

МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ  
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«КАЗАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АГРАРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

На правах рукописи

**ЛУКМАНОВ АНАС АХТЯМОВИЧ**

**ДИНАМИКА РЕСУРСНОГО ПОТЕНЦИАЛА ВЫЩЕЛОЧЕННЫХ  
ЧЕРНОЗЕМОВ СРЕДНЕГО ПОВОЛЖЬЯ И ПРОГНОЗИРОВАНИЕ  
УРОЖАЙНОСТИ ЯРОВОЙ ПШЕНИЦЫ ВО ВРЕМЕННОМ РЯДУ**

06.01.04 – агрохимия

Диссертация на соискание ученой степени доктора  
сельскохозяйственных наук

Научный консультант:  
доктор биологических наук,  
профессор Давлятшин И.Д.

Казань – 2021

## ОГЛАВЛЕНИЕ

<b>ВВЕДЕНИЕ .....</b>	<b>4</b>
<b>Глава I. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ПРЕДПОСЫЛКИ И ОСНОВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ УПРАВЛЕНИЯ ПЛОДОРОДИЕМ ПОЧВ .....</b>	<b>13</b>
1.1. Общие сведения о плодородии почв .....	13
1.2. Факторы формирования товарной продукции .....	19
1.3. Почвенный покров и урожайность сельскохозяйственных культур .....	23
1.4. Гумусовое состояние и азотный режим пахотных почв Среднего Поволжья ...	27
1.5. Кислотный режим и урожайность яровой пшеницы .....	34
1.6. Фосфорно-калийный потенциал пахотных почв и урожайность зерновых культур .....	41
1.7. Теоретические основы прогнозирования урожайности яровой пшеницы .....	72
<b>Глава II. ПРИРОДНЫЕ УСЛОВИЯ ОБЪЕКТА И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ .....</b>	<b>80</b>
2.1. Место проведения исследований .....	80
2.2. Орографические условия .....	81
2.3. Почвы и почвенный покров муниципального района .....	88
2.4. Земельные ресурсы и приемы рационального их использования .....	101
<b>Глава III. РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ. УРОЖАЙНОСТЬ ЯРОВОЙ ПШЕНИЦЫ И ЕЕ ДИНАМИКА ВО ВРЕМЕННОМ РЯДУ НА СРЕДНЕЙ ПОЛОСЕ ЛЕСОСТЕПНОЙ ЗОНЫ СРЕДНЕГО ПОВОЛЖЬЯ .....</b>	<b>105</b>
3.1. Скользящие урожайности яровой пшеницы за последние 49 лет .....	105
3.2. Динамика азотного режима почвы .....	109
3.3. Параметры фосфорного питания яровой пшеницы .....	120
3.4. Динамика обеспеченности почв Буинского муниципального района Республики Татарстан обменным калием .....	128
3.5. Почвенная кислотность, ее природа и приемы регулирования .....	135
3.6. Роль хозяйственной деятельности в оптимизации агрохимических свойств пахотных почв .....	139
3.7. Динамика показателей агрохимических свойств и кислотности пахотных почв .....	144
3.8. Агроклиматические показатели и урожайность яровой пшеницы .....	148
<b>Глава IV. СВЯЗЬ МЕЖДУ ФАКТОРАМИ И УРОЖАЙНОСТЬЮ ЯРОВОЙ ПШЕНИЦЫ. ПУТИ РЕГУЛИРОВАНИЯ ПРОДУКТИВНОСТИ АГРОЦЕНОЗОВ .....</b>	<b>150</b>
4.1. Матрица факторов урожайности яровой пшеницы за 1970-2018 годы и параметры парной связи .....	150
4.2. Множественная связь и расчет ретроспективной урожайности	

яровой пшеницы .....	156
4.3. Связь факторов со скользящей средней урожайностью яровой пшеницы .....	166
<b>Глава V. СВЯЗЬ МЕЖДУ ФАКТОРАМИ И УРОЖАЙНОСТЬЮ ЯРОВОЙ ПШЕНИЦЫ ПОСЛЕ ИСКЛЮЧЕНИЯ ЭКСТРЕМАЛЬНЫХ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ГОДОВ ИЗ ВЫБОРКИ.....</b>	<b>180</b>
5.1. Матрица факторов и урожайность яровой пшеницы .....	180
5.2. Связь факторов с фактической урожайностью яровой пшеницы .....	184
5.3. Связь факторов со скользящей средней ( $Y_{11}$ ) урожайностью яровой пшеницы .....	190
5.4. Связь факторов со скользящей средней ( $Y_{22}$ ) урожайностью яровой пшеницы .....	194
<b>Глава VI. БАЛАНС МАКРОЭЛЕМЕНТОВ ПОД ЯРОВОЙ ПШЕНИЦЕЙ ЗА 1970-2018 ГОДЫ.....</b>	<b>197</b>
<b>Глава VII. УРОЖАЙНОСТЬ ЯРОВОЙ ПШЕНИЦЫ И ЕЕ СТАБИЛЬНОСТЬ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ПРИМЕНЕНИЯ АГРОХИМИКАТОВ НА ВЫЩЕЛОЧЕННЫХ ЧЕРНОЗЕМАХ СРЕДНЕГО ПОВОЛЖЬЯ .....</b>	<b>202</b>
7.1. Место и условия проведения стационарных полевых исследований.....	202
7.2. Программа исследований .....	211
7.3. Методы расчета норм внесения минеральных удобрений.....	212
7.4. Влияние расчетных норм минеральных удобрений на рост и развитие яровой пшеницы Тулайковская 10 на начальном этапе органогенеза.....	215
7.5. Плодоэлементы яровой пшеницы Тулайковская 10 на разных фонах питания .....	220
7.6. Урожайность и ее стабильность.....	222
7.7. Показатели качества зерна яровой пшеницы Тулайковская 10 на разных фонах минерального питания .....	229
7.8. Влияние фонов питания яровой пшеницы на физико-химические свойства выщелоченных черноземов .....	233
7.9. Экономические показатели известкования, фосфоритования и применения расчетных норм минеральных удобрений на посевах яровой пшеницы Тулайковская 10.....	243
7.10. Энергетическая оценка результатов применения агрохимикатов на посевах яровой пшеницы Тулайковская 10 .....	246
7.11. Производственная проверка и внедрение результатов исследований .....	249
<b>ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....</b>	<b>252</b>
<b>СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....</b>	<b>255</b>
<b>ПРИЛОЖЕНИЯ .....</b>	<b>284</b>

## ВВЕДЕНИЕ

**Актуальность направления исследований.** Стержневым звеном продовольственной программы народов мира было и остается увеличение объемов производства зерна, в том числе и яровой пшеницы, на основе разработки перспективных планов развития агропромышленного комплекса, с учетом прогнозируемой урожайности возделываемых сельскохозяйственных культур на ближайшие годы и отдаленную перспективу. Известно, что динамичность урожайности яровой пшеницы тесно коррелирует с обеспеченностью почв макро- и микроэлементами, погодно-климатическими условиями и хозяйственной деятельностью человека. Среди них ведущее положение занимает первый фактор, так как количество селективно поглощаемых элементов питания корневой системы растений зависит от их концентраций в пахотных почвах. Наличие связи между ними показывает привязанность к определенной местности, что диагностирует актуальность исследований в этом направлении в отдельно взятом регионе Российской Федерации.

Одновременно, актуальность проблемы закрепляется возможным использованием ожидаемой урожайности изучаемой культуры, рассчитанной на основе временного ряда 49 лет, в качестве критерия рационального использования выщелоченных черноземов Среднего Поволжья.

Кроме того, разработанная матрица зависимости урожайности яровой пшеницы от плодородия почв и обеспеченности растений влагой насыщена огромной информацией, обработана с использованием лицензированных компьютерных программ и является платформой цифровизации современного сельскохозяйственного производства.

**Степень разработанности изучаемой проблемы.** Вопросами прогнозирования урожайности сельскохозяйственных культур занимались такие крупные ученые США и Европейских стран как К. Mendel (1972), E.E. Droun (2008), A.A. Shpect., V.I. Mulvaney (2009), E.F. Cairect, A. Haliski (2015), S. Rat, V. Singh (2016).

В Российской Федерации в этой области признанными авторитетами являются: И.С. Шатилов (1973), И.И. Карманов (1980), М.К. Каюмов (1989), И.А. Шильников (2008), Л.М. Державин (2012), В.Г. Сычев (2015).

Особенно большой вклад в теорию прогнозирования продуктивности пахотных земель Республики Татарстан и программирования урожайности возделываемых сельскохозяйственных культур внесли ученые – почвоведы И.В. Тюрин (1933), И.В. Утей (1956), М.А. Виноградов и А.В. Колоскова (1976), И. Д. Давлятшин (1999), А.Х. Яппаров (2003), И.А. Гайсин (2006), Ш.А. Алиев (2018) и известные ученые агрономической науки Л.Р. Шарифуллин (1985), А.А. Зиганшин (1989), М.Ф. Амиров (2005), В.П. Владимиров (2010), В.Н. Фомин (2008), И.М. Сержанов (2016) и мн. другие.

В последние годы быстрыми темпами также возрастает освоение методики кратковременного прогнозирования урожайности сельскохозяйственных культур, особенно с большой листовой площадью (кукуруза, картофель, подсолнечник, корнеплоды, капуста и другие овощные культуры) с использованием результатов дистанционного зондирования земли и космических съемок высокого разрешения на основе математического моделирования NDVI- нормализованного дифференцированного вегетационного индекса (Сафиоллин, 2018; Панасюк, 2019, Сабирзянов, 2019, Сочнева, 2020). Все они единодушно утверждают, что прогнозирование урожайности позволяет принять опережающие меры по обеспечению населения продуктами питания, регулированию закупочных цен и цен розничной торговли.

Однако в ходе изучения литературы и проведения патентных исследований мы не обнаружили публикации в российских и зарубежных изданиях результатов исследований, посвященных долговременному прогнозированию урожайности сельскохозяйственных культур с учетом динамики основных элементов питания, фактической урожайности конкретной культуры во временном ряду на протяжении не менее 49-ти лет и влагообеспеченности. Более того, исследования такого рода для подтверждения их достоверности не сопровожда-

лись полевыми стационарными опытами и не проходили производственную проверку в широких масштабах. Все выше отмеченное послужило основой выбора направления исследований автора.

**Целью работы** стало изучение и проверка достоверности связи между содержанием почвенных элементов питания, включая элементы питания с вносимыми минеральными удобрениями, и урожайностью яровой пшеницы во временном ряду за 1970–2018 гг.; прогнозирование продуктивности объекта исследований на выщелоченных черноземах лесостепной зоны Среднего Поволжья.

Для осуществления поставленной цели предусматривалось **решение следующих задач:**

1. Изучить обеспеченность выщелоченных черноземов легкогидролизуемым азотом, подвижным фосфором, обменным калием и кислотность в динамическом порядке за последние 49 лет.

2. Создать банк данных урожайности яровой пшеницы на уровне зоны исследований.

3. Определить насыщенность пахотных земель минеральными, органическими удобрениями, объемы известкования и фосфоритования.

4. Провести первичную обработку информации временного ряда с применением статистических методов, в том числе и скользящих средних для переменных величин.

5. Изучить парные и множественные корреляционные связи между агрохимическими свойствами и урожайностью яровой пшеницы временного ряда.

6. Выявить доли участия факторов в формировании урожайности яровой пшеницы по результатам статистической обработки и путем сравнения расчетной (прогнозной) и фактической урожайности яровой пшеницы.

7. Формировать новые выборки с последующим получением параметров связи на основе исключения экстремально засушливых сельскохозяйственных годов.

8. Проверить достоверность прогнозирования урожайности объекта исследований и экономические ее показатели на основе проведения методически выдержанного стационарного двухфакторного полевого опыта и испытания результатов исследований в производственных условиях (2016-2020 гг.).

Диссертационная работа выполнена в соответствии с концепцией развития аграрной науки и научного обеспечения агропромышленного комплекса Российской Федерации на период до 2025 г. и соответствует паспорту специальности 06.01.04 – агрохимия.

**Научная новизна.** Впервые в лесостепной зоне Среднего Поволжья изучен временной ряд (1970-2018 гг.) обеспеченности почв легкогидролизуемым азотом, подвижными формами фосфора, обменным калием, минеральными и органическими удобрениями. Исследованы парные и множественные связи, проведена сравнительная оценка прогнозной (расчетной) и фактической урожайности яровой пшеницы для получения ее ожидаемых показателей на будущее. Ряды фактической и прогнозной урожайности пшеницы одновременно выявляют экстремальные сельскохозяйственные годы, исключение которых является критерием укрепления анализируемой связи, содействуя практическому применению полученной информации на практике для оценки хозяйственной деятельности производителей сельскохозяйственной продукции.

Достоверность рекомендуемой методики прогнозирования урожайности изучаемой культуры доказана в ходе проведения полевого опыта во временном ряду 5 лет, внедрением результатов исследований в сельскохозяйственное производство и расчетами экономической эффективности известкования, фосфоритования слабокислых почв и применения расчетных норм минеральных удобрений.

**Теоретическая и практическая значимость работы.** Полученные параметры корреляционной связи между факторами и урожайностью яровой пшеницы служат индикаторами обеспеченности растений элементами минерального питания, выявляют лимитирующие элементы, способы и приемы по-

вышения почвенного плодородия.

Уравнения регрессии, балансовые расчеты элементов питания служат инструментами управления земельными ресурсами не только в масштабе Среднего Поволжья, но и Российской Федерации в целом, поскольку масштабирование комплексного применения агрохимикатов является перспективным направлением увеличения объемов производства продовольственного зерна яровой пшеницы – основного продукта питания населения нашей страны.

**Методология и методы исследований.** Среднее Поволжье занимает восточное крыло Среднерусской равнины, а место проведения исследований расположено на правом приподнятом берегу р. Волга. В составе земель сельскохозяйственного назначения преобладают черноземы выщелоченные с лугово-черноземными почвами (86%), субдоминантом служат серые лесные почвы (до 11%).

Согласно информации, полученной из 149 разрезов, мощность пахотного слоя (А пах.) выщелоченного чернозема составляет 0,30 м и содержится: 26,6% ила; 51,8% физической глины; 7,5% гумуса по Тюрину; 124,1 мг/кг почвы подвижного фосфора; 138,7 мг/кг почвы обменного калия по Чирикову; 59,6% водopрочных агрегатов диаметром от 0,25 до 10 мм; 38,6% с-моль/кг почвы сумма поглощенных оснований (буферность почвы достаточно высокая).

В работе рассмотрены статистические показатели, аналитическая информация и составлена матрица из переменных величин во времени, ее обработка осуществлена на основе «Excel 2007» и прикладного пакета программы «Statistica 10». Вычислены общепринятые параметры, коэффициенты парной и множественной корреляции, уравнения регрессии, расчетные показатели урожайности по уравнениям. Для интерпретации результатов использован сравнительный метод и имеющиеся группировки оценки агрохимических свойств, статистических параметров, приведенных в учебниках по агрохимии и руководствах математической статистики (Рокицкий, 1972; Савич, 1972, Дмитриев, 1995 и др.).



Для проверки достоверности прогнозирования урожайности яровой пшеницы в 2016-2020 гг. проведен стационарный двухфакторный полевой опыт, включающий 12 вариантов, и статистическая обработка результатов исследований проведена по методике Б.А. Доспехова (2012). Схема опыта представлена в главе «Результаты исследований».

Экономическая эффективность рассчитана общепринятым методом - путем сопоставления общих затрат со стоимостью полученной продукции в ценах 2020 года. При обработке данных также был применен корреляционно-регрессивный анализ, балансовые увязки и биоэнергетическая оценка производства зерна яровой пшеницы.

#### **Положения, выносимые на защиту:**

1. На первых этапах земледельческой деятельности минеральная фаза почв была первичным источником элементов питания растений и определяла ее плодородие. В настоящее время в формировании почвенного плодородия и урожайности яровой пшеницы резко возрастает роль применения расчетных норм минеральных и органических удобрений на планируемую урожайность изучаемой культуры.

2. Регулирование содержания почвенных элементов питания служит предпосылкой прогнозирования урожайности яровой пшеницы на перспективу и является основой рационального использования выщелоченных черноземов Среднего Поволжья.

3. Результаты двухфакторного полевого опыта и проверки в производственных условиях подтверждают достоверность разработанной методики прогнозирования урожайности яровой пшеницы 4,0 т/га на 86% и обеспечивает получение зерна, соответствующего второму классу качества с рентабельностью производства от 45 до 51 процента.

**Степень достоверности исследований.** Оценка достоверности результатов исследований базируется на глубоком анализе научной информации, обобщения агрохимических показателей выщелоченных черноземов и урожайности

яровой пшеницы в полувековом интервале в почвенно-климатических условиях Среднего Поволжья. Для анализа использовался банк данных, собранный лично соискателем и результаты исследований, полученные в ходе проведения двухфакторного полевого опыта в течение последних 5-ти лет. Агрохимические анализы проведены на сертифицированном аналитическом оборудовании в лаборатории агрохимической службы ЦАС «Татарский». Теория построена на повторяющихся экспериментальных данных и фактах, согласующихся с опубликованными результатами исследований по теме диссертации, которые не противоречат мнению других известных ученых, специализирующихся по данному научному направлению.

**Апробация результатов исследований.** Основные теоретические и практические результаты исследований докладывались, обсуждались и получили положительную оценку на международных, всероссийских, региональных научно-практических конференциях и съездах: X-XI - Международной научно-практической конференции «Лапшинские чтения» (Саранск, 2014 и 2015).; VII съезд Общества почвоведов им. В.В. Докучаева (Белгород, 2016); Международная научная конференция, посвященная 110-летию Р.В. Ковалева (Новосибирск, 2017); Международная научная конференция «В мире научных открытий» (Ульяновск, 2017); Международная научная конференция «Агрохимическое обеспечение цифрового земледелия» (Москва, 2019); Всероссийская научно-практическая конференция, посвященная 90-летию КГАУ (Казань, 2012). Результаты работы также были представлены на ежегодных региональных и Всероссийских выставках «День Поля» (2017-2020 гг.).

**Внедрение результатов исследований.** Результаты исследований внедрены в ООО «Авангард» на площади 8,2 тыс. га с экономическим эффектом 24 млн 600 тыс. руб. (3 тыс. руб./га), ООО «Заря» (6540 га), ООО «Коммуна» (781 га), ПСХК «Ембулатово» (676 га), ООО СХП «Бола» (558 га) Буинского, ООО «Эконом» (1,2 тыс. га) Актанышского, КФХ «Миннуллин Г.С.» (1,6 тыс. га) Бавлинского муниципальных районов Республики Татарстан (акты внедрения с

указанием экономической эффективности прилагаются).

В Республике Татарстан в 2020 г. валовой сбор зерна составил 5,3 млн т при средней урожайности 3,53 т/га. В получении столь высоких результатов есть и доля нашего скромного труда, что подтверждается справкой о внедрении результатов наших исследований на площади 40 тыс. га.

**Публикации.** По материалам диссертации опубликовано 49 научных работ, 61,2% из них в рецензируемых изданиях, рекомендованных ВАК Российской Федерации. Они также отражены в «Справочнике агрохимика Республики Татарстан» (Казань, 2015. -324 с.), который во Всероссийском конкурсе «Аграрная учебная книга» был удостоен диплома III степени, в двух учебно-методических пособиях и в двух монографиях.

**Объем и структура диссертации.** Диссертация изложена на 326 страницах компьютерного текста, состоит из введения, 7 глав, выводов и рекомендаций производству, содержит 17 рисунков, 3 фотографии, 94 таблицы, 42 приложения. Список литературы включает 306 наименований, в том числе 26 иностранных авторов.

**Личный вклад автора.** Соискатель лично разработал программу исследований. Создал банк данных урожайности яровой пшеницы; обеспеченности пахотных почв содержанием азота, подвижных форм фосфора, обменного калия, рН почвенной суспензии; насыщенности пашни минеральными и органическими удобрениями, известкованием и фосфоритованием; обработал информацию временного ряда с применением статистических методов, в том числе и скользящих средних для переменных величин; изучил парные и множественные корреляционные связи между агрохимическими свойствами и урожайностью яровой пшеницы временного ряда; выявил доли участия факторов внешней среды в формировании урожайности яровой пшеницы. На основе проведения полевого опыта разработал концепцию управления почвенным плодородием под планируемую урожайность яровой пшеницы 4,0 т/га.

Результаты исследований вполне грамотно и в логической последова-

тельности изложил в данной диссертации. Доля личного вклада автора в объеме общей работы составляет 85%, в опубликованных научных трудах 80%, в том числе в статьях из перечня ВАК - 75 процентов. Решение отдельных задач по теме диссертационной работы выполнено автором совместно с кандидатом сельскохозяйственных наук Л.Г. Гаффаровой, доктором сельскохозяйственных наук Н.Б. Бакировым.

Соискатель выражает искреннюю благодарность научному консультанту, профессору И.Д. Давлятшину, коллективу ФГБУ ЦАС «Татарский» и профессорско-преподавательскому составу института «Агробιοтехнологий и землепользования» Казанского государственного аграрного университета.

## **Глава I. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ПРЕДПОСЫЛКИ И ОСНОВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ УПРАВЛЕНИЯ ПЛОДОРОДИЕМ ПОЧВ**

### **1.1. Общие сведения о плодородии почв**

В любом уголке земного шара основной задачей аграрной науки является разработка приемов повышения плодородия почв для получения максимальной урожайности сельскохозяйственных культур. Решение этой проблемы конкретно осуществляется разными способами на каждом витке развития общества. Например, в Англии на первых шагах земледелия (1450 г.) урожайность зерновых культур не превышала 0,5 т/га. В период господства трехполья (1650 г.) она составила 0,73 т/га, после введения плодосмена (1800 г.) – 1,12 т/га; в начале химизации земледелия – 4,15 т/га (Кук, 1970). В 1990-е годы урожаи зерновых культур в этой стране достигли 8,0–10,0 т/га. Эти данные свидетельствуют о том, что урожайность зерновых культур имеет тенденцию роста во времени. От начала земледелия до плодосмена включительно повышение урожайности зерновых культур наблюдается за счет реализации потенциального плодородия почв на основе обработки и чередования культур. Резкий скачок урожайности культур в послевоенные годы обусловлен повышением концентрации макроэлементов в почвенном растворе в результате внесения минеральных удобрений.

Следует отметить, что существенным шагом в этом направлении стала также трансформация малопродуктивных пахотных земель в другие угодья – пастбища, сенокосы и леса, что позволило концентрировать все материальные средства и организаторские силы сосредоточить на поддержание плодородия почв на оптимальном уровне. В связи с этим, приоритетом современной аграрной науки является разработка теоретической платформы повышения урожайности зерновых сельскохозяйственных культур до уровня агроэкологического потенциала. Такое представление связано с тем, что продуктивность пашни зависит от трех факторов: теплообеспеченности, влагообеспеченности и содержания подвижных элементов питания. Тепловые ресурсы определяются гео-

графическим положением местности и относятся к космическому разряду факторов. Локальное их регулирование имеет место на небольшой площади тепличного хозяйства.

Влагообеспеченность относится к труднорегулируемым факторам, хотя локальная ее регулировка осуществляется за счет хозяйственной деятельности: снегозадержания, боронования, создания мощного пахотного горизонта, своевременного проведения агротехнических мероприятий.

Третья группа факторов предусматривает оптимизацию обеспеченности почв подвижными элементами питания – азотом, фосфором, калием и микроэлементами. Эти макроэлементы динамичны во времени. Они усиленно потребляются корневой системой культур и отчуждаются из биологического круговорота веществ. Соединения азота легко выносятся за пределы корнеобитаемого слоя из почвенного профиля. Соединения фосфора в анионной форме менее подвижны, а катионы калия быстро внедряются в почвенно-поглощающий комплекс, что предохраняет их от выноса из почвенного профиля. Специфические свойства очерчивают возможности управления и определяют особенности механизма управления почвенным плодородием (Шишов и др., 1987, 1991).

Оптимизация обеспеченности динамичных почвенных свойств и мощности пахотного горизонта на формирование биомассы районированных сельскохозяйственных культур проводилась в Белоруссии под руководством Т.Н. Кулаковской (1990). На мелкоделяночных опытах изучалось влияние агрохимических свойств - содержания гумуса, гидролитической кислотности (рН), содержания и степени обеспеченности подвижными формами азота, фосфора и калия на уровень продуктивности агроценозов. В целом, эти подходы были внедрены в практику сельского хозяйства, в результате чего урожайность зерновых культур (ячмень) поднялась до 6,8-7,4 т/га, картофеля – 28,8-41,3 т/га (Рак, Барашкова, 2011).

В Российской Федерации проблема оптимизации почвенного плодородия дифференцировалась как по темпам реализации, так и приемами. В первую

очередь, изменилась обеспеченность почв подвижными формами элементов питания на основе внесения минеральных удобрений в сочетании с органическими компонентами. При этом, в таежно-лесной и лесостепной зонах отношение между минеральными и органическими удобрениями было довольно благоприятным, а в степной и сухостепной зонах объемы применения минеральных удобрений преобладали над органическими. Организационным моментом в оптимизации компонентов почвенного плодородия следует считать создание агрохимических лабораторий в 1964 году. Они через 15 лет были преобразованы в проектно-изыскательские станции химизации сельского хозяйства. К началу 1980-х годов была создана мощная отрасль по выпуску минеральных удобрений. Если в 1965 г. было произведено и поставлено сельскому хозяйству 2,6 млн т (в пересчете на д.в.) минеральных удобрений, то уже в 1988 г. выросло – до 13,7 млн тонн.

Уже к 1980-му году в составе ВПНО «Россельхозхимия» работали 1650 предприятий во всех регионах, количество складов для приема и хранения до 7,1 млн т минеральных удобрений, 73 тыс. тракторов, 56 тыс. машин для внесения органических и минеральных удобрений (Елизаров, 1999). Результаты проведенной работы по восстановлению плодородия почв, прежде всего, отразились на положительном балансе макроэлементного питания растений, что предопределило повышение степени обеспеченности пахотных почв подвижными формами фосфора и калия.

К сожалению, в годы перестройки резко уменьшились поставки минеральных удобрений сельскому хозяйству России. Если в 1988 г. они составили 13,8 млн т д.в. при соотношении NPK 42:34:24, то на рубеже тысячелетий они сократились до 1,1–1,3 млн т, то есть в 10 и более раз. Также изменилось соотношение NPK и составило 63:22:15 (Росс. стат. ежегодник, 2017).

Главным интегральным показателем плодородия пашни является содержание гумуса в пахотном горизонте. В нашей стране преобладают площади почв с низким содержанием гумуса 2,1-4,0% до 37,5%, а площади пашни с со-

держанием гумуса 4,1-6,0 составляют всего 28,4 процента. Более того, за годы перестройки площадь пашни с низким содержанием гумуса увеличилась на 4,5 процента. Одной из существенных причин такого положения является снижение количества вносимых органических удобрений. Так, с 2001 по 2007 гг. оно снизилось с 60,6 млн т до 48,3 млн т (Безуглов, Гогмачадзе, 2009).

Изменения в хозяйственной деятельности отразились на динамике урожайности сельскохозяйственных культур, в том числе и зерновых. По данным Российского статистического ежегодника за 1971-1975 гг. средняя годовая урожайность зерновых культур составила 1,29 т/га, а в 1986-1990 гг. – 1,65 т/га. В 2000-2008 гг. она варьировала от 1,56 до 2,38 т/га, и такая ее динамика обусловлена как сочетанием благоприятных климатических условий, так и наследованием благоприятного агрохимического состояния пахотных почв в годы интенсивной химизации.

Сельское хозяйство Среднего Поволжья, в том числе и Республики Татарстан также вступило на путь интенсификации. Началом этого процесса считается конец 1950-х годов (Давлятшин, Бакиров, 1999). За 1965–2018 гг. каждый гектар посевной площади получил 3666,0 кг д.в. минеральных и 273,5 т органических удобрений. Средняя насыщенность минеральными удобрениями составила 67,9 кг д.в./год. За этот период средняя насыщенность минеральными и органическими удобрениями составила 144,4 кг/га д.в./год. Наибольшие показатели насыщенности пашни характеризуют годы интенсивной химизации – 1986–1994 гг. с ее диапазоном 97–183 кг/га д.в. Минимальные эти показатели приурочены к начальному сроку наблюдения. Насыщенность пашни минеральными удобрениями по регионам Российской Федерации была неравномерной. Минеральные удобрения выделялись районам, где в почвенном покрове преобладали низкоплодородные серые лесные и дерново-подзолистые почвы (Справочник агрохимика РТ, 2013, 2015 и др.).

Самое главное, в 1978–2011 гг. проводилось известкование кислых почв на площади 7657,3 тыс. га при ежегодных показателях около 219 тыс. га. Прак-



тиковалось также фосфоритование кислых почв. За 1978–1997 гг. фосфоритование произведено на площади 762,9 тыс. га или ежегодно более 38 тыс. га (Кузьминых, Морковкин и др., 2020).

Результаты работ по повышению плодородия почв, прежде всего, нашли подтверждение на динамике агрохимического состояния пахотных почв и урожайности ведущих зерновых сельскохозяйственных культур. Так, средневзвешенное содержание подвижного фосфора возросло от 87 до 132,5 мг/кг почвы, а подвижного калия – от 125,0 до 137,5 мг/кг почвы. Также заметно уменьшились площади кислых почв (с 1572,8 до 1432,8 тыс. га).

Наиболее заметные изменения произошли в динамике районированных зерновых культур по Республике Татарстан. В 1970–2018 гг. с каждого гектара пашни было получено 81,21 т/га яровой пшеницы при диапазоне от 0,82 до 3,97 т/га зерна.

Со дня формирования Центральная агрохимическая служба «Татарский» изучает состояние плодородия почв и разрабатывает проектно-сметную документацию по внесению органических, минеральных удобрений, известкованию и фосфоритованию кислых почв, проводит мониторинг за состоянием плодородия почв (Лукманов, Нуриев, Давлятшин, 2010; Чекмарев, Лукманов, Нуриев, 2011; Лыскова, 2017; Окорков, 2018).

Вопросы оптимизации почвенных свойств прежде всего наиболее актуальны относительно дерново-подзолистых и серых лесных почв, что является предметом детального изучения сотрудниками Татарского НИИ агрохимии и почвоведения во главе с А.Х. Яппаровым (2003). В разработке программы «Плодородие» центральное место занимает состояние компонентов почвенного плодородия, их оценка и хозяйственный перечень мероприятий по оптимизации почвенных свойств. Данная проблема также отражена в монографии И.Д. Давлятшина, Н.Б. Бакирова (2010) для Западного Закамья Республики Татарстан, где в почвенном покрове преобладают черноземы лесостепные и темно-серые лесные почвы. Наряду с разработкой оптимальных параметров почвенного по-

крова и его морфологического строения в данной работе детально рассматриваются мероприятия по достижению оптимальных показателей с целью достижения средней урожайности зерновых культур до потенциала влагообеспеченности местности (основной лимитирующий фактор внешней среды).

Оптимизация почвенных свойств и морфологического строения почв на сегодняшний день еще полностью не исчерпала свои возможности и резервы, так как производилась лишь для фосфорного, калийного режимов почв, то есть динамичных почвенных свойств за счет внесения минеральных удобрений. В ходе перестройки, когда экономические аспекты вышли на ведущие позиции в развитии общества, во всех регионах Российской Федерации, в том числе и в Среднем Поволжье наблюдаются сбои по внесению достаточного объема удобрений, что стало причиной отрицательного баланса по ведущим макроэлементам – фосфора, калия и азота (Сычев, 2003; Минеев, 2006; Иванов, 2011; Чекмарев, 2010, 2011), что в последующем несомненно будет отражаться на снижении продуктивности обрабатываемой пашни, в том числе выщелоченных черноземов Среднего Поволжья.

Как всегда, на существующем фоне происходит поиск новых теоретических установок, инновационных приемов в самых различных отраслях сельскохозяйственного производства. Необходимость новых идей, технологий в сельскохозяйственном производстве изложена в статье А.Л. Иванова (2011). По его мнению, теоретической основой рационального использования почвенных ресурсов должна стать реализация на базе сохранения, восстановления и повышения плодородия почв внедрение в производство интенсивных и высокоинтенсивных технологий возделывания адаптивных сельскохозяйственных культур.

Известно, что урожайность сельскохозяйственных культур формируется под воздействием многочисленных факторов, проявления их варьирования в пределах одного поля. Оно доходит во всех зонах до 40–50% (Давлятшин, 1993). Такой же уровень варьирования наблюдается по агрохимическим почвенным показателям. Устранение варьирования агрохимических свойств путем

точного снабжения культур необходимой дозой и составом удобрений – задача будущего. Именно этому служит точное земледелие на базе одновременного определения, точечного внесения в почву необходимых для растений макро- и микроэлементов, стимуляторов роста, биопрепаратов и антистрессовых агрохимикатов. Безусловно, данная инновационная технология направлена на устранение варьирования и продуктивности агроценозов, и агрохимических показателей полей севооборотов (Якушев и др., 2007).

Таким образом, основная задача перед сельскохозяйственной наукой – повышение урожайности ведущих культур до потенциала почвенной влагообеспеченности путем управления и оптимизации агрохимических свойств почв имеет как теоретическую, так и практическую значимость.

## **1.2. Факторы формирования товарной продукции**

Во второй половине XX века методология познания расширилась за счет внедрения новой парадигмы – системного метода, опирающегося на выявление связи между различными компонентами, явлениями и процессами (Сpirкин, 1988; Окорков, Фанова, 2019).

Изучаемая система является сложной и представляет собой следующие подсистемы: сельскохозяйственная культура – почва; сельскохозяйственная культура – космические факторы (космос); сельскохозяйственная культура – хозяйственные факторы (хозяйственное использование). Среди них подсистема «сельскохозяйственная культура – космические факторы» относится к не управляемой, «сельскохозяйственная культура – почва» – к трудно управляемой, а «сельскохозяйственная культура – хозяйственные факторы» – к управляемым подсистемам. Результаты взаимодействия всех подсистем обуславливают дифференциацию урожайности сельскохозяйственных культур.

Рассматриваемые системы можно также анализировать относительно каждой сельскохозяйственной культуры. Нас интересуют подсистемы, связанные с яровой пшеницей. Здесь продуктивность яровой пшеницы также зависит

от космических, почвенных и хозяйственных факторов. Так, влияние космоса прежде всего определяет ареал массового возделывания каждой культуры, в котором ведущим фактором служат тепловые ресурсы и влагообеспеченность территории. Исходя из этого ареалы яровой пшеницы занимают территорию от таежно-лесной зоны бореального пояса до тропического. При недостатке атмосферной влаги на агроценозах проводится орошение почв, особенно в степной, пустынной и полупустынной зонах.

Зависимость продуктивности от почвенных условий обуславливается связью с обеспечением культуры яровой пшеницы элементами питания и почвенной влагой. В связи с применением удобрений в последние годы ареалы возделывания яровой пшеницы расширились до таежно-лесной подзоны и северной части лесостепи, что, на наш взгляд, определяется запасами макроэлементов (азот, фосфор и калий).

Именно состояние азотного, фосфорного и калийного режимов определяет дифференциацию урожайности яровой пшеницы, поэтому ниже будут проанализированы эти режимы. Макроэлементы представляют материальную основу урожая яровой пшеницы. Например, в лесостепной зоне Республики Татарстан 1 т зерна с учетом побочной продукции выносит в среднем 35 кг азота, 12 кг окиси фосфора и 25 кг окиси калия (Давлятшин, Гилязов, Лукманов, 2013). По мере движения на юг насыщенность продукции яровой пшеницы азотом возрастает и для создания 1 т зерна уже требуется 40 кг азота. Все это говорит о том, что концентрация макроэлементов в товарной продукции культур, в первую очередь зависит от обеспеченности теплом и влагой. Считается, что оптимальная температура для поглощения азота, фосфора и калия яровых зерновых культур лежит в диапазоне от +23 до +25°C. Именно такой температурный режим имеет место в степной и южной части лесостепной зон. В Центральной Нечерноземной зоне лето, как правило, умеренно прохладное и умеренно теплое. Соответственно в Центральном, Верхневолжском регионах вынос макроэлементов (NPK) основной продукцией в расчете на 1 т яровой пшеницы со-

ставляет соответственно 31-11-19 и 27-9-19 кг (Войтович, Лобода, 2005).

С другой стороны, считается, что потребление яровой пшеницей элементов питания в свою очередь зависит от степени обеспеченности почв и объемов внесенных удобрений. Так, внесение NPK заметно повышает расход азота, калия зерновых культур (Поддубный, 2018; Плотников, 2019).

Почва является домом для растений, и в том числе, для яровой пшеницы. При создании продукции она обеспечивает не только материальную основу в виде основных макроэлементов, но и условиями для роста и развития. Среди них следует отметить pH почвенной среды. Показатели pH зависят от зонального типа почв, то есть от географического положения местности, зональной принадлежности почв и содержания щелочноземельных оснований в почвообразующей породе. Рассмотрение подсистемы с участием pH почвы обусловлено тем, что разные культуры имеют свой диапазон оптимальных показателей для роста и развития. От оптимальности pH почвенной среды зависит интенсивность поглощения как макроэлементов, так и микроэлементов (Фирсов, 2011; Раков, Сирота, 2018; Романенков, Павлова, 2018).

Для растений также важны тепловой, окислительно-восстановительный, биологический режимы.

Таким образом, краткий обзор показывает, что вынос NPK урожаем культур, в том числе и яровой пшеницей, зависит от многих факторов, где основными являются наличие тепловых ресурсов, обеспеченность почвенной влагой и макро- и микроэлементами питания.

В современном агропромышленном комплексе большинства стран мира подсистема яровая пшеница – хозяйственный фактор является главным звеном в дифференциации урожайности этой культуры. В условиях России во время господства экстенсивной системы земледелия в конце XIX века кадастровыми отрядами России была зафиксирована средняя урожайность озимой ржи от 0,14 до 1,10 т/га с вычетом посевного материала (Соболев, 1965; Гаврилюк, 1974). Минимальные урожаи соответствовали дерново-подзолистым и солонцеватым

почвам, а максимальные – черноземам, относимым к эталону плодородия почв.

В связи с появлением новых сельскохозяйственных машин, применением минеральных удобрений урожайность повысилась и достигла высокого уровня. В росте урожайности культур оказывают также заметное влияние и другие факторы. Среди них особое значение имеет возделывание адаптированных к местным условиям высокопродуктивных сортов, применение препаратов по защите культур, новые технологии обработки почв в земледелии. Все это говорит о том, что в этой системе играет особую роль уровень развития научных дисциплин биологического и сельскохозяйственного профилей и интеллектуального научного потенциала землепользователей.

Неслучайно в последние годы наблюдается выравнивание урожайности зерновых культур, полученной на разных типах почвенных образований. Самые высокие урожаи зерновых культур были получены на почвах, оптимально обеспеченных влагой и на высоком фоне обеспеченности органическими и минеральными удобрениями. Так, в странах Западной Европы она достигла 5,0–8,0 т/га на уровне государства, а в отдельные годы имеет место урожайность зерновых культур составляет до 10,0 т/га.

По данным Л.М. Державина (2007) в России урожайность зерновых культур в 1913 году составила 0,80 т/га, а в 1990 г. – 1,95 т/га. В разрезе пятилеток средняя урожайность показывает тенденцию роста от 0,98 т/га в 1961–1965 гг. до 1,88 т/га в 2001–2005 годах. При этом имеет место четкая зависимость между насыщенностью пашни минеральными удобрениями и урожайностью культур. В 1971–1975 гг. насыщенность пашни минеральными удобрениями составила 48 кг/га д.в./год, а в 1986–1990 гг. – 99 кг/га д.в.

Следовательно, продуктивность агроценозов зависит от многочисленных факторов - местоположения изучаемого объекта, особенностей хозяйственной деятельности человека (системы обработки почв, выбор сортов, технологии возделывания, сроков посева и уборки; качества посевного материала и т.д.), а также погодных условий, как во время вегетации, так и уборки. Из вышеизло-

женного также вытекает, что урожайность культур представляет сумму урожаев, представленных из долей (частей) сформированных за счет перечисленных факторов. Среди них весомое место занимает доля почвенного фактора, доля удобрений на фоне почвенного потенциала. Кроме того, значение и других хозяйственных факторов нельзя исключать из учета. К тому же все это преломляется через интеллектуальный потенциал агрономов, руководителей хозяйств и других землепользователей.

Другими словами, основной закон земледелия «О незаменимости факторов внешней среды» играет огромную роль в формировании высокопродуктивных агроценозов возделываемых сельскохозяйственных культур, включая и объект наших исследований.

### **1.3. Почвенный покров и урожайность сельскохозяйственных культур**

Республика Татарстан расположена в Среднем Поволжье и занимает площадь 6783,7 тыс. га. Наибольшая протяженность с запада на восток составляет 460 км, с севера на юг – 270 км. Долины крупных рек Волги и Камы делят ее территорию на 3 физико-географические части – Предкамье, Предволжье и Закамье, которые отличаются друг от друга природными условиями, в том числе и почвенным покровом.

Территория республики характеризуется большим разнообразием слагающих ее геологических отложений, значительной сложностью рельефа, умеренно континентальным климатом, разнообразием естественного растительного покрова, микрофлоры и почвенной фауны. Если северные районы приближаются к более увлажненной лесной зоне, то большая часть территории представляет типичную лесостепь.

Разнообразие физико-географических условий обусловило пестроту и сложность почвенного покрова, разделяя территорию на таежно-лесную зону, где на территории республики формируется лишь подзона южной тайги с дерново-подзолистыми почвами, и на лесостепную зону с двумя почвенными ти-

пами – серыми лесными и черноземами лесостепными или лугово-степными. В пределах лесостепной зоны выделяется 6 почвенно-географических подзон с соответствующими зональными почвенными подтипами: светло-серые лесные почвы; серые лесные почвы; темно-серые лесные почвы; черноземы оподзоленные; черноземы выщелоченные и черноземы типичные (Чуян, Дериглазова, 2012; Шальников, Сычев, 2015).

Одной из особенностей почвенного покрова лесостепной зоны является пестрота формирования зональных почв. Причина этого явления определяется и величиной коэффициента увлажнения по Н.Н. Иванову (1948), что равно единице в лесостепной зоне. Это означает, что в отдельные влажные годы атмосферные осадки доходят до грунтовых вод, промачивая всю почвенную толщу, соответственно с почвенным раствором выносятся часть продуктов почвообразования, а в другие - засушливые годы - промачивают лишь почвенную толщу. На фоне изменчивости агроклиматических показателей на вариабельность и распределение коэффициентов увлажнения также оказывают влияние такие экологические условия как орография местности (ровное место, склон, абсолютная высота местности и др.), свойства почвообразующих пород, (особенно гранулометрический и минералогический состав), растительный покров. Сюда также необходимо отнести характер использования почв. Так, пахотные почвы относительно их целинных аналогов, больше усваивают атмосферные осадки, и соответственно эти земли, как правило, имеют больше лет с промачиванием всей почвенной толщи. Именно данное обстоятельство определяет формирование островных дерново-подзолистых почв во всех почвенно-природных подзонах, а подтипов серых лесных почв среди черноземов лесостепных (Шевцова, Беличенко, 2019).

Исходя из этого, в северной части лесостепи – Предкамский регион и северная часть Предволжья, преобладают серые лесные и дерново-подзолистые почвы. На юге Предволжья и на Юго-Восточном Закамье преобладают черноземы лесостепные.



До Октябрьской революции почвенные исследования в Республике Татарстан проводились фрагментарно отдельными природоведами от М. Лаптева до Р.В. Ризположинского (Колоскова, 1968 и др.).

Большой вклад по детальной аналитической и морфологической характеристике почв внесли И.В. Тюрин (1933), М.Г. Шендриков (1934), И.В. Утэй (1956), М.А. Винокуров, А.В. Колоскова (1976) и многие другие. Благодаря их работам был накоплен обширный фактический материал, подробно и разносторонне характеризующий особенности почв Татарской Республики. Среди них наиболее подробное описание почв республики приводилось в работах И.В. Тюрина для северо-западных районов с почвенной картой и М.Г. Шендрикова для части Закамских районов Предуральской провинции, тоже с почвенной картой. В 1962 году была издана монография «Почвы Татарии» под редакцией М.А. Винокурова.

История земледелия, позднего почвоведения показала зависимость продуктивности агроценозов от почвенного покрова, от свойств и строения почв, что подтверждает возможность управления почвенным плодородием. Эта идея проходит красной линией в методологии земле-оценочных работ. Кадастровые работы, выполненные в ходе подготовки отмены крепостного права под руководством Н.Ф. Анненского, отчетливо подтвердили эту идею. Урожайность преобладающей культуры по выделенным на территории Казанской губернии разрядам, коррелирующим с современной классификацией почв приведена в таблице 1.

Фактический материал четко показывает зависимость урожайности от подтиповой принадлежности почв. Она возрастает от менее плодородных дерново-подзолистых почв к черноземам типичным. Эта закономерность прослеживается во время преобладания экстенсивного земледелия, которое на территории нашей республики имело место почти до 1960-х годов. Экстенсивное земледелие предусматривает почти полное формирование урожайности сельскохозяйственных культур за счет потенциального плодородия. Это означает

наличие связи ведущих свойств и признаков с урожайностью культур.

Таблица 1– Урожайность озимой ржи по Казанской губернии за вычетом посевного материала (по Курочкину и Муртазину, 1971)

Учетные почвенные группы	За период 1858-1859 гг.			За период 1887-1892 гг.		
	n	четв. 56/д	%	n	пуд/д	%
VI (Ч <sup>г</sup> )	3	50,5	100	3	41,7	100
V (Ч <sup>в</sup> и Ч <sup>оп</sup> )	18	44,9	89	9	37,7	90
IV (Л <sub>3</sub> )	6	40,1	79	5	33,6	80
III (Л <sub>2</sub> )	8	37,8	75	–	–	–
II (Л <sub>1</sub> )	11	33,1	65	12	28,4	68
I (П <sup>д</sup> )	7	32,6	64	4	27,6	66

Примечание: Сокращения означают: подтипы почв индексированы принятыми условными знаками; ч/д - четверик (18,5 кг)/десятина, где десятина равна 1,09 га; п - пуд - 16 кг.

Урожайность сельскохозяйственных культур также дифференцируется в зависимости от гранулометрического состава почв. Это означает, что для получения максимальной урожайности необходимо учитывать данное обстоятельство –гранулометрический состав при подборе сельскохозяйственных культур.

Современное сельскохозяйственное производство опирается на применение минеральных и органических удобрений. Долевое их участие, безусловно, зависит от зональной принадлежности почв. Так, по данным И.Д. Давлятшина, Н.Б. Бакирова (2010) на черноземах половина урожайности яровой пшеницы формируется за счет хозяйственной деятельности человека, то есть за счет применения удобрений, остальная часть – за счет почвенного плодородия. В масштабе республики, где в почвенном покрове преобладают серые лесные почвы, в целом доля удобрений в составе урожайности составляет 67%, а доля естественного плодородия – лишь 33% (Свирина, Артюхова, 2019).

Последние исследования почв направлены на установление параметров связи между свойствами почв, атмосферными осадками и урожайностью культур в целях прогнозирования продуктивности агроценозов. Именно прогнози-

рование урожайности является инструментом управления рациональным использованием земельных ресурсов в целом Российского государства и Среднего Поволжья, в частности.

#### **1.4. Гумусовое состояние и азотный режим пахотных почв Среднего Поволжья**

**Гумусовое состояние** почв формируется за счет совокупности морфологических признаков, общих запасов, свойств органического вещества и процессов его создания, трансформации и миграции в почвенном профиле (Никитина, Романенков, 2014; Мерзлая, 2019).

Специфическое органическое вещество почвы – гумус является непосредственным продуктом почвообразования, что придает ей новое свойство – плодородие, которому суждено играть главную роль в процессе жизнедеятельности зеленых растений и создания ими органического вещества из компонентов минерального царства. Материальной основой образования гумуса служат органические остатки живого вещества – растений, животного мира. При этом растительные остатки являются главным источником этой основы (Тюрин, 1939; Кононова, 1963; Орлов, 1990; Александрова, 1987; Лыков, 1976; Ганжара, 2001; Когут, 2012; Семенов, Когут, 2015 и др.). В дальнейшем в процессе утилизации органических остатков участвует целый набор представителей животного мира от грызунов, насекомых до грибов и микроорганизмов.

По современным понятиям гумус представляет собой продукт биохимических процессов (Pascoa, Gouvela, 2018).

Гумус неоднородный, многокомпонентный продукт, что определяет его функциональную роль природного почвенного тела. По представлениям Д.С. Орлова (1990) для гумуса характерны следующие функции при формировании почв: аккумулятивная, регуляторная, транспортная, протекторная и физиологическая.

Аккумулятивная функция предопределяется накоплением в составе гумуса биофильных элементов, необходимых для жизнедеятельности растений и в

целом живого вещества, входящих в структурный состав растений и их товарной продукции. Так, в составе гумуса содержится до 98% азота, более 50% фосфора и других элементов питания растений. Содержание гумуса является интегральным показателем и критерием потенциального и эффективного плодородия почв (Карманов, 1980; Шахова, Еремин, 2007).

Регуляторная функция гумуса определяется тем, что содержание гумуса почв является показателем оптимального состояния протекающих биологических, химических, физико-химических, водных, окислительно-восстановительных, тепловых процессов, конечным результатом которых являются соответствующие режимы почв, определяющие параметры почвенных свойств и признаков морфологического строения, потенциального и эффективного плодородия почв.

Транспортная функция гумусовых кислот зависит от их способности растворять токсичные для растений элементы, в том числе тяжелые металлы и соединения, и формировать геохимические потоки по почвенному профилю в составе комплексных соединений.

Протекторная функция заключается в способности гумусовых веществ превращать токсичные элементы в малоподвижные и труднорастворимые соединения, уменьшая их негативное влияние на рост и развитие растений.

Физиологическая функция заключается в участии гумусовых кислот в стимулировании роста и развития растений. Данная функция лежит в основе появившихся в последнее время органических удобрений нового типа – биогумуса.

Гумус представлен такими кислотами как гуминовая, фульвокислоты и гумином (Кононова, 1963; Александрова, 1987; Семенов, Когут, 2015 и др.).

Гуминовые кислоты растворяются в щелочных растворах, в элементном составе преобладают органогенные элементы (С, Н, О, N). В элементном составе в атомных процентах в почвах черноземного типа преобладает углерод в отношении  $H : C = 0,8$ . В серых лесных почвах оно равно 1,0, в дерново-

подзолистых почвах – 1,1. Ядро, состоящее из бензолополикарбоновых кислот, ароматических гетероциклических колец, обладает гидрофобными свойствами, а периферическая область – гидрофобными свойствами. Такое строение определяет набухаемость, адсорбционную и обменную способность. Гуминовые кислоты обладают обменной способностью до 300–700 ммоль/100 г почвы.

Фульвокислоты (ФК) – группа гумусовых кислот, остающаяся в растворе после осаждения гуминовых кислот. В составе ФК преобладает водород, затем углерод и кислород.

Рассмотренный состав в основном характеризует генетическую принадлежность, классификационное положение и деление почв, но меньше всего освещает прикладное отношение, не отражает влияние составных компонентов на рост и развитие растений. Прикладную часть этой проблемы дополняет понятие гумусового состояния, представляющего совокупность морфологических признаков, общих запасов, свойств органического вещества, процессов его формирования, трансформацию и миграцию в почвенном профиле (Гришина, Орлов, 1982).

Показатели гумусового состояния включают параметры подстилки, содержание и запасы органического вещества в слоях 0–20 и 0-100см, характер профильного распределения, обогащенность гумуса азотом через C:N, степень гумификации, тип гумуса, отношение содержания гуминовых кислот к содержанию фульвокислот и др.

При оценке почвенного плодородия принята следующая группировка по содержанию органического вещества, %:

1. Безгумусные – <1;
2. Очень низкогумусные – 1-2;
3. Низкогумусные – 2-4;
4. Среднегумусные – 4-6;
5. Высокогумусные – 6-10;
6. Очень высокогумусные (тучные) – 10-15;

7. Перегнойные – 15-30;

8. Торфяные – >30.

Запасы гумуса в т/га являются наиболее интегральным показателем в оценке гумусного состояния пахотных почв. Закономерности распределения гумуса были впервые освещены в работах И.В. Тюрина (1939). Наибольшими запасами гумуса обладают зональные лугово-степные черноземы. По мере движения на север и на юг запасы гумуса уменьшаются, соответственно достигают минимальных показателей в арктических и пустынных почвах.

Содержание гумуса в почвах, являясь интегральным показателем плодородия почв, более детально рассмотрено земле-оценочными работами в СССР. На основе накопленной информации были охарактеризованы не только типы и подтипы почв, но и более низкие таксономические единицы почв до разновидностей в разрезе провинций, округов, районов.

Наиболее объективным подходом является разделение гумуса на две группы – консервативные (устойчивые) и лабильные соединения (Орлов, 1990).

Азот – это белок, а белок – основа жизни. Поэтому он является самым необходимым элементом питания растительного мира. Основным хранилищем азота, конечно же, является гумус (Гамзиков, 2013, 2015).

Почва представляет собой биокосное тело, соответственно его запасы сосредоточены в составе живого вещества, его остатков и специфического почвенного органического вещества – гумуса.

В составе гумуса азот составляет около 5%, соответственно азотный режим определяется как общим количеством гумуса, так и условиями его минерализации, в процессе которого выделяются доступные корневой системе растений его формы. Во время господства экстенсивного земледелия количество доступного для растений азота обеспечивал уровень урожайности сельскохозяйственных культур, соответственно эталоном урожайности служили почвы черноземного типа, обладающие высокими показателями содержания гумуса (Докучаев, 1883; Budong, Jong, 2009).

Вторым дополнительным источником является фиксирование микроорганизмами форм атмосферного азота. Количество такого азота в экстенсивной системе составило около 4 кг/га, а при повышении урожаев возрастало (Тюрин, 1965). Согласно результатам исследований последних лет, фиксация азота микроорганизмами несколько выше и, по мнению известного микробиолога М.М. Умарова (1986) четко дифференцируется по почвенно-географическим зонам от 30–50 кг/га в умеренной зоне и до 100 кг/га в тропиках.

Фиксированный азот составляет до 50–60% от общей его массы, что было выявлено результатами опытов, поставленных с изотопами азота (Шабаев и др., 1985), что свидетельствует о высоком удельном весе микробиологической фиксации атмосферного азота в питании растений.

Тем не менее почвенные запасы, включая трансформацию азота из атмосферы и количество минерализованного азота могут обеспечить умеренную продуктивность культур в экстенсивной системе земледелия, что недостаточно для создания высоких урожаев. Поэтому возникает необходимость внесения азота в составе минеральных и органических удобрений.

Население Земли растет с каждым годом и по прогнозу в 2050 году достигнет 9 млрд человек, что требует обеспечения продовольствием, а для этого удвоения урожайности ведущих сельскохозяйственных культур, соответственно необходимого человеку белка (Сычев, 2018). Дальнейшая интенсификация земледелия увеличит затраты на создание урожая культур за счет увеличения применения минеральных удобрений и средств защиты растений. Продукция, созданная за счет минеральных удобрений в 9–10 раз дороже продукции, полученной через трансформацию атмосферного азота (Умаров и др., 2007).

Обогащение почвы и растений атмосферным азотом также осуществляется клубеньковыми микроорганизмами, живущими в симбиозе с бобовыми растениями. При этом азотфиксация возрастает в несколько раз по сравнению с показателями фиксированного азота ассоциативными микроорганизмами.

Следовательно, поставленную задачу необходимо решать в двух направ-

лениях – через применение азотных удобрений и через усиление азотфиксирующей способности системы почва – агроценозы, инокулируя почву биопрепаратами, обогащенными активными штаммами азотфиксирующих бактерий.

По материалам А.А. Завалина (2005), инокуляция сорго штаммами бактерий увеличивает урожайность этой культуры на 15–30% с одновременным ростом отчуждения азота до 20-50 процентов. На опытах, заложенных на серых лесных почвах опытного участка Казанского ГАУ, применение ризоагрина на посевах пшеницы формировало сопоставимую прибавку урожая яровой пшеницы по сравнению с применением азотного минерального удобрения в дозе  $N_{60}$  (Таланов, 2018; Сержанов, 2019; Шайхутдинов, 2020).

Эффективность биологических препаратов также подтверждается исследованиями, проведенными в зарубежных странах мира, в том числе и Великобритании. Так, инокуляция биопрепаратами повышала урожайность яровой пшеницы от 5–30 до 60-70% (Burman et. al., 1998; Четверикова, 2014).

Имеет место также явление «экстраазота» на фоне высокой обеспеченности почв подвижным фосфором и калием, где фотосинтез органического вещества ускоряет процесс азотификации, оказывая дополнительный эффект (Умаров, 1986; Vubela, Malachivsky, 2016).

Азотный режим почв зависит от многих факторов – типовой принадлежности почв, гранулометрического состава и характера использования. Типовая принадлежность и гранулометрический состав почв, определяя содержание органического вещества – гумуса, показывает концентрацию азота в составе гумуса. Аналогична функция гранулометрического состава, он корректирует содержание общего азота (Иванов, Сычев, 2012; Лукин, 2017).

Обработка почвы связана с улучшением аэрации, то есть создает условия для окисления почвенного гумуса, повышая концентрацию доступного корневой системе азота в форме аниона и катиона ( $NH_4$ ) (Гамзиков, 1981).

Вместе с тем химические особенности соединений минерального азота определяют высокую мобильность, а отрицательная способность анионов спо-



способствует легкому выносу из почвенного профиля. Отмеченные особенности определяют основные закономерности динамики подвижного и доступного растениям азота.

Аммиачные формы азота, как правило, преобладают весной, что связано с температурным режимом. Именно, в относительно низких условиях температуры микроорганизмы, формирующие аммиачные формы, более активны, что повышает их концентрацию в пахотном горизонте. По мере повышения температуры активизация нитрификаторов повышается, а концентрация нитратов увеличивается. Вместе с тем биологическая активность почв выше в оптимальных условиях увлажнения, что играет решающую роль обеспеченности подвижным азотом и высокую окупаемость удобрений (Державин, 2012).

В опытах В.И. Кирюшина (2016) подкормка азотными удобрениями оказывала большое влияние на урожайность озимой пшеницы на сильно окультуренных дерново-подзолистых почвах. При этом прибавка составила 0,42–1,42 т/га озимой пшеницы при окупаемости азотных удобрений от 12,0 до 46,3 кг на 1 кг внесенных удобрений. Вместе с тем, биологические особенности озимой пшеницы по-разному реагируют на ее урожайность, прибавка варьирует от 0 до 0,92 т/га (Шафран и др., 2008).

Аналогичные результаты имеются во всех регионах, в том числе и Сибири (Дьяченко, Мальцев, 2008), где азотные удобрения проявляют эффективность на фоне высокой окупаемости - 9,1–12,6 кг/кг. Однако содержание в почвах нитратов имеет свои особенности и последствия в условиях периодически промывного режима. Анализ долголетних стационарных опытов, проведенных в 1972–2002 гг., показал, что эффективность азотного удобрения соизмерима с его последствием. При поступлении азота в пятилетний период 300, 600 и 900 кг/га культурами усваивается 59; 45 и 34% от внесенного количества. При этом 8, 24 и 37% либо вымываются, либо накапливаются в виде нитратов на глубине 80–160 см, или иногда глубже, формируя максимум нитратов в нижних слоях почвы, создавая своеобразную кладовую доступного азота.

Следовательно, азотный режим почвы формируется за счет потенциального плодородия, то есть в процессе разложения гумуса, или же азотфиксации ассоциативными, клубеньковыми микроорганизмами и в ходе хозяйственной деятельности человека. В целях снижения себестоимости товарной продукции необходимо учитывать вышеотмеченные источники обогащения почв доступными формами азота.

При этом, наиболее перспективным является обогащение почв азотом биологическим путем за счет инокуляции азотфиксирующими микроорганизмами агроценозов зерновых культур или же разработка оптимальных организационно-хозяйственных приемов, включающих освоение севооборотов с участием зернобобовых культур и таких многолетних трав из семейства бобовых, как клевер луговой, люцерна посевная, козлятник восточный, эспарцет песчаный, людвенец рогатый и др.

### **1.5. Кислотный режим и урожайность яровой пшеницы**

Одним из главных свойств почв является поглотительная способность, теоретические основы которой были разработаны К.К. Гедройцем (1925).

Среди поглощенных катионов в зональных почвах преобладает кальций. Это связано как с большим содержанием его в земной коре, так и с его высокой способностью к внедрению и слабой способностью к вытеснению из почвенного поглощающего комплекса. Ион водорода, несмотря на малые концентрации его в почвенном растворе, также обладает исключительно большой способностью к внедрению и может накапливаться в некоторых почвах в значительных количествах. Присутствие в почвенно-поглощающем комплексе того или иного количества иона водорода (или алюминия) обуславливает кислую реакцию среды почвенного раствора. Накопление обменного алюминия возможно только в сильнокислых почвах, так как растворимость солей алюминия и железа ничтожно мала при реакциях среды, свойственных большинству почв – рН 4,5–7,5 (Курганова, 2002; Шильников, Сычев, 2008).

Отрицательное действие повышенной кислотности почвы связано, преж-

де всего, с тем, что для выращивания большинства растений требуется слабoкислая или же нейтральная реакция среды. Так, оптимальные условия произрастания всех бобовых, за исключением люпина, складывается при рН почвы от 5,5 до 7,5 (Mengel, 1972; Ковда, 1973; Кирюшин, 1996 и др.). Овес, картофель и рожь могут успешно выращиваться при более широком интервале рН, а пшеница и ячмень требуют слабoкислой, нейтральной реакции почвенного раствора. Известно, что для растений, рН клеточного сока у которых лежит в пределах 4,0-4,5, не так вредна высокая концентрация водородных ионов в почвенном растворе, как образующийся в этих условиях избыток алюминия (Schwertmann, 1960; Абашев и др., 2017).

Доказано (Vlavis, 1953), что ячмень в условиях водной культуры еще хорошо рос при рН 4,2, если концентрация  $Al^{3+}$  в питательном растворе была невысокой (0,35 мг/л) и сильно угнетался при более высокой его концентрации (1,80 мг/л). Установлено отрицательное влияние избытка алюминия на состояние корневой системы растений (Петербургский, 1955), которая укорачивается, принимает желтый оттенок и даже загнивает. Более поздними исследованиями (Четверикова, 2014; Лукин, 2017) доказано, что свободный алюминий может активно поглощаться корнями из почвенного раствора с образованием труднорастворимых фосфатов алюминия и тем самым отрицательно влиять на поступление фосфора в надземные органы растений.

Выше уже отмечалось, что при подкислении почвы происходит снижение доступности фосфатов растениям. Это происходит потому, что в данных условиях наблюдается разрушение многих вторичных глинистых минералов с высвобождением свободных ионов трехвалентного железа и алюминия, которые реагируя с фосфат-ионами, образуют труднорастворимые фосфаты. Снижение доступности растениям фосфора при высокой концентрации водородных ионов в почве может быть связано также с усилением сорбционной связи фосфат-анионов с почвенным поглощающим комплексом.

Л.В. Никитина (2007), Н.П. Масютенко (2012), В.Д. Абашев (2017) при-

шли к выводу, что высокая концентрация водородных ионов в почвенном растворе также угнетает жизнедеятельность микроорганизмов, осуществляющих минерализацию азота и азотфиксацию. Имеются данные, свидетельствующие о том, что скорость минерализации азота является достаточно высокой в интервале рН 5,4-6,5 и заметно уменьшается при рН ниже 4,4-4,9. Свободноживущие азотфиксирующие бактерии также проявляют высокую активность на почвах со слабокислой - нейтральной реакцией среды (Колешко, 1981). Как утверждает автор, весьма чувствительны к низкому значению рН и клубеньковые бактерии бобовых культур.

Более того, низкие значения рН препятствуют поступлению калия в растения. При рН ниже 4,0 калий может даже выделяться корнями растений наружу (Jacobson et al., 1960). Избыток калия согласно закону Эренберга может препятствовать поглощению растениями кальция, и наоборот. Это позволяет заключить, что как высокая концентрация водородных ионов в почвенном растворе, так и избыток в нем кальция являются факторами, ограничивающими потребление калия растениями. При уравновешенном соотношении этих катионов в почвенно-поглощающем комплексе и в почвенном растворе взаимное угнетение их, на усвоение растениями калия, проявляться не будет.

Кислотность почв в значительной степени определяет и подвижность микроэлементов в почве, и доступность их растениям, которая увеличивается (за исключением бора и молибдена) с повышением концентрации водородных ионов в почвенном растворе.

Rajiv, Kumar, Singh (2019) рекомендуют учитывать и тот фактор, что при низких значениях рН среды наблюдается снижение устойчивости почвенных коллоидов и способность их адсорбировать катионы кальция, магния и калия. По их мнению, последние легко переходят в почвенный раствор и могут вымываться из корнеобитаемого слоя почвы.

Резюмируя вышеизложенное, можно заключить, что реакция почвенного раствора – весьма существенный фактор, от которого зависит плодородие поч-

вы, поглощающая способность корневой системы относительно как катионов, так и анионов, представляющих структурные элементы при формировании товарной продукции растений. Подкисление почв, вымывание оснований, образование органических и неорганических кислот в результате жизнедеятельности микроорганизмов и растений – естественные процессы, происходящие без внесения минеральных удобрений. Антропогенная нагрузка на почву, длительное применение физиологически кислых минеральных удобрений усугубляет процесс подкисления почв. В работах Б.К. Кцоева (1997), Е.И. Ломако, Ф.Г. Бурганова, Н.В. Ермолаева (2001) показано увеличение кислотности почв в результате систематического применения физиологически кислых минеральных удобрений.

Наукой и передовой практикой доказано (Гилязов, 2020), что наличие кислых почв является одним из основных лимитирующих факторов получения высоких и стабильных урожаев сельскохозяйственных культур. Действенным приемом улучшения свойств таких почв, при помощи которого достигается нейтрализация (более или менее полная, или же частичная) кислотности почвы, является известкование.

Известкование, устраняя излишнюю кислотность, оказывает многостороннее действие на свойства почвы. Кальций, внесенный с известью, коагулирует почвенные коллоиды, улучшает структуру почвы и повышает водопрочность агрегатов. Под влиянием извести улучшается водопроницаемость и аэрация, уменьшается возможность образования корки и значительно облегчается обработка тяжелых почв.

Ш.А. Алиев (2016, 2018) считает, что основная роль известкования проявляется в активизации деятельности полезных почвенных микроорганизмов и биохимических процессов, в результате которых увеличивается количество нитратов, усвояемых форм фосфора, кальция, а при внесении в почву доломитовой муки – магния. Поэтому на обработанных полными дозами извести почвах можно на 15-20% снижать дозы азотных и фосфорных удобрений (Алиев,

Нуриев, Шакиров, 2002).

И.А. Шильников и др. (2012) подчеркивает, что актуальность известкования почв в России связана с наличием наибольших, по сравнению с другими странами, площадей почв с избыточной кислотностью (более 50 млн га по неполным данным обследования почв). Известкование в стране в настоящее время проводят в ничтожно малом объеме – 300 тыс./год га при необходимом уровне – 7–8 млн га. При этом необходимо внесение не менее 45–50 млн т известковых удобрений, что является государственным мероприятием.

По данным И.А. Шильникова с соавторами (2008), на почвах с очень кислой реакцией, содержащих много активного алюминия не только эффективно, но и опасно в связи с выносом ведущих компонентов удобрений с поверхностным стоком и в составе инфильтрационных растворов.

Известкование почв как важнейшее агрохимическое, природоохранное, энерго- и ресурсосберегающее мероприятие оказывает сильное влияние на эффективность применения минеральных удобрений.

Положительное действие известкования было многократно подтверждено на фосфатный режим почвы без удобрений и при длительном последствии фосфорных удобрений в исследованиях ВНИИ агрохимии и других научных учреждений. В наибольшей степени оно проявлялось в увеличении степени подвижности фосфатов (Кирпичников, 1989). По данным Н.И. Акановой (2001), И.А. Шильникова с соавторами (2008) при оптимизации реакции среды в почве улучшаются ее фосфатный и азотный режимы, что позволяет снижать дозы внесения фосфорных и азотных удобрений на 15–20 процентов.

Из-за слишком широкого отношения Са:К и улучшения обеспеченности азотом и фосфором после известкования почв поступление калия снижается. Поэтому необходимо увеличивать дозы внесения калийных удобрений на 20–25% под такие культуры как картофель, капуста, лен и др., потребляющие больше калия.

В условиях техногенного загрязнения почв токсическими элементами,

особенно тяжелыми металлами (ТМ), известкование высокими дозами может в 5–10 раз снижать их поступление в растения. Следует также особо отметить, что оптимизация реакции среды в почве на фоне минеральных удобрений сокращает поступление радионуклидов в растения до 60–80% (Шильников, 2006).

Результаты исследований Ф.Н. Сафиоллина и К.Х. Галиева (2005) свидетельствуют о том, что известкование почв с избыточной кислотностью – важнейшее мероприятие по стабилизации урожая клевера лугового в засушливые годы. Особенно это касается яровых зерновых культур и других многолетних трав из семейства бобовых, периодически известкуемые почвы в экстремальных условиях обеспечивают получение на 1,0 т/га больше сельскохозяйственной продукции, чем неизвесткованные участки.

Исследованиями также подтверждается, что известкованные поля весной на неделю раньше созревают для обработки (Алиев и др., 2003).

Кроме того, известкование кислых почв оказывает большое влияние и на санитарно-гигиеническое состояние почв. На известкованных полях поражаемость корневыми гнилями уменьшается на 20–25%, бурой ржавчиной – на 4–11%, септориозом – на 7–15% и белоколосоостью – на 11–23%, чем на неизвесткованных полях (Сафин, 2018; Сержанов, 2019; Амиров, 2020).

К проблемам известкования в разное время обращалось много исследователей в Республике Татарстан, работы которых были обобщены А.А. Лукмановым и др. (2008, 2013, 2015) и в ряде изданий. Работы этих авторов свидетельствуют об улучшении агрохимических свойств почв в результате понижения кислотности.

Длительное время считалось (Миннуллин, 2008), что лесостепные черноземы не нуждаются в известковании из-за их высокой буферности к изменению кислотных свойств. Исследования последних лет утверждают обратное. Например, экспериментальными исследованиями В.И. Бровкина (1985) показано наличие устойчивого эффекта известкования черноземов при величине гидrolитической кислотности выше 1,8–3,0 мг-экв/100 г почвы и степени насы-

ценности основаниями ниже 93 процента.

В длительных опытах Мордовской сельскохозяйственной опытной станции на выщелоченном черноземе (Ивойлов, 1991) наибольший чистый доход получен при известковании 0,5 дозой мелиоранта, определенной по гидролитической кислотности.

В последующих работах также выявлено постепенное подкисление черноземов выщелоченных, что также показывает необходимость их известкования (Шильников, Лебедева, 1987; Ивойлов, 1988, 2015; Шильников и др., 1988; Аканова, 2001; Алиев, Нуриев, Шакиров, 2002; Миннуллин, 2017; Аканова, Шильников, 2018 и др.).

По данным I-го цикла агрохимического обследования пахотных почв Республики Татарстан (1964–1970 годы) площадь кислых почв составляла 1572,8 тыс. га, или 42,2% от обследованной пашни (Чекмарев, Лукманов, Нуриев, 2011). До V-го цикла (1991–1995 годы) произошло расширение площади кислых почв до 1706,3 тыс. га и в настоящее время она составляет 1432,8 тыс. га (почти 41,2% от общей площади пашни).

Подкисление пахотных почв также выявляется балансовыми расчетами кальция. За последнее время (2001–2011 годы) баланс кальция и магния имеет отрицательные показатели на уровне 25-30 кг/га (Гилязов, 2008).

Реакция почвенного покрова - весьма существенный фактор плодородия. Интенсивное ведение сельскохозяйственного производства ведет к резкому повышению расхода кальция и магния из почв, в результате усугубляется процесс их подкисления. Кроме того, подкисление пахотных почв в условиях преобладания осадков над испарительной способностью местности или, когда эти показатели равны между собой, что характерно для Среднего Поволжья, является естественным природным процессом. Поэтому известкование является необходимой мерой регулирования и оптимизации процесса поступления элементов питания растениям.

Из вышеизложенного вытекает, что pH почвенной суспензии определяет-



ся местоположением объекта, типовой принадлежностью почв, их свойствами и интегральным показателем – коэффициентом увлажнения по Высоцкому и Иванову.

Величина рН почвенной суспензии представляет собой фундаментальное почвенное свойство и относится к категории труднорегулируемых. Главным средством регулирования является периодическое известкование, что служит регулятором поглощения элементов питания из почвенного раствора корневой системой растений и обуславливает величину продуктивности агроценозов. При проведении этой работы следует учесть и биологические особенности возделываемых сельскохозяйственных культур в том или ином регионе Российской Федерации.

### **1.6. Фосфорно-калийный потенциал пахотных почв и урожайность зерновых культур**

*«Фосфор – «элемент жизни и мысли» -  
будет нужен человечеству всегда,  
и это необходимо иметь в виду как  
сегодня, так и особенно в будущем».*  
Академик А.Е. Ферсман

**Роль фосфора, его содержание.** Содержание фосфора в земной коре и почвах составляет 0,075 %, что подчеркивает небольшой уровень встречаемости, с одной стороны, и биофильность этого элемента – энергоносителя в живом веществе, с другой. По среднему содержанию фосфор занимает 13-15-е место среди элементов в периодической системе Д.И. Менделеева, всегда встречается в форме пятиоксида ( $P_2O_5$ ).

