

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

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата сельскохозяйственных наук

Казань – 2022

Диссертационная работа выполнена в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Казанский государственный аграрный университет» в 2015-2021 гг.

Научный руководитель – доктор сельскохозяйственных наук, профессор кафедры растениеводства и плодовоовощеводства института агробиотехнологии и землепользования ФГБОУ ВО Казанский ГАУ **Шайхутдинов Фарит Шарипович**

Официальные оппоненты: **Троц Наталья Михайловна**, доктор сельскохозяйственных наук, доцент, профессор кафедры землеустройства почвоведения и агрохимии, ФГБОУ ВО «Самарский государственный аграрный университет»;
Фомин Владимир Николаевич, доктор сельскохозяйственных наук, профессор, заведующий кафедрой ресурсосберегающих технологий производства продукции сельского хозяйства и лесного комплекса ФГБОУ ДПО «Татарский институт переподготовки кадров агробизнеса».

Ведущая организация – Федеральное государственное бюджетное учреждение науки «Федеральный исследовательский центр «Казанский научный центр Российской академии наук»

Защита состоится «23» марта 2022 г. в 14⁰⁰ часов на заседании диссертационного совета Д 220.035.01 при ФГБОУ ВО «Казанский государственный аграрный университет» по адресу: 420015, г. Казань, К. Маркса, д. 65, зал заседаний, тел. (факс) 8(843) 567-47-17, 8(843) 567-45-00. e-mail: info@kazgau.com, info@kazgau.ru.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ФГБОУ ВО «Казанский государственный аграрный университет» Адрес: 420011, г. Казань, ул. Р. Гареева, д.62 и на сайте университета www.kazgau.ru.

Автореферат разослан «__» _____ 2022 года

Просим принять участие в работе совета или прислать отзыв на автореферат в 2-х экземплярах с печатью организации и заверенными подписями по адресу: 420011, г. Казань, Ферма-2, д.53, ученому секретарю диссертационного совета Д 220.035.01 Амирову М.Ф. E-mail: sochneva.sv1@mail.ru

Ученый секретарь
диссертационного совета,
доктор сельскохозяйственных наук,
профессор

М.Ф. Амиров

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследования. 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 поставляется в основном из южных регионов Дона, Кубани, а также Урала и Нижнего Поволжья. Посевные площади пшеницы в 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 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 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. Математическая модель урожайности яровой пшеницы относительно новая, часто фигурирует под понятием «программирование», «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 Республики Татарстан (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.

Целью исследований 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 (МГК);
- установление особенностей связи между почвенно-климатическими факторами и урожайностью яровой пшеницы без внесения удобрений;

- оценка характера связи между урожайностью яровой пшеницы от уровня 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 удобрения на посевах яровой пшеницы в условиях серой лесной почвы.

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.

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, 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 неудобренной почве наибольшее положительное влияние на урожайность яровой пшеницы оказывали июньские атмосферные осадки ($r = 0,29$) и содержание в пахотном слое легкогидролизуемого азота ($r = 0,24$).

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, и 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 получена математическая модель урожайности яровой пшеницы в зависимости от регулируемых факторов - норм внесения минеральных удобрений: азотных удобрений (${}^V N$); фосфорных удобрений (${}^V P$); калийных удобрений (${}^V K$), а также и почвенных показателей: содержание легкогидролизуемого азота в почве (${}^{II} N$); содержание подвижного фосфора в почве (${}^{II} P$); содержание обменного калия в почве (${}^{II} K$) и продуктивная влага в метровом слое почвы в день посева (P_6). Полученная модель позволила достаточно точно прогнозировать урожайность в течение двух последующих лет: общее относительное отклонение всей выборки, полученной в 2019 и 2020 гг., составило менее 6%.

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 лекций, включены в учебные пособия для бакалавров и магистрантов.

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.

Степень достоверности результатов. 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.

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 17 статей, в том числе 5 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 26 таблиц, 19 рисунков. Список литературы включает – 230 источников, в том числе 7 иностранных.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

1. ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ

Проанализированы итоги изучения биофильных (азотных, фосфорных, калийных) макроэлементов минерального питания растений в нашей стране и в мире, а также рассмотрена динамика урожайности яровой пшеницы во времени и ее прогнозирование в современном земледелии.

2. ПРИРОДНЫЕ УСЛОВИЯ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

2.1. Природные условия

Объектом исследования является опытный участок Казанского государственного аграрного университета. Опыты с 1982 по 2020 годы располагались на серой лесной тяжелосуглинистой почве, образованной на делювиальном суглинке и глине. Исследования направлены на получение ежегодной планированной урожайности зерна в 3,0 т/га и 4,0 т/га с применением расчетных доз минеральных удобрений.

