478	9,4	18,4	22,2
2001	2,41	132	156	132	177	177	83	55	20	1890	13,6	16,9	21,8
2002	2,46	139	164	131	165	167	46	47	29	1549	10,1	16,8	22,6

продолжение таблицы 3.1

Годы	Уф	ПN	ПР	ПК	Рв	Qвег	Q5	Q6	Q7	Сэт	T5	T6	T7
2003	2,35	146	172	137	160	223	28	91	101	1616	14,1	13,6	20,9
2004	2,57	145	148	122	172	259	34	65	82	1840	14	17,1	21,1
2005	2,69	149	135	123	168	279	23	113	67	1826	17	16,7	19,1
2006	2,16	124	147	129	165	169	57	30	63	1677	13,6	20,9	18,1
2007	2,24	127	153	125	170	248	40	45	196	1855	15,7	16,4	19,8
2008	2,2	100	162	137	164	221	58	104	75	1794	12,4	16,4	20,7
2009	2,05	142	169	131	159	102	31	40	81	1963	14	19,9	19,7
2010	1,00	109	121	122	140	38	33	11	14	2076	17,3	21,2	25,9
2011	2,49	142	139	92	165	142	31	135	90	1824	14,4	17,4	23,4
2012	1,88	149	128	117	173	155	31	45	48	1970	15,9	19,7	21,6
2013	1,46	140	133	120	198	146	29	27	82	2113	15,2	20,8	20,9
2014	1,45	136	166	109	169	159	19	71	27	2106	17,1	17,8	19,4
2015	2,17	134	171	121	163	162	24	28	80	2093	16,4	21	18,5
2016	2,09	106	157	127	178	147	17	39	20	2117	15,6	18,5	22,5
2017	2,19	144	173	121	171	197	32	65	95	2003	11	15,6	19,7
2018	2,33	117	149	116	180	109	23	35	54	2172	14,4	16,9	22,3
Сумма	73,48	4876	5292	4323	6230	6612	1427	2285	2452	65339	506,3	671,1	751,8
Среднее	1,99	132	143	117	168	179	39	62	66	1766	13,7	18,1	20,3
Макс.	2,97	149	180	139	286	291	114	135	196	2172	17,3	21,8	25,9
Мин.	0,99	100	103	82	130	38	7	11	14	1369	9,0	13,6	16,5

Примечание. В таблице 3.1 и далее приняты следующие условные обозначения и измерения:

Уф – урожайность фактическая, т/га;

$^{П}N$  – содержание легкогидролизуемого азота, мг/кг почвы;

$^{П}P$  – содержание подвижного фосфора, мг/кг почвы;

$^{П}K$  – содержание обменного калия, мг/кг почвы;

$R_v$  -продуктивная влага в метровом слое почвы в день посева, мм;

Qвег – атмосферные осадки за вегетационный период, мм;

Q5 – среднемесячные атмосферные осадки за май, мм;

Q6 – среднемесячные атмосферные осадки за июнь, мм;

Q7 – среднемесячные атмосферные осадки за июль, мм;

Сэт – сумма эффективных температур за вегетационный период, °С;

T5 – среднемесячная температура за май, °С;

T6 – среднемесячная температура за июнь, °С;

T7 – среднемесячная температура за июль, °С;

Таблица 3.2 - Урожайность яровой пшеницы во временном ряду в зависимости от норм внесения NPK

Годы	Контроль (без удобрений)				Средние нормы NPK (расчет на 3 т/га)				Повышенные нормы NPK (расчет на 4 т/га)			
	Уф	уN	уP	уK	Уф	уN	уP	уK	Уф	уN	уP	уK
1982	2,13	0	0	0	3,3	86	42	45	4,1	122	85	86
1983	1,81	0	0	0	2,79	80	40	45	3,18	114	78	90
1984	1,45	0	0	0	2,84	78	43	42	3,28	111	88	84
1985	2,01	0	0	0	3,24	86	45	44	4,26	126	95	94
1986	2,34	0	0	0	3,72	113	52	46	5,03	137	99	96
1987	1,94	0	0	0	2,49	70	43	42	3,61	121	88	84
1988	0,99	0	0	0	1,55	70	40	40	2,38	101	78	80
1989	1,11	0	0	0	2,14	87	40	40	2,61	123	78	80
1990	1,76	0	0	0	2,89	83	36	47	4,13	118	64	94
1991	1,39	0	0	0	2,94	83	40	44	4,39	118	78	88
1992	2,14	0	0	0	2,99	78	42	50	4,46	111	85	90
1993	2,27	0	0	0	2,85	91	46	50	3,36	128	98	100
1994	2,56	0	0	0	3,56	99	52	48	5,27	139	109	96
1995	1,89	0	0	0	2,88	81	48	47	3,2	115	105	94
1996	1,97	0	0	0	2,46	91	45	43	3,85	128	95	86
1997	2,97	0	0	0	3,77	113	58	50	5,08	137	109	90
1998	1,14	0	0	0	2,7	99	44	42	3,12	139	92	84
1999	1,4	0	0	0	1,85	75	41	41	2,29	108	81	82
2000	2,02	0	0	0	2,71	75	46	46	3,43	108	98	92

продолжение таблицы 3.2

Годы	Контроль (без удобрений)				Средние нормы NPK (расчет на 3 т/га)				Повышенные нормы NPK (расчет на 4 т/га)			
2001	2,41	0	0	0	3,42	91	45	48	5,4	128	109	96
2002	2,46	0	0	0	3,34	84	42	41	5,33	125	85	86
2003	2,35	0	0	0	3,35	91	46	47	4,06	128	98	94
2004	2,57	0	0	0	3,41	89	42	44	4,4	126	85	88
2005	2,69	0	0	0	3,2	80	47	41	3,82	124	102	82
2006	2,16	0	0	0	2,46	90	37	43	2,8	127	68	86
2007	2,24	0	0	0	2,72	77	42	46	2,93	110	85	92
2008	2,2	0	0	0	3,56	100	54	48	3,72	140	106	96
2009	2,05	0	0	0	3,44	102	49	41	3,64	143	109	82
2010	1,00	0	0	0	1,76	75	42	42	1,87	108	85	80
2011	2,49	0	0	0	3,04	82	42	50	3,62	117	85	100
2012	1,88	0	0	0	2,55	65	54	46	3,03	95	86	92
2013	1,46	0	0	0	1,72	78	43	43	1,88	100	88	80
2014	1,45	0	0	0	2,44	87	41	42	3,44	123	81	84
2015	2,17	0	0	0	2,47	90	47	45	2,68	127	102	90
2016	2,09	0	0	0	2,46	97	48	44	2,51	136	105	88
2017	2,19	0	0	0	2,63	81	46	43	2,78	115	98	86
2018	2,33	0	0	0	2,83	88	50	49	3,44	124	92	98
Среднее	1,99	0	0	0	2,82	86	45	45	3,58	122	91	89
Макс	2,97	0	0	0	3,77	113	58	50	5,4	143	109	100
Мин	0,99	0	0	0	1,55	65	36	40	1,87	95	64	80

Примечание. В таблице 3.2 и далее приняты следующие условные обозначения и измерения:

Уф – урожайность фактическая, т/га;

<sup>у</sup>N – Нормы внесения азотных удобрений, кг д.в./га;

<sup>у</sup>P – Нормы внесения фосфорных удобрений, кг д.в./ га;

<sup>у</sup>K – Нормы внесения калийных удобрений, кг д.в./ га

Первая группа факторов представлена: нормой внесения азотных удобрений ( $^Y\text{N}$ ) в кг д. в./га; нормой внесения фосфорных удобрений ( $^Y\text{P}$ ) в кг д. в./га; нормой внесения калийных удобрений ( $^Y\text{K}$ ) в кг д. в./га.

За исследуемый период средние нормы внесения азота, фосфора и калия в составе минеральных удобрений, рассчитанных для получения 3 т/га зерна яровой пшеницы, составили соответственно 86, 45 и 45 кг д.в./га со значительными колебаниями по годам. Нормы внесения азотных удобрений варьировали от 65 до 113, фосфорных – от 36 до 58 и калийных – от 40 до 50 кг д.в./га. Как видно, наиболее заметно колебались годовые нормы фосфорных и, особенно, азотных удобрений.

Повышенные нормы минеральных удобрений, рассчитанных для получения 4 т/га зерна яровой пшеницы, также варьировали в значительных пределах: азотные от 95 до 143, фосфорные от 64 до 109, калийные от 80 до 100 кг д.в./га. Средние нормы удобрений на повышенном фоне питания составили: азотных – 122, фосфорных – 91 и калийных – 89 кг д.в./га.

Вторую группу представляют климатические показатели: среднемесячные осадки за вегетационный период ( $Q_{\text{вег}}$ ) в мм; среднемесячные осадки за май ( $Q_5$ ) в мм; осадки за июнь ( $Q_6$ ) в мм; среднемесячные осадки за июль ( $Q_7$ ) в мм, сумма эффективных температур за вегетационный период ( $S_{\text{эт}}$ ) в градусах; среднемесячная температура за май ( $T_5$ ) в градусах; среднемесячная температура за июнь ( $T_6$ ) в градусах и среднемесячная температура за июль ( $T_7$ ).

Как известно, метеорологические показатели и их производная – запасы влаги перед посевом – важны для роста и развития пшеницы и получения товарной продукции. Особо важное значение для поддержания оптимального уровня увлажнения почв на агроценозах пшеницы имеет количество атмосферных осадков за вегетационный период. Как правило, осадки больше выпадают в теплое время года, чем в холодное (Переведенцев и др., 2007). В течение вегетационного периода в среднем выпадает 179 мм осадков, а

диапазон их колебания находится в пределах от 38 (2010 г.) до 291 мм (1994 г.), то есть распределение летних осадков в теплое время в отдельные годы было недостаточным.

Наиболее важным периодом в поступлении атмосферных осадков является период между появлением всходов до фазы колошения, именно в этот момент происходит основное нарастание биомассы растений и закладывается будущий урожай. Среднемесячные осадки за май за весь период наблюдений составили 39 мм. Они неравномерно распределены по годам, предельные значения меняются от 7 (1995 г.) до 114 мм (1989 г.), Среднемесячные осадки за июнь составляют 62 мм. Они также неравномерно распределены по годам, максимальное значение 135 мм (2011 г.), а минимальное 11 (2010 г.). Среднемесячные осадки за июль также имеют широкий диапазон колебания от 14 (2010 г.) до 196 мм (2007 г.) при среднем показателе 66 мм. Такое распределение поздневесенних и раннелетних осадков, безусловно, отразилось на росте и развитии культуры, а также на величине урожая.

Из метеорологических показателей важными также являются сумма активных и среднемесячных температур за вегетационный период роста и развития культуры. Среднемесячная температура за май составляет 13,7°C, показатели которой имеют диапазон от 9 (1999 г.) до 17,3°C (2010 г.). Среднемесячная температура за июнь составляет 18,1°C, ее значения варьируется от 13,6 (2003г.) до 21,8 (1989 г.). Среднемесячная температура за июль составляет 20,3°C, ее минимальное значение равно 16,5°C, (1994 г.) а максимальное 25,9°C (2010 г.).

Третью группу факторов представляют содержание в почве легкогидролизуемого азота по Тюрину-Кононовой ( $^{II}N$ ) в мг/кг почвы, подвижных форм фосфора ( $^{II}P$ ) и обменного калия ( $^{II}K$ ) в мг/кг почвы. В эту группу также входит продуктивная влага метрового слоя почвы в день посева ( $P_v$ ) в мм.



На опытных площадках содержание легкогидролизуемого азота в среднем равно 132,0 мг/кг почвы, а лимиты имеют значения 100 и 149 мг/кг почвы. С учетом величины кислотности почв опытных участков ( $pH_{\text{сол}}$  5-6), вариабельность данного агрохимического показателя, согласно (Практикум по агрохимии. Под ред. В. Г. Минеева, 2001), наблюдается в пределах от высокой (81-120 мг/кг) до очень высокой (более 120 мг/кг).

Содержание в почве подвижных форм фосфора, определенных по методу Кирсанова, изменяется в матрице от 103 (1984 г.) до 180 (1991 г.) мг/кг, среднее арифметическое составляет 143 мг/кг, что соответствует повышенному уровню обеспеченности этого макроэлемента.

Среднее содержание подвижного калия, определенного по методу Кирсанова, равно 117 мг/кг почвы, с колебаниями по годам в пределах от 82 до 139 мг/кг, что указывает на среднюю степень обеспеченность почвы этим питательным элементом.

Запасы продуктивной влаги в метровой толще почвы в день посева хорошие и составили в среднем 168 мм. Предельные ее значения варьируют от 130 (1986 г., 1999 г.) до 286 мм (1996 г.).

Краткий обзор матрицы изучаемой временной выборки показывает, что между рассмотренными факторами и урожайностью яровой пшеницей, возможно, имеется определенная взаимосвязь. По всей вероятности, она различной тесноты и векторного направления, что требует исследования с применением различных методических подходов: метода главных компонент, парной и множественной линейной корреляционной связи в разрезе рассмотренных групп и в целом в пределах одной выборки. В связи с этим, в последующих разделах последовательно рассматривается корреляция урожайности в следующих группах:

1. Урожайность яровой пшеницы (без внесения удобрений – фон 1) – почвенно-климатические факторы ( $^I N$ ,  $^I P$ ,  $^I K$ ,  $P_v$ ,  $Q_{\text{вег}}$ ,  $Q_5$ ,  $Q_6$ ,  $Q_7$ ,  $C_{\text{эт}}$ ,  $T_5$ ,  $T_6$ ,  $T_7$ ).

2. Урожайность яровой пшеницы – уровни применения минеральных удобрений и почвенные факторы ( ${}^{\text{П}}\text{N}$ ,  ${}^{\text{П}}\text{P}$ ,  ${}^{\text{П}}\text{K}$ ,  ${}^{\text{У}}\text{N}$ ,  ${}^{\text{У}}\text{P}$ ,  ${}^{\text{У}}\text{K}$ ,  $\text{Pв}$ ).

3. Урожайность яровой пшеницы – уровни применения минеральных удобрений и почвенно-климатические факторы ( ${}^{\text{У}}\text{N}$ ,  ${}^{\text{У}}\text{P}$ ,  ${}^{\text{У}}\text{K}$ ,  ${}^{\text{П}}\text{N}$ ,  ${}^{\text{П}}\text{P}$ ,  ${}^{\text{П}}\text{K}$ ,  $\text{Pв}$ ,  $\text{Qвег}$ ,  $\text{Q5}$ ,  $\text{Q6}$ ,  $\text{Q7}$ ,  $\text{Сэт}$ ,  $\text{T5}$ ,  $\text{T6}$ ,  $\text{T7}$ ).

Следует отметить, что метод главных компонент для оценки зависимости продуктивности сельскохозяйственной культуры от комплекса почвенно-климатических и агрохимических факторов в условиях Республики Татарстан использовался впервые.

### **3.2. Первичный анализ матрицы почвенно-климатических факторов временного ряда методом главных компонент**

Формирование урожайности зерновых культур происходит за счет совместного влияния множества факторов, относящихся к метеорологическим, почвенным и хозяйственным условиям. Эти показатели имеют между собой сложную структуру взаимосвязей с различными векторными направлениями. Анализ многомерных межфакторных связей является достаточно сложной и трудоемкой задачей. Эффективное решение данной задачи трудно осуществляемая с использованием только одного классического метода. Для получения более полной информации о межфакторных взаимосвязях будет полезным применить одновременно как классические, так и современные (интеллектуальные) методы анализа (Шайхутдинов Ф.Ш., 2016; Валиев А.А. 2016,2017,2021; Ибяттов Р.И. 2017,2019; Киселева 2020). В качестве современного подхода был использован метод главных компонент, который позволил визуализировать исходные данные в новом пространстве главных компонент для выделения наиболее существенного фактора.

Объектом исследования явились данные урожайности яровой пшеницы, полученные без применения минеральных удобрений.

Решение данной задачи заключается в уменьшении размерности изучаемого пространства для анализа взаимосвязей между содержанием в

почве легкогидролизуемого азота ( $^{15}\text{N}$ ), подвижных форм фосфора ( $^{\text{II}}\text{P}$ ), обменного калия ( $^{\text{II}}\text{K}$ ), продуктивной влаги в день посева ( $\text{Pв}$ ), осадков за вегетационный период ( $\text{Qвег}$ ), осадков за май ( $\text{Q5}$ ), осадков за июнь ( $\text{Q6}$ ), осадков за июль ( $\text{Q7}$ ), суммы эффективных температур за вегетацию ( $\text{Сэт}$ ), температуры за май ( $\text{T5}$ ), температуры за июнь ( $\text{T6}$ ), температуры за июль ( $\text{T7}$ ) и отбора наиболее информативных признаков.

На первом этапе проводилось сокращении размерности задачи, т.е. в редукции данных. Для этого к облаку исходных данных (табл. 3.1) был применен МГК. Суть МГК состоит в построении нового пространства, осями которого являются главные компоненты. Главная компонента (ГК) – это вектор в пространстве исходных данных, направленный таким образом, что вдоль нее располагается большая изменчивость выборки. Каждая последующая ГК должна быть перпендикулярна предыдущим компонентам и описывать максимальную изменчивость вдоль своей оси. В результате были получены 12 главных компонент, количество которых соответствует количеству входных факторов. Также были получены доли дисперсии для каждой главной компоненты, причем общая дисперсия при представлении данных в пространстве главных компонент остается без изменений. Полученную общую дисперсию всех факторов принимают за 100 %, а затем распределяют доли дисперсии для каждой компоненты. Вклад первой главной компоненты (ГК1) в общую дисперсию составил 25,8 %, второй компоненты (ГК2) – 14,73 %, ГК3 – 13,95 %, ГК4 – 10,19 %, ГК5 – 8,29 %, ГК6 – 7 %, ГК7 – 5,37 %, ГК8 – 4,57 %, ГК9 – 3,97 %, ГК10 – 2,9 %, ГК11 – 2,02 %, ГК12 – 1,21 %.

Для выделения значимых ГК был применен широко используемый Критерий Кайзера (<http://statsoft.ru/home/textbook/modules/stfacan.html>). Этот метод рекомендует выделять те главные компоненты, дисперсия которых эквивалентна по крайней мере средней дисперсии одной ГК. В этой группе факторов наиболее значимыми являются первые четыре главных компонент, кумулятивная дисперсия которых составляет 64,67 %. Остальные ГК имеют

сумму дисперсии менее 36%. Поэтому практический интерес представляет анализ этих четырех ГК.

Второй этап заключался в визуализации исходных факторов. Их можно представить в виде линейной функции с коэффициентами нагрузок в пространстве главных компонент (табл. 3.3)

$$ГК_i = \beta_{i,j} \cdot N + \beta_{i,j} \cdot P + \beta_{i,j} \cdot K + \beta_{i,j} \cdot Pв + \beta_{i,j} \cdot Q\text{ вес} + \beta_{i,j} \cdot Q_5 + \beta_{i,j} \cdot Q_6 + \beta_{i,j} \cdot Q_7 + \beta_{i,j} \cdot Cэм + \beta_{i,j} \cdot T_5 + \beta_{i,j} \cdot T_6 + \beta_{i,j} \cdot T_7 \quad (3.1)$$

где  $i = 1 \div 12$ ,  $j = 1 \div 12$ .

Для построения графиков использовались коэффициенты значимых компонент, представленных в таблице нагрузок (табл. 3.3). Она представляет собой набор коэффициентов для перехода из начального состояния в пространство данных ГК.

Главная компонента представляет собой линейную комбинацию коррелируемых с ней факторов, имеющих различные коэффициенты нагрузок  $\beta_{i,j}$  (табл. 3.3). Факторы, имеющие весомые коэффициенты, оказывают сильное влияние на ГК, а факторы с небольшими коэффициентами - слабое. Именно поэтому следует выделять сильные факторы, наиболее чувствительные на изменчивость набора данных.

ГК определяет направление наибольшей изменчивости выборки, поэтому целесообразно находить величину таких коэффициентов, которые выразят значение максимальной дисперсии.

Возможное количество вариантов построения двумерных пространств по первым четырем ГК равно шести. Рекомендуется рассматривать различные оси по отношению к одной основной оси. Так как первая главная компонента имеет наибольшую дисперсию, в первую очередь были рассмотрены все оси по отношению к первой компоненте. Полученные графики представлены на рисунках 3.1; 3.2; 3.3.

Аналогичная группировка (кластеризация) также проводилась в работах В.А. Рожкова относительно почвенных свойств (Рожков В.А. 1989, 2018 гг.).

Таблица 3.3 – Таблица коэффициентов нагрузок главных компонент

Факторы	ГК 1	ГК 2	ГК 3	ГК 4	ГК 5	ГК 6	ГК 7	ГК 8	ГК 9	ГК 10	ГК 11	ГК 12
$\Pi_N$	0,4771	-0,4844	-0,2060	-0,0842	0,0515	0,2230	-0,6347	-0,1188	0,1149	0,0306	-0,0677	-0,0149
$\Pi_P$	0,1615	0,2766	-0,8171	-0,0445	-0,1289	-0,0249	0,1676	-0,1141	0,2031	0,3510	-0,0658	-0,0248
$\Pi_K$	0,0926	0,4521	-0,6924	-0,0374	0,2081	-0,1470	-0,1722	0,1755	-0,3776	-0,1757	-0,0763	-0,0390
$P_B$	-0,0814	-0,5601	-0,1703	0,2753	0,6389	0,1207	0,1308	0,3208	-0,0160	0,1645	0,0671	0,0188
$Q_{\text{всг}}$	0,8316	-0,2336	0,0935	-0,1497	0,0803	-0,2488	0,1317	-0,1439	-0,1869	0,0603	-0,1252	0,2494
$Q_5$	0,3618	0,4131	0,2990	0,0013	0,6354	-0,2824	-0,0279	-0,2995	0,1441	0,0024	0,0110	-0,1192
$Q_6$	0,7137	-0,2851	0,0161	0,3633	-0,2800	-0,1721	0,0192	-0,0943	-0,2762	0,1131	0,2200	-0,1497
$Q_7$	0,3675	-0,0839	0,0900	-0,7685	-0,0566	-0,3071	-0,0354	0,3559	0,1182	0,0487	0,1196	-0,0554
$C_{\text{ЭГ}}$	-0,5628	-0,3692	-0,5186	-0,0886	0,0614	-0,2951	-0,0051	-0,2602	0,0977	-0,1802	0,2472	0,0916
$T_5$	-0,5651	-0,6558	0,0036	-0,2342	-0,0081	-0,2190	0,1383	-0,1379	-0,1346	0,0137	-0,2551	-0,1620
$T_6$	-0,6762	0,2185	0,2114	-0,3825	0,1175	0,1736	-0,1683	-0,1649	-0,3182	0,2937	0,1235	0,0422
$T_7$	-0,5165	0,1018	0,1875	0,4268	-0,1209	-0,5679	-0,3169	0,1672	0,0644	0,1670	-0,0640	0,0624
Дисперсия, %	25,8	14,73	13,95	10,19	8,29	7	5,37	4,57	3,97	2,9	2,02	1,21
Кумулятивная дисперсия, %	25,8	40,53	54,48	64,67	72,96	79,96	85,53	89,9	93,87	96,77	98,79	100

На рисунке 3.1 представлен график факторов по первым двум главным компонентам. Кумулятивная дисперсия этих компонент составляет 40,53% от общей дисперсии. Исследуемые факторы сгруппировались в четыре группы (кластеры). Сформированные группы были выделены и пронумерованы. Факторы, входящие в одну группу, однотипны и схожи между собой.

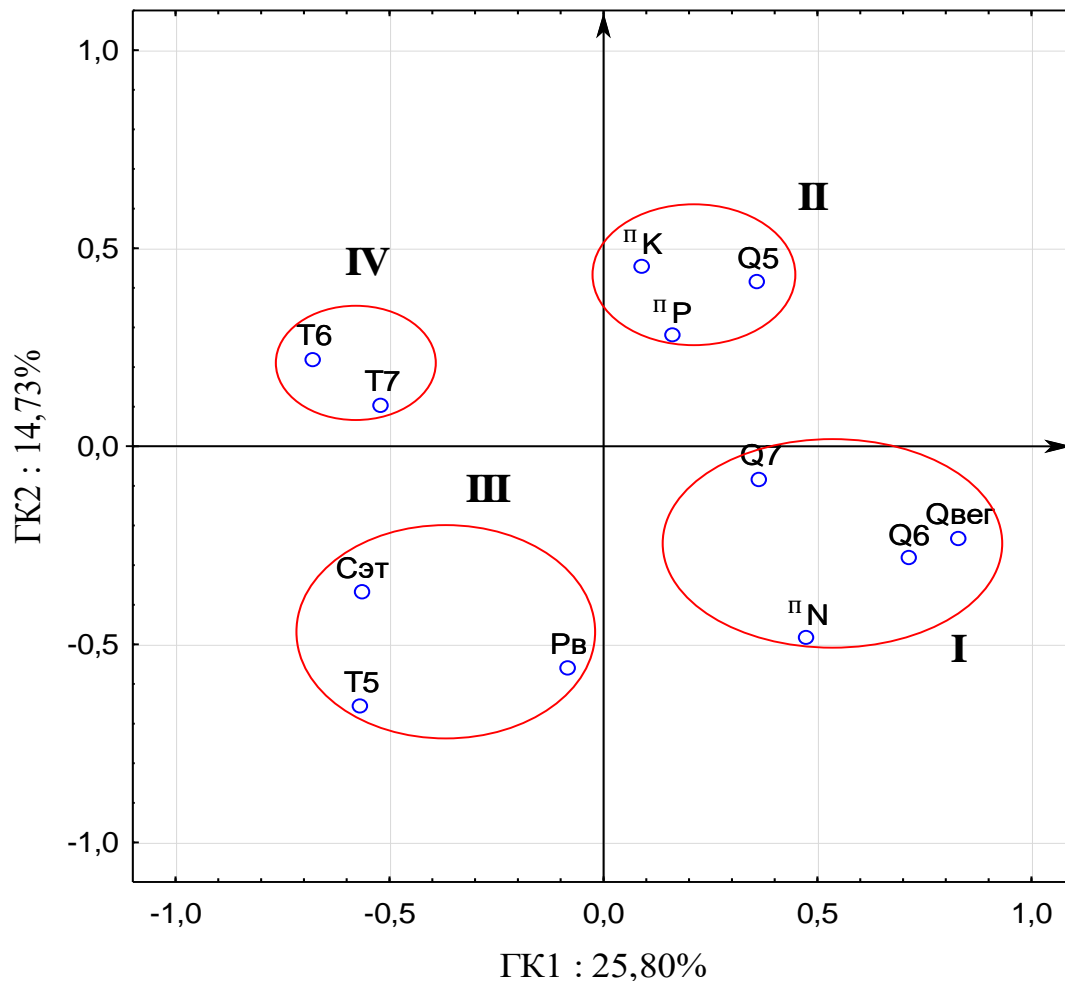


Рисунок 3.1 –Проекция исходных факторов на первые две компоненты

Первую группу (I) формируют факторы, связанные с атмосферными осадками Qveg, Q6, Q7, и содержанием в почве легкогидролизуемого азота ПN. Во вторую группу (II) входят факторы, характеризующие почвенные агрохимические свойства – ПP, ПK. В третью (III) входят Сэт, Т5, Рв, а

четвертую группу (IV) составляют факторы, характеризующие температурный режим Т6 и Т7.