Основным источником фосфора являются горные породы. Вместе с тем фосфор входит в состав органического вещества – до 50% от общего количества, что подчеркивает значимость этого элемента в живых организмах. Однако его содержание дифференцируется в животном мире, обычно его концентрация в нем несколько выше, чем в растениях. Так, в теле человека содержится до 1% фосфорных соединений, а в растениях от 0,5 до 0,8% (Корбридж, 1982). Отме-

ченные факты говорят о том, что чем выше организация живого вещества, тем больше содержание этого биофильного элемента.

В живом организме фосфор содержится в форме нуклеопротеидов, дезоксирибонуклеиновых, рибонуклеиновых кислот, фосфатидах, сахарофосфатидах, фитине, липоидах и минеральных соединениях, ферментах и витаминах (Войтович, Сушеница, Капранов, 2005).

Известно, что главная составляющая хромосом – дезоксирибонуклеиновая кислота (ДНК), а в составе хромосом также содержится нуклеиновая кислота. Эти две кислоты играют ведущую роль в жизненных процессах, передаче наследственных признаков из поколения в поколение. В растениях содержание этих кислот доходит до 0,1–1,0% от веса сухой массы, а концентрация  $P_2O_5$  в нуклеиновых кислотах составляет до 20 процентов. Другими словами, переоценить роль фосфора в живых организмах очень трудно.

Все синтетические процессы в растениях протекают при участии фосфорорганических соединений. Среди них ведущая роль принадлежит аденозинтрифосфорной кислоте (АТФ), представляющей акцептор энергии. АТФ – основной переносчик, поставщик энергии в синтезе органического вещества (Ильин, 1985).

Аккумуляция фосфора в растениях, особенно в репродуктивных органах, подтверждает физиологическую роль этого элемента в их жизни, передаче наследственных показателей, процессах метаболизма продуктов фотосинтеза. Накопление этого элемента в товарной части растений обеспечивает тесную зависимость урожайности культур от наличия доступных форм фосфора в почве, с одной стороны, и биологических видовых особенностей культурных растений, с другой.

В составе растений наибольшая доля приходится на кислород, водород, они занимают до 75–80 процентов. Доля углерода, азота и кальция варьирует до 1–10 процентов. Вторую группу элементов составляют сера, фосфор, калий и кремний, их содержание варьирует от 0,01 до 1 процента.

По интенсивности биологического поглощения фосфор занимает первую строчку с коэффициентом 100·n, второе место принадлежит сере, а третье – хлору (Перельман, 1955).

Интересен элементный состав золы растений. Содержание в тканях растений фосфора и серы в их эволюционном ряду в целом медленно возрастало, отражая, по мнению В.А. Ковды (1973) процесс развития белков, с которым эти элементы связаны. Эволюция видов и новообразование травянистых растений, особенно бобовых растений, сопровождались суммарным возрастанием в составе поглощаемых элементов абсолютного и относительного количества важного элемента – фосфора. Так, в зольном составе бобовых двудольных растений (среднее из 190 определений) содержание фосфора составляет 4,7%, в составе травянистых однодольных растений (среднее из 260 определений) – 2,1 процента. Соответственно, культурные бобовые растения (50 определений) содержат в составе золы 3,4%, а злаки (60 определений) – 3,2% фосфора.



Рисунок 1. Вынос NPK разными растениями

Несмотря на невысокий кларк в земной коре (0,075%) фосфор играет важную роль в биосфере. Концентрация фосфора в базальтах составляет 0,14%, а в гранитах в два раза меньше (Добровольский В.В., 2006). В осадочной оболочке земного шара содержится  $1311 \cdot 10^{12}$  т фосфора, а в органическом веще-

стве педосферы, мощность распространения которой не превышает 1,5 м, –  $7 \cdot 10^9$  т, что подтверждает физиологическую роль элемента в жизни живого вещества. Значимость фосфора в живом веществе обусловлена тем, что без этого элемента невозможен синтез белка. Обычно отношение N:P равно 10–15.

О значимости этого элемента также говорит объем биологического круговорота на суше, который составляет  $10^6$  т/год. В океане круговорот фотосинтетиков планктона составляет несколько больше  $1210 \cdot 10^6$  т/год. Вместе с тем, океан фосфором обогащается за счет ежегодной минеральной взвеси, поступающей с суши, до  $21 \cdot 10^6$  т/год (Добровольский, 2006).

Приведенный материал также подтверждает, что почвообразующие породы имеют дифференциацию по содержанию валового фосфора и почвы, формирующиеся на материнских породах с участием морских отложений, более богаты валовым фосфором, чем породы континентальных отложений.

По мнению В.Б. Ильина (1985) в формировании элементного состава растений участвуют два ведущих фактора - генетический и экологический. Их долевое участие зависит от их соотношения. При оптимальных условиях геохимической обстановки реализуется генетический контроль селективного поглощения растениями этого элемента. Когда почва обогащена подвижными элементами, поступление избыточного количества соединений фосфора усиливается, что указывает на роль экологического фактора.

В поглощении элементов часто имеет место синергический и антагонистический эффект. Так, при избытке азота и калия всегда или почти всегда понижается содержание магния в растении, при обилии фосфора уменьшается концентрация азота и цинка. Избыток кальция, как правило, способствует поглощению фосфора, ослабляет поглощение марганца (Ильин, 1985).

В целом, содержание фосфора в литосфере и почвах относительно небольшое, несмотря на это его роль в жизни живого вещества, в том числе растений, высока и существенна.

В связи с этим, одним из основных условий повышения урожайности и

улучшения качества продукции растениеводства является экологически и экономически обоснованное интегрированное применение фосфорных удобрений на фоне биологизации земледелия, соблюдения зональной агротехники, направленной на сохранение и воспроизводство плодородия почв. Среди минеральных удобрений особое место принадлежит стратегически важному элементу в живой природе – фосфору, куратору всех энергетических процессов, включая синтез и расход органических веществ (Vance и др., 2003; Сушеница, Капранов, 2006; Khan, Mulvaney, 2013).

Потребность в фосфорных удобрениях обусловлена ежегодным отчуждением фосфора урожаем культур, с одной стороны, и низким уровнем обеспеченности подвижным и валовым фосфором, с другой. Содержание как подвижного, так и валового фосфора в почвах, как было отмечено выше, полностью определяется составом материнской породы почвы и такими ее свойствами как зональное положение, определяющее ее типовую принадлежность, и в последующем гумусированность, кислотно-основной и биологические режимы, гранулометрический состав и т.д., что в конечном итоге формирует интегральное почвенное плодородие. Кроме того, в интенсивном земледелии фосфатный режим в большей степени изменяется под воздействием характера хозяйственной деятельности, то есть под влиянием применения минеральных и органических удобрений в условиях положительного баланса.

Фосфор относится к дефицитным элементам, как в земной коре, так и в почвах. В настоящее время (2010 г.) 22% пашни от общей площади 115,3 млн га Российской Федерации имеет недостаток в обеспеченности этим элементом (Чекмарев, 2012). В составе урожая растениеводческой продукции отчуждается питательных элементов в размере 10,8 млн т д.в. против внесения в составе минеральных и органических удобрений – 4,54 млн т д.в. Имеется отрицательный баланс в расчете на посевную площадь в объеме 84,0 кг/га д.в.

Согласно данным Росстата сельскохозяйственными предприятиями в 1990 г. было внесено 9,9 млн т д.в. минеральных удобрений, а в 2010 г. – всего

1,9 млн т д.в., то есть за последние 20 лет объем применения минеральных удобрений сократился в 5 раз.

В 2001 г. общий объем внесенных минеральных удобрений под посевы сельскохозяйственных культур составил 1346 тыс. т д.в., а в 2007 г. – 1698 тыс. т д.в. При этом доля фосфорных удобрений имеет небольшую тенденцию роста от 19 до 24–25% от общего объема. В 2007 г. количество фосфорных удобрений равнялось 402 тыс. тонн д.в. (Безуглова, Гогмачадзе, 2012).

Содержание подвижного фосфора и всех его форм изменяется под действием длительного применения удобрений в дозах, превышающих его отчуждение из почвы урожаем сельскохозяйственных культур. При отрицательном балансе по фосфору и в экстенсивном земледелии наблюдается снижение запасов подвижных и валовых его форм.

Во всех регионах нашей страны имеет место однотипная динамика фосфатного режима на фоне отрицательного баланса. В зависимости от дозы удобрений обеспеченность почв этим элементом изменяется в небольших пределах (Сушеница, Капранов, 2007; Донских и др., 2008; Шафран, Прошкин, 2008; Галеева, 2009; Просяникова, Просяников, 2009; Фирсов, 2011; Зайцева 2011; Волынкин, Волынкина, 2012; Небытов, 2012; Чекмарев, 2012; Сычев, 2013, 2019; Прошкин, Козенчева, 2015; Груздева, Еремин, 2017; Давлятшин и др., 2018 и др.).

За период систематического агрохимического обследования (1964–2011 гг.) содержание подвижного фосфора имело тенденцию роста в почвах всех муниципальных районов и в целом по Республике Татарстан. Средневзвешенное его содержание повышалось с 87,0 до 145,1 мг/кг почвы (Чекмарев, Лукманов, Нуриев, 2011). Основным критерием такой динамики являлось внесение минеральных и органических удобрений. При этом темпы роста содержания подвижного фосфора на серых лесных и дерново-подзолистых почвах республики были выше, чем на юге – в лесостепных черноземах.

На фоне положительной динамики содержания фосфора наблюдался рост

продуктивности агроценозов, что подтверждается многочисленными работами (Шафран, 2006, 2015; Шафран, Духанин, 2017).

Другая особенность фосфора заключается в том, что он является малоподвижным элементом в почвенной среде. Растворимость его соединений и последующее его поглощение корневой системой растений зависит от многих почвенных свойств, погодных условий и биологических, даже сортовых особенностей культур.

Доступность фосфора корневой системе растений определяется водным режимом (Кук, 1905). При дефиците влаги из числа макроэлементов в наибольшей степени ограничивается доступность растениям фосфора, что, в основном, обусловлено поглощением фосфатов почвенными частицами и снижением его концентрации. Отмеченное подтверждается более поздними исследованиями (Петербургский, 1980;). Эффективность внесения фосфорных удобрений связана с повышением концентрации доступных растениям фосфора, что соответственно вызывает более быстрое поглощение корневой системой растений.

Согласно обзорной статье В.Н. Кудеярова (2018) по балансу элементов питания (НРК) в земледелии России за 25-летний период (1992-2016 гг.) возникла критическая ситуация и нарастала деградация пахотных угодий. За этот период вынос элементов питания превысил дозы внесения по всем видам удобрений в 3 раза. Насыщенность пашни НРК составила всего лишь 29 кг/га д.в. (N–18 кг/га д.в.; P–6 и K–5 кг/га д.в.). При этом производство минеральных удобрений составило 25,2 млн т, а экспорт – 22,9 млн т.

Отрицательный баланс такого важного макроэлемента, как фосфор, в земледелии подтверждается на федеральном уровне крупных регионов (Державин, 1992, 2007, 2012; Чекмарев, 2012, 2015; Сычев, Шафран, Духанина, 2016 и др.).

Между тем, в условиях жаркого климата и короткого вегетационного периода, что характерно для Среднего Поволжья, высока роль фосфорного пита-

ния в повышении урожайности культур. При недостатке влаги фосфор способствует снижению испарения и водопотребления (Коршунов, 1972; Маликов, 2002).

Процесс поглощения элементов питания происходит за счет компонентов угольной кислоты корневой системы растений, катионов и анионов почвенной суспензии. Концентрация фосфат-ионов в почвенной суспензии во многом зависит от pH среды, определяемой типовой принадлежностью почв. В условиях дерново-подзолистых и серых лесных почв в составе почвенной суспензии концентрация катионов алюминия и железа значительна, они способствуют переводу фосфатов в недоступное и малодоступное растениям состояние. При известковании почв наблюдается улучшение ее фосфатного режима (Ильин, 1985; Аканова, 2001).

На состояние фосфатного режима оказывает отрицательное влияние почвенная эрозия. Наибольший урон пахотным почвам приносит поверхностный сток в процессе весеннего снеготаяния. Основные элементы питания, сосредоточенные в пахотном горизонте, выносятся в составе жидкого и твердого стока (Якутина, Танасиенко, Чумбаев, 2009). При этом концентрация водорастворимого фосфора дифференцируется и зависит от характера использования серых лесных почв. По зяблевой вспашке и посевам озимой пшеницы жидкую фазу поверхностного стока характеризуют соответственно следующие концентрации – 0,02-1,00 и 0,44-1,20 мг/л  $P_2O_5$  (Демидов, Окулик, 2007).

В условиях ЦЧО отмечено уменьшение подвижных форм фосфора и калия на эродированных черноземах склонов по сравнению с их водораздельными неэродированными черноземами (Д. Дубовик, Е. Дубовик, 2012).

В процессе воспроизводства подвижного фосфора определенную роль играет время, действие которого проявляется при выветривании горных пород, основного источника валового фосфора в почвах. Для агрохимии данная проблема забытая, относительно новая, а стационарные исследования единичны. На основе стационарных исследований за 21 год Н.А. Груздева, Д.И. Еремин



(2017) отмечают ежегодное поступление фосфора из недоступных форм в размере 53 кг/га в темно-серых лесных почвах и 41 кг/га – в серых лесных почвах. На черноземах типичных В.Н. Никитин с соавторами (2017) обнаружил незначительное увеличение содержания подвижного фосфора на контрольном варианте опыта.

В результате обобщения материалов временного ряда Муслюмовского муниципального района урожайности яровой пшеницы, содержания подвижного фосфора и насыщенности удобрениями за 53 года М.И. Маметов (2018) пришел к выводу, что пахотный горизонт обогащается на 265,33 кг/га подвижного фосфора, что составляет ежегодно 1,58 мг/кг почвы. На примере Буинского района аналогичные обобщения показали положительный баланс за 48 лет (1970–2017 гг.) в размере 36,1 кг/га, что в ежегодном расчете на 10,56 кг/га или ежегодно на 0,22 мг/кг почвы (Лукманов, 2019).

Таким образом, анализируемый материал показывает, что фосфатный режим пахотных почв зависит от многих факторов – агроклиматических условий, химического состава почвообразующих пород, типовой принадлежности почв, гранулометрического состава и характера использования земель.

Поэтому очень важно с учетом почвенно-климатических условий определить оптимальные параметры содержания этого элемента питания для получения экономически обоснованной урожайности яровой пшеницы – основного продукта питания населения не только Среднего Поволжья, но и Российской Федерации в целом.

**Параметры подвижного фосфора.** Получение высоких и устойчивых урожаев яровой пшеницы, потребности которой к уровню плодородия почв достаточно высокие, связано с улучшением обеспеченности почв подвижными элементами питания в сочетании с высокой культурой земледелия. Для этого ученые ввели понятие «Оптимальные параметры» относительно содержания элементов питания – азота, фосфора и калия.

Идея оптимизации почвенных свойств пришла со стороны Западной Ев-

ропы в связи с интенсивным применением минеральных удобрений. Оптимальная концентрация того или другого элемента исключает его лимитирующее действие в питании растений и формировании высокопродуктивных агроценозов этой культуры.

Оптимальное содержание макроэлементов в почве представляет собой неустойчивое состояние, поддержание почв в оптимальном уровне элементов связано с дополнительной хозяйственной деятельностью. Среди них ведущее положение занимает применение минеральных и органических удобрений, что повышает содержание подвижных форм макроэлементов, в том числе фосфора (Чумаченко, Сушеница, 2001; Чумаченко, 2003; Kumar, Labanya, Josh, 2019).

В сохранении и повышении плодородия пахотных почв главным критерием является положительный баланс фосфора, что означает превышение поступления над его отчуждением с урожаем культур. Положительный баланс НРК имел место в РФ в 1986–1990 годы (Чумаченко, Сушеница, 2001), а следующий период по настоящее время характеризуется отрицательным балансом этого элемента. Материальной основой создания положительного баланса является внесение фосфорных удобрений. По данным вышеуказанных авторов потребность в минеральных удобрениях для РФ равна 22,6 млн т, в том числе фосфорных – 9,1 млн тонн.

Многочисленными агрохимическими исследованиями установлено, что для сохранения, повышения эффективного и потенциального плодородия почв, повышения продуктивности агроценозов пахотные горизонты почв должны содержать не менее 200 мг/кг подвижного фосфора. При этом урожайность яровой пшеницы составит 2,84–3,00 т/га.

Повышение уровня обеспеченности подвижным фосфором почв, то есть воспроизводство фосфорного потенциала интересует многих ученых, как центральных научных учреждений, так и региональных.

Изучение воспроизводства фосфорного потенциала наблюдается на двух уровнях. Первый уровень охватывает и характеризует результаты полевых

опытов по установлению эффективности применения фосфорных удобрений. Они многочисленны, в основном носят региональный характер, включая таежно-лесную, лесостепную зоны и засушливую степь, от дерново-подзолистых почв до черноземов южных (Критопоните, Майкштенене, 2005; Донских и др., 2005; Завьялова и др., 2005; Носко и др., 2008; Шафран, Прошкин, 2008; Мангатаев и др., 2009; Трубников, 2012; Волынкин и Волынкина, 2012; Небытов, 2012; Воронин, Никитин, Соловиченко, 2015 и др.).

На фоне интерпретации многочисленных результатов полевых опытов имеются работы аналитического, обобщающего характера. Среди них выделяются работы, анализирующие внутреннюю структуру и внешние связи компонентов почвенного плодородия, что является основой самовосстанавливающей способности стабилизации содержания подвижных элементов в экстенсивной системе земледелия (Булгаков, Апарин, 1999; Савич и др., 2007). Безусловно, эта способность почв проявляется при использовании фосфорных удобрений как сумма окупаемости их действия и последствий (Державин, 2012).

Расширенное воспроизводство фосфорного потенциала - первостепенная задача современного земледелия. Поэтому установление нормативов повышения на 10 мг/кг почвы содержания фосфора уже сегодня стоит на повестке дня, что является одним из проблемных вопросов современного интенсивного земледелия. На дерново-подзолистых почвах определены нормативы повышения содержания подвижного фосфора при различных уровнях обеспеченности этим важным энергетическим элементом (Платонов, 2010 и др.). Он установил, что в почвах с содержанием подвижного фосфора менее 25 мг/кг; 25–50; 51–100 и 101–150 мг/кг для повышения до уровня 123–140 мг/кг почвы было соответственно затрачено 38–43; 39–48; 72–74 и 75 кг д.в. фосфора. По мере возрастания степени обеспеченности почв нормативы затрат элемента имеют тенденцию роста.

В связи с отрицательным балансом фосфора в годы перестройки также рассматриваются темпы снижения содержания подвижного фосфора со скоро-

стью 2–6% в год (Шафран, 2006).

В Республике Татарстан средневзвешенное содержание подвижного фосфора в пахотных почвах составляло 87,0 мг/кг почвы (I цикл, 1964–1970 гг.), а в VII цикле (2001–2005 гг.) оно возросло до 145,1 мг/кг, что также подтверждается положительным балансом элемента за этот период. К настоящему времени этот показатель имеет тенденцию уменьшения и согласуется с его отрицательным балансом.

Доступность этого элемента растениям, прежде всего, связана с его концентрацией в почвах, что зависит от насыщенности пашни как минеральными, так и органическими удобрениями.

Из вышеизложенного следует, что:

1. Фосфор, регулируя обмен энергией и веществ в жизненных процессах растений, служит куратором и регулятором роста и развития растений, формирования высокой урожайности зерновых культур, в том числе и яровой пшеницы.

2. Фонд фосфора, особенно доступного растениям, постоянно находится в динамичном состоянии. В убывании подвижного фонда фосфора главная роль принадлежит отчуждению с товарной частью продукции сельскохозяйственных культур. Смыв также уменьшает содержание подвижного фосфора. В повышении подвижного фосфора играют роль выветривания горных пород на составные компоненты (содержание валового фосфора) и внесение удобрений – минеральных и органических.

3. В современной земледелии основным источником пополнения фонда подвижного фосфора является внесение органических и минеральных удобрений. Доля пополнения этого фонда за счет разложения горной породы и растительных остатков и гумуса небольшая.

4. В целях активизации разложения горных пород и перевода фосфора в доступное растениям состояние необходимо использовать биологические препараты типа Бактофосфина (рис. 2).



Рисунок 2. Общий вид Бактофосфина

**Калийный режим почв и его содержание.** Другим наиважнейшим элементом питания всех культивируемых сельскохозяйственных культур, в том числе и яровой пшеницы, является калий, физиологическая роль которого в жизни растений проявляется в поддержании благоприятных физико-химических свойств протоплазмы клетки – обводненности, вязкости, эластичности. С участием калия происходит накопление растворимых углеводов, редуцирующих сахаров, транспортировка различных соединений, энергетический обмен. Калий увеличивает гидрофильность коллоидов протоплазмы, что поддерживает организм в активном состоянии (Пчелкин, 1966; Ильин, 1985; Минеев, 1999; Якименко, 2008 и др.).

Калий усиливает устойчивость биокolloидов клетки и улучшает процесс обмена веществ, повышает жизнеспособность организма. Он также способствует поступлению воды в клетки, повышает осмотическое давление и тургор, по-

нижается процесс испарения при его достатке, растения становятся более устойчивыми к засухе (Ильин, 1985; Минеев, 1999 и др.).

Большая часть калия (около  $\frac{4}{5}$  общего содержания) находится в виде катионов в клеточном соке, остальная часть адсорбирована коллоидами, и незначительная часть (менее 1%) необменно удерживается митохондриями в протоплазме. В состав органических соединений калий не входит. В связи с тем, что весь калий находится в растениях в катионном состоянии и не образует нерастворимых в воде соединений, он довольно легко выщелачивается из старых тканей растений в период дождей.

Калий улучшает качество сельскохозяйственной продукции, повышает накопление сахаров в сахарной свекле и крахмала в клубнях картофеля, у зерновых культур повышает натурную массу зерна, увеличивается масса 1000 зерен (Прокошев, Дерюгин, 2000; Минеев, 2004).

Фундаментальные исследования физиолого-биохимической, экологической и агрохимической роли калия подтверждают важную роль этого биогенного макроэлемента в метаболизме веществ растений, в устойчивости их к экстремальным условиям роста и развития. Установлены важные экологические функции калия почвы и калийных удобрений в агроэкосистеме и среди них – способность ингибировать развитие грибных болезней культурных растений (Минеев, 1999). Установлено, что из всех катионов калий необходим растению в наибольших количествах. Калий почвы является основным источником питания растений. Поэтому, оптимизируя калийный режим в агросистеме, совершенствуя технологию возделывания сельскохозяйственных культур, можно существенно повлиять на продуктивность агроценоза, особенно в экстремальных условиях (Ashraf, Rafique и др, 2013).

Другими словами, калий является необходимым элементом жизни сельскохозяйственных культур, соответственно в товарной продукции он содержится в определенном соотношении. Растения, как культурные, так и естественные, калий извлекают из почвы, его доступное содержание определяет продуктив-

ность агроценозов и биоценозов (Пчелкин, 1966; Минеев, 1999; Раков, Сирота, 2013 и др.).

Как и фосфор, почвенный калий целиком наследуется от почвообразующей породы, ее минералогического состава. В содержании калия различия наблюдаются между осадочными и массивно кристаллическими породами. Дифференциация его содержания в отложениях определяется мобильностью, растворимостью соединений в водной среде, что непосредственно связывает его содержание с генезисом почвообразующих пород (Ильин, 1985; Добровольский, 2006 и др.).

По обобщениям А.П. Виноградова (1957) среднее содержание калия в литосфере и почвах соответственно составляет 2,60 и 1,36%, что косвенно подтверждает его мобильность и потери в результате процессов выветривания и почвообразования. Одновременно он подчеркивает зависимость содержания калия от генезиса горных пород. Так, в магматических (массивно-кристаллических) породах содержание  $K_2O$  варьирует в диапазоне 3,98–4,65% (Дэли, 1936). В гранитном слое континентального блока земной коры средняя концентрация  $K_2O$  равна 2,89% при общей массе  $198 \times 10^{15}$  т (Добровольский, 2006). Согласно обобщениям В.А. Ковды (1973) в осадочных породах содержание  $K_2O$  варьирует в диапазоне 0,33–3,28 процента. Средняя концентрация окиси калия в них равна 2,00% с общей массой  $35,5 \times 10^{15}$  тонн.

Таким образом, основным источником калия в почвах являются магматические породы. Они участвуют либо непосредственно, либо косвенно через стадию прохождения осадочных пород. При этом его концентрация, как показано выше, снижается.

Горные породы имеют дифференцированную концентрацию калия. Высоким содержанием калия выделяются полевые шпаты. Его количество также значительно в слюдах. Калий содержится в слоистых глинистых минералах – гидрослюдах, монтмориллонитах, бейделлитах, каолинитах и смешанно-слоистых минералах. Основной единицей силикатов является тетраэдр, имею-

щий отрицательный заряд, что компенсируется катионами, в том числе и калием. Калий содержится в слоистых глинистых минералах. Глинистые минералы – показатель обеспеченности почв подвижным калием (Горбунов, 1975).

Питание калием обеспечивается за счет слюдистых минералов – мусковита, биотита, флогонита, гидромусковита. Участвуют также минералы глинистые – смешанно-слоистые, монтмориллонит-гидрослоудистые.

В основе структуры глинистых минералов лежат тетраэдрические и октоэдрические слои (Грим, 1956). К группе двухслойных относятся каолинит, галлуазит; монтмориллонит, бейделлит, нонтронит, слюды имеют три слоя – два слоя кремнекислородных тетраэдров и слой алюмогидроксильного октаэдра. Между ними обычно внедряется катион калия.

Ниже рассмотрим первичные минералы, имеющие высокий удельный вес в почвах и содержащие калий.

**Полевые шпаты.** К ним относятся ортоклаз –  $K[AlSi_3O_8]$ , микроклин (Алиев, 2006). Полевой шпат относится к группе наиболее распространенных минералов. Поверхностные породы, представленные в четвертичных отложениях, содержат до 60% этого минерала. Молекулярное соотношение  $SiO_2:Al_2O_3$  равно 6. Калиевые полевые шпаты содержат 10–12%  $K_2O$ . В результате реакции гидролиза катион калия может замещаться ионом водорода. Полевые шпаты при выветривании проходят стадии серицита, гидрослюд, монтмориллонита и каолинита. Замещение ионов калия на водородный ион приводит в итоге к формированию глинистых минералов.

**Калийные слюды** – мусковит –  $KAl_2[AlSi_3O_{10}](OH)_2$ , биотит –  $K(MgFe)_3[AlSi_3O_{10}] \cdot (OH)_2$  и флогопит. В эмпирических формулах отношение окислов кремния к окислам алюминия составляет 2:1. В мусковите калия содержится в среднем 10%, в биотите – 8 процентов.

При выветривании и биохимическом разложении слюд, полевых шпатов образуются гидрослюды (гидромусковит, глауконит, вермикулит и др.). В зарубежной литературе для слюдopodobных глинистых минералов Гримом, Брэмом



и Бредли (1956) был предложен термин «Иллит». В русской литературе в данном случае используют термин «гидрослюда». Слюды образуют трехслойные минералы, у них много изоморфных соединений. Минералы группы гидрослюда в основном встречаются в тонкодисперсной фракции почвы. Они имеют не расширяющуюся решетку, калий, находящийся внутри решетки, является не обменным. Обменный калий обычно находится на краях кристаллической решетки.

**Глинистые минералы.** В калийном питании растений играют роль также глинистые минералы типа каолинита и монтмориллонита. Они относятся к многослойным минералам. В частности, для монтмориллонита межпакетное пространство может расширяться, что позволяет осуществлять обменные операции между катионами. Соответственно, при иссушении почвы калий может переходить в необменное состояние.

Структурообразующими элементами каолинита являются кремний, алюминий, кислород и водород. Слой каолинита не расширяется при увлажнении.

В почвах лесостепной зоны глинистые минералы представлены группами гидрослюдистыми, монтмориллонитами, каолинитами, хлоритами, смешанно-слоистыми.

Содержание калия четко дифференцируется в составе механических частиц. В частицах диаметром крупнее 0,001–0,002 мм преобладают первичные минералы, а в составе частиц менее 0,001 мм – глинистые минералы. Соответственно их соотношение определяет концентрацию окиси калия в почвах.

Принято считать, что в почвах, формирующихся на мелкоземистых осадочных отложениях, наибольшая концентрация калия наблюдается в илистой фракции, а наименьшая – в песчаной фракции почвы. Обычно такое соотношение калия имеет место там, где осадочные породы формируются в течение длительного периода, претерпевая несколько стадий формирования. Так, об этом свидетельствуют данные песчаного подзола севера Русской равнины, где илистая фракция почвообразующей породы содержит 2,57% окиси калия, а песча-

ная фракция - 0,71–1,55 процента. Однако эта закономерность не всегда наблюдается, особенно там, где магматические породы лежат близко к дневной поверхности и почвообразующими породами служат мелкоземистые отложения элювиально-делювиального происхождения. По данным Н.Н. Пигаревой и Н.А. Пьянковой (2009) в илистой фракции почв Республики Саха (Якутия) содержится минимальное количество калия, а в песчаной фракции – максимальное. При этом валовое содержание калия в зональных почвах (серые лесные почвы, черноземы и каштановые почвы) изменяется в довольно широких пределах – 2,2–3,5 процента.

Умеренная тепло- и влагообеспеченность почв лесостепной зоны обуславливает неполное разложение горных пород и минералов. Во фракции диаметром до 0,001 мм имеются первичные минералы. Их содержание определяется генезисом осадочных пород, временем и стадией их формирования, устойчивостью первичных пород. В настоящее время процесс их разложения имеет место, результатом его является пополнение запасов подвижного калия в зональных почвах лесостепной зоны. Об интенсивности и возможности данного процесса говорят результаты полевых опытов, поставленных лабораторией Д.Н. Прянишникова в начале XX века [цит. по В.У. Пчелкину (1966)]. При этом был получен следующий убывающий ряд по доступности растениям калия: биотит, нефелиновая порода, мусковит, полевой шпат. Этот ряд по устойчивости к процессам разложения имеет обратный вид и показывает на возможность наличия минералов, содержащих калий в своем составе.

Таким образом, содержание валового калия в почвах наследуется от материнской породы, зависит от условий ее формирования и дифференцируется по возрасту. Высокое количество валового содержания калия сосредоточено в магматических породах, а породы, образующиеся после выветривания, содержат, как правило, несколько меньше. Отмеченный факт хорошо согласуется также с присутствием высокого количества валового калия в составе частиц глинистых минералов.

При этом, почвы, формирующиеся на осадочных породах, как правило, содержат меньше валового калия. Процесс формирования осадочных пород обычно проходит при непосредственном участии воды, воздуха, температуры и живых организмов, что создает благоприятные условия для потери калия.

При физическом выветривании горных пород размеры частиц обычно уменьшаются диаметром до 0,01–0,005 мм, сохраняя в основном химический состав минералов. Часть растворимых соединений в водной среде теряется вместе с растворами.

Химическое выветривание проходит при участии большего количества факторов. Важным условием химического выветривания является благоприятное сочетание тепла и увлажнения для осуществления химических процессов. При этом наблюдается изменение химического состава пород, отдельные компоненты осаждаются в растворах, некоторые остаются в составе растворов и удаляются. Соответственно, при химическом выветривании происходит обеднение осадочных пород растворимыми элементами в воде, обогащение трудно-растворимыми соединениями и элементами. В таких случаях состав пород зависит от геоморфологического строения, определяющего направление водного потока и осадконакопления. В результате химического выветривания размеры механических частиц уменьшаются до илистой фракции и менее. В данном процессе может иметь место синтез новых глинистых минералов, часть которых имеет повышенную концентрацию калия.

Наиболее полной стадией выветривания является биологическое выветривание, где наряду с факторами химического изменения пород участвуют представители живого вещества. Здесь изменения породы происходят при непосредственном участии растений и живых организмов. Одной из особенностей такого выветривания является аккумуляция биофильных элементов в пределах почвенного профиля. Эти процессы также охватывают рассматриваемый элемент.

Процессы выветривания горных пород и почвообразования протекают

совместно, результативные данные согласуются и имеют связь между собой. Они также проявляются на показателях валового содержания калия в почвах (табл. 2).

Таблица 2 – Валовое содержание калия в пахотном горизонте различных почв (по Важенину, 1965)

Почвы	Число разрезов	K <sub>2</sub> O, % (M±m)
Дерново-подзолистые:		
песчаные и супесчаные	47	1,20±0,14
легкосуглинистые	61	1,77±0,07
среднесуглинистые	53	2,17±0,09
тяжелосуглинистые и глинистые	55	2,23±0,10
Серые лесные:		
светло-серые и серые лесные	32	1,92±0,10
темно-серые лесные	20	2,03±0,15
Черноземы лесостепные:		
оподзоленные и выщелоченные	41	2,23±0,10
типичные	53	2,15±0,10
Черноземы степные:		
обыкновенные и южные	53	2,01±0,08
Каштановые	22	2,27±0,17
Сероземы Средней Азии	33	2,29±0,09
Бурые	82	2,09±0,09
Красноземы Западной Грузии	12	0,70±0,11

На ледниковых отложениях формирующиеся почвы легкого гранулометрического состава и подзолистого типа содержат меньше валового калия, чем те же почвы тяжелого гранулометрического состава.

Зональные почвы лесостепи, степной и полупустынной зон при одинаковом гранулометрическом составе содержат 1,92–2,29% валового калия, его накопление в связи с биофильностью элемента проявляется менее интенсивно, а различия находятся в пределах статистической достоверности. Тем не менее, каштановые и бурые полупустынные и предгорные сероземы содержат этого элемента больше, чем их равнинные аналоги. Последнее, видимо, обусловлено контрастностью условий температуры и слабым увлажнением этих регионов на фоне молодости горных пород.

В отличие от предыдущих почв во влажных субтропических условиях За-

падной Грузии содержание валового калия имеет минимальные показатели –  $0,70 \pm 0,11$  % (Пчелкин, 1966).

Таким образом, содержание валового калия в почвах зависит как от характера почвообразующих пород, так и от типовой принадлежности и их гранулометрического состава. Содержание валового калия в зональных почвенных типах имеет связь с их типовой принадлежностью, оно обусловлено генетическими особенностями горных пород и минералов, также определяется условиями выветривания пород, зависящих от оптимальной тепло- и влагообеспеченности, а также скорость миграции этого элемента согласуется с экологической обстановкой местности.

### **Формы калия в почвах и их доступность растениям**

Калий, являясь одновалентным элементом, в химических минеральных соединениях, а также в растворах участвует в катионной форме. А.Л. Маслова (1938) считает, что почвенный калий находится в растворимом в воде состоянии, обменном виде и в составе минералов горных пород. К этой точке зрения присоединяются И.Г. Важенин, Г.И. Карасева (1959).

Н.И. Горбунов (1968) выделял следующие формы соединений калия в почвах и их роль в питании растений.

1. Источником питания калия служат растворимые соли.
2. Непосредственным резервом являются обменные катионы и малорастворимые соли.
3. Ближайшим резервом служат гидрослюды, вермикулиты, вторичные хлориты, монтмориллонит, необменные катионы и малорастворимые соли.
4. Потенциальным резервом служат полевые шпаты, слюды, первичные хлориты, пироксены, амфиболы, апатит.

На основе обобщения исследований и накопленной информации почвенный калий представляет следующие соединения:

1. Водорастворимый калий.
2. Обменный калий.

3. Труднообменный или резервный калий почвы, а также фиксированный калий.
4. Калий нерастворимых алюмосиликатов.
5. Калий органической части почвы (микробы, органические остатки).

Растения поглощают калий в форме катиона из почвенного раствора, его количество в почвах составляет 18–35 мг/кг почвы, что равно десятой доли процента (0,12–0,16%) от валового фонда.

По данным многих агрохимиков, почвоведов основным источником калийного питания растений является обменная его форма (Важенин, Карасева, 1959; Горбунов, 1978; Пчелкин, 1966; Минеев, 1999; Прокошев, Дерюгин, 2000; Якименко, 2003; Сискевич, Никонова, 2009 и др.).

Содержание обменного калия в зональных почвах бывшего СССР варьирует от 30 до 500 мг на кг почвы. Оно четко дифференцируется в зависимости от гранулометрического состава, типовой и региональной принадлежности почв (табл. 3).

Содержание калия, как правило, увеличивается как по мере утяжеления гранулометрического состава почв, так и от дерново-подзолистых почв до черноземов и сероземов пустынно-степного пояса. Обеспеченность калием хорошо согласуется со степенью увлажнения территории зональных почв. Этой же закономерности подчиняется зависимость от регионального положения почв. Обычно содержание обменного калия несколько повышается по мере движения с запада на восток, согласуясь с генетическими особенностями почвообразующих пород, выпадающим количеством атмосферных осадков и состоянием выветривания пород.

Калий, связанный с органическим веществом (растительные остатки, гумус и микробная масса) занимает небольшую долю от общих запасов, играет незначительную роль в пополнении запасов подвижных его форм.

Таблица 3 – Содержание обменного калия в почвах бывшего СССР (по Пчелкину, 1966)

Почвы	Регион	мг/кг почвы
Дерново-подзолистые супесчаные песчаные	Республики Прибалтики, Беларусь	30-130
Дерново-подзолистые (палевые)	Беларусь	70-150
Дерново-подзолистые среднесуглинистые	Предуралье (Пермский край)	58-60
Дерново-подзолистые тяжелосуглинистые	Там же	66-70
Темно-серые лесные	Там же	74-95
Дерново-подзолистые суглинистые и тяжелосуглинистые	Центральная нечерноземная зона	70-200
Черноземы оподзоленные и выщелоченные	ЦЧО и север Украины	150-300
Предкавказские черноземы и каштановые почвы	Ростовская область	200-330
Черноземы обыкновенные (мощные)	Краснодарский край, Украина	350-500
Сероземы	Республика Узбекистан	450-500

Труднообменный (резервный) и калий нерастворимых алюмосиликатов тесно связан с минералогическим составом почвообразующих пород, они поддерживают динамическое равновесие доступных для растений форм калия.

Динамика содержания калия. Химические особенности калия, его участие в катионной форме в породах и почвах обуславливают трансформацию из одной группы в другую, участие необменного калия в питании растений (Пчелкин, 1966; Медведев, 1983; Лукин, 2012).

Исследования В.Г. Сычева, Л.В. Никитиной (2017), проведенные в длительных опытах в различных почвенно-климатических зонах нашей страны, также свидетельствуют о необходимости оценки калийного питания культур при длительном использовании почв без удобрений как обменного, так и необменного калия. В исследованиях этих авторов при условии некомпенсированного баланса калия формирование урожая обеспечивалось за счет мобилизации необменных форм калия. Супесчаные разновидности дерново-подзолистых почв при средней урожайности 2,05–2,86 т/га зерновых единиц использовали 47,9 кг/га калия, тяжелосуглинистые – 39,5-61,6 кг/га, а серые лесные – 60 кг/га, черноземы при урожайности 2,89-4,5 т/га к.ед. – 57-95 кг/га д.в. калия.

Растворимость калия в воде также обеспечивает мобильность калия по почвенному профилю. Г.С. Липкина (1986) отмечает, что при низкой урожайности культур возможность миграции калия значительно возрастает.

Исследователи, изучающие калийный режим, отмечают существование подвижного равновесного состояния между содержанием обменного и необменного калия (Пчелкин, 1966; Сискевич, Никонова, 2006). По мере отчуждения обменного калия растениями его запасы пополняются за счет труднообменных его форм, что подтверждается относительно узким диапазоном колебания содержания обменного калия (в среднем 10 мг/кг) за период 1964–2003 годы (Давлятшин, Бакиров, 2010). При этом острый дефицит в калийном питании наблюдается для таких культур, как сахарная свекла, картофель.

По этой причине, доступность калия зависит от превращений его неподвижных форм в подвижные и, наоборот. Такая динамика подтверждается исследованиями пахотных почв Бурятии (Меркушева и др., 2008) и эти процессы они связывают через призму стадии выветривания горных пород.

Механизм фиксации и закрепления калия, а также снабжения им растений из гранулометрических фракций зависит от системы применения и степени обеспеченности этим элементом (Петрофанов, 2012). В почвах наибольшей способностью к закреплению и высвобождению калия обладают фракции почвы меньше 10 мкм. При этом наиболее богаты легкодоступным калием фракции менее 0,2 мкм. Крупные фракции легко десорбируют калий в почвенный раствор, а илистая фракция почв является более устойчивой к процессу десорбции. При любых системах удобрений главным поставщиком калия остаются фракции меньше 10 мкм, но внесение удобрений перераспределяет нагрузку по обеспечению этого элемента из почвы между фракциями.

Н.Н. Пигарева и Н.А. Пьянкова (2009) увязывают процессы снабжения и превращения калия с валовым его содержанием в почвах, степенью выветривания пород, отмечают возможность участия всех форм калия в питании растений. Следует отметить, что такое явление наблюдается в условиях преоблада-



ния физического выветривания горных пород и при близком залегании массивно-кристаллических пород к дневной поверхности.

Благодаря выветриванию, протекающему в почве, происходит разрушение первичных минералов и калий, высвобождающийся из кристаллической решетки, становится доступным растениям. В процессе выветривания, первичные минералы, теряя ион калия, превращаются в глинистые минералы, которые имеют в межпакетных слоях кристаллической решетки специфические места, занимаемые  $K^+$ . Катион калия, вступая в обменные реакции, может вытесняться из межпакетного пространства. При внедрении калия между слоями пакетов кристаллической решетки и вытеснении других катионов наблюдается обратный процесс. Также существуют катионы калия, которые фиксированы необменно и недоступны растениям. В зависимости от этих связей и определяется подвижное равновесие между формами калия в почве: калий почвенного раствора – обменный калий – фиксированный калий. В зависимости от того или иного сочетания факторов (уровень внесения калийных удобрений, усвоение калия растениями, водный режим почвы, рН – среды и т.д.) равновесие может сдвигаться в сторону закрепления или высвобождения калия, определяя уровень калийного питания растений. Основным источником калия для растений является обменный калий. Именно эта форма характеризует плодородие почвы в отношении калия, количество которого может быть от 0,8 до 3,5% от валового его содержания (Возбуждая, 1968). Исследованиями К.К. Гедройца (1935) установлена возможность использования растениями необменного калия, при недостатке обменной его формы. С повышением кислотности почвы количество обменного калия в почве увеличивается (Курганова, 2002).

При благоприятном увлажнении почвы, вызывающем набухание глинистых минералов, ионы калия вытесняются другими ионами, а при иссушении почвы калий фиксируется в почве (Пчелкин, 1966). На характер динамики обменного калия также оказывают влияние биологические особенности сельскохозяйственных культур, отчуждая его из малого круговорота.

Содержание обменного калия в пахотных почвах находится в динамичном состоянии. Изменения наиболее выражены в пахотных почвах, особенно в условиях интенсивного земледелия положительного баланса калия. В.Г. Сычев (2000) считает, что увеличение содержания подвижного калия может происходить даже при отрицательном балансе элемента. Имеет место также снижение содержания обменного калия в пахотных почвах, особенно при отрицательном его балансе. Все это подтверждается результатами без применения и с применением удобрений (Пчелкин, 1966; Братчиков и др., 1988; Минеев, 1999; Якименко, 2003 и др.).

По данным агрохимической службы Республики Татарстан (Чекмарев, Лукманов, Нуриев, 2011) средневзвешенное содержание обменного калия повысилось с 125,0 (I цикл) до 135,9 мг/кг. Как видно, такие изменения хорошо согласуются с вышеизложенным состоянием проблемы.

Таким образом, обзор литературы показывает, что основным источником калия в почвах является его содержание в минеральной части почвы. В процессе выветривания и почвообразования он переходит в различные формы. При этом почвы, формирующиеся на осадочных породах, содержат меньше калия, чем почвы, создающиеся на массивно-кристаллических породах. Для растений основным фондом является обменная форма калия. Его содержание находится в динамичном состоянии и при положительном его балансе, как правило, имеет тенденцию повышения.

Урожайность и приемы регулирования содержания калия. Калий, являясь биофильным структурным компонентом, входит в состав товарной продукции зерновых культур. Сказанное подтверждается элементным составом продукции и для ее создания структурные элементы – азот, фосфор и калий – необходимы в определенных соотношениях. Так, для формирования 1 т зерна яровой пшеницы необходимо 35 кг азота, 12 кг фосфора и 25 кг калия. Это соотношение в небольших пределах может изменяться в зависимости от агроклиматических условий и содержания этих элементов в почвах, от биологических особенно-

стей культуры, определяемой сортовой принадлежностью (Ильин, 1985; Каюмов, 1989; Войтович, Лобода, 2005).

Содержание и соотношение макроэлементов определяют продуктивность растений и агроценозов. Поступательное движение научно-технического прогресса обосновало возможность прогнозирования урожайности сельскохозяйственных культур. К тому же применение минеральных удобрений укрепило возможность прогнозирования и в последующем программирования урожайности сельскохозяйственных культур. Дозы, сроки, эффективность и оптимизация применения удобрений явились теоретической основой данной проблемы.

Первые результаты прогнозирования урожайности сельскохозяйственных культур были получены в конце 1960-х и в начале 1970-х годов во главе с И.С. Шатиловым (1970,1973), Т.Н. Кулаковской (1978), а в Татарстане А.А. Зиганшиным (1980). Хорошая сопоставимость прогнозируемых и фактических показателей урожайности культур дали толчок в углублении исследований и расширении исследований по региональному аспекту (Зиганшин, Шафигуллин, 1974; Шатилов, Чудновский, 1980; Каюмов,1989 и др.).

В основе прогнозирования и программирования урожайности полевых культур лежит минеральное питание растений, открытое еще Ю. Либихом (1803–1873), коэффициенты поглощения макроэлементов питания из почвы в зависимости от их концентрации и, наконец, коэффициент использования элементов питания из состава минеральных удобрений в зависимости от их вида, ассортимента и биологических особенностей культурных растений.

Эти научные исследования также дали импульс изучению зависимости урожайности культур от почвенных условий. Первые эти работы были связаны с разработкой принципиальных положений бонитировки почв, в качестве функции данной связи использовалась многолетняя средняя урожайность, а в качестве аргументов – показатели устойчивых почвенных свойств и морфологических признаков (Соболев, 1965; Гаврилюк, 1959; 1974; Тюменцев, 1975; Тайчинов, 1971; Давлятшин, Тоескин, 1972; Карманов, 1980 и др.).

Продолжением этих работ являются изучение связи между урожайностью зерновых культур и обеспеченностью почв подвижными элементами питания и выявление возможности прогнозирования культур на основе уравнений парной и множественной корреляции (Давлятшин, Бакиров, 2010; Becker-Reshef et. al., 2010; Лукманов, 2011; Давлятшин, Миникаев, Сайфиева, 2012; Лукманов, 2012; Аввакумов, Лукманов, Давлятшин, 2013; Ram, Singh, Sitari, 2016 и др.).

В рассмотренных работах уровень урожайности культур определяется согласованно со степенью обеспеченности пахотных почв такими подвижными макроэлементами как азот, фосфор и калий, который преломляется с всеобщими законами земледелия – минимума, максимума, пропорциональности и оптимума.

Фонд обменного калия является частью валовых его запасов, что досталось почве от материнской породы. В процессе выветривания и почвообразования горные породы и составные их компоненты – минералы – проходят частично стадию разрушения и разложения, в результате которого создается фонд подвижного калия. Основную часть этого фонда представляет содержание обменного калия, наиболее мобильная и доступная корневой системе часть. Таким образом, в почвах имеется фонд валового и подвижного калия (Ковда, Розанов, 1988; Минеев, 1999; Давлятшин, Лукманов, Бадиков, 2013 и др.).

Эти два фонда постоянно находятся на связи, Валовые компоненты калия пополняют подвижный его фонд в процессе выветривания пород (Сычев, 2003; Сискевич, Никонова, 2006), а подвижные формы калия могут фиксироваться и переходить в менее доступные формы в засушливые периоды почвы (Пчелкин, 1966). Именно эти процессы поддерживают равновесное состояние калия.

В пахотных почвах наблюдается общая тенденция уменьшения содержания валового калия за счет разложения горных пород и перехода его в подвижные формы с последующим его отчуждением в составе товарной и побочной продукции культур. Так, Н.П. Чижикова, С.Н. Шкабарда (2011) утверждают, что почвы Ставрополя, содержащие 2,065–2,683% валового калия, его запасы

ближнего резерва, могут формировать урожай озимой пшеницы по 3,5 т/га в течение 189–372 лет.

Вторая статья уменьшения количества валового калия связана с процессами водной эрозии в составе твердого и жидкого стока. По данным публикации О.П. Якутиной, А.А. Танасиенко, А.С. Чумбаева (2009) потери калия были равновеликими максимальными в составе как твердого, так и жидкого стока.

Фонд доступного растениям калия находится в динамичном состоянии. Основная часть потери этого элемента представляет отчуждение его в составе урожая основной и побочной продукции. Так, при урожайности яровой пшеницы в 3,0 т/га количество отчуждаемого калия составляет 90 кг калия с каждого гектара. Данная статья полностью не восполняется за счет хозяйственной деятельности в условиях Российской Федерации (Чекмарев, 2012). Баланс по калию также отрицателен в относительно благоприятном регионе – в Республике Татарстан и за период мониторинга 1964–20011 годы имеет отрицательный баланс (Чекмарев, Лукманов, Нуриев, 2012).

Третья расходная часть почвенного калия обусловлена за счет внутрипочвенного вертикального стока. По мнению В.В. Прокошева, И.П. Дерюгина (2000) благоприятные условия для данной статьи создаются весной – в конце апреля и в начале мая. Именно в это время потребности молодых всходов зерновых культур в калийном питании небольшие, а атмосферные осадки достаточно высокие.

В дерново-подзолистых почвах наблюдается перемещение подвижного калия в нижние иллювиальные горизонты как при положительном балансе, так и при отрицательном (Сычев, 2003). Вместе с тем, подвижность калия зависит от гранулометрического состава, повышаясь по мере его облегчения и подкисления почв.

В черноземах мобильность калия регулируется также степенью насыщенности емкости катионного обмена и наличием свободных катионов кальция и магния в составе почвенного раствора. При насыщенности ЕКО основаниями

катионы калия не могут внедряться, но свободно передвигаются по почвенному профилю в составе почвенной суспензии (Минеев, 1987; 1990).

В положительном балансе как валового, так и доступного калия велика роль хозяйственного фактора, связанного с применением калийсодержащих минеральных и органических удобрений. Многочисленные опыты подтверждают эффективность применения минеральных калийных удобрений (Шафран, Прошкин, 2008; Иванов А.И., Воробьев, Лямцева, 2009; Тюрникова, Титова, Ренжина, Шафронов, 2011; Мерзликин, Абрамкина, 2011, Трубников, 2012; Ивойлов, 2015 и др.).

Однако отзывчивость зерновых культур и естественной растительности на калийные удобрения дифференцируется в разрезе зонального положения почв. В условиях южной тайги дерново-подзолистых почв в отдельных случаях по уровню значимости калий занимает первое место, опережая в этом отношении, как азот, так и фосфор (Сутягин, 2004; Войтович, Лобода, 2005). А в условиях сухих степей (каштановые почвы), полупустыни (бурые пустынные почвы) и сероземов калийные удобрения не всегда проявляют эффективность.

Динамика калийного состояния пахотных почв южной тайги – один из дискуссионных вопросов агрохимии. В.Г. Сычев (2000) считает, что повышение содержания подвижного калия может происходить как при отрицательном, так и положительном балансе данного макроэлемента. В условиях дерново-подзолистой слабокультуренной почвы среднегодовое снижение подвижного калия в почве на контрольном варианте составило 16 мг/кг, на варианте N<sub>90-120</sub> – 17 мг/кг, на варианте N<sub>90-120</sub>P<sub>60</sub>K<sub>60</sub> – 12 мг/кг. Эти факты говорят, что деградиционные почвенные процессы относительно калия имеют место в условиях как интенсивного, так и экстенсивного земледелия (Лямцева, Иванов, 2008).

Бесспорно, высокие урожаи зерновых культур формируются в условиях оптимальной обеспеченности культур азотом, фосфором и калием. Однако пахотные почвы как Российской Федерации в целом, так и регионов имеют лишь среднюю или частично повышенную степень обеспеченности обменным кали-

ем (Чекмарев, 2012). Обменные параметры обменного калия формируются при применении повышенных доз минеральных удобрений. Кроме того, оптимальные параметры обеспеченности калием дифференцируются по уровню урожайности зерновых культур и типовой принадлежности почв.

Исследованиями ЦИНАО установлено, что для формирования урожайности озимой пшеницы на дерново-подзолистых и серых лесных почвах необходимое количество обменного калия составляет более 170 мг/кг почвы по Кирсанову. На черноземах лесостепных и обыкновенных оптимальное содержание для обменного калия равно 150 мг/кг почвы по Чирикову (Державин, 2007).

Оптимальное содержание обменного калия зависит от гранулометрического состава почв. Для серых лесных суглинистых почв оно равно 160–250 мг/кг почвы, а для дерново-подзолистых легких (супесчаных и песчаных) оно варьирует от 80 до 170 мг/кг почвы.

Для повышения содержания обменного калия необходимо вносить в почву удобрения в количестве, превышающем его отчуждение с урожаем культур. В 1982 г. впервые были разработаны нормы удобрений, обеспечивающие увеличение содержания подвижных форм калия на 10 мг/кг почвы (табл. 4).

В последние два десятилетия наметилась устойчивая тенденция снижения запасов калия в пахотных почвах. С.А. Шафран и Ю.С. Авдеев (2000) установили темпы снижения обменного калия в зависимости от типовой принадлежности почв и гранулометрического состава в пределах, приведенных в таблице 5.

Таблица 4 – Нормы удобрений, обеспечивающие увеличение содержания подвижных форм калия на 10 мг/кг почвы (по Шафрану и Авдееву, 2000)

Почвы	Гранулометрический состав	K <sub>2</sub> O, кг/га д.в.
Дерново-подзолистые	песчаные и супесчаные	40-60
	суглинистые	60-80
	глинистые и тяжелосуглинистые	80-90
Серые лесные	песчаные и супесчаные	–
	суглинистые	35-45
	глинистые и тяжелосуглинистые	–

Таблица 5– Снижение содержания обменного калия при отрицательном балансе

Почвы	Гранулометрический состав	K <sub>2</sub> O, мг/кг почвы
Дерново-подзолистые	песчаные	16-32
	супесчаные	23
	среднесуглинистые	11
	суглинистые	11
	тяжелосуглинистые и глинистые	22-25
	в среднем	21

Следовательно, основным источником калийного питания сельскохозяйственных культур, в том числе зерновых, являются подвижные формы калия в пахотных почвах. Отчуждение калия с урожаем культур создает условия пополнения его запасов за счет минеральных и органических удобрений.

После создания оптимальной обеспеченности обменным калием в пахотных почвах необходимо предусмотреть нулевой баланс по калию или положительный с небольшим превышением на пахотных почвах.

Оптимальным решением создания благоприятных условий является внедрение системы программирования продуктивности агроценозов под планируемую урожайность культур.

За соблюдением положительного калийного режима на пахотных почвах Республики необходимо предусмотреть мониторинговые наблюдения на уровне республики, муниципальных районов и по всем землепользователям.

### **1.7. Теоретические основы прогнозирования урожайности яровой пшеницы**

**Корреляционные связи между факторами формирования урожая.** Связь между динамичными почвенными свойствами – агрохимическими показателями почв - содержанием подвижных форм фосфора и калия рассматривается лишь в отдельных работах – публикациях В.А. Семенова (1970, 1977). Они в основном получены из обобщения многочисленных полевых опытов, поставленных на дерново-подзолистых почвах Северо-Западного региона Российской



Федерации.

Одновременно эти работы проводились в пределах Республики Беларусь путем постановки опытов под руководством академика Т.Н. Кулаковской (1978, 1990). Теоретической предпосылкой изучения данной проблемы является лимитирующая роль макроэлементов питания в условиях промывного типа подзолистых почв. Здесь в качестве основных критериев оценочных шкал служили агрохимические свойства – содержание гумуса, обеспеченность подвижными формами фосфора и рН почвенной суспензии (Благовидов, 1960; Семенов, 1970; 1977, 1992; Смян, 1980). Работы этих исследователей также связаны с особенностями пространственного варьирования почвенных свойств.

Изучение агрохимического состояния – содержания подвижных элементов и урожайности культур – стало возможным в связи с агрохимическими исследованиями пахотных почв, имеющих начало с 1964 года. При этом определялось содержание подвижных форм фосфора и калия, рН почвенной суспензии. Эти исследования проводились через 8, а далее через пять лет, что позволяет при использовании интерполяции получать информацию за многолетний период – временной ряд. К такой временной информации имеются статистические данные урожайности культур на уровне административных районов, республики в целом. В связи с перестройкой и реорганизацией колхозов и совхозов статистическая урожайность зерновых культур на уровне хозяйств во многих случаях утеряна и прервана. Тем не менее, связь между агрохимическими свойствами и урожайностью сельскохозяйственных культур восстановить и изучить на уровне муниципальных районов и Республики Татарстан в целом можно (Алиев, Гафарова, Давлятшин, 2001; Давлятшин, Бакиров, 2007, 2010; Давлятшин, Миникаев, Сайфиева, 2012 и др.).

Использование агрохимических показателей и продуктивности культур в пределах одного объекта исключает влияние почвенного фактора на формирование урожайности культур. В этих работах наряду с фактической урожайностью зерновых культур используются их скользящие средние при длине шага

11 и 22 года, что элиминирует влияние агроклиматического фактора на урожайность культур.

В Предкамье, где распространены серые лесные почвы, между содержанием подвижных форм фосфора, калия и скользящими средними урожаями озимой ржи связь характеризуется коэффициентами 0,99 и 0,95 (Алиев, Гафарова, 2001). По данным этих авторов на уровне Лаишевского муниципального района между содержанием подвижных форм фосфора и обменного калия связь тесная, для фактической урожайности яровой пшеницы коэффициенты корреляции соответственно составляют 0,52 и 0,61. Более того, для скользящей средней урожайности при длине шага 11 лет эта связь укрепляется с коэффициентами корреляции – 0,85-0,95 (Аввакумов, Лукманов, Давлятшин, 2013).

В Западном Закамье, где в почвенном покрове преобладают черноземы, между агрохимическими свойствами и скользящими средними урожайности яровой пшеницы корреляционная связь менее тесна и разнонаправленная с коэффициентами корреляции 0,69 и 0,50. Для содержания подвижного фосфора она равна 0,43–0,83, для обменного калия – от –0,91 до +0,74 (Давлятшин, Бакиров, 2010).

На уровне Республики Татарстан содержание фосфора и калия с фактической урожайностью зерновых культур имеют несколько слабую связь, где коэффициенты соответственно составляют 0,65 и 0,64. Для скользящей средней связь тесна с коэффициентами 0,84 и 0,61 (Сабиров, Давлятшин, 2007).

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, иногда для обменного калия она принимает статистически недостоверные и отрицательные показатели. На фоне этого на северной части лесостепи и содержание фосфора, и обменного калия имеет более высокие и тесные показатели, а для средней части лесостепи с черноземами она положительна, но слабая. Содержание обменного калия на средней полосе лесостепи имеет

либо отрицательную связь, либо она статистически недостоверная или слабая, что обусловлено оптимальной обеспеченностью почв этим элементом питания.

Как известно, парная корреляция между факторами и урожайностью культур указывает лишь на долю участия данного фактора в формировании урожая. Однако урожайность представляет собой многофакторную функцию (она зависит от множества факторов). Удельный вес показателей отражает множественная корреляция (Савич, 1972; Рокицкий, 1973; Дмитриев, 1995 и др.). Профессором И.Д. Давлятшиным с участием его аспирантов и соискателей (2006, 2012) на уровне Сабинского муниципального района Республики Татарстан проанализирована 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 составили 0,72 при показателе коэффициента детерминации 0,54; для скользящих средних  $Y_{11}$  и  $Y_{22}$  – 0,91 и 0,92. Аналогичные результаты исследований имелись и в более ранних работах (Давлятшин, Бакиров, 2010; Лукманов, 2011), что еще раз констатирует значимость макроэлементов питания в формировании продуктивности агроценозов.

На фоне изучения парной корреляции между обеспеченностью макроэлементами и продуктивностью агроценозов также рассматривается множественная связь, что также позволяет вычислить прогнозируемую урожайность яровой пшеницы на основе уравнений.

**Прогнозирование урожайности.** 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 стал академик И.С. Шатилов (1973). Теоретической предпосылкой программирования продуктивности агроценозов является накопленная информация по общей био-

логии, физиологии растений, метеорологии, растениеводству, биофизике. На наш взгляд, к этим научным дисциплинам следует также относить агрохимию и агропочвоведение.

И.С. Шатилов сформулировал 10 следующих принципиальных положений программирования урожайности (Шатилов, 1973; Шатилов, Чудновский, 1980):

1. Определение биогидротермического показателя продуктивности биомассы по приходу радиации, продуктивной влаге, сумме температур, вегетационному периоду для конкретной почвенно-географической зоны.

2. Определение коэффициента использования культурами ФАР.

3. Определение потенциальной продуктивности возделываемого сорта культуры.

4. Определение фотосинтетического потенциала для конкретного уровня урожайности культур.

5. Использование и учет основных законов земледелия и растениеводства.

6. Разработка оптимальной системы удобрений с учетом эффективного плодородия почв.

7. Разработка и соблюдение комплекса агротехнических мероприятий для каждой культуры и сорта.

8. Создание оптимального водного режима почв в условиях орошения, а на богаре учет агроклиматических условий согласно сложившемуся водному балансу местности.

9. Защита посевов от болезней и вредителей с целью исключения их влияния на продуктивность агроценозов.

10. Использование математического анализа с целью получения запланированного урожая культур.

Исследования И.С. Шатилова (1973–1985) дали мощный толчок к созданию научной школы и развитию программирования культур в регионах. Так, одним из учеников И.С. Шатилова – М.К. Каюмовым разработана конкретная

технология программирования урожаев сельскохозяйственных культур в справочном издании (Каюмов, 1989). Справочник включает 10 конкретных культур. Данный справочник до сих пор служит методическим руководством получения программированных урожаев культур.

В различных регионах были созданы местные школы по программированию урожаев зерновых культур. В Республике Татарстан эту школу возглавил А.А. Зиганшин и его ученики – Л.Р. Шарифуллин, В.Н. Фомин, В.П. Владимиров (Зиганшин, Шарифуллин, 1973, 1974; Зиганшин, Фомин, Владимиров, 1990).

В группированном виде эти же факторы они конкретно рассмотрели применительно к почвенно-климатическим условиям Республики Татарстан.

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.

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.

Кроме программирования в Татарстане накоплен достаточный опыт прогнозирования урожайности зерновых культур с использованием фактической и скользящей средней урожайности яровой пшеницы при длине шага 11 и 22 года

на базе данных муниципальных районов в Республике Татарстан (Давлятшин, Бакиров, 1999; 2007; 2010; Лукманов, 2011, 2012; Давлятшин, Лукманов, 2016; Давлятшин, 2019 и др.), который рассматривается в настоящей работе.

## **ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

1. Урожайность зерновых культур, в том числе яровой пшеницы, формируется под влиянием многочисленных природных, хозяйственных и метеорологических факторов. Действие этих факторов подчиняется и регулируется основными законами земледелия – минимума, максимума, пропорциональности и взаимозаменяемости, слияния факторов внешней среды и др.

2. В условиях лесостепной зоны все отмеченные факторы подразделяются на природные, определяемые с зональным положением местности; хозяйственные, направленные на оптимизацию условий питания растений; космические, не зависящие и не регулируемые в ходе деятельности человека. Вместе с тем параметры их влияния изменчивы и взаимообусловлены, что в конечном итоге проявляется в установлении их совместных оптимальных параметров для формирования урожая зерновых культур.

3. Материальную основу урожая культур представляют собой минеральные элементы питания, являющиеся структурными элементами товарной продукции, атмосферные осадки – влага, которая входит в непосредственный состав биомассы, и одновременно служит транспортным средством перемещения элементов в растениях. К данной группе также необходимо причислить обеспеченность местности теплом, что создает условия обитания растений.

4. На фоне обеспеченности теплом, влагой и элементами питания проявляется роль рН почвенного раствора – регулятора скорости и интенсивности обмена элементов питания. Действующее влияние всех факторов в наибольшей степени реализуется при оптимальных показателях гумусированности почвы.

5. Все эти факторы имеют связь между собой и урожайностью культур, ее параметры разнообразны, имеют свою долю в формировании продукции, пред-

ставляют основу прогнозирования урожайности культур во временном ряду.

6. Из рассмотренных факторов наиболее тесную связь имеют обеспеченность элементов питания – подвижным фосфором и калием, состояние обеспеченности почв влагой (атмосферными осадками), а также почвенная кислотность – регулятор интенсивности биологического круговорота веществ. В лесостепной зоне обеспеченность тепловыми ресурсами является достаточной и благоприятной.

7. Основным подходом прогнозирования урожайности культур являются множественная корреляционно-регрессионная связь и ее уравнения, региональная методика расчета которых заложена профессором И.Д. Давлятшиным в соавторстве с многочисленными аспирантами и соискателями.

## Глава II. ПРИРОДНЫЕ УСЛОВИЯ ОБЪЕКТА И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

### 2.1. Место проведения исследований

Буинский муниципальный район Республики Татарстан расположен на правом берегу реки Волга, занимает восточное крыло Среднерусской провинции, что представлено возвышенной увалистой равниной. Он граничит на севере с Апастовским муниципальным районом, на востоке – с Тетюшским, на юго-западе – с Дрожжановским районами, на северо-западе – с Республикой Чувашия, на юге – с Ульяновской областью.

Районный центр – г. Буинск с населением 20905 человек. В районе числится 102 населенных пункта с общим количеством населения 43537 человек. В составе населения преобладают татары, 20 % составляют чуваша, 13 % - русские (рис. 3).



Рисунок 3. Месторасположение Буинского муниципального района на карте Республики Татарстан



По территории района проходит железная дорога и автомагистраль Казань - Буинск – Ульяновск.

Поверхность района представляет собой волнистую равнину с высотой 150–200 м с общим уклоном с юга на север. Территория муниципального района рекой Свияга делится на две части. Правобережная часть является водоразделом между реками Волга и Свияга, она наиболее расчленена и отличается заметными перепадами высот. Левобережная часть района имеет сглаженный рельеф, представляет спокойную равнину (Батыев, Ступишен, 1972).

Общая площадь района 152,8 тыс. га, что составляет 2,25 % от общей площади Республики Татарстан. Земли сельскохозяйственного назначения занимают 134,2 тыс. га, земли населенных пунктов – 7,5, земли промышленности и иного назначения – 1,4, земли лесного фонда – 9,2, земли водного фонда – 0.2 тыс. га. Общая площадь пашни 96,1 тыс. га, распаханность земель сельскохозяйственного назначения составляет 75,9% против 85% в среднем по Республике Татарстан.

Муниципальное образование в основном считается сельскохозяйственным районом. Местное население занимается земледелием и животноводством. Районированными культурами являются яровая и озимая пшеница, озимая рожь, ячмень и овес. Значительная часть пашни занята многолетними травами. В районе также возделывается сахарная свекла, а в последние годы масличная культура – рапс. Тепловые ресурсы района достаточны для созревания зерна кукурузы.

Почвенно-климатические условия благоприятны для возделывания овощей и плодово-ягодных культур (площади многолетних насаждений составляют 1000 га).

## **2.2. Орографические условия**

**Рельеф.** Поверхность района имеет относительно приподнятую высокую слабоволнистую равнину с общим уклоном на север по течению реки Свияга. На фоне общего наклона на территории выделяются водораздельные простран-

ства второго и третьего порядков за счет рек и ручьев. Соответственно преобладает склоновый тип рельефа (табл. 6).

Таблица 6 – Уклоны местности пахотных угодий Буинского муниципального района Республики Татарстан

Общая площадь, тыс. га	В том числе по уклонам в градусах			
	до 1	1-2	2-3	3-5
96,1	31,5	42,7	21,9	0

При этом склоны асимметричные по крутизне, склоны южной экспозиции более крутые и короткие, а северной – более выположенные и длинные. На территории района преобладают склоны с уклоном менее 2 градусов. Считается, что склоны «холодной» экспозиции преобладают по площадям, а склоны «теплой» занимают меньшую площадь. Согласно подсчетам физических географов по Среднесвияжескому ландшафтному району имеет одинаковое распределение площади средних (50–500 м) и длинных (500–3000 м) склонов.

**Геологическое строение.** Имеет место пестрота и сложность геологического строения местности, в котором принимают участие отложения пермской, юрской, меловой, неогеновой, плейстоценовой и четвертичной систем. Для территории характерна смена более древних пород молодыми, что обусловлено тектоническим наклоном пластов в юго-западном направлении и уклоном местности на северо-восток (Батыев, Ступишен, 1972).

На правобережном водоразделе отложения представлены верхнепермскими породами, состоящими из пестро окрашенных глин, мергелей, окаربоначенными породами татарского яруса. На юго-западной части побережья р. Свияга пермские породы размыты, на поверхность выходят верхнеюрские отложения, представленные серыми глинами и глинистыми мергелями.

Неогеновые и плейстоценовые отложения имеют ограниченное распространение. Отложения юры, мела, неогена и плейстоцена в основном служат в качестве подстилающих пород. Четвертичный пласт пород доминирует, распространен повсеместно, представлен элювием, делювием, повсеместно зани-

мает и плакоры, и долины рек и притоков р. Свияга. Аллювиальные и озерные отложения разнообразны, встречаются на пойме, террасах р. Свияга, ее притоках.

Мелкоземистые отложения, служащие материнским субстратом для формирования почв, преимущественно суглинистого гранулометрического состава с преобладанием тяжелых суглинков, наиболее богатых физической глиной (табл. 7).

Таблица 7– Гранулометрический состав пахотных почв Буинского муниципального района, га

Площадь – 113393 га	Глина		Суглинки			Супесь	Песок	Итого
	сред- ние	легкие	тяже- лые	сред- ние	лег- кие			
Гектар	218	27071	59376	7094	2089	222	30	96100
%	0,22	28,2	61,8	7,32	2,2	0,23	0,03	100,0

Субдоминантом являются легкие глины, занимающие около 24 % площади. Доля супесей и песков незначительна.

Таким образом, гранулометрический состав четвертичных отложений и формирующихся на них зональных почв, используемых в земледелии, оптимален для зерновых культур, возделываемых в лесостепной зоне.

**Климат** района умеренно континентальный со среднегодовой температурой до +3,9°C (метеостанция Дрожжаное). По месяцам она распределена от –11,5 (январь) до +19,1°C (июль). Абсолютный максимум составляет +38,4°C, а минимум –44,7°C (декабрь). Таким образом, лето умеренно теплое, а зима холодная (Габдрашитов, 1986).

Безморозный период составляет 147 дней. Последние весенние заморозки заканчиваются в конце марта – начале апреля, первые осенние заморозки имеют место до второй декады сентября (10.09), а последние – в третьей декаде октября (27.10).

Вегетационный период составляет 142 дня, его длительность от 3 мая до 20 сентября. В разные годы этот период колеблется от 06.04 (1975 г.) – 22.05

(1999 г.) до 24.08 (1986 г.) – 16.10 (1974 г.).

Атмосферные осадки в районе являются основным поставщиком влаги в почву. В среднем по району выпадает 493 мм осадков, при этом в теплый период сумма осадков составляет 354 мм, а в холодный – 138 мм (данные по ст. Дрожжаное). Распределение осадков неравномерное, тем не менее, позволяет выращивать основные районированные сельскохозяйственные культуры.

Устойчивый снежный покров района приурочен к дате перехода среднесуточной температуры воздуха через  $-5^{\circ}\text{C}$ , и это наблюдается в конце ноября, а в последние годы в первой декаде декабря. Разрушение устойчивого снежного покрова района происходит в первой декаде апреля. Средняя высота снежного покрова составляет 32 см с диапазоном 10–68 см. В нем содержится в среднем 108,3 мм влаги.

Территория района имеет коэффициент увлажнения около единицы, что характеризует периодически промывной тип водного режима, свойственный лесостепной зоне. Такой коэффициент увлажнения означает, что в отдельные годы атмосферные осадки промачивают толщу до грунтовых вод, а в другие годы лишь почвенную толщу, оставляя все продукты почвообразования в пределах корнеобитаемого слоя. При промывном водном режиме продукты почвообразования выносятся до грунтовых вод, обедняя почвенную толщу от необходимых биофильных элементов, одновременно подкисляя верхние почвенные горизонты. Вместе с тем, здесь часты засухи, характеризующиеся небольшим количеством осадков. В такие годы осадки не доходят до грунтовых вод, и продукты почвообразования остаются в пределах почвенного профиля.

Периодически промывной тип водного режима создает неблагоприятные условия при выращивании сельскохозяйственных культур, выводя из биологического круговорота зольные элементы питания и азот. Кроме того, отчуждение кальция из пахотного и нижележащих горизонтов создают все условия подкисления почв. Известно, что кислая реакция препятствует интенсивному обмену макроэлементов питания между почвой и корневой системой, служит критери-

ем и регулятором биологического круговорота веществ.

В целом, тепловой и водный режим данного муниципального образования позволяет выращивать традиционные зерновые, бобовые и овощные культуры.

**Гидрография.** Речная сеть представлена р. Свиягой и ее левыми протоками реками Карлой, Цильной, Тельцой, Булой и др. В пределах района р. Свияга имеет протяженность до 50 км. Русло реки неровное с многочисленными протоками, имеет много отмелей и перекатов, а глубина местами варьирует от нескольких десятков сантиметров до 4–5 м (рис. 4).