В таблице 2.1 даны основные агрохимические показатели пахотного горизонта почв.

Таблица 2.1 - Агрохимическая характеристика пахотного слоя почв опытных участков

Годы	Почвы	Гумус, %	pH _{сол.}	Содержание, мг/кг почвы		
				легкогидролизующий азот	подвижный фосфор	обменный калий
1982-2018	серая лесная	2,8-3,2	5,5-5,7	100-149	103-180	82-139

2. Методы исследования

Опыты закладывались в соответствии с методикой, которая принята для опытных учреждений лесостепной зоны среднего Поволжья. Повторность опытов – четырехкратная. Технология возделывания яровой пшеницы соответствовала общепринятой в зоне.

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).

Дозы удобрений рассчитывали балансовым методом, согласно результатам анализа почвы, выноса и коэффициентов использования элементов питания из почвы и удобрений.

В опытах одновременно проводились мониторинговые наблюдения определения почвенных свойств:

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 pH по методу ЦИНАО (ГОСТ 26483-85);

3. 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. 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.

2.3. Методы обработки табличных данных

При анализе были использованы методы классического корреляционно-регрессионного анализа, также метод главных компонент (МГК). Были изучены парные и множественные корреляции урожайности яровой пшеницы с остальными факторами.

Метод главных компонент использовался в качестве первичного (разведочного) анализа с целью выявления внутренних взаимосвязей и сокращения размерности. Сокращение размерности выполняется путем создания обобщенных факторов, называемых главными компонентами (ГК).

3. РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

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 фонов питания. Первый фон без внесения удобрений; второй фон с внесением удобрений на получение 3,0 т/га зерна (средние нормы $НРК$); третий фон с внесением удобрений на получения 4,0 т/га (повышенные нормы $НРК$).

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 единицы). 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	$Уф$	nN	nP	nK	$Pв$	$Q_{ве}$ ₂	$Q5$	$Q6$	$Q7$	$Cэт$	$T5$	$T6$	$T7$
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	15,6	18
1986	2,34	121	165	122	130	162	20	83	61	1658	11	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	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	1,4	129	142	127	130	82	50	34	82	1510	9	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
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	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
Сред.	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	13,6	16,5

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

- $Уф$ – урожайность фактическая, т/га;
- N – содержание легкогидролизуемого азота, мг/кг почвы;
- P – содержание подвижного фосфора, мг/кг почвы;
- K – содержание обменного калия, мг/кг почвы;
- $Pв$ -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 активных 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)			
	$Уф$	N	P		$Уф$	N	P		$Уф$	N	P	
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
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
Сред.	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

Данные, представленные в таблицах 3.1 и 3.2 изучаемой временной выборки, показывают, что между рассмотренными факторами и урожайностью яровой пшеницы, возможно, имеется определенная взаимосвязь. По всей вероятности, она различной тесноты и векторного направления, что требует исследования с применением различных 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 (${}^I N, {}^I P, {}^I K, Pв, Qвг, Q5, Q6, Q7, Cэт, T5, T6, T7$);

2. Урожайность яровой пшеницы – уровни применения минеральных удобрений и почвенные факторы (${}^I N, {}^I P, {}^I K, {}^V N, {}^V P, {}^V K, Pв$);

3. Урожайность яровой пшеницы – уровни применения минеральных удобрений и почвенно-климатические факторы (${}^V N, {}^V P, {}^V K, {}^I N, {}^I P, {}^I K, Pв, Qвг, Q5, Q6, Q7, Cэт, T5, T6, T7$);

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 (МГК)

Для получения более полной информации о межфакторных взаимосвязях применялись одновременно как классические, так и современные (интеллектуальные) методы анализа. В качестве современного подхода был использован метод главных компонент, который позволил

визуализировать исходные данные в новом пространстве главных компонент (ГК) для выделения наиболее существенных факторов.

Исследования проводились с данными урожайности яровой пшеницы, полученные на естественном фоне питания. Решение данной задачи заключалось в уменьшении размерности изучаемого пространства для последующего анализа.

Суть МГК состоит в построении нового пространства, осями которого являются главные компоненты. Главная компонента – 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.

Общая дисперсия всех 12 факторов составляет 100%. 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 %.