Факторы первой группы имеют между собой линейную связь различной тесноты, но одного направления. Для Qвег и Q6 ( $r=0,64$ ) заметная связь, факторы Qвег и Q7 ( $r=0,42$ ) и Qвег и  $\Pi N$  ( $r=0,37$ ) обладают умеренной связью. Коэффициенты корреляции положительны и статистически достоверны при уровне значимости  $\alpha=0,05$ . Отмеченное состояние еще раз подтверждает большую значимость влаги в создании товарной и побочной продукции яровой пшеницы.

Факторы второй группы имеют связь различной тесноты и векторного направления. Для  $\Pi P$  и  $\Pi K$  парная связь статистически достоверна с коэффициентом  $r=0,50$ . Связь между  $\Pi P$  и Q5 ( $r=-0,08$ ), а также между  $\Pi K$  и Q5 ( $r=0,09$ ) статистически недостоверна, однако они однотипно влияют на первые две компоненты. Факторы третьей группы также имеют различную тесноту связи. Между факторами Сэт и Т5 ( $r=0,58$ ) связь заметная и статистически достоверная, а между Сэт и Рв ( $r=0,22$ ), а также между Т5 и Рв ( $r=0,27$ ) связь слабая и статистически недостоверная (табл. 3.6).

Справа на рисунке расположены факторы группы I Qвег и Q6. Они оказывают существенное влияние на первую главную компоненту, так как их проекция на ось ГК1 имеет наибольшее значение. Это означает, что эти факторы являются наиболее значимыми для ГК1. Слева на графике наибольшее значение проекции на ось ГК1 имеет фактор группы III и IV Т6, Сэт, Т5, которые также оказывают большое влияние на первую главную компоненту, а фактор Т7 и  $\Pi N$  оказывают среднее влияние на ГК1. Остальные факторы меньше среднего отражают влияние на ГК1.

Факторы группы I, II и группы III, IV располагаются в противоположных областях относительно первой главной компоненты. Это говорит о том, что они имеют противоположную корреляцию между собой. Так как вклад ГК1 в общую дисперсию составляет 25,8 %, что утверждает о весомой значимости

климатических показателей - Qveg, Q6, T6, Сэт, T5. Поэтому, первую главную компоненту нами принято называть «Климатические условия».

На вторую главную компоненту наибольшее влияние оказывают факторы T5, Pв, а ПN имеет среднее влияние. Влияние остальных факторов на ГК2 ниже среднего. Вклад второй главной компоненты составляет 14,73%, это меньше, чем первой, но больше остальных ГК.

На рисунках – проекции исходных факторов распределение групп являются критерием их значимости на рассматриваемые компоненты (ГК1 и ГК2). Ниже рассматривается распределение факторов в двухмерном пространстве по выделенным ранее компонентам.

Спроецируем изучаемые факторы на третью главную компоненту, причем ось абсцисс оставим ГК1 (рис. 3.2).

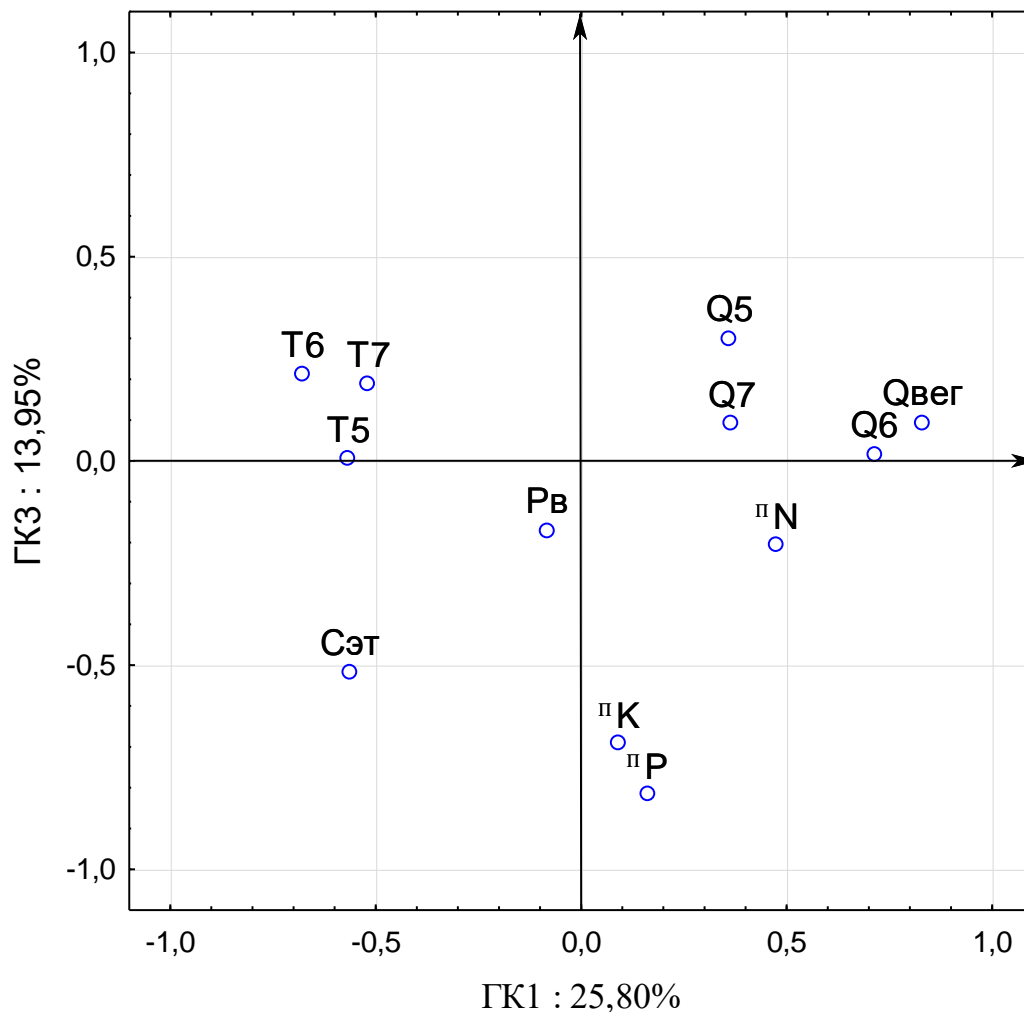


Рисунок 3.2 – Проекция исходных факторов на первую и третью компоненты



Факторы групп II <sup>ПР</sup> и <sup>ПК</sup> оказывают существенное влияния на третью компоненту, их проекция на ось ГК3 выше средних значений, фактор Сэт имеет среднее влияния на ГК3, а остальные факторы влияют ниже среднего (рис. 3.2). Соответственно третья главная компонента представляется как агрохимические свойства почвы, а именно содержание подвижных форм фосфора и калия <sup>ПР</sup> и <sup>ПК</sup>.

Ниже анализируется график распределения факторов для первой и четвертой главных компонент (рис. 3.3).

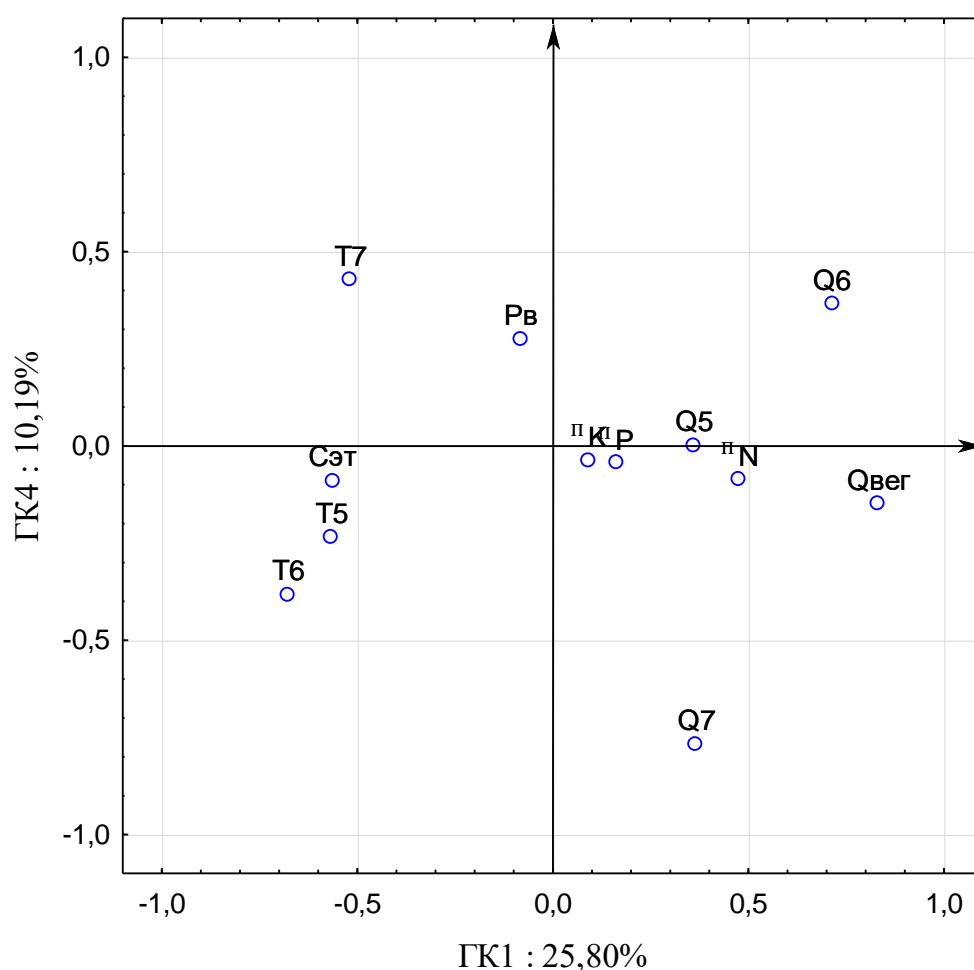


Рисунок 3.3 – Проекция исходных факторов на первую и четвертую компоненты

По рисунку 3.3 видно, что наибольшее влияние на ГК4 оказывает Q7, остальные факторы имеют влияние на ГК4 ниже среднего. Следовательно,

четвертую главную компоненту представим как среднемесячные атмосферные осадки за июль.

По вышеизложенному визуальному анализу – исходные факторы были ранжированы по значимости влияния на главные компоненты, и их результаты представлены в таблицы 3.4.

Таблица 3.4 – Факторы ранжированные по значимости влияния на значимые главные компоненты

Рангфакторов	ГК1	ГК2	ГК3	ГК4
1	Qвег	T5	<sup>П</sup> Р	Q7
2	Q6	Рв	<sup>П</sup> К	T7
3	T6	<sup>П</sup> N	Сэт	T6
4	T5	<sup>П</sup> К	Q5	Q6
5	Сэт	Q5	T6	Рв
6	T7	Сэт	<sup>П</sup> N	T5
7	<sup>П</sup> N	Q6	T7	Qвег
8	Q7	<sup>П</sup> Р	Рв	Сэт
9	Q5	Qвег	Qвег	<sup>П</sup> N
10	<sup>П</sup> Р	T6	Q7	<sup>П</sup> Р
11	<sup>П</sup> К	T7	Q6	<sup>П</sup> К
12	Рв	Q7	T5	Q5

Смысл ГК определяется несколькими верхними по рангу факторами (табл.3.3). ГК1 – представляет климатические условия, ГК2 – представляет T5, Рв, и <sup>П</sup>N, ГК3 – почвенные агрохимические свойства <sup>П</sup>Р и <sup>П</sup>К, ГК4 – среднемесячные атмосферные осадки за июль – Q7 и среднемесячная температура за июль T7.

После анализа характеристик главных компонент, следует также изобразить исходную информацию в пространстве значимых ГК. Для этого в уравнение (3.1), соответствующие коэффициенты которых представлены в таблице 3.3, подставляются значения заданных факторов из таблицы 3.1. В результате были получены координаты исходной информации в пространстве главных компонент (табл. 3.5).

Таблица 3.5 – Координаты исходной информации в пространстве главных компонент

Годы	Идентификатор	Уф	ГК1	ГК2	ГК3	ГК4	ГК5	ГК6	ГК7	ГК8	ГК9	ГК10	ГК11	ГК12
1982	24B	2,13	1,5257	-0,9866	1,2274	1,3656	0,1416	0,2547	0,1615	-0,8333	1,6445	-0,6918	0,0988	0,2395
1983	33C	1,81	2,9989	-0,2954	2,2479	0,3027	1,1505	-0,5886	-0,1818	-0,7303	0,6267	-0,5689	-0,1950	-0,3498
1984	29L	1,45	0,1778	-2,2843	2,6730	0,1590	-1,0430	-0,0794	0,6239	0,0983	-0,2454	0,0289	-0,4578	0,1495
1985	26D	2,01	2,1126	-0,4682	0,9745	-0,5306	-0,0843	1,0187	-0,2709	0,5872	0,6402	-0,6262	-0,3000	0,0736
1986	16P	2,34	0,9572	1,5254	-0,7818	-0,3947	-1,6370	1,2640	0,9375	-0,3872	-0,3303	-0,2368	0,5617	-0,1768
1987	28V	1,94	0,5354	-0,4613	1,5681	-2,1680	-0,3732	0,5794	-0,5153	-0,5844	-0,5895	-0,2629	-0,1536	-0,0844
1988	19V	0,99	-1,4077	0,3139	3,0961	0,5174	-1,8394	-0,4462	0,4689	0,6242	-0,5346	0,6895	0,3113	0,6554
1989	31Z	1,11	0,3558	1,9862	2,3335	-1,2463	2,6627	-1,0445	0,8139	-0,5308	-0,1157	0,9416	-0,0489	0,2469
1990	34E	1,76	3,4542	0,2364	-1,2834	0,7033	-0,5600	0,3542	0,1429	1,0106	-1,1087	1,0624	-0,3593	0,1960
1991	5W	1,39	-1,8176	0,3376	-0,0078	-0,1464	-0,6329	1,5685	1,1740	-0,9838	1,0605	1,6794	-0,6181	-0,2373
1992	7I	2,14	-0,2326	1,6499	-0,3171	0,0649	0,1235	1,8095	1,0059	0,8725	0,5552	-0,9378	-0,4138	0,0211
1993	8H	2,27	-0,8117	-0,2776	0,8720	1,4331	-0,4998	0,9763	1,1079	0,6244	-0,5950	-1,0985	0,0300	-0,2900
1994	35F	2,56	3,1296	-0,4231	-0,1670	-0,2322	0,4757	0,1856	0,8075	-0,9268	-0,0279	-0,2475	0,8262	0,1326
1995	10X	1,89	-1,7689	-1,6074	0,5682	-1,5497	-0,0997	1,0354	-0,7421	0,6452	0,2082	0,0978	-0,0593	0,2756
1996	9N	1,97	-1,0797	-2,9144	-0,4445	2,1304	2,9351	1,2525	0,1903	1,4753	-0,3535	0,7104	0,3225	-0,3857
1997	23U	2,97	0,9648	0,2463	-0,8238	0,0824	0,3223	0,8118	-1,1243	-0,6763	-1,6014	-0,5196	0,7472	0,1833
1998	2Z	1,14	-2,2473	1,4833	1,2373	-0,6769	0,6530	0,1274	-0,2914	0,8709	-0,3543	-0,1975	0,1690	-0,5403
1999	3S	1,4	-0,1744	3,0218	0,5984	-0,1743	-0,5321	0,4508	-1,3130	0,7475	0,5563	-0,1435	0,3897	-0,2375
2000	22Q	2,02	1,5187	1,7549	0,4745	1,5480	-0,4490	0,0872	-1,3025	-0,4395	-0,3699	0,6349	0,0742	0,2550

продолжение таблицы 3.5

Годы	Идентификатор	Уф	ГК1	ГК2	ГК3	ГК4	ГК5	ГК6	ГК7	ГК8	ГК9	ГК10	ГК11	ГК12
2001	20J	2,41	-0,0459	0,8879	-0,8348	1,3139	1,6192	-0,9935	-0,2539	-1,0005	0,2997	-0,2113	-0,4751	-0,2764
2002	17I	2,46	0,5867	1,7568	-0,7474	1,5331	0,1249	0,1826	-1,0091	0,4214	0,5145	0,4136	-0,7369	0,4721
2003	27A	2,35	2,0951	-0,1751	-1,6882	0,0630	-0,9178	-0,9741	-0,3806	0,9395	0,1866	-0,0053	-1,1142	-0,5864
2004	32K	2,57	0,8573	-0,7608	-0,5767	-0,2464	0,0211	-0,7377	-0,5570	0,0514	-0,0459	0,0904	-0,4234	0,7307
2005	33H	2,69	1,3698	-2,1215	-0,4906	-0,1760	-0,5448	-0,4490	-0,1591	-0,6112	-1,3178	-0,3872	-0,6087	-0,1578
2006	18X	2,16	-0,3705	1,2986	-0,0941	-1,0586	1,0563	0,7748	0,3736	-0,4074	-0,6213	0,0155	-0,2175	-0,1880
2007	30G	2,24	1,0158	-0,6186	-0,5335	-2,9085	0,0953	-1,9444	0,6638	1,5265	0,5421	-0,1188	-0,1083	-0,1388
2008	25G	2,2	0,9914	1,5181	-0,7980	0,6337	0,0771	-1,7176	1,6603	0,2110	-0,7831	-0,0774	0,5523	-0,2649
2009	4U	2,05	-0,9708	0,4842	-1,7747	-1,0590	-0,1408	0,3506	-0,7942	-0,1845	0,2623	0,1929	0,2665	-0,5112
2010	1Y	1	-4,7463	0,9186	0,5992	0,8574	-0,5541	-1,4507	-0,6968	-0,4740	-0,3167	-0,6980	-0,4761	-0,2379
2011	11L	2,49	0,2447	-1,4743	0,9411	0,9144	-1,4870	-1,1324	-0,8059	0,0262	0,5837	0,9919	1,1130	-0,9103
2012	14T	1,88	-1,3735	-1,1384	-0,0809	-0,0385	0,2533	-0,0130	-1,3191	-0,4928	-0,2019	-0,2325	-0,2491	0,1321
2013	12W	1,46	-1,8447	-1,1566	-0,5839	-0,8652	1,0570	-0,0526	-0,7558	0,2900	-0,0740	-0,0024	0,5996	0,4615
2014	15M	1,45	-1,0896	-1,5130	-1,4699	0,2839	-0,6856	0,1892	0,6182	-1,3912	0,2120	0,1064	-0,1646	-0,2604
2015	16Y	2,17	-1,4686	-0,4350	-1,6678	-1,8529	-0,0804	0,2824	0,2991	-0,8758	-0,0175	0,4007	-0,0016	0,0724
2016	13R	2,09	-2,5426	0,1006	-1,3739	0,9955	-0,1891	-0,8888	1,1081	-0,0656	-0,4093	-0,1633	-0,1415	0,6312
2017	21D	2,19	1,1988	-0,0911	-1,8548	-0,2463	-0,2654	-0,2289	-0,2353	0,2140	1,2371	-0,0515	0,7538	0,5668
2018	6J	2,33	-2,0981	-0,3180	-1,0165	0,6688	-0,1530	-0,8141	0,5511	0,3595	0,8840	-0,5776	0,5070	0,3389

На рисунке 3.4 представлены переменные по первой и второй главным компонентам. Каждая переменная исходной матрицы была поименована, то есть идентифицирована. Идентификатор состоит из арабских цифр и латинских букв. Поскольку наиболее высокими по рангу (табл. 3.4) факторами, являются осадки и температура, было принято решение использовать их в качестве идентификатора.

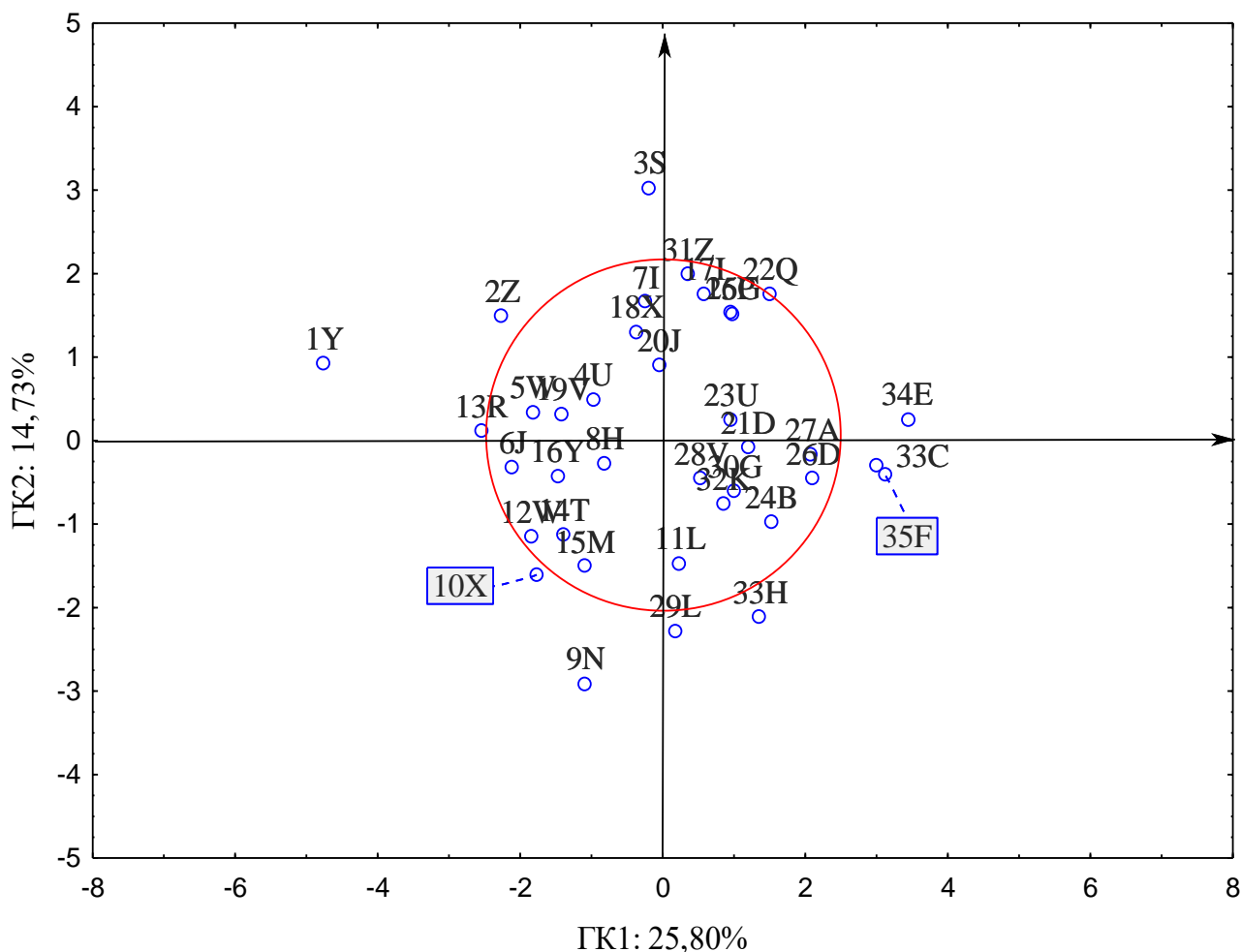


Рисунок 3.4 – Проекция исходных переменных на первые две компоненты

Цифрами обозначены осадки за июнь (Qвег) в порядке возрастания значений, а буквами температура за июнь (Т6).

Исследуя переменные в пространстве главных компонент GK1-GK2 (рис. 3.4) можно заметить некоторую закономерность по (Qвег) и (Т6). Преимущественно справа графика располагаются точки имеющие идентификаторы с большими цифрами (влажные годы) и начальными буквами

алфавита (низкая температура), а слева наоборот с маленькими цифрами (засушливые года) и последними буквами алфавита (высокая температура).

Вблизи центра находится большинство образцов. Анализ этих образцов расположенных вблизи центра координат и исходной матрицы, показал, что они являются типичными (для рассматриваемого периода 1982-2018 гг.), то есть средними годами. Вызывает большой интерес исследования точек, расположенных вдали от центра, то есть нетипичных, так как они имеют большие веса на ГК. Слева на графике к нетипичным годам относятся образцы: 1Y(2010г.), 2Z (1998г.), 3S (1999г.), 9N (1996г.), 10X (1995г.). Эти обозначения содержат маленькие значения цифр, а также буквы, расположенные в конце латинского алфавита, они показывают высокую температуру и минимум осадков. Отсюда следует, что нетипичными оказались экстремально засушливые годы. В этих годах коэффициент ГТК варьируется от 0,18 до 0,72 (приложение 6).