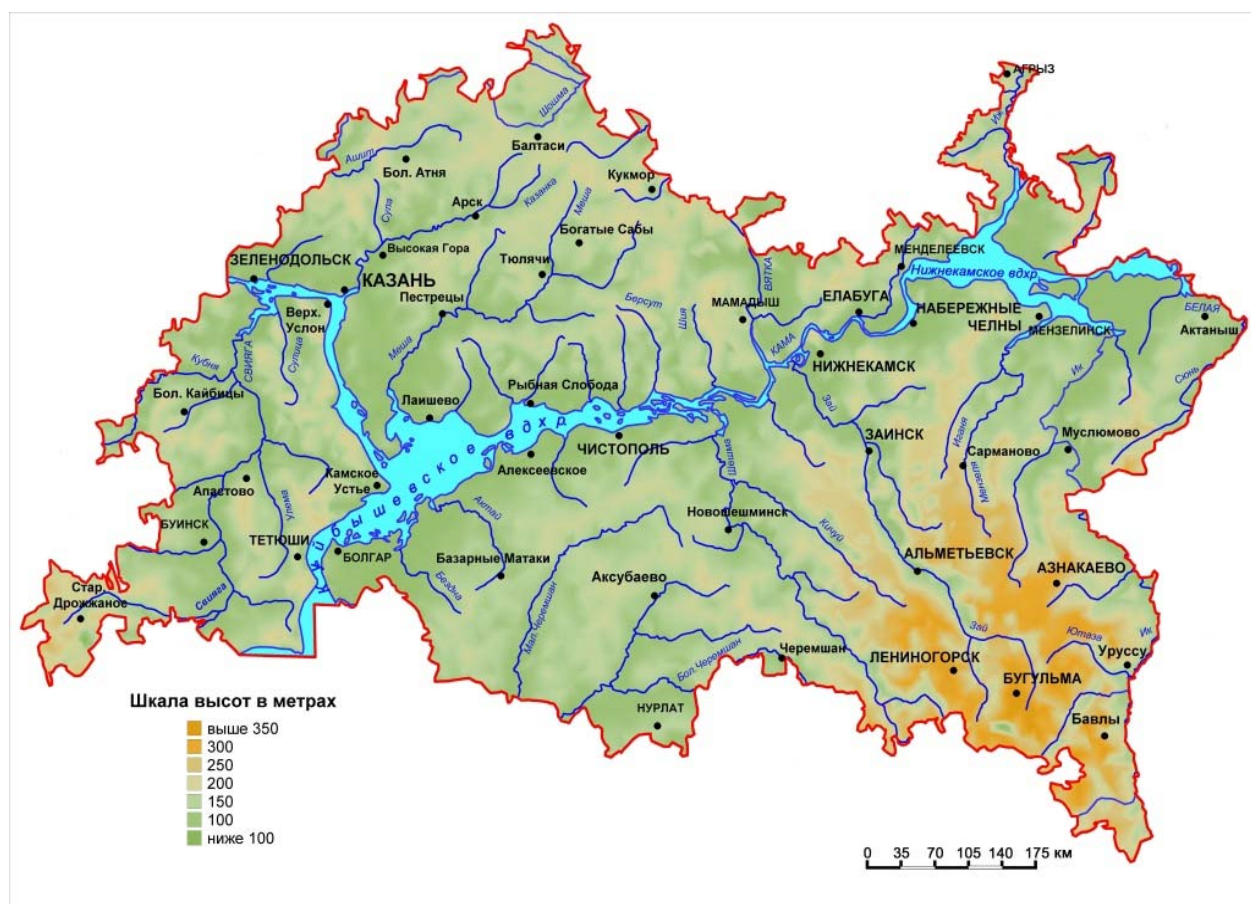


Рисунок 4. Речная сеть Республики Татарстан

Питание рек в основном атмосферное, соответственно все реки имеют половодье.

На возвышенных местах грунтовые воды находятся на глубине 20 м, а в пониженных местах – на глубине 5–10 м.

**Растительность.** Занимая среднюю полосу лесостепной зоны, соответ-

ственно, лесные участки, представленные широколиственными породами – дубом, липой, кленом, ясенем, чередуются полянами с травянистой растительностью, среди которых доминируют узколистные злаковые травы. В травянистом покрове доля участия разнотравья высока.

Территории, где почвенный покров представлен легким гранулометрическим составом, приурочены к руслам речных долин, они занимают небольшую площадь, заняты сосновыми лесами с примесью мелколиственных пород – березы и осины.

На средней полосе лесостепи площади травянистых полей обычно более распространены, чем на ее северной полосе. В настоящее время распаханность земель сельскохозяйственного назначения составляет 74,9 %, а площади лесного фонда не превышают 9,7 % (рис. 5).

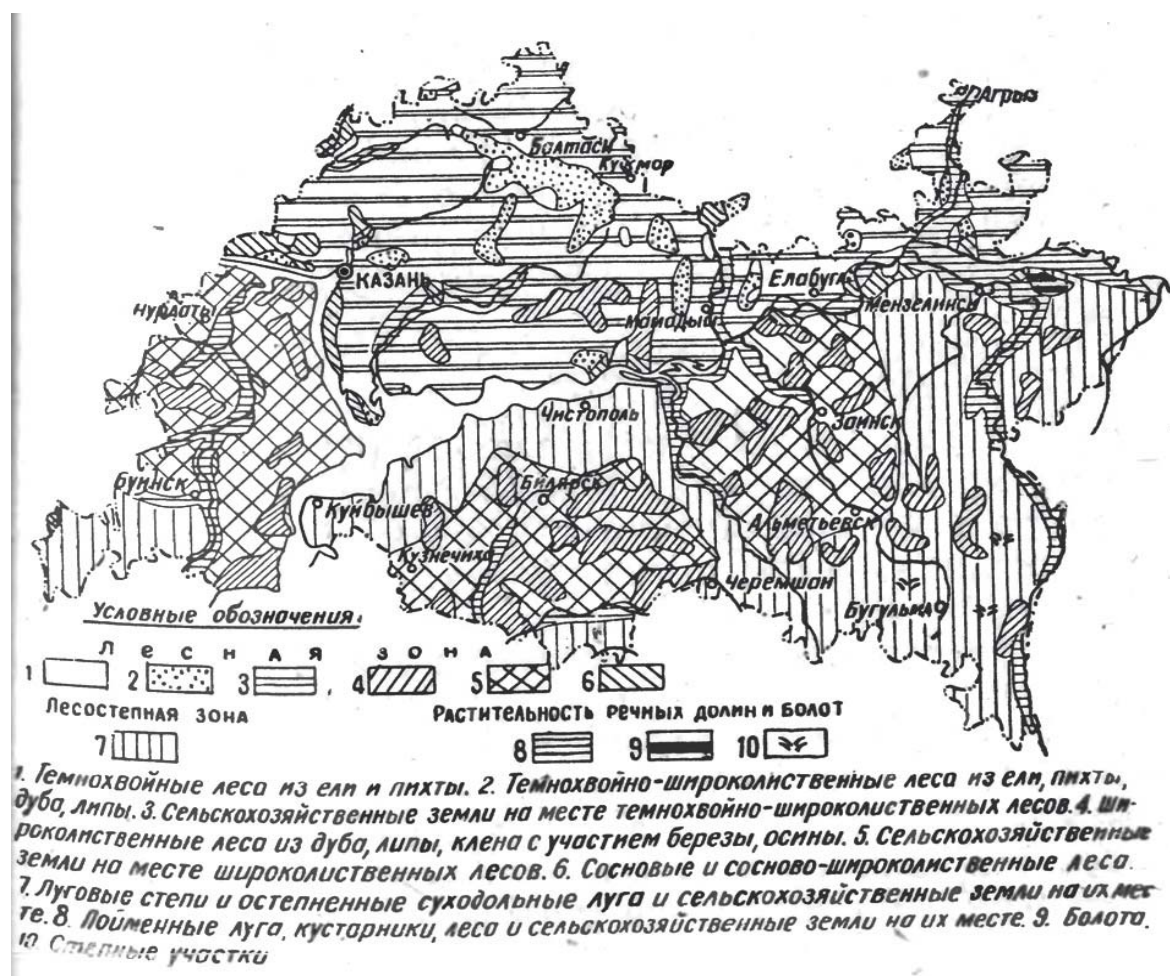


Рисунок 5. Растительный покров Республики Татарстан

Территория района подвержена эрозионным процессам. Факторы, обу-

словливающие эрозионные процессы многочисленны, имеют разное доленое участие. К ним относятся географическое положение местности – зональная принадлежность, особенности устройства поверхности, то есть тип рельефа, свойства почв и почвенного покрова, экспозиция, крутизна и длина склонов, характер обработки и использования почв в земледелии, наличие лесозащитных полос и др.

Среди них зональная принадлежность местности, на наш взгляд, является ведущим фактором, курирует и определяет долю участия всех остальных факторов в данном процессе. Лесостепная зона создает наиболее благоприятные условия для интенсивного развития водной эрозии: выпадает достаточное количество атмосферных осадков в летнее время, они часто носят ливневый характер, способствуя формированию поверхностного стока. К тому же обработка почвы, уничтожая защитный дерновый слой, помогает ускорению формирования поверхностного стока, вовлекает в состав поверхностного стока мелкозем почвы, наиболее богатый элементами питания.

В настоящее время площадь эродированной пашни занимает 43,5% от общей площади (табл. 8). Среди эродированных почв преобладают слабо эродированные, доля среднеэродированных незначительна.

Таблица 8 – Эродированность почв пахотных угодий, тыс. га

Название	тыс. га	%
Общая площадь	96,1	100,0
Эродированная пашня	45,3	47,1
в том числе, слабоэродированная	48,1	50,0
среднеэродированная	1,4	1,6
сильноэродированная	0,0	0,0
Овраги	1,3	1,3

Ускорение эрозионного процесса также поддерживается склоновым типом рельефа поверхности, площадь которого равна 66,7 процента.



### 2.3. Почвы и почвенный покров муниципального района

Буинский муниципальный район имеет пестрый почвенный покров, в составе которого представлены все зональные почвы лесостепи – серые лесные почвы с тремя подтипами (светло-серые, серые и темно-серые лесные), черноземы лесостепные (луговостепные) с тремя подтипами (черноземы оподзоленные, черноземы выщелоченные и черноземы типичные). Кроме них здесь формируются дерново-карбонатные почвы, по образному выражению Н.М. Сибирица «рендзины» (1895), формировавшиеся на высококарбонатных породах. Незначительную площадь занимает подзолистый тип, представляющий зональную почву таежно-лесной зоны – 842 га (табл. 9).

Формирование данного зонального почвенного типа обусловлено отклонением факторов почвообразования от типичных значений, способствующих созданию промывного водного режима и обеднению почвенного профиля от основных макроэлементов питания.

Фоновым почвенным типом являются черноземы лесостепные, занимающие до 77 % площади земель сельскохозяйственного назначения. Среди них преобладают черноземы выщелоченные – 71573 га, субдоминантом являются черноземы типичные с площадью 11545 га. Северный подтип этого типа черноземы оподзоленные всего занимают 7612 га.

Серые лесные почвы представлены двумя родами – обычным и пестроцветным с общей площадью до 13695 га. Среди них преобладают обычные почвы, а доля пестроцветного рода, формирующего на пермских карбонатных породах, незначительна.

Доля полугидроморфных зональных почв – лугово-черноземных значительна, площадь составляет около 6 тыс. га. Аллювиальные почвы, приуроченные к пойменной части речных долин, имеют общую площадь до 6057 га. Они частично используются в земледелии для выращивания ценных сельскохозяйственных культур.



Таблица 9 – Почвенный покров сельскохозяйственных угодий Буинского муниципального района Республики Татарстан

№	Название почв	Площадь	
		га	%
1.	Дерново-слабоподзолистые	215	26
2.	Дерново-среднеподзолистые почвы	394	46
3.	Дерново-сильноподзолистые	233	28
	Всего по типу подзолистых почв	<b>842</b>	<b>0,7</b>
4.	Болотно-подзолистые	<b>290</b>	<b>2,2</b>
5.	Дерново-карбонатные типичные	35	31
6.	Дерново-карбонатные выщелоченные	368	87
	Всего дерново-карбонатных почв	<b>423</b>	<b>0,4</b>
7.	Светло-серые лесные	3 970	31
8.	Серые лесные	4 630	36
9.	Темно-серые лесные	4 278	33
	Всего по серым лесным почвам	<b>12 878</b>	<b>10,8</b>
10.	Светло-серые лесные пестроцветные	32	4
11.	Серые лесные пестроцветные	743	91
12.	Темно-серые лесные пестроцветные	42	5
	Всего по серым лесным пестроцветным почвам	<b>817</b>	<b>0,7</b>
13.	Серые лесные глеевые	<b>676</b>	<b>0,5</b>
14.	Черноземы оподзоленные	7 612	8
15.	Черноземы выщелоченные	71 573	91
16.	Черноземы типичные	11 545	5
17.	Черноземы карбонатные	872	1
	Всего по типу черноземов	<b>91 602</b>	<b>76,7</b>
18.	Лугово-черноземные	<b>5 838</b>	<b>4,9</b>
19.	Луговые	<b>46</b>	<b>0,0</b>
20.	Лугово-болотные	<b>1</b>	<b>0,0</b>
21.	Аллювиальные	<b>6 057</b>	<b>5,1</b>
22.	Аллювиальные болотные	<b>11</b>	<b>0,0</b>
	Итого по району	<b>119 481</b>	<b>100,0</b>

Таким образом, в составе почвенного покрова преобладают черноземы, которые формируются в лесостепной и степной зонах Российской Федерации и принадлежит ей около половины площади черноземов мира (рис. 6).

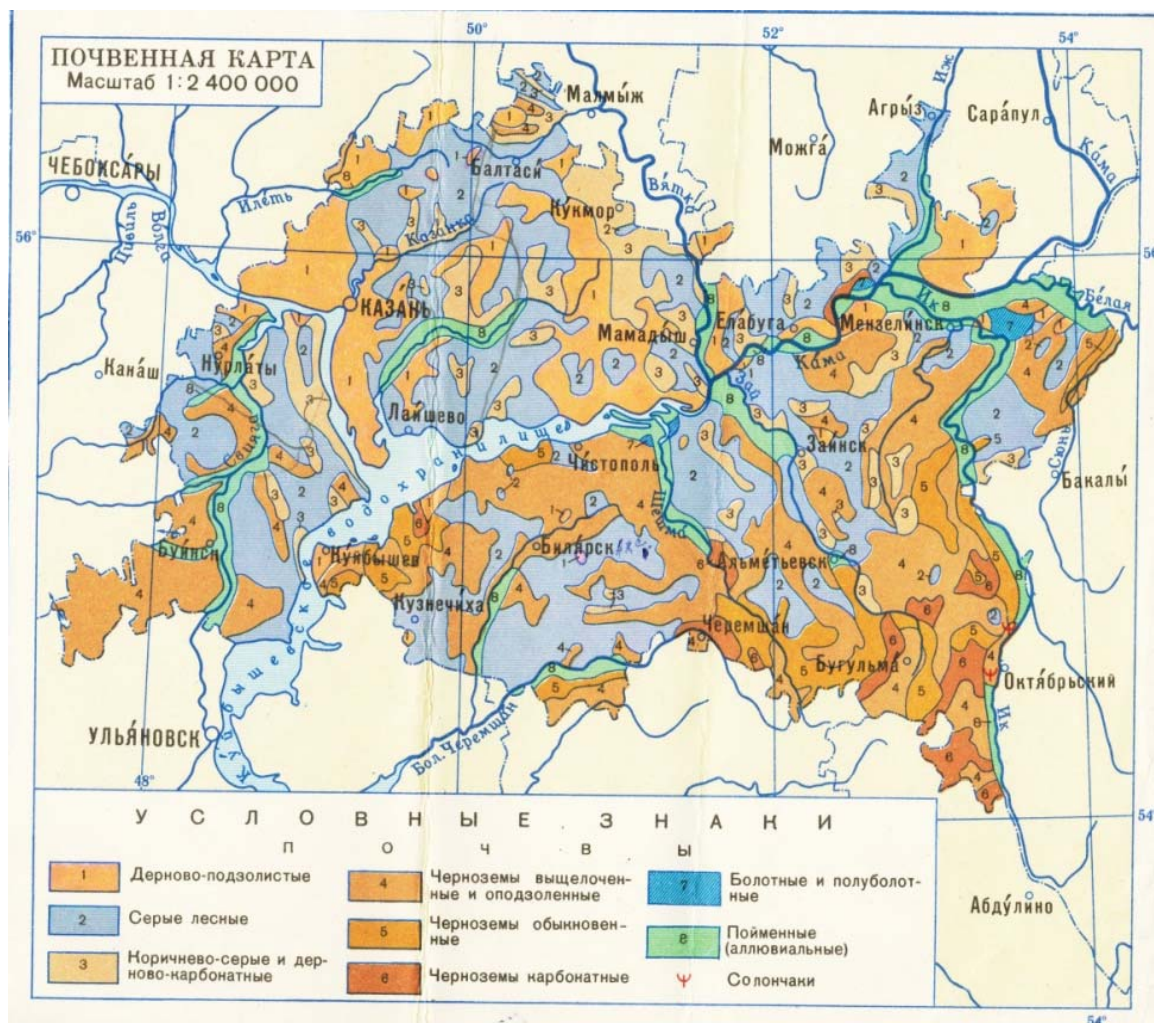


Рисунок 6. Почвенный покров Республики Татарстан

По данным кадастровых отрядов, осуществлявших подготовку для отмены крепостного права в Российской империи, с 1842 по 1859 гг. на черноземах получали максимальную урожайность озимой ржи 1,10 т/га (после вычета посевного материала) (Соболев, 1965). На худых землях, под которыми подразумевались в основном дерново-подзолистые почвы, урожаи составляли лишь 0,14–0,28 т/га.

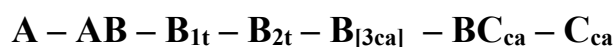
Связь между свойствами почв и урожайностью зерновых культур является предметом исследований земле-оценочных работ, интенсивно осуществленных в конце второй половины двадцатого века (Благовидов, 1960; Соболев, 1965; Тюменцев, 1966, 1975; Гаврилюк, 1967; Крупеников, Лунева, Рябинина, 1968; Семенов, 1970, 1977; Тайчинов, 1971; Давлятшин, 1976; Карманов, 1980 и многие другие).

Ниже дается характеристика лесостепных черноземов на основе накопленной аналитической и морфологической информации в ходе крупномасштабного картирования почвенного покрова Республики Татарстан. При этом аналитический материал был собран, первично обработан для получения статистических параметров, включая средние арифметические и другие статистические параметры. Ниже дается статистическая характеристика лесостепных оподзоленных черноземов по материалам статистического обобщения, изложенных в 2013 г. в «Справочнике агрохимика» (табл. 10).

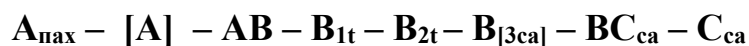
Таблица 10 – Средние показатели признаков и свойств черноземов оподзоленных среднемощных среднегумусных тяжелосуглинистых (n = 15–34)

Горизонт	Нижняя граница, см	Частицы, мм, %		Гумус, %	Ca + Mg	ГК	pH <sub>KCl</sub>	Подвижные, мг/кг почвы	
		<0,001	<0,01		ммоль/100 г			P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O
Ап	27,2	22,1	46,4	6,91	35,3	4,39	5,44	73	129
А <sub>1</sub>	41,4	26,1	48,5	4,80	33,4	4,20	5,51	71	120
<b>АВ</b>	55,8	29,3	49,9	3,10	29,1	3,51	5,54	98	98
В <sub>1</sub>	80,8	31,3	50,9	1,23	25,2	2,58	5,33	132	124
В <sub>2</sub>	115,7	33,9	62,0	0,57	22,3	2,72	5,1/8,2	–	–
В <sub>С</sub>	121,2	25,5	43,9	0,67	21,9	2,16	5,4/8,2	–	184
<b>С**</b>	140,9	29,2	48,2	0,32	21,8	–	5,5/8,3	–	184

Черноземы оподзоленные имеют следующую морфологическую формулу:



Для почв, используемых в земледелии, формула почти не меняется:



Горизонт А и А<sub>пах</sub> имеет почти черную с сероватым оттенком, темно-серую окраску, зернистую или пороховато-зернистую структуру. Горизонт А книзу светлеет за счет присыпки кремнезема по граням структурных отдельных частей.

Горизонт АВ имеет темно-бурую окраску, часто неоднородно окрашен, прослеживается чередование более гумусированных затеков с осветленными заклинками. Зернистая структура постепенно переходит в ореховатую, при вы-

сыхании четко обозначается белесая присыпка.

Иллювиальный горизонт В обычно подразделяется на три подгоризонта (Розанов, 2004), но во время крупномасштабных изысканий по республике выделялись в основном два верхних подгоризонта. Горизонт характеризует процесс иллювирования, верхняя часть ( $B_{1t}$ ) и средняя ( $B_{2t}$ ) части характеризуются вымыванием илистой фракции, нижняя часть ( $B_{3ca}$ ) содержит новообразования карбонатов. Подгоризонты ( $B_{1t}$ ) и ( $B_{2t}$ ) имеют бурый фон с темно-бурыми пятнами и затеками (языками), ореховато-призматическую структуру, по граням отдельностей лакировку (глянец) гумусовых веществ. Нижняя часть горизонта несколько светлее предыдущей части, с прожилками и примазками от карбонатов. Переходной горизонт  $BC_{ca}$  палевой окраски с бурым оттенком, иногда с пятнами и белоглазкой, имеет призматическую, глыбистую структуру. Почвообразующая порода представлена палево-бурыми лессовидными тяжелыми суглинками и глинами, содержит скопления карбонатов.

Черноземы оподзоленные обычно имеют тяжелосуглинистый или легкоглинистый гранулометрический состав.

Гумусовый горизонт простирается в среднем до 41,4 см, верхнюю часть его занимает пахотный горизонт. Переходный горизонт АВ нижнюю границу имеет на глубине 55,8 см. Горизонт В с подгоризонтами ( $B_{1t}$ ) и ( $B_{2t}$ ) доходит до 115,7 см, ниже находится слабоизмененная порода, которая постепенно переходит в лессовидные отложения.

Профиль почвы имеет черты иллювирования, максимальное содержание ила характеризует типичную часть подгоризонта ( $B_{2t}$ ) – 33,9 процента. Его содержание в породе равно 29,2%, а минимальное количество характеризует пахотный горизонт – 22,1 процента.

Максимальное содержание физической глины достигает 62,0 процента. Отношение содержания ила и физической глины говорит о мобильности илистой фракции. Оно имеет максимальные показатели в  $B_{1t}$  – 0,61, а в пахотном горизонте равно 0,48.

По профилю реакция почвенной суспензии варьирует в пределах слабокислой градации – 5,1–5,54. Однако в нижней части профиля, начиная от подгоризонта В<sub>2t</sub> в некоторых разрезах, становится слабощелочной – 8,2–8,3, наблюдается вскипание от 10% соляной кислоты.

Содержание гумуса в пахотном горизонте составляет 6,91%, а в АВ – 3,10 процента. Верхняя часть иллювиального горизонта содержит до 1,23% гумуса. Остальная часть профиля имеет менее 1% гумуса с минимальными показателями в почвообразующей породе.

В пахотном горизонте емкость катионного обмена доходит до 39,69 ммоль/100г почвы, глубже по профилю она уменьшается до 24,06 ммоль/100 г почвы. В гумусовом горизонте степень насыщенности основаниями равна 89%, а в нижележащем – 87–91%, что указывает на необходимость выборочного регулирования реакции почвенной суспензии.

Обеспеченность подвижным фосфором в верхней части профиля средняя, а подвижным калием – повышенная. Такое соотношение содержания подвижного фосфора и калия обычно характерно для черноземного типа почвообразования.

Черноземы оподзоленные разнообразны по видовой принадлежности, выделяемой как по мощности гумусового горизонта (маломощные, среднемощные и сверхмощные), так и по гумусированности (слабогумусированные, малогумусные, среднегумусные и тучные). По республике в основном преобладают среднемощные, среднегумусные, а также малогумусные виды черноземов.

Диагностические признаки черноземов оподзоленных проявляются на морфологическом облике: кремнеземистая присыпка по граням структурных отдельностей гумусового горизонта (особенно в нижней его части); наличие процесса иллювирования; слабокислая реакция в верхней части профиля (наличие гидролитической кислотности, обуславливающей относительно невысокую степень насыщенности основаниями); значительный разрыв до 60-80 см линии вскипания от нижней границы гумусового горизонта.

Вместе с тем, следует отметить, что черноземы выщелоченные являются наиболее распространенным подтипом по Буинскому муниципальному району нашей республики.

Черноземы выщелоченные занимают разнообразные элементы рельефа. Встречаются от пологих склонов, равнинных речных террас до водораздельных плато.

Преобладающими почвообразующими породами являются желто-бурые лессовидные отложения делювиального генезиса и четвертичного возраста. Имеются также контура, залегающие на переотложенных субстратах пермских пород, либо на элювии глин, мергелей, даже известняков.

Типичным для черноземов является тяжелосуглинистый и глинистый гранулометрический состав. Они оптимальны для зерновых культур из-за выраженной зернистой структуры, придающей эффект облегчения.

Для них характерна следующая морфологическая формула:

**A (A<sub>пах</sub>) – B<sub>1t</sub> – B<sub>2t</sub> (B<sub>2ca</sub>) – BC<sub>ca</sub> – C<sub>ca</sub>.**

Черноземы выщелоченные, как все представители данного подтипа, имеют черную, либо темно-серую окраску в гумусовом горизонте, при мощности пахотного горизонта 27,5 см гумусово-аккумулятивный горизонт доходит до 42,0 см. Структура зернистая, либо комковато-зернистая. Ниже залегает переходный горизонт АВ, он обычно имеет неравномерную окраску, темно-бурый фон с бурыми заклинками и темно-серыми языками, структура обычно ореховатая, ореховато-комковатая.

Горизонт В имеет бурую окраску с темно-бурыми узкими гумусовыми языками, плотный ореховато-призматической структуры, по граням которых имеется лакировка или глянec. Горизонт часто подразделяется на B<sub>1t</sub> и B<sub>2t</sub>. Нижняя часть горизонта В обычно карбонатная, имеет палево-бурую окраску, новообразования карбонатов от прожилочных форм до белоглазки и даже журавчиков. Последние свидетельствуют о продолжительности их формирования. Структура призматическая.

Горизонт ВС<sub>са</sub> представляет собой слабоизмененную породу, имеет ореховато-призматическую структуру.

Почвообразующая порода имеет палевую окраску с бурым оттенком. Окраска может изменяться в зависимости от генетических особенностей пород, иногда могут преобладать коричневые и красно-бурые тона.

Средняя мощность пахотного горизонта черноземов выщелоченных равна 27,5 см, в отдельных случаях доходит до 30 см и более. Гумусовый горизонт А обычно варьирует в пределах до 50 см и глубже, нижняя его граница проходит в среднем на глубине 42,0 см (табл. 11).

Таблица 11 – Средние показатели признаков и свойств черноземов выщелоченных среднемошных среднегумусных тяжелосуглинистых

Горизонт	Нижняя граница, см	Частицы, мм, %		Гумус, %	Са + Mg, ммоль/100 г	рН <sub>KCl</sub>	Подвижные мг/кг почвы	
		<0,001	<0,01				P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O
Ап	27,5	30,0	56,8	7,65	41,9	5,49	107	140
А <sub>1</sub>	42,0	32,8	56,5	5,63	36,9	5,60	90	124
<b>АВ</b>	57,4	35,5	52,0	3,51	34,2	5,55	97	114
В <sub>1</sub>	70,6	36,9	55,7	2,08	31,1	5,30	118	103
В <sub>2</sub>	92,7	35,9	57,1	1,57	–	5,56	–	–
ВС	116,0	35,2	58,4	–	–	8,24	–	–
<b>С**</b>	144,1	34,5	57,1	–	–	8,24	–	–

Нижняя граница переходного горизонта АВ залегает, как правило, на глубине 57,4 см, хотя в отдельных разрезах опускается до 80–90 см и более. Горизонт В подразделяется на два подгоризонта: В<sub>1t</sub> и В<sub>2t</sub>, нижняя граница последнего проходит на глубине 92,7 см.

Переходный горизонт ВС – слабоизмененная порода, нижняя граница которого проходит на глубине 116,0 см. Средняя глубина вскрытия почвообразующей породы равна 144,1 см.

Морфологические признаки фиксируют постепенные переходы между почвенными горизонтами и наличие свободных карбонатов на глубине ниже подгоризонта В<sub>2t</sub>.

Профиль черноземов выщелоченных представлен глинистым гранулометрическим составом. Содержание физической глины изменяется по профилю

от 52,0 до 58,4 %, илистая фракция составляет в ней от 56 до 68%, что подтверждает передвижение тонкодисперсной фракции из верхних горизонтов в нижние, а изменение содержания физической глины в основном обусловлено изменением илистой фракции.

Распределение физической глины имеет однотипный характер с распределением ила, а разница между наивысшими и наименьшими показателями равна 6,4 процента. Распределение показателей рН и слабокислая реакция почвенных горизонтов профиля согласуется с морфологическим описанием и признаками. Слабощелочная реакция горизонта ВС согласуется с наличием свободных солей карбонатов по профилю.

Содержание гумуса изменяется от 3,52 до 7,65% в гумусовом горизонте. Нижняя часть профиля почв –  $V_{1t}$  и  $V_{2t}$  содержит выше 1% гумуса.

Сумма поглощенных оснований варьирует от 31,1 до 41,9 ммоль на 100 г почвы, уменьшаясь и согласуясь с распределением гумуса по профилю.

Содержание подвижных форм фосфора и калия указывает на повышенную степень обеспеченности почв фосфором, на высокую – калием в верхней части профиля. Вниз по профилю обеспеченность фосфором снижается до средней степени, а обеспеченность калием остается на уровне повышенной степени. Отмеченные особенности содержания фосфора и калия характерны для черноземного типа почвообразования.

В почвенном покрове исследуемого региона присутствуют типичные черноземы, которым свойственны все процессы характерные для процесса черноземообразования. Соответственно они имеют наиболее высокие показатели содержания гумуса и мощности гумусового горизонта.

Черноземы типичные занимают различные геоморфологические элементы рельефа от древнеаллювиальных равнин, пологих склонов до водораздельных плато в зависимости от географического положения и почвообразующего субстрата. Почвообразующие породы дифференцируются в зависимости от элементов рельефа. На водоразделах обычно ими служат элювиальные, элюви-



ально-делювиальные отложения пермских пород, часто сильно окарбоначенные, на склонах и равнинах ими служат делювиальные отложения.

Черноземы типичные имеют тяжелосуглинистый, легкоглинистый гранулометрический состав. Преобладание почв тяжелого гранулометрического состава указывает на то, что процессы выветривания пород происходят при преобладании химического выветривания над физическим, в результате которого частицы измельчаются до диаметра менее 0,001 мм.

Анализируемые почвы имеют следующую морфологическую формулу:

**A (A<sub>пах</sub>) – A – АВ – В<sub>1са</sub> – В<sub>2са</sub> – ВС<sub>са</sub> – С<sub>са</sub>.**

В целинных почвах выделяется горизонт A<sub>0</sub>, представленный не разложенными растительными остатками, степным войлоком.

Гумусовый горизонт A в среднем имеет мощность до 40–50 см, а в отдельных разрезах может достигать до 70 см. Окраска горизонта черная, что обусловлено высоким содержанием гумуса, его гуматным составом. Структура зернистая, в распаханых аналогах комковато-зернистая, горизонт, как правило, переплетен корневой системой травянистых растений. По республике собственно гумусовый горизонт простирается в среднем до 48,1 см, показывая наибольшую мощность среди остальных подтипов (табл. 12). Отдельные разрезы имеют мощность этого горизонта до 70 см.

Горизонт АВ имеет почти темно-серый фон с бурым оттенком, имеются более темноокрашенные языки и бурые залинки, структура комковато-зернистая, которая в нижней части переходит в комковатую.

Горизонт В имеет буровато-палевую окраску, либо светло-палевую с темно-бурыми языками и светло-бурыми залинками, структура комковато-призматическая или призматическая. Горизонт, как правило, окарбоначен, имеет карбонатные новообразования в виде прожилок, примазок, переходящих даже в белоглазки в нижней части профиля.

Таблица 12 – Средние показатели признаков и свойств черноземов типичных среднемоштных среднегумусных глинистых (n = 83–97)

Горизонт	Нижняя граница, см	Частицы, мм, %		Гумус, %	Ca + Mg, ммоль/100 г	pH <sub>KCl</sub>	Подвижные мг/кг почвы	
		<0,001	<0,01				P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O
A <sub>n</sub>	27,4	31,0	57,2	7,19	40,4	6,9	131	162
A <sub>1</sub>	48,1	30,6	55,8	5,61	38,8	7,2	117	143
<b>AB</b>	67,2	32,8	56,4	3,86	36,8	7,6	82	138
B <sub>ca</sub>	92,2	33,5	57,1	2,00	31,5	8,2	32	135
BC <sub>ca</sub>	117,2	33,8	56,7	–	–	8,4	–	–
C <sub>ca</sub>	145,2	33,9	55,6	–	–	8,4	–	–

Горизонт BC<sub>ca</sub> представляет собой слабоизмененную породу с пятнами выделений карбонатов.

Почвообразующая порода, как правило, содержит карбонаты, имеет палевою окраску. Вместе с тем, черноземы типичные в профиле не содержат скоплений гипса и заметных скоплений легкорастворимых солей.

Средняя нижняя граница переходного горизонта B<sub>ca</sub> на глубине 92,2 см, а отдельные морфометрические измерения выходят за пределы первого метра.

Нижняя граница горизонта BC<sub>ca</sub> проходит на глубине в среднем 117,2 см, что указывает на глубину охвата процесса почвообразования.

Содержание наиболее мобильного ила и менее подвижного компонента – физической глины распределено по профилю равномерно. Так, содержание ила изменяется от 30,6 до 33,9 % при их разнице 3,3 процента. Содержание физической глины варьирует от 55,5 до 57,2 % при разнице 1,4 процента. Различия содержания ила и физической глины находится в диапазоне статистических ошибок, подтверждая суть процессов, происходящих в профиле черноземов типичных (табл. 12).

Кислотность почвы (pH водной вытяжки) варьирует от 6,9 до 8,4. Показатели, выходящие за пределы 8,0, фиксируют глубину наличия свободных карбонатов. Обычно вскипание от соляной кислоты в черноземах типичных находится на точке перехода горизонта AB в горизонт B<sub>ca</sub>, то есть на стыке гумусового горизонта и горизонта B. Следует заметить, что показатели pH более 7 подтверждают пульсацию карбонатов по сезонам года. Обычно ранней весной

карбонаты, более растворимые в холодное время, промываются в нижнюю часть профиля, а в летнее время почвенные растворы поднимаются, по пути оставляя выделения карбонатов за счет поднятия температуры (Афанасьева, 1966).

Гумусовый горизонт содержит в среднем до 7,19 % гумуса, а в пределах гумусового горизонта его содержание колеблется в диапазоне 3,86–7,19 процента. Небольшое уменьшение средних показателей гумуса в пахотном горизонте по сравнению с выщелоченным подтипом следует объяснить более интенсивным использованием черноземов типичных в земледелии. Как известно, под пашней наблюдается более интенсивная минерализация гумуса за счет улучшения аэрации, с одной стороны, и за счет меньшего ежегодного поступления растительных остатков, с другой. Кроме того, основные ареалы черноземов типичных данной подзоны находятся за пределами республики, а в Республике Татарстан они формируются среди черноземов выщелоченных.

Емкость катионного обмена по профилю изменяется от 31,5 до 40,4 ммоль на 100 г почвы, согласуется с распределением содержания гумуса и минеральных коллоидов.

Черноземы типичные имеют повышенную степень обеспеченности подвижным фосфором, в нижней части профиля она сменяется средней, даже низкой степенью обеспеченности, что, видимо, объясняется наличием карбонатов. Содержание подвижного калия колеблется от 135 до 162 мг/кг почвы, а наивысшие показатели его приурочены к пахотному горизонту.

Таким образом, рассмотрение черноземов лесостепной зоны подтверждает, что они обладают высоким естественным плодородием, индикатором которого являются как морфометрические измерения, так и среднестатистические агрохимические показатели. Вместе с тем, на облике черноземов оподзоленных имеются признаки происходящих процессов оподзоливания и соответствующей дифференциации почвенного профиля по диагностическим свойствам. Облик черноземов выщелоченных проявляется также на морфологических признаках

и средних показателях агрохимических свойств, указывая и фиксируя слабую дифференциацию почвенного профиля. В профиле черноземов типичных наблюдается отсутствие дифференциации по содержанию фундаментальных показателей – илистой фракции и физической глины, косвенно указывая на однородность профиля по валовому составу почв.

Кроме перечисленных зональных почвенных подтипов в почвенном покрове сельскохозяйственных угодий формируются дерново-карбонатные почвы, образующиеся на элювии известняков и высококарбонатных пород пермского периода. В Республике Татарстан их общая площадь составляет 127,2 тыс. га. Среди них преобладают дерново-карбонатные выщелоченные – 80,4 тыс. га, дерново-карбонатные типичные занимают 44,0 тыс. га, а доля оподзоленных значительно невелика – 2,0 тыс. га. Дерново-карбонатные почвы представляют слаборазвитые почвы, среди них наиболее развитыми являются дерново-карбонатные оподзоленные, а самыми молодыми – дерново-карбонатные типичные. Выщелоченные подтипы этих почв занимают среднее положение в контексте молодости и развития.

Относительно окружающих зональных почв дерново-подзолистых почв и серых лесных почв дерново-карбонатные почвы обладают более высокой концентрацией гумуса, что объясняется тем, что кальций служит стражем плодородия почв (Лыков, 1976).

Анализ показал, что зональные подтипы почв отличаются по уровню природного плодородия, дифференцируясь по мере продвижения от северных границ к южным границам республики, то есть от дерново-подзолистых почв к серым лесным почвам, от них к черноземам, достигая наибольшего выражения в черноземах типичных.

Продуктивность пахотных почв четко согласуется с уровнем естественного плодородия. Во время экстенсивного земледелия урожайность возделываемых культур четко возрастала от дерново-подзолистых почв к черноземам, достигая максимальных величин. Однако с переходом на интенсивную систему

земледелия положение изменяется за счет применения минеральных удобрений и других агрохимикатов. Урожайность районированных зерновых культур в основном распределяется по состоянию агрохимических свойств и внесенного количества удобрений. На фоне этого имеющегося процесса качество продукции проявляет свою консервативность, при этом, наиболее высокие показатели качества наблюдаются на черноземных почвах, а на серых лесных и дерново-подзолистых почвах они низкие, что указывает на необходимость переориентации и смены отраслей сельского хозяйства в зависимости от особенностей почвенного покрова.

#### **2.4. Земельные ресурсы и приемы рационального их использования**

Земельные ресурсы каждого народа и государства представляют основу жизни и деятельности (Земельный кодекс РФ, 2001). Зеленый покров на земной суше создает органическое вещество из минеральных компонентов, что служит источником энергии и материальной основой для всего живого вещества, в том числе и возрастающего во времени населения Земного шара.

Характер использования земельных ресурсов, продуктивность земельных участков определяется особенностями почвенного покрова, уровнем плодородия составляющих его почв и в целом зональной принадлежностью местности.

Буинский муниципальный район имеет сельскохозяйственное значение. При общей площади 152,8 тыс. га земли сельскохозяйственного назначения занимают 126,7 тыс. га, что составляет 82,9 процента. В составе сельскохозяйственных угодий пашня занимает 96,1 тыс. га. Земли лесного фонда занимают 9,7 тыс. га или 6,3 %, земли населенных пунктов значительны с общей площадью 7,5 %, земли промышленности и иного назначения имеют 1,4 тыс. га, земли водного фонда – 0,2 тыс. га (см. табл. 13).

Таблица 13 – Распределение земель Буинского муниципального образования Республики Татарстан

№ п/п	Категория земель	тыс. га	%
1.	Земли сельскохозяйственного назначения	134,2	87,8
	в том числе: сельскохозяйственные угодья	126,7	82,9
	из них пашня	96,1	92,9
2.	Земли населенных пунктов	7,6	4,9
3.	Земли промышленности и иного назначения	1,4	0,9
4.	Земли лесного фонда	9,7	6,3
5.	Земли особо охраняемых территорий и объектов	0,0	0,0
6.	Земли водного фонда	0,2	0,1
7.	Земли запаса	0,0	0,0

В районе особо охраняемые территории и объектов, земли запаса отсутствуют.

Таким образом, население района имеет прямое отношение к своим земельным ресурсам, как основным средствам производства и предмета труда, используют плодородные земли в сельскохозяйственном производстве.

Основную часть пахотных угодий занимают ведущие районированные зерновые, зернобобовые, технические, масличные культуры, многолетние и однолетние травы, сахарная свекла, кукуруза и др. (табл. 14).

Приведенные материалы еще раз говорят о том, что район занимается сельскохозяйственным производством, преобладает растениеводческая отрасль, второе место занимает животноводство.

Последние 5 лет были относительно благоприятными для зерновых культур, что подтверждается высокими их урожаями от 3,04 (овес) до 4,05 т/га (озимая пшеница). При этом зерно, выращенное на черноземах, во все времена считается товарным зерном и обладает высокими хлебопекарными качествами. Одновременно природные условия района благоприятны как для яровых хлебов, так и озимых. Исходя из этого, растениеводческая отрасль района должна специализироваться на производстве товарного зерна.

Таблица 14 – Посевные площади и урожайность сельскохозяйственных культур (2016–2020 гг.)

№ п/п	Культура	Площадь		Уф, т/га
		тыс. га	%	
1.	Пашня	96100	–	–
2.	Посевная площадь	72980	100,0	–
3.	Пар чистый	1760	2,4	3,53
4.	Зерновые и зернобобовые (без кукурузы)	54258	74,3	–
5.	Зерновые культуры	51039	69,9	3,64
6.	Озимые зерновые	17245	23,7	–
7.	Пшеница озимая	16846	16,7	4,05
8.	Рожь озимая	389	0,4	3,64
9.	Пшеница яровая	17410	16,9	3,52
10.	Ячмень яровой	12262	11,9	3,59
11.	Овес	854	0,8	3,04
12.	Гречиха	2000	1,9	1,23
13.	Зернобобовые культуры	3695	4,3	2,11
14.	Горох	4379	4,2	2,09
15.	Вика и смеси на зерно	100	0,1	2,12
16.	Подсолнечник	2650	2,6	1,21
17.	Технические культуры	13740	13,3	–
18.	Сахарная свекла	9055	8,8	37,40
19.	Рапс яровой	705	0,7	1,49
20.	Картофель	2092	2,0	20,54
21.	Кормовые культуры - всего	31760	30,8	–
22.	Кукуруза - всего	7510	10,3	–
23.	Кукуруза на зерно	1268	1,7	4,54
24.	Кукуруза на корм	7510	10,3	18,63
25.	Многолетние травы - всего	19743	27,0	–
26.	Однолетние травы	8726	12,0	12,97
27.	Покровные многолетние травы	3094	4,2	–

При анализе структуры посевной площади пахотных земель района также выделяется роль животноводства. Природные условия достаточно благоприятны для выращивания грубых растительных кормов, высокая продуктивность зерновых агроценозов является гарантом для производства фуражного зерна с достаточной насыщенностью белками. В структуре посевов доля кормовых культур составляет около одной трети. К тому же в составе этих культур высокое место имеет кукуруза, роль которой в качестве зеленого корма, а зерна в со-

ставе фуража велика.

Вместе с тем успешное ведение сельскохозяйственного производства во многом обусловлено устойчивым развитием растениеводческой продукции во времени. Особенности получения устойчивой урожайности растениеводческой отрасли во времени во многом определяются уровнем плодородия почв, участием хозяйственного фактора во времени, что будет рассмотрено в последующих главах этой работы.

Одновременно сопоставление ежегодной урожайности культуры и ее скользящей средней позволяет оценивать состояние погодного фактора по каждому сельскохозяйственному году. Когда  $Y_{\phi} > Y_{11}$  или  $Y_{22}$  сельскохозяйственный год считается благоприятным для возделывания данной культуры, а когда, наоборот, - год будет засушливым или неблагоприятным. Например, наиболее благоприятными годами были 1997, 2001, 2009 годы, а наиболее засушливыми – 1977, 1981, 1987, 1988, 1998 гг., и абсолютно засушливым был 2010 год. Таким образом, сопоставлением временного ряда фактической урожайности и расчетных рядов, то есть, вычислив проценты между ними, можно разделить годы на благоприятные и засушливые.

Рост урожайности культур в основном обусловлен за счет применения удобрений, что также позволяет рассчитать долю участия факторов в формировании урожайности яровой пшеницы. Так, максимальная урожайность пшеницы в расчетном временном ряду  $Y_{11}$  составила 3,90 т/га, а минимальная 1,79 т/га (1986 г.), разница между ними равна 2,11 т/га, и она показывает долю участия удобрений в этом процессе. В то же время начальная урожайность изучаемой культуры относительно максимальной величины в процентах дает представление о доли участия почвенного фактора, она в данном случае равна 45,9 процента. Эти показатели намного ниже, полученных в условиях северной части лесостепной зоны, в частности, данных, полученных в Пестречинском муниципальном районе нашей республики на серо-лесных почвах.



## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

### Глава III. УРОЖАЙНОСТЬ ЯРОВОЙ ПШЕНИЦЫ И ЕЕ ДИНАМИКА ВО ВРЕМЕННОМ РЯДУ НА СРЕДНЕЙ ПОЛОСЕ ЛЕСОСТЕПНОЙ ЗОНЫ СРЕДНЕГО ПОВОЛЖЬЯ

#### 3.1. Скользящие урожайности яровой пшеницы за последние 49 лет

Яровая пшеница является ведущей продовольственной культурой, она возделывается во всех регионах Российской Федерации, особенно со второй половины XX века. Пшеница требовательна к почвенному плодородию, обеспечивает получение относительно высокой урожайности на эталонных почвах - черноземах.

В данном разделе анализируется динамика урожайности яровой пшеницы за 1970–2018 годы по Буинскому муниципальному району Республики Татарстан (табл. 15). Урожайность яровой пшеницы в течение последних 49 лет изменялась в широком диапазоне: от 1,16 до 5,10 т/га. Минимальные показатели характерны для засушливых лет, в частности 1981 г., а максимальная величина урожайности приходится на благоприятный 1997 год. Средняя урожайность временного ряда равна 2,69 т/га. В последующем этот временной ряд обработан методом скользящих средних при длине шагов 2, 5, 8, 11 и 22 года. Правомерность такой обработки подтверждает узкий диапазон варьирования сумм урожайности за этот период обследования от 131,21 до 131,24 т/га и средней ее величины  $U_{11}$  и  $U_{22}$  равной 2,68 т/га.

При этом, в первом 11-летнем цикле урожайность этой культуры составила 2,1 т/га, во втором – 1,97; в 1991-2002 гг. – 3,22; последующие 11 лет – 3,5 и в последние 2014-2018 гг. она снизилась до 2,6 т/га

По мере роста ширины шага от 2 до 22 лет диапазон колебания скользящих средних сужается. Так, при 2-летнем шаге он составил 1,20-4,65 т/га; при 5-ти летнем – 1,66-4,23; при 8-ми летнем – 1,78-4,19; а при 22-х летнем – 1,91-3,36 т/га. При этом сохраняется закономерный рост урожайности от начального срока наблюдения до 2000-х годов. По мере расширения шага, скользящие

средние постепенно выпрямляются, элиминируя влияние погодного фактора. Кроме погодных условий снижение урожайности после 2000-х годов обусловлено уменьшением насыщенности пашни минеральными и органическими удобрениями.

Таблица 15 – Фактическая урожайность яровой пшеницы и ее скользящие средние в лесостепной зоне Среднего Поволжья

№ п/п	Годы	У <sub>ф</sub>	У <sub>2</sub>	У <sub>5</sub>	У <sub>8</sub>	У <sub>11</sub>	У <sub>22</sub>
1.	1970	2,26	2,15	2,39	2,22	2,30	2,11
2.	1971	2,04	2,04	2,28	2,20	2,25	2,11
3.	1972	2,03	2,56	2,26	2,17	2,20	2,10
4.	1973	3,09	2,48	2,12	2,09	2,15	2,10
5.	1974	1,88	1,63	2,08	2,10	2,10	2,10
6.	1975	1,38	1,80	2,08	2,05	2,11	2,10
7.	1976	2,22	2,02	1,93	2,10	2,01	2,10
8.	1977	1,82	2,10	1,87	1,86	2,11	2,09
9.	1978	2,37	1,98	2,01	2,03	2,14	2,09
10.	1979	1,58	2,04	1,89	2,15	2,00	2,09
11.	1980	2,50	1,83	1,77	2,06	2,02	2,04
12.	1981	1,16	2,20	1,76	2,10	2,11	2,08
13.	1982	3,23	2,78	1,75	2,10	2,08	2,12
14.	1983	2,33	1,93	1,66	2,13	2,06	2,18
15.	1984	1,53	1,80	1,91	2,03	1,98	2,15
16.	1985	2,07	2,23	2,04	2,07	2,05	2,22
17.	1986	2,39	2,12	1,91	1,96	1,97	2,39
18.	1987	1,86	1,78	1,90	1,88	2,15	2,35
19.	1988	1,69	1,58	1,94	2,07	2,13	2,35
20.	1989	1,47	1,89	1,80	2,19	2,23	2,36
21.	1990	2,31	2,00	2,04	2,31	2,30	2,51
22.	1991	1,68	2,38	2,31	2,37	2,43	2,60
23.	1992	3,07	3,04	2,70	2,60	2,67	2,75
24.	1993	3,01	3,22	2,70	3,05	2,63	2,77
25.	1994	3,42	2,86	3,06	2,94	2,64	2,84
26.	1995	2,30	2,90	3,47	2,95	2,74	2,95
27.	1996	3,50	4,30	3,15	2,88	2,98	3,04
28.	1997	5,10	3,26	2,81	3,12	3,22	3,12
29.	1998	1,41	1,58	2,86	3,24	3,36	3,25
30.	1999	1,75	2,15	3,15	3,53	3,42	3,24
31.	2000	2,55	3,75	3,00	3,55	3,45	3,32
32.	2001	4,94	4,66	3,64	3,38	3,61	3,34
33.	2002	4,37	4,49	4,03	3,71	3,64	3,36

Продолжение табл. 15

34.	2003	4,61	4,14	4,27	3,98	3,56	3,33
35.	2004	3,67	3,72	4,08	4,19	3,87	3,30
36.	2005	3,76	3,88	3,99	4,17	3,83	3,26
37.	2006	4,00	3,96	3,92	3,79	3,90	3,32
38.	2007	3,91	4,08	4,14	3,62	3,71	<u>3,25</u>
39.	2008	4,25	4,53	3,66	3,52	3,50	<u>3,21</u>
40.	2009	4,80	3,06	3,50	3,31	3,30	<u>3,16</u>
41.	2010	1,32	2,28	3,31	3,11	3,18	3,10
42.	2011	3,24	3,08	2,87	2,92	3,07	<u>3,05</u>
43.	2012	2,92	2,49	2,38	2,70	3,02	3,00
44.	2013	2,06	2,22	2,60	2,54	<u>2,86</u>	2,95
45.	2014	2,37	2,38	2,45	<u>2,63</u>	<u>2,73</u>	2,89
46.	2015	2,39	2,44	<u>2,57</u>	<u>2,54</u>	<u>2,58</u>	2,84
47.	2016	3,52	<u>3,01</u>	<u>2,56</u>	<u>2,59</u>	<u>2,44</u>	2,79
48.	2017	<b>2,04</b>	<u>2,78</u>	<u>2,63</u>	<u>2,64</u>	<u>2,29</u>	2,74
49.	2018	<b>2,51</b>	<u>2,46</u>	<u>2,73</u>	<u>2,70</u>	<u>2,15</u>	2,68
<b>Сумма</b>		131,68	132,04	129,93	132,14	131,23	131,19
Среднее					2,69	2,68	2,68
max		5,1	4,66	4,27	4,19	3,9	3,36
min		1,16	1,58	1,66	1,86	1,97	2,04

Общая закономерность динамики урожайности временного ряда отчетливо проявляется при длине шага 11 и 22 года и согласуется со статистическими параметрами (табл. 16).

Таблица 16 – Статистические параметры урожайности яровой пшеницы (т/га) в Буинском муниципальном районе РТ за 1970–2018 годы

Показатель	Параметры					
	max	min	M	$\sigma$	$\pm m$	V,%
Урожайность фактическая – $U_{\phi}$	5,1	1,16	2,68	1,049	0,15	38,9
Скользящая средняя – $U_{11}$	3,90	1,79	1,68	0,090	1,00	23,4
Скользящая средняя – $U_{22}$	3,36	2,04	2,68	0,068	0,81	17,8

Так, при  $U_{11}$  средняя урожайность равна  $2,68 \pm 0,15$  т/га, а при  $U_{22}$  –  $2,68 \pm 0,010$ . Существенная разница урожайности между соседними годами наблюдается в данном временном ряду 9 раз (1986-1987; 1990-1991; 1911-1992; 1995-1996; 1996-1997; 2003-2004; 2006-2007; 2007-2008 и 2008-2009 годы). Для

$U_{22}$  коэффициент Стьюдента равен 1,96 и статистическая разница составляет 0,0159 т/га, что имеет место лишь между 1985–1986 годами и равна 0,17 т/га. Таким образом, скользящие средние урожайности при длине шагов 11 и 22 года точно отражают оптимальное состояние урожайности яровой пшеницы.

Оптимальные расчетные ряды урожайности отражают темпы ее роста. Для  $U_{11}$  разница между максимальными и минимальными данными равна 2,11 т/га (3,90–1,79), для расчетного ряда  $U_{22}$  – 1,32 т/га (3,36–2,04). По ним можно рассчитать темпы роста урожайности, для  $U_{11}$  он равен 43,06 кг/год, а для  $U_{22}$  – 26,9 кг/год (рис. 8).

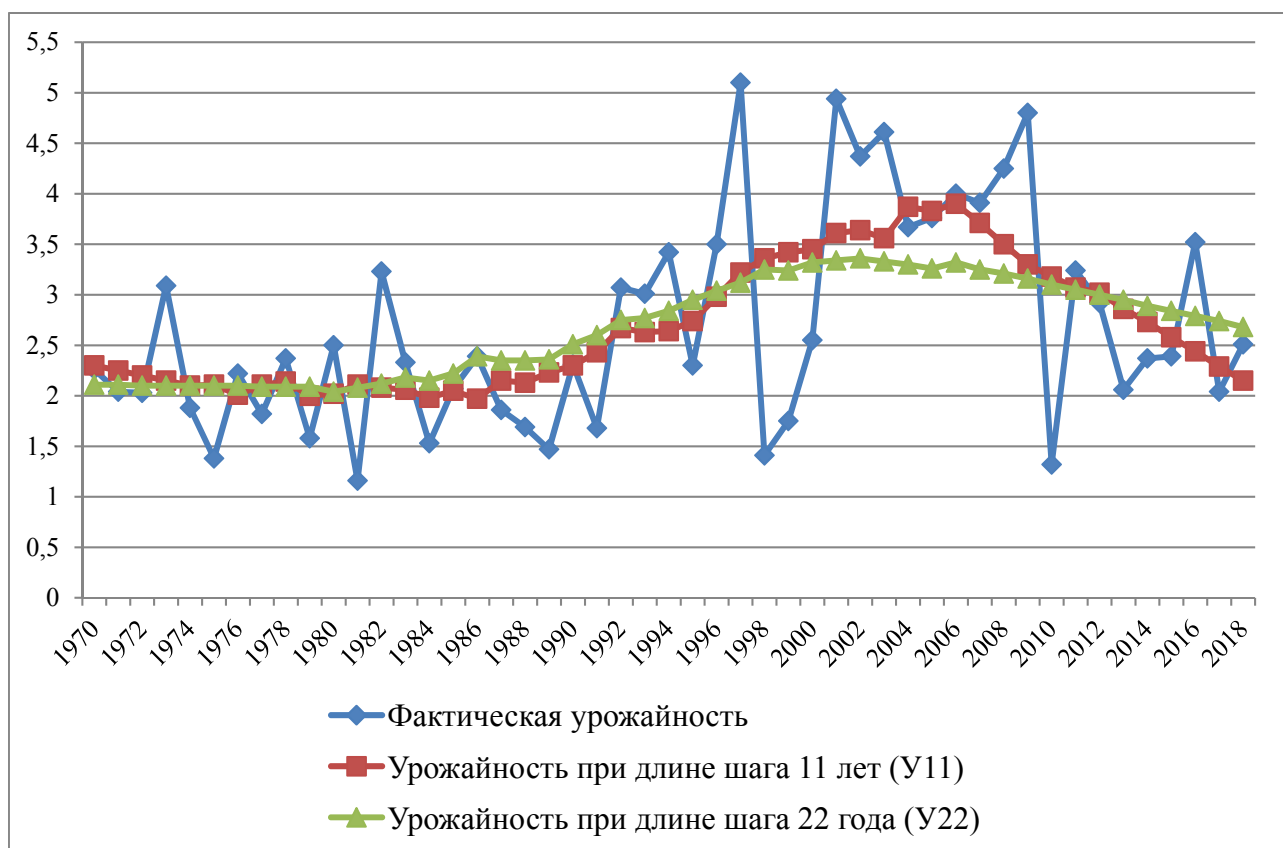


Рисунок 7. Фактическая урожайность яровой пшеницы и ее динамика во временном ряду

Следовательно, анализ урожайности яровой пшеницы показывает теоретическое и практическое значение применения обработки временного ряда методом скользящих средних. Оптимальными являются расчетные ряды при ширине шага 11 и 22 года, совпадающие и согласующиеся с климатическими циклами.

При обработке временного ряда методом скользящих средних выявляется роль хозяйственного фактора в формировании уровня урожая сельскохозяйственных культур, что позволяет рассчитать темпы роста (изменения) продуктивности агроценозов, долю почвенного фактора, минеральных и органических удобрений в суммарном выражении.

Одновременно данное положение нацеливается на получение и расчет окупаемости удобрений в расчете на зерно, указывая рентабельность и экономическую эффективность их применения, оно будет проанализировано в последней заключительной главе.

### 3.2. Динамика азотного режима почвы

Для создания 100 кг основной продукции с учетом побочной для возделываемых в Татарстане сельскохозяйственных культур необходимо 2,5–3,7 кг азота, 1,1–1,4 кг окиси фосфора и 2,2–3,4 кг окиси калия (табл. 17).

Таблица 17 – Вынос питательных веществ с урожаем, кг/100 кг продукции (Справочник агрохимика Республики Татарстан, 2015)

Культура	Вид продукции	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O
Рожь озимая	зерно	3,0	1,2	2,5
Пшеница озимая	то же	3,7	1,3	2,3
Пшеница яровая	-//-	3,5	1,2	2,5
Овёс	-//-	2,9	1,4	2,9
Ячмень	-//-	2,5	1,1	2,2
Просо	-//-	3,3	1,0	3,4
Гречиха	-//-	4,4	3,0	7,5
Горох	-//-	6,6	2,0	2,5
Вика	-//-	6,5	2,5	4,5
Кукуруза	-//-	3,0	1,0	2,9
Сахарная свекла	корнеплоды	0,59	0,18	0,75
Рапс	семена	6,0	3,0	5,0
Картофель ранний	клубни	0,5	0,15	0,7
Картофель поздний	клубни	0,6	0,2	0,8
Подсолнечник	масло	6,0	2,6	8,6
Кукуруза	зелёная масса	0,36	0,1	0,38

Продолжение табл. 17

Кормовая свекла	корнеплоды	0,4	0,3	0,45
Многолетние травы	сено	2,0	0,7	1,5
Многолетние травы	зелёная масса	0,32	0,3	0,22
Однолетние травы	зелёная масса	0,4	0,4	0,3
Однолетние травы	сено	2,2	0,7	2,0
Капуста		0,4	0,2	0,5
Морковь		0,4	0,2	0,6
Томаты		0,35	0,14	0,51
Огурцы		0,29	0,14	0,54
Лук		0,37	0,15	0,46
Овощи в целом	овощи	0,4	0,2	0,5
Лен-долгунец	(волокно)	8,0	4,0	7,0

Следовательно, пшеница яровая для формирования 100 кг зерна выносит из почвы: 3,5 кг азота; 1,2 кг фосфора и 2,3 кг калия (итого 7 кг) против 5,8 кг ячменя или же 7,2 кг овса. Из этого количества на долю азота приходится 44 процента.

Известно, что содержание азота сосредоточено в составе специфического органического вещества гумуса (Гамзиков, 2015). Между содержанием гумуса и азота в почвах имеется почти функциональная связь, что отражает отношение C:N, и оно позволяет рассчитать данные одного из них.

В зональном ряду почв – от дерново-подзолистых почв до черноземов типичных в слое 0–20 см на целине содержание гумуса варьирует от 50 до 210 т/га, а на пашне – от 60 до 175 т/га. В метровой толще оно соответственно возрастает до 90–600 т/га и 100–530 т/га гумуса (Ганжара, 2001). Для Республики Татарстан в пахотных почвах обобщение запасов азота произведено И.Д. Давлятшиным, Н.Б. Бакировым (2010) и Л.Г. Гаффаровой, И.Д. Давлятшиным (2019).

Полученные по генетическим горизонтам показатели C:N нами были пересчитаны по 10 см и расчетным слоям – 0–30, 0–50 и 0–100 см (табл. 18, 19). Отношение C:N обычно варьирует около 10, оно несколько шире в пахотном горизонте, чем в нижележащих слоях и метровой толще.

Таблица 18 – Статистические параметры C:N в пахотных почвах Республики Татарстан

Гори- зонт	n	Параметр					
		Min	Max	M	$\sigma$	$\pm m$	V, %
Почвы кислого ряда – дерново-подзолистые, серые лесные почвы							
A <sub>пах</sub>	26	9,0	13,8	12,4	1,67	0,33	13,5
A <sub>2</sub>	7	8,6	12,7	12,0	1,72	0,65	14,3
A <sub>2</sub> B	13	8,0	12,7	11,3	1,60	0,44	14,8
B <sub>1</sub>	12	8,0	12,5	10,5	1,73	0,50	16,5
B <sub>2</sub>	8	8,0	13,0	10,3	2,15	0,76	20,9
B <sub>3</sub>	3	7,0	11,9	9,5	2,66	1,54	28,0
BC	5	6,5	11,1	9,3	1,12	0,50	12,0
C	5	6,1	9,8	7,2	0,78	0,35	10,9
Черноземы лесостепные (оподзоленные, выщелоченные и типичные)							
A <sub>пах</sub>	99	8,6	15,7	11,4	1,53	0,15	13,4
A <sub>1</sub>	71	8,6	15,9	11,1	1,47	0,17	13,2
AB	66	7,0	14,9	10,4	1,83	0,22	17,6
B <sub>1</sub>	40	7,2	11,9	9,4	11,1	0,18	11,9
B <sub>2</sub>	15	7,6	11,9	8,8	1,39	0,36	15,9
B <sub>3</sub>	4	7,5	1,5	8,1	1,37	0,68	16,8
BC	8	6,9	10,0	7,3	1,46	0,52	19,9
C	9	5,8	8,5	7,1	1,31	0,44	19,0

Таблица 19 – Средние показатели C:N для расчета общего азота в пахотных почвах по содержанию гумуса

Слой, см	П <sup>д</sup>	Л <sub>1</sub>	Л <sub>2</sub>	Л <sub>3</sub>	Ч <sup>оп</sup>	Ч <sup>в</sup>	Ч <sup>т</sup>
0-10	12,6	12,5	12,4	12,0	11,6	11,4	11,2
10-20	12,6	12,5	12,4	12,0	11,6	11,4	11,2
20-30	11,5	11,4	11,3	11,3	11,3	11,1	10,9
30-40	11,1	10,6	10,5	10,2	11,0	10,8	10,7
40-50	10,6	10,2	10,2	10,2	10,1	10,0	10,0
50-60	10,0	9,7	9,5	9,5	9,4	9,3	9,3
60-70	9,5	9,3	9,3	9,2	9,2	9,2	9,2
70-80	8,9	8,9	8,9	8,9	8,8	8,8	8,8
80-90	8,7	8,6	8,6	8,5	8,5	8,4	8,4
90-100	8,6	8,5	8,2	8,1	8,1	8,0	7,9
0-30	12,2	12,1	12,0	11,8	11,5	11,3	11,1
0-50	11,7	11,4	11,4	11,1	11,1	10,9	10,8
0-100	10,4	10,2	10,1	10,0	10,0	9,8	9,8

Примечание. П<sup>д</sup> – дерново-подзолистые почвы; Л<sub>1</sub>, Л<sub>2</sub> и Л<sub>3</sub> – соответственно светло-серые лесные, серые лесные и темно-серые лесные почвы; Ч<sup>оп</sup>, Ч<sup>в</sup> и Ч<sup>т</sup> – черноземы оподзоленные, черноземы выщелоченные и черноземы типичные.

Используя содержание гумуса, показатели C:N рассчитано содержание общего азота в слоях по 10, 0–30, 0–50 и 0–100 см (табл. 20).

Таблица 20 – Запасы гумуса и общего азота в пахотных почвах Республики Татарстан

Почвы	Гумус, т/га, см			Общий азот, т/га, см		
	0-30 см	0-50 см	0-100 см	0-30 см	0-50 см	0-100 см
Дерново-подзолистые	73,0	93,1	125,1	3,47	4,62	6,98
Светло-серые лесные	100,0	120,7	158,5	4,79	6,14	9,01
Серые лесные	139,8	187,3	240,2	6,76	9,53	13,79
Темно-серые лесные	180,3	250,8	318,9	8,91	13,10	18,50
Черноземы оподзоленные	233,0	324,5	403,8	11,75	16,96	23,42
Черноземы выщелоченные	257,2	376,7	493,9	13,20	20,04	29,23
Черноземы типичные	239,7	371,8	527,7	13,46	20,93	32,30

Расчетный слой 0–30 см соответствует существующей (потенциальной) мощности пахотного горизонта, второй 0–50 см характеризует зону размещения основной корневой системы сельскохозяйственных культур и метровый слой дает представление о запасах гумуса и общего азота в почвах, символизируя об уровне почвенного плодородия.

В пахотных почвах содержание гумуса изменяется от 73,0 до 257,7 т/га в пахотном горизонте, 93,1–389,8 т/га в полуметровом слое и 125,1–545,7 т/га в метровой толще. При этом содержание общего азота в пахотном горизонте изменяется от 3,47 до 13,46 т/га, в полуметровом слое – 4,68–20,85 т/га, а метровой толще – 7,09–30,98 т/га. Общие запасы этих продуктов почвообразования указывают на уровень потенциального плодородия почв (табл. 21).

Запасы гумуса пахотного горизонта дерново-подзолистых почв достаточны для формирования 98 т/га зерна яровой пшеницы, а типичных черноземов – 385 т/га. Этих запасов хватит на 100 лет при условии формирования урожая 3,85 т/га в год. По метровой толще на черноземах типичных потенциальные возможности резко возрастают и достигают до 885 т/га в метровой толще. Расчеты дают представление о дифференциации уровня плодородия в зональных пахотных почвах.



Таблица 21 – Запасы общего азота в пахотных почвах республики и возможности формирования эквивалентного количества зерна яровой пшеницы

Почвы	Общий азот, т/га			Пшеница яровая, т/га		
	0-30 см	0-50 см	0-100 см	0-30 см	0-50 см	0-100 см
Дерново-подзолистые	3,43	4,68	7,09	98	134	203
Светло-серые лесные	4,78	5,93	8,34	137	169	238
Серые лесные	6,73	9,38	12,81	192	268	366
Темно-серые лесные	8,95	12,90	17,30	256	371	494
Черноземы оподзоленные	11,71	16,72	21,85	336	478	624
Черноземы выщелоченные	13,20	19,83	27,54	377	567	787
Черноземы типичные	13,46	20,85	30,98	385	596	885

Сочетание содержания гумуса, общего азота и C:N представлены в зональном ряду пахотных почв нашей республики (табл. 22, 23).

Таблица 22 – Содержание различных форм органического азота в зональных почвах Татарстана (Куркаев, Шеуджен, 2000)

Почвы	Общий N в слое 0-100 см, т/га	Формы азота, % от общего N		
		1	2	3
Дерново-подзолистые	6,6	8-11	10-20	69-82
Серые лесные почвы	12,0	8-13	15-24	63-77
Черноземы типичные	35,8	12-15	18-22	58-69

Примечание. 1 - сумма минерального и легкогидролизующего азота; 2- трудногидролизующий азот; 3 - негидролизующий азот.

Однако доступность почвенного азота зависит от корневой системы растений. Обычно корневая система всех растений поглощает минеральную форму азота, что представлена нитритами и аммонием, концентрация которых в почвах, как правило, меньше 2% от общего его содержания (Аканова и др., 2015). Кроме того, в почвах различают минеральный, органический и газообразный азот, отличающиеся по степени доступности. По В.Н. Кудярову (1989) органическая форма азота подразделяется на легкогидролизующий, трудногидролизующий и негидролизующий азот, среди которых негидролизующая форма преобладает (Куркаев и Шеуджен, 2000).

Среди вышперечисленных форм азота на долю легкогидролизующего приходится всего от 8 до 15% от общего его количества.

Таблица 23. Содержание гумуса, общего азота, отношение С:N и плотности в пахотных почвах зонального ряда почв тяжелого гранулометрического состава (тяжелые суглинки и легкие глины) в Республике Татарстан (по Давлятшину, Бакирову, 2010; Гаффаровой, Давлятшину, 2019)

Показатель	Слой почвы, см												
	0-10	10-20	20-30	30-40	40-50	50-60	60-70	70-80	80-90	90-100	0-30	0-50	0-100
Дерново-подзолистые почвы													
Гумус, %	2,3	2,3	1,14	0,71	0,65	0,58	0,53	0,48	0,42	0,40	1,91	1,41	0,95
т/га	27,8	29,0	16,2	10,9	<b>10,0</b>	<b>9,0</b>	8,5	7,7	6,6	6,2	73,0	<b>93,9</b>	<b>131,9</b>
Азот общий, %	0,106	0,106	0,057	0,037	0,036	0,034	0,032	0,031	0,028	0,027	0,090	0,068	0,049
т/га	1,28	1,33	<b>0,81</b>	0,57	0,55	<b>0,53</b>	0,52	0,50	0,44	0,42	<b>3,42</b>	<b>4,54</b>	<b>6,95</b>
С : N	12,6	12,6	11,5	11,1	10,6	9,8	9,5	8,9	8,7	8,6	12,2	11,7	10,4
Плотность, г/см <sup>3</sup>	1,21	1,26	1,42	1,53	1,54	1,56	1,60	1,60	1,58	1,55	1,30	1,39	1,49
Светло-серые лесные почвы													
Гумус, %	2,8	2,8	2,23	0,72	0,68	0,64	0,50	0,48	0,44	0,42	2,61	1,85	1,17
т/га	<b>33,6</b>	<b>35,6</b>	30,8	10,6	10,1	9,6	7,6	7,3	<b>6,7</b>	6,5	100,0	120,7	<b>158,4</b>
Азот общий, %	0,130	0,130	0,113	0,039	0,039	0,038	0,031	0,031	0,030	0,029	0,124	0,090	0,061
т/га	1,57	1,64	1,57	0,58	0,58	0,57	0,47	0,47	0,46	0,45	4,78	5,94	8,36
С : N	12,5	12,5	11,4	10,6	10,2	9,7	9,3	9,0	8,5	8,3	12,1	11,4	10,2
Плотность, г/см <sup>3</sup>	1,20	1,27	1,38	1,47	1,49	1,50	1,51	1,52	1,52	1,54	1,28	1,36	<b>1,44</b>
Серые лесные почвы													
Гумус, %	4,00	4,00	3,21	2,25	1,05	0,85	0,78	0,69	0,62	0,55	3,74	2,90	1,80
т/га	48,0	48,4	<b>42,4</b>	32,2	15,3	<b>12,4</b>	11,8	10,5	9,5	8,4	<b>138,8</b>	<b>186,3</b>	<b>238,9</b>
Азот общий, %	0,187	0,187	0,165	0,124	0,061	0,052	0,050	0,048	0,045	0,041	0,180	0,145	0,096
т/га	2,24	2,24	2,23	1,78	0,89	0,78	0,76	0,72	0,69	0,63	6,71	9,38	12,96
С : N	12,4	12,4	11,3	10,5	10,0	9,5	9,0	8,4	8,0	7,7	12,0	11,3	9,9
Плотность, г/см <sup>3</sup>	1,20	1,21	1,32	1,43	1,46	1,46	1,51	1,52	1,53	1,53	1,24	1,32	1,42
Темно-серые лесные почвы													
Гумус, %	5,34	5,34	5,15	<b>3,10</b>	1,80	1,25	1,20	0,95	0,60	0,50	<b>5,28</b>	4,15	2,52
т/га	58,2	58,7	64,4	43,4	26,1	18,8	<b>18,1</b>	14,4	9,2	7,7	181,3	250,8	<b>319,0</b>
Азот общий, %	0,258	0,258	0,264	0,176	0,108	0,076	0,076	0,063	0,041	0,036	0,260	0,213	0,136
т/га	<b>2,81</b>	2,84	3,3	2,47	1,56	1,15	<b>1,14</b>	0,96	<b>0,63</b>	<b>0,055</b>	<b>8,95</b>	<b>12,98</b>	<b>17,42</b>
С:N	12,0	12,0	11,3	10,2	9,7	9,5	9,2	8,7	8,4	8,1	<b>11,8</b>	11,0	<b>9,9</b>
Плотность, г/см <sup>3</sup>	1,09	1,10	1,25	1,40	1,45	1,50	1,51	1,52	1,53	1,54	<b>1,15</b>	<b>1,26</b>	<b>1,39</b>

Продолжение табл. 23

Показатель	Слой почвы, см												
	0-10	10-20	20-30	30-40	40-50	50-60	60-70	70-80	80-90	90-100	0-30	0-50	0-100
Черноземы оподзоленные													
Гумус, %	6,91	6,91	6,80	4,80	2,50	1,95	1,40	1,15	0,80	0,60	6,87	5,58	3,38
т/га	76,0	78,8	78,2	60,0	31,5	25,4	18,8	15,8	11,0	8,30	233,0	324,5	403,8
Азот общий, %	0,346	0,346	0,349	0,253	0,136	0,114	0,085	0,072	0,055	0,043	0,347	0,286	0,180
т/га	3,80	<b>3,94</b>	4,01	3,16	<b>1,71</b>	1,49	<b>1,13</b>	<b>0,99</b>	0,75	<b>0,60</b>	<b>11,75</b>	<b>16,62</b>	<b>21,59</b>
С : N	11,6	11,6	11,3	11,0	10,7	9,9	9,6	9,2	8,5	8,1	11,5	11,2	10,2
Плотность, г/см <sup>3</sup>	1,10	1,14	1,15	1,25	1,26	1,30	1,34	1,37	1,38	1,39	1,13	1,18	<b>1,27</b>
Черноземы выщелоченные													
Гумус, %	7,65	7,65	7,60	5,65	4,05	3,05	2,00	1,65	1,40	0,85	7,63	6,52	4,16
т/га	84,2	86,4	86,6	68,9	50,6	37,8	26,0	22,4	19,2	11,8	257,2	376,7	493,9
Азот общий, %	0,389	<b>0,394</b>	0,397	0,303	0,224	0,182	0,123	0,106	0,093	0,059	0,392	0,340	0,226
т/га	4,28	4,40	<b>4,53</b>	<b>3,70</b>	2,80	2,26	1,60	<b>1,45</b>	1,28	<b>0,83</b>	<b>13,21</b>	<b>19,71</b>	<b>27,08</b>
С : N	11,4	11,4	11,1	10,8	10,5	9,7	9,4	9,0	8,7	8,3	<b>11,3</b>	<b>11,0</b>	<b>10,0</b>
Плотность, г/см <sup>3</sup>	1,10	1,13	1,14	1,22	1,25	1,24	1,30	1,36	1,37	1,39	1,12	1,17	1,25
Черноземы типичные													
Гумус, %	7,93	7,93	7,30	6,20	4,95	4,15	3,40	2,50	1,60	0,90	7,72	6,86	4,69
т/га	86,4	88,8	82,5	73,2	58,9	50,2	42,2	31,2	20,6	11,7	257,7	389,8	545,7
Азот общий, %	<b>0,411</b>	0,411	0,388	0,336	0,276	0,253	0,214	0,165	0,109	0,064	0,403	0,364	0,263
т/га	<b>4,48</b>	4,60	4,39	3,97	3,28	<b>3,07</b>	2,66	2,06	1,41	0,84	<b>13,47</b>	<b>20,72</b>	<b>30,76</b>
С : N	11,2	11,2	10,9	10,7	10,4	9,5	9,2	8,8	8,5	8,1	11,1	10,9	9,8
Плотность, г/см <sup>3</sup>	1,09	1,12	1,13	1,18	1,19	1,21	1,24	1,25	1,29	1,30	1,11	1,14	1,20

Статистические параметры содержания форм азота в пахотном слое почвы представлены в таблице 24.