Возможное количество вариантов построения двухмерных пространств по первым четырем ГК равно шести. Рекомендуется рассматривать различные оси по отношению к одной основной оси. На рисунке 3.1 представлен один из графиков нагрузок по первым двум главным компонентам. Кумулятивная дисперсия этих компонент составляет 40,53 % от общей дисперсии. На графике исследуемые факторы сгруппировались в четыре группы (кластеры). Сформированные группы были выделены и пронумерованы. Факторы, входящие в одну группу, однотипны и схожи между собой. 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.

Справа на рисунке расположены факторы $Q_{вег}$ и Q_6 . Они оказывают существенное влияние на первую главную компоненту, так как их проекция на ось ГК1 имеет наибольшее абсолютное значение. Это означает, что эти факторы являются наиболее значимыми для ГК1. Слева на графике факторы T_6 , $C_{эт}$, T_5 , также оказывают большое влияние на первую главную компоненту, а факторы T_7 и N имеют среднее влияние. Влияние на ГК1 остальных факторов меньше среднего.

Так как на ГК1 весомое влияние имеют климатические показатели Q_6 , T_6 , $C_{эт}$, T_5 , первую главную компоненту нами принято назвать «Климатические условия».

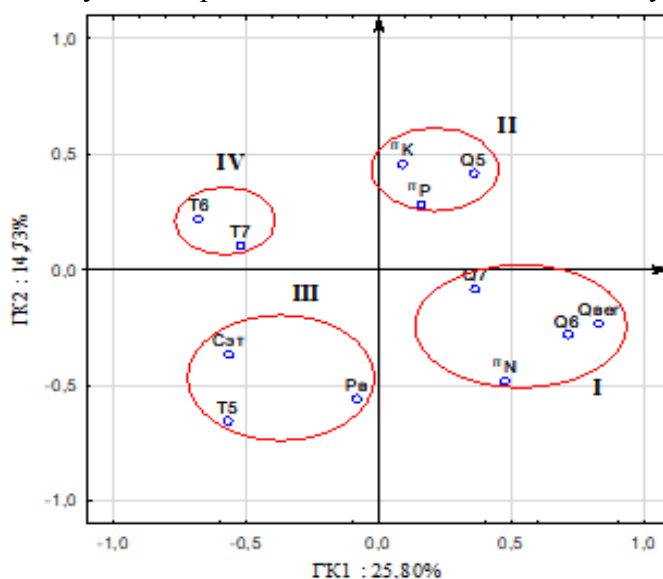


Рисунок 3.1 – Проекция исходных факторов на первые две компоненты

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

После анализа характеристик главных компонент, изобразили исходную информацию в пространстве значимых ГК. На рисунке 3.2 представлены переменные по первой и второй главным компонентам. Каждая переменная исходной матрицы была идентифицирована. Идентификатор состоит из арабских цифр и латинских букв. Поскольку наиболее высокими по рангу факторами, являются осадки и температура, было принято решение использовать их в качестве идентификатора. Цифрами обозначены осадки за июнь ($Q_{в\text{е}г}$) в порядке возрастания их значений, а буквами – температура за июнь (T_6).

Исследуя образцы в пространстве главных компонент ГК1-ГК2 (рис. 3.2), можно заметить некоторую закономерность по ($Q_{в\text{е}г}$) и (T_6). Справа графика располагаются точки, имеющие идентификаторы преимущественно с большими цифрами (влажные годы) и начальными буквами алфавита (низкая температура). Слева расположены точки, обозначенные маленькими цифрами (засушливые года) и последними буквами алфавита (высокая температура).

Вблизи центра находится большинство образцов. Анализ этих образцов, расположенных вблизи центра системы 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 можно отнести образцы: 1Y(2010г.), 2Z (1998г.), 3S (1999г.), 9N (1996г.), 10X (1995г.). Эти обозначения содержат маленькие значения цифр и буквы расположенные в конце латинского алфавита, поэтому они показывают высокую температуру и минимум осадков. Отсюда следует, что нетипичными оказались экстремально засушливые года. В этих годах коэффициент ГТК варьируется от 0,18 до 0,72.