Справа расположены образцы с большими цифрами и начальными буквами – 34E (1990 г.), 33C (1983 г.), 35F (1994 г.), 33H (2005 г.), 29L (1984 г.). Гидротермический коэффициент в этих годах выше среднего и варьируется от 1,52 до 2,12 (приложение 6). В этих годах преобладают низкие температуры и обильные осадки. Все эти года также являются нетипичными и требуют особого внимания при анализе выборки временной ряда.

Таким образом, первичный анализ матрицы временного ряда позволил:

1. Сократить размерность задачи и визуализировать данные в новом пространстве.
2. Ранжировать факторы по значимости их влияний на общую изменчивость всей выборки и группировать (кластеризовать) в 4 основные группы.
3. В результате анализа сельскохозяйственные годы объединены в 3 группы по сходству влияния – типичные, экстремально засушливые,

благоприятные. Из вышеперечисленных групп большую часть годов представляет группа типичных годов.

### **3.3. Особенности связи между почвенно-климатическими факторами и урожайностью яровой пшеницы без внесения удобрений**

Общеизвестно, что продуктивность растений, в том числе сельскохозяйственных культур, обуславливается погодно-климатическими условиями (Кук Д.У., 1975; Каюмов М.К., 1989; Зиганшин А.А., 2001; Ефимов В.Н., Донских И.Н., Царенко В.П., 2002; Минеев В.Г., 2004; Кидин В.В., Торшин С.П., 2016; Гилязов М.Ю., Лукманов А.А., Муратов М.Р., 2016). Так, влагообеспеченность растений определяет интенсивность фотосинтеза, растворимость, перенос, доступность элементов питания (Сапожников Н.А., Корнилов М.Ф., 1977; Минеев В.Г., 1985; Кумаков В.А., 1988; Ягодин Б.А., Жуков Ю.П., Кобзаренко В.И., 2003; Сафонов А.Ф. и др., 2006; Муравин Э.А., Титова В.И., 2009; Савельев В.А., 2016; Минеев В.Г. и др., 2017).

В данном подразделе анализируется связь между почвенно-климатическими свойствами – содержанием легкогидролизуемого азота ( $^{II}N$ ), подвижных форм фосфора ( $^{II}P$ ) и обменного калия ( $^{II}K$ ), атмосферными осадками за вегетационный период ( $Q_{veg}$ ), среднемесячными атмосферными осадками за май ( $Q_5$ ), среднемесячными атмосферными осадками за июнь ( $Q_6$ ), среднемесячными атмосферными осадками за июль ( $Q_7$ ), суммой эффективных температур за вегетационный период ( $C_{эт}$ ), среднемесячной температурой за май ( $T_5$ ), среднемесячной температурой за июнь ( $T_6$ ) и среднемесячной температурой за июль ( $T_7$ ), продуктивной влаги в почве перед посевом ( $P_v$ ).

#### **3.3.1. Парная связь между почвенно-климатическими факторами и урожайностью яровой пшеницы без внесения удобрений**

Показатели фактической урожайности яровой пшеницы и почвенно-климатических факторов между собой имеют линейную связь различной тесноты и направления, положительные коэффициенты изменяются от 0,02 до 0,29, а отрицательные от -0,06 до -0,34 (табл. 3.6).

Таблица 3.6 – Коэффициенты парной корреляции урожайности яровой пшеницы и почвенно-климатических факторов без внесения удобрений

	Уф	П <sub>N</sub>	П <sub>P</sub>	П <sub>K</sub>	P <sub>B</sub>	Q <sub>вег</sub>	Q <sub>5</sub>	Q <sub>6</sub>	Q <sub>7</sub>	Сэт	T <sub>5</sub>	T <sub>6</sub>	T <sub>7</sub>
Уф	<b>1</b>	0,24	0,22	0,16	0,02	0,23	0,03	0,29	-0,06	-0,09	-0,21	-0,34	-0,29
П <sub>N</sub>	0,24	<b>1</b>	0,05	-0,01	0,18	0,37	-0,05	0,35	0,18	-0,02	-0,05	-0,31	-0,31
П <sub>P</sub>	0,22	0,05	<b>1</b>	0,50	-0,09	0,02	-0,08	0,03	0,00	0,20	-0,22	-0,20	-0,20
П <sub>K</sub>	0,16	-0,01	0,50	<b>1</b>	-0,03	-0,02	0,09	-0,07	0,00	0,13	-0,29	-0,04	-0,06
P <sub>B</sub>	0,02	0,18	-0,09	-0,03	<b>1</b>	0,01	-0,04	0,01	-0,16	0,22	0,27	-0,13	-0,04
Q <sub>вег</sub>	0,23	0,37	0,02	-0,02	0,01	<b>1</b>	0,33	0,64	0,42	-0,34	-0,17	-0,50	-0,41
Q <sub>5</sub>	0,03	-0,05	-0,08	0,09	-0,04	0,33	<b>1</b>	0,02	0,09	-0,31	-0,38	-0,06	-0,04
Q <sub>6</sub>	0,29	0,35	0,03	-0,07	0,01	0,64	0,02	<b>1</b>	0,05	-0,29	-0,24	-0,59	-0,15
Q <sub>7</sub>	-0,06	0,18	0,00	0,00	-0,16	0,42	0,09	0,05	<b>1</b>	-0,13	0,00	-0,08	-0,25
Сэт	-0,09	-0,02	0,20	0,13	0,22	-0,34	-0,31	-0,29	-0,13	<b>1</b>	0,58	0,17	0,20
T <sub>5</sub>	-0,21	-0,05	-0,22	-0,29	0,27	-0,17	-0,38	-0,24	0,00	0,58	<b>1</b>	0,30	0,18
T <sub>6</sub>	-0,34	-0,31	-0,20	-0,04	-0,13	-0,50	-0,06	-0,59	-0,08	0,17	0,30	<b>1</b>	0,18
T <sub>7</sub>	-0,29	-0,31	-0,20	-0,06	-0,04	-0,41	-0,04	-0,15	-0,25	0,20	0,18	0,18	<b>1</b>



На неудобренной почве содержание подвижных форм всех трех основных питательных элементов оказали заметное положительное влияние на урожайность яровой пшеницы. Наиболее тесно урожайность коррелировалась от содержания легкогидролизуемого азота ( $r = 0,24$ ), что ещё раз подтверждает главенствующую роль азота в формировании урожая, отмеченное многими исследователями (Прянишников Д.Н., 1965; Кореньков Д.А., 1982; Ягодин Б.А. и др., 2002; Гамзиков Д.П., 2013). Данное обстоятельство также указывает на достаточную информативность для диагностики азотного питания легкогидролизуемого азота, определяемого по Тюрину-Кононовой. Чуть слабее была зависимость урожайности пшеницы от содержания в почве подвижных форм фосфора ( $r = 0,22$ ). По сравнению с этими двумя агрохимическими показателями почвы, зависимость продуктивности изучаемой культуры от обеспеченности обменным калием была заметно слабее ( $r = 0,16$ ). В целом, указанные агрохимические параметры почвы играли важную роль в формировании урожайности яровой пшеницы на неудобренной почве.

Определенный интерес представляет зависимость агрохимических показателей почвы между собой и от метеорологических условий. Связь между парами  $^{II}N$  и  $^{II}P$ ,  $^{II}N$  и  $^{II}K$  статистически недостоверна, а в паре  $^{II}P$  и  $^{II}K$  она статистически достоверна и положительна с заметным коэффициентом корреляции – 0,50, что свидетельствует, на наш взгляд, об относительной сходимости динамики изменения содержания подвижных форм фосфора и обменного калия, в то время как изменения в содержании легкогидролизуемого азота были подвержены значительным изменениям в зависимости от складывающихся погодных условий во время вегетации яровой пшеницы.

На содержание легкогидролизуемого азота заметное положительное влияние оказывало количество атмосферных осадков за вегетационный период  $r = 0,37$ , и особенно в июне ( $r = 0,35$ ), в то время как повышенный температурный режим в июне и июле действовал в противоположном направлении ( $r = -0,31$ ).

Негативное влияние повышенных температур воздуха обнаружилось и в отношении содержания в почве подвижных форм фосфора и калия: если содержания обменного калия коррелировалось с температурой мая ( $r = -0,29$ ), то отрицательная корреляция содержания подвижных форм фосфора от температурного режима прослеживалась с мая ( $r = -0,22$ ) по июль ( $r = -0,20$ ). Указанные отрицательные связи содержания в почве подвижных форм азота, фосфора и калия от температуры воздуха показывают, на наш взгляд, их переход в малодоступное состояние в засушливых условиях.

В отличие от агрохимических показателей почвы, практически не оказало влияние на величину урожая количество продуктивной влаги в метровом слое почвы в день посева ( $r = 0,02$ ). Данное обстоятельство указывает на то, что во все годы исследования количество продуктивной влаги в метровом слое почвы в день посева было достаточным для появления всходов и первоначального роста, а дальнейший рост и развитие растений обуславливались атмосферными осадками вегетационного периода.

Весьма примечательным является зависимость урожайности от различных метеорологических показателей вегетационного периода. В первую очередь бросается в глаза то, что, если повышение температуры воздуха однозначно сопровождалось снижением урожайности ( $r = -0,09 \div -0,34$ ), то увеличение количества осадков, как правило, –повышением урожайности яровой пшеницы ( $r = 0,03 \div 0,29$ ).

Среди климатических факторов на неудобренной почве наибольшее положительное влияние на урожайность яровой пшеницы оказали июньские атмосферные осадки ( $r = 0,29$ ), что было более действенным, чем общее количество осадков за весь вегетационный период ( $r = 0,23$ ). Лишь осадки июля, выпадающие во время созревания и уборки урожая яровой пшеницы, уже начинали оказывать негативное влияние на величину конечного урожая ( $r = -0,06$ ). Особенно заметное негативное влияние на урожайность яровой пшеницы оказывала повышенная температура воздуха в июне ( $r = -0,34$ ).

Таким образом, полученные на основе парной корреляции материалы позволяют утверждать, что в условиях данного эксперимента температурный режим не был лимитирующим фактором продуктивности яровой пшеницы. Среди почвенно-климатических факторов на неудобренной почве наибольшее положительное влияние на урожайность яровой пшеницы оказывали июньские атмосферные осадки ( $r=0,29$ ) и содержание в пахотном слое легкогидролизуемого азота ( $r=0,24$ ).

Анализ параметров парной связи дает возможность дальнейшему ходу исследования формирования урожайности яровой пшеницы с применением более сложных математических приемов – множественной линейной и нелинейной корреляции.

### **3.3.2. Множественная связь между почвенно-климатическими факторами и урожайностью яровой пшеницы без внесения удобрений**

Для роста и развития естественной и культурной растительности наиболее важными факторами являются теплообеспеченность, влагообеспеченность и наличие элементов минерального питания (Теоретические основы..., 1991; Карманов И.И., Булгаков Е.А., 2013 и др.). К данной теоретической концепции также верны специалисты работающие в области агрохимии (Аввакумов О.В. и др., 2013; Сычев В.Г., Афанасьев Р.А., 2017; Давлятшин И.Д., Лукманов А.А., 2016; Давлятшин И.Д., 2019) Такая позиция ученых служит нам основой для отдельного рассмотрения множественной связи между почвенно-климатическими показателями и урожайностью яровой пшеницы.

Выборка состоит из 12 компонентов: агрохимические свойства почв – содержание легкогидролизуемого азота ( ${}^{\text{П}}\text{N}$ ), подвижных форм фосфора ( ${}^{\text{П}}\text{P}$ ) и обменного калия ( ${}^{\text{П}}\text{K}$ ). К перечисленным агрохимическим свойствам присоединены запасы влаги в почве перед посевом ( $\text{Pв}$ ). Вода растениями в основном извлекается из почвы с последующим использованием для переноса элементов и питания, и продукта фотосинтеза - крахмала, синтезируемого

неорганическими компонентами – углекислым газом и водой. Процесс эндогенный с поглощением тепловой энергии солнечных лучей.

Климатические факторы представлены атмосферными осадками за вегетационный период ( $Q_{\text{вег}}$ ), среднемесячными осадками за май ( $Q_5$ ), среднемесячными осадками за июнь ( $Q_6$ ), среднемесячными осадками за июль ( $Q_7$ ), и показателями теплового режима – среднемесячной температурой за май ( $T_5$ ), среднемесячной температурой за июнь ( $T_6$ ), среднемесячной температурой за июль ( $T_7$ ). Функцией служит урожайность яровой пшеницы (табл. 3.1).

По данным почвенно-климатических факторов и урожайностью яровой пшеницы (табл. 3.1) были определены коэффициенты линейной множественной регрессии, которые представлены в таблице 3.7.

Таблица 3.7 – Коэффициенты уравнения регрессии

Коэффициент множественной корреляции – $R = 0,783$	
Коэффициент детерминации – $R^2 = 0,613$	
F-критерия Фишера – $F = 3,16$ , Уровень значимости – $p = 0,008$	
Факторы	Коэффициенты факторов в уравнении регрессии
Св. член	1,900915
$\Pi_N$	0,005752
$\Pi_P$	-0,002210
$\Pi_K$	0,010652
$P_B$	-0,000886
$Q_{\text{вег}}$	0,000146
$Q_5$	-0,001412
$Q_6$	0,003345
$Q_7$	-0,000870
Сэт	0,000847
$T_5$	-0,032830
$T_6$	-0,064920
$T_7$	-0,070997

Между почвенно-климатическими факторами и урожайностью яровой пшеницы множественная корреляционная связь статистически достоверна при  $r=0,783$  (табл. 3.7). При этом расчетный критерий Фишера  $F=3,16$  больше табличного  $F_{\text{табл}}=2,02$ , что подтверждает статистическую значимость

уравнения регрессии. Общий уровень  $p$  - значимости равен 0,008, что говорит об уверенности суждения достоверности связи на 99%.

По вышеперечисленным факторам и урожайностью яровой пшеницы было составлено уравнения множественной линейной регрессии (3.2). При составлении регрессионного уравнения были использованы данные таблицы 3.1 и таблицы 3.7. Полученное уравнение имеет следующий вид:

$$\begin{aligned}
 Y_p = & 1,900915 + 0,005752 \cdot {}^nN - 0,00221 \cdot {}^nP + 0,010652 \cdot {}^nK - 0,000886 \cdot \\
 & \cdot P_v + 0,000146 \cdot Q_{вег} - 0,001412 \cdot Q_5 + 0,003345 \cdot Q_6 - 0,00087 \cdot Q_7 + \\
 & + 0,000847 \cdot C_{эт} - 0,03283 \cdot T_5 - 0,06492 \cdot T_6 - 0,070997 \cdot T_7 .
 \end{aligned} \quad (3.2)$$

Уравнение (3.2) представляет математическую модель урожайности яровой пшеницы по почвенно-климатическим факторам без внесения удобрений. Используя уравнения (3.2) можно определить значения расчетной урожайности.

Для более углубленного исследования влияния агрохимических показателей почвы на урожайность яровой пшеницы были составлены уравнения регрессии второго порядка (3.3-3.5):

$$\begin{aligned}
 Y_p = & -6,7384 + 0,1399 \cdot {}^nP - 0,0404 \cdot {}^nN - 0,0004 \cdot {}^nP^2 - \\
 & - 0,0002 \cdot {}^nP \cdot {}^nN + 0,0003 \cdot {}^nN^2
 \end{aligned} \quad (3.3)$$

$$\begin{aligned}
 Y_p = & -4,0506 + 0,0096 \cdot {}^nK + 0,0538 \cdot {}^nN + 0,0003 \cdot {}^nK^2 - \\
 & - 0,0004 \cdot {}^nK \cdot {}^nN + 3,8248E-5 \cdot {}^nN^2
 \end{aligned} \quad (3.4)$$

$$\begin{aligned}
 Y_p = & -3,8864 + 0,1505 \cdot {}^nP - 0,0947 \cdot {}^nK - 0,0006 \cdot {}^nP^2 + \\
 & + 0,0002 \cdot {}^nP \cdot {}^nK + 0,0003 \cdot {}^nK^2
 \end{aligned} \quad (3.5)$$

Эти уравнения также представляют собой математические модели зависимости урожайности яровой пшеницы от агрохимических свойств почвы. По этим уравнениям построены графические образы в трехмерном

пространстве (рис. 3.5-3.7), которые наглядно показывают зависимость величины урожайности яровой пшеницы от содержания в серой лесной почве подвижных форм азота, фосфора и калия.

Без применения минеральных удобрений урожайность не менее 2,5 т/га зерна была получена при максимальном содержании легкогидролизуемого азота (160 мг/кг) и 140-170 мг/кг подвижных форм фосфора (рис. 3.5). Здесь же видно, что минимальная урожайность была получена при содержании указанных питательных веществ менее 100 мг/кг почвы.

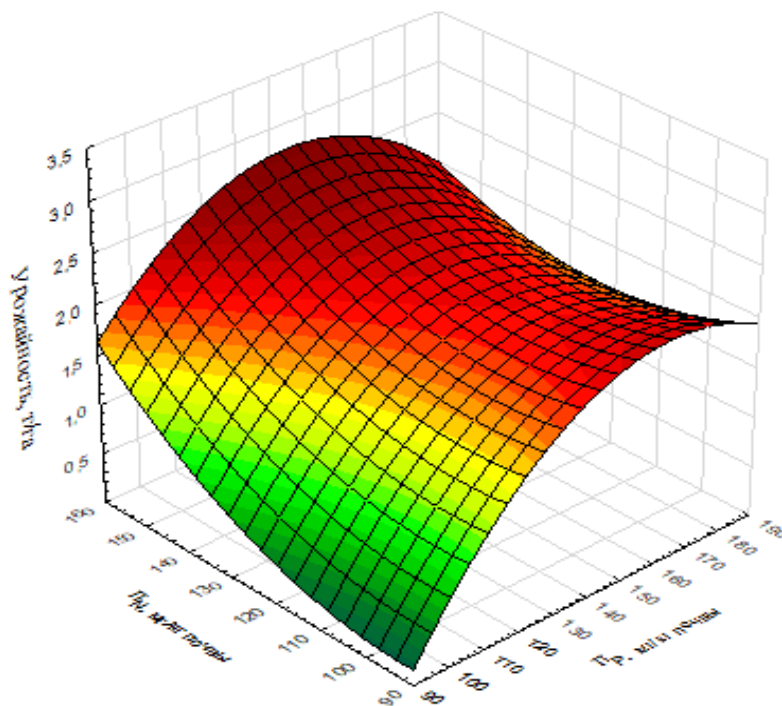


Рисунок 3.5 – Характер зависимости урожайности яровой пшеницы от обеспеченности серой лесной почвы легкогидролизуемым азотом ( $^{II}N$ ) и подвижными формами фосфора ( $^{II}P$ )

Данные рис.3.6 ещё раз демонстрируют важную роль в повышении продуктивности яровой пшеницы обеспеченности почвы легкогидролизуемым азотом, ибо высокие урожаи без применения удобрений (2,4-2,8 т/га) были получены при максимальной величине именно этого агрохимического показателя почвы (160 мг/кг). Роль обеспеченности серой лесной почвы обменным калием оказалась не столь очевидной, так как указанные урожаи

(2,4-2,8 т/га) были получены в диапазоне его содержания от 70 до 150 мг/кг почвы. В тоже время, максимальному содержанию обменного калия (150 мг/кг) соответствовали наибольшие урожаи (около 2,7-2,8 т/га).

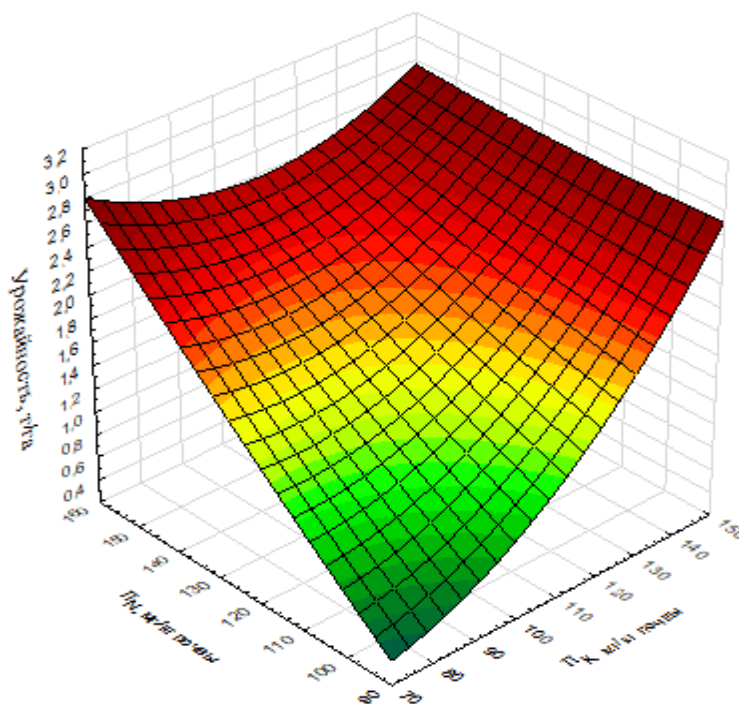


Рисунок 3.6 – Характер зависимости урожайности яровой пшеницы от обеспеченности серой лесной почвы легкогидролизуемым азотом ( $^{II}N$ ) и обменным калием ( $^{II}K$ )

Сложный характер зависимости урожайности яровой пшеницы от содержания подвижных форм фосфора и калия иллюстрируется данными рис. 3.7. Интересным представляется то, что при содержании подвижных форм фосфора более 170 мг/кг и менее 140 мг/кг наблюдалось заметное снижение урожайности независимо от обеспеченности почвы обменным калием. В этом диапазоне содержания подвижных форм фосфора (140-170 мг/кг) для получения неплохих урожаев достаточным оказалось содержание обменного калия чуть выше 110 мг/кг.

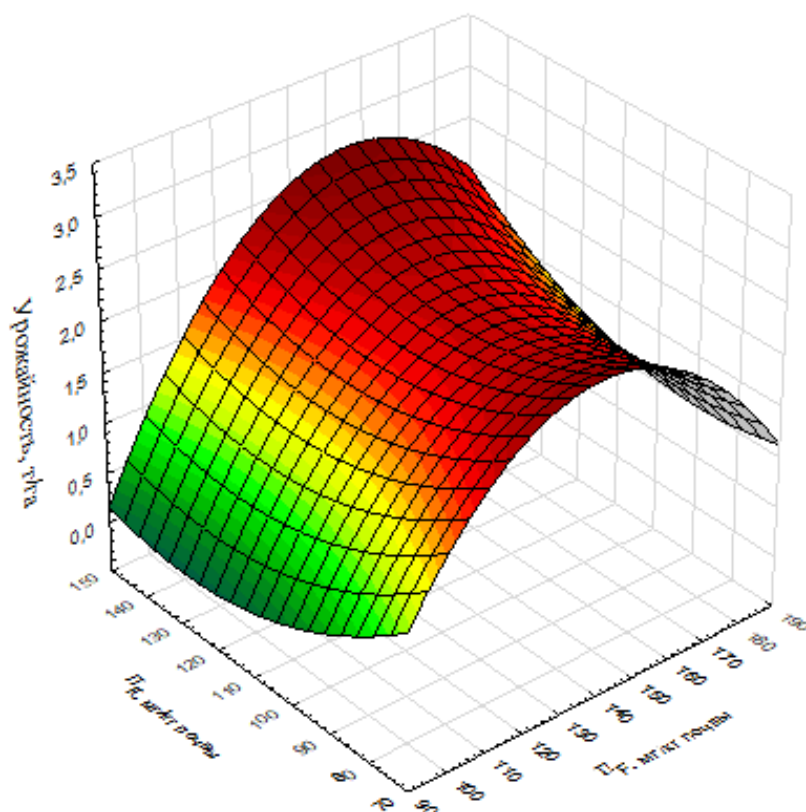


Рисунок 3.7 – Характер зависимости урожайности яровой пшеницы от обеспеченности серой лесной почвы подвижными формами фосфора ( $P$ ) и обменного калия ( $K$ )

Таким образом, проведенный нами анализ почвенно-климатических факторов и урожайности яровой пшеницы показал, что на динамику урожайности яровой пшеницы оказывают влияния факторы, изменяющиеся во времени. К этим факторам относятся почвенные свойства – содержание подвижных и доступных растениям азота, фосфора и калия, а также продуктивной влаги, зависящей от количества выпавших атмосферных осадков.



### 3.4. Зависимость урожайности яровой пшеницы от уровня применения минеральных удобрений и почвенных факторов

В данном подразделе анализируется связь между урожайностью яровой пшеницы и нормой внесения азотных удобрений ( $^yN$ ), нормой внесения фосфорных удобрений ( $^yP$ ), нормой внесения калийных удобрений ( $^yK$ ), содержанием в почве легкогидролизуемого азота ( $^{II}N$ ), содержанием в почве подвижных форм фосфора ( $^{II}P$ ) и содержанием в почве обменного калия ( $^{II}K$ ) и продуктивной влаги в почве перед посевом ( $Pв$ ). Показатели урожайности яровой пшеницы, нормы внесений удобрений и почвенные факторы по трем фоном питания представлены в таблице 3.8.