Таблица 24 – Статистические параметры содержания общего, минерального и легкогидролизуемого форм азота в черноземах (гор. А<sub>пах</sub>) лесостепи, мг/кг и %

Показатель	Параметры					
	max	min	M	$\sigma$	$\pm m$	V, %
Группа черноземов (оподзоленных, типичных и выщелоченных), А <sub>пах</sub>						
Общий азот	7 900	2 420	4 801	1 107,1	195,7	23,1
Минеральная форма	43,0	11,0	23,9	9,2	1,6	38,4
то же, в % от общего азота	1,08	0,2	0,5	0,22	3,9	42,9
Легкогидролизуемый азот	1379	245	732,4	217,8	38,5	29,7
то же, в %	21	8,5	15,1	3,3	0,6	21,7

Таким образом, минеральные формы азота в почвах, включая и черноземы, содержатся в ограниченном количестве и составляют до 2% от его общего содержания. Пахотные горизонты лесостепных черноземов содержат 23,9 мг/кг почвы минерального азота, а нижняя часть гумусового горизонта (А<sub>1</sub> и АВ) – 12,1–14,4 мг/кг, что в относительных единицах – 0,45–0,50% от общего его содержания.

Анионные формы азота в почвах подвижны в водном растворе, к тому же они имеют отрицательную способность физического поглощения, свободно передвигаются под гравитационной силой вниз, либо к поверхности почвы за счет капиллярных сил. Отмеченные особенности анионов азота проявляются при достаточном атмосферном увлажнении в первом случае, обуславливая перемещение нитратов и нитритов ниже пахотного горизонта, создавая условия их относительного накопления в нижних горизонтах. Катионная форма NH<sub>4</sub><sup>+</sup> менее подвижна за счет физико-химической поглотительной способности.

В пахотном горизонте зональных почв содержание минеральных форм азота рассчитано в кг/га (табл. 25). В зональном ряду в пахотном горизонте мощностью 30 см накапливается 41,2–80,8 кг/га азота. Однако поглощение такого количества азота корневой системой растений несколько дифференцируется. В почвах кислого ряда обеспеченность другими макроэлементами несколько ниже, чем в черноземах, что снижает коэффициент поглощения мине-

рального азота до 50%, а в черноземах повышает до 60 процентов.

Таблица 25 – Расчет доз азотных удобрений по обеспеченности почв минеральными формами азота на программируемую урожайность зерна яровой пшеницы

Показатель	П <sup>д</sup>	Л <sub>1</sub>	Л <sub>2</sub>	Л <sub>3</sub>	Ч <sup>оп</sup>	Ч <sup>в</sup>	Ч <sup>т</sup>
	мг/1 000 г						
Содержание минерального азота от общего, %	3 430	4 780	6 730	8 950	11 750	13 200	13 460
Минеральный азот, % от общего	1,2	1,1	1,0	0,8	0,65	0,6	0,6
Минеральный азот, в кг в слое 0-30 см	41,2	52,6	67,3	71,6	76,4	79,2	80,8
Доступное количество азота, кг*	20,6	26,3	33,6	35,8	45,8	47,5	48,5
Урожайность по содержанию азота, т/га	0,59	0,75	0,96	1,02	1,31	1,36	1,38
Содержание азота в урожае в 3,0 т/га	105	105	105	105	105	105	105
Необходимое количество азота У <sub>3,0</sub>	84,4	78,7	71,4	69,2	59,2	57,5	56,5
Доза N удобрений при У <sub>3,0</sub> 70 % усвоении	121	112	102	99	85	82	81
Содержание азота в урожае в 4,0 т/га	140	140	140	140	140	140	140
Необходимое количество азота У <sub>4,0 т/га</sub>	119,4	113,7	106,4	104,2	94,2	92,5	91,5
Доза N удобрений при У <sub>4,0 т/га</sub> и 70 % усвоении	171	162	152	149	135	132	131

Примечание. Здесь и далее Д<sup>п</sup> – дерново-подзолистые почвы; Л<sub>1</sub>, Л<sub>2</sub>, Л<sub>3</sub> – соответственно – светло-серые, серые и темно-серые лесные почвы; Ч<sup>оп</sup>, Ч<sup>в</sup> и Ч<sup>т</sup> – черноземы оподзоленные, черноземы выщелоченные и черноземы типичные. Содержание минерального азота рассчитано с коэффициентом 0,5 для группы почв кислого ряда, для черноземов с коэффициентом – 0,6.

Таким образом, количество поглощаемого азота корневой системой составляет 20,6–48,5 кг/га. Такое количество азота может формировать до 0,59–1,38 т/га зерна яровой пшеницы. Такой уровень урожайности зерновых культур согласуется с распределением продуктивности почв данного ряда в экстенсивном земледелии (Соболев, 1965).

Приведенные данные позволяют также рассчитать дозы азотных удобрений для получения планируемой (прогнозируемой) определенной урожайности яровой пшеницы в разрезе зональных пахотных почв. Так, для формирования 3,0 т/га зерна яровой пшеницы необходимо 105 кг/га минерального азота. Раз-

ница между 105 кг и количеством минерального азота, выделяемого при минерализации гумуса зональных почв равна 84,4–93,5 кг/га, что указывает необходимое количество дополнительного азота для создания такого урожая. С учетом коэффициента использования азота минеральных удобрений его количество возрастает до 54–121 кг/га.

По нашим расчетам для формирования 4,0 т/га зерна доза внесения азотных удобрений изменяется от 131 до 171 кг/га, где минимальное количество азотных удобрений занимают черноземы типичные, а максимальное – дерново-подзолистые почвы.

Ниже приводится второй расчет количества азотных удобрений под планируемый урожай яровой пшеницы 3,0 и 4,0 т/га. Расчеты проводились исходя из достигнутого уровня урожая зерновых культур по Республике Татарстан. По данным наших 477 полевых опытов установлена следующая средняя урожайность зерновых культур за счет естественного плодородия без применения удобрений (контрольные варианты опытов).

1. Дерново-подзолистые почвы – 1,16 т/га;
2. Серые лесные почвы – 1,50 т/га
3. Черноземы лесостепные – 1,97 т/га.

Для формирования такого количества урожая из почвы извлекается 40,6–69,0 кг азота (табл. 26). Для формирования урожая 3,0 т/га необходимо 36,0–64,4 кг/га азота, с учетом коэффициента использования азота из удобрений (70%) доза удобрений возрастает до 51–92 кг/га. Аналогичные расчеты для урожая яровой пшеницы в 4,0 т/га количество необходимого внесения удобрений возрастает до 101–142 кг/га.

Таблица 26 – Расчет доз азотных удобрений по уровню плодородия почв минеральными формами азота на программируемую урожайность зерна яровой пшеницы

Показатель	П <sup>д</sup>	Л <sub>1-3</sub>	Ч <sup>оп,в, т</sup>
Урожайность яровой пшеницы при современном уровне плодородия	1,16	1,50	1,97
Содержание азота в урожае, кг/га	40,6	52,5	69,0
Содержание азота при урожайности яровой пшеницы 3,0т/га	105	105	105
Разница в N при У <sub>3,0</sub> и У <sub>плод</sub>	64,4	52,5	36,0
Удобрения N при 70 % усвоении	92	75	51
Содержание азота при урожае яровой пшеницы 4,0 т/га	140	140	140
Разница в N при У <sub>4,0</sub> и У <sub>плод</sub>	99,4	87,5	71,0
Доза азотных удобрений при У <sub>4,0</sub> и 70% усвоении	142	125	101

В заключение следует отметить, что:

1. Запасы гумуса и сосредоточенное в них содержание общего азота количественно характеризуют уровень потенциального плодородия зональных почв. Эквивалентное количество урожая яровой пшеницы по запасам общего азота иллюстрирует и позволяет оценивать дифференциацию потенциального уровня естественного плодородия почв.

2. Наиболее доступные корневой системе формы соединений азота в пахотном горизонте представляют его минеральные формы, содержание которых составляет 23,9–25,8 мг/кг почвы или 0,5–1,0 % от содержания общего азота. Показатели минерального азота косвенно подтверждают большую подвижность азота в почвах кислого ряда, чем в черноземах.

3. Для получения планируемой урожайности зерна яровой пшеницы на уровне 3,0 т/га (У<sub>3,0</sub>) дополнительно необходимо вносить 92–121 кг/га, а для У<sub>4,0</sub> – 142–171 кг/га д.в. азотных удобрений с учетом их усвоения культурой. При этом потребности в азотных удобрениях в дерново-подзолистых почвах выше на 50 кг/га, чем на лесостепных черноземах.

### 3.3. Параметры фосфорного питания во временном ряду яровой пшеницы

Пахотные горизонты суглинистых и глинистых разновидностей зональных пахотных почв Республики Татарстан содержат  $0,167 \pm 0,056$  % валового фосфора с коэффициентом вариации 33,6 процента. В варьировании величины этого показателя проявляется роль почвообразующих пород, а также типовой и подтиповой принадлежности почв. По нашим расчетам, пахотный горизонт дерново-подзолистых почв содержит  $0,107 \pm 0,030$  % валового фосфора, серых лесных –  $0,143 \pm 0,045$ , черноземов –  $0,208 \pm 0,042$  процента. Такое распределение количественно отражает роль биологических факторов в его накоплении. В профилном распределении этого элемента в дерново-подзолистых и серых лесных почвах важную роль играют элювиальные и иллювиальные процессы (табл. 27).

Таблица 27 – Статистические параметры валового фосфора в пахотных почвах Республики Татарстан (суглинистые и глинистые, горизонт  $A_{\text{пах}}$ )\*

Почвы	n	max.	min.	M	$\sigma$	$\pm m$	C, %
Дерново-подзолистые	10	0,153	0,074	0,107	0,030	0,010	28,4
Серые лесные	48	0,278	0,060	0,143	0,045	0,006	31,6
Черноземы	43	0,290	0,130	0,208	0,042	0,006	20,3
Все	101	0,290	0,060	0,167	0,056	0,006	33,6

\*Данные по Давлятшину и Лукманову, 2016; n, max., min., M,  $\pm m$ ,  $\sigma$ , C – соответственно число повторностей, максимальные и минимальные значения содержания валового фосфора, средняя ошибка арифметической средней и коэффициент вариации.

При выветривании горных пород и минералов в почвенный раствор поступают соли фосфорной кислоты, благодаря которым, особенно на начальной стадии процесса почвообразования происходит пополнение запасов подвижного его фонда, доступного корневой системе. При этом, чем больше валового фосфора в почвах, тем больше и концентрация его подвижных форм. На сегодняшний день процесс выветривания горных пород и минералов в почвах полностью не завершён.

В условиях интенсификации земледелия дополнительными источниками подвижного фосфора становятся органические и минеральные удобрения, хи-



мические мелиоранты и др. (Сычев, 2003, 2019; Войтович, и др. 2005; Минеев, 2006; Ивойлов, 2015; Шафран, 2015; Давлятшин, Лукманов, 2016 и другие региональные источники.). При этом вклад минеральных удобрений является наиболее существенным (Лыскова, 2017; Кузьминых, Морковкин, 2020).

О насыщенности пахотных почв минеральными и органическими удобрениями, сведения об их фосфоритовании и известкования ярко иллюстрируются данными, представленными в таблице 28.

Таблица 28 – Насыщенность 1 га пашни минеральными и органическими удобрениями, площади известкования и фосфоритования кислых почв в Буинском муниципальном районе Республики Татарстан

№ п/п	Годы	Минеральные, кг д.в./га	Органические		НРК, кг д.в.	Известкование, тыс. га	Фосфоритование, тыс. га
			т/га	кг д.в./га			
1.	1970	19,2	1,9	23,8	43	0,0	0,0
2.	1971	64,0	2,9	36,2	100,2	0,0	0,0
3.	1972	64,0	2,9	36,2	100,2	0,0	0,0
4.	1973	64,0	2,9	36,2	100,2	0,0	0,0
5.	1974	41,0	2,0	25,0	66,0	0,0	0,0
6.	1975	55,5	2,5	31,2	86,7	0,0	0,0
7.	1976	70,0	3,0	37,5	107,5	0,0	0,0
8.	1977	63,0	3,0	37,5	100,5	0,0	0,0
9.	1978	66,0	3,0	37,5	103,5	0,0	0,0
10.	1979	57,0	2,6	32,5	89,5	0,0	0,0
11.	1980	67,0	3,6	45	112,0	0,0	1,6
12.	1981	68,0	3,9	48,8	116,8	0,6	1,4
13.	1982	71,0	4,7	58,8	129,8	0,6	0,0
14.	1983	69,0	3,7	46,2	115,2	0,9	0,0
15.	1984	84,0	3,8	47,5	131,5	1,7	0,0
16.	1985	87,0	4,7	58,8	145,8	1,5	0,0
17.	1986	107,0	5,8	72,5	179,5	2,4	1,0
18.	1987	120,0	5,7	71,2	191,2	1,5	3,0
19.	1988	131,0	5,8	72,5	203,5	2,1	2,7
20.	1989	91,0	5,2	65,0	156,0	2,4	0,4
21.	1990	109,0	4,3	53,8	162,8	2,1	1,5
22.	1991	99,0	3,7	46,2	145,2	2,1	1,2
23.	1992	145,0	4,4	55,0	200,0	2,3	1,22
24.	1993	169,0	6,5	81,2	250,2	2,0	1,5
25.	1994	104,0	2,5	31,2	135,2	2,2	2,0
26.	1995	93,0	2,7	33,8	126,8	2,0	0,5
27.	1996	109,0	1,7	21,2	130,2	1,7	0,3
28.	1997	152,0	1,9	23,8	175,8	1,8	0,0
29.	1998	81,0	1,0	12,5	93,5	2,2	0,0
30.	1999	67,0	1,1	13,8	80,8	2,4	0,0

Продолжение табл. 28

№	Год	Минеральные, кг д.в./га	Органические	НРК, кг д.в.	Известкование, тыс. га	Фосфоритование, тыс. га	№
31.	2000	101,0	1,8	22,5	123,5	5,1	0,0
32.	2001	82,9	2,8	35,0	117,9	4,9	0,0
33.	2002	54,8	2,4	30,0	84,8	6,3	0,0
34.	2003	60,8	2,7	33,8	94,6	5,6	0,0
35.	2004	111,5	1,6	20,0	131,5	5,6	0,0
36.	2005	133,8	0,6	7,5	141,3	6,7	0,0
37.	2006	92,3	0,9	10,5	102,8	5,8	0,0
38.	2007	92,3	0,9	10,5	102,8	5,8	0,0
39.	2008	84,9	0,5	6,2	91,1	1,2	0,0
40.	2009	77,1	2,1	26,2	103,3	4,7	0,0
41.	2010	91,9	0,0	0,0	91,9	4,7	0,0
42.	2011	66,4	1,1	13,8	80,2	4,7	0,0
43.	2012	88,5	0,9	10,5	99,0	4,2	0,0
44.	2013	59,7	0,8	10,0	69,7	2,3	0,0
45.	2014	54,3	2,1	26,2	80,5	2,7	0,0
46.	2015	51,2	0,9	10,5	61,7	3,7	0,0
47.	2016	43,7	1,0	12,5	56,2	3,3	0,0
48.	2017	59,4	0,0	0,0	59,4	3,2	0,0
49.	2018	57,7	3,2	40,0	97,7	3,8	0,0
Сумма		3948,7	129,7	1618,3	5571,3	115,0	18,3
Среднее		80,6	2,65	33,0	113,6	2,35	0,773

Промышленные минеральные фосфорные удобрения являются наиболее распространенными. Они используются для основного, предпосевного внесения. Среди них наиболее распространенными являются простой и двойной суперфосфат, преципитат и др. В настоящее время чаще используются комплексные, сложные и комбинированные удобрения с участием двух, трех и более элементов питания.

По данным Министерства сельского хозяйства и Продовольствия Республики Татарстан за 1970–2018 годы каждый гектар пашни района получил 3948,7 кг/га д.в. минеральных удобрений, в составе которых доля фосфорных составила 30 процентов. Таким образом, насыщенность пашни фосфорными удобрениями составила 1184,6 кг/га д.в. или 1185 кг/га.

Со времен освоения природных почв в земледелии традиционным удобрением было и остается органическое удобрение. По данным Агрохимической

службы Республики («ЦАС «Татарский») 1 тонна органических удобрений, представленных в виде навоза, содержит 5 кг азота, 2,5 кг окиси фосфора, 5 кг окиси калия. За этот период гектар пашни получил 324,2 кг/га д.в. фосфора или 324 кг/га. В последние годы состав органических удобрений расширился, ассортимент включает традиционный навоз, торф, специально приготовленные компосты, растительные отходы (солома, мякина и др.), отходы переработки продуктов сельского хозяйства (жмых сахарного производства, подсолнечника и др.). К таким удобрениям следует также относить сидераты (зеленые удобрения), сапропель. Содержащийся в них фосфор растениям доступным становится после минерализации органических соединений.

Третьим источником подвижного фосфора в пахотных почвах являются фосфориты, так называемые местные аграрные руды. Фосфоритование обычно осуществляется на кислых почвах, одновременно нейтрализуя кислотность и обогащая пахотный горизонт подвижным фосфором. Оно проводилось в 1980–1996 годы на общей площади 18,3 тыс. га. Фосфоритная мука добывается в соседнем месторождении Тетюшского муниципального района. Исходя из того, что мелиорируемый район находится на юге лесостепи, где в почвенном покрове преобладают черноземы выщелоченные и оподзоленные, а серые лесные и дерново-подзолистые почвы являются лишь субдоминантами. Именно, последнее определяет норму внесения фосфоритной муки. Обычно фосфоритование осуществляется нормой 200, 400 и 600 кг д.в. В изучаемом районе она составила 200 и 400 кг/га д.в. и в среднем равна 300 д.в./га. Всего фосфоритование проводилось на площади 18,3 тыс. га с внесением 300 кг фосфорной руды (5490 т д.в.  $P_2O_5$ ).

Общая площадь пашни в начале наблюдения составляла 103,1 тыс. га, а в настоящее время 96,1 тыс. га. Поэтому для проведения расчетов принято среднее значение 100 тыс. га. Исходя из этого, насыщенность каждого гектара пашни составила 54,9 кг  $P_2O_5$  д.в.

Окончательный баланс фосфора приведен в таблице 29.

Таблица 29 – Баланс фосфора под яровой пшеницей в расчете на 1 га за 1970–2018 годы

Показатель	Общее количество	Доля P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Количество P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> , кг/га
Приходные статьи баланса			
Минеральные удобрения кг д.в.	3 948,7	30 %	1 185
Органические удобрения, т	129,7	2,5 кг/т	324
Фосфоритование на площади 18,3 тыс. га	$18\,300 \times 300 = 5\,490\,000$	100 %	54,9
Всего	–	–	1 563,9
Расходные статьи баланса			
Вынос с урожаем за вычетом по- севной нормы, равной 200 кг/га	$1\,316,7 - 98,0 = 1\,218,7$ кг	12 кг/т	1 462,4
Вынос при эрозии, 10 т/га с эро- дируемой площади	$10 \times 48 \times 0,435$ т или 208 800 кг $208\,800 \times 105,4 =$ 22 007 520 мг = 222,0 кг/га	105,4 мг/кг	22,0 кг
Расход на повышение плодородия почв:	с 86,6 до 125,9 мг/кг почвы		
а) слой 0-20 см;		37,5 мг/кг	90,4
б) слой 20-30 см		37,5 мг/кг	45,2
Всего	–	–	1 620,0
Разница	–	–	–56,1

Дополнительным источником пополнения фонда фосфора также является перенос корневой системой растений фосфатов из нижних слоев почвы и почвообразующей породы в пахотные горизонты. Эту роль активно выполняют бобовые многолетние травы и другие культуры (например, рапс) со стержневой корневой системой. Участие этого фактора, на наш взгляд, небольшое, а проблема является актуальной, но слабо изученной.

Расходные статьи баланса P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> на территории республики составляют отчуждение с урожаем и вынос в составе мелкозема при водной эрозии. Как было отмечено выше, в республике зерновые культуры занимают основную посевную площадь, а среди них яровая пшеница является ведущей продовольственной культурой. Все зерновые культуры для формирования 1 тонны основной продукции используют 12 кг окиси фосфора, что позволяет использовать в расчетах баланса фосфора одну лишь культуру. За изучаемый период с каждого гектара было собрано 13,17 т зерна пшеницы или 2,7 т в год, а за вычетом по-

севной нормы (200 кг/га). Отчуждаемое количество фосфора составило 1462,4 кг/га ( $1218,7 \times 1,2$ ).

При общей площади пашни 100 тыс. га эродированные почвы занимают 43,5 процента. При ежегодном смыве 10 т/га мелкозема каждый гектар пашни в среднем теряет 4,35 т/га мелкозема ( $1 \times 0,435 \times 10,0$  т/га). При среднем содержании подвижного фосфора 105,4 мг/кг (среднее между I и IX турами обследования) с каждого гектара пашни ежегодная потеря  $P_2O_5$  равна 458,5 г, что за весь период составляет 22,0 кг/га, или ежегодно 0,46 кг/га.

В то же время разница в содержании подвижных форм фосфора между первым и последним турами обследования равна 39,3 мг/кг почвы, для доведения до такой концентрации фосфора необходимы дополнительные его источники в количестве 90,4 кг/га  $P_2O_5$ .

С этой точки зрения имеет место повышение мощности пахотного горизонта. Как известно, образцы почв на анализы отбираются из слоя 0–0,20 м, что было установлено в 1964 году. В настоящее время мощность пахотного горизонта по республике достигла 0,30–0,40 м и удобрения округленно вносятся в слой 0,30 м. Отсюда, на это мероприятие расходуется дополнительное количество удобрений, равное 43,1 кг/га д.в. При этом нами исходное количество  $P_2O_5$  принято, равным 86,6 мг/кг почвы. Отсюда, за исследуемый период 49 лет статья расходов фосфора возрастает до 1591,7 кг, что указывает на окончательный отрицательный баланс на общую величину 22,6 кг/га фосфора.

В таблице 30 дана сравнительная оценка доли участия факторов от валового содержания фосфора в пахотных почвах. В слое 0–30 см содержится 5761,5 кг валового фосфора. При этом приходные статьи баланса 54,9–1198,0 кг/га, расходные – 22,0–1440,4 кг/га.

Таблица 30 – Сравнительная оценка содержания  $P_2O_5$  в пахотном горизонте (1970–2018 гг.)

Показатели	Содержание $P_2O_5$		
	кг/га	мг/кг почвы	%
Валовой $P_2O_5$	7176	208,0	100
Минеральные удобрения	1 198	34,7	16,7
Органические удобрения	316,2	9,2	4,4
Фосфоритование почв	54,9	1,6	0,8
<b>Сумма</b>	<b>1 569,1</b>	<b>45,5</b>	<b>21,9</b>
Отчуждение урожая	1 440,4	64,2	20,1
Водная эрозия	22,0	0,6	0,3
Повышение плодородия почв (0–0,3 м)	86,2	3,75	1,8
Повышение плодородия почв (0,3–0,4 м)	43,1	3,75	1,8
<b>Сумма</b>	<b>1 591,7</b>	<b>72,3</b>	<b>24,0</b>
$P_2O_5$ в начале обследования	298,8	8,66	4,2
$P_2O_5$ в конце обследования	428,1	12,41	6,0
<b>Баланс, ±</b>	<b>-22,6</b>	<b>-26,8</b>	<b>-2,1</b>

В переводе общего содержания фосфора на мг/кг почвы составляет 208. Доля приходных статей равна 1,6–34,7 мг/100 г почвы или от 0,8 до 16,7 процента. При этом наибольшее долевое участие имеют минеральные удобрения, доля органических удобрений составляет всего 4,4%, доля фосфоритования занимает последнее место с показателями 0,8 процента.

Расходные статьи баланса изменяются от 0,3 до 20,1% от общего содержания его в почвах. На повышение плодородия фосфора расходуется 129,3 кг/га (86,2 +43,1) почвы, или 1,8% от общего содержания. В начале обследования содержание подвижного фосфора составило 4,2%, а в конце наблюдения 6,0 % общих его запасов.

В расходной части ведущее место занимает отчуждение фосфора с урожаем яровой пшеницы (20,1%), далее фосфор расходуется на повышение плодородия (1,8%).

Результаты влияния положительной и расходной статей баланса отражают динамику содержания подвижного фосфора в пахотных почвах анализируемого муниципального района. Средневзвешенное содержание данного макроэлемента повышается от первого цикла обследования до шестого, далее оно колеблется в диапазоне 124,1–131,8 мг/кг почвы (рис.8).

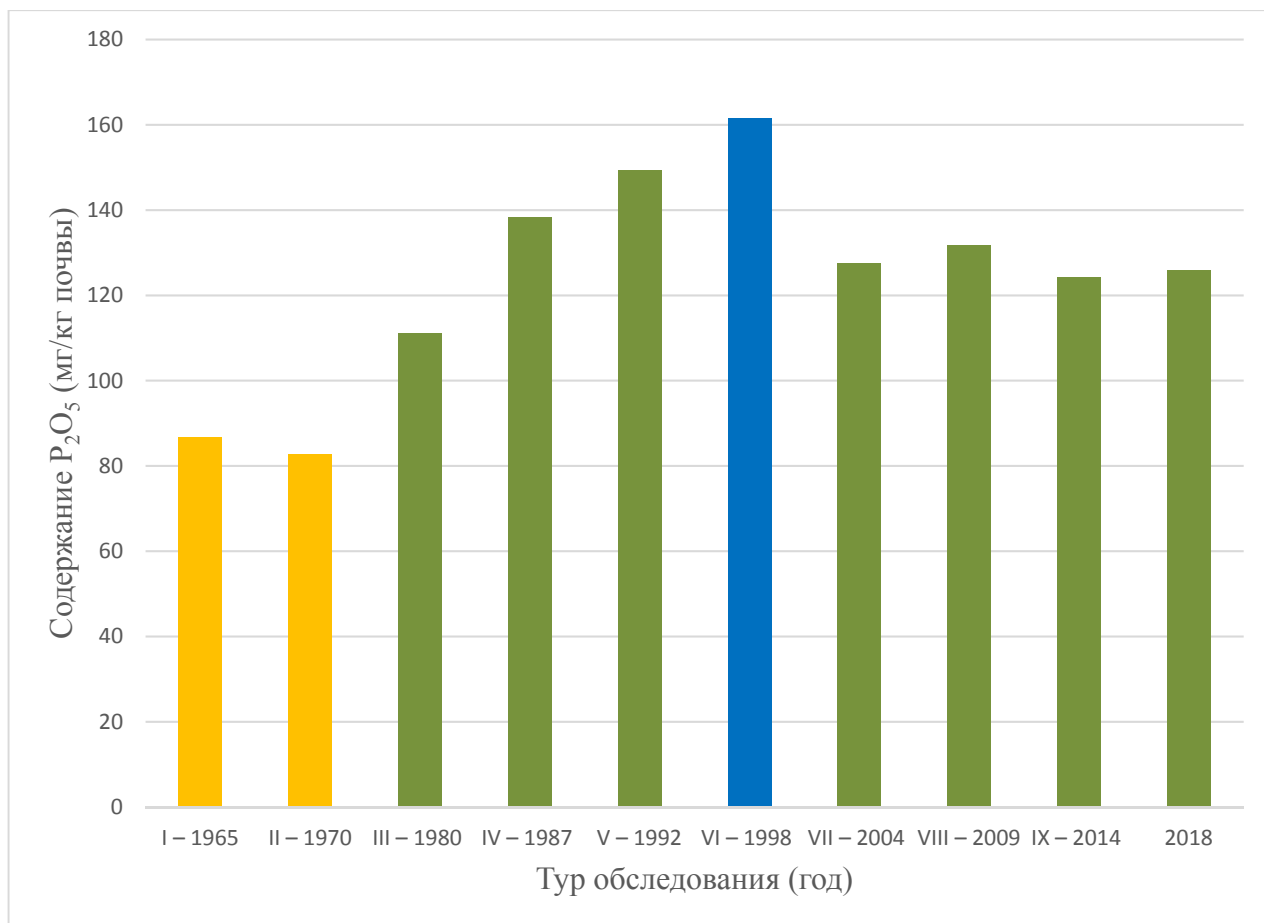


Рисунок 8. Динамика насыщенности выщелоченного чернозема средневзвешенным фосфором

Соответственно в первом и втором турах обследования преобладает средняя степень обеспеченности этим элементом и по мере движения к шестому туру наблюдается трансформация степени обеспеченности до очень высокой. После шестого тура имеет место обратная трансформация степени обеспеченности почв подвижным фосфором и в 2018 г. доминируют средняя и повышенная обеспеченности почв этим элементом питания (табл. 31).

Таким образом, основными источниками поступления фосфора в почву являются минеральные и органические удобрения в виде навоза, сидеральных культур, соломы, пожнивно-корневых остатков и др. Доля местной аграрной руды не значительна, ее роль зависит от площади, дозы их применения при известковании кислых почв, тем не менее, содержание подвижного фосфора имеет тенденцию роста.

Таблица 31 – Динамика содержания подвижного фосфора в пахотных почвах Буинского муниципального района Республики Татарстан

Тур обследования, год и площадь тыс. га	Содержание P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>						Средне- взвешен- ное содер- жание P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> , мг/кг почвы
	очень низкое	низкое	среднее	повы- шенное	высокое	очень высокое	
	тыс. га						
I – 1965 (103,4)	1,7	17,6	54,4	16,4	5,6	4,3	86,6
II – 1970 (114,5)	5,5	16,0	54,1	15,9	5,9	2,6	82,7
III – 1980 (114,3)	1,2	10,1	38,6	24,7	13,9	11,5	111,2
IV – 1987 (114,1)	0,1	2,4	23,2	31,3	20,8	22,2	138,3
V – 1992 (113,2)	0,2	2,6	16,6	25,0	26,2	29,4	149,2
VI – 1998 (113,1)	0,0	0,9	10,9	21,9	28,1	38,2	161,5
VII – 2004 (89,5)	0,4	5,9	27,6	30,6	18,9	16,6	127,4
VIII – 2009 (97,8)	0,1	5,6	25,6	29,2	20,2	19,3	131,8
IX – 2014 (103,0)	0,4	7,4	29,6	29,2	16,6	16,8	124,1
2018 г. (96,1)	0,4	6,8	28,4	28,9	17,2	14,4	125,9

В расходной части особое место занимает отчуждение фосфора в составе урожая яровой пшеницы, смыв водной эрозией и углубление пахотного горизонта до 0,30 м против 0,20 м в 60-е годы прошлого столетия.

Имеющиеся показатели баланса подвижного фосфора в почвах объекта наших исследований свидетельствуют также о пополнении фонда подвижного фосфора за счет выветривания горных пород в условиях лесостепной зоны. Одновременно этот факт подтверждается повышением содержания подвижного фосфора от начала наблюдения (1970 г.) к его концу (2018 г.).

Самое главное, изложенный материал нацеливает на дополнительные исследования для обоснования внесения изменений в отборе образцов и корректировки методики агрохимических обследований пахотных почв до 0,30 м вместо принятых 0,20 м по Российской Федерации.

#### **3.4. Динамика обеспеченности почв Буинского муниципального района Республики Татарстан обменным калием**

В крупномасштабных исследованиях почвенного покрова Республики Татарстан содержание валовых форм калия не определялось, а фактический материал имеется лишь в публикациях сотрудников кафедр почвоведения Казан-



ских федерального и аграрного университетов (Колоскова, 1985; Гайсин, 1989; Гайнутдинов, 1990 и др.). По этой причине в обобщении и обработке фактического материала нами были использованы опубликованные в печати сведения и результаты собственных анализов, проведенных нами на базе ЦАС «Татарский». В составе почвенного покрова пашни нашего исследуемого района преобладают черноземы лесостепные (черноземы оподзоленные, черноземы выщелоченные и черноземы типичные), доля остальных зональных почвенных подтипов незначительна, что определяет высокое содержание калия и подвижных его форм (табл. 32).

Таблица 32 – Статистические параметры содержания валового калия тяжелосуглинистых разновидностей зональных пахотных почв

Горизонт	n	min	max	M	$\sigma$	$\pm m$	C, %
Дерново-подзолистые почвы							
A <sub>пах</sub>	6	1,46	2,35	1,79	0,178	0,073	10,0
Серые лесные почвы							
A <sub>пах</sub>	12	1,47	2,83	1,87	0,359	0,104	19,2
Черноземы лесостепные							
A <sub>пах</sub>	8	1,57	2,35	1,93	0,247	0,087	12,8
Все почвы							
A <sub>пах</sub>	26	1,46	2,83	1,84	0,214	0,042	11,6

Так, среднее содержание калия в пахотном горизонте почв Буинского муниципального района варьирует в диапазоне от 1,79 до 1,93% при размахе отдельных показателей до 1,46–2,83 процента.

Такое распределение предопределяется типовой принадлежностью почв, с одной стороны, и генетическими особенностями почвообразующих пород, с другой. Однако среднее содержание калия ниже среднего значения валового калия в литосфере 2,60% (по Виноградову, 1957), но выше среднего значения в почвах мира (1,36%). Содержание калия в почвах, безусловно, корректируется мобильностью соединений этого элемента в водной среде, что подтверждается результатами исследований ведущих специалистов (Раков, 2013; Плотников, 2019). В магматических породах содержание  $K_2O$  равно 3,88–4,65%

(Дэли, 1936), а в осадочных породах - 0,33–3,28 процента. В.В. Добровольский (2006) осадочные породы характеризует содержанием калия, равным 2,00 процента. Таким образом, снижение среднего содержания калия в осадочных породах, безусловно, связано с мобильностью этого элемента в водной среде. Это положение также подтверждает наличие связи между коэффициентом увлажнения местности и количеством калия в коре выветривания и зональных почвах.

Несмотря на элиминирование влияния гранулометрического состава (анализируются суглинистые и глинистые разновидности) наблюдается дифференциация зональных почвенных типов по содержанию калия, где его показатели выше в черноземах, чем в дерново-подзолистых и серых лесных почвах. Одновременно имеет место профильная дифференциация содержания валового калия: в черноземах более высокие его показатели в гумусовом горизонте, что обусловлено биофильностью этого элемента, а в дерново-подзолистых и серых лесных почвах – в иллювиальном горизонте В, что связано с процессами выноса из верхних горизонтов и аккумуляции почвенных коллоидов в горизонте В. Сказанное также подтверждается относительно данными содержания калия в почвообразующей породе.

Как известно, основным источником подвижных форм калия в почвах являются валовые их запасы, а переход в подвижный фонд калия наблюдается в процессе выветривания и разложения горных пород и минералов. В первичных минералах калий до 10–12% содержится в полевых шпатах (ортоклаз, микроклин), калийных слюдах до 8–10% (мусковит, биотит, флогопит). При выветривании и биохимическом разложении слюд, полевых шпатов формируются вторичные минералы, так называемые глинистые – типа гидрослюд, каолинита, монтмориллонита, смешанно-слоистых и хлорита. В них содержание калия доходит до 6–8 процентов.

В почвах первичные минералы в основном сосредоточены в частицах крупнее 0,001–0,002 мм, а вторичные минералы в составе частиц менее 0,001 мм. Соотношение этих частиц и степень выветривания пород определяет кон-

центрацию окиси калия. В осадочных породах, проходивших долгое время процесс выветривания и разложения горных пород, калий в основном сосредоточен в составе глинистых минералов. Высокое содержание калия в составе частиц меньше 0,001 мм и тонкой пыли серой лесной почвы Владимирской области также отмечают Д.В. Карпова и Н.П. Чижикова (2008). В.Д. Тонконогов (1988) подчеркивает высокую концентрацию калия в составе илистой фракции песчаного подзола Русской равнины.

Противоположную картину обнаружили Н.Н. Пигарева и Н.А. Пьянкова (2009) в почвах Бурятии. На фоне высокого содержания валового калия почв (2,1–3,5%) их илистая фракция имеет минимальное, а более крупные частицы (песок и пыль) – максимальное количество калия. Безусловно, такое парадоксальное явление связано со слабой степенью выветривания горных пород, залегающих близко к дневной поверхности, в условиях степной и лесостепной зон Сибири.

По В.У. Пчелкину (1966) калий в почвах представлен в следующих формах: водорастворимый; обменный; трудно обменный или резервный калий почвы, а также фиксированный; необменный калий; калий нерастворимый алюмосиликатов; калий органической части почвы (микробы, органические остатки).

В составе этих форм калия наиболее изменчивы водорастворимые и обменные формы калия, они служат основой питания сельскохозяйственных культур и соответственно больше отчуждаются из почвы. Несмотря на постоянное отчуждение этого макроэлемента в экстенсивном земледелии пахотные почвы имеют высокую, повышенную и очень высокую степень обеспеченности обменным калием (табл. 33). Использование удобрений не внесло существенного изменения в баланс калия. В эти годы и в настоящее время, за исключением небольшого периода, а именно в 1985–1990 годы, преобладает отрицательный его баланс (Чекмарев, Лукманов, Нуриев, 2011).

Содержание подвижного (обменного) калия несколько повышается по циклам обследования с 1970 по 2009 годы с диапазоном 120,4 до 141,8 мг/кг

почвы, который показывает общую тенденцию его содержания (рис.9).

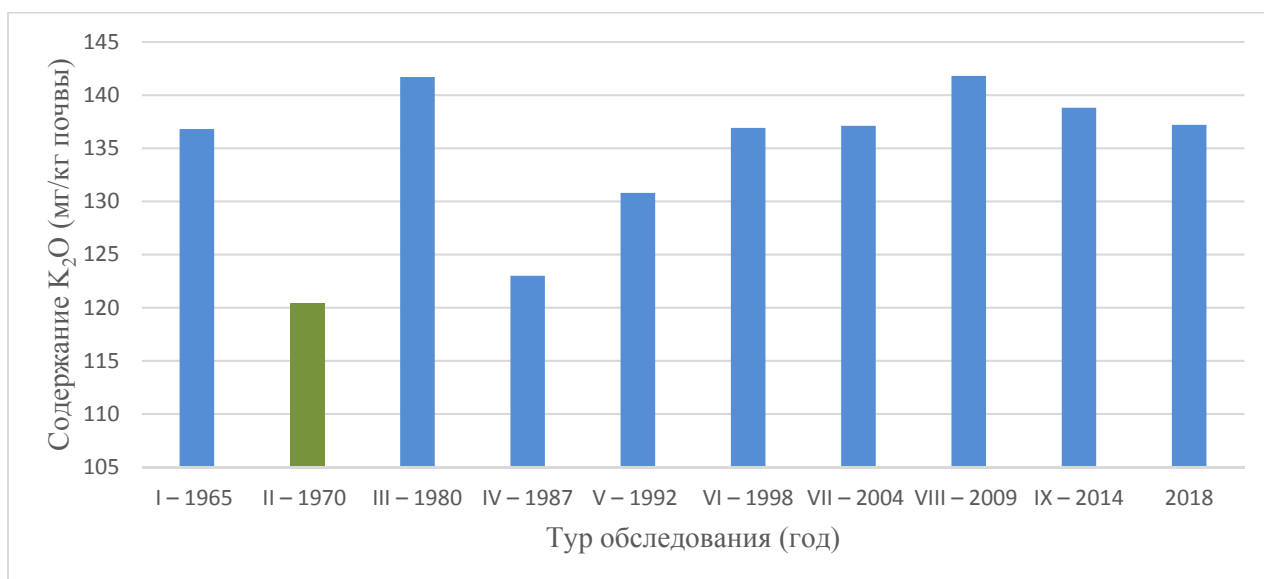


Рисунок 9. Динамика средневзвешенного содержания обменного калия в выщелоченных черноземах Среднего Поволжья

Таблица 33 – Динамика содержания подвижного калия в пахотных почвах Буинского муниципального района Республики Татарстан, % от площади групп

Туры обследования, площадь, тыс. га	В % от площади групп						Средне- взве- шенное, мг/кг почвы
	очень низкая	низ- кая	сред- няя	по- вы- шен- ная	вы- сокая	очень высокая	
I – 1965 – 103,4	0,1	3,4	5,9	16,2	59,8	14,6	136,8
II – 1970 – 114,5	0,3	6,7	8,2	28,6	54,0	2,2	120,4
III – 1980 – 114,3	0,0	1,0	5,8	15,9	56,5	20,8	141,7
IV – 1987 – 114,1	0,0	1,2	11,4	37,7	37,7	12,0	123,0
V – 1992 – 113,2	0,0	0,3	8,0	33,7	40,5	17,5	130,8
VI – 1998 – 113,1	0,0	0,5	6,8	31,0	31,1	30,6	136,9
VII – 2004 – 89,5	0,1	0,4	6,4	25,5	46,6	21,0	137,1
VIII – 2009 – 97,8	0,1	0,9	3,4	22,9	47,8	24,9	141,8
IX – 2014 – 103,0	0,0	0,1	5,6	26,8	45,6	24,2	138,8
2018 год – 96,1	0,0	0,2	8,9	25,9	38,1	23,0	137,2

Такая ситуация наблюдается не только в Среднем Поволжье, но и во мно-

гих регионах суббореального пояса. В Липецкой области Ю.И. Сискевич и Г.И. Никонова (2006) констатируют о существовании подвижного равновесного состояния между содержанием обменного и необменного калия в почвах. По мере отчуждения запасы обменного калия пополняются за счет труднорастворимых его форм, что подтверждается относительно узким диапазоном колебания содержания обменного калия, свидетельствуя о формировании урожая культур за счет почвенных запасов.

Отмеченные особенности распределения валового и обменного калия свидетельствуют о динамичном состоянии подвижного (обменного) калия в почвах. Доля участия приходной и расходной статьи калия в пахотных почвах характеризует таблица 34, одновременно показывающая баланс этого макроэлемента в пахотных почвах нашего региона.

В расходной статье ведущим фактором является отчуждение калия урожаем, которое достигает за период исследования более 3000,8 кг, что определяет отрицательный баланс данного макроэлемента в земледелии до 1660,9 кг/га.

Таблица 34 – Баланс калия по валовому сбору урожая яровой пшеницы в расчете на 1 га за 1970–2018 годы

Показатель	Общее количество	Доля K <sub>2</sub> O	Количество K <sub>2</sub> O, кг/га
Приходные статьи баланса			
Минеральные удобрения кг д.в.	3 993,5	0,2	798,7
Органические удобрения, т	126,5	5 кг/т	632,5
Всего	–	–	1 431,2
Расходные статьи баланса			
Вынос с урожаем за вычетом посевной нормы, равной 200 кг/га	1 296,3 – 96,0 кг = 1 200,3	25 кг/т	3 000,8
Вынос при эрозии, 10 т/га с эродированной площади	10×48×0,435= 208,8 т, или 208 800 кг	129,4 мг/кг	27,9
	208 800×129,4 = 27,9кг		
Расход на повышение плодородия почв:	С120,4 до 138,8 мг/кг почвы		
а) слой 0-0,20 м;		18,4 мг/кг	42,3
б) слой 0,20-0,30 м		18,4 мг/кг	21,2
Всего	–	–	3 092,2
Разница	–	–	–1 660,9

Сравнительную картину доли участия факторов представляет таблица 35.

Общие запасы валового калия в пахотных черноземах района составляют 66585 кг/га или 1930 мг/100 г почв (100%). Доля участия удобрений составляет всего 1,20 (минеральные) и 0,95 % (органические) от валовых запасов. В расходной группе участие факторов варьирует от 0,04 до 4,51 процента. Наиболее значимым фактором является отчуждение калия урожаем, поскольку расходы калия при эрозии и повышение плодородия составляют всего 0,04–0,10 процента.

В начале обследования доля обменного калия в пахотном горизонте черноземов составила всего 0,62 %, а в конце наблюдения (2018 г.) – 0,72 процента.

Вопреки этому, в пахотных почвах региона имеет место отрицательный баланс этого макроэлемента в объеме 1660,1 кг/га (табл. 35).

Таблица 35 – Сравнительная оценка содержания калия в пахотном горизонте почв за 1970–2018 годы

Показатели	Содержание P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>		
	кг/га	мг/кг почвы	%
Валовой P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	66 585	193,0	100,0
Минеральные удобрения	798,7	23,2	1,20
Органические удобрения	632,5	18,3	0,95
<b>Сумма</b>	<b>1431,2</b>	<b>41,5</b>	<b>2,15</b>
Отчуждение урожаем	3 000,8	86,98	4,51
Водная эрозия	27,9	0,81	0,04
Повышение плодородия почв (0-0,3 м)	42,3	18,4	0,10
Повышение плодородия почв (0,3-0,4 м)	21,2	18,4	0,10
<b>Сумма</b>	<b>3091,3</b>	<b>124,6</b>	<b>4,75</b>
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> в начале обследования	415,4	12,04	0,62
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> в конце обследования	478,9	13,88	0,72
Баланс, ±	-1 660,1	-83,1	-2,6

Данное противоречие объясняется тем, что в почвах лесостепи имеет место выветривание горных пород, в процессе которого происходит выделение подвижного калия и его внедрение в поглощающий комплекс почв. В результате за 1970–2018 годы пополнение обменного калия составило не менее 1660,1 кг/га или в расчете на пахотный горизонт (0–0,30 м) до 481,4 мг/кг. Таким образом, ежегодно пахотный горизонт обогащался на 10,03 мг/кг почвы.

Следовательно, в экстенсивном земледелии основным источником фонда

обменного калия в пахотных почвах в лесостепной зоне служили горные породы, при выветривании которых происходит выделение подвижных форм калия. В интенсивном земледелии обеспеченность обменным калием пахотных почв улучшается за счет применения удобрений, среди которых ведущее место занимают минеральные, затем органические. В связи с этим, доля обменного калия возрастает от 0,62 до 0,72%, что также обусловлено значительными валовыми его запасами в почвах.

В расходных статьях баланса основное место принадлежит отчуждению калия в составе урожая яровой пшеницы. В этом процессе роль водной эрозии относительно низка, она может заметно возрастать по мере усиления интенсивности эрозии почв и обеспеченности этим макроэлементом почв.

Сравнительный анализ приходных статей баланса подвижного калия (исходное состояние содержания калия, внесение удобрений – минеральных, органических) и расходных его статей (отчуждение урожаем культур, водной эрозией, расход удобрений до современного состояния и при оптимизации мощности пахотного горизонта) показывает роль каждого из них, одновременно выявляя ранее не учтенные статьи расходов обменного фонда калия (повышение мощности пахотного горизонта).

### **3.5. Почвенная кислотность, ее природа и приемы регулирования**

Природа почвенной кислотности обусловлена химическим составом почвообразующих пород, количеством выпадающих атмосферных осадков и состоянием теплового режима местности, что определяется принадлежностью к природной зональности исследуемого объекта (Докучаев, 1848). Когда количество осадков преобладает над их испарением, происходит смыкание нисходящего потока почвенных растворов с грунтовыми водами, что усиливает вынос из верхних почвенных горизонтов сначала одновалентных, затем двухвалентных катионов и доступных форм элементов питания. Промывной тип водного режима больше всего проявляется в таежно-лесной зоне с подзолистыми почвами (Роде, 1956, 1969). Для лесостепной зоны характерен только периодически

промывной тип водного режима. Это означает, что в отдельные годы происходит смыкание нисходящего тока почвенных растворов с грунтовыми водами 1 раз в 10–15 лет, в другие годы эти потоки доходят лишь до нижних горизонтов почвенного профиля и здесь происходит аккумуляция продуктов почвообразования (Ковда, 1973). В первом случае происходит подкисление всего почвенного профиля, а во втором случае лишь верхней части, особенно оберегаемого нами пахотного горизонта почв.

Дифференциация почвенной кислотности по природным зонам служит основанием проявления закономерной связи между ее показателями и продуктивностью био- и агроценозов.

Подкисление почв, особенно пахотного горизонта, наблюдается во всех почвах Республики Татарстан. Исключение составляют карбонатные почвы – дерново-карбонатные и черноземы карбонатные, где еще природный процесс выщелачивания полностью не завершен, процесс идет и в настоящее время.

Суть подкисления почвы связана с обеднением в ней регулятора почвенной кислотности – кальция. Этот процесс носит постоянный характер, а динамика кислотности происходит всюду, где осадки преобладают над испарением. В настоящее время по республике кислые почвы занимают до 43,5%, или 1409,2 тыс. га пашни.

Влияние почвенной кислотности на естественные и культурные растения имеет разносторонние отрицательные аспекты. Среди них главным является то, что в кислой почвенной суспензии тормозится и снижается поступление в растения имеющихся элементов питания в форме катионов (калия, азота в форме аммония), а в слабощелочной среде – анионов (фосфатов и др.). Недостаток того или другого элемента питания снижает процессы, связанные с созданием органического вещества (фотосинтез) и последующих процессов метаболизма и формирования урожая культурных растений, в том числе и яровой пшеницы (Brown, Koenig и др., 2008).

Влияние кислотности почв на урожайность зерновых культур показывают



результаты многочисленных опытов и обобщений, проведенных в условиях лесостепи Среднего Поволжья. Так, по данным М.Манна (2007), О.Г. Чуяна (2014), А.С. Поддубного (2018), R. Kumar (2019) смещение показателей pH от среднекислой (4,6-5,0) до нейтральной среды (более 6,0) повышает урожайность озимой ржи на 17-36 %, а яровой пшеницы и ячменя, более чувствительных культур – на 54-98 процентов. На контрольном варианте абсолютный прирост урожайности озимой ржи составил 0,29 т/га, яровой пшеницы – 1,15 т/га и ячменя – 1,11 т/га. По удобренному фону диапазон прироста был более существенен и составил 0,78–1,89 т/га зерна.

В целом, из-за повышенной кислотности пашни Республика Татарстан ежегодно недополучает 1100 тыс. тонн зерновых единиц. Эти потери огромны для сельского хозяйства и сдерживают поступательное движение и развитие всех отраслей АПК.

На выщелоченных черноземах Среднего Поволжья преобладают слабокислые почвы с pH 5,1–5,5 единиц. Они занимают 33,9–60,9% от площади пашни с общей тенденцией снижения доли кислых почв к последнему сроку наблюдения (табл. 36).

Таблица 36 – Динамика кислотности пахотных почв Буинского муниципального района Республики Татарстан, % от площади обследования

Тур обследования, год и площадь, тыс. га	Сильнокислая	Среднекислая	Слабокислая	Близкая к нейтральной	Нейтральная	Всего кислых почв, %	Средневзвешенный pH
I – 1965 – 103,4	0,2	3,0	60,6	24,5	11,8	63,8	5,5
II – 1970 – 114,5	0,2	3,7	60,9	23,0	12,2	64,8	5,6
III – 1980 – 114,3	0,1	6,6	59,3	16,8	17,2	66,0	5,5
IV – 1987 – 114,1	0,1	5,4	49,5	26,3	18,7	55,0	5,5
V – 1992 – 113,2	0,7	15,2	49,5	26,3	18,7	67,3	5,4
VI – 1998 – 113,1	0,5	11,0	48,5	21,5	18,5	60,0	5,5
VII – 2004 – 89,5	0,2	7,3	47,7	27,8	17,1	55,2	5,5
VIII – 2009 – 97,8	0,2	8,9	47,6	26,7	16,6	56,7	5,5
IX – 2014 – 103,0	0,3	8,3	34,9	35,5	24,0	42,5	5,6
X – 2018 – 96,1	0,2	8,2	32,8	32,3	22,6	41,2	5,6

Доля среднекислых почв с pH 4,6–5,0 изменяется в диапазоне от 3,0 до 15,2%, где максимальные показатели приурочены к периоду наибольшего при-

менения минеральных удобрений. В составе пашни сильнокислые почвы занимают менее 1% площади. Таким образом, в составе пашни преобладают слабокислые почвы, что, на наш взгляд, характеризует регионы распространения лесостепных черноземов, где на фоне относительной насыщенности почвообразующих пород щелочноземельными элементами, атмосферные осадки недостаточны для создания промывного водного режима, и он характеризуется периодически промывным типом.

В начальной стадии интенсификации земледелия в составе пашни кислые почвы занимали 63,8% от общей площади. Средневзвешенные показатели pH составили 5,5. До VI цикла обследования доля кислых почв изменяется от 55,0 до 67,3%, где минимальные показатели характеризуют годы интенсивной химизации известкования кислых почв. После этого периода доля кислых почв постепенно уменьшается до 41,2 процента. Такое изменение кислотности пашни обусловлено известкованием, внесением органических и нейтральных минеральных удобрений, с одной стороны, и потерей щелочноземельных оснований – кальция и магния, с другой. В результате профильного вымывания, отчуждения урожаем сельскохозяйственных культур, поверхностным стоком нейтрализуются физиологически кислые минеральные удобрения, особенно азотные. Кроме того, в результате минерализации и синтеза из растительных остатков гумуса формируются слабые органические кислоты. Этот процесс постоянный, и соответственно, щелочноземельные основания расходуются для нейтрализации этих кислот. Поэтому перечисленные процессы обуславливают необходимость внесения мелиорантов, содержащих необходимые катионы.

Кардинальной мерой борьбы с повышенной почвенной кислотностью является известкование, то есть внесение известковых удобрений в пахотный горизонт, и оно проводится за счет средств государства в целях сохранения плодородия почв и приумножения Продовольственной безопасности. За 1981–2018 годы в Буинском районе Республики Татарстан произвестковано 115,0 тыс. га пашни. Наибольшая площадь известкования приходится на период 2001–2012

годы за исключением 2008 года (1,2 тыс. га) ежегодного известкования с площадью 4,2–6,7 тыс. га. После 2013 года ежегодно известкуется 2,3–3,7 тыс. га пашни.

Изложенный материал еще раз подтверждает высокую значимость известкования кислых почв, в том числе и черноземов, особенно в процессе прогнозирования урожайности яровой пшеницы, самой отзывчивой культуры на повышение рН.

Следовательно, все сельскохозяйственные культуры, в том числе и яровая пшеница, имеют свой оптимальный диапазон почвенной кислотности, который регулирует подвижность макроэлементов питания, в конечном итоге интенсивность обмена веществ, продуктивность био- и агроценозов во временном ряду (за 1970–2018 гг.).

Центральное место, определяющее роль почвенной кислотности в обмене веществ между корневой системой и почвенным раствором, занимает концентрация ионов водорода и гидроксильной группы угольной кислоты, что усиливает поступление элементов питания в виде катионов и анионов. Соответственно, оптимальным диапазоном концентрации этих ионов для яровой пшеницы имеет место при рН от 6,5 до 7,5.

Роль почвенной кислотности в обмене веществ между почвой и яровой пшеницей позволяет ее рассматривать в качестве одного из ведущих критериев в прогнозировании продуктивности агроценозов этой культуры во временном ряду. Расчетная урожайность объекта исследований может служить объективным критерием оценки рационального использования черноземов - неоценимого богатства народа Среднего Поволжья.

### **3.6. Роль хозяйственной деятельности в оптимизации агрохимических свойств пахотных почв**

По представлениям В.И. Вернадского (1965) история земледелия имеет начало 10–12 тыс. лет или 600 поколений тому назад. По мнению И.С. Бараш

(1989), изучавшего историю неурожаев в Европе, земледелие насчитывает 70 тысяч лет. На начальной стадии земледелия человек начал готовить почву под посев культуры и полностью уничтожал естественную растительность, используя подручные средства – деревянные палки, кости животного происхождения. Позже они перешли в мотыжный способ рыхления или обработки. Со временем мотыги усовершенствовались за счет применения металлических приспособлений.

Одомашнивание животных привело к использованию их в качестве тягловой силы, усилило влияние человека на почву. Одновременно появилась возможность применения отходов животноводства в качестве удобрения для повышения плодородия почв.

Обработка почвы разрушает естественное строение почвы, в результате которой формируется новый почвенный пахотный горизонт. В то время мощность этого горизонта не превышала 10–12 см. Вместе с тем, рыхление этого горизонта способствовало улучшению аэрации почв и ускорило идущие в почвах процессы минерализации гумуса. Потери гумуса не полностью восполняются за счет внесения навоза и поэтому земледельцы часто оставляли земельные участки на восстановление плодородия.

Насыщение рыхлых почв осадками ускоряет минерализацию гумуса, активизирует микробиологическую ее активность, что отражается в разрушении структуры (агрегатов), усиливая развитие процессов естественной (геологической) водной эрозии.

В дальнейшем использование тракторов в качестве тягловой силы, других тяжелых средств обработки земли, их многократные прохождение по участку не остаются бесследными, уплотняют не только пахотный горизонт, но и нижележащие слои почвы. При этом усиливаются аэрация почвы, особенно пахотного горизонта, наблюдается затрагивание более нижних слоев почвы к обработке до 0,20 м и более, что приводит к полному усвоению атмосферных осадков. Все это расширяет сферу влияния человека, затрагивая окружающую среду, усили-

вающие процессы водной эрозии, в результате которой почвенные частицы смываются в пониженные места рельефа (реки и озера). К тому же этот процесс усиливается за счет возрастающего уплотнения почвенного покрова.

Постепенное усовершенствование обработки почвы и новые технологии не могли не сказаться на урожайности ведущих зерновых культур. Об этом говорят факты, приведенные Д. Куком (1977), Shpedt A.A., Nikitina V.I. (2009). На заре земледелия урожайность зерновых культур в Англии не превышала 0,5 т/га, и она возросла после внедрения смены культур (севооборотов) до 1,18 т/га. Аналогичная картина наблюдалась и на территории Республики Татарстан. Урожайность зерновых культур в Булгарском ханстве в VIII веке составляла всего 0,30–0,45 т/га (Якушкин и др., 1997; Зиганшин, 2001). Такой уровень продуктивности культур сохранился до коллективизации сельского хозяйства.

В Республике Татарстан коренной перелом в динамике урожайности зерновых культур произошел в конце 1950-х годов за счет начала совместного применения минеральных и органических удобрений. По данным И.Д. Давлятшина и Н.Б. Бакирова в 1958 году скользящая средняя урожайности была равна 0,8 т/га, а урожайность озимой ржи составила 0,9 т/га (Давлятшин, Бакиров, 1999, 2010 и др.).

Весь период от начала земледелия до массового применения минеральных удобрений характеризует экстенсивный период развития земледелия и в целом сельскохозяйственного производства. Применение удобрений при положительном балансе макроэлементов питания обычно принято называть интенсивным земледелием, что сопровождается постепенным повышением урожайности сельскохозяйственных культур, при одновременном улучшении почвенного плодородия и оптимизацией концентрации макро- микроэлементов питания.

Теоретическую предпосылку применения минеральных удобрений сформулировал Ю. Либих в далеком XIX веке в 1841г. (1936). В последующем минеральное питание растений сделало толчок к созданию промышленности по

выпуску минеральных удобрений. Однако массовое использование минеральных удобрений вошло в практику лишь в середине XX века, когда генеральный секретарь Н.С. Хрущев в 1961 г. выдвинул лозунг «Электрификация плюс химизация – основа построения коммунизма».

В 1964 г. была создана Агрохимическая служба, основной целью которой было рациональное применение минеральных удобрений в зависимости от степени обеспеченности основными макроэлементами питания – азотом, фосфором и калием. Одновременно проводился мониторинг состояния почвенной кислотности, важного составляющего компонента почвенного плодородия. Именно с этого момента имеются сведения о насыщенности пахотных почв минеральными удобрениями.

Во временном ряду за 1970–2018 годы насыщенность пашни минеральными удобрениями изменяется от 41,0 до 169,9 кг/га д.в. До 1985 года она составляла 41–87 кг/га д.в. В годы интенсивной химизации (1985–1995 гг.) она колеблется в пределах 93–169 кг/га д.в. В дальнейшем (1996–2018 гг.) она варьирует в диапазоне 43,7–133,8 кг/га д.в. Согласно данным МСХ и Продовольствия Республики Татарстан в составе минеральных удобрений более половины представлены азотными, 30% фосфорными и 20% - калийными.

Таким образом, минеральные удобрения для улучшения почвенного плодородия использовались в неравномерном количестве, а насыщенность ими пахотных угодий зависела от экономического состояния государства.

Органические удобрения являются традиционным улучшителем почвенного плодородия. Динамика внесения этих удобрений, представленных навозом животного происхождения, неравномерная. Во времени обеспеченность пашни органическими удобрениями можно делить на три периода. Первый период составляет 1970-1984 годы с ежегодной насыщенностью пашни 1,9–3,8 т/га. Второй период охватывает 1985–1995 годы с насыщенностью 2,5–6,5 т/га. На этом отрезке времени использовались не только навоз животноводческих ферм, но и накопленные веками ископаемые органические удобрения в виде низинного

торфа. Последний период охватывает 1996–2018 годы с насыщенностью пашни 0,0–2,8 т/га. Снижение насыщенности пашни органическими удобрениями объясняется ухудшением экономического состояния республики, с одной стороны, и уменьшением поголовья скота и животноводческих ферм, с другой.

Насыщенность макроэлементами питания пашни складывается за счет внесенных органических и минеральных удобрений. Она имеет наиболее высокие показатели в период интенсивной химизации от 126,8 до 250,2 кг/га д.в. Наиболее слабая насыщенность пашни NPK характеризует последний период – от 56,2 до 175,8 кг/га д.в. с общей тенденцией уменьшения к последним годам наблюдения.

Известкование пашни в Республике осуществляется с 1977 года за счет государственных средств, но из-за особенностей почвенного покрова Буинского муниципального района, где преобладают лесостепные черноземы, известкование началось лишь с 1981 года. За этот период ежегодно известкуется от 0,6 до 6,7 тыс. га. При этом наибольшие площади (4,9–6,3 тыс. га) произвесткованы в 2000–2012 годы. Такие высокие показатели известкования связаны с подкислением черноземов оподзоленных и выщелоченных, преобладающих в почвенном покрове муниципального района, под воздействием применения физиологически кислых азотных минеральных удобрений. В целом за весь период наблюдения в районе произвестковано 115,0 тыс. га пашни, что в среднем составляет 2,3 тыс. га/год (115000 га: 49 лет).

Одновременно с 1980 года осуществляется фосфоритование кислых почв. За 1980–1996 годы местные фосфоритные агроруды внесены на площади 18,3 тыс. га или ежегодно 373,5 га/год (18300 га: 49 лет).

В связи с этим, урожайность зерновых культур имеет общую тенденцию роста во времени. В период экстенсивного земледелия она повышалась за счет реализации потенциального плодородия почв, обработкой пахотного горизонта, сменой участков для возделывания путем их оставления на отдых – залежи и перелоги, чередованием сельскохозяйственных культур во времени, то есть за

счет внедрения севооборотов.

Одним из приемов повышения плодородия пахотных почв было использование навоза, ценность которого заключается в оптимальном соотношении концентрации элементов для сельскохозяйственных культур.

Со времен установления закона минерального питания растений и по настоящее время наиболее существенным и действенным приемом повышения плодородия и продуктивности агроценозов являются минеральные удобрения в сочетании с биологизацией земледелия (применение органических удобрений, расширение посевных площадей сидеральных культур, бобовых многолетних трав, использование измельченной соломы и современных биологических препаратов, стимуляторов роста, приемов фито- и биомелиорации земель).

### **3.7. Динамика показателей агрохимических свойств и кислотности пахотных почв**

Применение минеральных удобрений в сочетании с органическими отразилось на обеспеченности пахотных почв такими макроэлементами как подвижный фосфор, обменный калий и сокращением площадей кислых почв. Фон общего повышения содержания подвижного фосфора наблюдается до 1998 года (161,5 мг/кг), а затем оно снижается до 124,1 мг/кг почвы. Содержание обменного калия изменяется в диапазоне 120,4–141,8 мг/кг почвы и в изменении его показателей не отмечается какая-либо закономерная динамика. Кислотность почв колеблется в небольших пределах – от 5,4 до 5,6 (табл. 37). Более информативный показатель – доля площади кислых почв возрастает до V–VI туров под влиянием физиологически кислых преимущественно азотных удобрений, а затем под влиянием известкования снижается до минимального показателя 42,2 % от общей площади.

Таким образом, динамичность агрохимических показателей во времени обусловлена за счет влияния факторов, действующих во временном интервале, и соответственно необходимы постоянные мониторинговые наблюдения во времени.



Таблица 37 – Динамика содержания подвижных элементов и кислотности пахотных почв Буинского муниципального района Республики Татарстан

Тур обследования, год, площадь, тыс. га	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	pH	Площадь кислых почв, %
	мг/кг			
I – 1965 – (103,4)	86,6	136,8	5,5	63,7
II – 1970 – (114,5)	82,7	120,4	5,5	64,8
III – 1980 – (114,3)	111,2	141,7	5,5	66,0
IV – 1987 – (114,1)	138,3	123,0	5,5	55,0
V – 1992 – (113,2)	149,2	130,8	5,4	67,3
VI – 1998 – (113,1)	161,5	136,9	5,5	60,0
VII – 2004 – (89,5)	127,4	137,1	5,5	55,2
VIII – 2009 – (97,8)	131,8	141,8	5,5	56,7
IX – 2014 – (96,8)	124,1	138,8	5,6	42,5
X – 2019 – (96,1)	124,0	139,1	5,6	41,2

Роль агрохимических свойств на формирование урожайности зерновых культур (яровой пшеницы) была рассмотрена в предыдущих разделах. Однако определение агрохимических свойств проводилось с интервалом 5–10 лет. Используя первичный материал обеспеченности почв фосфором, калием и доли кислых почв интервала времени между турами нами, интерполируя, получены параметры этих свойств по сельскохозяйственным годам (табл. 38).

Таким образом, содержание подвижного фосфора имеет положительную тенденцию изменения до 1998 г. (161,5 мг/кг), затем с небольшими отклонениями уменьшается до 124,1 мг/кг почвы. В целом изменения показывают связь с хозяйственной деятельностью и внесением органических и минеральных удобрений (рис. 11).

Содержание обменного калия в почвах несколько выше показателей подвижного фосфора, что обусловлено за счет относительно высоких его показателей валовых форм. Оно изменяется в пределах 120,4–145,8 мг/кг почвы, а приуроченность высоких его показателей к последнему периоду наблюдения подчеркивает наличие связи между валовыми и обменными формами K<sub>2</sub>O в почвах и имеющим место процессом выветривания горных пород и минералов в твердой фазе почв.

Таблица 38 – Агрохимические показатели (содержание подвижного фосфора, обменного калия и доли кислых почв) пахотных почв Буинского муниципального района Республики Татарстан

Год	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	Доля кислых почв, %	Год	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	Доля кислых почв, %
	мг/кг				мг/кг		
1970	82,7	120,4	64,8	1995	155,4	133,9	61,9
1971	85,6	122,5	64,9	1996	157,4	134,9	61,2
1972	88,4	124,7	65,0	1997	159,4	135,9	60,6
1973	91,2	126,8	65,2	1998	161,5	136,9	60,0
1974	94,1	128,9	65,3	1999	155,8	136,9	59,2
1975	97,0	131,0	65,4	2000	150,1	136,9	58,4
1976	99,8	133,2	65,5	2001	144,4	137,0	57,6
1977	102,6	135,3	65,6	2002	138,8	137,0	56,8
1978	105,5	137,4	65,8	2003	133,1	137,0	56,0
1979	108,4	139,7	65,9	2004	127,4	137,1	55,2
1980	111,2	141,7	66,0	2005	128,3	138,0	55,5
1981	115,1	139,0	64,6	2006	129,2	139,0	55,8
1982	118,9	136,4	62,8	2007	130,0	139,9	56,1
1983	122,8	133,7	61,3	2008	130,9	140,9	56,4
1984	126,7	131,0	59,7	2009	131,8	141,8	56,7
1985	130,6	128,3	58,1	2010	128,7	142,6	53,9
1986	134,4	125,7	56,6	2011	127,2	143,4	51,0
1987	138,3	123,0	55,0	2012	125,6	144,2	48,2
1988	140,5	124,6	56,7	2013	124,1	145,0	45,3
1989	142,7	126,1	58,8	2014	124,1	145,8	42,5
1990	144,9	127,7	60,2	2015	124,1	145,8	42,5
1991	147,1	129,4	62,0	2016	124,1	145,8	42,5
1992	149,3	130,8	63,7	2017	124,1	145,8	42,5
1993	151,3	131,8	63,1	2018	124,1	145,8	42,5
1994	153,3	132,8	62,4	Σ	6 242,0	6 629,2	2 812,7
				М	127,4	135,3	57,4

Регулятор обмена веществ – относительное содержание кислых почв в составе пашни - колеблется от 42,5 до 66,0%, имея общую тенденцию уменьшения от первых сроков наблюдения к последнему туру. Такая его динамика обусловлена особенностями хозяйственной деятельности, в частности объемом применения физиологически кислых минеральных удобрений, с одной стороны, и периодическим известкованием кислых почв.

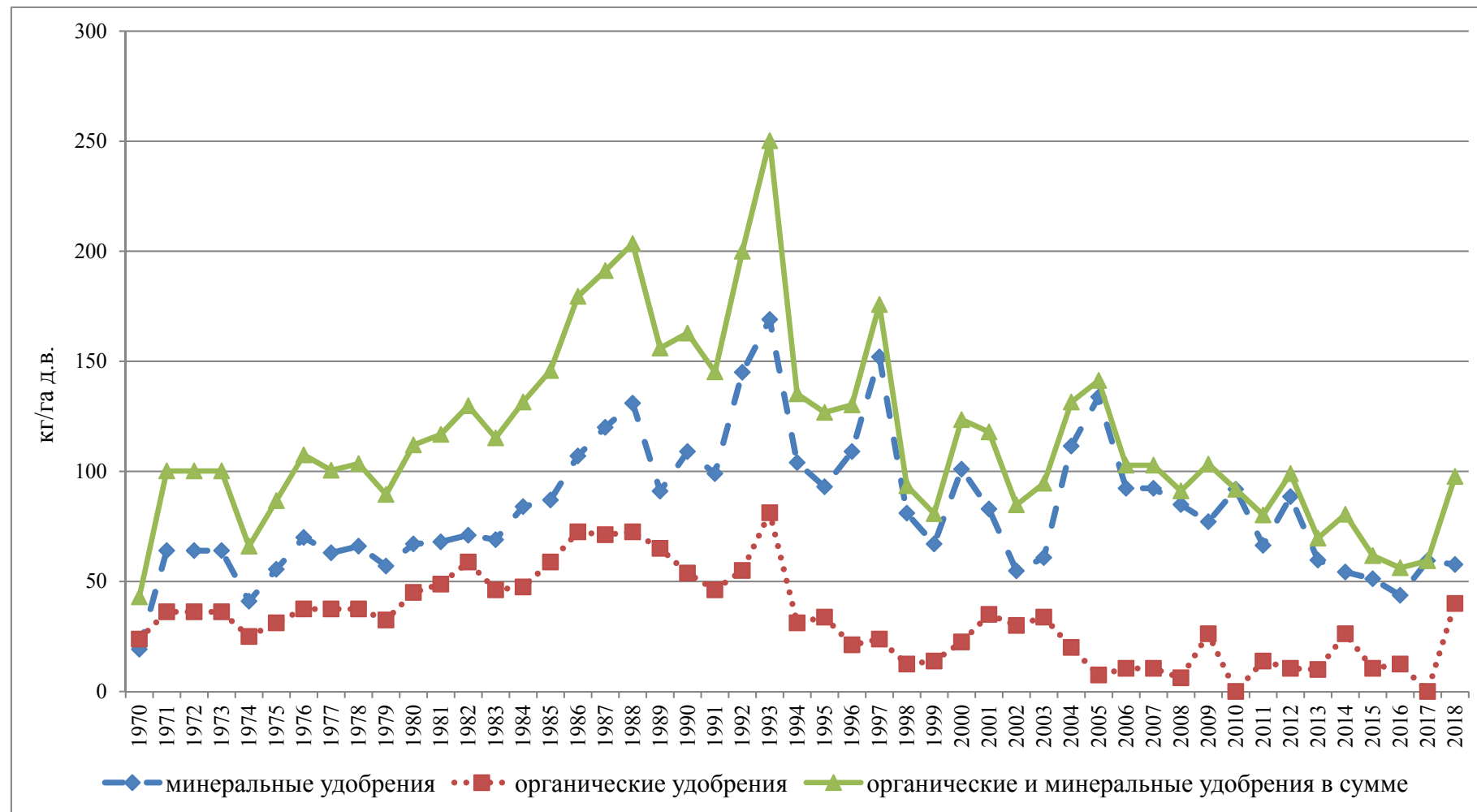


Рисунок 11. Насыщенность пашни органическими и минеральными удобрениями, кг/га д.в.