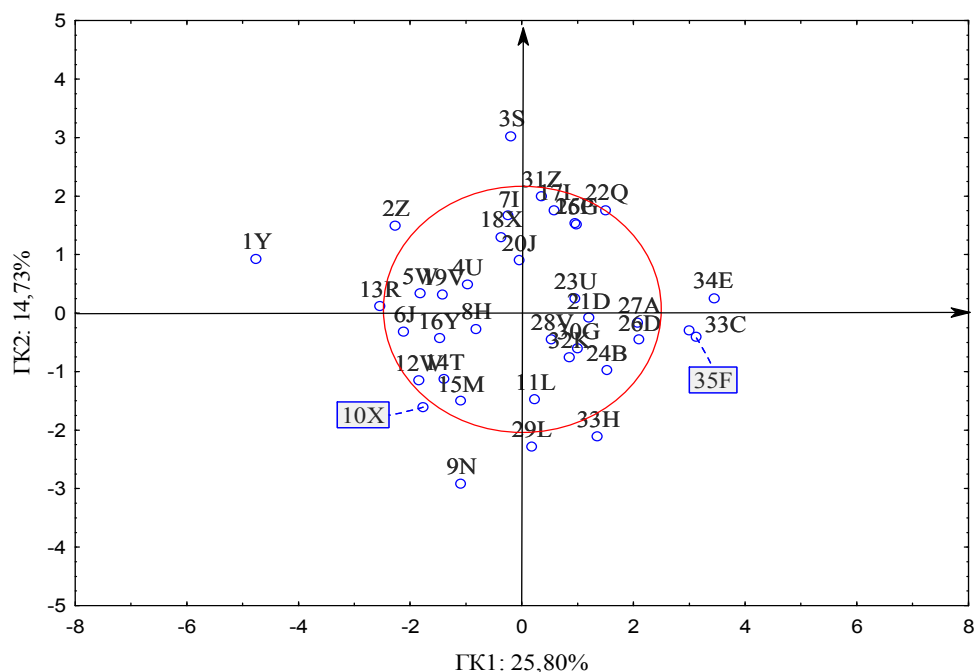


Рисунок 3.2 – Проекция исходных образцов на первые две компоненты

Справа расположены образцы с большими цифрами и начальными буквами алфавита – 34E (1990 г.), 33C (1983 г.), 35F (1994 г.), 33H (2005 г.), 29L (1984 г.). В этих годах преобладают низкие температуры и обильные осадки. Все эти года также являются нетипичными и требуют особого внимания при анализе исходной выборки.

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

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. 3.3).

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. 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.

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 ($r = -0,31$).

Таблица 3.3 – Коэффициенты парной корреляции урожайности яровой пшеницы и почвенно-климатических факторов без внесения удобрений

	$Уф$	^{II}N	^{II}P	^{II}K	$Pв$	$Q_{вег}$	$Q5$	$Q6$	$Q7$	$Cэт$	$T5$	$T6$	$T7$
$Уф$	1	0,24	0,22	0,16	0,02	0,23	0,03	0,29	-0,06	-0,09	-0,21	-0,34	-0,29
^{II}N	0,24	1	0,05	-0,01	0,18	0,37	-0,05	0,35	0,18	-0,02	-0,05	-0,31	-0,31
^{II}P	0,22	0,05	1	0,50	-0,09	0,02	-0,08	0,03	0,00	0,20	-0,22	-0,20	-0,20
^{II}K	0,16	-0,01	0,50	1	-0,03	-0,02	0,09	-0,07	0,00	0,13	-0,29	-0,04	-0,06
$Pв$	0,02	0,18	-0,09	-0,03	1	0,01	-0,04	0,01	-0,16	0,22	0,27	-0,13	-0,04
$Q_{вег}$	0,23	0,37	0,02	-0,02	0,01	1	0,33	0,64	0,42	-0,34	-0,17	-0,50	-0,41
$Q5$	0,03	-0,05	-0,08	0,09	-0,04	0,33	1	0,02	0,09	-0,31	-0,38	-0,06	-0,04
$Q6$	0,29	0,35	0,03	-0,07	0,01	0,64	0,02	1	0,05	-0,29	-0,24	-0,59	-0,15
$Q7$	-0,06	0,18	0,00	0,00	-0,16	0,42	0,09	0,05	1	-0,13	0,00	-0,08	-0,25
$Cэт$	-0,09	-0,02	0,20	0,13	0,22	-0,34	-0,31	-0,29	-0,13	1	0,58	0,17	0,20
$T5$	-0,21	-0,05	-0,22	-0,29	0,27	-0,17	-0,38	-0,24	0,00	0,58	1	0,30	0,18
$T6$	-0,34	-0,31	-0,20	-0,04	-0,13	-0,50	-0,06	-0,59	-0,08	0,17	0,30	1	0,18
$T7$	-0,29	-0,31	-0,20	-0,06	-0,04	-0,41	-0,04	-0,15	-0,25	0,20	0,18	0,18	1

Негативное влияние повышенных температур воздуха обнаружилось и в отношении содержания в почве подвижных форм фосфора и калия. Если содержание 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.