Таблица 3.8 – Показатели урожайности яровой пшеницы, нормы внесений удобрений и почвенные факторы по трем фоном питания

Годы	Фон	Уф, т/га	$^yN$ , кг/га д.в.	$^yP$ , кг/га д.в.	$^yK$ , кг/га д.в.	$^{II}N$ , мг/кг почвы	$^{II}P$ , мг/кг почвы	$^{II}K$ , мг/кг почвы	$Pв$ , мм
1982	I	2,13	0	0	0	143	128	88	171
1982	II	3,30	86	42	45	143	128	88	171
1982	III	4,10	122	85	86	143	128	88	171
1983	I	1,81	0	0	0	144	114	101	165
1983	II	2,79	80	40	45	144	114	101	165
1983	III	3,18	114	78	90	144	114	101	165
1984	I	1,45	0	0	0	130	103	82	170
1984	II	2,84	78	43	42	130	103	82	170
1984	III	3,28	111	88	84	130	103	82	170
1985	I	2,01	0	0	0	148	126	107	166
1985	II	3,24	86	45	44	148	126	107	166
1985	III	4,26	126	95	94	148	126	107	166
1986	I	2,34	0	0	0	121	165	122	130
1986	II	3,72	113	52	46	121	165	122	130
1986	III	5,03	137	99	96	121	165	122	130
1987	I	1,94	0	0	0	143	117	107	140
1987	II	2,49	70	43	42	143	117	107	140
1987	III	3,61	121	88	84	143	117	107	140

продолжение таблицы 3.8

Годы	Фон	Уф, т/га	$^yN$ , кг/га д.в.	$^yP$ , кг/га д.в.	$^yK$ , кг/га д.в.	$^{II}N$ , мг/кг ПОЧВЫ	$^{II}P$ , мг/кг ПОЧВЫ	$^{II}K$ , мг/кг ПОЧВЫ	$R_B$ , мм
1988	I	0,99	0	0	0	105	109	88	145
1988	II	1,55	70	40	40	105	109	88	145
1988	III	2,38	101	78	80	105	109	88	145
1989	I	1,11	0	0	0	109	132	112	175
1989	II	2,14	87	40	40	109	132	112	175
1989	III	2,61	123	78	80	109	132	112	175
1990	I	1,76	0	0	0	142	173	136	181
1990	II	2,89	83	36	47	142	173	136	181
1990	III	4,13	118	64	94	142	173	136	181
1991	I	1,39	0	0	0	122	180	90	164
1991	II	2,94	83	40	44	122	180	90	164
1991	III	4,39	118	78	88	122	180	90	164
1992	I	2,14	0	0	0	117	147	124	166
1992	II	2,99	78	42	50	117	147	124	166
1992	III	4,46	111	85	90	117	147	124	166
1993	I	2,27	0	0	0	113	114	112	177
1993	II	2,85	91	46	50	113	114	112	177
1993	III	3,36	128	98	100	113	114	112	177
1994	I	2,56	0	0	0	139	149	113	171
1994	II	3,56	99	52	48	139	149	113	171
1994	III	5,27	139	109	96	139	149	113	171
1995	I	1,89	0	0	0	145	123	103	182
1995	II	2,88	81	48	47	145	123	103	182
1995	III	3,20	115	105	94	145	123	103	182
1996	I	1,97	0	0	0	142	126	114	286
1996	II	2,46	91	45	43	142	126	114	286
1996	III	3,85	128	95	86	142	126	114	286
1997	I	2,97	0	0	0	148	134	139	164
1997	II	3,77	113	58	50	148	134	139	164
1997	III	5,08	137	109	90	148	134	139	164
1998	I	1,14	0	0	0	114	119	123	165

продолжение таблицы 3.8

Годы	Фон	Уф, т/га	<sup>у</sup> N, кг/га д.в.	<sup>у</sup> P, кг/га д.в.	<sup>у</sup> K, кг/га д.в.	<sup>п</sup> N, мг/кг ПОЧВЫ	<sup>п</sup> P, мг/кг ПОЧВЫ	<sup>п</sup> K, мг/кг ПОЧВЫ	Pв, мм
1998	II	2,70	99	44	42	114	119	123	165
1998	III	3,12	139	92	84	114	119	123	165
1999	I	1,40	0	0	0	129	142	127	130
1999	II	1,85	75	41	41	129	142	127	130
1999	III	2,29	108	81	82	129	142	127	130
2000	I	2,02	0	0	0	141	148	123	145
2000	II	2,71	75	46	46	141	148	123	145
2000	III	3,43	108	98	92	141	148	123	145
2001	I	2,41	0	0	0	132	156	132	177
2001	II	3,42	91	45	48	132	156	132	177
2001	III	5,40	128	109	96	132	156	132	177
2002	I	2,46	0	0	0	139	164	131	165
2002	II	3,34	84	42	41	139	164	131	165
2002	III	5,33	125	85	86	139	164	131	165
2003	I	2,35	0	0	0	146	172	137	160
2003	II	3,35	91	46	47	146	172	137	160
2003	III	4,06	128	98	94	146	172	137	160
2004	I	2,57	0	0	0	145	148	122	172
2004	II	3,41	89	42	44	145	148	122	172
2004	III	4,40	126	85	88	145	148	122	172
2005	I	2,69	0	0	0	149	135	123	168
2005	II	3,20	80	47	41	149	135	123	168
2005	III	3,82	124	102	82	149	135	123	168
2006	I	2,16	0	0	0	124	147	129	165
2006	II	2,46	90	37	43	124	147	129	165
2006	III	2,80	127	68	86	124	147	129	165
2007	I	2,24	0	0	0	127	153	125	170
2007	II	2,72	77	42	46	127	153	125	170
2007	III	2,93	110	85	92	127	153	125	170
2008	I	2,20	0	0	0	100	162	137	164
2008	II	3,56	100	54	48	100	162	137	164

продолжение таблицы 3.8

Годы	Фон	Уф, т/га	<sup>у</sup> N, кг/га д.в.	<sup>у</sup> P, кг/га д.в.	<sup>у</sup> K, кг/га д.в.	<sup>п</sup> N, мг/кг ПОЧВЫ	<sup>п</sup> P, мг/кг ПОЧВЫ	<sup>п</sup> K, мг/кг ПОЧВЫ	Pв, мм
2008	III	3,72	140	106	96	100	162	137	164
2009	I	2,05	0	0	0	142	169	131	159
2009	II	3,44	102	49	41	142	169	131	159
2009	III	3,64	143	109	82	142	169	131	159
2010	I	1,00	0	0	0	109	121	122	140
2010	II	1,76	75	42	42	109	121	122	140
2010	III	1,87	108	85	80	109	121	122	140
2011	I	2,49	0	0	0	142	139	92	165
2011	II	3,04	82	42	50	142	139	92	165
2011	III	3,62	117	85	100	142	139	92	165
2012	I	1,88	0	0	0	149	128	117	173
2012	II	2,55	65	54	46	149	128	117	173
2012	III	3,03	95	86	92	149	128	117	173
2013	I	1,46	0	0	0	140	133	120	198
2013	II	1,72	78	43	43	140	133	120	198
2013	III	1,88	100	88	80	140	133	120	198
2014	I	1,45	0	0	0	136	166	109	169
2014	II	2,44	87	41	42	136	166	109	169
2014	III	3,44	123	81	84	136	166	109	169
2015	I	2,17	0	0	0	134	171	121	163
2015	II	2,47	90	47	45	134	171	121	163
2015	III	2,68	127	102	90	134	171	121	163
2016	I	2,09	0	0	0	106	157	127	178
2016	II	2,46	97	48	44	106	157	127	178
2016	III	2,51	136	105	88	106	157	127	178
2017	I	2,19	0	0	0	144	173	121	171
2017	II	2,63	81	46	43	144	173	121	171
2017	III	2,78	115	98	86	144	173	121	171
2018	I	2,33	0	0	0	117	149	116	180
2018	II	2,83	88	50	49	117	149	116	180
2018	III	3,44	124	92	98	117	149	116	180

Как известно, агрохимические свойства представляют материальную основу как общей биомассы, так и товарной продукции зерновых культур, что отмечено еще исследователями классической агрохимии (Прянишников Д.Н., 1965; Кук Д.У, 1975; Петербургский А.В., 1979; Шатилов И.С., Чудновский А.Ф., 1980; Ильин В.Б, 1985; Панников В.Д., Минеев В.Г., 1987; Ягодин Б.А., 1989; Кулаковская Т.Н., 1990; Минеев В.Г., 2006 и др.; Гамзиков Г.П., 2013). В трудах современных агрохимиков, создававших технологии интенсивного земледелия, обеспеченность макроэлементами является основой получения высоких, устойчивых и экологически чистых урожаев зерновых культур (Кулик , 1966; Авдонин Н.С., 1982; Удобрения, их свойства и способы использования, 1982; Агрохимические свойства..., 1989; Кудеяров В.Н., 1989; Теоретические основы..., 1991; Державин Л.М., 1992; Назарюк В.М., 2002; Ивойлов А.В., 2015; Шайхутдинов Ф.Ш., 2017 и др.).

В условиях интенсивного земледелия обеспеченность почв элементами минерального питания, особенно в пределах пахотного горизонта, легко регулируется в процессе человеческой деятельности с применением минеральных и органических удобрений, что позволяет с определенной вероятностью прогнозировать урожайность зерновых культур. Поэтому большой интерес вызывает исследования связи между урожайностью и применением удобрений с учетом почвенных свойств.

В таблице 3.9 представлены коэффициенты парной корреляции показателей урожайности яровой пшеницы от норм внесения минеральных удобрений и почвенных свойств.

Они убедительно показали огромную роль уровня применения удобрений в формировании урожайности. Между нормами внесения всех трех макроудобрений и урожайностью яровой пшеницы линейная парная связь положительная и статистически достоверна при  $\alpha = 0,05$ , о чем свидетельствуют коэффициенты корреляции, имеющие диапазон от 0,72 до 0,73. По шкале Чеддока, такая теснота связи ( $r = 0,71 - 0,90$ ) оценивается как

высокая. Заметного отличия влияния на урожайность пшеницы различных видов удобрений не было, хотя действие азотных удобрений оказалось чуть более значимым ( $r = 0,73$ ), чем фосфорных и калийных ( $r = 0,72$ ).

Таблица 3.9 – Коэффициенты парной корреляции урожайности яровой пшеницы от норм внесения удобрений и почвенных свойств

	Уф	$y_N$	$y_P$	$y_K$	${}^nN$	${}^nP$	${}^nK$	Рв
Уф	1	0,73	0,72	0,72	0,24	0,22	0,16	0,02
$y_N$	0,73	1	0,95	0,96	-0,02	0,05	0,05	0,01
$y_P$	0,72	0,95	1	0,98	0,01	0,01	0,04	0,01
$y_K$	0,72	0,96	0,98	1	0,01	0,02	0,01	0,004
${}^nN$	0,24	-0,02	0,01	0,01	1	0,05	-0,01	0,18
${}^nP$	0,22	0,05	0,01	0,02	0,05	1	0,50	-0,09
${}^nK$	0,16	0,05	0,04	0,01	-0,01	0,50	1	-0,03
Рв	0,02	0,01	0,01	0,004	0,18	-0,09	-0,03	1

Азотные, фосфорные и калийные удобрения имеют между собой высокую и весьма высокую положительную связь, их коэффициент корреляции варьируется от 0,95 до 0,98. Это и не удивительно, ибо нормы внесения всех трёх питательных элементов в составе минеральных удобрений, определяемые расчетно-балансовым методом, растут почти пропорционально с ростом планируемой урожайности.

Связь между уровнем применения удобрений и почвенными свойствами не достоверная и близка к нулю.

По сравнению с влиянием на урожайность пшеницы уровня применения всех трех видов удобрений, действие обеспеченности почвы подвижными формами азота, фосфора и калия было существенно меньшим, о чем свидетельствуют величины корреляционных коэффициентов ( $r = 0,16 \div 0,24$ ). Относительно заметным было действие на урожайность содержания легкогидролизуемого азота ( $r = 0,24$ ) и подвижных форм фосфора ( $r = 0,22$ ).

Корреляция урожайности яровой пшеницы от обеспеченности обменным калием была значительно слабее ( $r = 0,16$ ).

На величину конечного урожая изучаемой культуры содержание продуктивной влаги в метровом слое почвы в день посева значимого влияния не оказало ( $r = 0,02$ ).

Для дальнейшего выявления значимости на урожайность яровой пшеницы норм внесения минеральных удобрений и почвенных факторов мы применяли множественную линейную корреляционную связь, используя метод наименьших квадратов. По данным урожайности яровой пшеницы, нормам внесений удобрений и почвенным факторам (табл. 3.8) были определены коэффициенты линейной множественной регрессии, которые представлены в таблице 3.10.

Таблица 3.10– Коэффициенты уравнения регрессии

Коэффициент множественной корреляции – $R = 0,795$	
Коэффициент детерминации – $R^2 = 0,631$	
F-критерия Фишера – $F = 25,19$ , Уровень значимости – $p = 0,0000001$	
Факторы	Коэффициенты факторов в уравнении регрессии
Свободный член	-1,50124
$y_N$	0,00760
$y_P$	0,00162
$y_K$	0,00645
$\Pi_N$	0,01547
$\Pi_P$	0,00727
$\Pi_K$	0,00332
$P_B$	-0,00034

Между нормами внесения минеральных удобрений, почвенными факторами и урожайностью яровой пшеницы множественная связь статистически достоверна при  $r=0,795$  (табл. 3.10). Расчетный критерий Фишера  $F=25,19$ , что на много превышает критический уровень  $F_{табл}=2,02$ , а также значение коэффициентов детерминации и уровня значимости модели показывают, что модель адекватна.

По коэффициентам уравнения регрессии из таблицы 3.10 и данным таблицы 3.8 было составлено уравнения множественной линейной регрессии (3.6). Полученное уравнение имеет следующий вид:

$$U_p = -1,50124 + 0,00760 \cdot {}^y N + 0,00162 \cdot {}^y P + 0,00645 \cdot {}^y K + 0,01547 \cdot {}^n N + 0,00727 \cdot {}^n P + 0,00332 \cdot {}^n K - 0,00034 \cdot P_v \quad (3.6)$$

Уравнение (3.6) представляет собой математическую модель урожайности яровой пшеницы в зависимости от норм внесения минеральных удобрений и почвенных факторов.

С помощью уравнения (3.6) и данных таблицы 3.8 были определены значения расчетной урожайности и вычислены отклонения между ними. Полученные результаты представлены в таблице 1 приложения 1. Как видно по данной таблице, фактическая урожайность выше расчетной в 53 наблюдениях, а ниже расчетной в 53 наблюдениях. Относительное отклонение между  $U_f$  и  $U_p$  до 10 % встречается 41 раз, в пределах от 10 до 20 % – в 31, а выше 20 % встречается 39 раз. Причем самые большие отклонения встречаются в экстремально засушливых годах – 1999, 2010 и 2013 гг. Следовательно, полученная математическая модель хорошо работает для типичных климатических условий, а в экстремальных по метеоусловиям годам расхождение между  $U_f$  и  $U_p$  сильно возрастает. Данное обстоятельство возможно объясняется тем, что эта математическая модель не учитывала показатели метеорологических условий. Таким образом, наряду с влиянием на урожайность яровой пшеницы уровней применения минеральных удобрений и почвенных свойств необходимо учесть и действие на продуктивность растений метеорологических факторов.

Определенный интерес представляет изучение особенностей связей между урожайностью яровой пшеницы и нормой внесения азотных ( ${}^y N$ ), фосфорных ( ${}^y P$ ) и калийных удобрений ( ${}^y K$ ). Для этого по количеству



внесенных минеральных удобрений и урожайности яровой пшеницы из таблицы 3.8 были составлены уравнения регрессии второго порядка (3.7 – 3.12).

$$Y_p = -3,4845 - 0,1082 \cdot {}^y P + 0,1579 \cdot {}^y N + 0,0018 \cdot {}^y P^2 - 0,0001 \cdot {}^y P \cdot {}^y N - 0,0007 \cdot {}^y N^2 \quad (3.7)$$

$$Y_p = -18,425 + 0,7009 \cdot {}^y K + 0,0666 \cdot {}^y N - 0,0058 \cdot {}^y K^2 - 0,0013 \cdot {}^y K \cdot {}^y N + 0,0001 \cdot {}^y N^2 \quad (3.8)$$

$$Y_p = -21,2478 + 0,224 \cdot {}^y P + 0,7491 \cdot {}^y K + 0,0034 \cdot {}^y P^2 - 0,0109 \cdot {}^y P \cdot {}^y K - 0,0023 \cdot {}^y K^2 \quad (3.9)$$

$$Y_p = -7,6514 - 0,2257 \cdot {}^y P + 0,323 \cdot {}^y N + 0,0003 \cdot {}^y P^2 + 0,0014 \cdot {}^y P \cdot {}^y N - 0,0018 \cdot {}^y N^2 \quad (3.10)$$

$$Y_p = -63,8742 + 1,3598 \cdot {}^y K + 0,0432 \cdot {}^y N - 0,0082 \cdot {}^y K^2 + 0,0013 \cdot {}^y K \cdot {}^y N - 0,0005 \cdot {}^y N^2 \quad (3.11)$$

$$Y_p = 1,9975 + 0,0052 \cdot {}^y P + 0,0098 \cdot {}^y K + 0,0005 \cdot {}^y P^2 - 0,00039 \cdot {}^y P \cdot {}^y K + 0,0004 \cdot {}^y K^2 \quad (3.12)$$

Уравнения (3.7) – (3.12) представляют собой математические модели зависимости урожайности яровой пшеницы от норм внесения минеральных удобрений. Уравнения (3.7) – (3.9) составлены для второго фона питания, а уравнения (3.10) – (3.12) для третьего фона. По этим уравнениям построены графические образы в трехмерном пространстве (рис. 3.8 – 3.13).

Графики рисунков 3.8 и 3.9. демонстрирует зависимость урожайности яровой пшеницы от средних (фон 2) и повышенных (фон 3) норм внесения азотных и фосфорных удобрений. Они прежде всего демонстрируют сильное

колебание урожайности в зависимости от соотношения норм внесения данных видов удобрений на обоих фонах питания растений.

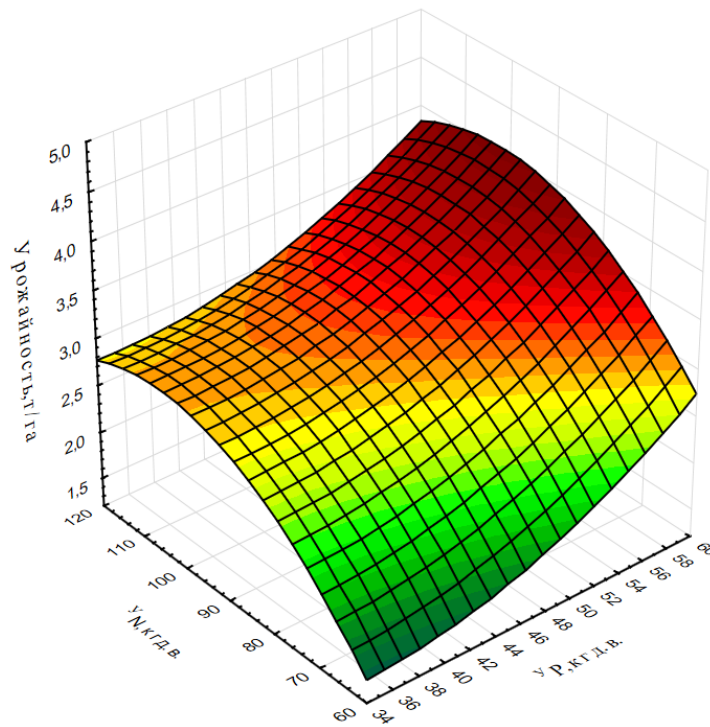


Рисунок 3.8 – Зависимость урожайности яровой пшеницы от норм внесения азотных и фосфорных удобрений (фон 2)

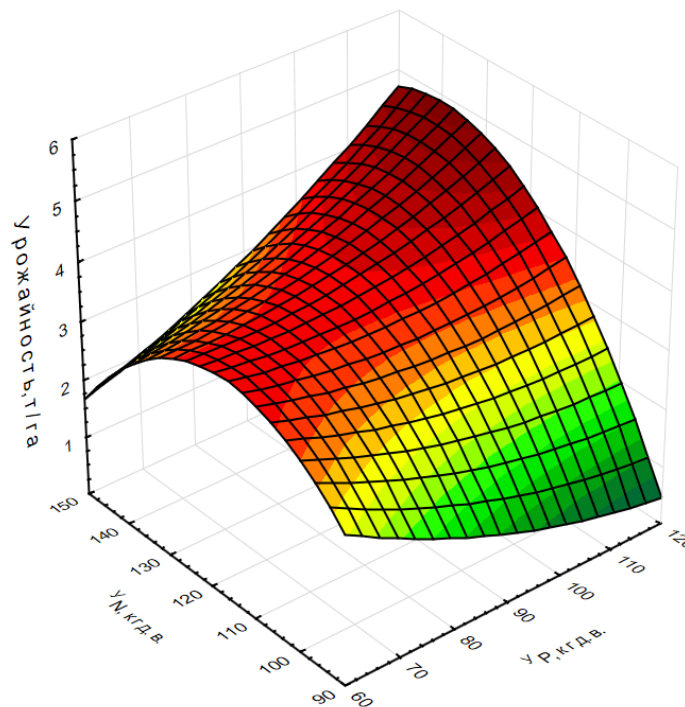


Рисунок 3.9 – Зависимость урожайности яровой пшеницы от норм внесения азотных и фосфорных удобрений (фон 3)

Обнаружилось некоторое различие ответной реакции растений яровой пшеницы на эти виды удобрений в зависимости от уровня их применения. Относительно стабильный рост урожайности по мере роста норм удобрений проявился при внесении средних норм, рассчитанных на получение 3,0 т/га зерна (фон 2). В случае внесения повышенных норм удобрений (фон 3) их рост сопровождался адекватным ростом урожайности лишь до определенного уровня, а дальнейшее увеличение норм удобрений – к снижению. Например, при нормах внесения 60-80 кг д.в./га фосфорных удобрений увеличение норм внесения азотных удобрений более 120 кг привело к снижению урожайности (рис. 3.10). На повышенном фоне питания растений более сильное влияние на урожайность оказали азотные удобрения, нежели фосфорные. Как видно, независимо от роста норм фосфорных удобрений, снижение норм азотных удобрений от 115 до 90 кг д.в./га привело к заметному снижению урожайности яровой пшеницы.

Максимальные урожайности, близкие к 4,0 т/га, на среднем фоне были получены при внесении около 100 (90-110) кг д.в./га азотных и 60 кг д.в./га фосфорных удобрений (рис.3.9). Наибольшие урожайности в благоприятные годы, близкие к 5,0 т/га, на повышенном фоне были получены при внесении около 140 (130-150) кг д.в./га азотных и 120 кг д.в./га фосфорных удобрений (рис.3.9).

При сравнении эффективности совместного влияния возрастающих норм азотных и калийных удобрений на урожайность также обнаружилось заметное различие ответной реакции растений яровой пшеницы в зависимости от уровня применения удобрений (рис. 3.10 и 3.11).

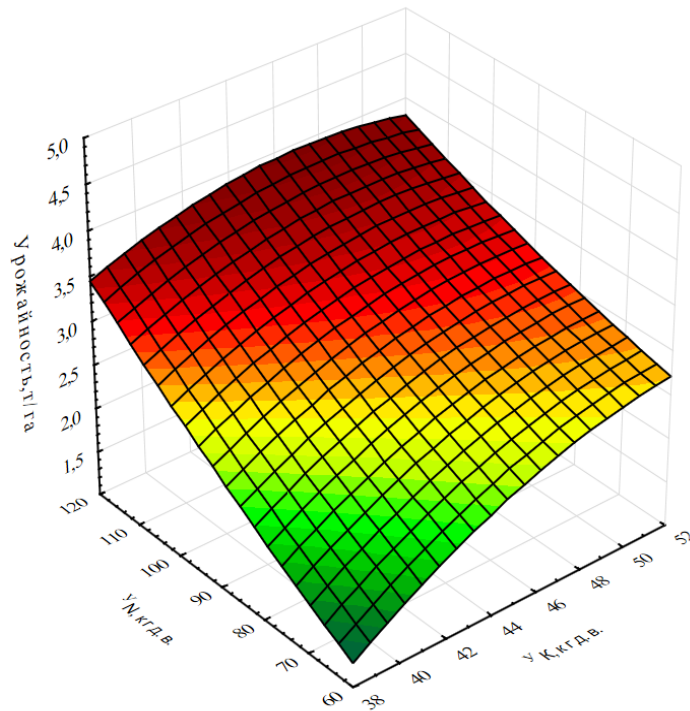


Рисунок 3.10 – Зависимость урожайности яровой пшеницы от норм внесения азотных и калийных удобрений (фон 2)

При внесении средних норм удобрений (фон 2) увеличение норм удобрений, особенно азотных, сопровождалось почти прямолинейным ростом урожайности. Корреляция урожайности яровой пшеницы от возрастающих норм калийных удобрений заметно различалась в зависимости от уровня применения азотных удобрений: если на фоне 60-70 кг д.в./га азотных удобрений рост норм калия сопровождался постепенным ростом урожайности, то на фоне 120 кг д.в./га азотных удобрений рост норм калийных удобрений оказало на урожайность слабое влияние. Максимальные урожайности, близкие к 4,0 т/га, на среднем фоне были получены при внесении около 120 кг д.в./га азотных и 46-48 кг д.в./га калийных удобрений (рис. 3.10).