Таким образом, динамика агрохимического состояния выщелоченных черноземов кислых почв во временном ряду и особенности хозяйственной деятельности – применение удобрений и известкования – имеют между собой связь, подтверждая роль каждого фактора в формировании почвенного плодородия.

### **3.8. Агроклиматические показатели и урожайность яровой пшеницы**

Солнечная радиация, поступающая на земную поверхность, является ведущим климато- и погодообразующим фактором, определяет состояние земной поверхности (суши и водных ресурсов) и существование жизни. Радиационный режим местности зависит от природной зональности, характера подстилающей поверхности и высоты стояния Солнца.

В условиях Республики Татарстан сумма прямой радиации при ясном небе составляет 4513 МДж/м<sup>2</sup>, действительная сумма прямой солнечной радиации – 1341, сумма рассеянной солнечной радиации при ясном небе – 1074, действительная сумма рассеянной солнечной радиации – 1938 МДж/м<sup>2</sup>, а радиационный баланс – 1344 МДж/м<sup>2</sup>.

Максимум солнечной радиации приходится на июнь, а в отдельные годы он отмечается и в мае, и июле. Именно интенсивность солнечной радиации определяет температурный режим воздуха и подстилающей поверхности, косвенно и режим влажности.

Температурный режим местности является наиболее важным фактором обитания всего живого, видового состав животного и растительного мира растений, набора сельскохозяйственных культур, косвенно влияет на количество атмосферных осадков на подстилающую поверхность, включая почвенный покров. От температурного режима и количества атмосферных осадков зависят условия обитания живого вещества на Земле, в том числе и растений. Таким образом, основные климатообразующие факторы – температура и атмосферные осадки, их распределение в пространстве и во времени служат действующим показателем и роста, и развития, и продуктивности сельскохозяйственных

культур (Bilousova, Klipakova et al, 2020). Ниже рассматриваются среднемесячная температура, количество атмосферных осадков по важным периодам, определяющим основные фазы развития яровой пшеницы. При анализе участвуют средняя температура в расчете на месяц за май-июнь, отдельно за июнь в градусах, годовая сумма осадков в мм, среднее месячное количество осадков за вегетационный период (май-август), май-июнь и отдельно за июнь. Анализ температуры и количества осадков по месяцам обусловлен критическим периодом времени, связанным с фазами развития яровой пшеницы. По представлениям специалистов Почвенного института им. В.В. Докучаева (1991), обеспеченность окружающей среды теплом и влагообеспеченность служат главными факторами продуктивности агроценозов. Среди них тепло в Среднем Поволжье является второстепенным, чем условия увлажнения. Вышеотмеченные факторы будут рассмотрены в следующих главах докторской диссертации методом их исключения в целях выяснения зависимости формирования урожайности объекта исследований от термо- и влагообеспеченности каждого года исследований.

#### **Глава IV. СВЯЗЬ МЕЖДУ ФАКТОРАМИ И УРОЖАЙНОСТЬЮ ЯРОВОЙ ПШЕНИЦЫ. ПУТИ РЕГУЛИРОВАНИЯ ПРОДУКТИВНОСТИ АГРОЦЕНОЗОВ**

В предыдущей главе рассмотрены особенности зависимости фактической урожайности яровой пшеницы, ее скользящей средней при шагах 11 и 22 года от агрохимических, хозяйственных и метеорологических факторов. Все они собраны в одну матрицу. В данной главе анализируются результаты парной и множественной корреляции факторов с фактической урожайностью яровой пшеницы, ее скользящих средних по 11 и 22 летним шагам за период 1970–2018 годы.

##### **4.1. Матрица факторов и урожайности яровой пшеницы за 1970–2018 годы и параметры парной связи**

Матрица включает данные 1970–2018 годов по Буинскому муниципальному району Республики Татарстан. В ней главное место занимают сведения урожайности яровой пшеницы в т/га (табл. 39). В состав матрицы также включены агрохимические показатели пахотных почв, которые представляют результат мониторинга за состоянием пахотных угодий района по следующим показателям - содержание подвижного фосфора и обменного калия (в мг/кг почвы), доля кислых почв в составе пашни. В состав хозяйственного фактора включена насыщенность пашни минеральными и органическими удобрениями, их сумма (в кг/га действующего вещества). Метеорологические показатели рассмотрены по фазам роста и развития яровой пшеницы и отдельно сумма осадков за год. Обеспеченность термическими ресурсами анализируется по температуре, а условия увлажнения по осадкам (в мм).

Атмосферные осадки за год изменяются от 302,0 до 762,2 мм при средних значениях, равных 483,1 мм и коэффициенте вариации 19,8 процента. За период вегетации выпадает ежемесячно в среднем 51,5 мм, а в отдельные годы варьирует в диапазоне 20,7–102,2 мм с коэффициентом вариации 30,4 процента.

Таблица 39 – Матрица исследуемых факторов и урожайности яровой пшеницы по Буинскому муниципальному району Республики Татарстан (n=49)

Годы	Урожайность, т/га			Агрохимический фактор			Удобрения, кг/га д.в.			Осадки, мм				Температура	
	У <sub>ф</sub>	У <sub>11</sub>	У <sub>22</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> , мг/кг	K <sub>2</sub> O, мг/кг	Дкп, %	минеральные	органические	NPK	год	V-VIII	V+VI	VI	T <sub>V+VI</sub>	T <sub>VI</sub>
1970	2,26	2,30	2,11	<b>82,7</b>	<b>120,4</b>	<b>64,8</b>	19,2	23,8	43,0	588,8	78,5	56,6	69,8	13,8	15,5
1971	2,04	2,25	2,10	84,5	122,5	64,9	19,0	36,2	55,2	<b>463,2</b>	49,7	59,3	76,2	13,5	15,8
1972	2,03	2,20	2,10	87,8	124,7	65,0	21,0	36,2	57,2	374,4	20,7	33,8	56,1	15,3	17,5
1973	3,09	2,15	2,10	90,7	127,0	65,2	24,0	36,2	60,2	512,0	50,7	32,2	21,0	16,0	18,7
1974	1,88	2,10	2,10	93,6	129,1	65,3	41,0	25,0	66,0	416,8	58,4	49,2	66,2	14,3	16,1
1975	1,38	2,11	2,10	96,5	131,2	65,4	55,5	31,2	86,7	361,3	41,2	28,2	41,5	17,0	18,0
1976	2,22	2,01	2,10	99,4	133,4	65,5	70,0	37,5	107,5	530,9	79,3	76,5	97,8	13,9	15,8
1977	1,82	2,11	2,10	102,3	135,4	65,6	63,0	37,5	100,5	497,7	62,8	45,2	51,1	17,1	18,7
1978	2,37	2,14	2,10	105,2	137,6	65,8	66,0	37,5	103,5	590,4	61,8	81,7	<b>105,3</b>	12,6	14,3
1979	1,58	2,00	2,10	108,1	139,7	65,9	57,0	32,5	89,5	475,6	42,8	20,6	29,8	15,2	14,1
1980	2,50	2,02	2,04	<b>111,2</b>	<b>141,7</b>	<b>66,0</b>	67,0	45,0	112,0	414,3	41,6	33,2	56,3	14,8	16,7
1981	1,16	2,11	2,08	115,1	139,0	64,4	68,0	48,8	116,8	398,4	20,7	24,6	33,4	16,0	20,0
1982	3,23	2,08	2,12	118,9	136,4	62,8	71,0	58,8	129,8	466,2	49,7	66,6	107,5	13,0	13,6
1983	2,33	2,06	2,18	122,8	133,7	61,3	69,0	46,2	115,2	466,9	50,4	66,7	72,2	13,6	14,6
1984	1,53	1,98	2,15	126,7	131,0	59,7	84,0	47,5	131,5	423,5	67,5	43,7	81,6	17,4	17,6
1985	2,07	2,05	2,22	130,6	128,3	58,1	87,0	58,8	145,8	609,2	72,1	98,4	<b>164,1</b>	13,9	15,9
1986	2,39	1,97	2,39	134,4	125,7	56,7	107,0	72,5	179,5	382,0	32,2	38,3	71,0	14,7	18,2
1987	1,86	2,15	2,35	<b>138,3</b>	<b>123,0</b>	<b>55,0</b>	120,0	71,2	191,2	460,0	58,2	35,8	36,0	17,6	20,4
1988	1,69	2,13	2,35	140,5	124,6	57,5	131,0	72,5	203,5	396,1	43,2	40,9	69,4	16,9	20,3
1989	1,47	2,23	2,36	142,7	126,1	59,9	91,0	65,0	156,0	553,7	59,6	38,8	<b>3,7</b>	17,1	21,6
1990	2,31	2,30	2,51	144,9	127,7	62,4	109,0	53,8	162,8	631,8	51,3	66,5	<b>95,4</b>	13,0	15,1
1991	1,68	2,43	2,6	147,1	129,2	64,8	99,0	46,2	145,2	414,6	41,4	25,4	25,5	17,6	20,4
<b>1992</b>	3,07	2,67	2,75	<b>149,3</b>	<b>130,8</b>	<b>67,3</b>	145,0	55,0	200,0	430,0	43,9	26,9	23,2	13,8	16,5
1993	3,01	2,63	2,77	151,2	131,8	66,1	169,0	81,2	250,2	511,1	56,0	50,6	<b>94,1</b>	15,0	15,9
1994	3,42	2,64	2,84	153,3	132,9	64,5	104,0	31,2	135,2	326,8	54,9	60,8	70,5	13,8	15,8

Продолжение табл. 39

Год	Урожайность, т/га			Агрохимический фактор			Удобрения, кг/га д.в.			Осадки, мм				Температура	
	У <sub>ф</sub>	У <sub>ф</sub>	У <sub>ф</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	Дкп, %	минеральные	органические	NPK	год	V-VIII	V+VI	VI	T <sub>V+VI</sub>	T <sub>VI</sub>
1995	2,30	2,74	2,95	155,4	133,9	63,7	93,0	33,8	126,8	311,4	39,0	43,8	65,0	18,4	20,7
1996	3,50	2,98	3,04	157,4	134,9	62,4	109,0	21,2	130,2	302,0	37,8	58,6	<b>95,2</b>	17,0	17,7
1997	5,10	3,22	3,12	159,4	136,0	61,2	152,0	23,8	175,8	604,4	60,9	97,5	<b>113,7</b>	15,6	19,4
<b>1998</b>	1,41	3,36	3,25	<b>161,5</b>	<b>136,9</b>	<b>60,0</b>	81,0	12,5	93,5	491,1	46,8	19,3	19,6	17,6	21,3
1999	1,75	3,42	3,24	155,9	136,9	59,2	67,0	13,8	80,8	567,9	75,1	57,0	45,8	13,6	18,5
2000	2,55	3,45	3,32	150,2	136,9	58,4	101,0	22,5	123,5	434,7	54,4	50,1	60,5	13,2	17,5
2001	4,94	3,61	3,34	144,5	137,0	57,6	82,9	35,0	117,9	633,8	72,2	70,6	59,7	14,8	16,1
2002	4,37	3,64	3,36	138,8	137,0	56,8	54,8	30,0	84,8	532,3	42,3	51,8	66,6	13,0	16,0
2003	4,61	3,56	3,33	133,1	137,1	56,0	60,8	33,8	94,6	458,7	73,1	82,6	101,1	13,6	13,4
<b>2004</b>	3,67	3,87	3,30	<b>127,4</b>	<b>137,1</b>	<b>55,2</b>	111,5	20,0	131,5	762,2	102,2	109,2	152,6	15,2	16,6
2005	3,76	3,83	3,26	129,0	138,0	55,5	133,8	7,5	141,3	433,0	47,6	55,4	87,6	16,4	16,4
2006	4,00	3,90	3,32	129,2	139,0	55,8	92,3	10,5	102,8	524,0	55,6	48,3	44,4	16,6	20,0
2007	3,91	3,71	3,25	129,5	139,9	56,1	101,1	10,5	111,6	497,7	50,4	36,4	30,7	16,0	16,2
2008	4,25	3,50	3,21	129,7	140,9	56,4	102,2	6,2	108,4	475,8	56,5	47,3	54,7	14,4	16,0
2009	4,80	3,30	3,16	<b>131,8</b>	<b>141,8</b>	<b>56,7</b>	77,1	26,2	103,3	306,6	34,2	41,3	43,7	16,8	19,8
2010	1,32	3,18	3,10	129,3	141,2	53,8	91,9	0,1	92,0	438,5	33,4	19,4	9,1	19,2	21,4
2011	3,24	3,07	3,05	127,7	140,6	51,0	66,1	13,8	79,2	571,6	38,4	64,9	90,0	15,4	16,7
2012	2,92	3,02	3,00	126,2	140,0	48,2	88,5	10,5	99,0	605,3	56,3	54,5	67,3	17,6	19,0
2013	2,06	2,86	2,95	125,6	139,4	45,3	59,7	10,0	69,7	505,9	40,4	15,2	17,7	17,8	20,0
2014	2,37	2,73	2,89	<b>124,1</b>	<b>138,8</b>	<b>42,5</b>	54,3	26,2	80,5	408,7	41,4	39,0	59,0	16,8	17,2
2015	2,39	2,58	2,84	124,6	138,8	43,0	51,2	10,5	61,7	482,8	41,3	23,4	15,6	18,0	20,5
2016	2,50	2,44	2,79	125,0	138,8	43,4	43,7	12,5	56,2	545,3	37,3	59,4	74,9	16,1	17,6
2017	3,52	2,30	2,74	125,4	138,8	43,9	59,4	0,1	59,5	596,0	63,8	64,0	71,9	13,0	15,0
2018	2,04	2,15	2,68	<b>125,9</b>	<b>138,7</b>	<b>44,4</b>	57,7	40,0	97,7	487,7	36,0	39,2	62,3	15,2	16,4



В начальные месяцы вегетационного периода (май-июнь) ежемесячно выпадает 50,0 мм с диапазоном 15,2–109,2 % и коэффициентом вариации 42,8 процента. В критический период развития яровой пшеницы по отношению к влаге (июнь) выпадает 63,8 мм с диапазоном в отдельные годы 3,7–164,1 мм. Минимальное количество осадков наблюдалось в 1989 г., а максимальное – в 1985 году. Коэффициент вариации за этот период составил 53,3 % (табл. 40).

Таблица 40 – Статистические параметры факторов и урожайности яровой пшеницы за 1970–2018 годы (n=49)

Показатель*	max	min	M	$\sigma$	$\pm m$	V, %	$\chi^2$		$\lambda$	
							0,05	0,1	0,05	0,1
У <sub>ф</sub>	5,10	1,16	2,69	1,046	0,149	38,9	0,81	2,7	0,93	0,45
У <sub>11</sub>	3,90	1,97	2,68	0,627	0,090	23,4	13,5	7,8	0,98	0,84
У <sub>22</sub>	3,36	2,04	2,68	0,487	0,068	17,8	16,7	13,6	0,95	0,94
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	161,5	82,7	127,4	20,6	2,94	16,2	12,8	16,3	0,93	1,13
K <sub>2</sub> O	141,8	120,4	134,3	5,78	0,83	4,3	5,9	6,7	0,81	0,87
Дкп	67,3	42,5	58,5	7,12	1,02	12,2	17,5	22,9	0,86	0,97
Мин.	169,0	19,0	80,6	33,6	4,80	41,7	4,1	1,0	0,44	0,19
Орг.	81,2	0,1	33,0	20,3	2,89	61,3	5,0	12,3	0,47	0,88
НРК	250,2	43,0	113,6	43,95	6,28	38,7	4,8	1,1	0,60	0,20
О <sub>год</sub>	762,2	302,0	483,1	95,83	13,69	19,8	0,5	1,1	0,13	0,37
О <sub>5-8</sub>	102,2	20,7	51,5	15,66	2,24	30,4	2,8	0,2	0,29	0,08
О <sub>5-6</sub>	109,2	15,2	50,0	21,0	3,06	42,8	5,4	1,5	0,28	0,30
О <sub>6</sub>	164,1	3,7	63,8	34,04	4,86	53,3	4,6	9,6	0,23	0,73
T <sub>5-6</sub>	19,2	12,6	15,1	1,74	0,25	11,2	5,3	6,3	0,41	0,46
T <sub>6</sub>	21,6	13,4	17,5	2,20	0,31	12,6	5,3	3,9	0,54	0,45

**Примечание.** \*Условные обозначения факторов к таблице: У<sub>ф</sub> – фактическая урожайность яровой пшеницы, т/га; У<sub>11</sub> – скользящая средняя урожайности яровой пшеницы при шаге 11 лет, т/га; У<sub>22</sub> – скользящая средняя урожайности яровой пшеницы при шаге 22 года, т/га; P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> – содержание подвижного фосфора, мг/кг почвы; K<sub>2</sub>O – содержание обменного калия, мг/кг почвы; Дкп – доля кислых почв в составе пашни, %; Мин – насыщенность пашни минеральными удобрениями в кг/га д.в.; Орг – насыщенность пашни органическими удобрениями в кг/га д.в.; НРК – насыщенность пашни НРК удобрениями в кг/га д.в.; О<sub>год</sub> – атмосферные осадки за год, мм; О<sub>5-8</sub> – атмосферные осадки за вегетационный период, мм; О<sub>5-6</sub> – атмосферные осадки за май-июнь, мм; О<sub>6</sub> – атмосферные осадки за июнь, мм; T<sub>5-6</sub> – температура за май-июнь, град.; T<sub>6</sub> – температура за июнь, град.

Таким образом, атмосферные осадки распределены неравномерно как по годам, так и в пределах года по месяцам, что обуславливает неравномерное увлажнение всего вегетационного периода и в конечном итоге урожайности яровой пшеницы.

Температурный режим начальной фазы вегетационного периода имеет

среднемесячную температуру за май – июнь 15,5 °С, а его отдельные показатели изменяются от 12,6 до 16,2°С. Коэффициент вариации составляет 11,2 процента. Средняя температура за июнь оптимальна – 17,5°С, но имеет относительно широкий диапазон – 13,4-21,6°С с коэффициентом вариации 12,6 процента. Наличие такой высокой температуры во время активной вегетации растений может оказаться неблагоприятным для яровой пшеницы и относительно накопления ее биомассы.

Результаты парной корреляции между основными компонентами матрицы были рассмотрены ранее, в данном разделе проанализируем параметры связи (табл. 41). Урожайность яровой пшеницы с атмосферными осадками за май-июнь и июнь имеет статистически достоверную связь на уровне значимости 0,05 с коэффициентами 0,32–0,47. Для данного уровня годовые осадки и за вегетационный период имеют статистически недостоверную связь –  $r = 0,19-0,22$ . Для температуры связь урожайности яровой пшеницы характеризуется отрицательными коэффициентами (от  $-0,27$  до  $-0,31$ ), что статистически достоверно при уровне 0,10. Данные косвенно подтверждают наличие засушливых условий при возделывании данной культуры.

Оценка соответствия матрицы на предмет нормальности распределения осуществлена с помощью критериев  $\chi$ -квадрат ( $X^2$ ), критерия лямбда -  $\lambda$ . При объеме выборки  $n=49$  критическое значение равно  $X^2_{05}=23,30$ ,  $\lambda_{05} = 25,67$ .

Показатели как осадков, так и температуры, и остальные факторы имеют слабую и статистически недостоверную связь. Исключение составляет месячная температура за июнь и содержание подвижных форм фосфора, что, по-видимому, имеет случайный характер.

На фоне изложенного метеорологические показатели между собой имеют статистически достоверную связь, она между осадками и температурой характеризуется положительным знаком, а между температурой и урожайностью – отрицательным знаком, что является закономерным явлением.

Таблица 41– Коэффициенты парной корреляции между урожайностью яровой пшеницы и агрохимическими свойствами, насыщенностью удобрениями и метеорологическими показателями,  $n=49$

Показатели	У <sub>ф</sub>	У <sub>11</sub>	У <sub>22</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	Дкп	Мин,	Орг,	НПК	О <sub>год</sub>	О <sub>5-8</sub>	О <sub>5-6</sub>	О <sub>6</sub>	T <sub>5-6</sub>	T <sub>6</sub>
У <sub>ф</sub>	<b>1</b>	<b>0,65</b>	<b>0,61</b>	0,27	<b>0,36</b>	-0,15	0,26	<b>-0,28</b>	0,07	0,19	0,22	<b>0,47</b>	<b>0,32</b>	-0,27	<b>-0,31</b>
У <sub>11</sub>		<b>1</b>	<b>0,94</b>	<b>0,47</b>	<b>0,51</b>	<b>-0,29</b>	<b>0,31</b>	<b>-0,58</b>	-0,04	0,20	0,19	0,18	0,01	0,09	0,10
У <sub>22</sub>			<b>1</b>	<b>0,66</b>	<b>0,54</b>	<b>-0,47</b>	<b>0,37</b>	<b>-0,55</b>	0,03	0,15	0,09	0,13	-0,02	0,14	0,16
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>				1	0,22	-0,17	<b>0,73</b>	0,06	<b>0,58</b>	-0,03	-0,00	0,07	0,01	0,15	<b>0,29</b>
K <sub>2</sub> O					1	<b>-0,44</b>	0,04	<b>-0,60</b>	0,25	0,08	-0,12	-0,01	0,01	0,12	-0,03
Дкп						1	0,09	<b>0,44</b>	0,27	-0,22	0,09	0,03	-0,06	-0,27	-0,17
Мин,							1	<b>0,29</b>	<b>0,90</b>	-0,01	0,10	0,14	0,18	0,13	0,17
Орг,								1	<b>0,68</b>	-0,15	-0,04	0,01	0,15	-0,16	-0,07
НПК									1	-0,07	0,06	0,11	0,21	0,03	0,10
О <sub>год</sub>										1	<b>0,65</b>	<b>0,56</b>	<b>0,36</b>	<b>-0,30</b>	-0,23
О <sub>5-8</sub>											1	<b>0,67</b>	<b>0,48</b>	<b>-0,35</b>	<b>-0,32</b>
О <sub>5-6</sub>												1	<b>0,89</b>	<b>-0,54</b>	<b>-0,51</b>
О <sub>6</sub>													1	<b>-0,49</b>	<b>-0,56</b>
T <sub>5-6</sub>														1	<b>0,81</b>
T <sub>6</sub>															1

**Примечание.** Критическое значение  $r$  при уровне значимости 0,05 и 0,01 соответственно равно 0,28 и 0,36; жирным шрифтом выделены статистически достоверные значения при уровне значимости 0,05.

Таким образом, анализ факторов между собой и урожайностью яровой пшеницы имеет связь различной тесноты и направления, что создает платформу изучения множественной корреляции в целях прогнозирования урожайности яровой пшеницы, что представляет начальную стадию внедрения цифровой информации в агрохимические исследования.

#### **4.2. Множественная связь и расчет ретроспективной урожайности яровой пшеницы**

Изученная выборка состоит из 15 компонентов, 3 из них являются функцией, а остальные факторами (аргументами). Функции представлены фактической и скользящей средней урожайностью при длине шага 11 и 22 года. Факторы разделены на три группы: агрохимические свойства (содержание подвижных форм фосфора и калия, доля кислых почв в составе пахотных угодий), хозяйственные факторы (насыщенность пашни минеральными, органическими удобрениями и их суммой в NPK), метеорологические факторы (атмосферные осадки за год, за вегетационный период – май- август, за май-июнь, отдельно за июнь, показатели температуры – за май-июнь и отдельно за июнь). Метеорологические показатели рассмотрены по календарным месяцам, за исключением годовых осадков.

Связь изучалась отдельно для фактической урожайности пшеницы и скользящей средней при шагах 11 и 22 года. Критерием тесноты и статистической достоверности служили величина коэффициентов корреляции, коэффициенты Стьюдента и Фишера. При  $df = 38$   $r_{05} = 0,34$  и при  $df = 47$   $r_{05} = 0,29$ . Коэффициент Стьюдента соответственно составляет 2,02 и 2,03, а коэффициент Фишера 1,71 и 2,17.

Связь факторов с фактической урожайностью яровой пшеницы определена при помощи коэффициента множественной корреляции, который рассчитан методом исключения каждого фактора по шагу, имеющего минимальный вклад в формировании урожая изучаемой культуры. При полном наборе факторов (12 факторов и  $Y_{\phi}$ ) множественный коэффициент корреляции составляет 0,745, что

выше критического его уровня – 0,34. Коэффициент детерминации равен 0,556. Коэффициент Стьюдента подтверждает достоверность  $t_{05} > t_{\text{факт.}}$  или  $2,02 > 0,73$ . По коэффициенту Фишера фактический показатель ниже табличного –  $3,75 > 1,71$ . Таким образом, полученные коэффициенты подтверждают достоверность связи между факторами и урожайностью во всех уравнениях (табл. 42).

Таблица 42 – Коэффициенты множественной корреляции, детерминации при пошаговом исключении факторов для фактической урожайности яровой пшеницы (n=49)

Шаг	$r$	$r^2$	$F$	$t$	Исключение факторов – отклонение $Y_{\text{ф}}$ и $Y_{\text{фрасч.}}$ , %
0	0,745	0,556	3,75	0,728	Все факторы – 21,91
1	0,745	0,555	4,20	0,745	Мин. – 21,96
2	0,745	0,555	4,74	0,784	Мин., $T_{5-6}$ – 21,89
3	0,745	0,554	5,39	0,771	Мин., $T_{5-6}$ , $P_2O_5$ – 21,98
4	0,741	0,459	6,08	3,48	Мин., $T_{5-6}$ , $P_2O_5$ , $K_2O$ – 21,22
5	0,732	0,456	6,75	3,83	Мин., $T_{5-6}$ , $P_2O_5$ , $K_2O$ , Дкп – 22,15
6	0,725	0,458	7,75	3,72	Мин., $T_{5-6}$ , $P_2O_5$ , $K_2O$ , Дкп, $O_{\text{год}}$ – 22,74
7	0,585	0,469	7,60	3,12	Мин., $T_{5-6}$ , $P_2O_5$ , $K_2O$ , Дкп, $O_{\text{год}}$ , $O_{5-8}$ – 24,08
8	0,651	0,424	8,09	2,75	Мин., $T_{5-6}$ , $P_2O_5$ , $K_2O$ , Дкп, $O_{\text{год}}$ , $O_{5-8}$ , $O_6$ – 23,75
9	0,620	0,385	9,39	3,55	Мин., $T_{5-6}$ , $P_2O_5$ , $K_2O$ , Дкп, $O_{\text{год}}$ , $O_{5-8}$ , $O_6$ , $T_6$ – 26,01
10	0,550	0,302	9,95	5,17	Мин., $T_{5-6}$ , $P_2O_5$ , $K_2O$ , Дкп, $O_{\text{год}}$ , $O_{5-8}$ , $O_6$ , $T_6$ , НРК – 28,83
11	0,474	0,224	13,57	4,49	Остался фактор – $O_{5-6}$

По мере исключения факторов коэффициенты корреляции имеют общую тенденцию уменьшения, диапазон которых равен 0,473–0,745. По-видимому, такое направление и темпы уменьшения связи обусловлено за счет доли участия факторов в формировании урожая яровой пшеницы, что четко указывают уровень значимости факторов для этой культуры в составе корреляционно-регрессионных уравнений (табл. 43).



В первом уравнении наиболее существенный вклад в определении урожайности яровой пшеницы имеют среднемесячная сумма осадков за май-июнь и отдельно за июнь месяцы, для которых табличный уровень  $P_{05} > P_{\text{факт}} = 0,0002 - 0,01$ . В 7 шаге уровень значимости 6 факторов –  $O_{5-6}$ , Орг., NPK,  $T_6$ ,  $O_6$ ,  $O_{5-8}$  изменяется от 0,0005 до 0,031 и показывает статистически достоверное их влияние на формирование урожая данной культуры. В последующих расчетах  $O_6$ ,  $T_6$  и NPK имеют значение несколько выше табличного  $P_{05}$  – в пределах 0,06–0,091. В 10 шаге, где участвуют два фактора: сумма осадков за май-июнь и NPK уровень значимости менее 0,0004. Таким образом, изучаемые факторы дифференцируются в определении урожая яровой пшеницы, а последовательное их исключение из расчетов ранжирует значимость продуктивности агроценоза для данной культуры.

В последующих расчетах достоверно исключены минеральные удобрения, средняя температура за май-июнь, содержание подвижного фосфора и обменного калия, доля кислых почв и годовая сумма осадков. В 8 шаге все факторы были статистически значимыми для 95% вероятности суждения, и они представлены органическими удобрениями, суммой NPK, осадками за май-июнь, за июнь и среднесуточной температурой за май-июнь и июль. Все это говорит о том, что для формирования урожая яровой пшеницы наиболее важны хозяйственные факторы, связанные с материальным обеспечением растения минеральными элементами питания, с одной стороны, и метеорологическими условиями (осадки и тепло), с другой. В предпоследнем шаге значимыми остаются насыщенность пашни органическими удобрениями и NPK.

Таким образом, после 7-го шага значимые факторы представлены условиями обеспеченности теплом и влагой, а после третьего шага дополнены факторами, обеспечивающими пищевой режим растений.

В целом расчеты подтверждают возможность получения достоверной информации для ретроспективного прогнозирования урожайности яровой пшеницы за прошедшие годы с определенной погрешностью и в дальнейшем - на

ближайшие будущие годы.

В результате обработки выборки также получены уравнения регрессии для последующего расчета ожидаемой урожайности яровой пшеницы (табл. 44). Эти расчеты представлены в таблицах 45–47.

Таблица 44 – Уравнения множественной регрессии для расчета фактической урожайности яровой пшеницы –  $Y_{\phi}$

У	R корр.	Уравнения регрессии
У <sub>13</sub>	0,745	$Y_{\phi} = 3,76 - 0,001917 \times P_2O_5 + 0,019555 \times K_2O - 0,018134 \times Дкп - 0,168614 \times Мин, - 0,191697 \times Орг. + 0,181038 \times NPK - 0,002222 \times O_{год} - 0,015370 \times O_{5-8} + 0,062402 \times O_{5-6} - 0,25828 \times O_6 + 0,024742 \times T_{5+6} - 0,172993 \times T_6$
У <sub>12</sub>	0,745	$Y_{\phi} = 3,79 - 0,002009 \times P_2O_5 + 0,019556 \times K_2O - 0,018275 \times Дкп - 0,023068 \times Орг. + 0,012485 \times NPK - 0,002283 \times O_{год} - 0,014816 \times O_{5-8} + 0,062213 \times O_{5-6} - 0,025861 \times O_6 + 0,022603 \times T_{5+6} - 0,171710 \times T_6$
У <sub>11</sub>	0,745	$Y_{\phi} = 3,90 - 0,002488 \times P_2O_5 + 0,020425 \times K_2O - 0,019182 \times Дкп - 0,023442 \times Орг. + 0,012716 \times NPK - 0,002348 \times O_{год} - 0,014344 \times O_{5-8} + 0,061270 \times O_{5-6} - 0,025422 \times O_6 - 0,157428 \times T_6$
У <sub>10</sub>	0,745	$Y_{\phi} = 3,77 + 0,019244 \times K_2O - 0,017660 \times Дкп - 0,02578 \times Орг. + 0,011646 \times NPK - 0,002261 \times O_{год} - 0,014155 \times O_{5-8} + 0,059874 \times O_{5-6} - 0,024726 \times O_6 - 0,160486 \times T_6$
У <sub>9</sub>	0,741	$Y_{\phi} = 6,87 - 0,020765 \times Дкп - 0,026943 \times Орг. + 0,012682 \times NPK - 0,002193 \times O_{год} - 0,016041 \times O_{5-8} + 0,060222 \times O_{5-6} - 0,025110 \times O_6 - 0,173821 \times T_6$
У <sub>8</sub>	0,732	$Y_{\phi} = 5,36 - 0,030115 \times Орг. + 0,012729 \times NPK - 0,001532 \times O_{год} - 0,018995 \times O_{5-8} + 0,058494 \times O_{5-6} - 0,023679 \times O_6 - 0,160964 \times T_6$
У <sub>7</sub>	0,725	$Y_{\phi} = 4,93 - 0,029869 \times Орг. + 0,012991 \times NPK - 0,023040 \times O_{5-8} + 0,054571 \times O_{5-6} - 0,022306 \times O_6 - 0,163060 \times T_6$
У <sub>6</sub>	0,684	$Y_{\phi} = 4,17 - 0,030024 \times Орг. + 0,012499 \times NPK + 0,034508 \times O_{5-6} - 0,015619 \times O_6 - 0,151207 \times T_6$
У <sub>5</sub>	0,651	$Y_{\phi} = 3,73 - 0,032407 \times Орг. + 0,011648 \times NPK + 0,014536 \times O_{5-6} - 0,1151531 \times T_6$
У <sub>4</sub>	0,620	$Y_{\phi} = 1,50 - 0,028395 \times Орг. + 0,009464 \times NPK + 0,021093 \times O_{5-6}$
У <sub>3</sub>	0,550	$Y_{\phi} = 2,00 - 0,014420 \times Орг. + 0,023200 \times O_{5-6}$
У <sub>2</sub>	0,473	$Y_{\phi} = 1,53 + 0,023130 \times O_{5-6}$



Таблица 45 – Результаты ретроспективного расчета фактической урожайности яровой пшеницы –  $У_f$  в зависимости от 12 факторов ( $n = 49$ ), шаг 1, 12 факторов, среднее отклонение – 21,91 %

№ п/п	Годы	Урожайность - $У_f$ , т/га		Отклонение	
		$У_f$	$У_{фрасч.}$	т/га	%
1.	1970	2,26	1,64	0,62	27,62
2.	1971	2,04	2,20	-0,16	-7,97
3.	1972	2,03	1,58	0,45	21,99
4.	1973	3,09	1,51	1,58	51,25
5.	1974	1,88	2,26	-0,38	-20,47
6.	1975	1,38	1,87	-0,49	-35,22
7.	1976	2,22	2,92	-0,70	-31,35
8.	1977	1,82	2,02	-0,20	-10,91
9.	1978	2,37	3,43	-1,06	-44,59
10.	1979	1,58	2,19	-0,61	-38,30
11.	1980	2,50	2,00	0,50	19,83
12.	1981	1,16	1,82	-0,66	-56,48
13.	1982	3,23	2,86	0,37	11,44
14.	1983	2,33	3,68	-1,35	-58,12
15.	1984	1,53	1,56	-0,03	-1,70
16.	1985	2,07	2,45	-0,38	-18,28
17.	1986	2,39	1,91	0,48	19,99
18.	1987	1,86	1,92	-0,06	-3,47
19.	1988	1,69	1,86	-0,17	-9,89
20.	1989	1,47	2,17	-0,70	-47,30
21.	1990	2,31	2,83	-0,52	-22,39
22.	1991	1,68	1,84	-0,16	-9,40
23.	1992	3,07	2,96	0,11	3,63
24.	1993	3,01	2,43	0,58	19,27
25.	1994	3,42	3,86	-0,44	-12,92
26.	1995	2,30	2,35	-0,05	-2,33
27.	1996	3,50	3,39	0,11	3,05
28.	1997	5,10	4,53	0,57	11,12
29.	1998	1,41	1,55	-0,14	-9,69
30.	1999	1,75	2,84	-1,09	-62,27
31.	2000	2,55	3,16	-0,61	-23,99
32.	2001	4,94	3,70	1,24	25,17
33.	2002	4,37	2,73	1,64	37,46
34.	2003	4,61	3,98	0,63	13,67
35.	2004	3,67	3,48	0,19	5,27
36.	2005	3,76	3,85	-0,09	-2,46
37.	2006	4,00	3,05	0,95	23,79

Продолжение табл. 45

№	Год	Урожайность – У <sub>ф</sub> , т/га		Отклонение	
		У <sub>ф</sub>	У <sub>фрасч.</sub>	т/га	%
38.	2007	3,91	3,56	0,35	8,91
39.	2008	4,25	3,64	0,61	14,24
40.	2009	4,80	3,16	1,64	34,20
41.	2010	1,32	2,70	-1,38	-104,17
42.	2011	3,24	3,24	0,00	0,00
43.	2012	2,92	2,97	-0,05	-1,58
44.	2013	2,06	1,78	0,28	13,52
45.	2014	2,37	2,66	-0,29	-12,34
46.	2015	2,39	2,22	0,17	6,93
47.	2016	2,50	3,19	-0,69	27,76
48.	2017	3,52	3,73	-0,21	5,94
49.	2018	2,04	2,45	-0,41	20,15

Таблица 46 – Результаты ретроспективного расчета фактической урожайности яровой пшеницы – У<sub>ф</sub> в зависимости от факторов (n =49), шаг 3, 10 факторов, среднее отклонение – 21,89 %

№ п/п	Годы	Урожайность - У <sub>ф</sub> , т/га		Отклонение	
		У <sub>ф</sub>	У <sub>фрасч.</sub>	т/га	%
1.	1970	2,26	1,64	0,62	27,31
2.	1971	2,04	2,21	-0,17	8,20
3.	1972	2,03	1,57	0,46	22,52
4.	1973	3,09	1,50	1,59	51,49
5.	1974	1,88	2,28	-0,40	21,48
6.	1975	1,38	1,85	-0,47	34,40
7.	1976	2,22	2,94	-0,72	32,30
8.	1977	1,82	2,01	-0,19	10,29
9.	1978	2,37	3,43	-1,06	44,61
10.	1979	1,58	2,15	-0,57	36,04
11.	1980	2,50	2,02	0,48	19,04
12.	1981	1,16	1,83	-0,67	58,15
13.	1982	3,23	2,86	0,37	11,59
14.	1983	2,33	3,66	-1,33	57,23
15.	1984	1,53	1,54	-0,01	0,81
16.	1985	2,07	2,44	-0,37	18,11
17.	1986	2,39	1,94	0,45	18,63
18.	1987	1,86	1,93	-0,07	3,54
19.	1988	1,69	1,88	-0,19	10,97
20.	1989	1,47	2,16	-0,69	46,80

Продолжение табл.46

№	Год	Урожайность – У <sub>ф</sub> , т/га		Отклонение	
		У <sub>ф</sub>	У <sub>фрасч.</sub>	т/га	%
21.	1990	2,31	2,81	-0,50	21,70
22.	1991	1,68	1,82	-0,14	8,40
23.	1992	3,07	2,98	0,09	2,83
24.	1993	3,01	2,43	0,58	19,39
25.	1994	3,42	3,87	-0,45	13,25
26.	1995	2,30	2,33	-0,03	1,17
27.	1996	3,50	3,36	0,14	4,10
28.	1997	5,10	4,52	0,58	11,37
29.	1998	1,41	1,54	-0,13	9,55
30.	1999	1,75	2,88	-1,13	64,59
31.	2000	2,55	3,22	-0,67	26,26
32.	2001	4,94	3,66	1,28	25,89
33.	2002	4,37	2,74	1,63	37,25
34.	2003	4,61	3,96	0,65	14,10
35.	2004	3,67	3,47	0,20	5,48
36.	2005	3,76	3,84	-0,08	2,10
37.	2006	4,00	3,06	0,94	23,47
38.	2007	3,91	3,54	0,37	9,50
39.	2008	4,25	3,67	0,58	13,74
40.	2009	4,80	3,17	1,63	33,94
41.	2010	1,32	2,68	-1,36	102,74
42.	2011	3,24	3,32	-0,08	2,61
43.	2012	2,92	2,94	-0,02	0,71
44.	2013	2,06	1,78	0,28	13,51
45.	2014	2,37	2,65	-0,28	11,71
46.	2015	2,39	2,22	0,17	7,07
47.	2016	2,50	3,16	-0,66	26,44
48.	2017	3,52	3,75	-0,23	6,57
49.	2018	2,04	2,45	-0,41	19,90

Таблица 47– Результаты ретроспективного расчета фактической урожайности яровой пшеницы – У<sub>ф</sub> в зависимости от факторов (n =49), шаг 8, 5 факторов, среднее отклонение – 24,08 %

№ п/п	Годы	Урожайность – У <sub>ф</sub> , т/га		Отклонение	
		У <sub>ф</sub>	У <sub>фрасч.</sub>	т/га	%
1.	1970	2,26	2,52	-0,26	11,35
2.	1971	2,04	2,24	-0,20	10,02
3.	1972	2,03	1,45	0,58	28,75

Продолжение табл. 47

№	Год	Урожайность – У <sub>ф</sub> , т/га		Отклонение	
		У <sub>ф</sub>	У <sub>фрасч.</sub>	т/га	%
4.	1973	3,09	1,80	1,29	41,89
5.	1974	1,88	2,48	-0,60	31,81
6.	1975	1,38	1,92	-0,54	39,45
7.	1976	2,22	3,12	-0,90	40,33
8.	1977	1,82	2,24	-0,42	23,00
9.	1978	2,37	3,35	-0,98	41,54
10.	1979	1,58	2,43	-0,85	53,84
11.	1980	2,50	1,96	0,54	21,43
12.	1981	1,16	1,47	-0,31	26,91
13.	1982	3,23	2,59	0,64	19,69
14.	1983	2,33	3,19	-0,86	37,06
15.	1984	1,53	1,96	-0,43	28,37
16.	1985	2,07	2,66	-0,59	28,48
17.	1986	2,39	1,70	0,69	28,79
18.	1987	1,86	2,01	-0,15	8,33
19.	1988	1,69	1,80	-0,11	6,45
20.	1989	1,47	2,19	-0,72	48,82
21.	1990	2,31	3,12	-0,81	34,86
22.	1991	1,68	2,00	-0,32	18,79
23.	1992	3,07	3,09	-0,02	0,77
24.	1993	3,01	2,74	0,27	9,11
25.	1994	3,42	3,54	-0,12	3,37
26.	1995	2,30	2,11	0,19	8,23
27.	1996	3,50	3,02	0,48	13,60
28.	1997	5,10	4,31	0,79	15,45
29.	1998	1,41	2,11	-0,70	49,42
30.	1999	1,75	3,22	-1,47	84,24
31.	2000	2,55	3,18	-0,63	24,71
32.	2001	4,94	3,67	1,27	25,78
33.	2002	4,37	2,66	1,71	39,10
34.	2003	4,61	3,59	1,02	22,19
35.	2004	3,67	4,09	-0,42	11,50
36.	2005	3,76	3,78	-0,02	0,50
37.	2006	4,00	3,09	0,91	22,67
38.	2007	3,91	3,58	0,33	8,41
39.	2008	4,25	3,70	0,55	12,90
40.	2009	4,80	2,43	2,37	49,43
41.	2010	1,32	2,61	-1,29	97,93
42.	2011	3,24	3,06	0,18	5,60
43.	2012	2,92	3,05	-0,13	4,56

44.	2013	2,06	1,97	0,09	4,41
45.	2014	2,37	2,22	0,15	6,44
46.	2015	2,39	2,09	0,30	12,37
47.	2016	2,50	2,72	-0,22	8,81
48.	2017	3,52	3,73	-0,21	6,03
49.	2018	2,04	2,09	-0,05	2,66

При полном наборе факторов и  $r = 0,745$ , а в частной связи (органические удобрения и NPK) –  $r = 0,550$ . Относительное отклонение изменяется в довольно узком интервале от 21,91 до 28,83 %, показывая его уменьшение по мере удаления отдельных факторов.

Относительное отклонение менее 30 % наблюдается в 37 сельскохозяйственных годах, более 30 % – в 12 годах. Наиболее высокое отклонение более 50 % имеет место 5 раз, а именно в 1973, 1981, 1983, 1999 и 2010 годах. За исключением 1973 г. отклонения имеют отрицательные показатели и характеризуют засушливые годы. Между ними отклонение 30–50% встречается в 7 годах, а именно в 1975, 1976, 1978, 1979, 1989, 2002 и 2009 годах. Из них лишь два года были относительно благоприятными, а остальные засушливыми. Относительное отклонение менее 10 %, что является нормой для сельскохозяйственного производства, имеет место в 16 годах, или 33,6 процента.

Таким образом, засушливыми годами, то есть с отрицательным отклонением –  $U_{\phi} < U_{\text{фрасч.}}$ , следует считать следующие сельскохозяйственные годы: 1975, 1978, 1979, 1981, 1983, 1989, 1999, 2010 годы. Всего 8 сельскохозяйственных годов, что составляет 16,3% от общего объема выборки. При этом острозасушливые годы характеризуют ранние годы наблюдения, что косвенно подтверждает роль положительной агрономической обеспеченности почв во время засух.

Относительное отклонение менее 10% встречается в 7 сельскохозяйственных годах, менее 20% – в 20, менее 30% – в 30 и выше 30% – в 20 сельскохозяйственных годах. Все это подтверждает роль погодного фактора в формировании урожайности яровой пшеницы.

В таблице 48 и приложениях представлены результаты распределения от-

носительных отклонений между  $Y_{\phi} < Y_{\text{фрасч}}$ . Относительное отклонение менее 10% имеет место 7–16 раз, менее 20% – 20–29 раз, менее 30% – 29–38 раз, 30–50% и более 50% – 7 раз. В целом, наименьшее отклонение между  $Y_{\phi} < Y_{\text{фрасч}}$  имеет место в выборках, где количество факторов выше 6, по мере уменьшения факторов точность получения ожидаемой урожайности слабеет.

Таблица 48 – Распределение относительного отклонения между  $Y_{\phi} < Y_{\text{фрасч}}$ .

Относительное отклонение, %/ количество факторов	±	<10	<20	<30	30-50	>50
21.91 – 12	29	16	29	37	7	5
21.96 – 11	29	15	29	37	6	5
21.89 – 10	29	15	29	37	7	5
21.98 – 9	28	14	28	38	8	5
21.22 – 8	24	12	28	38	7	4
21.50 – 7	27	17	28	35	10	4
22.74 – 6	26	16	25	36	9	4
24.08 – 5	29	15	24	35	11	3
23.75 – 4	29	14	29	34	8	7
26.01 – 3	29	13	30	33	9	7
28.83 – 2	30	7	20	29	7	7

В результате, для практического получения ожидаемой урожайности необходимо использовать уравнения регрессии, полученные по всем факторам. Вторым важным выводом является необходимость исключения острозасушливых сельскохозяйственных годов из выборки с целью повышения точности прогнозирования между  $Y_{\phi} < Y_{\text{фрасч}}$ .

#### 4.3. Связь факторов со скользящей средней урожайностью яровой пшеницы

В данном разделе анализируются результаты установления множественной связи между факторами и скользящей средней урожайностью яровой пшеницы при длине шага 11 лет. Известно, что в агрохимических исследованиях, особенно во время оценки результатов многолетних опытов используются средние показатели многолетней урожайности культур и агрохимических свойств. Для получения среднеарифметической величины урожайности и дру-

гих показателей нет четко установленных нормативов. На практике среднюю урожайность культур вычисляют из показателей не менее трех лет, что необходимо в целях устранения влияния динамичного во времени и по годам погодного фактора.

В данной работе нами используются скользящие средние при длине шагов 11 и 22 года. Применение таких показателей связано с цикличностью распределения атмосферных осадков и температуры во время вегетационного периода сельскохозяйственных культур. Длина шага связана с изменением числа пятен на Солнце, то есть солнечной активностью, которая определяется количественно числами Вольфа. Солнечная активность – это периодические изменения в солнечной активности. Известен и лучше изучен цикл с длительностью около 11 лет (цикл Швабе-Вольфа по имени первых исследователей). Выделяют также цикл с длиной 22 года (цикл Хейли, что связано с изменением глобального магнитного поля Солнца и охватывает два 11-летних цикла). Исчисление циклов идет с 1755 года. В настоящее время имеет место 24-й цикл, который начался в январе 2009 года (по другим оценкам в декабре 2008 года). Средняя продолжительность цикла 11,1 лет, она изменяется в диапазоне 9,0–13,7 лет. Зафиксированы также вековые и тысячелетние циклы чисел Вольфа (<https://wikipedia.ru>).

Исходя из изложенного, для оценки точности прогнозирования урожайности были использованы скользящие средние, рассчитанные по 11 и 22 – летним данным временного ряда. Оценка между 11-летней скользящей средней урожайности изучаемой культуры и ее расчетных показателей произведена по показателям абсолютного и относительного отклонений. Возможность использования таких данных и интерпретация была рассмотрена в работах И.Д. Давлятшина и Н.Б. Бакирова (1999, 2007). Ряд 11-летней скользящей средней урожайности определяет направление изменения ее во времени, разница между начальным и конечным показателем количественно оценивает, выявляет ведущие факторы.

Скользкая средняя урожайность яровой пшеницы –  $Y_{11}$  изменяет характер динамики урожайности яровой пшеницы во временном ряду за счет устранения влияния погодного фактора, что отражается на всех параметрах множественной корреляции между факторами и урожайностью культуры. В зависимости от количества участвующих факторов в расчетах параметры связи – коэффициенты корреляции изменяются в узком диапазоне – 0,763–0,812, где минимальное значение характеризует частную связь с двумя факторами, а максимальное – с 12. Соответственно коэффициент детерминации также изменяется в узком диапазоне – 0,624–0,659. Достоверность полученных параметров связи подтверждает расчетные коэффициенты Фишера –  $F_{05} = 1.71-2.17 < F_{\text{факт.}} = 5,50-32,13$ . В целом, статистические показатели фиксируют более достоверную и тесную связь, чем аналогичные показатели для фактической урожайности яровой пшеницы (табл. 49).

Таблица 49 – Коэффициенты множественной корреляции, детерминации при пошаговом исключении факторов для фактической урожайности яровой пшеницы –  $Y_{11}$  (n=49)

№ п/п	Факторы	$r$	$r^2$	$F$	Удаленный фактор
1.	$P_2O_5$ , $K_2O$ , Дкп, Мин., Орг., НРК, $O_{\text{год}}$ , $O_{5-8}$ , $O_{5-6}$ , $O_6$ , $T_{5-6}$ , $T_6$	0,812	0,659	12,36	–
2.	$P_2O_5$ , $K_2O$ , Дкп, Мин., Орг., НРК, $O_{\text{год}}$ , $O_{5-8}$ , $O_{5-6}$ , $O_6$ , $T_{5-6}$	0,812	0,659	11,37	$T_6$
3.	$P_2O_5$ , $K_2O$ , Дкп, Мин., Орг., НРК, $O_{5-8}$ , $O_{5-6}$ , $O_6$ , $T_{5-6}$	0,812	0,659	10,38	$O_{\text{год}}$
4.	$P_2O_5$ , $K_2O$ , Дкп, Мин., НРК, $O_{5-8}$ , $O_{5-6}$ , $O_6$ , $T_{5-6}$	0,811	0,658	9,39	Орг.
5.	$P_2O_5$ , $K_2O$ , Дкп, Мин., НРК, $O_{5-8}$ , $O_{5-6}$ , $O_6$	0,811	0,658	8,40	$T_{5-6}$
6.	$P_2O_5$ , $K_2O$ , Мин., НРК, $O_{5-8}$ , $O_{5-6}$ , $O_6$	0,810	0,656	7,41	Дкп
7.	$P_2O_5$ , $K_2O$ , Мин., НРК, $O_6$	0,809	0,654	6,42	$O_{5-8}$
8.	$P_2O_5$ , Мин., НРК, $O_{5-6}$ , $O_6$	0,808	0,652	5,43	$K_2O$
9.	$P_2O_5$ , Мин., НРК, $O_{5-6}$	0,800	0,640	4,44	$O_6$
10.	$P_2O_5$ , Мин., НРК	0,790	0,624	3,45	$O_{5-6}$
11.	Мин., НРК	0,763	0,563	2,46	$P_5O_5$

Особый интерес представляет очередность удаления статистически недо-



стоверного влияния на формирование урожайности яровой пшеницы факторов. В первую очередь из выборки удаляются метеорологические показатели – среднемесячная температура за июнь, далее среднегодовое количество атмосферных осадков. В последующих расчетах выборка сокращается за счет органических удобрений, температуры за май-июнь и доли кислых почв.

В седьмом шаге урожайность пшеницы определяется за счет следующих факторов – содержания подвижного фосфора ( $P_2O_5$ ), обменного калия ( $K_2O$ ), минеральных удобрений (Мин.), насыщенности пашни NPK и количества атмосферных осадков за июнь ( $O_6$ ), совместное влияние которых выражено в коэффициенте корреляции, равном 0,809.

Следовательно, в формировании высокопродуктивных агроценозов яровой пшеницы наиболее важными факторами являются обеспеченность почвы подвижным фосфором, обменным калием и хозяйственная деятельность, регулирующая оптимальные условия питания растений. На фоне отмеченного проявляется важная роль атмосферных осадков, обеспечивающих увлажнение пахотного горизонта почв особенно в начальном этапе органогенеза растений.

Проявляется уровень значимости факторов в определении тесноты связи между факторами и  $Y_{11}$ . Именно фактического показателя уровня значимости происходит удаление из расчетов статистически несущественных факторов в определении расчетной урожайности. В дальнейшем составлены корреляционно-регрессионные уравнения для получения ожидаемой урожайности яровой пшеницы на уровне  $Y_{11}$  (табл. 50).

Таблица 50 – Уравнения множественной регрессии для расчета скользящей средней урожайности при длине шага 11 лет яровой пшеницы -  $Y_{11}$  по факторам в выборке за 1970–2018 гг.

$Y_{11}$	R корр.	Уравнения регрессии
1	0,812	$Y_{11} = 0,456 + 0,008905 \times P_2O_5 + 0,008144 \times K_2O + 0,003072 \times Д_{кп} +$ $+ 0,166154 \times Мин + 0,142182 \times Орг - 0,161198 \times NPK - 0,000033 \times O_{год} +$ $+ 0,003284 \times O_{5-8} + 0,007182 \times O_{5-6} - 0,004043 \times O_6 - 0,013203 \times T_{5+6} -$ $- 0,000576 \times T_6$

Продолжение табл. 50

У <sub>11</sub>	R корр.	Уравнения регрессии
2	0,812	$Y_{11} = 0,451 + 0,008889 \times P_2O_5 + 0,008191 \times K_2O + 0,003061 \times Дкп + 0,166665 \times Мин + 0,142691 \times Орг - 0,161706 \times NPK - 0,000035 \times O_{год} + 0,003300 \times O_{5-8} + 0,007160 \times O_{5-6} - 0,04026 \times O_6 - 0,013764 \times T_{5+6}$
3	0,812	$Y_{11} = 0,430 + 0,008923 \times P_2O_5 + 0,008162 \times K_2O + 0,003217 \times Дкп + 0,161543 \times Мин + 0,137567 \times Орг - 0,156597 \times NPK + 0,003192 \times O_{5-8} + 0,007077 \times O_{5-6} - 0,003982 \times O_6 - 0,013531 \times T_{5-6}$
4	0,811	$Y_{11} = 0,424 + 0,008919 \times P_2O_5 + 0,008279 \times K_2O + 0,003099 \times Дкп - 0,024002 \times Мин - 0,019080 \times NPK + 0,002895 \times O_{5-8} + 0,007312 \times O_{5-6} - 0,03980 \times O_6 - 0,013116 \times T_{5-6}$
5	0,811	$Y_{11} = 0,075 + 0,008986 \times P_2O_5 + 0,008807 \times K_2O + 0,003903 \times Дкп + 0,023500 \times Мин - 0,018817 \times NPK + 0,002846 \times O_{5-8} + 0,008020 \times O_{5-6} - 0,004025 \times O_6$
6	0,810	$Y_{11} = 0,459 + 0,008485 \times P_2O_5 + 0,007858 \times K_2O + 0,023337 \times Мин - 0,0188409 \times NPK + 0,002886 \times O_{5-8} + 0,008291 \times O_{5-6} - 0,004223 \times O_6$
7	0,809	$Y_{11} = 0,747 + 0,008068 \times P_2O_5 + 0,006538 \times K_2O + 0,023839 \times Мин - 0,018626 \times NPK + 0,010854 \times O_{5-6} - 0,0055060 \times O_6$
8	0,808	$Y_{11} = 1,610 + 0,008489 \times P_2O_5 + 0,025152 \times Мин - 0,019876 \times NPK + 0,010400 \times O_{5-6} - 0,004780 \times O_6$
9	0,790	$Y_{11} = 1,771 + 0,009283 \times P_2O_5 + 0,026265 \times Мин - 0,021059 \times NPK \times O_{5-6}$
10	0,763	$Y_{11} = 2,649 + 0,032214 \times Мин - 0,022598 \times NPK$

В таблице 51 представлена скользящая средняя урожайность за 1970–2018 годы. Она – У<sub>11</sub> имеет диапазон 1,97–3,87 т/га, а У<sub>11расч.</sub> 1,73–3,68 т/га, что дает представление о наличии связи между ними. Абсолютное отклонение между ними изменяется от 1,01 до 0,63 т/га.

Таблица 51– Результаты ретроспективного расчета скользящей урожайности яровой пшеницы при длине шага 11 лет – У<sub>11</sub> в зависимости от 12 факторов, т/га (n =49), шаг 1, среднее отклонение - 10,44%

№	Годы	Урожайность - У <sub>11</sub> , т/га		Отклонение	
		У <sub>11</sub>	У <sub>11расч</sub>	т/га	%
1.	1970	2,30	2,19	0,11	4,93
2.	1971	2,25	1,89	0,36	15,99
3.	1972	2,20	1,73	0,47	21,42
4.	1973	2,15	2,00	0,15	6,82
5.	1974	2,10	2,34	-0,24	-11,21
6.	1975	2,11	2,19	-0,08	-3,81

Продолжение табл. 51

№	Годы	Урожайность – У <sub>11</sub> , т/га		Отклонение	
		У <sub>11</sub>	У <sub>11расч</sub>	т/га	%
7.	1976	2,01	2,47	-0,46	-22,76
8.	1977	2,11	2,34	-0,23	-11,00
9.	1978	2,14	2,50	-0,36	-16,82
10.	1979	2,00	2,37	-0,37	-18,36
11.	1980	2,02	2,21	-0,19	-9,33
12.	1981	2,11	2,09	0,02	0,76
13.	1982	2,08	2,06	0,02	0,73
14.	1983	2,06	2,44	-0,38	-18,44
15.	1984	1,98	2,30	-0,32	-16,15
16.	1985	2,05	2,22	-0,17	-8,44
17.	1986	1,97	1,88	0,09	4,60
18.	1987	2,15	2,14	0,01	0,33
19.	1988	2,13	2,08	0,05	2,50
20.	1989	2,23	2,36	-0,13	-5,65
21.	1990	2,30	2,55	-0,25	-11,08
22.	1991	2,43	2,59	-0,16	-6,47
23.	1992	2,67	2,77	-0,10	-3,69
24.	1993	2,63	2,32	0,31	11,95
25.	1994	2,64	3,15	-0,51	-19,47
26.	1995	2,74	2,86	-0,12	-4,36
27.	1996	2,98	3,20	-0,22	-7,42
28.	1997	3,22	3,68	-0,46	-14,15
29.	1998	3,36	3,31	0,05	1,49
30.	1999	3,42	3,47	-0,05	-1,55
31.	2000	3,45	3,26	0,19	5,62
32.	2001	3,61	3,06	0,55	15,28
33.	2002	3,64	2,73	0,91	25,08
34.	2003	3,56	2,81	0,75	21,04
35.	2004	3,87	3,32	0,55	14,29
36.	2005	3,83	3,38	0,45	11,75
37.	2006	3,90	3,27	0,63	16,15
38.	2007	3,71	3,29	0,42	11,36
39.	2008	3,50	3,41	0,09	2,57
40.	2009	3,30	2,83	0,47	14,18
41.	2010	3,18	3,31	-0,13	-4,04
42.	2011	3,07	3,07	0,00	0,00
43.	2012	3,02	3,15	-0,13	-4,25
44.	2013	2,86	2,86	0,00	-0,08
45.	2014	2,73	2,53	0,20	7,48
46.	2015	2,58	2,86	-0,28	-10,77
47.	2016	2,44	2,82	-0,38	-15,48
48.	2017	2,30	3,31	-1,01	-43,89
49.	2018	2,15	2,29	-0,14	-6,54

Относительное отклонение варьирует от 43,89 до 21,42 процента. По вре-

менному ряду отклонения имеют отрицательный знак в 26 сельскохозяйственных годах, то есть расчетная  $Y_{11}$  выше ее фактического показателя, а положительное отклонение встречается 23 раза. При этом относительное отклонение во временном ряду менее 13 % встречается в 13 годах, менее 5 % – в 16, менее 10 % – в 25 %, от 10 до 15 % – в 11 и более 15 % – в 13 годах. В данной выборке различия между  $Y_{11}$  и  $Y_{11\text{факт}}$  менее выражены, они несколько сглажены. Такое распределение связано с элиминацией погодного фактора, одновременно утверждает возможность применения расчетных показателей на практике.

В таблице 52 представлены результаты прогнозирования скользящей средней урожайности по всем рассмотренным временным рядам. В зависимости от количества факторов (1–12), относительное отрицательное отклонение имеет диапазон от 25 до 28 сельскохозяйственных лет, а отрицательное встречается в 21–24 годах. Отклонение менее 3 % – в 6–13 годах, менее 5 % – 12–16, менее 10 % – 23–26 годах, 10–15 % – 6–16 годах, более 15 % – 10–15 сельскохозяйственных годах.

Таблица 52 – Распределение относительного отклонения между  $Y_{11} < Y_{11\text{фрасч}}$ .

Относительное отклонение, %/ количество факторов	±	< 3	< 5	< 10	10-15	> 15
10,44 - 12	26	13	16	25	11	13
10,44 - 11	25	9	16	25	10	14
10,44 - 10	25	9	15	25	10	14
10,52 - 9	26	8	14	25	10	14
10,52 - 8	26	9	16	23	10	14
10,61 - 7	20	8	13	25	9	15
10,21 - 6	28	9	14	26	9	14
10,48 - 5	27	9	12	27	10	12
10,40 - 4	27	9	16	26	12	11
10,58 - 3	26	10	14	23	16	10
10,84 - 2	26	6	12	26	11	12
10,94 - 1	28	6	12	26	11	12

Результаты данной таблицы показывают небольшое изменение отклонений в зависимости от количества факторов. Одновременно данные таблицы 52 указывают на сильное влияние погодного фактора на урожайность яровой пшеницы. Вместе с тем, после элиминации погодного фактора отчетливо проявля-

ется материальная сторона обеспечения урожая яровой пшеницы, а именно роль агрохимического фактора и хозяйственной деятельности, служащей в создании оптимального режима питания растений макроэлементами – азотом, фосфором и калием.

Особый интерес представляет анализ результатов исследований связи между факторами и скользящей средней урожайностью яровой пшеницы при длине шага 22 года (табл. 53).

Таблица 53 – Коэффициенты множественной корреляции между факторами и  $Y_{22}$

№ п/п	Факторы	$r$	$r^2$	$F$	Фактор удаления
1.	$P_2O_5$ , $K_2O$ , Дкп, Мин., Орг., НРК, $O_{год}$ , $O_{5-8}$ , $O_{5-6}$ , $O_6$ , $T_{5-6}$ , $T_6$	0,899	0,809	12,707	-
2.	$P_2O_5$ , $K_2O$ , Дкп, Мин., Орг., НРК, $O_{год}$ , $O_{5-8}$ , $O_{5-6}$ , $O_6$ , $T_6$	0,899	0,809	14,215	$T_{5-6}$
3.	$P_2O_5$ , Дкп, Мин., Орг., НРК, $O_{год}$ , $O_{5-8}$ , $O_{5-6}$ , $O_6$ , $T_6$	0,899	0,808	16,023	$K_2O$
4.	$P_2O_5$ , Дкп, Мин., Орг., НРК, $O_{год}$ , $O_{5-8}$ , $O_{5-6}$ , $O_6$ , $T_6$	0,899	0,808	18,240	$O_{5-8}$
5.	$P_2O_5$ , Дкп, Мин., Орг., НРК, $O_{5-8}$ , $O_{5-6}$ , $O_6$ , $T_6$	0,899	0,808	21,001	$O_{год}$
6.	$P_2O_5$ , Дкп, Мин., НРК, $O_{5-8}$ , $O_{5-6}$ , $O_6$ , $T_6$	0,899	0,807	24,552	Орг.
7.	$P_2O_5$ , Дкп, Мин., НРК, $O_{5-8}$ , $O_{5-6}$ , $O_6$	0,896	0,803	28,496	$T_6$
8.	$P_2O_5$ , Дкп, Мин., НРК, $O_{5-8}$ , $O_{5-6}$	0,894	0,800	34,319	$O_6$
9.	$P_2O_5$ , Дкп, Мин., НРК	0,891	0,794	42,273	$O_{5-6}$
10.	$P_2O_5$ , Мин., НРК	0,883	0,780	53,101	-

Коэффициенты множественной корреляции изменяются от 0,891 до 0,899, показывая статистическую достоверность связи при уровне значимости  $\alpha = 0,05$  и 0,01. Коэффициенты детерминации изменяются в диапазоне 0,794–0,809, что является доказательством возможности прогнозирования  $Y_{22}$  с точностью 79–81 процент. Также коэффициенты Фишера и Стьюдента показывают достоверность полученной информации.

Первым удаляется среднесуточная температура за май-июнь месяцы, далее – обеспеченность почвы обменным калием, среднемесячное количество осадков за вегетационный период, осадки за год. По мере удаления этих факторов при уровне значимости 0,05 в последних расчетах остались обеспеченность почв подвижным фосфором, насыщенность пашни минеральными удобрениями

и NPK. До этого были удалены среднемесячная температура за июнь и доля кислых почв в почвенном покрове. Таким образом, в многолетнем аспекте оставшиеся в уравнении факторы следует считать наиболее важными для долгосрочного прогнозирования урожайности агроценозов яровой пшеницы.

Для получения прогнозируемой урожайности яровой пшеницы получены 10 уравнений регрессии, представленные в таблице 54.

Таблица 54 – Уравнения регрессии урожайности яровой пшеницы по факторам –  $Y_{22}$

Шаги	R корр.	Уравнения регрессии
1	0,899	$Y_{22} = 1,964 + 0,012630 \times P_2O_5 + 0,002688 \times K_2O - 0,011570 \times Дкп + 0,143864 \times Мин + 0,129477 \times Орг - 0,141637 \times NPK - 0,000231 \times O_{год} + 0,001319 \times O_{5-8} + 0,004005 \times O_{5-6} - 0,002467 \times O_6 - 0,011174 \times T_{5+6} - 0,010670 \times T_6$
2	0,899	$Y_{22} = 1,908 + 0,012869 \times P_2O_5 + 0,002263 \times K_2O - 0,011118 \times Дкп + 0,133160 \times Мин + 0,118953 \times Орг - 0,131049 \times NPK - 0,000195 \times O_{год} + 0,001053 \times O_{5-8} + 0,004477 \times O_{5-6} - 0,002680 \times O_6 - 0,017727 \times T_6$
3	0,899	$Y_{22} = 2,258 + 0,12986 \times P_2O_5 - 0,011403 \times Дкп + 0,135179 \times Мин + 0,120513 \times Орг - 0,132999 \times NPK - 0,000184 \times O_{год} + 0,000852 \times O_{5-8} + 0,004450 \times O_{5-6} - 0,002692 \times O_6 - 0,019400 \times T_6$
4	0,899	$Y_{22} = 2,251 + 0,012935 \times P_2O_5 - 0,011135 \times Дкп + 0,109407 \times Мин + 0,094668 \times Орг - 0,107184 \times NPK - 0,000127 \times O_{год} + 0,004908 \times O_{5-6} - 0,002820 \times O_6 - 0,019531 \times T_6$
5	0,899	$Y_{22} = 2,159 + 0,013105 \times P_2O_5 - 0,010615 \times Дкп + 0,100765 \times Мин + 0,086053 \times Орг - 0,098609 \times NPK + 0,004213 \times O_{5-6} - 0,002545 \times O_6 - 0,019402 \times T_6$
6	0,899	$Y_{22} = 2,164 + 0,13134 \times P_2O_5 - 0,010727 \times Дкп + 0,014733 \times Мин - 0,012604 \times NPK + 0,004174 \times O_{5-6} - 0,002484 \times O_6 - 0,019366 \times T_6$
7	0,896	$Y_{22} = 1,793 + 0,012785 \times P_2O_5 - 0,009972 \times Дкп + 0,014553 \times Мин - 0,012622 \times NPK + 0,004408 \times O_{5-6} - 0,001885 \times O_6$
8	0,894	$Y_{22} = 1,734 + 0,013327 \times P_2O_5 - 0,009294 \times Дкп + 0,014753 \times Мин - 0,013097 \times NPK + 0,0011768 \times O_6$
9	0,891	$Y_{22} = 1,818 + 0,013173 \times P_2O_5 - 0,009172 \times Дкп + 0,015121 \times Мин - 0,013217 \times NPK$
10	0,883	$Y_{22} = 1,210 + 0,014374 \times P_2O_5 + 0,015889 \times Мин - 0,0014479 \times NPK$

Одна из характерных особенностей уравнений – знаки факторов. Агрохимические свойства – содержание подвижных форм фосфора и калия логично имеют положительный знак. Отрицательный знак характеризует долю кислых

почв, что соответствует нашим ожиданиям. Для минеральных и органических удобрений положительный знак иногда чередуется с отрицательным, что также согласуется с функциональной ролью этих факторов. В отличие от минеральных и органических удобрений в уравнениях суммарное выражение удобрений (NPK) имеет отрицательный знак, противоречит ожидаемому положительному знаку. Для количества атмосферных осадков за год, отдельно за июнь, май-июнь, вегетационный период временами положительный знак переходит в отрицательный. Средняя температура мая-июня и отдельно за июнь приводят к отрицательному знаку. Знак июньского месяца означает засуху, что вполне понятно, а средняя температура мая-июня не всегда находит функциональное объяснение. Приведенные данные распределения знаков и их смена в отдельных уравнениях говорит о том, что расчеты отражают связь в данной выборке, распределение факторов во временном ряду. Так, насыщенность пашни удобрениями определяется экономическим положением региона, государства, а во временном ряду она временами возрастает в отдельных отрезках, иногда уменьшаются, что не совпадает с распределением функции – скользящей средней урожайности пшеницы.

Порядок удаления факторов и расчет прогнозируемой скользящей средней урожайности яровой пшеницы при длине шага 22 года представлены в таблицах 54 и 55.

Относительное отклонение имеет отрицательный знак в 28 сельскохозяйственных годах, положительный – в 21. Диапазон абсолютных отклонений составляет от -0,52 до +0,51 т/га, а относительные отклонения – от -19 до +15 процента.





Таблица 56 – Результаты ретроспективного расчета скользящей урожайности яровой пшеницы при длине шага 22 лет –  $Y_{22}$  в зависимости от факторов ( $n = 49$ ), шаг 1, 12 факторов, среднее отклонение – 6 %

№	Год	Урожайность – $Y_{22}$ , т/га		Отклонение	
		$Y_{22}$	$Y_{22\text{расч.}}$	т/га	%
1.	1970	2,11	2,04	0,07	3,40
2.	1971	2,10	1,90	0,20	9,51
3.	1972	2,10	1,84	0,26	12,25
4.	1973	2,10	1,96	0,14	6,80
5.	1974	2,10	2,21	-0,11	-5,14
6.	1975	2,10	2,12	-0,02	-1,07
7.	1976	2,10	2,24	-0,14	-6,82
8.	1977	2,10	2,18	-0,08	-3,69
9.	1978	2,10	2,31	-0,21	-10,07
10.	1979	2,10	2,31	-0,21	-9,97
11.	1980	2,04	2,20	-0,16	-7,72
12.	1981	2,08	2,16	-0,08	-4,01
13.	1982	2,12	2,22	-0,10	-4,62
14.	1983	2,18	2,50	-0,32	-14,54
15.	1984	2,15	2,42	-0,27	-12,46
16.	1985	2,22	2,38	-0,16	-7,37
17.	1986	2,39	2,27	0,12	4,85
18.	1987	2,35	2,42	-0,07	-2,86
19.	1988	2,35	2,37	-0,02	-0,89
20.	1989	2,36	2,50	-0,14	-5,93
21.	1990	2,51	2,65	-0,14	-5,59
22.	1991	2,60	2,66	-0,06	-2,36
23.	1992	2,75	2,76	-0,01	-0,20
24.	1993	2,77	2,44	0,33	11,87
25.	1994	2,84	3,11	-0,27	-9,40
26.	1995	2,95	2,91	0,04	1,23
27.	1996	3,04	3,18	-0,14	-4,56
28.	1997	3,12	3,35	-0,23	-7,47
29.	1998	3,25	3,26	-0,01	-0,28
30.	1999	3,24	3,33	-0,09	-2,82
31.	2000	3,32	3,19	0,13	3,82
32.	2001	3,34	3,00	0,34	10,27
33.	2002	3,36	2,85	0,51	15,32
34.	2003	3,33	2,87	0,46	13,90
35.	2004	3,30	2,98	0,32	9,68
36.	2005	3,26	3,14	0,12	3,71
37.	2006	3,32	3,04	0,28	8,46
38.	2007	3,25	3,09	0,16	4,80
39.	2008	3,21	3,17	0,04	1,31
40.	2009	3,16	2,84	0,32	10,13
41.	2010	3,10	3,11	-0,01	-0,41
42.	2011	3,05	3,05	0,00	0,02
43.	2012	3,00	3,03	-0,03	-1,11
44.	2013	2,95	2,95	0,00	0,12
45.	2014	2,89	2,81	0,08	2,61
46.	2015	2,84	2,98	-0,14	-4,86
47.	2016	2,79	2,97	-0,18	-6,37
48.	2017	2,74	3,26	-0,52	-19,13
49.	2018	2,68	2,65	0,03	1,17

Таким образом, для скользящей средней урожайности яровой пшеницы при длине шага 22 года имеются существенные показатели, но они количественно имеют меньшие показатели. Тем не менее, относительные отклонения позволяют использовать полученный материал на практике.