Практически не оказало влияние на величину урожая количество продуктивной влаги в метровом слое почвы в день посева ($r = 0,02$), в отличие от агрохимических показателей почвы. 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 значительным является зависимость урожайности от различных метеорологических показателей вегетационного периода. В частности, 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 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 ($r = 0,24$).

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

По мнению многих ученых для роста и развития естественной и культурной растительности наиболее важными факторами являются теплообеспеченность, влагообеспеченность и наличие элементов минерального питания. Такая позиция ученых служит нам основой для отдельного рассмотрения множественной связи между почвенно-климатическими показателями и урожайностью яровой пшеницы.

Выборка состоит из 12 компонентов: – ${}^{\text{II}}N$, ${}^{\text{II}}P$, ${}^{\text{II}}K$, P_v , $Q_{\text{вег}}$, Q_5 , Q_6 , Q_7 , T_5 , T_6 , T_7 . Функцией служит урожайность яровой пшеницы – $Уф$ (табл. 3.1).

По данным почвенно-климатических факторов и урожайности яровой пшеницы (табл. 3.1) были определены коэффициенты линейной множественной регрессии: коэффициент множественной корреляции – $R = 0,783$, коэффициент детерминации – $R^2 = 0,613$, F -критерия Фишера – $F=3,16$ и уровень значимости – $p=0,008$. Также были найдены коэффициенты факторов, с помощью которых было получено уравнение множественной линейной регрессии:

$$\begin{aligned} Ур = & 1,900915 + 0,005752 \cdot {}^{\text{II}}N - 0,00221 \cdot {}^{\text{II}}P + 0,010652 \cdot {}^{\text{II}}K - 0,000886 \cdot \\ & \cdot P_v + 0,000146 \cdot Q_{\text{вег}} - 0,001412 \cdot Q_5 + 0,003345 \cdot Q_6 - 0,00087 \cdot Q_7 + \\ & + 0,000847 \cdot C_{\text{эт}} - 0,03283 \cdot T_5 - 0,06492 \cdot T_6 - 0,070997 \cdot T_7 \end{aligned} \quad (3.1)$$

Используя уравнение (3.1) можно определить значения расчетной урожайности. Для более углубленного исследования влияния агрохимических показателей почвы на урожайность яровой пшеницы были составлены уравнения регрессии второго порядка (3.2 – 3.4):

$$Y_p = -6,7384 + 0,1399 \cdot {}^{\text{II}}P - 0,0404 \cdot {}^{\text{II}}N - 0,0004 \cdot {}^{\text{II}}P^2 - 0,0002 \cdot {}^{\text{II}}P \cdot {}^{\text{II}}N + 0,0003 \cdot {}^{\text{II}}N^2 \quad (3.2)$$

$$Y_p = -4,0506 + 0,0096 \cdot {}^{\text{II}}K + 0,0538 \cdot {}^{\text{II}}N + 0,0003 \cdot {}^{\text{II}}K^2 - 0,0004 \cdot {}^{\text{II}}K \cdot {}^{\text{II}}N + 3,8248E-5 \cdot {}^{\text{II}}N^2 \quad (3.3)$$

$$Y_p = -3,8864 + 0,1505 \cdot {}^{\text{II}}P - 0,0947 \cdot {}^{\text{II}}K - 0,0006 \cdot {}^{\text{II}}P^2 + 0,0002 \cdot {}^{\text{II}}P \cdot {}^{\text{II}}K + 0,0003 \cdot {}^{\text{II}}K^2 \quad (3.4)$$

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. 3.3 – 3.5), которые наглядно показывают зависимость величины урожайности яровой пшеницы от содержания в серой лесной почве подвижных форм азота, фосфора и калия.

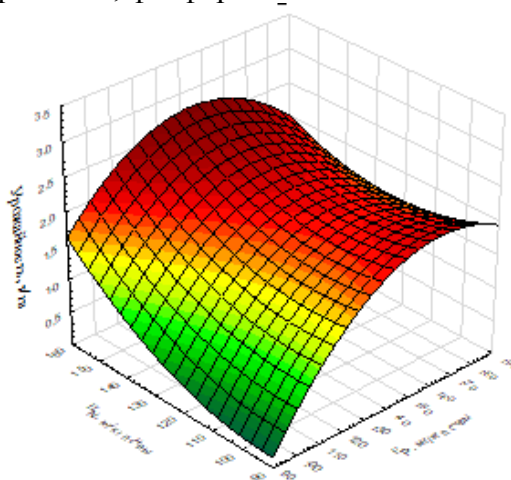


Рисунок 3.3 – Характер зависимости урожайности яровой пшеницы от обеспеченности серой лесной почвы легкогидролизуемым азотом (${}^{\text{II}}N$) и подвижными формами фосфора (${}^{\text{II}}P$)

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. 3.3). Здесь же видно, что минимальная урожайность была получена при содержании указанных питательных веществ менее 100 мг/кг почвы.