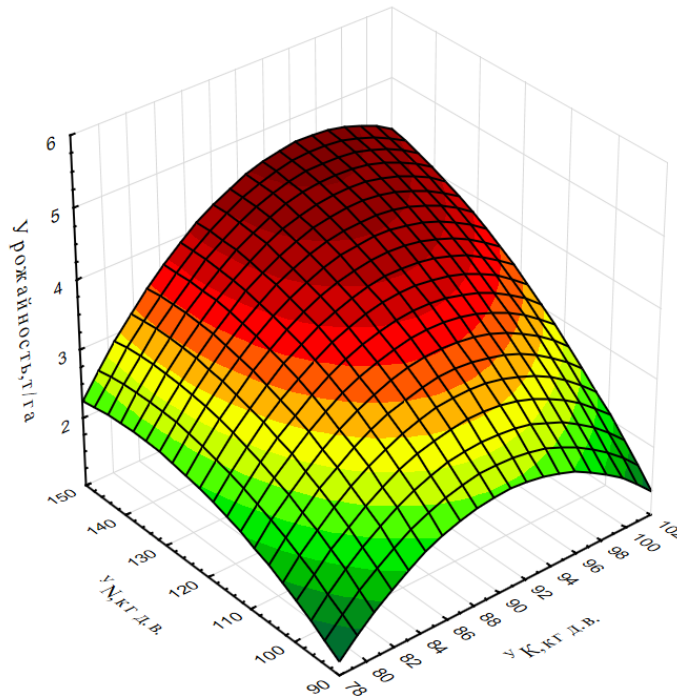


Рисунок 3.11 – Зависимость урожайности яровой пшеницы от норм внесения азотных и калийных удобрений (фон 3)

В случае внесения повышенных норм удобрений, рассчитанных на получение 4,0 т/га зерна яровой пшеницы (фон 3), главенствующая роль в повышении продуктивности яровой пшеницы азотных удобрений также проявилась достаточно четко. Стабильный рост урожайности в зависимости от возрастающих норм азотных удобрений наблюдался на фоне максимальной нормы внесения калийных удобрений (около 100 кг д.в./га): если минимальная норма азота (около 90 кг д.в./га) дала менее 2,0 т/га зерна, то максимальная норма (150 кг д.в./га) – около 4,5 т/га зерна. В тоже время, на повышенном фоне применения удобрений особо рельефно проявилось значение роста норм внесения калия. Как видно, на фоне минимальных норм внесения калия (около 80 кг д.в./га) даже наибольшая норма внесения азота (150 кг д.в./га) обеспечила получение лишь около 2,5 т/га урожая (рис. 3.11).

Таким образом, действие возрастающих норм азота и калия на продуктивность подопытной культуры на двух фонах (фон 2 и 3) различается тем, что зависимость урожайности от повышенных норм имеет выраженный

криволинейный характер и максимальные нормы обоих видов удобрений приводили к некоторому снижению урожайности, в то время как рост норм удобрений на фоне 2 сопровождался почти стабильным ростом продуктивности яровой пшеницы.

На рис. 3.12 и 3.13 показаны особенности совместного влияния возрастающих норм фосфорных и калийных удобрений на урожайность яровой пшеницы, что также иллюстрируют различие ответной реакции растений на средние (фон 2) и повышенные (фон 3) нормы удобрений.

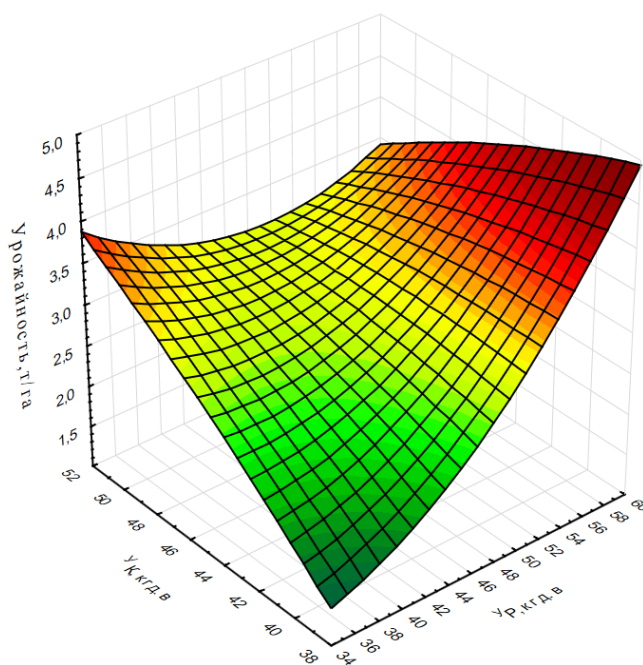


Рисунок 3.12 – Зависимость урожайности яровой пшеницы от норм внесения фосфорных и калийных удобрений (фон 2)

Ответная реакция растений яровой пшеницы на нормы внесения фосфорных и калийных удобрений на фоне 2 оказалась наиболее сложной и противоречивой (рис. 3.12). Так, на фоне минимальных норм внесения фосфорных (34-38 кг д.в./га) удобрений увеличение норм внесения калийных удобрений до 52 кг д.в./га сопровождалось почти прямолинейным ростом урожайности.

В то же время, на фоне максимальных норм (56-60 кг д.в./га) фосфорных удобрений рост норм внесения калия приводил, наоборот, к снижению

урожайности. Здесь же проявилось противоречивое изменение урожайности на увеличение норм внесения фосфорных удобрений на фоне малых (менее 45 кг д.в./га) и относительно больших (более 45 кг д.в./га) норм калийных удобрений: если в первом случае наблюдался однозначный и почти прямолинейный рост урожайности, то во втором случае урожайность изменилась в противоположных направлениях (первоначальное снижение сменилось подъемом урожайности).

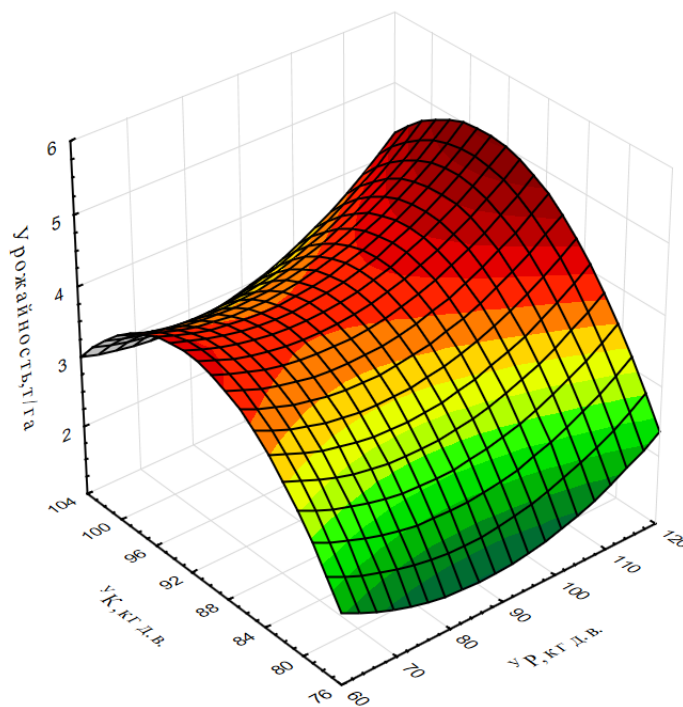


Рисунок 3.13 – Зависимость урожайности яровой пшеницы от норм внесения фосфорных и калийных удобрений (фон 3)

График поверхности, изображенный на рисунке 3.13 иллюстрирует совершенно иной характер совместного действия на урожайность яровой пшеницы повышенных норм внесения фосфорных и калийных удобрений, рассчитанных для получения 4,0 т/га зерна. Зависимость урожайности от возрастающие нормы внесения как фосфорных, так и калийных удобрений имела криволинейный характер. Максимальная продуктивность растений яровой пшеницы проявилась от внесения максимальной нормы (120 кг д.в./га)

фосфора и 92-96 кг д.в./га калия. Как увеличение, так и уменьшение норм внесения калийных удобрений приводило к снижению урожайности.

Таким образом, характер действия на урожайность яровой пшеницы совместного внесения азотно-фосфорных, азотно-калийных и фосфорно-калийных удобрений в зависимости от уровня их применения заметно различается: если рост средних норм внесения удобрений (фон 2) сопровождается, как правило, стабильным ростом урожайности, то рост повышенных норм (фон 3) имеет выраженный криволинейный характер и максимальные нормы удобрений, чаще всего, приводили к некоторому снижению урожайности.

### **3.5. Множественная корреляция урожайности яровой пшеницы от уровня применения минеральных удобрений и почвенно-климатических факторов**

В предыдущих подразделах были рассмотрены особенности формирования урожайности яровой пшеницы в зависимости от группы почвенно-климатических факторов без применения минеральных удобрений, а также от уровня применения минеральных удобрений и почвенных факторов. При этом вклад отдельных факторов различался и по направлению, и по силе их воздействия, что проявилось на параметрах парной и множественной корреляции.

В данном подразделе анализируется связь между урожайностью яровой пшеницы и нормой внесения азотных удобрений ( $^Y N$ ), нормой внесения фосфорных удобрений ( $^Y P$ ), нормой внесения калийных удобрений ( $^Y K$ ), содержанием легкогидролизуемого азота ( $^{II} N$ ), подвижных форм фосфора ( $^{II} P$ ) и обменного калия ( $^{II} K$ ), атмосферными осадками за вегетационный период ( $Q_{\text{вег}}$ ), среднемесячными атмосферными осадками за май ( $Q_5$ ), среднемесячными атмосферными осадками за июнь ( $Q_6$ ), среднемесячными атмосферными осадками за июль ( $Q_7$ ), суммой эффективных температур за вегетационный период ( $C_{\text{эт}}$ ), среднемесячной температурой за май ( $T_5$ ),



среднемесячной температурой за июнь (Т6) и среднемесячной температурой за июль (Т7), продуктивной влаги в почве перед посевом (Рв) (табл. 3.1, 3.8).

Для одновременного выявления значимости влияния на урожайность яровой пшеницы норм внесения минеральных удобрений и почвенно-климатических факторов использовалась множественная линейная корреляционная модель.

По данным уровня применения минеральных удобрений (табл. 3.2), почвенно-климатических факторов и фактической урожайности яровой пшеницы (табл. 3.1) были определены коэффициенты линейной множественной регрессии, которые представлены в таблице 3.11.

Таблица 3.11 – Коэффициенты уравнения регрессии

Коэффициент множественной корреляции – $R = 0,86$		
Коэффициент детерминации – $R^2 = 0,739$		
F-критерия Фишера – $F = 17,95$		
Уровень значимости – $p = 0,0000001$		
Факторы	Коэффициенты факторов в уравнении регрессии	Стандартизованные регрессионные коэффициенты
Св.член	3,792413	-
$y_N$	0,005691	0,313383
$y_P$	0,006869	0,276284
$y_K$	0,003411	0,132134
$\Pi_N$	0,008241	0,126684
$\Pi_P$	0,003857	0,084828
$\Pi_K$	0,005153	0,080392
Рв	-0,001683	-0,043073
Qвег	-0,000360	-0,024408
Q5	0,001294	0,030641
Q6	0,002666	0,095254
Q7	-0,003966	-0,147057
Сэт	-0,000204	-0,046194
T5	0,005535	0,013067
T6	-0,083970	-0,200818
T7	-0,093060	-0,193432

Используя найденные коэффициенты, было составлено уравнения множественной линейной регрессии. Полученное уравнение имеет следующий вид:

$$\begin{aligned}
 Y_p = & 3,792413 + 0,005691 \cdot {}^y N + 0,006869 \cdot {}^y P + 0,003411 \cdot {}^y K + \\
 & + 0,008241 \cdot {}^n N + 0,003857 \cdot {}^n P + 0,005153 \cdot {}^n K - 0,001683 \cdot P_v - \\
 & - 0,000360 \cdot Q_{veg} + 0,001294 \cdot Q_5 + 0,002666 \cdot Q_6 - 0,003966 \cdot Q_7 - \\
 & - 0,000204 \cdot C_{эм} + 0,005535 \cdot T_5 - 0,083970 \cdot T_6 - 0,093060 \cdot T_7 .
 \end{aligned} \tag{3.13}$$

Уравнение (3.13) представляет математическую модель зависимости урожайности яровой пшеницы от норм внесения минеральных удобрений, почвенных и климатических факторов. На наш взгляд, именно такой комплексный учет трёх групп факторов с помощью уравнения (3.13) может позволить более надёжно прогнозировать урожайность яровой пшеницы на перспективу.

Чтобы узнать, какие из факторов вносят наибольший вклад в урожайность яровой пшеницы необходимо более внимательно изучить и оценить полученные регрессионные коэффициенты. С этой целью нами были определены как стандартизованные, так и обычные регрессионные коэффициенты, которые представлены в таблице 3.11.

Стандартизованные регрессионные коэффициенты можно получить, если предварительно центрировать и нормировать исследуемые факторы. Стандартизация дает возможность привести данные с различными диапазонами и единицами измерения в один формат. Именно поэтому стандартизованные регрессионные коэффициенты позволяют более объективно выявить доли влияния каждого фактора в формировании урожайности яровой пшеницы.

По стандартизованным регрессионным коэффициентам были рассчитаны доли влияния каждого фактора на урожайность яровой пшеницы. Вклад уровня применения азотных удобрений ( ${}^y N$ ) в общую дисперсию составляет 17,34%, фосфорных удобрений ( ${}^y P$ ) – 15,28%, среднемесячной температурой за июнь

(Т6) – 11,11% , среднемесячной температурой за июль (Т7) – 10,70%, среднемесячными атмосферными осадками за июль (Q7) – 8,14 %, калийных удобрений (<sup>У</sup>К) – 7,31%, содержанием легкогидролизуемого азота (<sup>П</sup>N) – 7,01%, среднемесячными атмосферными осадками за июнь (Q6) – 5,27%, подвижных форм фосфора (<sup>П</sup>P) – 4,69%, обменного калия (<sup>П</sup>К), – 4,45%, суммой эффективных температур за вегетационный период (Сэт) – 2,56%, продуктивной влаги в почве перед посевом (Рв) – 2,38%, среднемесячными атмосферными осадками за май (Q5) 1,70%, атмосферными осадками за вегетационный период (Qвег) – 1,35%, среднемесячной температурой за май (Т5) – 0,72%. Более наглядно доли вклада изученных факторов в формирование урожайности яровой пшеницы представлены на графике (рис. 3.14).

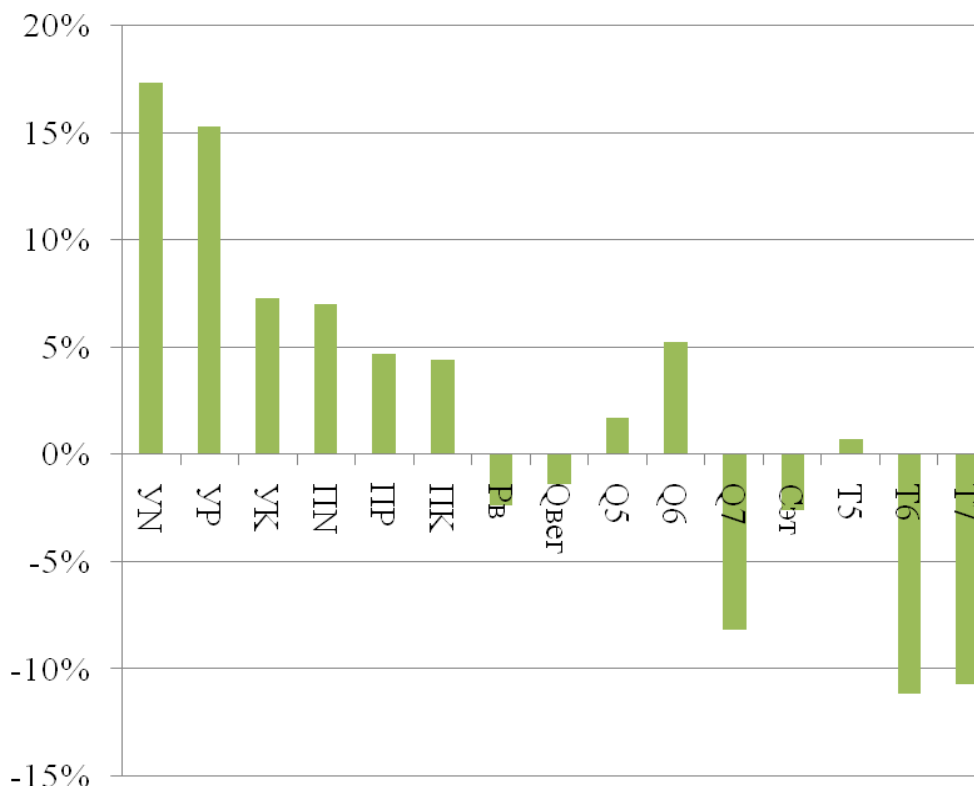


Рисунок 3.14 –Доли вклада агрохимических, почвенных и климатических факторов в формировании урожайности яровой пшеницы в условиях серой лесной почвы

Как видно из рисунка 3.15, факторы  ${}^yN$ ,  ${}^yP$ ,  ${}^yK$ ,  ${}^{II}N$ ,  ${}^{II}P$ ,  ${}^{II}K$ , Q5, Q6, T5 имеют положительный вклад на урожайность яровой пшеницы, их суммарная доля составляет более 63,77 %.

Наибольшее влияние на формирование урожая яровой пшеницы оказали нормы внесения минеральных удобрений. Суммарный вклад уровня применения удобрений в формирование урожая исследуемой культуры составил почти 40 % (17,34+15,28+7,31). Особенно большой оказалась роль в повышении урожайности пшеницы норм внесения азотных и фосфорных удобрений: примерно в 2,1-2,4 раза больше, чем аналогичный показатель калийных удобрений.

Вторую позицию по силе влияния на величину урожая яровой пшеницы занимает обеспеченность серой лесной почвы подвижными формами основных макроэлементов – легкогидролизуемым азотом, подвижными формами фосфора и обменным калием. Общий позитивный вклад в формирование урожайности пшеницы указанных почвенных свойств составил более 16% (7,01+4,69+4,45). Среди агрохимических свойств почвы опять же более весомым был вклад в формирование урожая содержания в почве доступного растениям азота. Таким образом, урожайность яровой пшеницы в условиях серой лесной почвы на 56% обуславливалась агрохимическим составляющим формирования урожая - уровнем применения удобрений и обеспеченностью почвы доступными формами азота, фосфора и калия.

Среди метеорологических показателей наиболее заметное положительное влияние на величину урожая яровой пшеницы оказало количество июньских атмосферных осадков (5,27%). Доля его вклада в формирование урожайности была несколько больше, чем вклад в отдельности обеспеченности почвы подвижными формами фосфора и обменным калием. Относительно скромным, но положительным, было влияние на продуктивность яровой пшеницы обоих показателей метеоусловий мая (количества осадков -1,70% и среднемесячная температуры воздуха - 0,72%). Можно предположить, что в отдельные годы

растения уже в мае стали ощущать недостаток атмосферных осадков, а в другие годы растениям яровой пшеницы, видимо, не хватало майского тепла.

Связь урожайности яровой пшеницы с другими метеорологическими показателями (Qveg, Q7 Сэт, T6, T7) была отрицательной. Особенно сильное негативное влияние на урожайность оказали среднемесячные температуры воздуха июня (11,11%) и июля (10,70%).

На удивление весьма заметным было отрицательное влияние на урожайность яровой пшеницы количества осадков в июле (8,14%), что, возможно, обуславливалось задержкой созревания зерна и потерями урожая во время уборки в условиях избыточной влажности.

Действие двух достаточно часто используемых для характеристики зоны климатических показателей (суммарное количество осадков за вегетационный период и сумма эффективных температур) на урожайность яровой пшеницы было слабым и отрицательным. Широко используемый в агрономической практике показатель увлажненности, а именно количество продуктивной влаги в метровом слое почвы в день посева, также не оказало заметного влияния на продуктивность исследуемой культуры.

Таким образом, проведенный множественный корреляционный анализ показал, что в условиях серой лесной почвы на урожайность яровой пшеницы наиболее сильное положительное влияние оказывали нормы внесения минеральных удобрений, содержание в почве доступных форм азота, фосфора и калия, а также количество атмосферных осадков за май и июнь. Наибольшее отрицательное влияние на формирование урожая проявляли среднемесячные температуры июня, июля и обильные осадки во время созревания и уборки урожая.

### **3.6. Прогнозирование урожайности яровой пшеницы на базе разработанной математической модели**

Научно обоснованное прогнозирование продуктивности сельскохозяйственных культур – актуальнейшая задача современной

агрономической науки (Узун В.Я., 1975; Каюмов М.К., 1989; Прудников А.Г., 1989; Тюрякова Н.В., 2009; Савин И.Ю. и др., 2010; Береза О.В., Лупян Е.А., Страшная А.И., 2015; Посыпанов Г.С., 2019). Именно оно может стать важнейшим фактором устойчивого развития растениеводческой отрасли и в целом сельскохозяйственных территорий (Трубилин А.И., Петрик Г.Ф., Прудников А.Г., 2017; Посыпанов Г.С., 2019).

В предыдущих разделах рассматривались особенности связи урожайности яровой пшеницы от уровня применения минеральных удобрений, почвенных и климатических факторов. В результате проведенных исследований были составлены уравнения, которые представляют собой математические модели взаимосвязей. Именно эти математические модели, полученные в виде уравнения (3.6 и 3.13) на основе множественной корреляции, нами были использованы для прогнозирования урожайности яровой пшеницы в 2019 и 2020 годах. Напомним, что уравнение (3.6) представляет собой математическую модель урожайности яровой пшеницы в зависимости от норм внесения минеральных удобрений и почвенных факторов (сокращенная выборка), в случае дополнительного учета метеорологических условий (полная выборка) зависимость урожайности от всего комплекса исследованных факторов описывалась уравнением (3.13).

С практической точки зрения наибольший интерес для прогнозирования урожайности представляют модели, в которых аргументами являются минеральные удобрения и почвенные свойства (сокращенная выборка), так как эти факторы регулируются человеком (нормы внесения удобрений) и известны к моменту посева (почвенные свойства).

В таблице 3,12 представлены нормы внесения минеральных удобрений, обеспеченность почвы опытного участка подвижными формами основных макроэлементов и продуктивная влага в метровом слое в 2019 и 2020 годах.

Таблица 3.12 – Нормы внесения минеральных удобрений под яровую пшеницу и свойства почвы опытного участка в 2019 и 2020 гг.

Годы	$y_N$ , кг	$y_P$ , кг	$y_K$ , кг	Средние показатели почвы опытного участка			
				$^{II}N$ , мг/кг почвы	$^{II}P$ , мг/кг почвы	$^{II}K$ , мг/кг почвы	$R_{в,м}$ м
Контроль (без удобрений)							
2019	0	0	0	126	192	140	175
2020	0	0	0	137	220	138	180
Средние нормы NPK (расчет на 3 т/га)							
2019	67	45	27	126	192	140	175
2020	75	53	30	137	220	138	180
Повышенные нормы NPK (расчет на 4 т/га)							
2019	92	71	45	126	192	140	175
2020	99	77	50	137	220	138	180

Прогнозируемые величины урожайности яровой пшеницы в 2019 и 2020 гг. были рассчитаны на основе данных таблицы 3.12 по уравнению (3.6) и представлены в 3.13.

Таблица 3.13 – Прогнозируемая и фактическая урожайность яровой пшеницы в 2019 и 2020 гг.

Годы	Урожайность, т/га		Отклонение фактической от прогнозированной	
	фактическая	прогнозируемая	т/га	%
Контроль (без удобрений)				
2019	2,10	2,25	-0,15	7,1
2020	2,39	2,61	-0,22	9,4
Средние нормы NPK (расчет на 3 т/га)				
2019	3,00	3,01	-0,01	0,2
2020	3,67	3,46	0,21	5,5
Повышенные нормы NPK (расчет на 4 т/га)				
2019	3,44	3,35	0,09	2,5
2020	4,21	3,81	0,40	9,7

По таблице 3.13 видно, что положительные и отрицательные отклонения, встречаются по 3 раза. Наименьшее отклонение наблюдалось в случае внесения

средних норм удобрений, рассчитанных для получения 3 т/га зерна, а наибольшее – без внесения удобрений. Общее относительное отклонение всей выборки составила 5,67 %, что говорит о высокой точности прогнозирования.

Таким образом, полученная нами математическая модель взаимосвязи урожайности яровой пшеницы от норм внесения минеральных удобрений и почвенных показателей является адекватной и может быть использована для прогнозирования урожайности яровой пшеницы на серых лесных почвах Республики Татарстан.

### **3.7. Агрономическая и экономическая эффективность применения удобрения на посевах яровой пшеницы в условиях серой лесной почвы**

Основными показателями оценки агрономической эффективности тех или иных агроприемов, в том числе применения удобрений, является рост урожайности, измеряемый прибавкой урожая, и окупаемость 1 кг д.в. удобрений товарной продукцией (Донских И.Н., 2004; Система земледелия Республики Татарстан, 2013; Минеев В.Г. и др., 2017).

Прибавки урожая яровой пшеницы в 1982-2018 гг. от средних норм минеральных удобрений, рассчитанных на получение 3 т/га зерна, даны в таблице 3.14.

Таблица 3.14 – Прибавки урожая яровой пшеницы от средних норм минеральных удобрений, рассчитанных на получение 3 т/га зерна (фон 2) за 1982 -2018 гг.

Годы	Урожайность, т/га		Прибавка, т/га
	контроль (фон 1)	на 3 т (фон 2)	
1982	2,13	3,3	1,17
1983	1,81	2,79	0,98
1984	1,45	2,84	1,39
1985	2,01	3,24	1,23
1986	2,34	3,72	1,38
1987	1,94	2,49	0,55
1988	0,99	1,55	0,56



продолжение таблицы 3.14

1989	1,11	2,14	1,03
1990	1,76	2,89	1,13
1991	1,39	2,94	1,55
1992	2,14	2,99	0,85
1993	2,27	2,85	0,58
1994	2,56	3,56	1,00
1995	1,89	2,88	0,99
1996	1,97	2,46	0,49
1997	2,97	3,77	0,80
1998	1,14	2,7	1,56
1999	1,40	1,85	0,45
2000	2,02	2,71	0,69
2001	2,41	3,42	1,01
2002	2,46	3,34	0,88
2003	2,35	3,35	1,00
2004	2,57	3,41	0,84
2005	2,69	3,2	0,51
2006	2,16	2,46	0,30
2007	2,24	2,72	0,48
2008	2,2	3,56	1,36
2009	2,05	3,44	1,39
2010	1,00	1,76	0,76
2011	2,49	3,04	0,55
2012	1,88	2,55	0,67
2013	1,46	1,72	0,26
2014	1,45	2,44	0,99
2015	2,17	2,47	0,30
2016	2,09	2,46	0,37
2017	2,19	2,63	0,44
2018	2,33	2,83	0,50
Сумма	73,480	104,470	30,990
Среднее	1,986	2,824	0,838

Они варьировали в весьма широких пределах: от 0,26 т/га (2013 г.) до 1,56 (1998 г.) т/га. Средняя прибавка урожая зерна пшеницы за 37 лет от средних норм минеральных удобрений составила 0,838 т/га. При этом среднегодовая норма внесения минеральных удобрений, равнялась 176 кг д.в./га. (N86P45K45). Следовательно, окупаемость 1 кг д.в. минеральных удобрений, рассчитанных для получения 3 т/га, составила 4,76 кг зерна яровой пшеницы.