В остальных расчетах количество отрицательного отклонения между фактическими и расчетными данными встречается от 20 до 29 раз (табл. 57). Относительные отклонения менее 3% имеют место в 15 сельскохозяйственных годах, 3–5% – в 10, 5–10%–14, более 10% – в 10 годах (приложения).

Таблица 57. Распределение относительного отклонения между  $Y_{ф} < Y_{фрасч.}$  (в выборке после исключения экстремальных сельскохозяйственных годов)

Относительное отклонение, %/ количество факторов	-	<3 %	<3-5 %	5-10 %	>10 %
6,06 – 12	28	15	10	14	10
6,09 – 11	27	14	10	16	9
6,01 – 10	28	16	7	17	9
6,01 – 9	28	15	10	14	10
6,04 – 8	29	14	11	15	9
6,07 – 7	29	16	9	15	10
5,98 – 6	20	18	7	14	10
6,32 – 5	29	13	9	18	9
6,36 – 4	29	10	13	17	9
6,66 – 3	29	9	10	19	11

Материалы, полученные почти за полувековой период, позволяют ранжировать факторы, принимающие долевое участие в создании урожая яровой пшеницы в конкретной выборке муниципального района, занимающего среднюю часть лесостепной зоны Среднего Поволжья. В связи с элиминацией фактора погоды в процессе получения скользящей средней в первую очередь удаляются метеорологические показатели, характеризующие тепловой режим ( $T_{5-6}$ ), обеспеченность почв обменным калием, атмосферные осадки за год ( $O_{год}$ ), за вегетационный период ( $O_{5-6}$ ), к ним также присоединяются содержание обменного калия ( $K_2O$ ), насыщенность органическими удобрениями (Орг.). Содержание обменного калия обычно постоянно пополняется за счет его валовых и не-

обменных форм (Лукманов, 2019), а – вторые (Орг.) – в выборке вносятся в зависимости от экономической ситуации. В средней части в расчетах (после шестого шага) также снимаются метеорологические показатели, полученные за относительно короткий период. Одним из последних была удалена доля кислых почв (Дкп) в составе пахотных угодий.

Самые сильные факторы остаются в уравнениях, участвуют в создании урожая, они представлены содержанием подвижного фосфора, насыщенностью почв минеральными удобрениями и их суммой – NPK.

Таким образом, действующие факторы после 7 шага –  $P_2O_5$ , Мин., NPK – являются стратегически важными, обеспечивают реализацию Продовольственной программы региона.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Материалы матрицы на уровне типичного муниципального района Среднего Поволжья представляют многолетний производственный стационарный опыт, включающие агрохимические свойства, характеристики хозяйственной деятельности и метеорологические показатели. Исследование связи между ними и урожайностью яровой пшеницы их ранжируют по силе участия в формировании урожаев изучаемой культуры. Одновременно корреляционно-регрессионные уравнения дают возможность получения ожидаемой урожайности в ретроспективе и в ближайшие годы, что может служить критерием оценки хозяйственной деятельности и рационального использования земельных ресурсов на уровне лесостепной зоны Среднего Поволжья.

Исследование связи между факторами и скользящей средней урожайностью конкретно оценивают хозяйственные, агрохимические факторы в повышении почвенного плодородия, подчеркивая главенствующую роль применения минеральных, органических удобрений, известкования и фосфоритования кислых почв.

Глава V. СВЯЗЬ МЕЖДУ ФАКТОРАМИ И УРОЖАЙНОСТЬЮ ЯРОВОЙ ПШЕНИЦЫ ПОСЛЕ ИСКЛЮЧЕНИЯ ЭКСТРЕМАЛЬНЫХ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ГОДОВ ИЗ ВЫБОРКИ, n=41

5.1. Матрица факторов и урожайность яровой пшеницы

В результате анализа фактической и расчетной урожайности яровой пшеницы в полной выборке (n=49) отрицательные отклонения между ними более 30% были выявлены в 8 сельскохозяйственных годах – 1975, 1978, 1979, 1981, 1983, 1989 и 2010, а положительные в 3 – 1973, 2002, 2009 годах. Исходя из этого выборка была откорректирована за счет исключения экстремально засушливых годов, имеющих отрицательное влияние выше 30%, объем выборки составил 41, год или строк (табл. 58).

Таблица 58 – Статистические параметры факторов матрицы за 1970–2018 годы (n=41), после исключения экстремальных годов

Показатель	max	min	M	$\sigma$	$\pm m$	V, %	$\chi^2$	$\lambda$
У <sub>ф</sub>	5,10	1,41	2,86	1,05	0,156	35,2	8,8	0,85
У <sub>11</sub>	3,90	1,97	2,73	0,63	0,10	23,1	7,8	0,63
У <sub>22</sub>	3,36	2,04	2,73	0,46	0,073	17,0	11,2	0,72
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	161,5	82,7	128,5	20,78	3,24	16,2	16,6	1,02
K <sub>2</sub> O	141,8	120,4	134,0	5,93	0,93	4,4	5,7	0,81
Д <sub>кп</sub>	67,3	42,5	57,8	7,40	1,16	12,8	17,4	0,97
Мин.	169,0	19,0	82,5	36,02	5,62	43,6	2,9	0,23
Орг.	81,2	0,1	32,76	20,48	3,20	52,5	6,9	0,52
НРК	250,2	43,0	115,3	46,86	7,32	40,7	3,6	0,56
О <sub>год</sub>	762,2	302,0	483,4	99,10	15,48	20,5	1,1	0,28
О <sub>5-8</sub>	102,2	20,7	52,20	15,46	2,41	29,6	4,1	0,35
О <sub>5-6</sub>	106,2	15,2	51,50	20,92	3,27	40,6	8,3	0,39
О <sub>6</sub>	164,1	15,6	67,97	33,01	5,16	48,6	5,71	0,21
Т <sub>5-6</sub>	18,4	13,0	15,46	1,66	0,26	10,8	11,4	0,76
Т <sub>6</sub>	21,3	13,4	17,4	2,02	0,31	11,6	8,4	0,60

Изменения показателей матрицы отражены также в статистических показателях (табл. 59), они более заметны в показателях фактической и скользящей средней урожайности из-за исключения данных засушливых сельскохозяйственных годов.

Таблица 59. Матрица исследуемых факторов и урожайности яровой пшеницы по Буинскому муниципальному району Республики Татарстан (n-41), (без экстремально засушливых годов – **1975, 1978, 1979, 1981, 1983, 1989, 1999, 2010**)

№	Год	Урожайность, т/га			Агрохимические факторы			Удобрения, кг/га д,в,			Осадки, мм				Температура	
		У <sub>ф</sub>	У <sub>11</sub>	У <sub>22</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	Дкп, %	Мин	Орг	NPK	год	V-VIII	V+VI	VI	T <sub>v+vi</sub>	T <sub>vi</sub>
					МГ/КГ											
1.	1970	2,26	2,30	2,11	<b>82,7</b>	<b>120,4</b>	<b>64,8</b>	19,2	23,8	43,0	588,8	78,5	56,6	69,8	13,8	15,5
2.	1971	2,04	2,25	2,10	84,5	122,5	64,9	19,0	36,2	55,2	<b>463,2</b>	49,7	59,3	76,2	13,5	15,8
3.	1972	2,03	2,2	2,10	87,8	124,7	65,0	21,0	36,2	57,2	374,4	20,7	33,8	56,1	15,3	17,5
4.	1973	3,09	2,15	2,10	90,7	127,0	65,2	24,0	36,2	60,2	512,0	50,7	32,2	21,0	16,0	18,7
5.	1974	1,88	2,10	2,10	93,6	129,1	65,3	41,0	25,0	66,0	416,8	58,4	49,2	66,2	14,3	16,1
6.	1976	2,22	2,01	2,10	99,4	133,4	65,5	70,0	37,5	107,5	530,9	79,3	76,5	97,8	13,9	15,8
7.	1977	1,82	2,11	2,10	102,3	135,4	65,6	63,0	37,5	100,5	497,7	62,8	45,2	51,1	17,1	18,7
8.	1980	2,50	2,02	2,04	<b>111,2</b>	<b>141,7</b>	<b>66,0</b>	67,0	45,0	112,0	414,3	41,6	33,2	56,3	14,8	16,7
9.	1982	3,23	2,08	2,12	118,9	136,4	62,8	71,0	58,8	129,8	466,2	49,7	66,6	107,5	13,0	13,6
10.	1984	1,53	1,98	2,15	126,7	131,0	59,7	84,0	47,5	131,5	423,5	67,5	43,7	81,6	17,4	17,6
11.	1985	2,07	2,05	2,22	130,6	128,3	58,1	87,0	58,8	145,8	609,2	72,1	98,4	<b>164,1</b>	13,9	15,9
12.	1986	2,39	1,97	2,39	134,4	125,7	56,7	107,0	72,5	179,5	382,0	32,2	38,3	71,0	14,7	18,2
13.	1987	1,86	2,15	2,35	<b>138,3</b>	<b>123,0</b>	<b>55,0</b>	120,0	71,2	191,2	460,0	58,2	35,8	36,0	17,6	20,4
14.	1988	1,69	2,13	2,35	140,5	124,6	57,5	131,0	72,5	203,5	396,1	43,2	40,9	69,4	16,9	20,3
15.	1990	2,31	2,3	2,51	144,9	127,7	62,4	109,0	53,8	162,8	631,8	51,3	66,5	<b>95,4</b>	13,0	15,1
16.	1991	1,68	2,43	2,60	147,1	129,2	64,8	99,0	46,2	145,2	414,6	41,4	25,4	25,5	17,6	20,4
<b>17.</b>	<b>1992</b>	3,07	2,67	2,75	<b>149,3</b>	<b>130,8</b>	<b>67,3</b>	145,0	55,0	200,0	430,0	43,9	26,9	23,2	13,8	16,5
18.	1993	3,01	2,63	2,77	151,2	131,8	66,1	169,0	81,2	250,2	511,1	56,0	50,6	<b>94,1</b>	15,0	15,9
19.	1994	3,42	2,64	2,84	153,3	132,9	64,5	104,0	31,2	135,2	326,8	54,9	60,8	70,5	13,8	15,8
20.	1995	2,30	2,74	2,95	155,4	133,9	63,7	93,0	33,8	126,8	311,4	39,0	43,8	65,0	18,4	20,7
21.	1996	3,50	2,98	3,04	157,4	134,9	62,4	109,0	21,2	130,2	302	37,8	58,6	<b>95,2</b>	17,0	17,7
22.	1997	5,10	3,22	3,12	159,4	136,0	61,2	152,0	23,8	175,8	604,4	60,9	97,5	<b>113,7</b>	15,6	19,4
<b>23.</b>	<b>1998</b>	1,41	3,36	3,25	<b>161,5</b>	<b>136,9</b>	<b>60,0</b>	81,0	12,5	93,5	491,1	46,8	19,3	19,6	17,6	21,3

Продолжение табл. 59

№	Год	Урожайность, т/га			Агрохимические факторы			Удобрения, кг/га д.в,			Осадки, мм				Температура	
		У <sub>ф</sub>	У <sub>11</sub>	У <sub>22</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	Дкп, %	Мин	Орг	NPK	год	V-VIII	V + VI	VI	T <sub>V+VI</sub>	T <sub>VI</sub>
					мг/кг											
24.	2000	2,55	3,45	3,32	150,2	136,9	58,4	101	22,5	123,5	434,7	54,4	50,1	60,5	13,2	17,5
25.	2001	4,94	3,61	3,34	144,5	137,0	57,6	82,9	35,0	117,9	633,8	72,2	70,6	59,7	14,8	16,1
26.	2002	4,37	3,64	3,36	138,8	137,0	56,8	54,8	30,0	84,8	532,3	42,3	51,8	66,6	13	16
27.	2003	4,61	3,56	3,33	133,1	137,1	56,0	60,8	33,8	94,6	458,7	73,1	82,6	101,1	13,6	13,4
<b>28.</b>	<b>2004</b>	3,67	3,87	3,30	<b>127,4</b>	<b>137,1</b>	<b>55,2</b>	111,5	20,0	131,5	762,2	102,2	109,2	152,6	15,2	16,6
29.	2005	3,76	3,83	3,26	129,0	138,0	55,5	133,8	7,5	141,3	433	47,6	55,4	87,6	16,4	16,4
30.	2006	4,00	3,90	3,32	129,2	139,0	55,8	92,3	10,5	102,8	524	55,6	48,3	44,4	16,6	20
31.	2007	3,91	3,71	3,25	129,5	139,9	56,1	101,1	10,5	111,6	497,7	50,4	36,4	30,7	16	16,2
32.	2008	4,25	3,50	3,21	129,7	140,9	56,4	102,2	6,2	108,4	475,8	56,5	47,3	54,7	14,4	16
33.	2009	4,8	3,30	3,16	<b>131,8</b>	<b>141,8</b>	<b>56,7</b>	77,1	26,2	103,3	306,6	34,2	41,3	43,7	16,8	19,8
34.	2011	3,24	3,07	3,05	127,7	140,6	51,0	66,1	13,8	79,2	571,6	38,4	64,9	90	15,4	16,7
35.	2012	2,92	3,02	3,00	126,2	140,0	48,2	88,5	10,5	99,0	605,3	56,3	54,5	67,3	17,6	19
36.	2013	2,06	2,86	2,95	125,6	139,4	45,3	59,7	10,0	69,7	505,9	40,4	15,2	17,7	17,8	20
37.	2014	2,37	2,73	2,89	<b>124,1</b>	<b>138,8</b>	<b>42,5</b>	54,3	26,2	80,5	408,7	41,4	39	59	16,8	17,2
38.	2015	2,39	2,58	2,84	124,6	138,8	43,0	51,2	10,5	61,7	482,8	41,3	23,4	15,6	18	20,5
39.	2016	2,5	2,44	2,79	125,0	138,8	43,4	43,7	12,5	56,2	545,3	37,3	59,4	74,9	16,1	17,6
40.	2017	3,52	2,30	2,74	125,4	138,8	43,9	59,4	0,1	59,5	596	63,8	64	71,9	13	15
41.	2018	2,04	2,15	2,68	<b>125,9</b>	<b>138,7</b>	<b>44,4</b>	57,7	40,0	97,7	487,7	36	39,2	62,3	15,2	16,4

Таблица 60. Коэффициенты парной корреляции между компонентами выборки без экстремальных годов, за 1970–2018 гг., n=41

Показатель	У <sub>ф</sub>	У <sub>11</sub>	У <sub>22</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	Дкп	Мин	Орг	НРК	О <sub>год</sub>	О <sub>5-8</sub>	О <sub>5-6</sub>	О <sub>6</sub>	T <sub>5-6</sub>	T <sub>6</sub>
У <sub>ф</sub>	<b>1</b>	<b>0,70</b>	<b>0,65</b>	0,27	<b>0,49</b>	-0,08	0,24	-0,33	0,04	0,19	0,18	<b>0,43</b>	0,18	-0,26	-0,28
У <sub>11</sub>		<b>1</b>	<b>0,93</b>	<b>0,42</b>	<b>0,57</b>	-0,21	0,29	<b>-0,56</b>	0,03	0,20	0,15	0,19	-0,01	0,07	0,04
У <sub>22</sub>			<b>1</b>	<b>0,63</b>	<b>0,65</b>	<b>-0,40</b>	<b>0,36</b>	<b>-0,53</b>	0,04	0,13	0,01	0,12	-0,05	0,13	0,11
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>				1	0,29	-0,10	<b>0,75</b>	0,10	<b>0,62</b>	-0,11	-0,11	0,04	0,04	0,18	0,26
K <sub>2</sub> O					1	<b>-0,51</b>	0,07	<b>-0,60</b>	-0,21	0,10	-0,07	0,03	-0,07	0,16	-0,02
Дкп						1	0,16	<b>0,45</b>	0,32	-0,24	0,14	0,06	0,09	-0,26	-0,13
Мин,							1	0,32	<b>0,91</b>	-0,02	0,10	0,15	0,20	0,11	0,14
Орг,								1	<b>0,69</b>	-0,19	-0,04	-0,02	0,18	-0,15	-0,07
НРК									1	-0,10	0,06	0,10	0,23	0,02	0,08
О <sub>год</sub>										1	<b>0,63</b>	<b>0,55</b>	<b>0,38</b>	-0,26	-0,25
О <sub>5-8</sub>											1	<b>0,67</b>	<b>0,50</b>	-0,29	<b>-0,35</b>
О <sub>5-6</sub>												1	<b>0,90</b>	<b>-0,47</b>	<b>0,51</b>
О <sub>6</sub>													1	<b>-0,43</b>	<b>-0,52</b>
T <sub>5-6</sub>														1	<b>0,84</b>
T <sub>6</sub>															1

Примечание: Критическое значение  $r$  при уровне значимости 0,05 и 0,01 соответственно равно 0,35 и 0,43; жирным шрифтом выделены статистически достоверные значения при уровне значимости 0,05

Агрохимические свойства и объемы внесения удобрений имеют однотипные показатели относительно первой выборки. Метеорологические параметры также имели аналогичное распределение. Вместе с тем, имеющиеся изменения проявляются на коэффициентах вариации, которые изменяются от 4,4 до 52,5% против в первичной таблице от 4,3 до 61,3 процента. Отмеченные особенности выборки получили отражение в тесноте связи между ними, особенно с урожайностью яровой пшеницы.

Урожайность яровой пшеницы с агрохимическими свойствами и между собой имеют статистически достоверные коэффициенты парной связи с диапазоном 0,42–0,93. Исключение составляет пара  $P_2O_5 - U_{\phi}$  с коэффициентом 0,27. По остальным параметрам произошли небольшие изменения.

Ниже по сокращенной матрице анализируется множественная связь и данные расчетной урожайности яровой пшеницы с применением изучаемых факторов.

## 5.2. Связь факторов с фактической урожайностью яровой пшеницы (n=41)

Коэффициенты множественной корреляции изменяются от 0,85 до 0,83, а коэффициенты детерминации в диапазоне 0,65–0,75 процента (табл.61).

Таблица 61. Коэффициенты множественной корреляции, детерминации при пошаговом исключении факторов для фактической урожайности яровой пшеницы (после исключения экстремально засушливых годов, n=41)

Шаг	$r$	$r^2$	$F$	Исключение факторов – отклонение $U_{\phi}$ и $U_{\phi \text{ расч.}}$ , %
0	0,85	0,73	6,28	Все факторы – 15,81
1	0,85	0,73	6,28	$D_{\text{кп}}$ – 15,91
2	0,85	0,73	7,04	$D_{\text{кп}}$ , $T_{5-6}$ – 16,06
3	0,85	0,72	9,00	$D_{\text{кп}}$ , $T_{5-6}$ , Мин – 16,30
4	0,85	0,72	10,20	$D_{\text{кп}}$ , $T_{5-6}$ , Мин, $P_2O_5$ – 16,72
5	0,84	0,71	11,49	$D_{\text{кп}}$ , $T_{5-6}$ , Мин, $P_2O_5$ , Орг – 16,45
6	0,83	0,65	11,49	$D_{\text{кп}}$ , $T_{5-6}$ , Мин, $P_2O_5$ , Орг, $O_{\text{год}}$ – 17,58

Они были получены после исключения статистически недостоверного влияния факторов на урожайность при уровне значимости  $\alpha = 0,05$ . При полном



наборе факторов относительное отклонение между  $Y_{\phi}$  и  $Y_{\text{фрасч.}}$  составляет от 15,81 до 17,58 %, то есть разница между его минимальными и максимальными показателями всего 1,67 процента.

В расчетах сначала исключается доля кислых почв, далее температура за май-июнь, минеральные удобрения, содержание подвижного фосфора, насыщенность пахотных почв органическими удобрениями и атмосферные осадки за год. Исключение этих факторов в формировании урожайности яровой пшеницы также фиксируется в изменении показателей уровня значимости при расчетах множественной связи при  $\alpha = 0,05$  (табл. 62).

На основе расчетов, полученные уравнения множественной регрессии, по которым осуществлен расчет показателей урожайности яровой пшеницы временного ряда за прошедшие годы, представлены в таблице 62.

Таблица 62 – Уравнения множественной регрессии для расчета ретроспективной фактической урожайности яровой пшеницы -  $Y_{\phi}$  - в выборке после исключения экстремально засушливых годов за 1970–2018 гг. (n=41)

Шаг	R корр.	Уравнения регрессии
0	0,85	$Y_{\phi} = -3,30225 - 0,00501 \times P_2O_5 + 0,05926 \times K_2O + 0,00791 \times Д_{\text{кп}} - 0,66549 \times \text{Мин.} - 0,67680 \times \text{Орг.} + 0,67591 \times \text{NPK} - 0,00105 \times O_{\text{год}} - 0,02659 \times O_{5-8} + 0,08717 \times O_{5-6} - 0,04217 \times O_6 + 0,05628 \times T_{5+6} - 0,17135 \times T_6$
1	0,85	$Y_{\phi} = -2,26582 - 0,00585 \times P_2O_5 + 0,05666 \times K_2O - 0,62570 \times \text{Мин.} - 0,63716 \times \text{Орг.} + 0,63667 \times \text{NPK} - 0,00135 \times O_{\text{год}} - 0,02540 \times O_{5-8} + 0,08787 \times O_{5-6} - 0,04263 \times O_6 + 0,04220 \times T_{5-6} - 0,16489 \times T_6$
2	0,85	$Y_{\phi} = -2,39627 - 0,00622 \times P_2O_5 + 0,05903 \times K_2O - 0,59120 \times \text{Мин.} - 0,60306 \times \text{Орг.} + 0,60227 \times \text{NPK} - 0,00143 \times O_{\text{год}} - 0,02436 \times O_{5-8} + 0,08593 \times O_{5-6} - 0,04158 \times O_6 - 0,13463 \times T_6$
3	<b>0,85</b>	$Y_{\phi} = -2,27643 - 0,00607 \times P_2O_5 + 0,05803 \times K_2O - 0,01168 \times \text{Орг.} + 0,01110 \times \text{NPK} - 0,00162 \times O_{\text{год}} - 0,02229 \times O_{5-8} + 0,08542 \times O_{5-6} - 0,04181 \times O_6 - 0,13459 \times T_6$
4	<b>0,85</b>	$Y_{\phi} = -2,08194 + 0,05304 \times K_2O - 0,00956 \times \text{Орг.} + 0,00862 \times \text{NPK} - 0,00154 \times O_{\text{год}} - 0,02044 \times O_{5-8} + 0,08277 \times O_{5-6} - 0,04074 \times O_6 - 0,14380 \times T_6$
5	0,84	$Y_{\phi} = -4,49651 + 0,06785 \times K_2O + 0,00632 \times \text{NPK} - 0,00158 \times O_{\text{год}} - 0,01978 \times O_{5-8} + 0,08712 \times O_{5-6} - 0,04292 \times O_6 - 0,12673 \times T_6$
6	0,83	$Y_{\phi} = -4,61246 + 0,06585 \times K_2O + 0,00660 \times \text{NPK} - 0,002425 \times O_{5-8} - 0,04181 \times O_6 - 0,13077 \times T_6$



Ниже рассмотрим результаты расчетов урожайности яровой пшеницы при полном наборе 12 факторов. Фактическая урожайность яровой пшеницы изменяется в диапазоне 1,41–5,10 т/га, а ее расчетные показатели – от 1,11 до 5,01 т/га. Абсолютные отклонения между  $Y_f$  и  $Y_{фрасч.}$  имеют как положительный знак (21), так и отрицательный (20). Положительный знак указывает превышение фактической урожайности над расчетной, а отрицательный знак, наоборот, превышение расчетной урожайности над фактической.

Абсолютные отклонения изменяются от –1,05 до +1,24 т/га, и приурочены к 1976 и 2002 годам. Относительное отклонение варьирует в широком диапазоне от –48,46 до + 33%, что характерно 1970 и 1977 сельскохозяйственным годам. Вместе с тем, важно распределение относительных отклонений по годам. Анализ проведен по 4 группам: 1 – менее 10%; 2 – менее 20%; 3 – менее 30%; 4 – более 30% и от 30 до 50 процентов.

Во временном ряду отклонение менее 10% проявилось в 19 годах, менее 20% – в 27, менее 30% – в 35 годах. Отклонение на уровне 30–50% встречается в 6 сельскохозяйственных годах, а именно в 1970, 1976, 1977, 1990, 1991 и 2016 годах. Здесь положительное отклонение приурочено к 1970 году. За счет этих годов имеет место ослабление связи и уменьшение коэффициентов корреляции.

Расчеты ожидаемой урожайности яровой пшеницы с участием 6 факторов представлены в таблице 64. Статистические параметры связи близки к данным предыдущей таблицы. Отрицательный знак в отклонениях обнаружен в 23 годах, положительный – в 18. Относительное отклонение имеет место 23 раза, а положительное – 18 раз. Относительное отклонение менее 10% встречается в 16 годах, менее 20% – в 28, менее 30% – в 35 годах, а более 30% – в 8 годах, а именно 1970, 1974, 1976, 1977, 1990, 1991, 1998 и 2018 годы. В последней выборке таких сельскохозяйственных годов 8, а в первой выборке их было 6 единиц.

Результаты отклонений (абсолютных и относительных) по всем анализируемым выборкам представлены в таблице 65. В ней относительное отклонение

встречается от 21 до 23 раза, а положительное –18–23 раза.

Таблица 64. Результаты расчета прогнозируемой фактической урожайности яровой пшеницы - $У_{\phi}$  (после исключения экстремально засушливых годов в зависимости от 12 факторов, при  $n=41$ , шаг 1, среднее отклонение – 15,81%)

№	Годы	Урожайность - $У_{\phi}$ , т/га		Отклонение	
		$У_{\phi}$	$У_{\text{фрасч.}}$	т/га	%
1.	1970	2,26	1,52	0,74	32,95
2.	1971	2,04	2,41	-0,37	18,30
3.	1972	2,03	1,85	0,18	8,97
4.	1973	3,09	2,23	0,86	27,68
5.	1974	1,88	2,35	-0,47	25,18
6.	1976	2,22	3,27	-1,05	47,40
7.	1977	1,82	2,70	-0,88	48,46
8.	1980	2,50	2,67	-0,17	6,72
9.	1982	3,23	3,23	0,00	0,06
10.	1984	1,53	1,22	0,31	20,03
11.	1985	2,07	2,12	-0,05	2,35
12.	1986	2,39	1,77	0,62	26,01
13.	1987	1,86	1,98	-0,12	6,61
14.	1988	1,69	1,68	0,01	0,61
15.	1990	2,31	3,01	-0,70	30,36
16.	1991	1,68	2,22	-0,54	32,01
<b>17.</b>	<b>1992</b>	3,07	3,39	-0,32	10,50
18.	1993	3,01	2,50	0,51	16,98
19.	1994	3,42	3,96	-0,54	15,93
20.	1995	2,30	2,50	-0,20	8,63
21.	1996	3,50	3,21	0,29	8,31
22.	1997	5,10	5,01	0,09	1,78
<b>23.</b>	<b>1998</b>	1,41	1,75	-0,34	23,79
24.	2000	2,55	3,21	-0,66	25,86
25.	2001	4,94	4,51	0,43	8,78
26.	2002	4,37	3,13	1,24	28,42
27.	2003	4,61	4,18	0,43	9,27
<b>28.</b>	<b>2004</b>	3,67	3,34	0,33	8,94
29.	2005	3,76	3,58	0,18	4,69
30.	2006	4,00	3,50	0,50	12,55
31.	2007	3,91	3,97	-0,06	1,47
32.	2008	4,25	3,79	0,46	10,90
33.	2009	4,80	3,75	1,05	21,92
34.	2011	3,24	3,24	0,00	0,08
35.	2012	2,92	3,17	-0,25	8,60
36.	2013	2,06	1,85	0,21	10,25
37.	2014	2,37	2,56	-0,19	8,01
38.	2015	2,39	2,44	-0,05	2,10
39.	2016	2,50	3,43	-0,93	37,19
40.	2017	3,52	3,65	-0,13	3,61
41.	2018	2,04	2,57	-0,53	25,93

Таблица 65. Результаты расчета прогнозируемой урожайности яровой пшеницы -  $У_{\phi}$  (после исключения экстремально засушливых годов), в зависимости от 6 факторов, при  $n=41$ , шаг 7, среднее отклонение – 17,58 %

№ п/п	Годы	Урожайность- $У_{\phi}$ , т/га		Отклонение	
		$У_{\phi}$	$У_{\text{фрасч.}}$	$\pm$ , т/га	%
1.	1970	2,26	1,47	0,79	34,93
2.	1971	2,04	2,31	-0,27	13,05
3.	1972	2,03	1,66	0,37	18,27
4.	1973	3,09	2,28	0,81	26,21
5.	1974	1,88	2,14	-0,26	13,71
6.	1976	2,22	3,18	-0,96	43,36
7.	1977	1,82	2,63	-0,81	44,58
8.	1980	2,50	2,68	-0,18	7,19
9.	1982	3,23	3,30	-0,07	2,22
10.	1984	1,53	1,18	0,35	23,15
11.	1985	2,07	2,32	-0,25	11,85
12.	1986	2,39	1,91	0,48	19,91
13.	1987	1,86	2,15	-0,29	15,60
14.	1988	1,69	1,74	-0,05	3,10
15.	1990	2,31	3,21	-0,90	38,93
16.	1991	1,68	2,23	-0,55	32,97
<b>17.</b>	<b>1992</b>	3,07	3,37	-0,30	9,83
18.	1993	3,01	2,57	0,44	14,76
19.	1994	3,42	3,76	-0,34	9,83
20.	1995	2,30	2,32	-0,02	1,04
21.	1996	3,50	2,81	0,69	19,85
22.	1997	5,10	4,87	0,23	4,58
<b>23.</b>	<b>1998</b>	1,41	1,89	-0,48	33,98
24.	2000	2,55	3,26	-0,71	27,77
25.	2001	4,94	4,72	0,22	4,41
26.	2002	4,37	3,39	0,98	22,53
27.	2003	4,61	4,18	0,43	9,42
<b>28.</b>	<b>2004</b>	3,67	3,36	0,31	8,44
29.	2005	3,76	3,07	0,69	18,46
30.	2006	4,00	3,43	0,57	14,33
31.	2007	3,91	3,75	0,16	4,15
32.	2008	4,25	3,58	0,67	15,86
33.	2009	4,80	3,61	1,19	24,89
34.	2011	3,24	3,70	-0,46	14,28
35.	2012	2,92	3,14	-0,22	7,57
36.	2013	2,06	1,96	0,10	4,88
37.	2014	2,37	2,59	-0,22	9,33
38.	2015	2,39	2,55	-0,16	6,76
39.	2016	2,50	3,51	-1,01	40,57
40.	2017	3,52	3,74	-0,22	6,32
41.	2018	2,04	2,81	-0,77	37,86

Таблица 66. Распределение фактической и расчетной прогнозируемой урожайности яровой пшеницы (в выборке после исключения экстремально засушливых сельскохозяйственных годов)

Относительное отклонение, %/ количество факторов	–	<10 %	<10-20 %	20-30 %	<30 %	Фактор удаления
15,81 – 12	21	19	8	8	6	–
16,91 – 11	22	18	9	10	4	Дкп
16,06 – 10	21	16	9	11	5	Т <sub>5-6</sub>
16,30 – 9	22	15	11	10	5	Мин
16,72 – 8	22	15	11	10	5	Р <sub>2</sub> О <sub>5</sub>
17,45 – 7	23	14	13	7	7	Орг
17,58 – 6	23	16	12	5	8	О <sub>год</sub>

Относительное отклонение имеет менее 10%, варьирует в 14–19 сельскохозяйственных годах, менее 20% – в 8–13, 20–30% – в 5-11, более 30% в 4-8 годах. Более высокие показатели относительного отклонения чаще встречаются по мере уменьшения коэффициентов множественной корреляции и по мере удаления статистически незначимых факторов для формирования урожайности яровой пшеницы. В последнем расчете прогнозируемой (расчетной) урожайности яровой пшеницы значимые факторы при  $P=0,05$  ранжируются в следующем порядке:  $O_{5-6}$  ( $P=0,000001$ );  $O_6$  ( $P=0,000005$ );  $K_2O$  ( $P=0,000486$ );  $NPK$  ( $P=0,006306$ ) и  $O_{5-8}$  ( $P=0,010275$ );  $T_6$  ( $P=0,030001$ ).

Исключение экстремальных сельскохозяйственных годов из выборки заметно укрепляет связь между факторами и урожайностью яровой пшеницы, что позволяет более точно прогнозировать ее в ретроспективе и в ближайшие будущие годы.

### 5.3. Связь факторов со скользящей средней ( $Y_{11}$ ) урожайностью яровой пшеницы (при $n=41$ )

Скользящие средние переменных величин, имеющих связь с погодой, обычно устраняют ее влияние, что в первую очередь отражается на тесноте связи между урожайностью и изучаемыми факторами. Эта связь видна и в парной и множественной связи, на параметрах регрессии (табл. 67). Так, в зависимости от объема после исключения статистически незначимых факторов при уровне

значимости  $\alpha = 0,05$  коэффициенты множественной корреляции имеют диапазон 0,750–0,802. При этом поочередно из расчетов исключаются минеральные удобрения, осадки за вегетационный период, температура за май-июнь, осадки за год, температура за июнь, доля кислых почв, обменный калий, подвижный фосфор и осадки за май-июнь. В результате значимыми факторами остаются органические удобрения и сумма удобрений в форме NPK. В первую очередь элиминируются метеорологические показатели, в состав которых также вошли минеральные удобрения, что, по-видимому, связано с характером их внесения во времени. В последнюю очередь устраняются агрохимические свойства и атмосферные осадки за начальный период вегетации (май-июнь). Оставшиеся факторы в выборке, в основном, характеризуют материальную основу урожая культуры, включающую структурные макроэлементы питания – азот, фосфор и калий.

Доля участия факторов, порядок их исключения из расчетов и влияние на продуктивность агроценозов культуры характеризует уровень значимости в расчетах. Его показатели изменяются по мере уменьшения объема выборки и удаления статистически незначимых факторов при 95% вероятности суждения (см. табл. 67).

Таблица 67 – Коэффициенты множественной корреляции, детерминации при пошаговом исключении факторов для скользящей средней яровой пшеницы при длине шага 11 лет после исключения засушливых годов (n=41)

Шаг	$r$	$r^2$	$F$	Исключение факторов – отклонение $U_{\phi}$ и $U_{\text{фрасч.}}$ , %
0	0,803	0,644	4,23	Все факторы –11,22
1	0,803	0,644	4,78	О <sub>5-8</sub> –11,22
2	0,803	0,644	5,43	О <sub>5-8</sub> , Мин. –11,22
3	0,802	0,643	6,21	Мин., О <sub>5-8</sub> , Т <sub>5-6</sub> –11,13
4	0,801	0,641	7,16	Мин., О <sub>5-8</sub> , Т <sub>5-6</sub> , О <sub>год</sub> –11,13
5	0,799	0,638	8,31	Мин., О <sub>5-8</sub> , Т <sub>5-6</sub> , О <sub>год</sub> , Т <sub>6</sub> –11,18
6	0,794	0,631	9,69	Мин., О <sub>5-8</sub> , Т <sub>5-6</sub> , О <sub>год</sub> , Т <sub>6</sub> , Дкп –11,03
7	0,787	0,620	11,42	Мин., О <sub>5-8</sub> , Т <sub>5-6</sub> , О <sub>год</sub> , Т <sub>6</sub> , Дкп, К <sub>2</sub> О –10,85
8	0,773	0,597	13,33	Мин., О <sub>5-8</sub> , Т <sub>5-6</sub> , О <sub>год</sub> , Т <sub>6</sub> , Дкп, К <sub>2</sub> О, Р <sub>2</sub> О <sub>5</sub> – 11,00
9	0,756	0,571	16,40	Мин., О <sub>5-8</sub> , Т <sub>5-6</sub> , О <sub>год</sub> , Т <sub>6</sub> , Дкп, К <sub>2</sub> О, Р <sub>2</sub> О <sub>5</sub> , О <sub>6</sub> –10,96
10	0,750	0,562	24,37	Остались – Орг., NPK –11,09

Для расчета прогнозной урожайности яровой пшеницы рассчитаны кор-

реляционно-регрессионные уравнения (табл. 68). Знаки факторов в уравнениях определяются как их ролью в формировании урожая культуры, так и направлением их изменения в выборке временного ряда.

Таблица 68. Уравнения множественной регрессии для расчета прогнозируемой скользящей средней урожайности при длине шага 11 лет яровой пшеницы –  $Y_{11}$  (после исключения экстремально засушливых сельскохозяйственных годов,  $n=41$ )

Шаг	R корр.	Уравнения регрессии
0	0,803	$Y_{11} = -0,914944 + 0,008107 \times P_2O_5 + 0,016154 \times K_2O + 0,010664 \times Дкп + 0,002139 \times Мин. - 0,019003 \times Орг. + 0,002485 \times NPK + 0,0004190 \times O_{год} - 0,000751 \times O_{5-8} + 0,013057 O_{5-6} - 0,008040 \times O_6 + 0,032627 \times T_{5+6} - 0,046599 \times T_6$
1	0,803	$Y_{11} = -0,915782 + 0,008107 \times P_2O_5 + 0,016157 \times K_2O + 0,010668 \times Дкп - 0,021142 \times Орг. + 0,004623 \times NPK + 0,000420 \times O_{год} - 0,000760 \times O_{5-8} + 0,013060 \times O_{5-6} - 0,008040 \times O_6 + 0,032662 \times T_{5+6} - 0,046623 \times T_6$
2	0,802	$Y_{11} = -0,866574 + 0,007703 \times P_2O_5 + 0,017552 \times K_2O + 0,009551 \times Дкп - 0,021463 \times Орг. + 0,004776 \times NPK + 0,000331 \times O_{год} + 0,011811 \times O_{5-6} - 0,007341 \times O_6 - 0,023736 \times T_6$
3	0,801	$Y_{11} = -0,572011 + 0,007182 \times P_2O_5 + 0,017229 \times K_2O + 0,007929 \times Дкп - 0,021603 \times Орг. + 0,004991 \times NPK + 0,013616 \times O_{5-6} - 0,008006 \times O_6 - 0,023663 \times T_6$
4	0,799	$Y_{11} = -1,34844 + 0,00662 \times P_2O_5 + 0,01964 \times K_2O + 0,00887 \times Дкп - 0,02086 \times Орг. + 0,00477 \times NPK + 0,01435 \times O_{5-6} - 0,00766 \times O_6$
5	0,794	$Y_{11} = -0,287976 + 0,005794 \times P_2O_5 + 0,015738 \times K_2O - 0,020744 \times Орг. + 0,005358 \times NPK + 0,015321 \times O_{5-6} - 0,008267 \times O_6$
6	<b>0,787</b>	$Y_{11} = 1,730476 + 0,007302 \times P_2O_5 - 0,023963 \times Орг. + 0,005415 \times NPK + 0,014355 \times O_{5-6} - 0,007590 \times O_6$
7	0,773	$Y_{11} = 2,451222 - 0,028558 \times Орг. + 0,008875 \times NPK + 0,014348 \times O_{5-6} - 8035 \times O_6$
8	0,756	$Y_{11} = 2,582391 - 0,031250 \times Орг. + 0,008888 \times NPK + 0,002880 \times O_{5-6}$
9	0,750	$Y_{11} = 2,714374 - 0,031779 \times Орг. + 0,009181 \times NPK$

По уравнениям рассчитаны прогнозные (ожидаемые) показатели урожайности яровой пшеницы в ретроспективном плане за 1970–2018 годы (табл. 69 и приложения).



Таблица 69. Результаты расчета фактической прогнозируемой урожайности яровой пшеницы –  $У_{11}$  в зависимости от 12 факторов ( $n=41$ ), среднее отклонение – 11,22%

№	Годы	Урожайность- $У_{11}$ , т/га		Отклонение	
		$У_{11}$	$У_{\text{фрасч.}}$	т/га	%
1.	1970	2,30	2,18	0,12	5,19
2.	1971	2,25	1,95	0,30	13,18
3.	1972	2,20	1,82	0,38	17,32
4.	1973	2,15	2,16	-0,01	0,41
5.	1974	2,10	2,36	-0,26	12,36
6.	1976	2,01	2,54	-0,53	26,43
7.	1977	2,11	2,50	-0,39	18,50
8.	1980	2,02	2,37	-0,35	17,51
9.	1982	2,08	2,23	-0,15	7,35
10.	1984	1,98	2,26	-0,28	14,02
11.	1985	2,05	2,15	-0,10	4,69
12.	1986	1,97	1,80	0,17	8,44
13.	1987	2,15	2,11	0,04	1,90
14.	1988	2,13	1,97	0,16	7,36
15.	1990	2,30	2,65	-0,35	15,28
16.	1991	2,43	2,64	-0,21	8,78
17.	1992	2,67	2,88	-0,21	7,91
18.	1993	2,63	2,41	0,22	8,38
19.	1994	2,64	3,16	-0,52	19,88
20.	1995	2,74	2,85	-0,11	3,84
21.	1996	2,98	3,19	-0,21	6,96
22.	1997	3,22	3,71	-0,49	15,15
23.	1998	3,36	3,26	0,10	2,96
24.	2000	3,45	3,16	0,29	8,51
25.	2001	3,61	3,27	0,34	9,28
26.	2002	3,64	2,80	0,84	23,14
27.	2003	3,56	2,92	0,64	17,95
28.	2004	3,87	3,27	0,60	15,49
29.	2005	3,83	3,38	0,45	11,69
30.	2006	3,90	3,29	0,61	15,71
31.	2007	3,71	3,45	0,26	6,92
32.	2008	3,50	3,44	0,06	1,62
33.	2009	3,30	2,89	0,41	12,46
34.	2011	3,07	3,07	0,00	0,00
35.	2012	3,02	3,19	-0,17	5,64
36.	2013	2,86	2,84	0,02	0,85
37.	2014	2,73	2,53	0,20	7,45
38.	2015	2,58	2,84	-0,26	10,18
39.	2016	2,44	2,88	-0,44	17,95
40.	2017	2,30	3,27	-0,97	42,15
41.	2018	2,15	2,35	-0,20	9,11

Между показателями скользящей средней урожайности и ее расчетными

данными определены абсолютные и относительные отклонения. Абсолютные отрицательные отклонения в т/га между ними  $Y_{11}$  и  $Y_{11\text{расч.}}$  встречаются в 20 сельскохозяйственных годах, а положительные – в 21, величина которых изменяется от -0,97 до +0,84 т/га. Относительные отклонения исчислены в процентах и имеют диапазон от нуля до 42,15 процента.

Относительные отклонения оценены по группам (табл.70). И отрицательные отклонения встречаются в 20 сельскохозяйственных годах, а положительные – в 21. Относительные отклонения менее 3% встречаются в 6 случаях, менее 5% – в 8-ми, менее 10% - в 22-х, более 10% – в 19-ти, а 10-15% – в 6-ти сельскохозяйственных годах.

Таблица 70. Распределение относительного отклонения между  $Y_{11} < Y_{11\text{фрасч.}}$  (в выборке после исключения экстремальных сельскохозяйственных годов) за 1970–2018 гг.

Относительное отклонение, % – количество факторов	–	< 3 %	< 5 %	< 10 %	> 10 %	10-15 %
Скольльзящие средние – $Y_{11}$						
11,22 – 12	20	6	8	22	19	6
11 – 11,22	20	6	8	22	19	6
10 – 11,22	20	6	9	22	19	8
3 – 11,22	23	8	11	25	10	7
Скольльзящие средние – $Y_{22}$						
12 – 6,75	26	14	17	30	11	11
9 – 6,69	22	10	8	15	8	5

В остальных таблицах прогнозируемой урожайности яровой пшеницы получено примерно аналогичное распределение.

Таким образом, прогнозные показатели урожайности, отклонения между  $Y_{11}$  и  $Y_{11\text{расч.}}$  согласуются с теснотой связи – коэффициентами множественной корреляции, также выявляет главенствующую роль агрохимических и хозяйственных факторов, включая метеорологические параметры (атмосферные осадки) в получении стабильных и высоких урожаев яровой пшеницы.

#### **5.4. Связь факторов со скользящей средней ( $Y_{22}$ ) урожайностью яровой пшеницы (n=41)**

В зависимости от объема выборки факторы и скользящие средние уро-

жайности яровой пшеницы при длине шага 22 года имеют более тесную связь, которая характеризуется высокими коэффициентами корреляции – 0,868–0,896 и уравнениями регрессии (табл. 71).

Таблица 71. Коэффициенты множественной корреляции, детерминации при пошаговом исключении факторов для скользящей средней урожайности яровой пшеницы при длине шага 22 года после исключения засушливых годов (n=41)

Шаг	$r$	$r^2$	$F$	Исключение факторов – отклонение $Y_{22}$ и $Y_{22расч.}$ , %
0	0,896	0,802	9,48	Все факторы – 6,75
1	0,896	0,802	10,71	$O_{год}$ – 6,17
2	0,896	0,802	12,18	$O_{год}$ , $O_{рг.}$ – 6,20
3	0,896	0,802	13,98	$O_{год}$ , $O_{рг.}$ , $T_{5-6}$ – 6,19
4	0,895	0,802	16,18	$O_{год}$ , $O_{рг.}$ , $T_{5-6}$ , $O_{5-8}$ – 6,23
5	0,892	0,795	18,29	$O_{год}$ , $O_{рг.}$ , $T_{5-6}$ , $O_{5-8}$ , $T_6$ – 6,38
6	0,888	0,789	21,14	$O_{год}$ , $O_{рг.}$ , $T_{5-6}$ , $O_{5-8}$ , $T_6$ , $Дкп$ – 6,70
7	0,879	0,773	23,88	$O_{год}$ , $O_{рг.}$ , $T_{5-6}$ , $O_{5-8}$ , $T_6$ , $Дкп$ , $O_6$ – 6,89
8	0,876	0,768	29,83	$O_{год}$ , $O_{рг.}$ , $T_{5-6}$ , $O_{5-8}$ , $T_6$ , $Дкп$ , $O_6$ , $O_{5-6}$ – 6,75
9	0,859	0,753	37,63	$O_{год}$ , $O_{рг.}$ , $T_{5-6}$ , $O_{5-8}$ , $T_6$ , $Дкп$ , $O_6$ , $O_{5-6}$ , $K_2O$ – 6,69

Степени влияния факторов в формировании уровня урожая яровой пшеницы отражают уровни значимости факторов в уравнениях множественной регрессии (табл. 72). Одновременно материалы этих таблиц отражают порядок исключения незначимых факторов из расчетов. Наиболее сильными факторами в определении высоты урожаев культуры остаются минеральные удобрения, включая содержание подвижного фосфора в почвах. С ними рядом позицию занимают обменный калий, далее осадки за май-июнь и отдельно за июнь. К ним также примыкает доля кислых почв в составе пахотных угодий исследуемого региона. Малозначимыми факторами являются атмосферные осадки за год, вегетационный период и температурный режим за май-июнь и отдельно за июнь.

По данным анализа связи и уравнениям регрессии связи получены показатели прогнозной урожайности в ретроспективном аспекте временного ряда (приложения). Между  $Y_{22}$  и  $Y_{22расч.}$  получены абсолютные и относительные отметки, которые изменяются от – 0,57 до +0,36 т/га, а относительные – от 0,18 до 20,81 процента.

Таблица 72 – Уравнения множественной регрессии для расчета прогнозируемой скользящей средней урожайности яровой пшеницы при длине шага 22 года (после исключения экстремально засушливых сельскохозяйственных годов, n=41)

Шаг	R корр.	Уравнения регрессии
0	0,896	$Y_{22} = 0,832357 + 0,012393 \times P_2O_5 + 0,009376 \times K_2O - 0,006872 \times Д_{кп} + 0,050368 \times Мин + 0,039138 \times Орг - 0,048706 \times NPK + 0,000030 \times O_{год} - 0,001148 \times O_{5-8} + 0,009158 \times O_{5-6} - 0,005816 \times O_6 + 0,007041 \times T_{5+6} - 0,029755 \times T_6$
1	0,896	$Y_{22} = 0,852836 + 0,012363 \times P_2O_5 + 0,009381 \times K_2O - 0,007029 \times Д_{кп} - 0,055112 \times Мин + 0,043877 \times Орг - 0,053440 \times NPK - 0,001044 \times O_{год} + 0,009209 \times O_{5-8} - 0,005835 \times O_6 + 0,006386 \times T_{5+6} - 0,029278 \times T_6$
2	0,896	$Y_{22} = 0,848687 + 0,012345 \times P_2O_5 + 0,009449 \times K_2O - 0,007047 \times Д_{кп} + 0,011250 \times Мин - 0,009579 \times NPK - 0,001166 \times O_{5-8} + 0,009302 \times O_{5-6} - 0,005840 \times O_6 + 0,006744 \times T_{5-6} - 0,029501 \times T_6$
3	0,896	$Y_{22} = 0,845614 + 0,012281 \times P_2O_5 + 0,009747 \times K_2O - 0,007186 \times Д_{кп} + 0,011315 \times Мин - 0,009618 \times NPK - 0,001049 \times O_{5-8} + 0,008978 \times O_{5-6} - 0,005670 \times O_6 - 0,024788 \times T_6$
4	0,895	$Y_{22} = 0,764452 + 0,012553 \times P_2O_5 + 0,009947 \times K_2O - 0,007203 \times Д_{кп} + 0,011160 \times Мин - 0,009609 \times NPK + 0,008047 \times O_{5-6} - 0,005352 \times O_6 - 0,024581 \times T_6$
5	0,892	$Y_{22} = -0,042430 + 0,011965 \times P_2O_5 + 0,012451 \times K_2O - 0,006227 \times Д_{кп} + 0,010385 \times Мин - 0,009064 \times NPK + 0,08808 \times O_{5-6} - 0,004992 \times O_6$
6	0,888	$Y_{22} = -0,786751 + 0,012541 \times P_2O_5 + 0,015187 \times K_2O + 0,010466 \times Мин - 0,009558 \times NPK + 0,008123 \times O_{5-6} - 0,004567 \times O_6$
7	0,896	$Y_{22} = -0,515194 + 0,012965 \times P_2O_5 + 0,013441 \times K_2O + 0,012156 \times Мин - 0,011357 \times NPK + 0,001628 \times O_{5-6}$
8	0,876	$Y_{22} = -0,405854 + 0,012619 \times P_2O_5 + 0,013428 \times K_2O + 0,012679 \times Мин - 0,011553 \times NPK$
9	0,868	$Y_{22} = 1,310302 + 0,013870 \times P_2O_5 + 0,015257 \times K_2O - 0,014065 \times NPK$

Отклонения в 26-ти случаях имеют отрицательный знак и в 15-ти – положительный. Относительные отклонения менее 3% встречаются в 10-ти годах, менее 5-ти – в 18 раз, менее 10-ти – в 33-х сельскохозяйственных годах. Отклонения более 10% имеют место 8 раз, а от 10 до 15% – в 6-ти случаях.

Анализ всех материалов показывает, между изучаемыми факторами и урожайностью изучаемой культуры теснота связи становится более крепкой, еще раз подтверждая высокую достоверность средних показателей во время агрохимических исследований.

## **Глава VI. БАЛАНС МАКРОЭЛЕМЕНТОВ ПОД ЯРОВОЙ ПШЕНИЦЕЙ ЗА 1970–2018 ГОДЫ**

Соотношение макроэлементов в составе зерна яровой пшеницы является постоянным, оно слабо изменяется в зависимости от экологического состояния почв (Ильин, 1985; Опорнов, 2018; 2019). Оптимальное соотношение и концентрация макроэлементов поддерживается и регулируется в ходе хозяйственной деятельности внесением органических, минеральных удобрений и других средств химизации. Оптимальные параметры макроэлементов являются залогом формирования высоких, устойчивых и экологически безопасных урожаев, что определяет необходимость мониторинга агрохимического состояния и баланса макроэлементов питания в пахотных почвах (Петербургский, 1979; Минеев, 2004; Фирсов, 2011; Ивойлов, 2015 и др.).

Баланс рассчитывают по отдельным агрохимическим показателям – гумуса, азота, фосфора, калия, кальция и др. Они также проводятся по отдельным полям, опытным участкам, севооборотам, землепользователям, муниципальным районам, областям, республикам и государствам (Петербургский, 1979; Минеев, 1999, 2004, 2006; Ломако, Бакиров, 2007; Vasco, 2014; Ивойлов, 2015 и др.).

Баланс макроэлементов питания характеризует не только пространственные условия, но и временные отрезки. Часто расчеты проводят за год, вегетационный период, ротацию севооборота или за более длительный период. В системе Агрохимической службы Российской Федерации баланс также рассчитывают и по циклам обследования почв.

В наших исследованиях баланс макроэлементов был проведен под одной культурой – яровой пшеницей за 1970–2018 годы на типичных черноземах лесостепной зоны Среднего Поволжья на примере Буинского муниципального района Республики Татарстан.

В таблице 73 представлены результаты упрощенного расчета хозяйственного баланса – азота, фосфора и калия. Положительная статья формируется за счет применения органических и минеральных удобрений за изучаемый период. Ежегодно каждый гектар пашни получил 83,2 кг/га д.в. азотных, фосфорных

и калийных минеральных удобрений в соотношении 5:3:2 или 41,6 кг азотных, 24,96 кг фосфорных и 16,64 кг д.в. калийных удобрений.

Таблица 73 – Хозяйственный баланс азота, фосфора и калия под яровой пшеницей за 1970–2018 годы в расчете на 1 год, кг/га

Показатель	Азот	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	Всего
Приходная статья баланса				
1. Минеральные удобрения	41,6	24,96	16,64	83,2
2. Органические удобрения	26,0	13,0	26,0	65,0
3. Фосфоритная мука	0,00	1,12	0,05	3,05
4. Азотфиксация ассоциативными микроорганизмами, поступление с атмосферными осадками	30,0	0,00	0,00	30,0
Всего по приходным статьям	<b>97,6</b>	<b>39,08</b>	<b>42,69</b>	<b>181,25</b>
Расходная статья баланса				
1. Отчуждение в составе урожая яровой пшеницы	87,5	30,0	62,5	180,0
2. Вынос водной эрозией	0,33	0,46	0,56	1,35
3. Повышение подвижных форм фосфора	0,00	0,90	0,00	0,90
обменного калия	0,00	0,00	1,80	1,80
Всего по расходным статьям	<b>87,83</b>	<b>31,36</b>	<b>64,86</b>	<b>184,05</b>
Баланс, ±	+9,77	+7,72	-22,17	-2,8
Восполняемость отчуждения элементов питания (интенсивность баланса) без учета азотфиксации, %	77	124,6	66	82
Восполняемость отчуждения элементов (интенсивность баланса) с учетом азотфиксации, %	111	124,6	66	98

Под сельскохозяйственными культурами, в том числе под яровой пшеницей, доступность минеральных азотных удобрений составляет 60–70 процентов. Высокая растворимость и отрицательное физическое поглощение нитратов способствуют их вымыванию из пахотного горизонта в нижние слои почвы. На второй год пахотный горизонт и прилегающие к нему слои не содержат азота минеральных удобрений, но минеральный азот может накапливаться в нижних слоях и почвообразующей породе.

Основные запасы азота сосредоточены в составе гумуса, являющегося его хранилищем (Тюрин, 1937; Умаров и др., 2007; Гамзиков, 2013; Ивойлов, 2015 и др.), где он находится в основном в аммиачной форме в составе различных аминокислот. Вместе с тем почвенные микроорганизмы переводят молекулярный азот в аммиачную форму, в последующем в нитритную и нитратную. В оптимальных условиях температурного режима и увлажнения ежегодный объем

такой фиксации молекулярного азота ассоциативными микроорганизмами в почвах может составлять до 100 кг/га и выше. В умеренном поясе, где находится наша лесостепная зона, количество такого фиксированного азота варьирует и составляет 30–50 кг/га (Умаров и др., 2007). В расчетах нами принято содержание фиксированного азота, равное 30 кг/га.

Положительная (приходная) статья минерального азота за счет удобрений равна 41,6 кг/га в год, а с учетом азотфиксации – 97,6 кг/га.

Отрицательную (расходную) статью азота представляет отчуждение в составе урожая яровой пшеницы. С учетом посевной нормы (200 кг/га) расчетная ее урожайность составляет 2,48 т/га, а отчуждаемое количество азота равно 87,5 кг/га ежегодно.

Мобильные формы азота также выносятся в процессе водной эрозии. Так, она занимает 43,5 % от общей площади пашни 100 тыс. га, а ежегодно объем смытого мелкозема с эродированной пашни в среднем равен 10 т/га. При средней концентрации минерального азота 79,2 мг/кг почвы каждый гектар пашни теряет до 0,33 кг/га минерального азота. При этом не учитывается количество азота в составе гумуса мелкозема. Отрицательный баланс азота без учета азотфиксации составляет 20,23 кг/га, а с учетом этой фиксации +9,77 кг/га в год. Восполняемость отчуждения по азоту равна 77 и 111% соответственно.

В расчетах баланса фосфора положительная статья складывается за счет внесения минеральных, органических удобрений и она в сумме равна 40,96 кг/га в год.

В лесостепной зоне также используют на кислых почвах местные агроруды – фосфориты. Ежегодное фосфоритование осуществляется на площади 750 га с дозой 300 кг д.в. Отсюда за счет фосфоритов пахотные почвы за 49 лет обогащены фосфором на 54,9 кг/га. Таким образом, положительная статья по фосфору возрастает на 1,12 кг/га и по данному элементу в сумме составляет 39,08 кг/га ежегодно.

Расходная статья этого элемента представлена отчуждением с урожаем

пшеницы (30,0 кг/га), удаление в составе смываемого эрозией мелкозема (0,46 кг/га в год). Кроме того, вносимое количество удобрений используется на повышение концентрации  $P_2O_5$  с 86,6 до 124,1 мг/кг и количество этого фосфора составляет 0,90 кг/га для пахотного горизонта мощностью 0,20 м. В настоящее время мощность пахотного горизонта варьирует от 0,25 до 0,35 м (в среднем 0,30 м) и расход  $P_2O_5$  составляет 0,44 кг/га. Таким образом, расходная статья по этому важному элементу составляет 31,36 кг/га. Восполняемость подвижного фосфора равна 124,6 процента.

Источниками фонда обменного калия являются минералы горных пород почвы, что определяет исходное состояние обменного калия в пахотном горизонте – 120,4 мг/кг почвы. Положительную статью калия представляют минеральные и органические удобрения, за счет которых пахотный горизонт обогащается на 42,69 кг/га в год. Небольшое количество калия было внесено в составе фосфоритов – 0,05 кг/га в год. Положительная статья по обменному калию равна 42,69 кг/га. Расходная статья калия состоит из отчуждения с урожаем яровой пшеницы (62,5 кг/га), водной эрозией (0,56 кг/га в год), что в сумме составляет 63,06 кг/га в год. В связи с углублением пахотного горизонта и повышением концентрации обменного калия в прежнем пахотном горизонте ежегодно расходуется 1,8 кг/га в год. В итоге отрицательная статья составляет 64,86 кг/га в год, она превышает положительную статью на 22,17 кг/га в год. Восполняемость по балансу этого элемента равна 66 %.

## **ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

Баланс макроэлементов питания является критерием оценки эффективного плодородия пахотных почв, служит для определения будущей урожайности районированных культур. При положительном балансе элементов питания следует ожидать повышение урожайности, а при отрицательном – ее снижение.

Среди макроэлементов баланс по азоту является важным параметром, регулируется не только удобрениями, но и созданием благоприятных условий для его фиксации за счет молекулярного азота. Баланс по азоту положительный при



учете азотфиксации микроорганизмами (+9,77 кг/га), без ее учета – минус 20,23 кг/га. Восполняемость этого элемента соответственно равна 111%, а без учета фиксации молекулярного азота – 77 процента.

Баланс по фосфору положителен, он обусловлен за счет интенсивного применения минеральных и органических удобрений, являющихся основным источником подвижного фосфора в пахотных почвах. В этом отношении перспективным удобрением являются местные агроруды – фосфориты.

Баланс обменного калия дает противоречивые показатели. При отрицательном балансе этого важного элемента содержание обменного калия в целом имеет тенденцию повышения от первых годов наблюдения к последнему сроку, что указывает на наличие другого источника пополнения подвижного элемента за счет необменного его фонда (Лукманов, 2019). Для окончательного и точного решения этой проблемы необходимы долгосрочные стационарные наблюдения за состоянием концентрации обменного (подвижного) калия по всему почвенному профилю.

## Глава VII. УРОЖАЙНОСТЬ ЯРОВОЙ ПШЕНИЦЫ И ЕЕ СТАБИЛЬНОСТЬ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ПРИМЕНЕНИЯ АГРОХИМИКАТОВ НА ВЫЩЕЛОЧЕННЫХ ЧЕРНОЗЕМАХ СРЕДНЕГО ПОВОЛЖЬЯ

### 7.1. Место и условия проведения стационарных полевых исследований

Стационарные опыты по изучению реакции яровой пшеницы на применение расчетных норм минеральных удобрений, известкования и фосфоритования кислых почв проводились в 2016–2020 гг. на типичных выщелоченных черноземах отделения «Маяк» ООО «Авангард» (рис. 11).



Рисунок 11. Месторасположение ООО «Авангард» на карте Буинского муниципального района Республики Татарстан

ООО «Авангард» расположено в центральной части Буинского муници-

пального района и его соседом на юге является СП «Рунгинское», на севере – СП «Черки-Кильдуразское», на востоке – СП «Большефроловское» и на западе – СП «Верхнелашинское».

С 2011 г. возглавляет данное хозяйство Курчаткин Николай Григорьевич, 1968 года рождения. Он окончил Казанский государственный аграрный университет по специальности «Экономика и управление аграрным производством».

ООО «Авангард» относится к числу крупных сельскохозяйственных формирований не только Буинского муниципального района, но и Республики Татарстан. Площадь сельскохозяйственных угодий составляет 29 тыс. 679 га, в том числе пашня занимает 27 тыс. 569 га (распаханность сельскохозяйственных угодий 92,8%). Среднегодовая численность работников составляет 675 человек со среднемесячной заработной платой 38 тыс. 217 рублей. Такая высокая оплата труда объясняется тем, что денежная выручка от реализации животноводческой и растениеводческой продукции на одного работника превышает 5 млн руб./год. Каждый гектар пашни обеспечивает получение 142 тыс. руб. денежной выручки.

В 2020 г. товарная урожайность зерновых культур составила 3,82 т/га, сахарной свеклы – 47,73 и кормовых культур – 3 т/га кормовых единиц.

В хозяйстве содержится 5277 голов КРС, в том числе 725 коров с надоем молока на одну корову 5922 кг/год. Производство мяса, включая свинину, приближается к 20 тыс. т/год (в 2020 г. произведено 19591 т). В целом, хозяйство занимает лидирующее положение по растениеводству и животноводству, так как его производственно-финансовые показатели превышают среднереспубликанские в 1,5-2,0 раза, а по некоторым позициям (например, по плотности скота на 100 га сельскохозяйственных угодий и денежной выручки с 1 га пашни) – более чем в 3 раза (табл. 74).

Весьма высокие результаты производственно-финансовой деятельности ООО «Авангард» объясняется сочетанием 2-х факторов.

Таблица 74 – Краткие итоги производственно-финансовой деятельности ООО «Авангард»

Показатель	Единица измерения	2020 г.
Площадь сельскохозяйственных угодий	га	29 697
в т.ч. пашня	га	27 569
Среднегодовая численность работников – всего	человек	675
Урожайность:		
зерновых	т/га	3,82
сахарной свеклы	т/га	47,73
кормовых	ц к.ед.	30
Удой молока на 1 корову	кг/год	5 922
Поголовье на конец года:		
КРС – всего	голов	5 277
в т.ч. коров	голов	725
свиней	голов	73 364
Произведено:		
зерна	т	64 390
сахарной свеклы	т	69 062
молока	т	4 293
мяса (выращено)	т	19 591
Реализовано:		
зерна	т	58 549
сахарной свеклы	т	69 062
молока	т	6 922
мяса	т	20 226
Денежная выручка от реализации продукции, всего	тыс. руб.	3 920 397
в т.ч. на 1 работника	тыс. руб.	5 808,0
на 1 га пашни	тыс. руб.	142,2
фонд оплаты труда	тыс. руб.	309 560
среднемесячная зарплата на 1 работника	руб.	38 217
удельный вес зарплаты к денежной выручке	%	8

Во-первых, руководитель хозяйства смог сформировать высококвалифицированную команду единомышленников. Материально и социально-бытовые условия руководящего состава и рабочих зависят от результатов работы каждого из них. Во-вторых, почвенно-климатические условия, особенно плодородие почв, соответствуют требованиям культивируемых культур и производства кормов для содержания большого количества скота. Так, в отделение «Маяк» за счет систематического известкования к 2018 г. не осталось кислых почв (рис. 12). Площадь слабокислых почв (рН 5,1–5,5) составляет всего 130,6 га (5,5 % от общей площади пашни). Более 725 га пашни (30,6 %) относится к группе близко к нейтральной с рН солевой вытяжки от 5,6 до 6,0. Нейтральная реакция почвенной среды (рН 6,1–7,0) характерна для 63,9 % пашни (7 515,1 га).

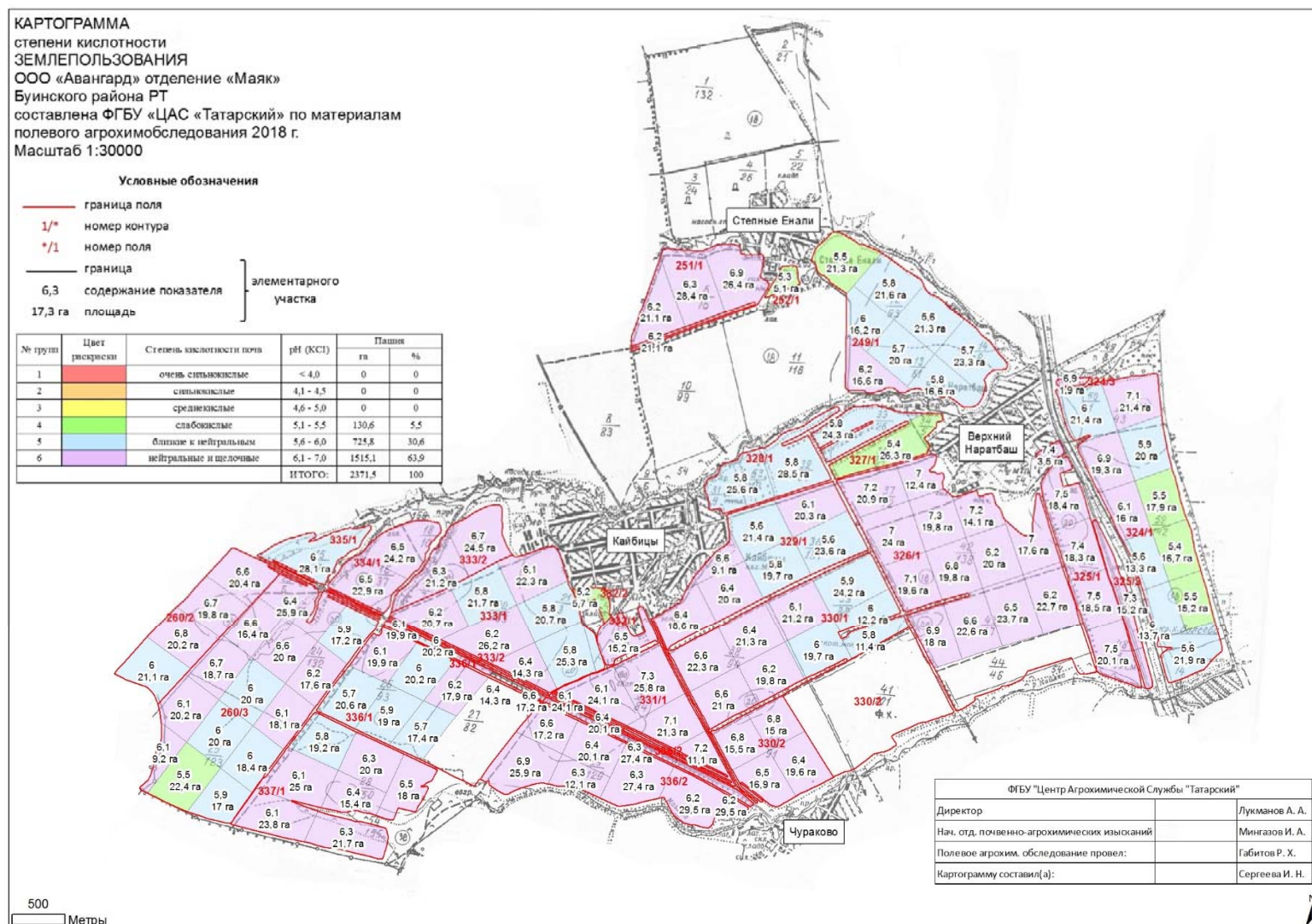


Рисунок 12. Картограмма степени кислотности землепользования ООО «Авангард»

Таким образом, кислотность почв в данном отделении ООО «Авангард» не является минимизирующим фактором усвоения, как почвенных элементов питания, так и элементов питания из внесенных минеральных удобрений.

Вместе с тем, необходимость дополнительного применения органических и минеральных удобрений ярко выражается результатами анализа содержания гумуса (рис. 13).

Например, 1473,5 га пашни по содержанию гумуса относятся к группе меньше минимального его содержания (62,2%). Слабогумусированные почвы с содержанием гумуса от 7 до 8% занимают 634,1 га площади (26,7%) и на долю среднегумусированных почв с содержанием гумуса от 8 до 9% приходится 263,9 га пашни (11,1%).

Следовательно, в отделении «Маяк» ООО «Авангард» актуальной проблемой является повышение плодородия почв на основе увеличения объемов внесения органоминеральных удобрений, применения сидеральных паров, расширения посевных площадей многолетних трав из семейства бобовых, измельчения и заправки соломы и мн. др.

Следует обратить особое внимание на содержание подвижного фосфора, поскольку данный элемент в жизни растений играет большую роль. Он способствует усиленному росту растений на начальном этапе органогенеза, развитию корневой системы, входит в состав ДНК и РНК, поддерживает процесс фотосинтеза (основа жизни на земле), незаменимый элемент в формировании зерна и плодов. С этой точки зрения обеспеченность выщелоченных черноземов анализируемого хозяйства подвижным фосфором не вызывает особого беспокойства (рис. 14), поскольку земли с очень низким и низким содержанием этого элемента питания отсутствуют. Более того, всего 507 га пашни (21,4% от общей площади) характеризуются повышенным содержанием подвижного фосфора (101–150 мг/кг почвы). Остальные площади пашни относятся к группе высокой (439,5 га) и очень высокой (>200 мг/кг почвы) обеспеченности.