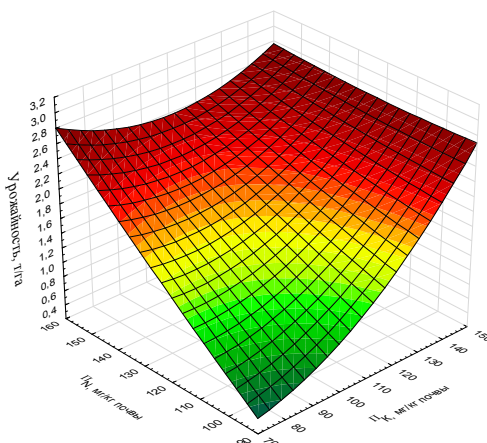


Рисунок 3.4 – Характер зависимости урожайности яровой пшеницы от обеспеченности серой лесной почвы легкогидролизуемым азотом (${}^{\text{II}}N$) и обменным калием (${}^{\text{II}}K$)

Рисунок 3.4 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).

Сложный характер зависимости урожайности яровой пшеницы от содержания подвижных форм фосфора и калия иллюстрируется данными рис. 3.5. 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.

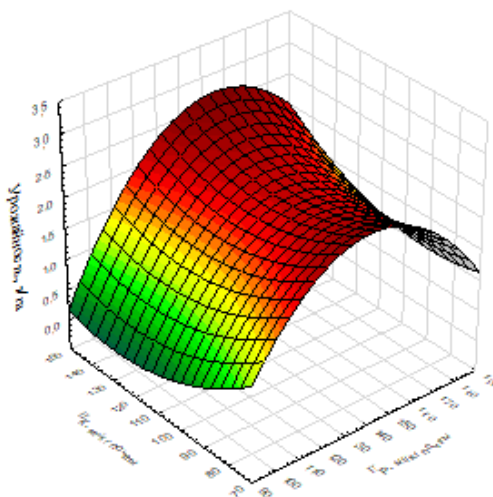


Рисунок 3.5 – Характер зависимости урожайности яровой пшеницы от обеспеченности серой лесной почвы подвижными формами фосфора (${}^{\text{II}}P$) и обменного калия (${}^{\text{II}}K$)

Таким образом, проведенный нами анализ почвенно-климатических факторов и урожайности яровой пшеницы показал, что на динамику урожайности яровой пшеницы оказывают влияние 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 семи факторами – ${}^{\text{V}}N$, ${}^{\text{V}}P$, ${}^{\text{V}}K$, ${}^{\text{II}}N$, ${}^{\text{II}}P$, ${}^{\text{II}}K$, P_v (табл. 3.1 и 3.2).

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 вызывают исследования связи между урожайностью и применением удобрений с учетом почвенных свойств.

В таблице 3.4 представлены коэффициенты парной корреляции показателей урожайности яровой пшеницы от норм внесения минеральных удобрений и почвенных свойств.

Таблица 3.4 – Коэффициенты парной корреляции урожайности яровой пшеницы от норм внесения удобрений и почвенных свойств

	$Уф$	yN	yP	yK	nN	nP	nK	$Pв$
$Уф$	1	0,73	0,72	0,72	0,24	0,22	0,16	0,02
yN	0,73	1	0,95	0,96	-0,02	0,05	0,05	0,01
yP	0,72	0,95	1	0,98	0,01	0,01	0,04	0,01
yK	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
$Pв$	0,02	0,01	0,01	0,004	0,18	-0,09	-0,03	1

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 ($r = 0,72$).

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 связано с тем, что 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.

По данным урожайности яровой пшеницы, нормам внесения удобрений и почвенным факторам были определены коэффициенты линейной множественной регрессии: коэффициент множественной корреляции – $R = 0,795$, коэффициент детерминации – $R^2 = 0,631$, F -критерий Фишера – $F=25,19$ и уровень значимости – $p=0,0000001$. Также были определены коэффициенты факторов, с помощью которых было получено уравнение множественной линейной регрессии:

$$\begin{aligned}
 Y_p = & -1,50124 + 0,00760 \cdot {}^yN + 0,00162 \cdot {}^yP + 0,00645 \cdot {}^yK + 0,01547 \cdot \\
 & {}^nN + 0,00727 \cdot {}^nP + 0,00332 \cdot {}^nK - 0,00034 \cdot Pв .
 \end{aligned}
 \tag{3.5}$$

Уравнение (3.5) 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 3.2 были определены значения расчетной урожайности и вычислены отклонения между ними. Анализ полученных результатов показал, что модель хорошо работает для типичных климатических условий, а в экстремальных по метеословиям годам расхождение между Уф и Ур сильно возрастает.