В случае внесения повышенных норм удобрений, рассчитанных для получения 4 т/га зерна, прибавки урожая яровой пшеницы существенно выросли (таблица 3.15).

Таблица 3.15 – Прибавки урожая яровой пшеницы от повышенных норм минеральных удобрений, рассчитанных на получение 4 т/га зерна (фон 3) за 1982 -2018 гг.

Годы	Урожайность, т/га		Прибавка, т/га
	Контроль (фон 1)	на 4 т (фон 3)	
1982	2,13	4,1	1,97
1983	1,81	3,18	1,37
1984	1,45	3,28	1,83
1985	2,01	4,26	2,25
1986	2,34	5,03	2,69
1987	1,94	3,61	1,67
1988	0,99	2,38	1,39
1989	1,11	2,61	1,50
1990	1,76	4,13	2,37
1991	1,39	4,39	3,00
1992	2,14	4,46	2,32
1993	2,27	3,36	1,09
1994	2,56	5,27	2,71
1995	1,89	3,2	1,31
1996	1,97	3,85	1,88
1997	2,97	5,08	2,11
1998	1,14	3,12	1,98
1999	1,40	2,29	0,89
2000	2,02	3,43	1,41

продолжение таблицы 3.15

Годы	Урожайность, т/га		Прибавка, т/га
	Контроль (фон 1)	на 4 т (фон 3)	
2001	2,41	5,4	2,99
2002	2,46	5,33	2,87
2003	2,35	4,06	1,71
2004	2,57	4,4	1,83
2005	2,69	3,82	1,13
2006	2,16	2,8	0,64
2007	2,24	2,93	0,69
2008	2,2	3,72	1,52
2009	2,05	3,64	1,59
2010	1,00	1,87	0,87
2011	2,49	3,62	1,13
2012	1,88	3,03	1,15
2013	1,46	1,88	0,42
2014	1,45	3,44	1,99
2015	2,17	2,68	0,51
2016	2,09	2,51	0,42
2017	2,19	2,78	0,59
2018	2,33	3,44	1,11
Сумма	73,480	132,38	58,90
Среднее	1,986	3,578	1,592

Они колебались от 0,42т/га (2013, 2016 гг.) до 3,00 (1991 г.) т/га. За все годы наблюдений среднегодовая норма внесения минеральных удобрений, рассчитанная для получения 4 т/га зерна, равнялась 302 кг д.в./га (N122P91K89), а средняя прибавка урожая составила 1,592 т/га. Следовательно, окупаемость 1 кг д.в. минеральных удобрений, рассчитанных для получения 4 т/га, на посевах яровой пшеницы составила 5,27 кг зерна. Как видим, более высокая окупаемость удобрений зерном яровой пшеницы наблюдалась при внесении повышенных норм минеральных удобрений, рассчитанных для получения 4 т/га зерна.

В современных условиях, наряду с агрономической эффективностью, ещё более важным представляется экономическая оценка применения удобрений по таким показателям как выход дополнительной продукции в стоимостном выражении, величина прибыли с единицы площади, уровень рентабельности (Составление проекта..., 2000; Ягодин Б.А., Жуков Ю.П., Кобзаренко В.И., 2003; Кулешов А.Н. и др., 2012; Гилязов М.Ю., Лукманов А.А., Муратов М.Р., 2016; Лукин А.С., Папырин В.Б., 2016; Вильдфлуш И.Р., Малашевская О.В., 2021).

Расчеты экономической эффективности применения испытанных норм внесения удобрений на посевах яровой пшеницы в условиях серой лесной почвы показаны в таблицах 3.16 и 3.17.

Таблица 3.16 - Экономическая эффективность применения различных норм внесения минеральных удобрений на посевах яровой пшеницы в условиях серой лесной почвы

Показатели	Уровень применения удобрений		
	без удобрений (контроль)	средние нормы удобрений (на 3 т/га)	повышенные нормы удобрений (на 4 т/га)
Урожайность, т/га	1,986	2,824	3,578
Прибавка урожая, т/га	х	0,838	1,592
Дополнительная продукция, руб.	х	11104	21094
Дополнительные затраты – всего, руб.	х	7013	11991
В том числе:			
Удобрение, руб.	х	6856	11806
Амортизация, руб.	х	38	50
Оплата труда, руб.	х	19	25
ГМС, руб.	х	25	30
Автотранспортные работы, руб.	х	75	80
Дополнительная прибыль, руб.	х	4091	9103
Уровень рентабельности дополнительных затрат, %	х	58,3	75,9

\*Примечание: \* - На начало 2019 г. средняя цена реализации зерна пшеницы третьего класса составляла 13250 руб. (Шафран, 2019).

Стоимость дополнительной продукции рассчитали исходя из величины прибавки урожая и средней цены реализации 1 тонны зерна третьего класса на начало 2019 г. (13250 руб.). Минеральные удобрения, как в средних, так и повышенных нормах дали весьма существенный рост товарной продукции: стоимость дополнительной продукции от которых выросла соответственно на 11104 и 21094 руб./га.

Дополнительные затраты на применение удобрений, в том числе на уборку и доработку прибавки зерна, рассчитали по технологическим картам возделывания яровой пшеницы, разработанных учеными Казанского ГАУ по хозрасчетному заданию министерства сельского хозяйства и продовольствия РТ. Применение минеральных удобрений в средних и повышенных нормах увеличило затраты на возделывание яровой пшеницы соответственно на 7013 и 11991 руб./га. Несмотря на это, применение минеральных удобрений нормами, рассчитанными для получения 3,0 и 4,0 т/га зерна яровой пшеницы, оказались экономически оправданным. Экономически более выгодным было применение повышенных норм удобрений, чем средних норм. Как видно, дополнительная прибыль с каждого гектара от внесения средних норм удобрений составила 4091 руб., а от повышенных норм – 9121 руб., то есть в 2,2 раза больше. Об этом же свидетельствует относительный показатель экономической эффективности применения удобрений – уровень рентабельности: если применение средних норм удобрений обеспечило рентабельность на уровне 58,3%, то повышенных норм удобрений – 76,2%.

Таким образом, применение минеральных удобрений в нормах, установленных расчетно-балансовым методом для получения 3,0 и 4,0 т/га зерна яровой пшеницы, с учетом местных коэффициентов выноса и использования NPK из почвы и удобрения в условия серой лесной почвы было агрономически и экономически выгодным и обеспечило получение дополнительной прибыли с каждого гектара в размере 4091 (средние нормы) и 9103 руб. (повышенные нормы).

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Основные метеорологические показатели (количество осадков за вегетационный период и отдельные месяцы, сумма эффективных температур и среднемесячные температуры воздуха) за исследуемый период (1982-2018 гг.) сильно варьировали по годам, особенно резкие колебания были характерны для атмосферных осадков в мае, июне и июле.

2. В условиях серых лесных почв, характеризующихся высоким содержанием легкогидролизуемого азота ( $100 \div 149$  мг/кг), подвижных форм фосфора ( $103 \div 180$  мг/кг) и средней обеспеченностью подвижным калием ( $82 \div 139$  мг/кг) среднегодовые нормы внесения под яровую пшеницу азота, фосфора и калия в составе минеральных удобрений составили:

- для получения 3 т/га зерна соответственно 86, 45 и 45 кг д.в./га соколебаниями по годам: нормы внесения азотных удобрений варьировали от 65 до 113, фосфорных – от 36 до 58 и калийных – от 40 до 50 кг д.в./га;

- для получения 4 т/га зерна соответственно 122, 91 и 89 кг д.в./га соколебаниями по годам: нормы внесения азотных удобрений варьировали от 95 до 143, фосфорных – от 64 до 109 и калийных – от 80 до 100 кг д.в./га.

3. Метод главных компонент для оценки зависимости продуктивности яровой пшеницы от комплекса почвенно-климатических факторов, использованный в условиях Республики Татарстан впервые, позволил сократить размерность задачи и визуализировать данные в новом пространстве и ранжировать факторы по значимости их влияний на общую изменчивость всей выборки и группировать (кластеризовать) в 4 основные группы.

4. Парная корреляция показала, что на неудобренной почве содержания подвижных форм основных питательных элементов оказали заметное положительное влияние на урожайность яровой пшеницы ( $r = 0,16 \div 0,24$ ) и по значимости расположились в следующий убывающий ряд: легкогидролизуемый азот > подвижные формы фосфора > обменный калий.

Количество продуктивной влаги в метровом слое почвы в день посева практически не оказало влияние на величину урожая ( $r = 0,02$ ).

5. Установлена относительная сходность динамики изменения содержания подвижных форм фосфора и обменного калия ( $r = 0,50$ ), в то время как изменения в содержании легкогидролизуемого азота были подвержены значительным изменениям в зависимости от складывающихся погодных условий: если повышение температуры июня-июля приводило к его снижению ( $r = -0,31$ ), то количество осадков в июне и в целом за вегетационный период повлияли положительно ( $r = 0,35 \div 0,37$ ).

6. Полученные на основе парной корреляции материалы позволяют утверждать, что в условиях данного эксперимента температурный режим не был лимитирующим фактором продуктивности яровой пшеницы. Наоборот, под влиянием повышенной температуры воздуха в июне урожайность заметно снизилась ( $r = -0,34$ ). Среди климатических факторов на неудобренной почве наибольшее положительное влияние на урожайность яровой пшеницы оказали июньские атмосферные осадки ( $r = 0,29$ ), что было более действенным, чем общее количество осадков за вегетационный период ( $r = 0,23$ ).

7. Между нормами внесения минеральных удобрений и урожайностью яровой пшеницы линейная парная связь положительная и статистически достоверна при  $\alpha = 0,05$ , о чем свидетельствуют коэффициенты корреляции, имеющие диапазон от 0,72 до 0,73. По шкале Чеддока, такая теснота связи оценивается как высокая ( $r = 0,71 - 0,90$ ).

8. Характер действия на урожайность яровой пшеницы совместного внесения азотно-фосфорных, азотно-калийных и фосфорно-калийных удобрений в зависимости от уровня их применения заметно различается: если рост средних норм внесения удобрений (фон 2) сопровождался, как правило, стабильным ростом урожайности, то рост повышенных норм (фон 3) имеет выраженный криволинейный характер и максимальные нормы удобрений, чаще всего, приводили к некоторому снижению урожайности.

9. Проведенный множественный корреляционный анализ показал, что в условиях серой лесной почвы на урожайность яровой пшеницы наиболее сильное положительное влияние оказывали нормы внесения минеральных удобрений, содержание в почве доступных форм азота, фосфора и калия, а также количество атмосферных осадков за май и июнь. Наибольшее отрицательное влияние на формирование урожая проявляли среднемесячные температуры июня, июля и обильные осадки во время созревания и уборки урожая.

10. Полученная нами математическая модель взаимосвязи урожайности яровой пшеницы от норм внесения минеральных удобрений ( $^yN$ ,  $^yP$ ,  $^yK$ ) и почвенных показателей ( $^ПN$ ,  $^ПP$ ,  $^ПK$ ,  $Pв$ ) за 1982-2018 гг. является адекватной и может быть использована для прогнозирования урожайности яровой пшеницы на серых лесных почвах Республики Татарстан. Общее относительное отклонение всей выборки, полученной в 2019 и 2020 гг., составило 5,67 %, что указывает на высокую точность прогнозирования.

11. Применение минеральных удобрений в нормах, установленных расчетно-балансовым методом для получения 3,0 и 4,0 т/га зерна яровой пшеницы, в условия серой лесной почвы было агрономически и экономически выгодным и обеспечило получение дополнительной прибыли с каждого гектара в размере 4091 (средние нормы) и 9103 руб. (повышенные нормы).

### **ПРЕДЛОЖЕНИЯ ПРОИЗВОДСТВУ**

Для прогнозирования урожайности яровой пшеницы в условиях серо-лесных почв Республики Татарстан рекомендуется использовать нижеприведенное уравнение множественной регрессии, которое исходя из планируемых норм внесения азотных, фосфорных, калийных удобрений, обеспеченности почвы подвижными формами NPK и величины продуктивной влаги в метровом слое почвы перед посевом, позволяет с высокой вероятностью (относительное отклонение всей выборки составила менее 6 %) предсказать ожидаемую величину урожая зерна:



$$Y_p = -1,50124 + 0,00760 \cdot {}^yN + 0,00162 \cdot {}^yP + 0,00645 \cdot {}^yK + 0,01547 \cdot {}^nN + 0,00727 \cdot {}^nP + 0,00332 \cdot {}^nK - 0,00034 \cdot P_v .$$

где:

${}^yN$  - норм внесения азотных удобрений, кг д.в./га;

${}^yP$  – нормы внесения фосфорных удобрений, кг д.в./га;

${}^yK$  – нормы внесения калийных удобрений, кг д.в./га;

${}^nN$  – содержание легкогидролизуемого азота в пахотном слое перед посевом, мг/кг;

${}^nP$  – содержание подвижных форм фосфора в пахотном слое почвы перед посевом, мг/кг;

${}^nK$  – содержание обменного калия в пахотном слое почвы перед посевом, мг/кг;

$P_v$  - запасы продуктивной влаги перед посевом в метровом слое почвы, мм.

### **Благодарность**

Выражаю глубокую признательность и благодарность своему научному руководителю: доктору сельскохозяйственных наук, профессору Фариту Шариповичу Шайхутдинову, а также доктору технических наук, профессору Ибятову Равиль Ибрагимовичу, доктору сельскохозяйственных наук, профессору Давлятшину Ильфрит Давлиевичу, за оказание большой помощи во время проведения научных исследований, оформления диссертации и всему составу кафедры растениеводства и плодовоовощеводства, агрохимии Казанского ГАУ за помощь в проведении исследований.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Земельный кодекс Российской Федерации (от 25.10.2001 № 136-ФЗ, ред. от 13.07.2015, с изм. и доп., вступ. в силу с 24.07.2015).
2. Государственный доклад. О состоянии и использовании земель в Республике Татарстан в 2011 году. – Казань. – 2012. - 117с.
3. Агробιοгеохимический цикл фосфора/ А. Л. Иванов [и др.]; под ред. А. Л. Иванова; Российская акад. с.-х. наук. - Москва: Россельхозакадемия, 2012. - 512 с.
4. Абызов, И.Г. Суточная динамика подвижных форм калия под кукурузой на серой лесной почве / И. Г. Абызов // Тезисы докладов III-й научной конференции по вопросам химизации сельского хозяйства Татарской АССР. – Казань: [б. и.], 1971. – С. 17–19.
5. Аввакумов, О.В. Прогнозирование урожайности яровой пшеницы в лесостепной зоне среднего Поволжья по методу наименьших квадратов / О.В. Аввакумов, А.А. Лукманов, И.Д. Давлятшин // Вестник Казанского государственного аграрного университета. – 2013. – Т. 8. – № 4(30). – С. 92-98. – DOI 10.12737/2167.
6. Авдонин, Н.С. Свойства почвы и урожай / Н.С.Авдонин. – М.: Колос, 1965. – 272 с.
7. Агροхимическая характеристика почв сельскохозяйственных угодий Российской Федерации // Реестр плодородия почв. – М.: ВНИИА, 2013. – 207 с.
8. Адєрихин, П.Г. Формы калия в зональных почвах ЦЧО / П.Г. Адєрихин // Третий делегатский съезд почвоведов. – М.: Наука, 1968. – С. 30–32.
9. Адєрихин, П.Г. Фосфор в почвах в земледелии ЦЧП / П.Г. Адєрихин. – Воронеж: Изд-во Воронеж. ун-та, 1970. – 248 с.

10. Айвазян, С.А. Прикладная статистика: Классификация и снижение размерности: Справ. Изд. / С.А. Айвазян, В.М. Бухштабер, И.С. Енюков И.С., Л.Д. Мешалкин. - М.: Финансы и статистика, 1989. - 607 с.
11. Аканова, Н.И. Эффективность микробиологических препаратов в севооборотах с зернобобовыми культурами в зависимости от кислотности основных свойств почв / Н. И. Аканова, Е. Д. Двойникова. – Казань: Издательский дом «Мир без границ», 2015. – С. 65-68.
12. Алиев, Ш.А. Агрохимическая характеристика почв республики Татарстан и мероприятия по повышению ее плодородия / Ш. А. Алиев. – Казань: Матбугат йорты, 2000. – 32 с.
13. Алиев, Ш.А. Прогнозирование урожая озимой ржи / Ш. А. Алиев, Л. Г. Гаффарова, И. Д. Давлятшин // Агрохимический вестник. – 2000. – № 5. – С. 8-10.
14. Алиев, Ш.А. Агрохимическая и агроэкологическая оценка почв Республики Татарстан / Ш. А. Алиев, В. З. Шакиров, С. Ш. Нуриев. – Казань: ООО «Центр инновационных технологий», 2005. – 160 с.
15. Алиев, Ш.А. Проблемы известкования кислых почв в Республике Татарстан / Ш. А. Алиев, С. Ш. Нуриев, В. З. Шакиров // Вопросы известкования почв : Сборник статей / Всероссийский научно-исследовательский институт удобрений и агропочвоведения им. Д.Н. Прянишникова. – Москва : Агроконсалт, 2002. – С. 21-22.
16. Амиров, М.Ф. Формирование урожая яровой мягкой пшеницы при использовании биологических препаратов и минеральных удобрений / М. Ф. Амиров // Вестник Казанского государственного аграрного университета. – 2017. – Т. 12. – № 2(44). – С. 5-8.
17. Апарин, Б.Ф. Бонитировка почв и основы государственного земельного кадастра: учебное пособие / Апарин Б.Ф., Русаков А.В., Булгаков Д.С. - СПб.: Изд-во С.- Петерб. ун-та, 2002. –88 с.

18. Бабьева, И.П. Биология почв: учебник / И.П. Бабьева И.П., Г.М. Зенова. – Москва: Изд-во МГУ, 1989. - 336 с.
19. Береза, О. В. О возможности прогнозирования урожайности озимой пшеницы в Среднем Поволжье на основе комплексирования наземных и спутниковых данных / О. В. Береза, А. И. Страшная, Е. А. Лупян // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. – 2015. – Т. 12. – № 1. – С. 18-30.
20. Блашевский, В.К. Известкование кислых почв в Юго-Западной части лесостепи УССР / В.К. Блашевский // Агрехимия. – 1969. – №2. – С.90–96.
21. Братчиков, В.Г. Баланс питательных веществ при окультуривании серых лесных почв / В.Г. Братчиков, Б.М. Галимов, И.П. Добрынина. – Казань: Изд-во Казан. ун-та, 1988. – 170 с.
22. Бровкина, Е.А. Известкование кислых почв в лесостепи УССР и Центральной черноземной полосе РСФСР: автореферат диссертации на соискание ученой степени доктора сельско - хозяйственных наук / Е.А. Бровкина. – Киев, 1967. – 36 с.
23. Булгаков, Д.С. Использование элементов теории корреляции в почвенных исследованиях / Д.С. Булгаков // Почвоведение. – 1966. – №3. – С. 91–99.
24. Булгаков, Д.С. Методология агроэкологической оценки почв земледельческой территории: специальность 06.01.03 «Агрофизика»: автореферат диссертации на соискание ученой степени доктора сельско - хозяйственных наук/ Булгаков Дмитрий Сергеевич. – Москва, 1999. – 44 с.
25. Валиев, А.А. Метод главных компонент для визуализации данных по урожайности яровой пшеницы/ А. А. Валиев, Р. И. Ибяттов, Ф. Ш. Шайхутдинов, Н. Г. Киселева// Устойчивое развитие сельского хозяйства в условиях глобальных рисков: Материалы научно-практической конференции, Казань, 07 декабря 2016 года. – Казань: Казанский государственный аграрный университет, 2016. – С. 166-171.

26. Валиев, А.А. Информационные технологии в обработке и визуализации данных/ А. А. Валиев, Р. И. Ибяттов, Н. Г. Киселева// Актуальные проблемы физико-математического образования: Материалы II Международной научно-практической конференции, Набережные Челны, 20–22 октября 2017 года. – Набережные Челны: Набережночелнинский государственный педагогический университет, 2017. – С. 193-195.

27. Валиев, А.А. Применение искусственных нейронных сетей при расчете внесения доз удобрений под планируемую урожайность яровой пшеницы/ А. А. Валиев, Р. И. Ибяттов, Н. Г. Киселева// Сельское хозяйство и продовольственная безопасность: технологии, инновации, рынки, кадры: Научные труды II Международной научно-практической конференции, посвященной 70-летию Института механизации и технического сервиса и 90-летию Казанской зоотехнической школы, Казань, 28–30 мая 2020 года. – Казань: Казанский государственный аграрный университет, 2020. – С. 232-238.

28. Валиев, А.А. Построение искусственных нейронных сетей для задачи прогнозирования/ А. А. Валиев, Р. И. Ибяттов, Н. Г. Киселева// Сельское хозяйство и продовольственная безопасность: технологии, инновации, рынки, кадры: Научные труды II Международной научно-практической конференции, посвященной 70-летию Института механизации и технического сервиса и 90-летию Казанской зоотехнической школы, Казань, 28–30 мая 2020 года. – Казань: Казанский государственный аграрный университет, 2020. – С. 238-243.

29. Валиев, А.А. Прогнозирование урожайности яровой пшеницы с применением трехслойного персептрона/ А.А. Валиев// Научное сопровождение технологий агропромышленного комплекса: теория, практика, инновации: Научные труды I-ой Международной научно-практической конференции, Казань, 06–07 февраля 2020 года. – Казань: Казанский государственный аграрный университет, 2020. – С. 282-285.

30. Валиев, А.А. Calculation of making doses of fertilizers under planned yield of spring wheat using an artificial neural network/ А. А. Valiev, R. I. Ibyatov,

S. V. Novikova, N. G. Kiseleva // Bio web of conferences: International Scientific-Practical Conference “Agriculture and Food Security: Technology, Innovation, Markets, Human Resources” (FIES 2020), Kazan, 28–30 мая 2020 года. – Kazan: EDP Sciences, 2020. – P. 00120. – DOI 10.1051/bioconf/20202700120.

31. Валиев, А.А. Одномерная калибровка для анализа урожайности яровой пшеницы/ А. А. Валиев, Р. И. Ибяттов, Н. Г. Киселева// Современные достижения аграрной науки: Научные труды всероссийской (национальной) научно-практической конференции, посвященной памяти заслуженного деятеля науки и техники РФ, профессора, академика академии Аграрного образования, лауреата Государственной премии РФ в области науки и техники, заслуженного изобретателя СССР Гайнанова Хазипа Сабировича, Казань, 26 февраля 2021 года. – Казань: Казанский государственный аграрный университет, 2021. – С. 259-264.

32. Вильдфлуш, И.Р. Экономическая эффективность применения удобрений, ризобиального инокулянта и регулятора роста при возделывании полевого гороха / И.Р. Вильдфлуш, О.В. Малашевская // Вестник Белоркской государственной сельскохозяйственной академии. – 2021. - № 2. – С. 117-120.

33. Виноградов, А.П. Геохимия редких и рассеянных химических элементов в почвах / А.П. Виноградов. – М.: Изд-во АН СССР, 1957. – 240 с.

34. Войтович, Н.В. Фосфориты России и Ближнего Зарубежья / Н. В. Войтович, Б. А. Сушеница, В. Н. Капранов ; Рос. акад. с.-х. наук, Науч.- исслед. ин-т с.-х. хоз-ва Центр. р-нов Нечернозем. зоны. – Москва: Изд-во ВНИИА, 2005. – 447 с.

35. Возбуцкая, А.Е. Химия почв / А.Е. Возбуцкая. – М.:Высш. шк., 1968. – 427 с.

36. Воробьев, С.А. Продуктивность севооборотных звеньев с пропашными культурами / С.А. Воробьев, Б.Г. Береснев // Изв. ТСХА. – 1966. – №1. – С.30–34.

37. Гаврилюк, Ф.Я. Бонитировка почв / Ф. Я. Гаврилюк. – М.: Высш. шк., 1974. – 271с.
38. Гамзиков, Г.П. Агрохимия азота в агроценозах / Г.П. Гамзиков. – Новосибирск: Новосиб. ГАУ, 2013. – 790с.
39. Гилязов, М.Ю. Длительное применение удобрений и продуктивность пашни / М.Ю. Гилязов, А.А. Лукманов, М.Р. Муратов. – Казань: изд-во Казанского университета, 2016. – 220 с.
40. Гинзбург, К.Е. Фосфор основных типов почв СССР/ К.Е. Гинзбург. – М.: Наука, 1981. - 244с.
41. Годин, А.М. Статистика: учебник / А. М. Годин. – Москва: Дашков и К°, 2016. – 451 с.
42. Гореева, Н.М. Статистика: в схемах и таблицах: учебное пособие для студентов высших учебных заведений, обучающихся по специальности "Статистика" и другим экономическим специальностям / Н. М. Гореева [и др. ] ; под общ. ред. С. А. Орехова. - Москва: Эксмо, 2007. – 414 с.
43. Давлятшин, И.Д. Географические закономерности почвообразования и принципы бонитировки почв Актюбинской области / И.Д. Давлятшин // Бонитировка неорошаемых почв Казахстана. – Алма-Ата: Наука, 1976. – С.38–159.
44. Давлятшин, И.Д. Статистические параметры и бонитировка пахотных почв семиаридной зоны равнинного Казахстана: специальность 06.01.03 «Агрофизика»: автореферат диссертации на соискание ученой степени доктора биологических наук / Давлятшин Ильфрит Давлиевич. – Новосибирск, 1993. – 52 с.
45. Давлятшин, И.Д. Динамика урожайности яровой пшеницы / И.Д. Давлятшин, Н.Б. Бакиров // Научный Татарстан. – 1999. – №2. – С. 50–56.
46. Давлятшин, И.Д. Динамика агрохимических свойств пахотных почв и урожайность озимой ржи / И. Д. Давлятшин, Ш. А. Алиев, Л. Г. Гаффарова // Агрохимия. – 2001. – № 9. – С. 13-16.