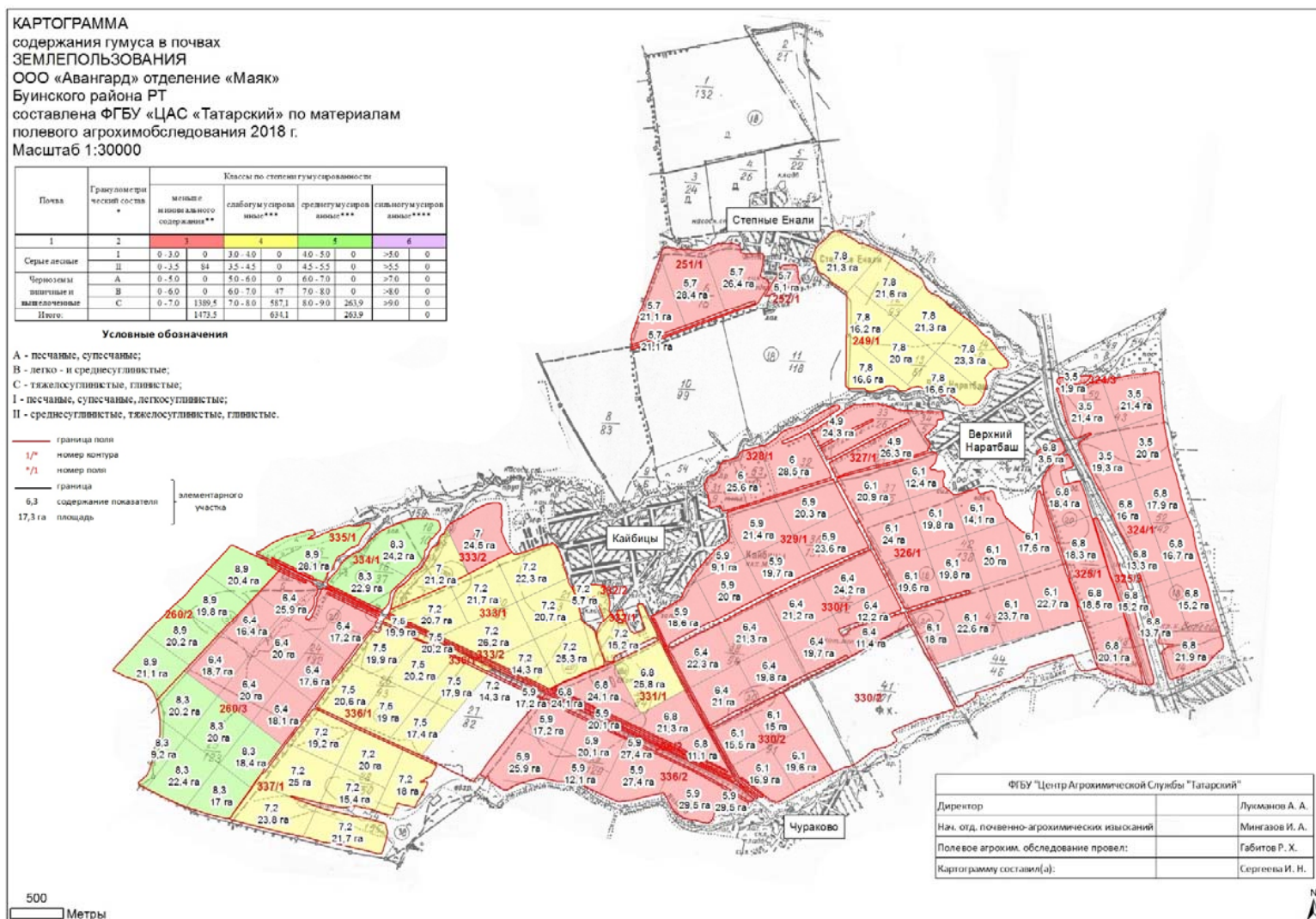


Рисунок 13. Картограмма содержания гумуса в почвах землепользования ООО «Авангард»

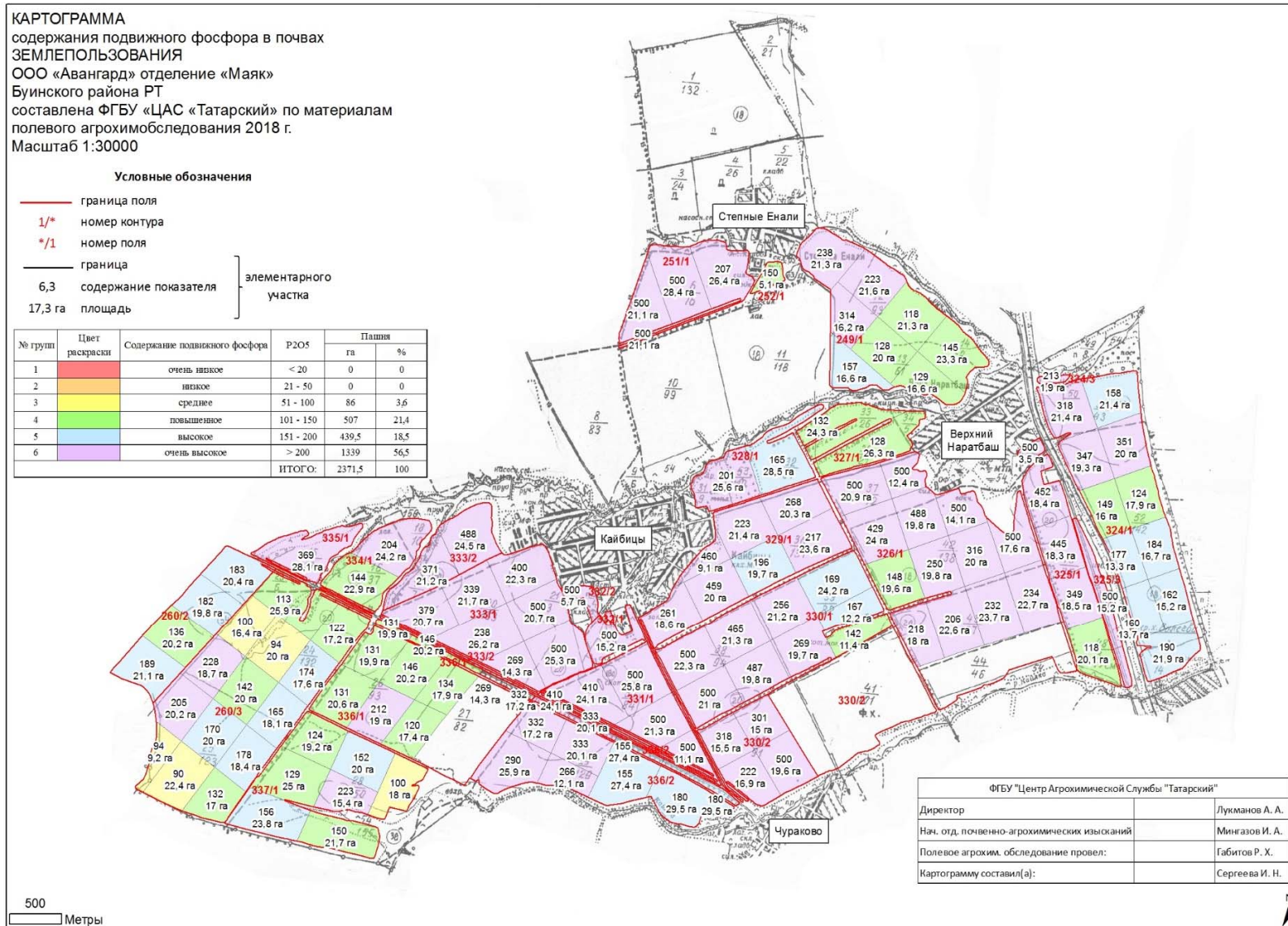


Рисунок 14. Картограмма содержания подвижного фосфора в почвах землепользования ООО «Авангард» отделение «Маяк», 2018 г.



Тем не менее, это не означает отказ от применения фосфорных удобрений по следующим причинам:

- согласно теории питания растений Ю.Либиха в почву необходимо возвращать такое количество элементов питания, какое выносят возделываемые культуры на формирование урожая;

- он же утверждал, что расцвет и падение любой цивилизации зависит от плодородия почвы, ее истощение является основной причиной развала любого государства вне зависимости от его социальной направленности;

- наконец, земля принадлежит не только нам, но и нашим потомкам и передать ее им в улучшенном состоянии наша основная задача.

Изучением влияния обменного калия на рост и развитие растений занимались такие известные ученые-агрохимики, как академики РАСХН В.Г. Минеев и В.Д. Панников (1987), академики РАН А.А. Завалин (1997), А.Л. Иванов (2013) и мн. др. Они в один голос утверждают, что калий регулирует водный баланс, оказывая прямое влияние на функционирование корневой системы и рост растений, что очень важно для засушливой лесостепной зоны Среднего Поволжья. Он также принимает активное участие в синтезе высокомолекулярных углеводов целлюлозы, придавая устойчивость яровой пшенице к полеганию. Анализ результатов агрохимического обследования почв в 2018 г. ООО «Авангард», в частности отделения «Маяк», показывает среднее (3,4 % пашни), повышенное (20,8 %), высокое (29,3% пашни) его содержание. Пахотные земли с содержанием этого элемента питания более 180 мг/кг почвы занимают 1 102,9 га, или 46,5 % от общей площади пашни (рис. 15).

Несмотря на достаточно высокую обеспеченность почв отделения «Маяк» подвижным фосфором и обменным калием, расчеты, проведенные по определению норм внесения минеральных удобрений, показывают необходимость их применения в целях формирования высокопродуктивных агроценозов яровой пшеницы со стабильной урожайностью 4,0–5,0 т/га зерна.

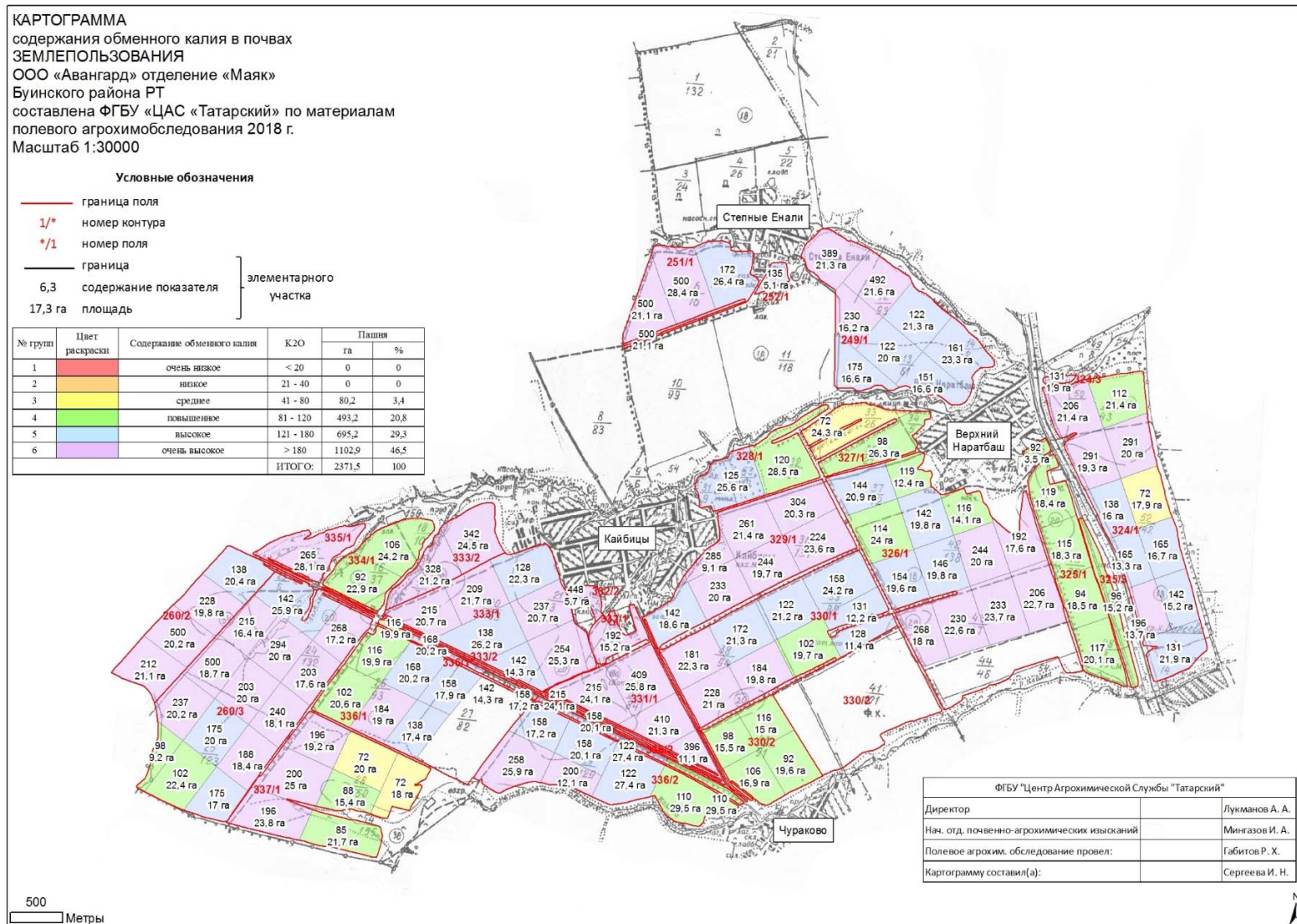


Рисунок 15. Картограмма содержания обменного калия в почвах землепользования ООО «Авангард» отделение «Маяк», 2018 г.

## 7.2. Программа исследований

В предыдущих главах вполне подробно было analyzed влияние норм внесения минеральных удобрений, известкования и фосфоритования кислых почв на урожайность яровой пшеницы в почвенно-климатических условиях Среднего Поволжья в течение последних 49 лет. Установлено, что кроме остро-засушливых лет и культуры земледелия, именно обеспеченность выщелоченных черноземов гумусом, подвижным фосфором, обменным калием и систематическое известкование в сочетании с фосфоритованием кислых и слабокислых выщелоченных черноземов оказывают прямое влияние на урожайность изучаемой культуры во временном ряду. В связи с этим рабочая программа проведения полевых исследований предусматривала возможность получения прогнозируемой урожайности яровой пшеницы 3, 4 и 5 т/га высококачественного зерна на основе регулирования вышеотмеченных факторов по схеме опыта, представленной в таблице 75.

Ценность разработанной программы исследований заключается в том, что она позволяет проанализировать влияние двух наиважнейших факторов на урожайность яровой пшеницы в тесной увязке во временном ряду.

Опыты проводились в звене севооборота: чистый пар – озимая рожь – яровая пшеница *Тулайковская 10* селекции ФГБНУ Самарский НИИСХ им. Н.М. Тулайкова (авторы А.А. Вьюшков, В.В. Сюков, С.Н. Шевченко, С.Е. Поротькин, А.В. Милехин). Сорт создан методом индивидуального отбора из гибридной популяции F<sub>4</sub> (*Тулайковская 5* × *Альбидум 653*). Относится к группе среднеспелых сортов, засухоустойчив, потенциальная урожайность 5,0–6,1 т/га.

Методика проведения полевого опыта была общепринятой для зерновых культур (повторность опыта 4-кратная, площадь отдельной делянки 108 м<sup>2</sup> (3,6 × 30 м), размещение вариантов систематическое, учет урожая проводился сплошным комбайнированием с последующим его переводом на базисные показатели: влажность – 14,5 %, засоренность не более – 2 % (ГОСТ 9353-90).

Таблица 75 – Схема двухфакторного опыта «Урожайность яровой пшеницы и ее стабильность в зависимости от комплексного применения агрохимикатов на щелоченных черноземах Среднего Поволжья»

Фактор А (рН солевой вытяжки)	Фактор В (расчетные нормы NPK на планируемую урожайность зерна)
Без известкования (рН 5,4–5,6)	Без удобрений (контроль) N <sub>37</sub> P <sub>24</sub> K <sub>26</sub> (на 3,0 т/га) N <sub>87</sub> P <sub>72</sub> K <sub>61</sub> (на 4,0 т/га) N <sub>137</sub> P <sub>120</sub> K <sub>97</sub> (на 5,0 т/га)
Известкование с нормой расхода 5 т/га (рН 6,1–6,2)	Без удобрений (контроль) N <sub>37</sub> P <sub>24</sub> K <sub>26</sub> (на 3,0 т/га) N <sub>87</sub> P <sub>72</sub> K <sub>61</sub> (на 4,0 т/га) N <sub>137</sub> P <sub>120</sub> K <sub>97</sub> (на 5,0 т/га)
Известкование + фосфоритование с нормой расхода 1 т/га	Без удобрений (контроль) N <sub>37</sub> P <sub>24</sub> K <sub>26</sub> (на 3,0 т/га) N <sub>87</sub> P <sub>72</sub> K <sub>61</sub> (на 4,0 т/га) N <sub>137</sub> P <sub>120</sub> K <sub>97</sub> (на 5,0 т/га)

В качестве агрохимикатов в опытах использовали аммиачную селитру (N<sub>aa</sub>) с содержанием азота 34,5%, двойной суперфосфат (P<sub>сд</sub>, 49% P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) и калийную соль (40% K<sub>2</sub>O). Известкование проводили в год посева озимой ржи (чистый пар) известью Мокро-Савалеевского карьера Буинского муниципального района с влажностью 9,4%, содержанием кальция и магния 93,5% среднего помола, которая соответствует ТУ 20.15.79-016-593 4001-2017 (приложение).

Фосфоритную муку приобретали в ООО «Верхнекамские удобрения» Кировской области с содержанием фосфора 22% и влаги 1,5 процента. Известкование с нормой расхода 5 т/га и фосфоритование (1 т/га) в 2014 г. проводило ООО «Буинскагрохимсервис» за счет бюджетных средств (90%) Российской Федерации и Республики Татарстан, 10% ООО «Авангард» (смета расходов представлена в приложении).

### 7.3. Методы расчета норм внесения минеральных удобрений

Теоретической предпосылкой разработки методов расчета норм внесения минеральных удобрений под планируемую урожайность яровой пшеницы является устойчивое соотношение макроэлементов – азота, фосфора и калия при формировании единицы товарной продукции с соответствующим количеством

побочной биомассы.

Семена каждого растения и культуры содержат достаточное количество элементов питания для создания всходов, первичной надземной массы и первичных корешков. Дальнейший рост и развитие культуры, в конечном итоге формирование урожайности, зависит от снабжения корневой системы элементами питания.

Для расчета доз минеральных удобрений под планируемую урожайность возделываемых культур применяются два подхода – нормативный и расчетно-балансовый методы.

В наших исследованиях для расчета были приняты следующие показатели: черноземы выщелоченные, характеризующиеся мощностью пахотного горизонта 0,30 м, в котором сосредоточено 7,5% гумуса или 250 т/га и 0,392% общего азота или 13,21 т/га; содержание легкогидролизуемого азота составляет 15% от общего его количества, а минерального азота - 0,6%, повышенное содержание подвижного фосфора и высокое содержание обменного калия в пахотном горизонте – 124,1 и 138,7 мг/кг почвы соответственно; плотность сложения пахотного горизонта – 1,15 г/см<sup>3</sup>. Планируемые урожайности – 3,0, 4,0 и 5,0 т/га зерна яровой пшеницы. Используются следующие условные обозначения: Д – норма удобрения в д.в.; Н<sub>р</sub> – норма расхода НРК на формирование 1 т урожая; К<sub>п</sub> – поправочный коэффициент на агрохимические свойства почвы.

Для вычисления норм внесения минеральных удобрений по нормативному методу применяется следующая формула расчета:

$$Д = У_{п} \times Н_{р} \times К_{п},$$

где Д – расчетная норма внесения НРК, кг/га д.в.; У<sub>п</sub> – планируемая урожайность яровой пшеницы, т/га; Н<sub>р</sub> – норма расхода НРК на формирование 1 т зерна, кг; К<sub>п</sub> – коэффициент поправки на плодородие почвы (К<sub>п</sub> для азота и подвижного фосфора – 1, а обменного калия – 0,7).

Исходя из этого, на формирование 3,0 т/га зерна яровой пшеницы потребу-

ется внести: азота =  $3,0 \times 35 \times 1 = 105$  кг/га д.в.;  $P_2O_5 = 3,0 \times 12 \times 1 = 36$  кг/га д.в.;  $K_2O = 3,0 \times 25 \times 0,7 = 53$  кг/га д.в. Для планируемой урожайности 4,0 т/га зерна норма внесения минерального удобрения соответственно возрастает до 140, 48 и 70 кг/га, а на 5,0 т/га – 175, 60 и 87,5 кг/га д.в. соответственно.

Наиболее точным и перспективным методом расчета норм внесения минеральных удобрений является расчетно-балансовый метод, в котором дополнительно учитывается содержание NPK в почве и коэффициенты их усвоения. В связи с этим для расчетов удобно использовать формулу:

$$D = Y \times B - (P \times K_p) \times K_y,$$

где  $D$  – расчетная норма внесения NPK, кг/га д.в.;  $Y$  – планируемая урожайность зерна, т/га;  $B$  – вынос элементов питания на формирование 1 т зерна с учетом побочной продукции, кг/т д.в.;  $P$  – содержание NPK в пахотном слое почвы, кг/га;  $K_p$  – коэффициент усвоения NPK из почвы, %;  $K_y$  – коэффициент усвоения азота, фосфора и калия из внесенных минеральных удобрений, %.

Итоги расчетно-балансового метода определения норм внесения NPK представлены в таблице 76. Между двумя способами расчета норм внесения минеральных удобрений на планируемую урожайность зерна яровой пшеницы существует весьма серьезная разница. Так, по нормативному методу для получения 3,0 т/га зерна требуется внести 105 удобрений против 37 кг/га д.в. азота – по расчетно-балансовому методу. Такое противоречие характерно как для фосфора (на 12 кг/га меньше), так и калийных удобрений – разница 27 кг/га.

Из вышеотмеченной закономерности выпадают только фосфорно-калийные удобрения, рассчитанные на получение планируемой урожайности яровой пшеницы 5,0 т/га. На этом варианте опыта расчет по балансовому методу превышает нормативные показатели по фосфору на 60, а по калию – на 9,5 кг/га.

Кроме того, следует особо подчеркнуть резкий рост норм внесения минеральных удобрений по мере повышения планируемой урожайности изучаемой культуры, особенно при определении расчетно-балансовым методом. Например,

повышение планируемой урожайности с 3 до 4 т/га зерна влечет за собой увеличение норм внесения азота на 50 кг/га д.в., фосфора – 48 и калия – на 35 кг/га д.в. Такая же существенная разница между расчетными нормами внесения NPK сохраняется между вариантами с планируемыми урожайностями 4 и 5 т/га зерна, так как норма внесения азота возрастает от 87 до 137 кг/га д.в., фосфора – от 72 до 120 и калия – от 61 до 97 кг/га.

Таблица 76 – Нормы внесения минеральных удобрений на прогнозируемую урожайность зерна яровой пшеницы, определенные по расчетно-балансовому методу (выщелоченные черноземы Среднего Поволжья)

Показатель	Единица измерения	3,0 т/га			4,0 т/га			5,0 т/га		
		N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O
Вынос NPK	кг/т	35	12	25	35	12	25	35	12	25
Вынос NPK	кг/га	105	36	75	140	48	100	175	60	125
Содержание NPK в почве	мг/кг	32,7	124,1	138,7	38,4	124	139	38	124	139,7
Содержание NPK в почве	кг/га	113	428	478	133	418	478	133	418	478
Коэффициент использования NPK из почвы	%	70	7	12	70	7	12	70	7	12
Поступление NPK из почвы	кг/га	79	30	57	79	30	57	79	30	57
Необходимо внести NPK	кг/га	26	6	18	61	18	43	96	30	68
Коэффициент использования NPK из удобрений	%	70	25	70	70	25	70	70	25	70
Требуется внести NPK	кг/га	37	24	26	87	72	61	137	120	97

#### 7.4. Влияние расчетных норм минеральных удобрений на рост и развитие яровой пшеницы *Тулайковская 10* на начальном этапе органогенеза

**Полевая всхожесть, плотность и высота стеблестоя.** Для формирования высокопродуктивных агроценозов, в том числе и яровой пшеницы, очень важно добиться получения дружных всходов и сохранения их на протяжении вегетационного периода. В данном случае, если полевая всхожесть полностью зависит от качества основной и предпосевной подготовки почвы, сроков посева, норм высева, глубины заделки семян и влагообеспеченности (в целом от культуры земле-

делия), то на выживаемость растений оказывают большое влияние погодноклиматические условия и пищевой режим почвы (табл. 77).

Таблица 77 – Влияние агрохимикатов на рост и развитие яровой пшеницы на начальном этапе органогенеза

Фактор А (рН солевой вытяжки)	Фактор В (расчетные нормы НРК на планируемую урожайность зерна)	Полевая всхожесть		Воздушно-сухая масса в фазе кущения		Прибавка, %
		шт./м <sup>2</sup>	%	г/растение	кг/га	
Без известкования (рН 5,4–5,6)	Без удобрений (контроль)	456	76	0,16	560	–
	N <sub>37</sub> P <sub>24</sub> K <sub>26</sub> (на 3,0 т/га)	456	76	0,19	680	21
	N <sub>87</sub> P <sub>72</sub> K <sub>61</sub> (на 4,0 т/га)	462	77	0,21	790	41
	N <sub>137</sub> P <sub>120</sub> K <sub>97</sub> (на 5,0 т/га)	468	78	0,22	865	54
Известкование, 5 т/га (рН 6,1–6,2)	Без удобрений (контроль)	462	77	0,18	666	–
	N <sub>37</sub> P <sub>24</sub> K <sub>26</sub> (на 3,0 т/га)	462	77	0,22	854	28
	N <sub>87</sub> P <sub>72</sub> K <sub>61</sub> (на 4,0 т/га)	468	78	0,26	1 058	59
	N <sub>137</sub> P <sub>120</sub> K <sub>97</sub> (на 5,0 т/га)	468	78	0,28	1 154	73
Известкование, 5 т/га + фосфоритование, 1 т/га	Без удобрений (контроль)	462	77	0,19	720	–
	N <sub>37</sub> P <sub>24</sub> K <sub>26</sub> (на 3,0 т/га)	468	78	0,23	936	30
	N <sub>87</sub> P <sub>72</sub> K <sub>61</sub> (на 4,0 т/га)	468	78	0,28	1 193	65
	N <sub>137</sub> P <sub>120</sub> K <sub>97</sub> (на 5,0 т/га)	468	78	0,29	1 250	73
HCP <sub>05</sub>	А	6		0,02		
	В	7		0,02		
	АВ	7		0,03		

Диапазон полевой всхожести яровой пшеницы по вариантам опыта во все годы исследований был минимальным от 76 до 78 процентов. Из 600 шт./м<sup>2</sup> высеянных семян на контрольном варианте опыта полноценные всходы дали 456 шт./м<sup>2</sup> против 468 шт./м<sup>2</sup> на вариантах с внесением минеральных удобрений, известкованием и фосфоритованием – разница всего 12 шт./м<sup>2</sup>. Такое положение видимо объясняется тем, что в семени любого растения природой заложено необходимое количество запасных элементов питания для их прорастания и появления всходов. Единственное требование к этому – обеспеченность влагой, поскольку семена яровой пшеницы для набухания расходуют в 2–3 раза больше воды по сравнению с массой самого семени. При этом, большую роль играет не общее количество продуктивной влаги, а ее весенние запасы и осадки от посева до появления всходов.

Самое заметное влияние агрохимикатов, которое проявляется визуально –



это накопление биомассы к фазе кущения изучаемой культуры. Так, влияние минеральных удобрений по мере увеличения норм их внесения повышается от 21,4 до 54,5% по сравнению с контролем.

Такая же четкая закономерность, но более усиленная, характерна для взаимодействия расчета норм минеральных удобрений с известкованием и фосфоритованием. При этом эффект от известкования на контроле (без внесения минеральных удобрений) составляет 18,9% (прибавка воздушно-сухой массы 106 кг/га), а на вариантах с дополнительным внесением расчетных норм минеральных удобрений прибавка воздушно-сухой биомассы яровой пшеницы возрастает от 28,2 (расчетная на 3,0 т/га зерна) до 73,3% (расчетная на 5,0 т/га зерна).

В заключение следует отметить не только большое влияние агрохимикатов на рост и развитие яровой пшеницы на начальном этапе ее органогенеза, но и на выживаемость растений в течение всего вегетационного периода (табл. 78).

Между фонами питания и выживаемостью растений существует прямая зависимость. Так, на контроле (без агрохимикатов) из 456-ти всходов выдержали неблагоприятные природные (сильная конкуренция между растениями за элементы питания, свет и влагу) и антропогенные (устойчивость к боронованию по всходам, обработка посевов фунгицидами, гербицидами) факторы 350 растений (выпад составил 106 растений/м<sup>2</sup>). В тех же условиях на фоне известкования выживаемость была выше на 20 шт./м<sup>2</sup>, а на фоне известкования и фосфоритования – на 29 растений на каждом квадратном метре.

Внесение расчетных норм минеральных удобрений способствует формированию более плотного агроценоза (393 шт./м<sup>2</sup> против 350 на контрольном варианте опыта).

Однако наибольшую сохранность растений и их устойчивость к стрессовым явлениям обеспечивает взаимодействие известкования и применение расчетных норм минеральных удобрений.

Таблица 78 – Сохранность растений к уборке и высота пшеничного агроценоза в зависимости от пищевого режима выщелоченных черноземов Среднего Поволжья, 2016–2020 гг.

Фактор А (рН солевой вытяжки)	Фактор В (расчетные нормы NPK на планируемую урожайность зерна)	Выживаемость растений		Высота растений, см	В % к контролю
		шт./м <sup>2</sup>	% к всходам		
Без известкования (рН 5,4–5,6)	Без удобрений (контроль)	350	77	69	–
	N <sub>37</sub> P <sub>24</sub> K <sub>26</sub> (на 3,0 т/га)	360	79	72	4
	N <sub>87</sub> P <sub>72</sub> K <sub>61</sub> (на 4,0 т/га)	374	81	76	10
	N <sub>137</sub> P <sub>120</sub> K <sub>97</sub> (на 5,0 т/га)	393	84	80	16
Известкование, 5 т/га (рН 6,1–6,2)	Без удобрений (контроль)	370	80	71	–
	N <sub>37</sub> P <sub>24</sub> K <sub>26</sub> (на 3,0 т/га)	388	84	75	6
	N <sub>87</sub> P <sub>72</sub> K <sub>61</sub> (на 4,0 т/га)	407	87	80	13
	N <sub>137</sub> P <sub>120</sub> K <sub>97</sub> (на 5,0 т/га)	412	88	83	17
Известкование, 5 т/га + фосфоритование, 1 т/га	Без удобрений (контроль)	379	82	73	–
	N <sub>37</sub> P <sub>24</sub> K <sub>26</sub> (на 3,0 т/га)	407	87	84	15
	N <sub>87</sub> P <sub>72</sub> K <sub>61</sub> (на 4,0 т/га)	426	91	86	18
	N <sub>137</sub> P <sub>120</sub> K <sub>97</sub> (на 5,0 т/га)	431	92	90	23
HCP <sub>05</sub>	А	12		3	
	В	11		3	
	АВ	16		7	

На последнем варианте опыта количество растений увеличивается до 412 шт./м<sup>2</sup>, что выше абсолютного контроля на 18%, а на фоне известкования и фосфоритования – на 23 процента. Столь высокая разница при применении одних и тех же норм минеральных удобрений показывает, что как известкование, так и его сочетание с фосфоритованием повышает коэффициент использования основных элементов питания из запасов почвы и внесенных минеральных удобрений. Такие же результаты в почвенно-климатических условиях Среднего Поволжья были получены А.А. Зиганшиным (2001), М.Ф. Амировым (2005), И.П. Талановым (2005), С.Г. Муртазиной (2012), Л.С. Нижегородцевой (2013), И.М. Сержановым (2018).

Увеличение высоты растений под действием расчетных доз минеральных удобрений от 69 до 80 см без известкования и от 71-73 до 83-90 см на фоне внесения извести из расчета 5 т/га и сочетания известкования с внесением фосфоритной муки (1 т/га) сложно оценивать, как в качестве положительного действия, так и отрицательного влияния. Во-первых, формирование высокорослого пше-

ничного агроценоза подавляет сорную растительность. Во-вторых, между высотой растений и длиной колоса существует, как правило, прямая зависимость по принципу: чем выше первый показатель, тем больше второй.

Однако высокорослые растения на фоне внесения минеральных удобрений с расчетом получения 5,0 т/га зерна склонны к полеганию, что становится причиной потерь урожая при уборке яровой пшеницы.

Самое главное, после полегания основной культуры сорная растительность получает больше солнечной энергии, к концу вегетационного периода влагообеспеченность в Среднем Поволжье увеличивается, в результате сорняки усиленно набирают биомассу, увеличивая прямые затраты на послеуборочную очистку вороха от сорной примеси.

Прежде чем приступить к анализу результатов учета засоренности посевов яровой пшеницы необходимо остановиться на двух моментах. Несмотря на химическую прополку гербицидом Балерина Супер (0,5 л/га) против малолетних и многолетних двудольных сорняков (подмаренник цепкий, виды ромашки, бодяк и осот полевой, василек синий, горчица полевая, редька дикая, пастушья сумка, марь белая, виды ширицы, фаллопия вьюнковая и др.) в смеси с селективным гербицидом Ластик Экстра (0,8 л/га) против однодольных сорных растений (куриное просо, виды мятликов и щетинников, овсюг, канареечник), засоренность посевов перед уборкой урожая была значительной и по шкале В.В. Исаева соответствовала группе высокой и средней засоренности (табл.79).

Из вышеописанной общей тенденции выпадает опыт с сочетанием трех агрохимикатов: известкование + фосфоритование + внесение расчетных норм минеральных удобрений на планируемые урожайности 3,0, 4,0 и 5,0 т/га зерна яровой пшеницы. Такое противоречие объясняется видимо тем, что увеличение норм внесения калия придает растениям более высокую устойчивость к полеганию (30–40% по визуальной оценке).

Таблица 79 – Засоренность посевов перед уборкой урожая яровой пшеницы по вариантам опыта (2016–2020 гг.)

Фактор А (рН солевой вытяжки)	Фактор В (расчетные нормы NPK на планируемую урожайность зерна)	Полегаемость, %	Засоренность		Степень засоренности
			шт./м <sup>2</sup>	г/м <sup>2</sup>	
Без известкования (рН 5,4–5,6)	Без удобрений (контроль)	35	20	16,8	высокая
	N <sub>37</sub> P <sub>24</sub> K <sub>26</sub> (на 3,0 т/га)	40	17	17,4	высокая
	N <sub>87</sub> P <sub>72</sub> K <sub>61</sub> (на 4,0 т/га)	40	15	18,6	средняя
	N <sub>137</sub> P <sub>120</sub> K <sub>97</sub> (на 5,0 т/га)	45	15	22,4	средняя
Известкование, 5 т/га (рН 6,1–6,2)	Без удобрений (контроль)	40	18	17,3	высокая
	N <sub>37</sub> P <sub>24</sub> K <sub>26</sub> (на 3,0 т/га)	45	16	18,7	высокая
	N <sub>87</sub> P <sub>72</sub> K <sub>61</sub> (на 4,0 т/га)	50	13	20,4	средняя
	N <sub>137</sub> P <sub>120</sub> K <sub>97</sub> (на 5,0 т/га)	55	12	24,7	средняя
Известкование, 5 т/га + фосфоритование, 1 т/га	Без удобрений (контроль)	40	15	17,0	средняя
	N <sub>37</sub> P <sub>24</sub> K <sub>26</sub> (на 3,0 т/га)	35	12	14,1	средняя
	N <sub>87</sub> P <sub>72</sub> K <sub>61</sub> (на 4,0 т/га)	30	10	12,3	низкая
	N <sub>137</sub> P <sub>120</sub> K <sub>97</sub> (на 5,0 т/га)	30	9	8,8	низкая

Примечание: Степень засоренности определена по шкале В.В. Исаева (1990): до 10 шт./м<sup>2</sup> – слабая; с 11 до 15 шт./м<sup>2</sup> – средняя; > 15 шт./м<sup>2</sup> – высокая

Таким образом, применение агрохимикатов как в комплексе, так и в отдельности усиливает рост и развитие яровой пшеницы в начальный период развития, обеспечивает формирование плотного высокорослого агроценоза со средним и низким содержанием сорной растительности.

### 7.5. Плодоэлементы яровой пшеницы *Тулайковская 10* на разных фонах питания

Известно, что на основе биометрических измерений (кустистость, количество и масса семян в колосе, масса 1000 семян) можно выяснить условия формирования урожайности изучаемой культуры. При этом, после плотности стеблестоя перед уборкой урожая по значимости вторую позицию занимает кустистость зерновых культур и количество колосьев на единице площади (табл. 80).

Таблица 80 – Влияние агрохимикатов на структуру урожая яровой пшеницы Тулайковская 10 (2016–2020 гг.)

Фактор А (рН солевой вытяжки)	Фактор В (расчетные нормы NPK на планируемую урожайность зерна)	Продуктивная кустистость	Количество		Масса 1 000 зерен, г
			продуктивных колосьев, шт./м <sup>2</sup>	зерен в колосе, шт.	
Без известкования (рН 5,4-5,6)	Без удобрений (контроль)	1,12	392	16,2	35,4
	N <sub>37</sub> P <sub>24</sub> K <sub>26</sub> (на 3,0 т/га)	1,16	418	18,9	36,9
	N <sub>87</sub> P <sub>72</sub> K <sub>61</sub> (на 4,0 т/га)	1,20	449	20,9	38,8
	N <sub>137</sub> P <sub>120</sub> K <sub>97</sub> (на 5,0 т/га)	1,28	503	22,4	38,2
Известкование, 5 т/га (рН 6,1-6,2)	Без удобрений (контроль)	1,14	422	16,8	36,6
	N <sub>37</sub> P <sub>24</sub> K <sub>26</sub> (на 3,0 т/га)	1,16	450	18,9	36,7
	N <sub>87</sub> P <sub>72</sub> K <sub>61</sub> (на 4,0 т/га)	1,20	489	21,2	39,7
	N <sub>137</sub> P <sub>120</sub> K <sub>97</sub> (на 5,0 т/га)	1,30	536	23,2	39,0
Известкование, 5 т/га + фосфорование, 1 т/га	Без удобрений (контроль)	1,15	436	17,0	36,8
	N <sub>37</sub> P <sub>24</sub> K <sub>26</sub> (на 3,0 т/га)	1,17	476	19,0	36,8
	N <sub>87</sub> P <sub>72</sub> K <sub>61</sub> (на 4,0 т/га)	1,19	507	21,4	40,0
	N <sub>137</sub> P <sub>120</sub> K <sub>97</sub> (на 5,0 т/га)	1,30	560	23,4	39,7

В наших исследованиях коэффициент кустистости яровой пшеницы (1,12–1,30) оказался ниже по сравнению с другими более обеспеченными влагой зонами Российской Федерации (Халезов, 1981; Завалин, 2001; Жученко, 2009). Это связано с тем, что в отличие от Пермского края и Подмосковья, где работали вышеотмеченные авторы, в лесостепной зоне Среднего Поволжья в фазе кущения яровой пшеницы (вторая декада июня) крайне не хватает влаги. Тем не менее, амплитуда формирования продуктивных колосьев достаточно обширная: она колеблется от 392 на контроле до 503 в первом блоке исследований. Разница в пользу внесения расчетных норм минеральных удобрений на планируемую урожайность 5,0 т/га зерна составляет – 111 колосьев с содержанием в каждом колосе 22,4 зерен с массой 1000 зерен 38,2 грамма (фото 1).

При сочетании известкования с последующим применением минеральных удобрений с расчетом на получение урожая 5,0 т/га по сравнению с первым контролем анализируемый параметр возрастает от 144 до 168 шт./м<sup>2</sup>.

В итоге, даже без внесения минеральных удобрений, только за счет известкования слабокислых выщелоченных черноземов, величина биологической урожайности возрастает на 0,95 т/га.



Фото 1. Определение массы 1000 семян

### **7.6. Урожайность и ее стабильность**

Позитивные изменения в образовании плодоеlementов, несомненно, оказали прямое воздействие на урожайность объекта наших исследований (табл. 81).

Основной показатель эффективности применения агрохимикатов на посевах яровой пшеницы – урожайность зерна имеет следующие закономерности и противоречия: во-первых, в среднем за 5 лет ни в одном варианте опыта не было получено запланированного объема продукции. Недобор урожая на вариантах без известкования составил 0,27 т/га (2,73 т/га вместо планируемого 3 т/га зерна); 0,57 т/га (3,43 т /га вместо планируемого 4,0 т/га зерна); 0,96 т/га (4,04 т/га вместо планируемого 5,0 т/га зерна). Другими словами, чем выше нормы внесения минеральных удобрений с расчетом на получение как можно больше зерна,

тем выше недобор урожая.

Таблица 81 – Влияние известкования, фосфоритования и внесения расчетных норм минеральных удобрений на урожайность яровой пшеницы *Тулайковская 10* (2016–2020 гг.)

Фактор А (рН солевой вытяжки)	Фактор В (расчетные нормы NPK на планируемую урожайность зерна)	Урожайность, т/га	Прибавка, т/га	
			от NPK	от мелиорантов
Без известкования (рН 5,4–5,6)	Без удобрений (контроль)	2,10	–	–
	N <sub>37</sub> P <sub>24</sub> K <sub>26</sub> (на 3,0 т/га)	2,73	0,63	–
	N <sub>87</sub> P <sub>72</sub> K <sub>61</sub> (на 4,0 т/га)	3,43	1,33	–
	N <sub>137</sub> P <sub>120</sub> K <sub>97</sub> (на 5,0 т/га)	4,04	1,94	–
Известкование, 5 т/га (рН 6,1–6,2)	Без удобрений (контроль)	2,34	–	0,24
	N <sub>37</sub> P <sub>24</sub> K <sub>26</sub> (на 3,0 т/га)	2,87	0,53	0,14
	N <sub>87</sub> P <sub>72</sub> K <sub>61</sub> (на 4,0 т/га)	3,71	1,37	0,28
	N <sub>137</sub> P <sub>120</sub> K <sub>97</sub> (на 5,0 т/га)	4,34	2,00	0,30
Известкование, 5 т/га + фосфоритование, 1 т/га	Без удобрений (контроль)	2,52	–	0,42
	N <sub>37</sub> P <sub>24</sub> K <sub>26</sub> (на 3,0 т/га)	2,90	0,38	0,17
	N <sub>87</sub> P <sub>72</sub> K <sub>61</sub> (на 4,0 т/га)	3,77	1,25	0,34
	N <sub>137</sub> P <sub>120</sub> K <sub>97</sub> (на 5,0 т/га)	4,42	1,94	0,38
<i>HCP</i> <sub>05</sub>	А	0,12		
	В	0,11		
	АВ	0,33		

Во-вторых, агро-мелиоранты обеспечивают дополнительное получение от 0,38–0,42 т/га зерна яровой пшеницы. На вариантах взаимодействия агро-мелиорантов и расчетных норм минеральных удобрений валовой сбор зерна изучаемой культуры возрастает до 4,34–4,42 т/га.

Вместе с тем, ради справедливости, следует отметить существующую неблагоприятную тенденцию роста потерь урожая по следующей ярко выраженной закономерности: чем выше биологическая урожайность культуры, тем больше потерь зерна при уборке. Так, на 3-х контрольных вариантах опыта потери были на уровне 150, 160 и 200 кг/га зерна, тогда как на последних вариантах опыта с применением расчетных норм минеральных удобрений на планируемую урожайность 5,0 т/га зерна яровой пшеницы потери возросли до 260, 500 и 780 кг/га соответственно (табл. 82).

Однако самое главное противоречие заключается в том, что без примене-

ния агромелиорантов, чем выше нормы внесения минеральных удобрений, тем ниже окупаемость: на расчетном варианте 3,0 т/га на каждый кг NPK было получено 7,24 кг зерна, на 4,0 т/га – 6,05 и 5,0 т/га – 5,48 кг соответственно.

На фонах известкования, известкования + фосфоритования наибольшую окупаемость обеспечили варианты с применением расчетных норм минеральных удобрений на планируемую урожайность 4,0 т/га зерна яровой пшеницы – 6,23 и 5,68 кг зерна/кг NPK соответственно.

Таблица 82 – Потери биологической урожайности и окупаемость применения расчетных норм минеральных удобрений по вариантам опыта (2016–2020 гг.)

Фактор А (рН солевой вытяжки)	Фактор В (расчетные нормы NPK на планируемую урожайность зерна)	Биологическая урожайность, т/га	Потери урожая, кг/га	Окупаемость NPK, кг/кг
Без известкования (рН 5,4–5,6)	Без удобрений (контроль)	2,25	150	–
	N <sub>37</sub> P <sub>24</sub> K <sub>26</sub> (на 3,0 т/га)	2,92	190	7,24
	N <sub>87</sub> P <sub>72</sub> K <sub>61</sub> (на 4,0 т/га)	3,64	210	6,05
	N <sub>137</sub> P <sub>120</sub> K <sub>97</sub> (на 5,0 т/га)	4,30	260	5,48
Известкование, 5 т/га (рН 6,1–6,2)	Без удобрений (контроль)	2,50	160	–
	N <sub>37</sub> P <sub>24</sub> K <sub>26</sub> (на 3,0 т/га)	3,12	250	6,09
	N <sub>87</sub> P <sub>72</sub> K <sub>61</sub> (на 4,0 т/га)	4,12	410	6,23
	N <sub>137</sub> P <sub>120</sub> K <sub>97</sub> (на 5,0 т/га)	4,74	560	5,65
Известкование, 5 т/га + фосфоритование, 1 т/га	Без удобрений (контроль)	2,72	200	–
	N <sub>37</sub> P <sub>24</sub> K <sub>26</sub> (на 3,0 т/га)	3,32	420	4,37
	N <sub>87</sub> P <sub>72</sub> K <sub>61</sub> (на 4,0 т/га)	4,33	560	5,68
	N <sub>137</sub> P <sub>120</sub> K <sub>97</sub> (на 5,0 т/га)	5,20	780	5,48

Исходя из результатов учета урожайности зерна яровой пшеницы с большой уверенностью можно сделать заключение, что на выщелоченных черноземах Среднего Поволжья с рН 5,1–5,6 в целях получения наибольшего эффекта от внесения расчетных норм минеральных удобрений необходимо провести известкование в сочетании с фосфоритованием. В данном случае прибавка урожайности зерна яровой пшеницы (0,38 т/га) превышает наименьшую существенную разницу (НСР<sub>05</sub>) – 0,33 т/га.

Кроме регулирования пищевого режима почвы под посевами яровой пшеницы необходимо решать и технологические проблемы ее возделывания, особенно вопросы уборки урожая, поскольку потери биологической урожайности



весьма существенные – от 150 до 780 кг/га зерна. При этом, чем выше биологическая урожайность, тем больше потери урожая.

Следовательно, в целях получения наибольшей отдачи от минеральных удобрений с учетом состояния современной культуры земледелия и энергооборуженности агропромышленного комплекса высоко производительными и качественными сельскохозяйственными машинами на слабокислых выщелоченных черноземах рекомендуется проводить известкование в сочетании с фосфоритованием и ограничиться внесением расчетных норм минеральных удобрений на планируемую урожайность зерна основной продовольственной культуры Среднего Поволжья – яровой пшеницы 4,0 т/га зерна.

Ни в одном уголке земного шара нет идеальных условий для ведения сельского хозяйства, везде есть такие ограничивающие факторы для дальнейшего роста продуктивности пашни как:

- агроклиматические условия (недостаток или же, наоборот, избыток влаги и термических ресурсов);
- слабая материально-техническая база агропромышленного комплекса отдельных стран мира;
- недостаточно высокий уровень культуры земледелия (отсутствие сортов и гибридов с высокими потенциальными показателями, нарушение оптимальных сроков посева и норм высева, низкий уровень ухода за посевами и несоответствие объемам производства мощности зернотокового хозяйства и мн. др).

В конечном счете, перечисленные факторы становятся причиной резкого перепада урожайности возделываемых культур, включая яровую пшеницу. Во всех случаях страдает товаропроизводитель сельскохозяйственной продукции. В годы большого урожая цена реализации зерна резко снижается, а в годы низкой урожайности затраты на возделывание культуры не окупаются денежной выручкой от реализованной продукции. В связи с этим мы должны разработать высокотехнологические приемы возделывания объекта исследований, включая оптимизацию пищевого режима почвы, которые позволят получать стабильно высо-

кие урожаи по годам возделывания изучаемой культуры.

Существует два способа оценки стабильности урожая. Наиболее простым и доступным из них является сравнительная оценка двух крайних показателей: самые высокие урожайности сравнивают с низкоурожайными годами (табл. 83).

Таблица 83– Динамика урожайности яровой пшеницы по годам исследований в зависимости от пищевого режима выщелоченных черноземов Среднего Поволжья, т/га

Фактор А (рН солевой вытяжки)	Фактор В (расчетные нормы НРК на планируемую урожайность зерна)	2016 г.	2017 г.	2018 г.	2019 г.	2020 г.
Без известкования (рН 5,4–5,6)	Без удобрений (контроль)	1,84	2,06	2,02	2,15	2,43
	N <sub>37</sub> P <sub>24</sub> K <sub>26</sub> (на 3,0 т/га)	2,47	2,68	2,60	2,75	3,05
	N <sub>87</sub> P <sub>72</sub> K <sub>61</sub> (на 4,0 т/га)	3,26	3,42	3,32	3,51	3,64
	N <sub>137</sub> P <sub>120</sub> K <sub>97</sub> (на 5,0 т/га)	3,82	4,00	3,96	4,08	4,34
Известкование, 5 т/га (рН 6,1–6,2)	Без удобрений (контроль)	2,12	2,31	2,30	2,39	2,58
	N <sub>37</sub> P <sub>24</sub> K <sub>26</sub> (на 3,0 т/га)	2,69	2,60	2,77	2,90	3,20
	N <sub>87</sub> P <sub>72</sub> K <sub>61</sub> (на 4,0 т/га)	3,34	3,63	3,68	3,82	4,08
	N <sub>137</sub> P <sub>120</sub> K <sub>97</sub> (на 5,0 т/га)	4,04	4,34	4,30	4,38	4,64
Известкование, 5 т/га + фосфоритование, 1 т/га	Без удобрений (контроль)	2,34	2,47	2,45	2,60	2,74
	N <sub>37</sub> P <sub>24</sub> K <sub>26</sub> (на 3,0 т/га)	2,70	2,98	2,79	2,92	3,11
	N <sub>87</sub> P <sub>72</sub> K <sub>61</sub> (на 4,0 т/га)	3,56	3,80	3,66	3,85	3,98
	N <sub>137</sub> P <sub>120</sub> K <sub>97</sub> (на 5,0 т/га)	4,18	4,49	4,35	4,38	4,70
НСР <sub>05</sub>	А	0,20	0,24	0,22	0,25	0,26
	В	0,19	0,22	0,21	0,23	0,24
	АВ	0,26	0,29	0,25	0,30	0,32

Влагообеспеченность вегетационного периода 2016 г. была крайне низкой и составила всего 115 мм: май – 16,3 мм против 39 мм среднемноголетних показателей; июнь – 36,7 и 56; июль – 19,1 и 59; август – 42,9 и 53 мм соответственно. В связи с этим валовой сбор зерна на абсолютном контроле с единицы площади был минимальным – 1,84 т/га против 2,43 т/га в благоприятном 2020 году. Другими словами, на контрольном варианте опыта, без применения агрохимикатов, судьба будущего урожая на 32% зависит от влагообеспеченности конкретного года, поскольку разница урожайности изучаемой культуры в пользу 2020 г.

с осадками за вегетационный период 307 мм была весьма высокой – 0,59 т/га.

Внесение расчетных норм минеральных удобрений снижает вышеописанную зависимость. На последнем варианте опыта с нормой внесения NPK с расчетом получения 5,0 т/га зерна в 2016 г. фактически получено 3,82 т/га (недобор урожая 1,18 т/га), а в 2020 г. – 4,34 т/га (недобор урожая меньше на 0,66 т/га от планируемого).

Положительное действие расчетных норм минеральных удобрений против неблагоприятных факторов внешней среды, это в первую очередь недостаток влаги, значительно усиливается на фоне известкования с последующим фосфоритованием слабокислых выщелоченных черноземов Среднего Поволжья. Так, на вариантах известкование + фосфоритование + внесение NPK на 5,0 т/га зерна обеспечило по все годы исследований получение самой высокой урожайности зерна яровой пшеницы: 2016 г. – 4,18 т/га; 2017 г. – 4,49; 2018 г.– 4,35; 2019 г.– 4,38 и 2020 г.– 4,70 т/га. Несмотря на это, разница в урожайности между крайне различными годами по выпадению осадков была минимальной – 0,52 т/га (4,70 т/га – 4,18 т/га = 0,52 т/га). Однако сравнение только двух крайних по продуктивности годов в полной мере не раскрывает один из самых важных показателей применения агрохимикатов на посевах яровой пшеницы – стабильность урожая по годам ее возделывания и не позволяет прогнозировать урожайность этой культуры с высокой точностью.

Для решения данной проблемы нами была разработана методика расчета индекса стабильности урожая, согласно которой сумма отклонений урожайности делится на среднюю урожайность изучаемой культуры во временном ряду (в нашем случае при шаге 5 лет). Таким образом, в расчетах учитывался не только диапазон урожайности между крайними рядами, но и средняя урожайность по годам исследований. При этом чем меньше индекс стабильности урожая, тем меньше его зависимость от погодно-климатических условий (табл. 84).

Таблица 84 – Сумма отклонений урожайности яровой пшеницы от средней ее величины за 5 лет и индекс ее стабильности

Фактор А (рН солевой вытяжки)	Фактор В (расчетные нормы НРК на планируемую урожайность зерна)	Сумма отклонений урожайности за 5 лет, т/га	Индекс стабильности урожая
Без известкования (рН 5,4–5,6)	Без удобрений (контроль)	0,76	0,36
	N <sub>37</sub> P <sub>24</sub> K <sub>26</sub> (на 3,0 т/га)	0,68	0,25
	N <sub>87</sub> P <sub>72</sub> K <sub>61</sub> (на 4,0 т/га)	0,58	0,18
	N <sub>137</sub> P <sub>120</sub> K <sub>97</sub> (на 5,0 т/га)	0,66	0,16
Известкование, 5 т/га (рН 6,1–6,2)	Без удобрений (контроль)	0,61	0,26
	N <sub>37</sub> P <sub>24</sub> K <sub>26</sub> (на 3,0 т/га)	0,70	0,24
	N <sub>87</sub> P <sub>72</sub> K <sub>61</sub> (на 4,0 т/га)	0,60	0,16
	N <sub>137</sub> P <sub>120</sub> K <sub>97</sub> (на 5,0 т/га)	0,68	0,16
Известкование, 5 т/га + фосфоритование, 1 т/га	Без удобрений (контроль)	0,60	0,24
	N <sub>37</sub> P <sub>24</sub> K <sub>26</sub> (на 3,0 т/га)	0,62	0,21
	N <sub>87</sub> P <sub>72</sub> K <sub>61</sub> (на 4,0 т/га)	0,68	0,18
	N <sub>137</sub> P <sub>120</sub> K <sub>97</sub> (на 5,0 т/га)	0,70	0,16

Расчеты показали весьма высокую сумму отклонений урожайности изучаемой культуры особенно на вариантах без применения минеральных удобрений (от 0,60 до 0,76 т/га на абсолютном контроле). Известкование слабокислых почв снижает сумму отклонений урожайности изучаемой культуры на 0,06 т/га (0,76 на первом контроле и 0,70 т/га на контроле с известкованием) и 0,60 т/га на варианте известкования с последующим фосфоритованием. Однако минимальными показателями анализируемой величины выделяются варианты с применением расчетных норм минеральных удобрений на планируемую урожайность 3,0–4,0 т/га зерна яровой пшеницы (от 0,58 до 0,60 т/га). Дальнейшее увеличение норм минеральных удобрений с целью получения 5,0 т/га зерна приводит к резкому перепаду урожайности изучаемой культуры по годам ее возделывания (0,66; 0,68; 0,70 соответственно по трем блокам полевого опыта). В данном случае, индекс стабильности урожая остается на одном и том же уровне – 0,16.

Такое явление видимо объясняется тем, что высокие нормы агрохимикатов не перерабатываются растениями в полной мере и, наоборот, во влажные годы – коэффициент их использования резко возрастает. Несмотря на вышеотмеченные

противоречия под действием расчетных норм минеральных удобрений стабильность урожая по сравнению с контролем возрастает на 125% (0,16 и 0,36), на фоне известкования – на 63% (0,16 и 0,26) и известкования в сочетании с фосфоритованием – ровно на 50% (0,24 и 0,16).

Таким образом, применение расчетных норм минеральных удобрений на фоне известкования и фосфоритования не только обеспечивает дополнительное получение до 2,0 т/га зерна, но и велика их роль в стабилизации урожайности по годам возделывания яровой пшеницы на выщелоченных черноземах Среднего Поволжья.

### **7.7. Показатели качества зерна яровой пшеницы *Тулайковская 10* на разных фонах минерального питания**

Известно, что качество сельскохозяйственной продукции зависит от множества факторов. Их можно разделить на 2 крупные группы:

- агроклиматические (иногда их называют природными факторами);
- антропогенные.

На первую группу факторов человек не может оказать прямое воздействие, так как мы не можем регулировать термические ресурсы в нужную нам сторону или же вызвать дополнительные осадки. Поэтому многие специалисты в 90-е годы прошлого столетия были убеждены, что для производства зерна яровой пшеницы в Среднем Поволжье нет горячего Солнца как в Нижнем Поволжье и нет тучных черноземов Украины. Поэтому до конца XX века для производства макаронной и высококачественной хлебобулочной продукции зерно этой культуры с высоким содержанием клейковины закупали из зарубежных стран мира (в основном из Канады и США), а в настоящее время по экспорту зерна Российская Федерация занимает 1 место (по 35 млн т в последние 2 года), опережая ЕС (32 млн т), США (27,5 млн т), Канаду (23 млн т). На долю продовольственного зерна яровой пшеницы приходится 28,4 млн т от общего объема продаж. Естественно, возникает вопрос «А что изменилось?» Ответ очень простой: изменились следующие антропогенные факторы, влияющие как на объемы производства зерна,

так и на качество выращенной продукции:

- упорный труд селекционеров Поволжья увенчался успехом, они вывели новые сорта, отличающиеся высоким потенциалом урожайности и качеством зерна озимой и яровой пшеницы, включая сорт *Тулайковская 10*;

- разработали и внедрили интенсивную энергосберегающую технологию возделывания пшеницы с учетом размещения ее в полевых севооборотах с учетом агроландшафта;

- опытным путем установили оптимальные нормы внесения минеральных удобрений, обеспечивающие получение экономически выгодной продукции с качественными показателями;

- освоили приемы биологизации земледелия (расширение посевных площадей культур из семейства бобовых, использование сидеральных паров, запашка измельченной соломы, массовое применение современных стимуляторов роста, хелатных форм микроудобрений, фитогормонов, биологических методов защиты растений от вредителей);

- размещение культур полевого севооборота с учетом агроландшафтов и мн.др.

Среди мер, направленных на формирование высокопродуктивных агроценозов с соответствующими показателями качества продукции, особое место занимает оптимизация фонов питания растений (табл. 85).

Под действием фонов питания такие физические свойства яровой пшеницы, как натура зерна и стекловидность перетерпевают существенные изменения. При внесении минеральных удобрений с расчетом на получение 3,0 и 4,0 т/га масса 1 л зерна увеличивается:

- от 720 до 744 г/л без известкования;
- от 729 до 762 г/л с известкованием;
- от 736 до 768 г/л с известкованием и фосфоритованием.

В данном случае мы с большой уверенностью можем утверждать об эффекте, как минеральных удобрений, так и известкования и фосфоритования.

Таблица 85 – Показатели качества зерна яровой пшеницы в зависимости от фонов ее питания (2016–2020 гг.)

Фактор А (рН солевой вытяжки)	Фактор В (расчетные нормы НРК на планируемую урожайность зерна)	Натура, г/л	Стекло-видность	Содержание	
				сырой клейковины	белка,
				%	
Без известкования (рН 5,4–5,6)	Без удобрений (контроль)	742	58,4	27,0	12,2
	N <sub>37</sub> P <sub>24</sub> K <sub>26</sub> (на 3,0 т/га)	750	60,1	28,4	12,6
	N <sub>87</sub> P <sub>72</sub> K <sub>61</sub> (на 4,0 т/га)	753	64,7	29,5	12,8
	N <sub>137</sub> P <sub>120</sub> K <sub>97</sub> (на 5,0 т/га)	759	63,5	29,0	12,6
Известкование, 5 т/га (рН 6,1–6,2)	Без удобрений (контроль)	749	60,2	28,6	12,8
	N <sub>37</sub> P <sub>24</sub> K <sub>26</sub> (на 3,0 т/га)	765	62,8	30,5	13,1
	N <sub>87</sub> P <sub>72</sub> K <sub>61</sub> (на 4,0 т/га)	768	66,3	32,8	13,4
	N <sub>137</sub> P <sub>120</sub> K <sub>97</sub> (на 5,0 т/га)	751	65,7	31,0	13,3
Известкование, 5 т/га + фосфоритование, 1 т/га	Без удобрений (контроль)	756	61,8	29,8	13,1
	N <sub>37</sub> P <sub>24</sub> K <sub>26</sub> (на 3,0 т/га)	759	64,7	32,6	13,6
	N <sub>87</sub> P <sub>72</sub> K <sub>61</sub> (на 4,0 т/га)	768	67,1	34,7	13,9
	N <sub>137</sub> P <sub>120</sub> K <sub>97</sub> (на 5,0 т/га)	753	66,0	33,4	13,8

Однако с уменьшением массы 1000 семян внесение 137 кг/га азотных, 120 кг/га фосфорных и 97 кг/га калийных удобрений в д.в. становится причиной как снижения натуры зерна до 759 г/л, так и его стекловидности (63,5%). Совместное применение извести и расчетных норм минеральных удобрений на планируемую урожайность 5,0 т/га зерна несколько сглаживает отрицательное влияние на эти показатели: 751 г/л и 65,7% соответственно, но полностью не исключает отрицательное последствие применения высоких норм минеральных удобрений на посевах яровой пшеницы.

Мягкую яровую пшеницу по пищевой пригодности делят на 5 классов (иногда на 6), учитывая, прежде всего содержание сырой клейковины, белка, стекловидности, натуру, внешний вид, запах и цвет (табл. 86).

Высший, первый и второй классы пшеницы обычно используют в качестве улучшителей низших групп. Третий класс с содержанием сырой клейковины не менее 28% пригоден для выпечки хлебобулочных изделий, а четвертый класс (не менее 18%) можно использовать на продовольственные цели после смешивания с улучшителями качества муки.

Таблица 86 – Требования к качеству мягкой заготавливаемой пшеницы (ГОСТ 9353–90)

Показатели	Ограничительная норма по классам					
	высший	1	2	3	4	5
Массовая доля клейковины, % не менее	36	32	28	23	18	не ограничивается
Стекловидность, % не менее	60	60	60	не ограничивается		
Натура, г/л не менее	свыше 750	750	750	730	710	не ограничивается
Массовая доля белка, % не менее	свыше 14,5	14,5	13,5	12,0	10	не ограничивается

Согласно этой классификации, на 3-х контрольных вариантах опыта полученная продукция по содержанию сырой клейковины (от 27,0 до 29,38%), белка (12,2–13,1%), стекловидности (58,4–61,8%), натуре (742-756 г/л) соответствует нормативным показателям второго и третьего класса (фото 2).



Фото 2. Общий вид яровой пшеницы второго класса

После известкования под влиянием расчетных норм минеральных удобрений на планируемую урожайность 4,0 т/га зерна массовая доля сырой клейковины возрастает до 32,8%, а белка – до 13,4%, а с дополнительным фосфоритованием – до 34,7 и 13,9% соответственно. Другими словами, агрохимикаты являются основой перехода качества зерна яровой пшеницы от второго класса к первому.

В заключение следует отметить выявленную нами тенденцию «разбавле-



ния» концентрации сырой клейковины и белка на всех блоках исследований с применением NPK на планируемую урожайность 5,0 т/га зерна яровой пшеницы:

– в первом блоке их содержание снижается до 28,6 и 12,9% по сравнению с 29,0 и 12,6% на варианте с внесением NPK на 4,0 т/га зерна;

– во втором блоке до 31,0 и 13,3% против 32,8 и 13,4 соответственно;

– в последнем блоке (известкование + фосфоритование + NPK на 5,0 т/га) содержание сырой клейковины снизилось на 1,7%, белка – на 0,3 процента.

Тем не менее, применение азотных, фосфорных и калийных удобрений с расчетом получения 4,0 т/га зерна яровой пшеницы является мощным фактором улучшения ее качества, особенно на фоне известкования и фосфоритования слабых выщелоченных черноземов северной части Среднего Поволжья.

#### **7.8. Влияние фонов питания яровой пшеницы на физико-химические свойства выщелоченных черноземов**

Народная мудрость гласит, что земля кормит людей, как мать своих детей. Добра мать до своих детей, а земля до всех людей. В связи с этим, мы должны заботиться о земле так, как заботимся о своих матерях, поддерживать ее энергетические ресурсы, включая плодородие почв на высоком уровне.

В этом вопросе велика роль возврата отчуждаемых почвенных элементов питания за счет накопления и минерализации пожнивно-корневых остатков возделываемых сельскохозяйственных культур, в том числе и яровой пшеницы (табл. 87).

Таблица 87. Влияние известкования, фосфоритования и применения минеральных удобрений на накопление пожнивно-корневых остатков и на их минерализацию (2016–2020 гг.)

Фактор А (рН солевой вытяжки)	Фактор В (расчетные нормы NPK на планируемую урожайность зерна)	Сухая масса пожнивно-корневых остатков, т/га	Прибавка от NPK, %	Кэф. прод-ти корневой системы	Биоактивность почвы, %
Без известкования (рН 5,4–5,6)	Без удобрений (контроль)	1,44	-	0,68	28,3
	N <sub>37</sub> P <sub>24</sub> K <sub>26</sub> (на 3,0 т/га)	1,68	16,7	0,61	31,4
	N <sub>87</sub> P <sub>72</sub> K <sub>61</sub> (на 4,0 т/га)	1,75	21,5	0,53	36,7
	N <sub>137</sub> P <sub>120</sub> K <sub>97</sub> (на 5,0 т/га)	1,80	25,0	0,45	34,2
Известкование, 5 т/га (рН 6,1–6,2)	Без удобрений (контроль)	1,67	-	0,71	30,8
	N <sub>37</sub> P <sub>24</sub> K <sub>26</sub> (на 3,0 т/га)	1,79	7,1	0,62	35,6
	N <sub>87</sub> P <sub>72</sub> K <sub>61</sub> (на 4,0 т/га)	2,20	31,7	0,57	38,4
	N <sub>137</sub> P <sub>120</sub> K <sub>97</sub> (на 5,0 т/га)	2,18	30,5	0,50	37,2
Известкование, 5 т/га + фосфоритование, 1 т/га	Без удобрений (контроль)	1,84	-	0,73	31,9
	N <sub>37</sub> P <sub>24</sub> K <sub>26</sub> (на 3,0 т/га)	1,95	6,0	0,67	36,7
	N <sub>87</sub> P <sub>72</sub> K <sub>61</sub> (на 4,0 т/га)	2,32	26,1	0,61	40,4
	N <sub>137</sub> P <sub>120</sub> K <sub>97</sub> (на 5,0 т/га)	2,37	28,8	0,53	38,1
НСР <sub>05</sub>	А	0,08			
	В	0,06			
	АВ	0,12			

Динамика накопления сухой массы пожнивно-корневых остатков, определенная методом отбора проб буром Станкова на глубину 0,30 м с последующим отмыванием в марлевых мешочках и высушиванием в термостате при температуре +105°С, показала устойчивый ее рост по мере увеличения норм внесения минеральных удобрений с расчетом получения 3,0, 4,0 и 5,0 т/га зерна яровой пшеницы. Так, прибавка от внесения расчетных норм NPK в первом блоке исследований (без известкования и фосфоритования) увеличилась от 1,44 т/га на контроле до 1,80 т/га сухой массы пожнивно-корневых остатков на последнем варианте опыта (расчетный фон NPK на 5,0 т/га зерна), что выше контроля на 25 процентов.

На фоне известкования применение этой же расчетной нормы минеральных удобрений усиливает рост и развитие корневой системы яровой пшеницы –

прибавка повышается до 30,5 процента по сравнению со вторым контролем.

С точки зрения накопления пожнивно-корневых остатков лучшим способом повышения эффективности вносимых минеральных удобрений является известкование и фосфоритование, поскольку органическая сухая масса достигает максимальной величины – 2,37 т/га, что выше абсолютного контроля (1,44 т/га) в 1,6 раза (на 64,5%).

Следовательно, чем выше уровень применения агрохимикатов, тем выше интенсивность накопления пожнивно-корневых остатков изучаемой культуры. Однако у этой общеизвестной зависимости есть обратная сторона медали – снижение коэффициента продуктивности корневой системы, который рассчитывается путем деления сухой массы пожнивно-корневых остатков на среднюю урожайность зерна за 5 лет.

Снижение коэффициента продуктивности корневой системы яровой пшеницы от 0,62 на контроле до 0,45 с применением NPK с расчетом получения 5,0 т/га зерна, по всей вероятности, объясняется тем, что существенно снижается коэффициент использования почвенных элементов питания.

Известкование и фосфоритование несколько сглаживает отрицательное влияние NPK на анализируемые показатели. На фоне известкования коэффициент работы корневой системы составляет от 0,71 до 0,50, а на фоне известкования и фосфоритования 0,73 до 0,53.

Кроме накопления органической массы главным условием бездефицитного баланса азота, фосфора и калия является интенсивность ее разложения, которая определяется путем закладки льняной ткани после уборки яровой пшеницы на 1 месяц (фото 3).

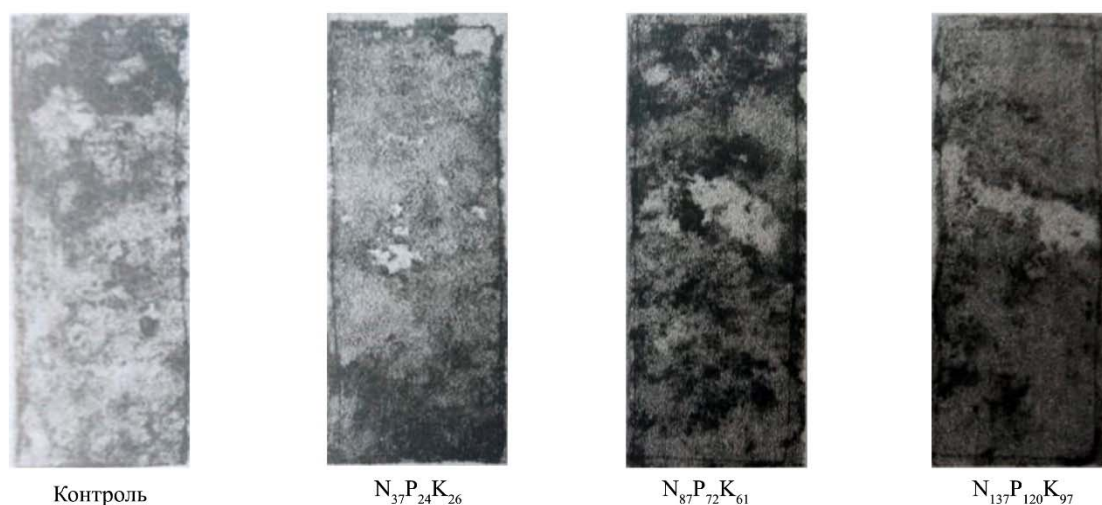


Фото 3. Разложение льняной ткани по вариантам опыта

Результаты исследований показывают, что на неудобренных вариантах почвенные микроорганизмы, дождевые черви, целлюлозоразлагающие актиномицеты в течение 30 дней после уборки урожая способны переработать 28,3–31,9% органического вещества в виде пожнивно-корневых остатков. Внесение расчетных норм минеральных удобрений этот процесс ускоряет до 34,2%, на фоне известкования – 38,4%, а на фоне известкования и фосфоритования – 40,4 процента. Именно по этой причине в целях ускорения минерализации органического вещества в хозяйствах Среднего Поволжья перед заделкой измельченной соломы вносится аммиачная селитра из расчета 30 кг/га д.в.

Следует отметить, что как недостаток азота, так и его избыток, то есть нарушение углеродно-азотного соотношения приводит к снижению биологической активности выщелоченных черноземов Среднего Поволжья. В наших исследованиях внесение минеральных удобрений с расчетом получения 5,0 т/га зерна стало причиной снижения темпов осенней переработки органической массы до 34,2–38,1% против более 40% на лучших вариантах опыта.

Таким образом, в ходе проведения исследований были установлены следующие закономерности:

– чем выше нормы внесения расчетных доз минеральных удобрений, тем

больше возвращается в почву органического вещества в виде пожнивно-корневых остатков;

– на высоких фонах NPK корневая система яровой пшеницы снижает темпы усвоения почвенных элементов питания (по этой причине резко снижается коэффициент ее продуктивности);

– интенсивность минерализации органического вещества также зависит от применяемых агрохимикатов в технологии возделывания яровой пшеницы. Она достигает максимальных величин на полях с внесением расчетных норм минеральных удобрений на планируемую урожайность 4,0 т/га зерна. В дальнейшем (NPK на 5,0 т/га зерна) из-за нарушения оптимального соотношения азота к углероду биоактивность почвы снижается до 34,2–38,1 процента.

Динамика накопления органического вещества и его минерализация оказывают прямое воздействие на структурно-агрегатный состав выщелоченных черноземов Среднего Поволжья. Более того, в условиях недостаточного и неустойчивого увлажнения зоны проведения исследований, меры, направленные на улучшение структурно-агрегатного состава пахотных почв, играют исключительно важную роль, так как в структурную почву больше впитывается дождевая и талая вода, в ней больше воздуха, она хорошо прогревается, меньше подвергается выдуванию или же размыванию.

В наших исследованиях определение структурно-агрегатного состава почвы сухим просеиванием с выделением комочков диаметром 0,25–10 мм после завершения полевых опытов (2020) показало исключительно важную роль известкования, фосфоритования и применения расчетных норм минеральных удобрений на планируемые урожайности 3,0, 4,0 и 5,0 т/га зерна яровой пшеницы (табл. 88).

Так, на абсолютном контроле (без агрохимикатов) в течение 5 лет содержание водопрочных агрегатов снизилось на 1 процент. На первый взгляд такое снижение кажется несущественным. Однако в перспективе это означает, что исходное содержание водопрочных агрегатов 59,6% полностью исчезнет (чернозем

может превратиться в песок) через 298 лет ( $59,6 \% \times 1 \times 5$  лет).

Таблица 88 – Динамика структурно-агрегатного состава выщелоченных черноземов под действием применяемых агрохимикатов (2020 г.)