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.

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

В данном подразделе анализируется связь между урожайностью яровой пшеницы и 15 факторами – yN , yP , yK , ${}^{II}N$, ${}^{II}P$, ${}^{II}K$, $Q_{вег}$, Q_5 , Q_6 , Q_7 , $Сэт$, T_5 , T_6 , T_7 , $Pв$ (табл. 3.1 и 3.2).

По данным уровня применения минеральных удобрений, почвенно-климатических факторов и фактической урожайности яровой пшеницы были определены коэффициенты линейной множественной регрессии, которые представлены в таблице 3.6.

Таблица 3.6 – 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	-
yN	0,005691	0,313383
yP	0,006869	0,276284
yK	0,003411	0,132134
${}^{II}N$	0,008241	0,126684
${}^{II}P$	0,003857	0,084828
${}^{II}K$	0,005153	0,080392
$Pв$	-0,001683	-0,043073
$Q_{вег}$	-0,000360	-0,024408
Q_5	0,001294	0,030641
Q_6	0,002666	0,095254
Q_7	-0,003966	-0,147057
$Сэт$	-0,000204	-0,046194
T_5	0,005535	0,013067
T_6	-0,083970	-0,200818
T_7	-0,093060	-0,193432

Используя полученные коэффициенты, было составлено уравнение множественной линейной регрессии (3.6). Полученное уравнение имеет следующий вид:

$$\begin{aligned}
 Ур = & 3,792413 + 0,005691 \cdot {}^yN + 0,006869 \cdot {}^yP + 0,003411 \cdot {}^yK + \\
 & + 0,008241 \cdot {}^{II}N + 0,003857 \cdot {}^{II}P + 0,005153 \cdot {}^{II}K - 0,001683 \cdot Pв - \\
 & - 0,000360 \cdot Q_{вег} + 0,001294 \cdot Q_5 + 0,002666 \cdot Q_6 - 0,003966 \cdot Q_7 - \\
 & - 0,000204 \cdot Сэт + 0,005535 \cdot T_5 - 0,083970 \cdot T_6 - 0,093060 \cdot T_7 .
 \end{aligned}
 \tag{3.6}$$

Уравнение (3.6) 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 (3.6) 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 3.6.

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 (yN) в общую дисперсию составляет 17,34%, фосфорных удобрений (yP) – 15,28%, среднемесячной температурой за июнь ($T6$) – 11,11% , среднемесячной температурой за июль ($T7$) – 10,7%, среднемесячными атмосферными осадками за июль ($Q7$) – 8,14%, калийных удобрений (yK) – 7,31%, содержанием легкогидролизуемого азота (^{II}N) – 7,01%, среднемесячными атмосферными осадками за июнь ($Q6$) – 5,27%, подвижных форм фосфора (^{II}P) – 4,69%, обменного калия (^{II}K), – 4,45%, суммой эффективных температур за вегетационный период ($C_{\Sigma T}$) – 2,56%, продуктивной влаги в почве перед посевом ($Pв$)– 2,38%, среднемесячными атмосферными осадками за май ($Q5$) 1,70 % , атмосферными осадками за вегетационный период ($Q_{\text{вет}}$) – 1,35%, среднемесячной температурой за май ($T5$) – 0,72%. Более наглядно доли вклада изученных факторов в формирование урожайности яровой пшеницы представлены на графике (рис. 3.6).