47. Давлятшин, И.Д. Урожайность озимой ржи окупаемость минеральных и органических удобрений/ И.Д. Давлятшин, Н.Б. Бакиров// Нива Татарстана. -2005. - № 1-2. – С. 21-24.

48. Давлятшин, И.Д. Скользящая средняя урожайности зерновых культур в лесостепной зоне и практические аспекты ее применения/ И.Д. Давлятшин, Н.Б. Бакиров // Вестник Казанского ГАУ. – 2006. - № 4. - С. 20-23.

49. Давлятшин, И.Д. Скользящие средние урожайности яровой пшеницы в лесостепной зоне и аспекты их применения / И. Д. Давлятшин, Н. Б. Бакиров // Вестник Российской академии сельскохозяйственных наук. – 2007. – № 3. – С. 9-12.

50. Давлятшин, И.Д. Почвенно-агрохимические параметры и урожайность яровой пшеницы в лесостепи Западного ЗакамьяПредуральской провинции / И.Д. Давлятшин, Н.Б. Бакиров. – Казань: Изд-во Казан. ун-та. - 2010. – 358 с.

51. Давлятшин, И.Д. Агрохимические факторы, атмосферные осадки и урожайность яровой пшеницы в лесостепи Среднего Поволжья (на примере Пестречинского муниципального района Республики Татарстан) / И. Д. Давлятшин, А. А. Лукманов ; Под редакцией А.В. Ивойлова. – Казань : Казанский (Приволжский) федеральный университет, 2016. – 198 с.

52. Давлятшин, И.Д. Связь между элементами питания и урожайностью яровой пшеницы / И. Д. Давлятшин, Р. В. Миникаев, Г. С. Сайфиева // Вестник Российской академии сельскохозяйственных наук. – 2012. – № 3. – С. 8-11.

53. Давлятшин, И.Д. Источники фосфора и оценка их вклада в подвижный фонд этого элемента в пахотных почвах в лесостепной зоне / И. Д. Давлятшин, А. А. Лукманов, М. И. Маметов // Достижения науки и техники АПК. – 2018. – Т. 32. – № 4. – С. 21-24.

54. Давлятшин, И.Д. Фонд подвижного фосфора, калия и урожайность яровой пшеницы в средней полосе лесостепи/ И.Д. Давлятшин. - Казань: Изд-во Казан. аграрного ун-та, 2019. – 164 с.

55. Давлятшин, И.Д. Почвенная кислотность, степень удобренности и урожайность яровой пшеницы в Северной полосе лесостепной зоны Республики Татарстан / И. Д. Давлятшин, А. А. Лукманов, Р. Р. Гайров // *Агрохимия*. – 2019. – № 4. – С. 54-59.
56. Демин, В.А. Определение доз удобрений под сельскохозяйственные культуры в севообороте / В.А. Демин.- М.: ТСХА, 1981. - 81с.
57. Державин, Л.М. Применение минеральных удобрений в интенсивном земледелии / Державин Л.М. – М.: «Колос», 1992. - 271 с.
58. Дмитриев, Е.А. Математическая статистика в почвоведении / Е.А.Дмитриев. – М.: Изд-во Москов. ун-та, 1995. – 320 с.
59. Добровольский, В.В. Основы биогеохимии/ В.В. Добровольский. – М.: Академия, 2006. – 398 с.
60. Донских, И.Н. Курсовое и дипломное проектирование по системе применения удобрения /И.Н. Донских. - 3-е изд., перераб. и доп. - М.: КолосС, 2004. - 144 с.
61. Доспехов, Б.А. Методика полевого опыта/ Б.А. Доспехов - М.: Колос, 1985. – 351 с.
62. Елисеева, И.И. Эконометрика учебник для бакалавриата и магистратуры / И.И. Елисеева и др.; под редакцией И.И.Елисеевой. – Москва: Издательство Юрайт, 2017. – 449 с.
63. Емцев, В.Т. Микробиология / В. Т. Емцев, В. К. Шильникова. - М.: Агропромиздат, 1990. - 190 с.
64. Еремин, Д.И. Динамика подвижного фосфора пахотного чернозема при длительном использовании органоминеральной системы удобрений в лесостепной зоне Зауралья / Д.И.Еремин // *Плодородие*. – 2015. – №4. – С.13–17.
65. Ефимов, В.Н. Система удобрения / В.Н. Ефимов, И.Н. Донских, В.П. Царенко. Под ред. В.Н. Ефимова. - М.: КолосС, 2002. – 320 с.

66. Забавская, К.М. Влияние длительного применения калийных удобрений на превращение форм калия в дерново-подзолистой тяжелосуглинистой почве и изменение ее агрохимических свойств: автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата сельско - хозяйственных наук / К.М. Забавская. – М., 1970. – 22 с.

67. Завалин, А.А. Азот в агросистеме на черноземных почвах (К 125-летию экспедиции В.В. Докучаева в Каменную степь)/А.А. Завалин, О.А. Соколов, Н.Я. Шмырева. – М.: РАН, 2018. – 180 с.

68. Зеленина, М.Ф. Влияние известкования (дефекатом) на эффективность повышения доз минеральных удобрений и навоза под сахарную свеклу на выщелоченном черноземе: автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата сельско - хозяйственных наук / М.Ф. Зеленина. – Киев, 1977. – 23с.

69. Зиганшин, А.А. Интенсивные технологии и программирование урожайности / А.А. Зиганшин. – Казань: Таткнигоиздат, 1987. – 112с.

70. Зиганшин, А.А. Урожай по программе / А.А. Зиганшин // Научный Татарстан. – 1996. – №4. – С.52–59.

71. Зиганшин, А.А. Современные технологии и программирование урожайности / А.А. Зиганшин. – Казань: Изд-во Казан. ун-та, 2001. – 172с.

72. Зиганшин, А.А. Рекомендации по программированию урожаев / А.А. Зиганшин, Л.Р. Шарифуллин. – Казань: [б. и.], 1973. – 19 с.

73. Зиганшин, А.А. Факторы запрограммированных урожаев / А.А. Зиганшин, Л. Р. Шарифуллин. – Казань: Таткнигоиздат, 1974. – 176 с.

74. Зиганшин, А.А. Методическое указание по изучению научных основ интенсивных технологий и путей их совершенствования (для слушателей АПК) / А.А. Зиганшин, В.Н. Фомин, В.П. Владимиров. – Казань: [б. и.], 1990. – 58 с.

75. Зиновьев, А.Ю. Визуализация многомерных данных / А.Ю. Зиновьев – Красноярск: Издательство КГТУ, 2000. - 168с.

76. Ибяттов, Р.И. Применение метода главных компонент для уменьшения размерности многомерных данных/ Р. И. Ибяттов, Н. Г. Киселева, А. А. Валиев// Актуальные проблемы физико-математического образования: Материалы II Международной научно-практической конференции, Набережные Челны, 20–22 октября 2017 года. – Набережные Челны: Набережночелнинский государственный педагогический университет, 2017. – С. 21-23.

77. Ибяттов, Р.И. Анализ урожайности яровой пшеницы методом главных компонент / Р. И. Ибяттов, Ф. Ш. Шайхутдинов, А. А. Валиев // Зерновое хозяйство России. – 2017. – № 2(50). – С. 17-22.

78. Ибяттов, Р.И. Анализ факторов, влияющих на урожайность яровой пшеницы в условиях серых лесных почв Республики Татарстан, методом главных компонент / Р. И. Ибяттов, Ф. Ш. Шайхутдинов, А. А. Валиев // Вестник Казанского государственного аграрного университета. – 2019. – Т. 14. – № 3(54). – С. 31-36.

79. Ибяттов, Р.И. Графический анализ влияния факторов на урожайность яровой пшеницы / Р. И. Ибяттов, А. А. Валиев, Ф. Ш. Шайхутдинов, Н. Г. Киселева// Аграрная наука XXI века. Актуальные исследования и перспективы: Труды III международной научно-практической конференции, Казань, 22 мая 2019 года. – Казань: Казанский государственный аграрный университет, 2019. – С. 101-107.

80. Ибяттов, Р.И. Проекционный метод исследования урожайности яровой пшеницы/ Р. И. Ибяттов, А. А. Валиев, Ф. Ш. Шайхутдинов, Н. Г. Киселева// Аграрная наука XXI века. Актуальные исследования и перспективы: Труды III международной научно-практической конференции, Казань, 22 мая 2019 года. – Казань: Казанский государственный аграрный университет, 2019. – С. 98-101.

81. Ибяттов, Р.И. Метод главных компонент / Учебное пособие // Р.И. Ибяттов, И.Г. Киселева, А.А.Валиев, А.Н. Зиннатуллина – Казань: Изд-во Казанского ГАУ. 2019. -72 с.

82. Иванов, А.Л. Почвенные ресурсы и биологический потенциал в системе мер адаптации сельского хозяйства России к природно-климатическим изменениям / А.Л. Иванов // Плодородие. – 2018. - № 1. - С.42-47.

83. Иванов, Н.Н. Ландшафтно-климатические зоны земного шара / Н. Н. Иванов // Зап. Всесоюз. географ. общ-ва. Новая серия. Т.1. – Л.: Изд-во АН СССР, 1948. – 224 с.

84. Ивойлов, А.В. Эффективность удобрения и известкования выщелоченных черноземов / А.В. Ивойлов. – Саранск: Изд-во Мордов. ун-та, 2015. – 264 с.

85. Ивойлов, А.В. Влияние основных видов удобрений и их сочетаний при длительном применении на урожайность культур, качество продукции и агрохимические показатели чернозема выщелоченного тяжелосуглинистого / А.В. Ивойлов, А.В. Малова // Агрохимия. – 1993. – № 3. – С.25–38.

86. Ильин, В.Б. Элементный химический состав растений / В.В. Ильин. – Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1985. – 129 с.

87. Ивченко, Г.И. Математическая статистика / Г.И. Ивченко, Ю.И. Медведев. - М.: [не указано], 2016. - 329 с.

88. Инструкция и нормативы по определению экономической и энергетической эффективности применения удобрений. - М.: Союзсельхозхимия, 1987. - 44 с.

89. Карманов, И. И. Плодородие почв СССР (природные закономерности и количественная оценка) / И. И. Карманов. – М.: Колос, 1980. – 224 с.

90. Карманов, И.И. Бонитировка почв на основе почвенно-экологических показателей / Карманов И.И., Фриев Т.А. // Почвоведение – 1982. - № 5. – С. 13-21.

91. Карманов, И.И. Система оценки природно-антропогенных воздействий на изменение плодородия почв пахотных земель на основе почвенно-агроклиматического индекса / И. И. Карманов Д. С. Булгаков Е. А.

Шишконокова // Бюллетень Почвенного института им. В.В. Докучаева. – 2013. – № 72. – С. 65-83.

92. Каюмов, М.К. Программирование продуктивности полевых культур / М.К. Каюмов. – М.: Росагропромиздат, 1989. – 368 с.

93. Кидин, В.В. Агрохимия / В.В. Кидин, С.П. Торшин. – М.: Проспект, 2016. – 608 с.

94. Киселева, Н.Г. Первичный анализ многомерных данных методом главных компонент на примере яровой пшеницы/ Н. Г. Киселева, А. А. Валиев, Р. И. Ибятков// Современные достижения аграрной науки: научные труды всероссийской (национальной) научно-практической конференции/ Казанский государственный аграрный университет. – Казань: Казанский государственный аграрный университет, 2020. – С. 73-78.

95. Классификация и диагностика почв СССР / В.В. Егоров, В. М. Фридланд, Е.Н. Иванова [и др.]. – М.: Колос, 1977. – 224 с.

96. Ковда, В.А. Основы учения о почвах / В.А. Ковда. – М.: Наука, 1973. – Кн. 1. – 448 с.; Кн.2. – 468 с.

97. Кореньков, Д.А. Удобрения их свойства и способы использования / Д.А. Кореньков.–М.: Колос, 1982. –415 с.

98. Колешко, О.И. Азотфиксирующие бактерии (физиология развития) / О. И. Колешко. – Минск: Изд-во БГУ, 1981. –194 с.

99. Костычев, П. А. Учение об удобрении почв. СПб. 1984. - с. (Учение об удобрении почв : Состав, свойства и употребление главнейших удобрительных веществ : Средства для определения истощения почвы : Руководство для практ. хозяев / Сост. П. Костычев. - 2-е доп. и испр. изд. - Санкт-Петербург : А.Ф. Девриен, 1893. - [4], 231 с.)

100. Кудеяров, В.Н. Цикл азота в почве и эффективность удобрений / В. Н. Кудеяров; Рецензенты: В.Л. Ковда, Д.А. Кореньков. – Москва: Академический научно-издательский, производственно-полиграфический и

книгораспространительский центр Российской академии наук «Издательство «Наука», 1989. – 216 с.

101. Кудеяров, В.Н. Агрохимические циклы углерода и азота в современном земледелии России// В.Н. Кудеяров// Агрохимия. – 2019. - № 12. – С. 3-15.

102. Кук, Д.У. Регулирование плодородия почвы / Дж. У. Кук. – М.: Колос, 1970. – 474 с.

103. Кук, Д.У. Системы удобрения для получения максимальных урожаев. Пер. с англ. / Д.У. Кук. – М.: Колос, 1975. – 416 с.

104. Кулаковская, Т.Н. Оптимизация агрохимической системы почвенного питания растений / Т.Н. Кулаковская. – М.: Агропромиздат, 1990. – 220 с.

105. Кулешов, А.Н. Экономическая и биоэнергетическая эффективность в зависимости от урожайности сортов ярового ячменя / А.Н. Кулешов, А.С. Ерешко, В.Б. Хронюк, Е.К. Кувшинова // Вестник аграрной науки Дона - 2012. - С. 87-91.

106. Кулик, М.С. Погода и минеральные удобрения / Кулик М.С. – Ленинград: Гидрометеиздат, 1966. - 140 с.

107. Кумаков, В.А. Биологические основы возделывания яровой пшеницы по интенсивной технологии / В.А. Кумаков. - М.: Росагропромиздат, 1988. - 102 с.

108. Курганова, Е.В. Плодородие и продуктивность почв Московской области / Е.В. Курганова. – М.: Изд-во Москов. ун-та, 2002. – 320с.

109. Куркаев, В.Т. Агрохимия/ Куркаев В.Т., А.Х. Шеуджен// - Майкоп. – ГУРИПП «Адыгея». – 2000. – 552с.

110. Курочкин, М.Ф. Оценка земли/ М.Ф. Курочкин, И.С. Муртазин. – Казань: Таткнигоиздат. – 1971. – 184 с.

111. Лозе, Ж. Толковый словарь по почвоведению: пер. с франц. /Ж. Лозе, К. Матье. – М.: Мир, 1998. – 398 с.

112. Ломако, Е.И. Влияние основного известкования выщелоченного чернозема на агрохимические свойства и продуктивность сельскохозяйственных культур / Е.И. Ломако, С.Ш. Нуриев // Бюл. ВИУА. – 2001. – №115. – С.44–46.

113. Ломако, Е.И. Воспроизводство плодородия почв Республики Татарстан / Е. И. Ломако, Н. Б. Бакиров; Российская акад. с.-х. наук, Татарский науч.-исслед. ин-т агрохимии и почвоведения, ОАО «Респ. кадастровый центр «Земля». - Казань: Изд-во Казанского гос. ун-та, 2007. - 317 с.

114. Лукин, А.С. Методология определения экономической эффективности применения минеральных удобрений / А.С. Лукин, В.Б. Папырин // Вестник ОмГАУ. – 2016. - № 3 (23). – С. 77-83.

115. Лукманов, А.А. Эколого-агрохимическая оценка плодородия почв и эффективности применения удобрений в Предволжье Республики Татарстан: автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата биологических наук / А.А. Лукманов. – М., 2011. – 26 с.

116. Лукманов, А.А. Оценка вклада факторов в почвенный фонд фосфора в лесостепных черноземах Республики Татарстан/А.А. Лукманов// Агрохимический вестник. - 2019. - № 5. – 3-7.

117. Лукманов, А.А. Калийный фонд черноземов в лесостепной зоне /А.А. Лукманов// Плодородие. - 2019. - № 5. – 9-13.

118. . Лукманов, А.А. Известкование кислых почв в Республике Татарстан / А. А. Лукманов, К. В. Владимиров, А. А. Валиев [и др.] // Достижения науки и техники АПК. – 2021. – Т. 35. – № 9. – С. 15-18.

119. Лунева, Р.И. Бонитировка почв Молдавии для полевых культур / Р. И. Лунева, Л. Н. Рябина // Молд. науч.-исслед. ин-т почвоведения и агрохимии им. Н. А. Димо. - Кишинев: Штиинца, 1976. - 85 с.

120. Никитин, Б.А. Влияние степени окультуренности дерново-подзолистых почв на групповой состав азота, фосфора и калия / Б.А. Никитин // Агрохимия. – 1975. – №1. – С.40–47.



121. Носко, В.П. Эконометрика. В 2 кн. / В. П. Носко. –М.: Дело, 2011. – 672 с.
122. Николаева, Н.И. Динамика подвижных форм азота, фосфора и калия под различными сельскохозяйственными культурами / Н.И. Николаева // Тр. Пензенского СХИ. – 1963. – Вып. 9. – С.30–32.
123. Менделеев, Д.И. Основы химии. Об опытах Императорского экономического общества над действием удобрений. В сб.: ВЭО. - 1982. - Т.1. - №4. – С. 407-439.
124. Мережин, В.П. Солнечная активность и урожайность сельскохозяйственных культур / В.П. Мережин, И.Д. Давлятшин // Научный Татарстан. – 2002. – №3–4. – С.45–55.
125. Минеев, В.Г. Основные направления исследований влияния погодно-климатических условий на эффективность удобрений // Тр. ВИУА. – 1985. – С. 8-16.
126. Минеев, В.Г. Агрохимия и экологические функции калия / В.Г. Минеев. – М.: Изд-во Москов. ун-та, 1999. – 332 с.
127. Минеев, В.Г. Практикум по агрохимии: Учеб. пособие. - 2-е изд., перераб. и доп. / Под ред. академика РАСХН В. Г. Минеева. - М.: Изд-во МГУ, 2001. - 689 с.
128. Минеев, В.Г. Агрохимия / В.Г. Минеев. – М.: Изд. МГУ, 2004. - 720 с.
129. Минеев, В.Г. Эффективность биологического азота в питании яровой мягкой пшеницы / В. Г. Минеев, Е. В. Надежкина, С. М. Надежкин // Доклады Российской академии сельскохозяйственных наук. – 2006. – № 3. – С. 36-39.
130. Минеев, В.Г. Агрохимия / В.Г. Минеев, В.Г. Сычев, Г.П. Гамзиков и др. – М.: Изд.-во ВНИИА им. Д.Н. Прянишникова, 2017. - 854 с.
131. Муравин, Э.А. Агрохимия / Э.А. Муравин, В.И. Титова. - М.: КолосС, 2009. - 463 с.

132. Назарюк, В.М. Баланс и трансформация азота в агроэкосистемах / В. М. Назарюк. – Новосибирск : Издательство Сибирского отделения РАН, 2002. – 257 с.
133. Никитина, Л.В. Калийный режим и эффективность калийных удобрений / Л.В. Никитина// Плодородие почв России: состояние и возможности (к 100-летию Т.Н. Кулаковской). – Москва: под ред. В.Г. Сычева. - М.: ВНИИА, 2019. – С. 56-71.
134. Окорков, В.В. Фосфорно-калийный режим серой лесной почвы Владимирского ополья / В.В. Окорков // Достижения науки и техники АПК. – 2015. – Т.29 - № 8. – С. 28–31.
135. Панников, В.Д. Почва, климат, удобрение и урожай / В.Д. Панников, В.Г. Минеев.- М.: Агропромиздат.-1987.-512 с.
136. Переведенцев, Ю.П. Глобальные и региональные изменения климата на рубеже XX и XXI столетий / Ю.П. Переведенцев, Ф.В. Гоголь, К.М. Наумов, К.М. Шаталинский // Вестник ВГУ. Серия: География. Геоэкология. - 2007. - № 2. - С. 5-12.
137. Перельман, А.И. Геохимия элементов в зоне гипергенеза/А.И. Перельман. – М.: Недра, 1972. – 287 с.
138. Периодическое известкование – фактор стабилизации урожая в условиях засухи// И.А. Шильников, Н.И. Аканова, Н.А. Зеленев [и др.]. // Плодородие. – 2012. - № 2. – С 34-36.
139. Петербургский, А.В. О влиянии кислотности почв на растения / А. В. Петербургский // Почвоведение. – 1955. – №5. – С. 19–29.
140. Петербургский, А.В. Круговорот и баланс питательных веществ в земледелии / А.В. Петербургский. – М.: Наука, 1979. – 168 с.
141. Петербургский, А.В. Фосфор в почве и фосфатное питание растений / А.В. Петербургский. – Пушкино: ОНТИ НЦБИ, 1980. – 31 с.

142. Потери питательных элементов России. Монография. / И.А. Шильников, В.Г. Сычев, А.Х. Шеуджен, Н.И. Аканова // Изд-во LambertA. KG, AcademicPublishing, OmnidH&CoKG, Deutschland. – 2015. - 502 с.
143. Почвоведение: учебник. В 2 ч. под ред. В.А. Ковды, Б.Г. Розанова. – Ч.1: Почва и почвообразование / Г.Д. Белицина, В.Д. Васильевская, Л.А. Гришина [и др.]. – М.: Высш. шк., 1988. – 400с.
144. Почвоведение. В 2 ч. / под ред. В.А. Ковды, Б.Г. Розанова. – Ч.2. Типы почв, их география и использование / Л.Г. Богатырев, В.Д. Васильевская, Л. А. Гришина [и др.]. – М.: Высш. шк., 1988. – 400 с.
145. Пчелкин, В.У. Почвенный калий и калийные удобрения / В.У. Пчелкин. – М.: Колос, 1966. – 336 с.
146. Померанцев, А.Л. Метод Главных Компонент (РСА) / А.Л.Померанцев Российское хемометрическое общество, 2011 – <http://rcs.chemometrics.ru/Tutorials/pca.htm>
147. Посыпанов, Г.С. Растениеводство / Г.С. Посыпанов. – М.: Инфра-М, 2019. – 612с
148. Прогнозирование урожайности сельскохозяйственных культур на основе спутниковых данных: возможности и перспективы / И. Ю. Савин [и др.] // Современные проблемы дистанционного зондирования земли из космоса. – 2010. – № 3. – С. 275–285.
149. Прогнозирование урожайности сельскохозяйственных культур: учеб. пособие / А. И. Трубилин, Г. Ф. Петрик, А. Г. Прудников – Краснодар: КубГАУ, 2017. – 95 с.
150. Прокошев, В.В. Калий и калийные удобрения / В.В. Прокошев, И. П. Дерюгин. – М.: Ледум, 2000. – 185 с.
151. Прошкин, В.А. Эффективность применения фосфорных удобрений под пшеницу в зависимости от агрохимических свойств почв / В.А. Прошкин, Е.С. Козенчева // Агрохимия. – 2015. – №3. – С. 34–42.

152. Прудников А.Г. Краткосрочный прогноз производства зерна: монография / А. Г. Прудников. – М.: Росагропромиздат, 1989. – 120 с.
153. Прянишников, Д.Н. Избранные сочинения в 3 т. / Д.Н. Прянишников; сост. А.В. Петербургский. Т.1: Агрехимия. – М.: Колос, 1965. – 767 с.
154. Роде, А.А. Почвенные гидрологические горизонты и почвенный гидрологический профиль / Роде А.А. // Почвоведение. - 1969. - № 3. - С. 93–100.
155. Рожков, В.А. Экономный код почвенных данных / В. А. Рожков // Бюллетень Почвенного института им. В.В. Докучаева. – 1989. – № 53. – С. 32-35.
156. Рожков, В.А. Оценка информативности почвенных признаков / В. А. Рожков // Почвы и окружающая среда. – 2018. – Т. 1. – № 3. – С. 143-150. –
157. Рокицкий, П.Ф. Биологическая статистика / П.Ф. Рокицкий. – Минск :Вышэйшая школа, 1972. – 320 с.
158. Савельев, В.А. Растениеводство: учеб. Пособие / В.А. Савельев. – СПб.: Лань, 2016. – 316 с.
159. Савин, И.Ю. Прогнозирование урожайности сельскохозяйственных культур на основе спутниковых данных: возможности и перспективы / И. Ю. Савин [и др.]. // Современные проблемы дистанционного зондирования земли из космоса. – 2010. – № 3. – С. 275–285.
160. Савич, В.И. Применение вариационной статистики в почвоведении / В. И. Савич. – М.: Изд-во ТСХА, 1972. – 103 с.
161. Сапожников, Н.А. Научные основы системы удобрения в нечерноземной полосе / Н. А. Сапожников, М.Ф. Корнилов. Изд. 2-е, перераб. и доп. – Л.: Колос, 1977. - 296 с.
162. Сафонов, А.Ф. Системы земледелия : учебник / А. Ф. Сафонов [и др.]; ред. А. Ф. Сафонов. - М.: КолосС, 2006. - 447с.
163. Селянинов Агроклиматическая карта мира под ред. д-ра геогр. наук И. А. Гольцберг ; Всесоюз. ордена Ленина акад. с.-х. наук им. В. И. Ленина. Всесоюз. науч.-исслед. ин-т растениеводства

164. Семенов, В.А. Качественная оценка сельскохозяйственных земель / В.А. Семенов. – Л.: Колос, 1970. – 160 с.
165. Семенов, В.А. Оценка земель и прогноз урожая / В.А. Семенов. – Л.: Лениздат, 1977. – 137 с.
166. Семенов, В.А. Взаимосвязь между содержанием гумуса и другими свойствами почвы – факторами урожая / В.А. Семенов // Почвоведение. – 1992. – № 11. – С. 68–80.
167. Сержанов, И.М. Влияние биологических удобрений на урожайность и качество зерна яровой пшеницы в условиях северной части лесостепи / И. М. Сержанов, Ф. Ш. Шайхутдинов, С. Ш. Нуриев, И. И. Майоров // Достижения науки и техники АПК. – 2013. – № 9. – С. 29-31.
168. Системы земледелия /А.Ф. Сафонов, А.М. Гатауллин, И.Г. Платонов и др. Под ред. А.Ф. Сафонова. - М.: КолосС, 2006. - 447 с.
169. Система земледелия Республики Татарстан. Инновации на базе традиций / И. Х. Габдрахманов, Д. И. Файзрахманов, А. Р. Валиев [и др.]. – Казань : Центр инновационных технологий, 2013. – 168 с.
170. Система земледелия республики Татарстан / М. Ф. Амиров, И. Р. Валеев, А. Р. Валиев [и др.]. – Казань: ООО "Центр инновационных технологий", 2014. – 304 с.
171. Соболев, С.С. Бонитировка почв / С.С. Соболев, И.А. Полянский. – М.: Изд-во ВАСХНИЛ, 1965. – 414 с.
172. Соколов, А.В. Агрохимия фосфора/А.В. Соколов. – М.-Л.: Изд-во АН СССР. 1950. – 149 с.
173. Соколова, Т.А. Калийное состояние почв, методы его оценки и пути оптимизации / Т.А. Соколова. – М.: Изд-во Москов. ун-та, 1987. – 46с.
174. Составление проекта на применение удобрений: рекомендации / МСХ РФ. М.: ФГНУ «Росинформагротех», 2000. - 154 с.