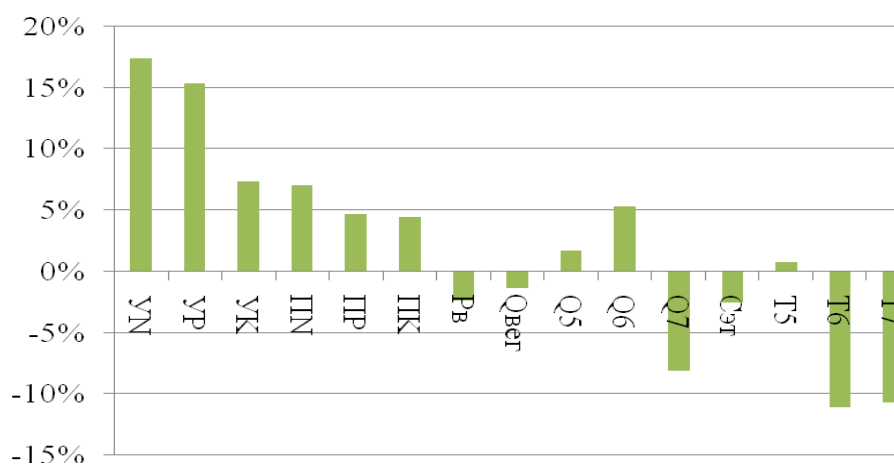


Рисунок 3.6 – Доли вклада агрохимических, почвенных и климатических факторов в формировании урожайности яровой пшеницы в условиях серой лесной почвы

Как видно из рисунка 3.6, 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 - 1,7% и среднемесячной 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 ($Q_{\text{вег}}$, Q_7 Сэт, T_6 , T_7) была отрицательной. Особенно сильное негативное влияние на урожайность оказали среднемесячные температуры воздуха июня (11,11%) и июля (10,7%).

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

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 (3.5) и (3.6) на основе множественной корреляции, нами были использованы для прогнозирования урожайности яровой пшеницы в 2019 и 2020 годах.

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 3.7 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 3.7 – Нормы внесения минеральных удобрений под яровую пшеницу и свойства почвы опытного участка в 2019 и 2020 гг.

Годы	yN , кг	yP , кг	yK , кг	Средние показатели почвы опытного участка			
				^{II}N , мг/кг почвы	^{II}P , мг/кг почвы	^{II}K , мг/кг почвы	P_6 , мм
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 по уравнению (3.5) на основе данных таблицы 3.7 и представлены в 3.8.

Таблица 3.8 –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 3.8 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

Стоимость дополнительной продукции рассчитали исходя из величины прибавки урожая и средней цены реализации 1 тонны зерна третьего класса на начало 2019 г. (13250 руб. (Шафран, 2019)). 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 хозяйственному 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, 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 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÷149 мг/кг), подвижных форм фосфора (103÷180 мг/кг) и средней обеспеченностью подвижным калием (82÷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 с 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;

- для получения 4 т/га зерна соответственно 122, 91 и 89 кг д.в./га с колебаниями 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, 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 ($r = 0,71 \div 0,90$).

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 (июль).

10. Полученная нами математическая модель взаимосвязи урожайности яровой пшеницы от норм внесения минеральных удобрений (yN , yP , yK) и почвенных показателей (${}^{II}N$, ${}^{II}P$, ${}^{II}K$, $Pв$) 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 серой лесной почвы 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:

$$Y_p = -1,50124 + 0,00760 \cdot {}^yN + 0,00162 \cdot {}^yP + 0,00645 \cdot {}^yK + 0,01547 \cdot {}^{II}N + 0,00727 \cdot {}^{II}P + 0,00332 \cdot {}^{II}K - 0,00034 \cdot Pв$$

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;

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

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

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

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

СПИСОК ОСНОВНЫХ ПУБЛИКАЦИЙ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

Публикации в рецензируемых научных изданиях, рекомендованных ВАК:

1. 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.

2. 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.

3. 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.

4. 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.

5. 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.

Публикации в изданиях, индексируемых в базе данных SCOPUS и Web of Science:

6. Calculation of making doses of fertilizers under planned yield of spring wheat using an artificial neural network/ **A. A. 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.

7. 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.

Публикации в российских изданиях, материалах международных и всероссийских конференций:

8. **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.

9. **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.

10. **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.

11. **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.

12. 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, посвященной 80 летию д.с.-х.н., профессора, член-корр. РАН, почетного члена АН РТ, академика АИ РТ Мазитова Назиба Каюмовича, Казань, 02 ноября 2020 года/ Казанский государственный аграрный университет. – Казань: Казанский государственный аграрный университет, 2020. – С. 73-78.

13. Ибятков, Р. И. Графический анализ влияния факторов на урожайность яровой пшеницы / Р. И. Ибятков, **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.

14. Ибятков, Р. И. Проекционный метод исследования урожайности яровой пшеницы/ Р. И. Ибятков, **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.

15. **Валиев, А. А.** Информационные технологии в обработке и визуализации данных/ А. А. Валиев, Р. И. Ибятков, 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.

16. Ибятков, Р. И. Применение метода главных компонент для уменьшения размерности многомерных данных/ Р. И. Ибятков, 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.

17. **Валиев, А. А.** Метод главных компонент для визуализации данных по урожайности яровой пшеницы/ **А. А. Валиев**, Р. И. Ибятков, 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.