175. Справочник агрохимика / И.Д. Давлятшин, М.Ю. Гилязов, А.А. Лукманов [и др.]. Подред. И.Д. Давлятшина. – Казань: Изд. дом «МеДДоК», 2013. – 300 с
176. Сычев, В.Г. Основные ресурсы урожайности сельскохозяйственных культур и их взаимосвязь / В.Г. Сычев. – М.: ЦИНАО, 2003. – 228с.
177. Сычев, В.Г. Почвенно-агрохимические ресурсы повышения продуктивности земледелия в Приволжском регионе / В. Г. Сычев, Р. А. Афанасьев // Плодородие. – 2017. – № 4(97). – С. 2-6.
178. Сычев, В.Г. От главного редактора / В.Г. Сычев // - Плодородие. 2018. - №1 (100). – С. 2-3.
179. Сычев, В.Г. Современное состояние плодородия почв и основные аспекты его регулирования/ В.Г. Сычев. – М.: РАН, 2019. - 325с.
180. Сычев, В.Г. Эффективность фосфорных удобрений на почвах России и основные направления исследований по агрохимии фосфора / В. Г. Сычев, С.А. Шафран, С.Н. Андрианов // Бюл. Географ. сети опытов с удобрениями. – Вып. 10. – М.: ВНИИА, 2010. – 48 с.
181. Соболев, А.Д. Основы вариационной статистики/ А. Д. Соболев Издательство ФГОУ ВПО МГАВМиБ им. К. И. Скрябина, 2003. – 110 с.
182. Тайчинов, С.Н. Система качественной оценки почв / С.Н. Тайчинов // Почвоведение. – 1971. – №1. – С.24–34.
183. Теоретические основы и пути повышения плодородия почв / Л.Л. Шишов, Д.Н. Дурманов, И.И. Карманов, В.В. Ефремов. – М.: Агропромиздат, 1991. – 304 с.
184. Энгельгардт, А.Н. Еще раз об удобрении фосфоритами. Избр. Соч.- М.: С.-х. литература. – 1959. - С. 566-570.
185. Таланов И.П. Яровая пшеница в Лесостепи Поволжья: Учебное пособие / И.П. Таланов:– Казань: Казанский ГАУ, 2005 – 229 с.
186. Трофимов, А.Г. Математическая статистика / Трофимов А.Г. // Учебное пособие для СПО. - М.: Юрайт, 2019. - 260 с.

187. Трубилин, А.И. Современные проблемы аграрных преобразований в России / А. Трубилин, В. Сидоренко, П. Михайлушкин, Д. Баталов // Международный сельскохозяйственный журнал. – 2017. – № 1. – С. 26-30.

188. Тюрин, И.В. Органическое вещество почвы и его роль в плодородии/ И.В. Тюрин. – М.: Наука. – 1965. – 320с.

189. Тюрякова, Н.В. Экономико-математическое моделирование и прогнозирование урожайности зерновых культур в условиях засушливого климата: автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата экономических наук: 08.00.13 / Тюрякова Надежда Валерьевна. – Ставрополь, 2009. – 20 с.

190. Узун, В.Я. Прогнозирование урожайности: монография / В. Я. Узун. – Кишинев: Штиинца, 1975. – 66 с.

191. Умаров, М.М. Ассоциативная азотофиксация /М.М. Умаров// М.: Изд-во МГУ, – 1986. - 137с.

192. Умаров, М.М. Микробиологическая трансформация азота в почве / М.М. Умаров, А.В. Кураков, А.Л. Степанов// – М.: ГЕОС, 2007. – 138 с.

193. Утей, И.В. Агропроизводственная характеристика почв Татарии и их рациональное использование / И. В. Утэй, М. Ф. Курочкин, И. К. Сагеев и др.; Под ред. заслуж. деят. науки ТАСССР, проф. И. В. Утэя. - 2-е изд., перераб. и доп. - Казань: Таткнигоиздат, 1968. - 208 с

194. Чекмарев, П.А. Плодородие продуктивность почв Республики Татарстан/ П.А. Чекмарев, А.А. Лукманов, С.Ш. Нуриев. – Казань: - 2011. – 245 с.

195. Черных, И.Н. Агрохимические пути воспроизводства плодородия дерново-подзолистой почвы после длительного (36 лет) применения минеральных удобрений: автореф. дис. ... канд. биол. Наук: 06.01.04 / И.Н. Черных. – М., 1989. – 25 с.

196. Чириков, Ф.В. Агрохимия калия и фосфора/ Ф.В. Чириков – М.: Сельхозгиз, 1956. - 464 с.

197. Чумаченко, И. Н. Агрохимия фосфора и нетрадиционного минерального сырья / И.Н. Чумаченко, Б.А. Сушеница, Ш.А. Алиев. – М.: ВНИИА, 2001. – 290 с.

198. Чумаченко, И.Н. Фосфор в жизни растений и плодородия почв / И.Н. Чумаченко. – М.: ЦИНАО, 2003. – 124 с.

199. Щербинин, В.И. Принципы бонитировки почв Западной Сибири / В. И. Щербинин. – Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1985. – 118 с.

200. Шайхутдинов, Ф.Ш. Агробиологические основы формирования высококачественного урожая яровой пшеницы в лесостепи Поволжья : специальность 06.01.09 «Овощеводство»: автореферат диссертации на соискание ученой степени доктора сельскохозяйственных наук / Шайхутдинов Фарит Шарипович. – Кинель, 2004. – 37 с.

201. Шайхутдинов, Ф.Ш. Современные методы и подходы обработки информации по урожайности яровой пшеницы / Ф. Ш. Шайхутдинов, Р. И. Ибяттов, А. А. Валиев // Вестник Казанского государственного аграрного университета. – 2016. – Т. 11. – № 3(41). – С. 9-15.

202. Шайхутдинов, Ф.Ш. Продуктивность пшеницы полбы сорта руно при различных уровнях минерального питания, нормы высева и глубины заделки семян в условиях Предкамской зоны Республики Татарстан / Ф. Ш. Шайхутдинов, И. М. Сержанов, Р. И. Ибяттов, Д. Х. Зиннатуллин, А. А. Валиев// Вестник Казанского государственного аграрного университета. – 2017. – Т. 12. – № 4-2(47). – С. 62-66.

203. Шайхутдинов, Ф.Ш. Влияние приемов агротехники на урожай и качество зерна пшеницы полбы (двузернянка) в условиях Предкамья Республики Татарстан / Ф. Ш. Шайхутдинов, И. М. Сержанов, Р. И. Ибяттов, А. А. Валиев [и др.] // Вестник Казанского государственного аграрного университета. – 2018. – Т. 13. – № 4(51). – С. 103- 108.

204. Шайхутдинов, Ф. Ш. Agrobiological basis of wheat yield formation *Dicoccum Schrank* (spelt) in the ancestral domain of the Republic of Tatarstan / F.



Shaikhutdinov, I. Serzhanov, A. Serzhanova, A. Valiev, V. Aksakova// BIO Web of Conferences : International Scientific-Practical Conference “Agriculture and Food Security: Technology, Innovation, Markets, Human Resources” (FIES 2019), Kazan, 13–14 ноября 2019 года. – Kazan: EDP Sciences, 2020. – P. 00072. – DOI 10.1051/bioconf/20201700072.

205. Шакиров, В.З. Последствие систематического применения удобрений в севообороте на пищевой режим серой лесной почвы в условиях Предкамья ТАССР: автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата сельско - хозяйственных наук / В.З. Шакиров. – Казань, 1976. – 27 с.

206. Шаряпов, М.М. Эффективность систем удобрения в полевом севообороте на темно-серой лесной почве Татарии : автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата сельско - хозяйственных наук/ Казан. с.-х. ин-т им. М. Горького. - Казань : [б. и.], 1975. - 19 с.

207. Шатилов, И.С. Экологические, биологические и агротехнические условия получения запланированных урожаев / И.С. Шатилов // Изв. ТСХА. – 1970. – №1. – С. 60–66.

208. Шатилов, И.С. Принципы программирования урожайности / И.С. Шатилов // Вестн. с.-х. науки. – 1973. – №3. – С.8–14.

209. Шатилов, И.С. Агрофизические, агрометеорологические и агротехнические основы программирования урожаев / И.С. Шатилов, А.Ф. Чудновский. – Л.:Гидрометеиздат, 1980. – 320 с.

210. Шафран, С.А. Влияние типа почв и содержания в них подвижных фосфатов на эффективность фосфорных удобрений / С.А. Шафран // Агрохимия. – 2015. – №3. – С.26–33.

211. Шафран, С.А. Проблема азота в земледелии России и ее решение/ С. А. Шафран //Плодородие почв России: состояние и возможности (к 100-летию со дня рождения Кулоковской Т. М.. под редакцией акад. РАН В.Г.Сычева. – М.:ВНИИА, 2019. – С 32-39.

212. Шевелуха, В.С. Устойчивость зерновых культур к факторам среды / В.С. Шевелуха, Л. И. Дроздова – Минск, 1978. – С. 40–53.
213. Шконде, Э.И. Системы удобрения и фосфатный режим черноземных почв УССР / Э.И. Шконде // Почвоведение. – 1952. – №8. – С.64–72.
214. Шильников, И.А. Известкование почв / И.А. Шильников, Л.А. Лебедева. – М.: Агропромиздат, 1987. – 171с.
215. Шильников, И.А. Итоги исследований по известкованию почв и задачи на 2001-2005 годы/ И.А. Шильников, Н.И. Аканова, М.В. Никифорова// Бюл. ВИУА, 2001. - № 115. – С.87-91.
216. Шильников, И.А. Агрехиммелиорация – основа применения удобрений/ И.А. Шильников//Плодородие. – 2006. - № 5. – С. 24-26.
217. Известкование как фактор урожайности и почвенного плодородия/ И.А. Шильников, В.Г. Сычев, Н.А. Зеленов [и др.]. - М.: ВНИИА. – 2008. – 338 с.
218. Шишов, Л.Л. Критерии и модели плодородия почв / Л. Л. Шишов, И.И. Карманов, Д.Н. Дурманов. – М.:Агропромиздат, 1987. – 184 с.
219. Эсбенсен, К. Анализ многомерных данных. Избранные главы / К. Эсбенсен. Пер. с англ. С.В. Кучерявского; Под ред. О.Е. Родионовой. – Черногловка: Изд-во ИПХФ РАН, 2005. – 160 с.
220. Якушкин, Н.М.Аграрный сектор Татарстана в условиях рыночной экономики / Н.М.Якушкин, В.П. Васильев, Р.Н. Минниханов. – Казань: Изд-во Казан. ГСХА, 1997. – 316 с.
221. Ягодин, Б.А. Агрехимия: [Учеб. по агр. спец. / Б. А. Ягодин, П. М. Смирнов, А. В. Петербургский и др.]; Под ред. Б. А. Ягодина. - 2-е изд., перераб. и доп. - М. : Агропромиздат, 1989. - 654,[1] с.
222. Ягодин, Б.А. Агрехимия / Б.А.Ягодин, Ю.П. Жуков, В.И. Кобзаренко. – М.: Колос, 2002 – 584 с.
223. Ягодин, Б.А. Агрехимия. Под ред. Б.А. Ягодин / Б. А. Ягодин, Ю. П. Жуков, В.И. Кобзаренко. - М.: Мир, 2003. - 584 с.

224. Abdi, H. Principal component analysis /H Abdi., L.J. Williams // Wiley Interdisciplinary Reviews: Computational Statistics. 2010. № 4 (2). C. 433-459.
225. Duchaufour, Ph. *Precis de pedologie* / Ph. Duchaufour. – Paris, 1965. – 592 p.
226. MacQueen, J. Some methods for classification and analysis of multivariate observations / J. MacQueen // In Proc. 5th Berkeley Symp. on Math. Statistics and Probability, 1967. - 281-297 c.
227. Mengel, K. *Ernahrung und StoffwechselderPflanze* / K. Mengel. – Jena. – 1972. – 470 s.
228. Munk, H. *Die Nitrifikation von Ammjniummsalzen in saurenBoder/* Munk H. *Landwirt. Forsch.* – 1958. B d 11.
229. Royer, A., Genovese, G. (Eds.) *Methodology of the MARS Crop Yield Forecasting System. Vol.3. Remote Sensing Information, Data Pro-cessing and Analysis.* OPOCE, Luxembourg, 2004.
230. Schwertmann, U. *Die selective kakionensorption der Tonfrationeiniger Boden ausSedimenten* / U. Schwertmann // *Z. Pflanzemayr., Dung., Bodenkunde*, 1962. – V. 9.

Урожайность яровой пшеницы и ее расчетные показатели, отклонения между ними, т/га и %

Годы	Фон	Уф, т/га	Ур, т/га	отклонение	
				т/га	%
1982	I	2,13	1,88	0,25	12
1982	II	3,3	2,89	0,41	12
1982	III	4,1	3,5	0,6	15
1983	I	1,81	1,84	-0,03	2
1983	II	2,79	2,8	-0,01	0
1983	III	3,18	3,41	-0,23	7
1984	I	1,45	1,47	-0,02	1
1984	II	2,84	2,41	0,43	15
1984	III	3,28	3	0,28	9
1985	I	2,01	2	0,01	0
1985	II	3,24	3,01	0,23	7
1985	III	4,26	3,72	0,54	13
1986	I	2,34	1,93	0,41	18
1986	II	3,72	3,17	0,55	15
1986	III	5,03	3,75	1,28	25
1987	I	1,94	1,87	0,07	4
1987	II	2,49	2,74	-0,25	10
1987	III	3,61	3,47	0,14	4
1988	I	0,99	1,16	-0,17	17
1988	II	1,55	2,01	-0,46	30
1988	III	2,38	2,57	-0,19	8
1989	I	1,11	1,46	-0,35	32
1989	II	2,14	2,44	-0,3	14
1989	III	2,61	3,04	-0,43	16
1990	I	1,76	2,34	-0,58	33
1990	II	2,89	3,34	-0,45	16
1990	III	4,13	3,95	0,18	4
1991	I	1,39	1,94	-0,55	40
1991	II	2,94	2,92	0,02	1
1991	III	4,39	3,53	0,86	20
1992	I	2,14	1,73	0,41	19

продолжения приложения 1

Годы	Фон	Уф, т/га	Ур, т/га	отклонение	
				т/га	%
1992	II	2,99	2,72	0,27	9
1992	III	4,46	3,3	1,16	26
1993	I	2,27	1,39	0,88	39
1993	II	2,85	2,48	0,37	13
1993	III	3,36	3,16	0,2	6
1994	I	2,56	2,05	0,51	20
1994	II	3,56	3,2	0,36	10
1994	III	5,27	3,9	1,37	26
1995	I	1,89	1,92	-0,03	2
1995	II	2,88	2,91	-0,03	1
1995	III	3,2	3,57	-0,37	12
1996	I	1,97	1,89	0,08	4
1996	II	2,46	2,94	-0,48	20
1996	III	3,85	3,58	0,27	7
1997	I	2,97	2,17	0,8	27
1997	II	3,77	3,44	0,33	9
1997	III	5,08	3,97	1,11	22
1998	I	1,14	1,48	-0,34	30
1998	II	2,7	2,57	0,13	5
1998	III	3,12	3,23	-0,11	4
1999	I	1,4	1,9	-0,5	36
1999	II	1,85	2,81	-0,96	52
1999	III	2,29	3,39	-1,1	48
2000	I	2,02	2,12	-0,1	5
2000	II	2,71	3,06	-0,35	13
2000	III	3,43	3,69	-0,26	8
2001	I	2,41	2,05	0,36	15
2001	II	3,42	3,13	0,29	8
2001	III	5,4	3,82	1,58	29
2002	I	2,46	2,22	0,24	10
2002	II	3,34	3,19	0,15	4
2002	III	5,33	3,86	1,47	28
2003	I	2,35	2,41	-0,06	3

продолжения приложения 1

Годы	Фон	Уф, т/га	Ур, т/га	отклонение	
				т/га	%
2003	II	3,35	3,48	-0,13	4
2003	III	4,06	4,15	-0,09	2
2004	I	2,57	2,17	0,4	16
2004	II	3,41	3,19	0,22	6
2004	III	4,4	3,83	0,57	13
2005	I	2,69	2,14	0,55	20
2005	II	3,2	3,09	0,11	3
2005	III	3,82	3,77	0,05	1
2006	I	2,16	1,86	0,3	14
2006	II	2,46	2,88	-0,42	17
2006	III	2,8	3,49	-0,69	25
2007	I	2,24	1,93	0,31	14
2007	II	2,72	2,88	-0,16	6
2007	III	2,93	3,5	-0,57	19
2008	I	2,2	1,62	0,58	26
2008	II	3,56	2,78	0,78	22
2008	III	3,72	3,48	0,24	6
2009	I	2,05	2,31	-0,26	13
2009	II	3,44	3,42	0,02	1
2009	III	3,64	4,1	-0,46	13
2010	I	1	1,42	-0,42	42
2010	II	1,76	2,33	-0,57	32
2010	III	1,87	2,9	-1,03	55
2011	I	2,49	1,96	0,53	21
2011	II	3,04	2,97	0,07	2
2011	III	3,62	3,63	-0,01	0
2012	I	1,88	2,06	-0,18	10
2012	II	2,55	2,94	-0,39	15
2012	III	3,03	3,52	-0,49	16
2013	I	1,46	1,96	-0,5	34
2013	II	1,72	2,9	-1,18	69
2013	III	1,88	3,38	-1,5	80
2014	I	1,45	2,11	-0,66	46

продолжения приложения 1

Годы	Фон	Уф, т/га	Ур, т/га	отклонение	
				т/га	%
2014	II	2,44	3,11	-0,67	27
2014	III	3,44	3,72	-0,28	8
2015	I	2,17	2,16	0,01	0
2015	II	2,47	3,21	-0,74	30
2015	III	2,68	3,87	-1,19	44
2016	I	2,09	1,64	0,45	22
2016	II	2,46	2,74	-0,28	11
2016	III	2,51	3,41	-0,9	36
2017	I	2,19	2,33	-0,14	6
2017	II	2,63	3,3	-0,67	25
2017	III	2,78	3,92	-1,14	41
2018	I	2,33	1,72	0,61	26
2018	II	2,83	2,78	0,05	2
2018	III	3,44	3,44	0,00	0

**Формирование элементов продуктивности яровой пшеницы, их взаимосвязь с приемами возделывания**

Фаза роста и развития	Этапы органогенеза (по Ф.М.Куперман)	Элементы продуктивности	Требования к факторам внешней среды	Приемы, оказывающие влияние на продуктивность растений
Прорастание семян, всходы	I. Конус нарастания не дифференцирован. Формируются зародышевые корни и листья	Полевая всхожесть, густота стеблестоя	Температура воздуха 1-2 <sup>0</sup> С Оптимальная 13-16 <sup>0</sup> С, t+120, влажность почвы – 60% НВ 0-10 см – 15-17 оптимальная аэрация почвы	Высокое качество предпосевной обработки почвы. Использование семян высших репродукций, первого класса, инкрустация. Оптимальная норма высева (4-5; 6 и 6,5 в зависимости от сорта и зоны, сроков посева и др.). Ранний посев, оптимальная глубина заделки семян (4-6 см). Прикатывание и боронование до всходов. Борьба против хлебной полосатой блохи.
3-й лист	II. Дифференциация основания конуса нарастания зачаточные узлы, междоузлия и стебельные листья. Начало закладки колоса	Число междоузлий, высота растений; устойчивость к полеганию, формирование coleoptильных корней	Пониженный тепловой режим, оптимальная влажность почвы 65% НВ, достаточное освещение, оптимальный питательный режим	Предшественники – озимые по чистым парам, пропашные, рапс, бобовые. Влагонакопительная и влагосберегающая система обработки почвы. Снегозадержание и задержание талых вод. Своевременное закрытие влаги, выравнивание почвы. Удобрения до посева и при посеве в рядки (гранулированный суперфосфат Р <sub>2</sub> О или комплексное удобрение)



Фаза роста и развития	Этапы органогенеза (по Ф.М.Куперман)	Элементы продуктивности	Требования к факторам внешней среды	Приемы, оказывающие влияние на продуктивность растений
Кущение	III. Дифференциация главной оси зачаточного колоса, листовых валиков	Размер колоса (число члеников колосового стержня); количество стеблевых листьев; узловых корней	Пониженная температура (+5-12 <sup>0</sup> С) влажность почвы 70% НВ, оптимальный питательный режим, хорошее освещение, длина дня - короткая	То, что и I и II этапах, а также использование интенсивного типа сорта. Оптимальная норма высева. Применение гербицидов (при необходимости)
	IV. Формирование колосковых бугорков (образование конуса нарастания второго порядка)	Число колосков в колосе; размер листьев; засухоустойчивость растений	Оптимальная температура воздуха 16-23 <sup>0</sup> С	Борьба с вредителями (хлебная пядица, злаковая тля) и болезнями (ржавчина, мучнистая роса). Нельзя применять гербициды
Выход в трубку	V. Закладка покровных органов цветка, тычинок и пестиков	Число цветков в колосках, озерненность колоса	Достаточное освещение	То же
	VI. Формирование соцветия и цветка (пыльцевых зерен, пестика)	Фертильность цветков, озерненность колоса	Влажность почвы - < 70 % НВ	То же
	VII. Рост покровных органов цветка, рост колоса в длину	Плотность колоса, размер листьев, жаростойкость	Оптимальный питательный режим	То же

Фаза роста и развития	Этапы органогенеза (по Ф.М.Куперман)	Элементы продуктивности	Требования к факторам внешней среды	Приемы, оказывающие влияние на продуктивность растений
Колошение	VIII. Выколашивание (завершение формирования всех органов соцветия и цветка)	Прирост органического вещества будет определять выполненность зерна	Оптимальная температура воздуха 18-23 <sup>0</sup> С, влажность почвы 70% НВ, оптимальный питательный режим, достаточное освещение, работоспособность листьев	При необходимости борьба с вредителями и болезнями и некорневая подкормка азотом с учетом результатов растительной диагностики
Цветение	IX. Оплодотворение и образование зиготы	Озерненность колоса	Оптимальная температура воздуха 18-23 <sup>0</sup> С. Засуха и избыточное увлажнение обуславливают череззерницу	Защита посевов от болезней и вредителей (ржавчина, мучнистая роса, злаковая тля, трипсы и др.)
Молочная спелость	X. Накопление питательных веществ в зерновке, формирование зародыша, эндосперма	Масса 1000 зерен, выполненность и качество зерна, устойчивость к суховеям	Непрерывный приток воды, NP	При необходимости некорневая подкормка азотом (по результатам растительной диагностики), недопущение повреждения злаковой тлей и трипсами, поражения ржавчиной и септориозом
Восковая и полная спелость	XII. Превращение питательных веществ в запасные	Масса 1000 зерен, выполненность и качество зерна, устойчивость к суховеям	Своевременная защита от вредителей и болезней	Апробация посевов, Определение клейковины, формирование партий по качеству. Выбор оптимальных сроков и способов уборки. Недопущение потерь при уборке. Своевременная послеуборочная подработка зерна



Фото 1. Общий вид посева яровой пшеницы сорта Казанская Юбилейная в фазу колошения



Фото 2. Продуктивный колос яровой пшеницы сорта Казанская Юбилейная





Фото 3. Общий вид посева яровой пшеницы сорта Эстер в фазу колошения



Фото 4. Общий вид посева яровой пшеницы сорта Эстер в фазу выхода в трубку



Фото 5. Общий вид посева яровой пшеницы сорта Энгелина в фазу выхода в трубку

Гидротермический коэффициент (ГТК) за вегетационный период по данным метеостанции г Казани за 1982-2018гг.

Годы	ГТК
нормальные годы	
1990	2,12
1983	1,85
1989	1,67
1994	1,65
2005	1,53
1984	1,52
1985	1,49
2004	1,41
2003	1,38
1987	1,37
2000	1,37
2007	1,34
2008	1,23
1982	1,22
1988	1,14
1997	1,12
2002	1,08
2006	1,01
средне увлажнённые годы	
1986	0,98
2017	0,98
2001	0,94
2012	0,79
2011	0,78
2015	0,77
2014	0,75
1993	0,74
1992	0,72
1995	0,72
2013	0,69
2016	0,69
1996	0,68
1991	0,64
1999	0,54
2009	0,52
2018	0,5
засушливые годы	
1998	0,43
2010	0,18