Фактор А (рН солевой вытяжки)	Фактор В (расчетные нормы NPK на планируемую урожайность зерна)	Содержание водопрочных агрегатов, %	Прибавка, %	
			к исходной почве	от NPK
Без известкования (рН 5,4–5,6)	Без удобрений (контроль)	58,6	-1,0	–
	N <sub>37</sub> P <sub>24</sub> K <sub>26</sub> (на 3,0 т/га)	60,4	0,8	1,8
	N <sub>87</sub> P <sub>72</sub> K <sub>61</sub> (на 4,0 т/га)	64,3	4,7	5,7
	N <sub>137</sub> P <sub>120</sub> K <sub>97</sub> (на 5,0 т/га)	64,0	4,4	5,4
Известкование, 5 т/га (рН 6,1–6,2)	Без удобрений (контроль)	60,1	0,5	–
	N <sub>37</sub> P <sub>24</sub> K <sub>26</sub> (на 3,0 т/га)	62,8	3,2	2,7
	N <sub>87</sub> P <sub>72</sub> K <sub>61</sub> (на 4,0 т/га)	65,7	6,1	5,6
	N <sub>137</sub> P <sub>120</sub> K <sub>97</sub> (на 5,0 т/га)	64,6	5,0	4,5
Известкование, 5 т/га + фосфоритование, 1 т/га	Без удобрений (контроль)	62,7	3,1	–
	N <sub>37</sub> P <sub>24</sub> K <sub>26</sub> (на 3,0 т/га)	65,4	5,8	2,7
	N <sub>87</sub> P <sub>72</sub> K <sub>61</sub> (на 4,0 т/га)	66,8	7,2	4,1
	N <sub>137</sub> P <sub>120</sub> K <sub>97</sub> (на 5,0 т/га)	65,3	5,7	2,6

**Примечание.** Исходное содержание водопрочных агрегатов (2016 г.) диаметром от 0,25 до 10 мм составило 59,6 %.

В тех же условиях такую отрицательную закономерность можно изменить в положительную сторону за счет применения, как расчетных норм минеральных удобрений, так и сочетая их с известкованием и фосфоритованием. Например, на варианте внесения азотно-фосфорно-калийных удобрений на планируемую урожайность зерна яровой пшеницы 4,0 т/га общее количество водопрочных агрегатов увеличивается на 4,7% по сравнению с исходной почвой и на 5,7% с контролем.

Известкование еще более усиливает почвообразовательный процесс, поскольку внесение тех же норм NPK обеспечивает увеличение водопрочных агрегатов до 6,1%, а дополнительное фосфоритование – до 7,2 процента.

Столь существенная разница между вариантами опыта объясняется разным количеством накопления под посевами яровой пшеницы пожнивно-корневых остатков и интенсивностью их минерализации. Между этими факторами существует прямая корреляционная зависимость от  $r = 0,86$  до  $r = 0,96$  соответственно (рис. 16, 17).

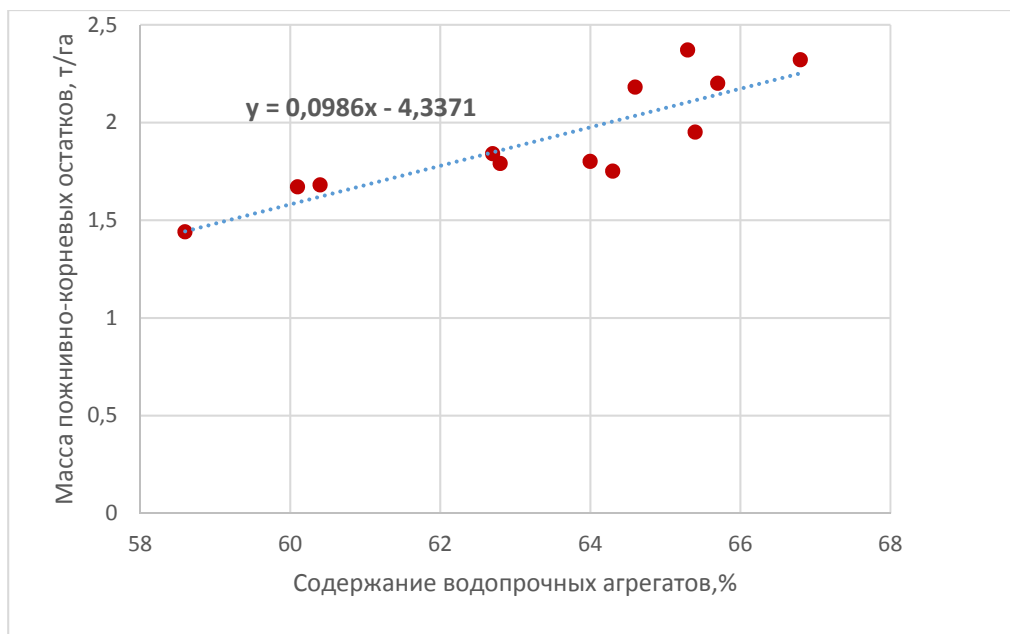


Рисунок 16. График корреляционной зависимости между накоплением пожнивно-корневых остатков яровой пшеницы и структурно-агрегатным составом почвы

Следовательно, оптимизация норм внесения агрохимикатов на посевах яровой пшеницы с точки зрения улучшения структурно-агрегатного состава выщелоченного чернозема имеет большую значимость.

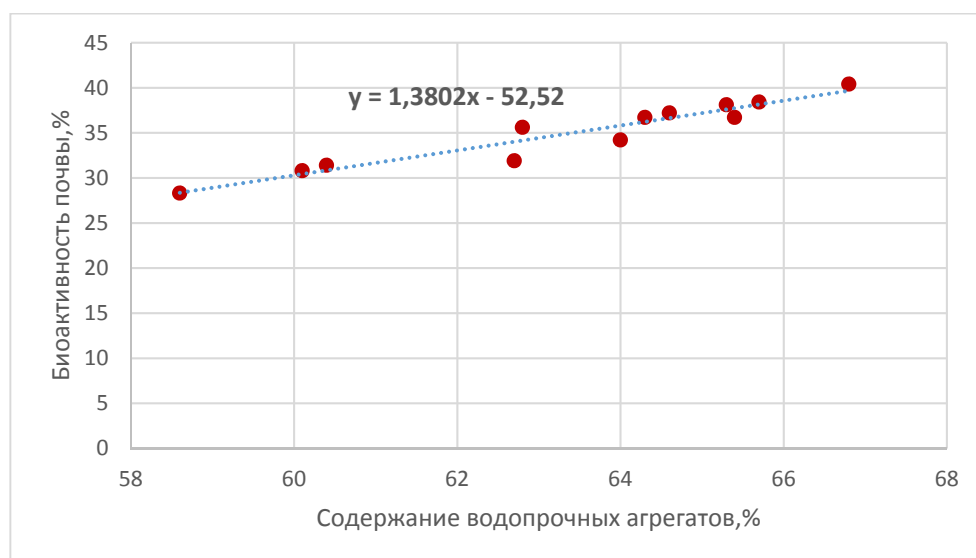


Рисунок 17. Корреляционная зависимость между биоактивностью выщелоченного чернозема и структурно-агрегатным составом почвы

Следует особо отметить прямую зависимость содержания основных элементов питания в биомассе яровой пшеницы (сухая масса зерна и соломы). К примеру, внесение возрастающих норм минеральных удобрений с расчетом на получение 3,0, 4,0, 5,0 т/га зерна повышает содержание азота в растениях от 3,15

до 3,18; 3,26; 3,38% соответственно в переводе на сухую массу (табл. 89).

Таблица 89 – Среднее содержание основных элементов питания в биомассе яровой пшеницы (зерно + солома) по вариантам опыта, % в сухой массе

Фактор А (рН солевой вытяжки)	Фактор В (расчетные нормы NPK на планируемую урожайность зерна)	Азот	Фосфор	Калий
Без известкования (рН 5,4–5,6)	Без удобрений (контроль)	3,15	1,12	1,80
	N <sub>37</sub> P <sub>24</sub> K <sub>26</sub> (на 3,0 т/га)	3,18	1,18	1,84
	N <sub>87</sub> P <sub>72</sub> K <sub>61</sub> (на 4,0 т/га)	3,26	1,36	1,98
	N <sub>137</sub> P <sub>120</sub> K <sub>97</sub> (на 5,0 т/га)	3,38	1,38	2,30
Известкование, 5 т/га (рН 6,1–6,2)	Без удобрений (контроль)	3,18	1,18	1,92
	N <sub>37</sub> P <sub>24</sub> K <sub>26</sub> (на 3,0 т/га)	3,21	1,21	2,04
	N <sub>87</sub> P <sub>72</sub> K <sub>61</sub> (на 4,0 т/га)	3,30	1,39	2,41
	N <sub>137</sub> P <sub>120</sub> K <sub>97</sub> (на 5,0 т/га)	3,42	1,42	2,56
Известкование, 5 т/га + фосфоритование, 1 т/га	Без удобрений (контроль)	3,18	1,21	2,04
	N <sub>37</sub> P <sub>24</sub> K <sub>26</sub> (на 3,0 т/га)	3,22	1,24	2,19
	N <sub>87</sub> P <sub>72</sub> K <sub>61</sub> (на 4,0 т/га)	3,31	1,46	2,51
	N <sub>137</sub> P <sub>120</sub> K <sub>97</sub> (на 5,0 т/га)	3,44	1,54	2,64

На этих же вариантах опыта содержание фосфора увеличивается от 1,12 на контроле до 1,38% (увеличение в 1,23 раза), а калия – на 28 процентов.

Известкование слабокислых выщелоченных черноземов еще более усиливает процесс накопления в растениях основных элементов питания, и он достигает максимальной величины на фоне применения расчетных норм минеральных удобрений на планируемую урожайность 5,0 т/га зерна в сочетании с известкованием и фосфоритованием: содержание азота составляет 3,44; фосфора – 1,54 и калия – 2,64% против 3,38; 1,38 и 1,95% соответственно без применения извести и фосфоритной муки.

Хозяйственный вынос азота, фосфора и калия зависит от двух факторов: содержания в растениях и урожайности изучаемой культуры. По этой причине, если максимальное различие в содержании основных элементов питания между крайними вариантами колеблется от 1,23 до 1,28 раза, то амплитуда хозяйственного выноса азота возрастает от 66,8 на абсолютном контроле до 152 кг/га на последнем варианте опыта, что характерно и для подвижного фосфора и обменного



калия – разница между ними составляет 2,9 и 3,0 раза (табл. 90).

Таблица 90 – Хозяйственный вынос основных элементов питания на формирование урожая яровой пшеницы с учетом побочной продукции, кг/га (2016–2020 гг.)

Фактор А (рН солевой вытяжки)	Фактор В (расчетные нормы NPK на планируемую урожайность зерна)	Азот	Фосфор	Калий
Без известкования (рН 5,4–5,6)	Без удобрений (контроль)	66,2	23,5	37,8
	N <sub>37</sub> P <sub>24</sub> K <sub>26</sub> (на 3,0 т/га)	86,5	32,2	50,2
	N <sub>87</sub> P <sub>72</sub> K <sub>61</sub> (на 4,0 т/га)	118,0	46,6	67,9
	N <sub>137</sub> P <sub>120</sub> K <sub>97</sub> (на 5,0 т/га)	136,5	55,8	92,9
Известкование, 5 т/га (рН 6,1–6,2)	Без удобрений (контроль)	74,4	27,6	45,6
	N <sub>37</sub> P <sub>24</sub> K <sub>26</sub> (на 3,0 т/га)	92,1	34,7	58,5
	N <sub>87</sub> P <sub>72</sub> K <sub>61</sub> (на 4,0 т/га)	125,7	53,0	91,8
	N <sub>137</sub> P <sub>120</sub> K <sub>97</sub> (на 5,0 т/га)	148,4	61,6	111,1
Известкование, 5 т/га + фосфоритование, 1 т/га	Без удобрений (контроль)	80,1	30,5	51,4
	N <sub>37</sub> P <sub>24</sub> K <sub>26</sub> (на 3,0 т/га)	93,4	36,0	63,5
	N <sub>87</sub> P <sub>72</sub> K <sub>61</sub> (на 4,0 т/га)	124,8	55,0	94,6
	N <sub>137</sub> P <sub>120</sub> K <sub>97</sub> (на 5,0 т/га)	152,0	68,1	114,6

Между тем, ни на одном варианте опыта, кроме подвижного фосфора, хозяйственный вынос не компенсируется внесением минеральных удобрений. Дефицит азота особенно возрастает на участках с внесением NPK на планируемую урожайность 3,0 т/га зерна. В первом блоке он составляет 49,5 кг/га д.в. (вынос 86,5, а внесено 37 кг/га), калия – 24,2 кг/га. На фоне известкования дефицитный баланс этих элементов питания увеличивается до 55,1 и 32,5 кг/га, на фоне известкования и фосфоритования соответственно – до 56,4 и 37,5 кг/га. При внесении минеральных удобрений с расчетом получения 4,0 и 5,0 т/га зерна напряжение в дисбалансе азота снижается до 15, а калия – 17 кг/га.

Известно, что оценка баланса пищевого режима почвы только на основе анализа отчуждения основных элементов питания полностью не раскрывает условия пищевого режима выщелоченного чернозема, поскольку часть азота, фосфора и калия компенсируется за счет минерализации пожнивно-корневых остатков, объемы накопления которых составляют до 2,37 т/га сухой массы. Дополнительным источником азота также является его поступление в почву с

осенне-весенними и летними осадками (до 8 кг/га), а калий дополнительно формируется за счет его перехода из недоступной формы в обменную форму.

Данная точка зрения подтверждается расчетными данными агрохимических показателей выщелоченных черноземов после завершения 5-летних полевых исследований (табл. 91).

Таблица 91 – Сравнительная оценка исходных агрохимических показателей выщелоченных черноземов с результатами после завершения полевых опытов (во временном ряду 5 лет)

Фактор А (рН солевой вытяжки)	Фактор В (расчетные нормы НРК на планируемую урожайность зерна)	Содержание					
		гумуса		подвижного фосфора		обменного калия	
		%	в % к исходному	мг/кг почвы	в % к исходному	мг/кг почвы	в % к исходному
Без известкования (рН 5,4–5,6)	Без удобрений (контроль)	7,25	96,7	123,0	99,1	136,1	98,1
	N <sub>37</sub> P <sub>24</sub> K <sub>26</sub> (на 3,0 т/га)	7,34	97,9	124,8	100,6	137,8	99,4
	N <sub>87</sub> P <sub>72</sub> K <sub>61</sub> (на 4,0 т/га)	7,58	101,1	126,1	101,6	138,2	99,6
	N <sub>137</sub> P <sub>120</sub> K <sub>97</sub> (на 5,0 т/га)	7,69	102,5	127,3	102,6	139,7	100,7
Известкование, 5 т/га (рН 6,1–6,2)	Без удобрений (контроль)	7,34	97,7	123,7	99,7	135,6	97,8
	N <sub>37</sub> P <sub>24</sub> K <sub>26</sub> (на 3,0 т/га)	7,38	98,4	125,2	100,9	138,0	99,5
	N <sub>87</sub> P <sub>72</sub> K <sub>61</sub> (на 4,0 т/га)	7,61	101,5	127,4	102,7	138,6	99,9
	N <sub>137</sub> P <sub>120</sub> K <sub>97</sub> (на 5,0 т/га)	7,72	102,9	128,5	103,5	138,7	100,0
Известкование, 5 т/га + фосфоритование, 1 т/га	Без удобрений (контроль)	7,39	98,5	124,0	99,9	135,9	98,0
	N <sub>37</sub> P <sub>24</sub> K <sub>26</sub> (на 3,0 т/га)	7,43	99,1	125,8	101,4	137,4	99,1
	N <sub>87</sub> P <sub>72</sub> K <sub>61</sub> (на 4,0 т/га)	7,71	102,8	128,0	103,1	136,8	98,6
	N <sub>137</sub> P <sub>120</sub> K <sub>97</sub> (на 5,0 т/га)	7,80	104,0	128,6	103,6	136,3	98,3

**Примечание.** В 2016 г. исходное содержание гумуса по Тюрину – 7,5 %, подвижного фосфора – 124,1 и обменного калия – 138,7 мг/кг почвы по Чирикову.

Без применения минеральных удобрений все агрохимические показатели выщелоченного чернозема (содержание гумуса, подвижного фосфора и обменного калия) уходят в отрицательную сторону по сравнению с исходной почвой.

Основной показатель плодородия любой почвы – содержание гумуса снижается до 96,7%, фосфора – 99,1 и калия – 98,1 процента.

Известкование и фосфоритование несколько сдерживает темпы снижения содержания гумуса (98,5% к исходной почве) и фосфора – 99,9 процента за счет мобилизации почвенных резервов.

Такая же тенденция характерна и для вариантов с внесением NPK с расчетом на получение 3,0 т/га зерна, тогда как применение  $N_{87}P_{72}K_{61}$  (расчетная норма на 4,0 т/га зерна) не только полностью компенсирует вынос, но и повышает содержание гумуса до 101,1–102,8% против 100 в исходной почве. На этих полях особенно резко возрастает содержание подвижного фосфора (101,6–103,1%).

Дальнейшее повышение норм минеральных удобрений с целью получения 5,0 т/га зерна яровой пшеницы сопровождается пропорциональным увеличением содержания гумуса на 0,06% в год, подвижного фосфора – 0,9 мг/кг почвы, но общее количество обменного калия снижается со скоростью 0,48 мг/год [(138,7–136,3) / 5 лет].

Таким образом, в целях не только сохранения, но и воспроизводства плодородия выщелоченных черноземов Среднего Поволжья, известкование и фосфоритование слабокислых почв необходимо сочетать с внесением расчетных норм минеральных удобрений на планируемую урожайность 4,0 т/га зерна яровой пшеницы.

Рекомендуемая технология применения агрохимикатов на посевах яровой пшеницы, определенная опытным путем тесно коррелирует с прогнозированием ее урожайности, изложенным в предыдущих главах настоящей работы.

### **7.9. Экономические показатели известкования, фосфоритования и применения расчетных норм минеральных удобрений на посевах яровой пшеницы Тулайковская 10**

Вторая половина XX века во всем мире ознаменовалась жестким спором между агрохимиками о минеральном питании растений. В то время многие были твердо убеждены, что те культуры, которые гарантированно реализуются по вы-

сокой цене и имеют обширный рынок сбыта как, например, основная продовольственная культура – яровая пшеница, система их удобрений должна быть организована так, чтобы азотно-фосфорно-калийное питание было удовлетворено в полном объеме. Генеральный секретарь ЦК КПСС Н.С. Хрущев выдвинул лозунг «Электрификация плюс химизация – коммунизм». По его инициативе в Татарстане был построен крупнейший в СССР завод по производству азотных удобрений в г. Менделеевске. В Пермской области в г. Березники освоили добычу и переработку калийной соли, на Кольском полуострове открыли крупнейшее месторождение фосфорной руды толщиной пласта 210 метров. Обширная химизация сельского хозяйства способствовала увеличению объемов производства продовольственного зерна, была ликвидирована карточная система распределения хлеба. Значительно увеличился ассортимент хлебобулочных изделий, в продаже появились белые булочки и батоны.

Однако сверхвысокая химизация сельского хозяйства стала основной причиной экономического ослабления многих товаропроизводителей сельскохозяйственной продукции. В связи с этим государство в ущерб себе регулярно списывало долги колхозов и совхозов. Более того, из-за резкого снижения насыщенности пашни органическими удобрениями, полного уничтожения травопольной системы земледелия, плотность сложения пахотных земель перестала отвечать требованиям сельскохозяйственных культур. Самое главное, применение высоких норм физиологически кислых минеральных удобрений стало причиной повсеместного подкисления почв и коэффициенты использования почвенных элементов питания и элементов питания внесенных минеральных удобрений резко упали. В конечном счете, была нарушена веками сформированная биологическая система почвы и ее природная продуктивность существенно изменилась в худшую сторону.

В этих условиях возрастает роль комплексного применения расчетных норм агрохимикатов, способствующих формированию высокопродуктивных агроценозов, обеспечивающих полный возврат органических веществ в виде по-

жнивно-корневых остатков измельченной соломы и высокую экономическую отдачу (табл. 92).

Таблица 92 – Экономические показатели комплексного применения расчетных норм агрохимикатов на посевах яровой пшеницы *Тулайковская 10* (в ценах 2020 г.)

Фактор А (рН солевой вытяжки)	Фактор В (расчетные нормы НРК на планируемую урожайность зерна)	Стоимость валовой продукции, тыс. руб./га	Общие затраты, тыс. руб./га	Чистая прибыль, тыс. руб./га	Рентабельность, %	Себестоимость 1 т зерна, тыс. руб.
Без известкования (рН 5,4–5,6)	Без удобрений (контроль)	30,8	24,4	6,4	24,2	11,62
	N <sub>37</sub> P <sub>24</sub> K <sub>26</sub> (на 3,0 т/га)	40,3	29,6	10,7	36,1	10,84
	N <sub>87</sub> P <sub>72</sub> K <sub>61</sub> (на 4,0 т/га)	50,6	34,8	15,8	45,4	10,14
	N <sub>137</sub> P <sub>120</sub> K <sub>97</sub> (на 5,0 т/га)	59,6	41,2	18,4	44,7	10,20
Известкование, 5 т/га (рН 6,1–6,2)	Без удобрений (контроль)	34,5	26,9	7,6	28,5	11,50
	N <sub>37</sub> P <sub>24</sub> K <sub>26</sub> (на 3,0 т/га)	42,3	30,8	11,5	37,3	10,73
	N <sub>87</sub> P <sub>72</sub> K <sub>61</sub> (на 4,0 т/га)	54,7	36,6	18,1	49,5	9,86
	N <sub>137</sub> P <sub>120</sub> K <sub>97</sub> (на 5,0 т/га)	64,0	43,4	20,6	47,5	10,00
Известкование, 5 т/га + фосфоритование, 1 т/га	Без удобрений (контроль)	37,2	28,2	9,0	31,9	11,11
	N <sub>37</sub> P <sub>24</sub> K <sub>26</sub> (на 3,0 т/га)	42,8	30,9	11,9	38,5	10,65
	N <sub>87</sub> P <sub>72</sub> K <sub>61</sub> (на 4,0 т/га)	55,6	36,8	18,8	51,1	9,76
	N <sub>137</sub> P <sub>120</sub> K <sub>97</sub> (на 5,0 т/га)	65,2	44,0	21,2	48,2	9,95

Стоимость валовой продукции определяли путем умножения урожайности на рекордно высокую цену реализации зерна яровой пшеницы осенью 2020 года: III класс – 14,65 тыс. руб./т (абсолютный контроль), II класс – 14,75 тыс. руб./т (остальные варианты опыта).

В общие затраты были включены расходы на известкование (смета прилагается) – 4273 руб./га, фосфоритование – 3612 руб./га. Общие затраты на применение этих агрохимикатов 7895 руб. делим на 5 лет и получаем затраты на 1 год эксплуатации известкованной пашни 1579 руб./га. Затем рассчитывали прямые затраты на возделывание яровой пшеницы, включая затраты на приобретение, транспортировку, хранение, внесение минеральных удобрений, внутрихозяйственные и непредвиденные расходы, отчисления в пенсионный фонд и соцстрахование, налоги в объеме 6% от денежной выручки реализованной продукции,

дополнительные выплаты за качество и оптимальные сроки проведения посевных и уборочных работ с учетом затрат на уборку и переработку дополнительной продукции и мн. др. В целом, при прочих равных условиях общие затраты между вариантами опыта отличаются расходами на применение агрохимикатов и уборкой дополнительной продукции. Поэтому они варьируют от 24,4 на первом контроле до 44,0 тыс. руб./га на последнем варианте опыта (известкование + фосфоритование + расчетная норма NPK на планируемую урожайность изучаемой культуры 5,0 т/га зерна).

Несмотря на столь значительный рост общих затрат чистая прибыль от производства и реализации зерна яровой пшеницы пропорционально повышается по мере внесения возрастающих норм минеральных удобрений: в первом блоке исследований от 6,4 до 18,4 тыс. руб. – в 2,89 раза по сравнению с контролем; во втором блоке опытов – от 28,2 до 44,0 тыс. рублей.

Однако оптимальное соотношение урожайности и рентабельности было достигнуто с внесением расчетных норм минеральных удобрений на планируемую урожайность 4,0 т/га зерна. Рентабельность производства по блокам исследований составила 45,4% без известкования; 49,5% с известкованием и 51,1% с известкованием и фосфоритованием.

В целом, возделывать яровую пшеницу на выщелоченных черноземах весьма выгодно и с экономической точки зрения, поскольку от продажи каждой тонны зерна в кассу хозяйства поступает от 3,03 (без агрохимикатов) до 5,04 тыс. руб. чистой прибыли (известкование + расчетная норма NPK на 4,0 т/га зерна).

#### **7.10. Энергетическая оценка результатов применения агрохимикатов на посевах яровой пшеницы Тулайковская 10**

В аграрном секторе Российской Федерации стоимость валовой продукции из года в год увеличивается. По объему денежной выручки экспорт зерна превышает экспорт вооружений, но покупательная способность товаропроизводителей снижается ускоренными темпами в силу следующих причин:

– регулярное повышение цен на ГСМ перед весенне-полевыми работами и уборочной кампанией;

– недопустимо высокая разница в ценах на сельскохозяйственную технику, удобрения, средства защиты растений и сельскохозяйственную продукцию (например, чтобы купить импортный зерноуборочный комбайн Class Lexion 580 за 12,5 млн руб. необходимо продать 853 т зерна яровой пшеницы с площади 341 га при средней товарной урожайности 2,5 т/га);

– устойчивое повышение процентных ставок на кредиты;

– ужесточение санкций ЕС и США в отношении Российской Федерации;

– спад мировой экономики, в том числе и России в период масштабного распространения коронавируса;

– повышение курса евро и доллара против рубля;

– недостаточная дотация производства продуктов питания со стороны государства.

Самое главное, скачок цены реализации товарной продукции в зависимости от урожайности, спроса и предложения рынка сбыта не позволяет объективно оценить те или иные агроприемы, применяемые в сельском хозяйстве. Поэтому энергетическая оценка применения агрохимикатов на посевах яровой пшеницы имеет большое значение.

Актуальность расчета биоэнергетической эффективности возделывания яровой пшеницы на различных фонах питания заключается в том, что затраты совокупной энергии и количество обменной энергии в полученной продукции мало зависят от общих затрат и прибыли в денежном выражении. Более того, современная технология возделывания сельскохозяйственных культур основана на использовании энергетических ресурсов (нефть, газ, уголь, электроэнергия и другие энергоносители), объемы использования которых, из года в год возрастают. В начале XX века на 100 калорий продукции затрачивалось всего 48 калорий совокупной энергии против 86 в настоящее время.

При расчетах энергетической эффективности возделывания объекта наших исследований необходимо учесть ряд особенностей энергопотребления, прежде всего это биологические факторы формирования зерна за счет использования

солнечной энергии, углекислого газа и воды (фотосинтез).

С другой стороны, в сельском хозяйстве, как и в промышленности, используются материально-технические средства, для работы которых требуются различные виды энергоносителей. Для определения энергоемкости возделывания яровой пшеницы на искусственно создаваемых фонах питания в наших расчетах были учтены следующие коэффициенты их перевода:

- 1 кг дизельного топлива – 37,66 МДж;
- 1 кг бензина – 39,67 МДж;
- 1 кг условных туков (22% д.в.) – 29,33 МДж;
- живой труд 1 чел./час – 0,2 МДж;
- 1 кВт/час – 3,6 МДж;
- 1 л.с./час – 2,65 МДж.

Расчеты показали, что затраты совокупной энергии возрастают пропорционально урожайности изучаемой культуры более чем на 78% (табл. 93).

Таблица 93 – Биоэнергетическая эффективность применения агрохимикатов на посевах яровой пшеницы *Тулайковская 10*

Фактор А (рН солевой вытяжки)	Фактор В (расчетные нормы NPK на планируемую урожайность зерна)	Затраты совокупной энергии	Валовый сбор обменной энергии,	Биоэнергетический коэффициент	Концентрация обменной энергии, МДж/кг зерна
		ГДж/га			
Без известкования (рН 5,4–5,6)	Без удобрений (контроль)	8,2	15,2	1,9	7,2
	N <sub>37</sub> P <sub>24</sub> K <sub>26</sub> (на 3,0 т/га)	10,4	25,0	2,4	9,1
	N <sub>87</sub> P <sub>72</sub> K <sub>61</sub> (на 4,0 т/га)	12,6	37,8	3,0	11,0
	N <sub>137</sub> P <sub>120</sub> K <sub>97</sub> (на 5,0 т/га)	12,8	39,7	3,1	9,8
Известкование, 5 т/га (рН 6,1–6,2)	Без удобрений (контроль)	9,1	20,0	2,2	8,5
	N <sub>37</sub> P <sub>24</sub> K <sub>26</sub> (на 3,0 т/га)	11,3	31,6	2,8	11,0
	N <sub>87</sub> P <sub>72</sub> K <sub>61</sub> (на 4,0 т/га)	13,8	46,9	3,4	12,6
	N <sub>137</sub> P <sub>120</sub> K <sub>97</sub> (на 5,0 т/га)	14,4	49,0	3,4	11,4
Известкование, 5 т/га + фосфоритование, 1 т/га	Без удобрений (контроль)	10,4	27,0	2,6	10,7
	N <sub>37</sub> P <sub>24</sub> K <sub>26</sub> (на 3,0 т/га)	12,6	42,8	3,4	14,8
	N <sub>87</sub> P <sub>72</sub> K <sub>61</sub> (на 4,0 т/га)	14,1	53,6	3,8	14,2
	N <sub>137</sub> P <sub>120</sub> K <sub>97</sub> (на 5,0 т/га)	14,6	56,9	3,9	12,9



На абсолютном контроле (без агрохимикатов) на производство 2,10 т/га зерна было затрачено 8,2 ГДж совокупной энергии против 14,6 ГДж на последнем варианте опыта (известкование + фосфоритование +  $N_{137}P_{120}K_{97}$ ).

В связи с увеличением урожайности до 4,42 т/га валовой сбор обменной энергии, включая энергию в побочной продукции (солома), достиг максимальной величины – 56,9 ГДж. Однако из-за большого количества затраченной энергии (внесение 3-х видов агрохимикатов) концентрация обменной энергии в единице продукции уступала расчетному варианту НРК на 4,0 т/га зерна. В первом блоке опыта концентрация обменной энергии в 1 кг зерна снизилась до 9,8 МДж против 11,0 МДж на варианте с расчетом 4,0 т/га; во втором блоке соответственно 12,6 и 11,4; а на третьем блоке на первое место вышел расчетный вариант 3 т/га зерна – 14,8 МДж/кг продукции. Следовательно, расчеты энергетической эффективности возделывания яровой пшеницы еще раз доказывают преимущество внесения НРК на планируемую урожайность 4,0 т/га зерна с предварительным известкованием слабокислых выщелоченных черноземов северной части Среднего Поволжья.

### **7.11. Производственная проверка и внедрение результатов исследований**

Производственная проверка результатов исследований проводилась параллельно с полевыми опытами в последние 2 года (2019–2020 гг.) на выщелоченных черноземах отделения «Маяк» ООО «Авангард» на площади 60 га (каждая делянка 10 га) в однократной повторности. Полученные результаты производственного испытания выделившихся вариантов опыта представлены в виде таблицы 94.

Прежде чем приступить к анализу результатов производственной проверки следует отметить низкую эффективность известкования слабокислых выщелоченных черноземов (прибавка урожайности зерна в среднем за 2 года всего 100 кг/га) и проведение дополнительного фосфоритования – прибавка 25 кг/га.

В тех же почвенно-климатических условиях сочетание известкования с внесением НРК на планируемую урожайность 4,0 т/га обеспечивает получение в

среднем за 2 года 3,53 т/га высококачественного зерна яровой пшеницы против 2,22 т/га на контроле (без агрохимикатов).

Таблица 94 – Результаты производственной проверки сравнительной оценки известкования и применения расчетных норм минеральных удобрений на посевах яровой пшеницы

Фактор А (рН солевой вытяжки)	Фактор В (расчетные нормы NPK на планируемую урожайность зерна)	Фактическая урожайность, т/га		
		2019 г.	2020 г.	средняя
Без известкования (рН 5,4–5,6)	Без удобрений (контроль) N <sub>87</sub> P <sub>72</sub> K <sub>61</sub> (на 4,0 т/га)	2,06	2,38	2,22
		3,18	3,35	3,27
Известкование, 5 т/га (рН 6,1–6,2)	Без удобрений (контроль) N <sub>87</sub> P <sub>72</sub> K <sub>61</sub> (на 4,0 т/га)	2,21	2,43	2,32
		3,37	3,68	3,53
Известкование, 5 т/га + фосфоритование, 1 т/га	Без удобрений (контроль) N <sub>87</sub> P <sub>72</sub> K <sub>61</sub> (на 4,0 т/га)	2,40	2,54	2,47
		3,72	3,96	3,84

Более того, высока отдача от сочетания трех агрохимикатов (известкование + фосфоритование + расчетная норма NPK на 4,0 т/га). На этом участке средняя урожайность уступала расчетной всего на 0,16 т/га (4,0–3,84=0,16 т/га).

Следовательно, известкование и фосфоритование слабокислых выщелоченных черноземов Среднего Поволжья обязательно должно сопровождаться внесением расчетных норм азотно-, фосфорно- и калийных удобрений на планируемую урожайность яровой пшеницы *Тулайковская 10* на 4,0 т/га зерна.

В Республике Татарстан в 2020 г. валовой сбор зерна составил 5,3 млн тонн со средней бункерной урожайностью 3,75 т/га против 3,8 т/га товарной продукции в ООО «Авангард» Буинского муниципального района. Столь высокие результаты, кроме исключительно благоприятных агрометеорологических условий, были достигнуты благодаря целенаправленной работе аграриев по широкомасштабному использованию государственной программы известкования и фосфоритования кислых почв в основном за счет бюджетных средств, агроландшафтному размещению сельскохозяйственных культур в пространстве, биологизации земледелия и, самое главное, применения минеральных удобрений с учетом планируемой урожайности, а не по принципу «Кашу маслом не испортишь».

К примеру, в ООО «Авангард», как было отмечено выше, практически кислых почв не осталось, и они не являются ограничивающим фактором. Данное хозяйство имеет весьма развитую материально-техническую и экономическую базу. В связи с этим, с учетом окультуренности каждого поля севооборота нами были рассчитаны контрольные нормы внесения минеральных удобрений под яровую пшеницу на планируемую урожайность зерна 4,0 т/га на площади 8,2 тыс. га. Для сравнения конечных результатов на площади 1,3 тыс. га внесли обычно рекомендуемые нормы NPK из расчета 200 кг/га нитроаммофоски (N<sub>16</sub>P<sub>16</sub>K<sub>16</sub>) и 100 кг/га прикорневой подкормки яровой пшеницы в фазу кущения.

В итоге, урожайность изучаемой культуры составила 90% от планируемого его показателя (3,6 т/га), что выше на 0,25 т/га зерна на контрольных площадях. Следовательно, при цене реализации зерна, соответствующего по качеству III классу (14 тыс. 750 руб./т) дополнительно получено продукции на сумму 24 млн 600 тыс. (3 тыс. руб./га).

Такие же положительные результаты исследований внедрены в ООО «Заря» (6540 га), ООО «Коммуна» (781 га), ПСХК «Ембулатово» (676 га), ООО СХП «Бола» (558 га) Буинского, ООО «Эконом» (1,2 тыс. га) Актанышского, КФХ «Миннуллин Г.С.» (1,6 тыс. га) Бавлинского муниципальных районов Республики Татарстан (акты внедрения с указанием экономической эффективности прилагаются).

Проведенные полевые опыты, проверка результатов исследований в производственных условиях и широкомасштабное их внедрение в сельскохозяйственное производство стало основой для разработки перспективного плана развития аграрного сектора Республики Татарстан. Это полностью подтверждает возможность получения прогнозируемой урожайности 4,0 т/га зерна яровой пшеницы.

При этом плодородие выщелоченных черноземов значительно улучшается и их можно использовать на протяжении многих лет.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Во временном ряду за 1970–2018 гг. динамика насыщенности выщелоченных черноземов Среднего Поволжья минеральными удобрениями составила от 19,2 до 169,9 кг/га д.в. До 1985 г., в период экстенсивного земледелия ежегодно вносили 41–87 кг/га д.в. NPK, а в годы интенсивной химизации (1985–1995 гг.) она варьирует от 93 до 169,9 кг/га д.в в год. В дальнейшем, (1996–2018 гг.) объемы применения минеральных удобрений снизились до уровня 43,7–133,8 кг/га д.в.

2. В течение 49 лет в составе минеральных удобрений более половины были представлены азотными, 30% – фосфорными и 20% – калийными.

3. Обеспеченность пашни органическими удобрениями условно делится на 3 периода:

– первый период (1970–1984 гг.), с ежегодной насыщенностью пашни 1,9–3,9 т/га;

– второй период (1985–1995 гг.) объемы внесения органических удобрений возросли до 2,5–6,5 т/га;

– последний период охватывает 1996–2018 гг. с насыщенностью пашни 0,0–2,8 т/га, что связано с экономическими кризисами и уменьшением поголовья скота в годы перестройки АПК.

4. По содержанию подвижного фосфора выщелоченные черноземы спустя 24 года вернулись к уровню 1984 г. – 124,1 мг/кг почвы, обменного калия (145,8 мг/кг) – к уровню 1995 года.

5. За 49 лет доля кислых почв снизилась от 64,8% в 1970 г. до 42,2% в настоящее время, что оказало существенное влияние на урожайность зерна яровой пшеницы во временном ряду в диапазоне от 1,16 до 5,1 т/га.

6. В первом 11-летнем цикле урожайность яровой пшеницы составила 2,10 т/га, во-втором – 1,97, в 1990–2020 гг. – 3,22, в последующие 11 лет 3,50 и в последние 2004–2018 гг. она снизилась до 2,60 т/га.

7. Математическая обработка урожайности яровой пшеницы методом скользящих средних ее показателей позволяет выявить роль погодноклиматических условий, хозяйственного фактора и насыщенности выщелоченного чернозема НРК в темпах ее ежегодного роста ( $Y_{11}$  и  $Y_{22}$  соответственно 43,0 и 26,9 кг зерна/год).

8. Исключение острозасушливых хозяйственных годов из выборки укрепляет связь между фактической урожайностью изучаемой культуры и агрохимическими факторами. В зависимости от их количества величина множественного корреляционного коэффициента варьирует от 0,603 до 0,686, что имеет статистическую достоверность ( $t_{\text{факт.}} > t_{\text{табл.}}$ ).

9. Между факторами и скользящей средней урожайностью яровой пшеницы коэффициенты множественной связи изменяются в пределах 0,753–0,781 для  $Y_{11}$  и 0,904–0,906 – для  $Y_{22}$ .

10. Рассчитанные уравнения регрессии для определения прогнозируемой урожайности на ближайшие годы и отдаленную перспективу позволяют с большой уверенностью утверждать о возможности получения с каждого гектара выщелоченного чернозема 3,0–3,5 т/га высококачественного зерна яровой пшеницы.

11. Достоверность рекомендуемой методики прогнозирования урожайности яровой пшеницы полностью подтверждается результатами двухфакторного полевого опыта, проведенного в течение последних 5 лет:

– внесение расчетных норм минеральных удобрений на планируемую урожайность яровой пшеницы 4,0 т/га обеспечивало формирование стеблестоя с содержанием 499 шт./м<sup>2</sup> продуктивных колосьев с массой 1000 семян 38,2 г против 392 шт./м<sup>2</sup> и 35,4 г соответственно на контрольном варианте опыта (без удобрений);

– эффективность применения минеральных удобрений возрастает на фоне известкования и фосфоритования слабокислых выщелоченных черноземов, обеспечивая получение 3,77 т/га зерна вместо планируемого 4,0 т/га, с самой вы-

сокой стабильностью урожая по годам исследований (индекс стабильности 0,16–0,18);

– известкование (5 т/га), фосфоритование (1 т/га) и ежегодное внесение NPK на планируемую урожайность 4,0 т/га зерна яровой пшеницы обеспечивает получение 18,8 тыс. руб./га чистой прибыли с рентабельностью производства зерна 51,1% и биоэнергетическим коэффициентом 3,8;

– комплексное применение удобрений является основой бездефицитного баланса гумуса (101,5% к исходной почве), подвижного фосфора (102,7%) и обменного калия (99,9%).

### **РЕКОМЕНДАЦИИ ПРОИЗВОДСТВУ**

1. Для принятия опережающих мер по обеспечению населения широкодоступными хлебобулочными изделиями и планирования объемов экспорта зерна на долгосрочную перспективу рекомендуется рассчитать прогнозируемую урожайность яровой пшеницы по уравнениям регрессии, разработанным на основе глубокого анализа корреляционных зависимостей ресурсного потенциала выщелоченных черноземов за последние 49 лет и агрометеорологических условий Среднего Поволжья.

2. В целях получения прогнозируемой урожайности продовольственного зерна яровой пшеницы 3,5–4,0 т/га и расширенного воспроизводства плодородия выщелоченных черноземов необходимо известкование кислых почв сочетать с фосфоритованием и внесением расчетных норм NPK с учетом общепринятых коэффициентов их использования.

**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. – 117 с.
3. Авакумов, О.В. Прогнозирование урожайности яровой пшеницы в лесостепной зоне Среднего Поволжья по методу наименьших квадратов / О.В. Авакумов, А.А. Лукманов, И.Д. Давлятшин // Вестник Казанского ГАУ. – 2013. – № 4. – С. 92–97.
4. Авдонин, Н.С. Свойства почвы и урожай / Н.С. Авдонин. – М. : Колос, 1965. – 272 с.
5. Агрохимическая характеристика почв сельскохозяйственных угодий Российской Федерации // Реестр плодородия почв. – М. : ВНИИА. – 2013. – 207 с.
6. Азот в почвах Волжско-Камской лесостепи / А.В. Колоскова, С.Г. Муртазина, А.Ш. Фаткуллин, К.Ш. Шакиров ; науч. ред. А.В. Колоскова – Казань : Изд-во Казан. ун-та, 1979. – 164 с.
7. Аканова, Н.И. Агроэкологическая и энергетическая эффективность сочетания известкования с минеральными удобрениями: автореф. дис. ... д-ра с.-х. наук / Н.И. Аканова. – М., 2001. – 48 с.
8. Аканова, Н.И. Потери питательных элементов растений / Н.И. Аканова, И.А. Шильников, А.Х. Шеуджен [и др.]. – М.: LAP LAMBERT. – 2015. – 502 с.
9. Аканова, Н.И. Проблема химической мелиорации почв в земледелии Российской Федерации / Н.И. Аканова, И.А. Шильников // Плодородие. – 2018. – № 2. – С. 9–11.
10. Александрова, Л.Н. Органическое вещество почв и процессы его трансформации / Л.Н. Александрова. – Л. : Наука, 1980. – 287 с.
11. Алиев, Ш.А. Прогнозирование урожая озимой ржи/ Ш.А. Алиев, Л.Г. Гаффарова, И.Д. Давлятшин // Агрохимический вестник. – 2001. – № 5. – С. 8–10.
12. Алиев, Ш.А. Методические указания по определению эффективности

удобрений в производственных условиях / Ш.А. Алиев, Е.И. Ломако. – Казань : Центр инновационных технологий. – 2001. – 10 с.

13. Алиев, Ш.А. Проблемы известкования почв Республики Татарстан / Ш.А. Алиев, С.Ш. Нуриев, В.З. Шакиров. – Казань : Изд-во РИВЦ МСХП ТР, 2002. – 81 с.

14. Алиев, Ш.А. Агроэкологическая оценка земель Республики Татарстан / Ш.А. Алиев, В.З. Шакиров, С.Ш. Нуриев, И.Н. Салимжанова // Агрехимический вестник. – 2003. – № 1. – С. 25–27.

15. Амиров М.Ф. Агротехнологии зерновых культур/ М.Ф. Амиров, И.Р. Вале-ев и др.// Система земледелия в Республике Татарстан. – 2014. – С. 18–140.

16. Бараш, С.И. История неурожаев и погоды в Европе (по XVI в. н.э.) / С.И. Бараш. – Л. : Гидрометеиздат, 1989. – 236 с.

17. Батыев, С.Г. Географическая характеристика административных районов Татарской АССР / С.Г. Батыев, А.В. Ступишен. – Казань : Изд-во Казан. ун-та, 1972. – 254 с.

18. Безуглов, В.Г. Применение удобрений в сельском хозяйстве Российской Федерации / В.Г. Безуглов, Г.Д. Гогмачадзе // Ежегодное аграрное обозрение. ВНИИАгроинформ. – 2012. – № 1. – С. 1–8.

19. Благовидов, Н.Л. Качественная оценка земель. / Н.Л. Благовидов. – М. : Изд-во М-ва сел. хоз-ва РСФСР, 1960. – 79 с.

20. 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.

21. Бровкин, В.И. Применение извести и фосфоритной муки на серых лесных почвах северной лесостепи / В.И. Бровкин // Химия в сельском хозяйстве. – 1985. – № 5. – С. 11–12.

22. Булгаков, Д.С. Агроэкологическая оценка пахотных почв / Д.С. Булгаков. – М. : Почв. ин-т им. В.В. Докучаева, 2002. – 252 с.

23. Важенин, И.Г. Применение метода вариационной статистики в почвенно-



агрохимических исследованиях / И.Г. Важенин // Почвоведение. – 1963. – № 2. – С. 43–57.

24. Важенин, И.Г. О формах калия в почве и калийном питании растений / И.Г. Важенин, Г.И. Карасева // Почвоведение. – 1959. – № 3. – С. 11–22.

25. Вернадский, В.И. Научная жизнь как планетное явление / В.И. Вернадский; отв. ред. А.Л. Яшин. – М. : Наука, 1991. – 270 с.

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

27. Винокуров, М.А. Почвы Татарии / М.А. Винокуров, А.В. Колоскова, А.Ш. Фаткуллин [и др.]. – Казань : Изд-во Казан. ун-та, 1962. – 420 с.

28. Винокуров М.А. Черноземы Татарии / М.А. Винокуров, А.В. Колоскова. – Казань : Изд-во Казан. ун-та, 1976. – 198 с.

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

30. Войтович, Н.В. Потребление питательных веществ урожаем в различных агроценозах Центрального Нечерноземья / Н.В. Войтович, Б.П. Лобода // Агрохимия. – 2005. – № 10. – С. 48–52.

31. Войтович, Н.В. Фосфаты России и ближнего зарубежья / Н.В. Войтович, Б. А. Сушеница, В.Н. Капранов. – М. : ВНИИА, 2005. – 448 с.

32. Волынкин, В.И. Эффективность применения суперфосфата при различной обеспеченности фосфором культур зернопарового севооборота в Курганской лесостепи / В.И. Волынкин, О.В. Волынкина // Агрохимия. – 2012. – № 6. – С. 38–44.

33. Воронин, А.Н. Влияние длительного применения удобрений на фосфатный режим чернозема типичного / А.Н. Воронин, В.В. Никитин, В.Д. Соловиченко // Агрохимия. – 2015. – № 3. – С.17–20.

34. Гаврилюк, Ф.Я. Критерии бонитировки почв / Ф.Я. Гаврилюк // Почвоведение. – 1967. – № 1. – С. 3–9.

35. Гаврилюк, Ф.Я. Бонитировка почв / Ф.Я. Гаврилюк. – М. : Высш. шк.,

1974. – 271 с.

36. Галева, Л.П. Физико-химические свойства и фосфатный режим черноземов выщелоченных Приобья при внесении сидератов // Л.П. Галева // Агрохимия. – 2009. – № 5. – С. 22–28.

37. Гамзиков, Г.П. Азот в земледелии Западной Сибири / Г.П. Гамзиков. – М. : Наука, 1981. – 266 с.

38. Гамзиков, Г.П. Агрохимия азота в агроценозах / Г.П. Гамзиков. – Новосибирск : Новосиб. ГАУ, 2013. – 790 с.

39. Ганжара, Н.Ф. Почвоведение / Н.Ф. Ганжара. – М. : Агроконсалт, 2001. – 392 с.

40. Гафарова, Л.Г. Статистические параметры свойств и морфологического строения зональных почв Привятской полосы лесостепной зоны: автореф. дис. ... канд. биол. наук / Л.Г. Гаффарова. – Казань, 2017. – 22 с.

41. Гафарова, Л.Г. Статистические параметры морфологического строения и свойств дерново-подзолистых и серых лесных пахотных почв Привятской полосы лесостепной зоны Республики Татарстан : монография / Л.Г. Гаффарова, И.Д. Давлятшин; под ред. А.В. Ивойлова. – Казань : Изд-во Казан. ГАУ, 2019. – 130 с.

42. Гедройц, К.К. Почвенный поглощающий комплекс, растение и удобрений / К.К. Гедройц. – М. : Сельхозгиз, 1935. – 344 с.

43. Горбунов, Н.И. Минералогия и физическая химия почв / Н.И. Горбунов. – М. : Наука, 1978. – 170 с.

44. Градобоева, Н.А. Мониторинг почвенного плодородия пахотных земель Республики Хакасия / Н.А. Градобоева, В.В. Елизаров, Н.В. Сиренева // Достижения науки и техники АПК. – 2016. – Т. 30, № 7. – С. 44–47.

45. Грим, Р.Е. Минералогия глин / Р.Е. Грим. – М. : Изд-во иностр. лит., 1956. – 280 с.

46. Гришина, Л.А. Гумусообразование и гумусное состояние почв / Л.А. Гришина, Д.С. Орлов. – М. : Изд-во Москов. ун-та, 1982. – 242 с.

47. Груздева, Н.А. Фосфорный режим пахотных серых лесных почв Северного Зауралья / Н.А. Груздева, Д.И. Еремин // Агрохимический вестник. – 2017. – № 5. – С. 12–15.

48. Давлятшин, И.Д. Опыт установления взаимосвязи диагностических признаков и свойств почв между собой и урожайностью сельскохозяйственных культур / И.Д. Давлятшин, Ф.Г. Тоекин // Тр. Ин-та почвоведения АН Казахской ССР. – Т. 21. – Алма-Ата : Наука, 1972. – С. 181–191.

49. 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.

50. Давлятшин, И.Д. Статистические параметры и бонитировка пахотных почв семиаридной зоны равнинного Казахстана: дис. ... д-ра биол. наук (в форме науч. докл.) / И.Д. Давлятшин. – Новосибирск, 1993. – 50 с.

51. Давлятшин, И.Д. Динамика урожайности яровой пшеницы / И.Д. Давлятшин, Н.Б. Бакиров // Научный Татарстан. – 1999. – № 2. – С. 50-56.

52. Давлятшин, И.Д. Динамика агрохимических свойств пахотных почв и урожайность озимой ржи / И.Д. Давлятшин, Ш.А. Алиев, Л.Г. Гафарова // Агрохимия. – 2001. – № 9. – С. 13–16.

53. Давлятшин, И.Д. Островные дерново-подзолистые почвы в лесостепной зоне / И.Д. Давлятшин, Н.Б. Бакиров // Материалы Всерос. научн. конф., посвященной 100-летию кафедры почвоведения им. Л.А. Александровой. – СПб. – Пушкин : СПбГАУ, 2006. – С. 20–22.

54. Давлятшин, И.Д. Новый метод расчета окупаемости минеральных удобрений урожаем озимой ржи / И.Д. Давлятшин, Н.Б. Бакиров // Агрохимический вестник. – 2007. – № 4. – С. 6–8.

55. Давлятшин, И.Д. Скользящие средние яровой пшеницы в лесостепной зоне и аспекты их применения / И.Д. Давлятшин, Н.Б. Бакиров // Вестник РАСХН. – 2007. – № 3. – С. 9–11.

56. Давлятшин, И.Д. Островные массивы серых лесных почв в лесостепной зоне / И.Д. Давлятшин, Н.Б. Бакиров // Материалы Междунар. науч. конф., посвященной 100-летию Л.Н. Александровой. – СПб. – Пушкин : СПбГАУ, 2008. – С. 7–8.

57. Давлятшин, И.Д. Почвенно-агрохимические параметры и урожайность

яровой пшеницы в лесостепи Западного Закамья Предуральской провинции / И.Д. Давлятшин, Н.Б. Бакиров. – Казань : Изд-во Казан. ун-та, 2010. – 358 с.

58. Давлятшин, И.Д. Связь между элементами питания и урожайностью яровой пшеницы / И.Д. Давлятшин, Р.В. Миникаев, Г.С. Сафиева // Вестник РАСХН. – 2012. – № 3. – С. 8–11.

59. Давлятшин, И.Д. Калий в пахотных почвах лесостепи / И.Д. Давлятшин, А.А. Лукманов, А.М. Бадиков // Плодородие. – 2013. – № 2. – С. 27–28.

60. Давлятшин, И.Д. Обеспеченность макроэлементами питания и прогнозирование урожайности яровой пшеницы в Республике Татарстан / И.Д. Давлятшин, А.М. Бадиков, А.А. Лукманов, О.В. Аввакумов // Вестник Казанского ГАУ. – 2014. – № 4 (34). – С. 120–123.

61. Давлятшин, И.Д. Макроэлементы питания и прогнозирование урожайности яровой пшеницы в северной части лесостепи / И.Д. Давлятшин, О.В. Аввакумов, А.А. Лукманов, А.М. Бадиков // Ресурсосберегающие экологически безопасные технологии производства и переработки сельскохозяйственной продукции : материалы X Междунар. науч.-практич. конф., посвящ. памяти проф. С.А. Лапшина. – Саранск : Изд-во Мордов ун-та, 2014. – С. 51–56.

62. 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 ред. А.В. Ивойлова. – Казань : Изд-во Казан. ун-та, 2016. – 200 с.

63. Давлятшин, И.Д. Экстразональность почв в лесостепи (на примере Республики Татарстан) / И.Д. Давлятшин, А.А. Лукманов // Почвенные ресурсы Сибири : вызовы XXI века : материалы Всерос. науч. конф. с междунар. участием, посвященной 100-летию выдающего организатора науки и первого директора ИПА СО РАН Р.В. Ковалева. (4-8 декабря 2017 г., Новосибирск), отв. ред. А.И. Сысо. В 2-х ч. Ч. 1. – Томск : ИД Томского гос. ун-та, 2017. – С. 56–61.

64. Давлятшин, И.Д. Источники фосфора и оценка их вклада в подвижный фонд этого элемента в пахотных почвах лесостепной зоны / И.Д. Давлятшин,

А.А. Лукманов, М.И. Маметов // Достижения науки и техники АПК. – 2018. – Т. 32, № 4. – С. 21–24.

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

66. 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.

67. Демидов, В.В. Миграция химических веществ с поверхностным стоком талых вод / В.В. Демидов, Е.В. Окулик // Агрохимия. – 2007. – № 1. – С. 62–67.

68. Державин, Л.М. Применение удобрений в интенсивном земледелии / Л.М. Державин. – М. : Колос, 1992. – 272 с.

69. Державин, Л.М. Интегрированное применение агрохимических средств в зерновом хозяйстве / Л.М. Державин // Агрохимия. – 2007. – № 12. – С. 3–17.

70. Державин, Л.М. Научно методическое обеспечение комплексного мониторинга плодородия почв земель сельскохозяйственного назначения / Л.М. Державин // Плодородие. – 2012. – № 6. – С. 6–9.

71. Дмитриев, Е.А. Математическая статистика в почвоведении / Е.А. Дмитриев. – М. : Изд-во Москов. ун-та, 1995. – 320 с.

72. Добровольский, Г.В. Почвы. Энциклопедия природы России / Г.В. Добровольский, Б.В. Шеремет, Т.В. Афанасьева, Л.А. Палечек – М. : АБФ. 1998. – 368 с.

73. Добровольский, В.В. Основы биогеохимии / В.В. Добровольский. – М. : Изд. центр «Академия», 2006. – 398 с.

74. Докучаев, В.В. Русский чернозем: Отчет Императорскому Вольному экономическому обществу : с почвенной картой и 12-ю рис. в тексте / В.В. Докучаев. – СПб. : Тип. Деклерона и Евдокимова, 1883. – 376 с.

75. Докучаев, В.В. Учение о зонах природы / В.В. Докучаев: вступ. статья Ю.Г. Саушкина. – М. : Географгиз, 1948. – 64 с.

76. Донских, И.Н. Влияние длительного применения разных систем удобрения на групповой состав фосфатов выщелоченного чернозема (в условиях Центрального черноземного района) / И.Н. Донских, Н.Г. Мазен // *Агрохимия*. – 2008. – № 5. – С. 5–14.

77. Доспехов, Б.А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований) / Б.А. Доспехов. – М. : Агропромиздат, 1985. – 351 с.

78. Дубовик, Д.В. Накопление макро- и микроэлементов корневой системой растений озимой пшеницы на серой лесной почве в склоновом агроландшафте / Д.В. Дубовик, Е.В. Дубовик // *Агрохимия*. – 2015. – № 10. – С. 50–56.

79. Дьяченко, Е.Н. Влияние удобрений и основной обработки на азотный режим серых лесных почв и урожайность полевых культур / Е.Н. Дьяченко, В.Т. Мальцев // *Агрохимия*. – 2008. – № 4. – С. 5–14.

80. Дэли, Р. Изверженные породы и глубины Земли / Реджинальд Дэли; под общ. ред. И.П. Герасимова. – Л. ; М. : ОНТИ НКТП, 1936. – 593 с.

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

82. Ермолаев, О.П. Ландшафты Республики Татарстан. Региональный ландшафтно-экологический анализ / О.П. Ермолаев, М.Е. Игонин, А.Ю. Бубнов, С.В. Павлова. – Казань : Слово, 2007. – 411 с.

83. Жученко А.А. Адаптивная стратегия устойчивого развития сельского хозяйства России в XXI столетии (теория и практика). Т. II. Москва: Агрорус, 2009-2011. 624 с.

84. Завалин, А.А. Биопрепараты, удобрения и урожай / А.А. Завалин. – М. : ВНИИА, 2005. – 302 с.

85. Завьялова, Н.Е. Влияние извести на показатели плодородия дерново-подзолистой почвы / Н.Е. Завьялова, А.И. Косолапова, Е.М. Митрофанова // *Плодородие*. – 2005. – № 1. – С. 26–28.

86. Зайцева, Г.А. Влияние влажности почвы и содержания подвижных форм

фосфора в черноземе выщелоченном на урожайность сельскохозяйственных культур / Г.А. Зайцева // Плодородие. – 2011. – №5. – С. 33–34.

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

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

89. Зиганшин, А.А. Методическое указание по изучению научных основ интенсивных технологий и путей их совершенствования (для слушателей ВПК) / А.А. Зиганшин, В.Н. Фомин, В.П. Владимиров. – Казань : Изд-во КГАУ. – 1990. – 58 с.

90. Иванов, А.И. Изменение калийного состояния хорошо окультуренной дерново-подзолистой почвы при применении калий-дефицитной системы удобрения / А.И. Иванов, В.А. Воробьева, Е.Г. Лямцева // Агрохимия. – 2009. – № 4. – С. 21–26.

91. Иванов, А.Л. Инновационные приоритеты в развитии систем земледелия в России / А.Л. Иванов // Плодородие. – 2011. – № 4. – С. 2–6.

92. Иванов, А.Л. Агробιοгеохимический цикл фосфора / А.Л. Иванов, В.Г. Сычев, Д.В. Карпова [и др.]. – М. : Россельхозакадемия, 2012. – 512 с.

93. 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.

94. 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.

95. Ивойлов, А.В. Влияние известкования и минеральных удобрений на продуктивность зернопропашного севооборота и плодородие выщелоченного чернозема : автореф. дис. ... канд. с.-х. наук / А.В. Ивойлов. – М., 1988. – 20 с.

96. Ивойлов, А.В. Влияние погодных условий на продуктивность яровой пшеницы и ячменя, эффективность отдельных видов и сочетаний удобрений в зоне неустойчивого увлажнения / А.В. Ивойлов // Агрохимия. – 1995. – № 11. – С.

58–65.

97. Ивойлов, А.В. Влияние известкования и минеральных удобрений при длительном применении в севообороте на урожай полевых культур и его качество, агрохимические свойства чернозема выщелоченного тяжелосуглинистого / А.В. Ивойлов // Агрохимия. – 1991. – № 10. – С. 85–93.

98. Ивойлов, А.В. Отзывчивость сортов ярового ячменя на минеральные удобрения / А.В. Ивойлов, О.Н. Самойлова, В.И. Копылов // Агрохимия. – 2006. – № 9. – С. 33–41.

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

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

101. Кавешников, Н.Т. Управление природопользованием / Н.Т. Кавешников, В.Б. Карев, А.Н. Кавешников. – М. : КолосС, 2006. – 360 с.

102. Калий в почвах Волжско-Камской лесостепи / Б.Г. Галимов, К.Ш. Шакиров, И.Г. Абызов [и др.] ; науч. ред. А.В. Колоскова. – Казань : Изд-во Казан. ун-та, 1985. – 112 с.

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

104. Карпова, Д.В. Оценка резервов элементов питания растений почв Владимирского Ополя / Д.В. Карпова, Н.П. Чижикова // Агрохим. вестник. – 2008. – № 4. – С. 10–11.

105. Карпинец, Т.В. Устойчивое стационарное состояние калийного режима в повах / Т.В. Карпинец, Г.С. Липкина // Почвоведение. – 1992. – № 3. – С. 61–68.

106. Карпинец, Т.В. Моделирование режима калия в системе почва – растение : автореф. дис. ... д-ра с.-х. наук / Т.В. Карпинец. – Курск, 2000. – 37 с.

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

108. Кендел, М. Временные ряды / М. Кендел. – М. : Финансы и статистика, 1981. – С. 8–11.



109. Кириллова, В.Г. Влияние различных систем удобрения культур в севообороте на калийный режим дерново-подзолистой почвы / Г.Б. Кириллова // Агрохимия. – 2005. – № 9. – С. 13–19.

110. Кирюшин, В.И. Экологические основы земледелия / В.И. Кирюшин. – М. : Колос, 1996. – 376 с.

111. Кирюшин, В.И. Минеральные удобрения как ключевой фактор развития сельского хозяйства и оптимизации природопользования / В.И. Кирюшин // Достижения науки и техники АПК. – 2016. – Т. 30, № 3. – С. 19–25.

112. Корбридж, Д. Основы химии, биохимии и технологии / Д. Корбридж ; пер. с англ. О.В. Рудницкой. – М. : Мир, 1982. – 680 с.

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

114. Когут, Б.М. Оценка содержания гумуса в пахотных почвах России / Б.М. Когут // Почвоведение. – 2012. – № 9. – С. 944–952.

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

116. Колоскова, А.В. Агрофизическая характеристика почв Татарии / А.В. Колоскова. – Казань : Изд-во Казан. ун-та, 1968. – 386 с.

117. Кононова, М.М. Органическое вещество, его природа, свойства, методы изучения / М.М. Кононова. – М. : Наука, 1963. – 314 с.

118. Коршунов, М.А. Изменения плодородия серых лесных почв Татарии под воздействием сельскохозяйственных культур и удобрений / М.А. Коршунов. – Казань : Изд-во Казан. ун-та, 1972. – 108 с.

119. Крупеников, И.А. Исследование корреляционных зависимостей между свойствами и почв и их производительностью / И.А. Крупеников И.А., Р.И. Лунева, А.Н. Рябина // Химия, генезис и география почв. – М. : Наука, 1968. – С. 61–62.

120. Красницкий, В.М. Динамика плодородия пахотных почв Омской области и эффективность использования средств его повышения в современных условиях / В.М. Красницкий, А.Г. Шмидт // Достижения науки и техники АПК. – 2016. – Т.

30, № 7. – С. 34–37.

121. Криштопоните, И. Влияние длительного применения разных систем удобрений на плодородие тяжелосуглинистой почвы и продуктивность севооборота / И. Криштопоните, С. Майкштенене // Агрохимия. – 2005. – № 11. – С. 34–42.

122. Кудеяров, В.Н. Баланс азота, фосфора и калия в земледелии России / В.Н. Кудеяров // Агрохимия. – 2018. – № 10. – С. 3–11.

123. Кузьминых, И.П. Моделирование урожайности зерна яровой пшеницы в условиях умеренно-засушливой колочной степи Алтайского края / И.П. Кузьминых, Г.Г. Морковкин, С.В. Жандарова // Вестник Алтайского ГАУ. – 2020. – № 7. – С. 5–10.

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

125. Кулаковская, Т.Н. Почвенно-агрохимические основы получения высоких урожаев / Т.Н. Кулаковская. – Минск : Ураджай, 1978. – 272 с.

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

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

128. Куркаев, В.Т. Агрохимия / Куркаев В.Т. – Майкоп : ГУРИПП «Адыгея», 2000. – 552 с.

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

130. Кцоев, Б.К. Плодородие почв и эффективность удобрений в Предкавказье / Б.К. Кцоев. – М. : Изд-во Москов. ун-та, 1997. – 166 с.

131. Либих, Ю. Химия в приложении к земледелию и физиологии / Ю. Либих. – М.–Л. : Селхозгиз, 1936. – 407 с.

132. Липкина, Г.С. Содержание подвижных соединений калия в интенсивно удобряемых дерново-подзолистых почвах / Г.С. Липкина // Почвоведение. – 1986. – № 12. – С. 69–75.

133. Ломако, Е.И. Воспроизводство плодородия почв Республики Татарстан / Е.И. Ломако. – Казань : Изд-во Казан. ун-та, 2007. – 318 с.
134. Ломако, Е.И. Влияние известкования и минеральных удобрений на агрохимические свойства выщелоченного чернозема и урожай полевых культур / Е.И. Ломако, Ф.Г. Бурганов, Н.В. Ермолаева. // Плодородие почв, удобрения, урожай : Тр. ТатНИИ агрохимии и почвоведения. – Казань : ДАС, 2001. – С. 53–67.
135. Лукин, С.М. Калийное состояние дерново-подзолистой супесчаной почвы и баланс калия при длительном применении удобрений / С.М. Лукин // Агрохимия. – 2012. – № 12. – С. 5–14.
136. Лукин, С.В. Динамика основных показателей плодородия и продуктивности пахотных почв Белгородской области // Земледелие. – 2016. – № 3. – С. 20–22.
137. Лукин, С.В. Использование результатов почвенного мониторинга для управления продуктивностью агроценозов / С.В. Лукин // Изв. Оренбург. ГАУ. – 2017. № 3(65). – С. 179–183.
138. Лукманов, А.А. Эколого-агрохимическая оценка плодородия почв и эффективности применения удобрений в Предволжье Республики Татарстан : автореф. дис. канд. биол. наук / А.А. Лукманов – М., 2011. – 26 с.
139. Лукманов, А.А. Актуальные проблемы известкования кислых почв Республики Татарстан и пути их решения / А.А. Лукманов, С.Ш. Нуриев, М.И. Маметов // Агрохим. вестник. – 2010. – № 6. – С. 19–21.
140. Лукманов, А.А. Актуальные проблемы известкования кислых почв Республики Татарстан и пути их решения / А.А. Лукманов, С.Ш. Нуриев, Р.М. Миннулин. – Казань : Издательский центр «Арт-кафе». – 2008. – 130 с.
141. Лукманов, А.А. Оценка агрохимического состояния пахотных почв в лесостепной зоне Республики Татарстан / А.А. Лукманов, М.И. Маметов, И.Д. Давлятшин // Ресурсосберегающие экологически безопасные технологии производства и переработки сельскохозяйственной продукции : материалы XI Междунар. научн.-практ. конф., посвященной памяти проф. С.А. Лапшина. – Саранск : Изд-во Мордов. ун-та, 2016. – С. 219–223.

142. Лукманов, А.А. Состояние плодородия пахотных почв Республики Татарстан и урожайность сельскохозяйственных культур / А.А. Лукманов, С.Ш. Нуриев, И.Д. Давлятшин // Плодородие. – 2010. – № 1. – С. 6–8.

143. Лукманов, А.А. Особенности связи между агрохимическими свойствами почвы и урожайностью зерновых культур в лесостепной зоне Предволжья Республики Татарстан / А.А. Лукманов // Плодородие. – 2012. – № 2. – С. 14–16.

144. Лукманов, А.А. Известкование кислых почв в Республике Татарстан местными известковыми удобрениями / А.А. Лукманов, Р.М. Миннуллин // Агрохим. вестник. – 2017. – № 5. – С. 37–41.

145. Лукманов, А.А. Оценка вклада факторов в почвенный фонд фосфора в лесостепных черноземах Республики Татарстан / А.А. Лукманов // Агрохим. вестник. – 2019. – № 5. – С. 3–7.

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

147. Лыков, А.М. Страж плодородия (о значении органического вещества почвы в интенсивном земледелии) / А.М. Лыков. – М. : Моск. рабочий, 1976. – 112 с.

148. Лыскова, И.В. Влияние минеральных удобрений на плодородие дерново-подзолистой почвы, урожайность и качество зерновых культур // Аграрная наука Евро-Северо-Востока. – 2017. – № 6 (61). – С. 35–40.

149. Лямцева, Е.Г. Трансформация калия почвы на фоне калийдефицитных систем удобрения / Е.Г. Лямцева, А.И. Иванов // Агрохим. вестник. – 2008. – № 4. – С. 14–16.

150. Маслова, А.Л. Калий как элемент почвенного плодородия / А.Л. Маслова // Калийные удобрения. – Л. : [б.и.], 1938. – С. 161–174.

151. Масютенко, Н.П. Трансформация органического вещества в черноземных почвах ЦЧР и системы его воспроизводства / Н.П. Масютенко. – М. : Россельхозакадемия, 2012. – 150 с.

152. Медведев, О.П. Необменно-фиксированный калий удобрений как показатель обеспеченности растений доступным калием / О.П. Медведев // Агрохимия.

– 1983. – № 11. – С. 25–31.

153. Мерзлая, Г.Е. Органической вещество почвы и длительное применение удобрений // Плодородие почв России : состояние и возможности (к 100-летию со дня рождения Тамары Никандровны Кулаковской) / под ред. В.Г. Сычева. – М. : ВНИИА, 2019. – С. 72–78.

154. Мерзликин, А.С. Эффективность минеральных удобрений на сортах зерновых культур интенсивного типа селекции / А.С. Мерзликин, Л.П. Абрамкина // Агрохим. вестник. – 2011. – № 5. – С. 12–14.

155. Минеев, В.Г. Агрохимия и экологические функции калия / В.Г. Минеев. – М. : Изд-во МГУ, 1999. – 332 с.

156. Минеев В.Г. Агрохимия / В.Г. Минеев. – М. : Изд-во Москов. ун-та; КолосС, 2004. – 720 с.

157. Минеев, В.Г. Актуальные задачи агрохимии в условиях современного земледелия / В.Г. Минеев // Проблемы агрохимии и экологии. – 2011. – № 1. – С. 3–9.

158. Муртазина С.Г., Билалова А.С., Муртазин М.Г. Влияние систематического применения минеральных удобрений на продуктивность севооборота и агрохимические показатели серой лесной почвы // Агрохимический вестник. – 2010. – № 4. – С. 18–20.

159. Небытов, В.Г. Влияние суперфосфата и фосфоритной муки при ежегодном и запасном внесении на агрохимические свойства почвы и урожайность культур севооборота / В.Г. Небытов // Агрохимия. – 2012. – № 3. – С. 25–30.

160. Нефедьева, В.В. Фосфатный режим светло-серой легкосуглинистой почвы в условиях длительного применения удобрений / В.В. Нефедьева, Л.Д. Варламова // Проблемы агрохимии и экологии. – 2015. – № 2. – С. 29–33.

161. Новикова, А.Г. Фосфоритные почвы Предуральяского плато и формы фосфорных соединений в них // Генезис, классификация и качественная характеристика почв Казахстана. – Алма-Ата : Наука, 1972. – С. 31–40.

162. Никитина, Л.В., Динамика обменного калия и его минимальные уровни в агроценозах на дерново-подзолистых почвах / Л.В. Никитина, И.В. Володарская

// *Агрохимия*. – 2007. – № 2. – С. 14–18.

163. Никитина, Л.В. Обменный калий и его подвижность в дерново-подзолистых почвах разного гранулометрического состава / Л.В. Никитина, В.А. Романенков, М.П. Листова // *Плодородие*. – 2014. – № 5 (80). – С. 18–21.

164. Никитин, В.В. Изменение фосфатного режима в черноземе юго-западной части лесостепи / В.В. Никитин, С.И. Тютюнов, В.Д. Соловченко // *Агрохим. вестник*. – 2017. – № 4. – С. 47–49.

165. Никитишен, В.И. Поведение калия в системе почва-растение при различных условиях водного режима / В.И. Никитишен, В.И. Личко // *Агрохимия*. – 2007. – №1. – С. 17–24.

166. Никитишен, В.И. Взаимосвязи в питании озимой пшеницы при длительном применении удобрений в севообороте на серой лесной почве Ополья / В.И. Никитишен, В.И. Личко // *Агрохимия*. – 2007. – № 1. – С. 41–49.

167. Нуриев, С.Ш. Состояние плодородия почв Республики Татарстан и проблемы повышения их плодородия / С.Ш. Нуриев, А.А. Лукманов, К.М. Хуснутдинов, И.Н. Салимзянова. – Казань : ООО «ИПЦ «Экспресс-формат», 2009. – 160 с.

168. Нуриева, А.У., Нижегородцева Л.С., Сафин Р.И. Пластичность различных сортов яровой пшеницы в зависимости от фона питания // *Вестник Казанского государственного аграрного университета*. – 2010. – Т. 5. № 3 (17). – С. 127–129.

169. Окорков, В.В. Удобрения и модели их влияния на продуктивность и плодородие серых лесных почв Верхневолжья / В.В. Окорков, О.А. Фенова, Л.А. Окоркова // *Владимирский земледелец*. – 2019. – № 2. – С. 4–11.

170. Орлов, Д.С. Гумусовые кислоты почв и общая теория гумификации / Д.С. Орлов. – М. : Изд-во Москов. ун-та, 1990. – 325 с.

171. Переведенцев, Ю.П. Климатические условия и ресурсы Республики Татарстан / Ю.П. Переведенцев, Б.Г. Шерстюков, Э.П. Наумов, М.А. Верещагин, К.М. Шанталинский. – Казань : Изд-во Казан. ун-та, 2008. – 288 с.

172. Перельман, А.И. Очерки геохимии ландшафта / А.И. Перельман. – М. :

Географгиз, 1955. – 164 с.

173. Петербургский, А.В. О влиянии кислотности почв на растения / А.В. Петербургский // Почвоведение. – 1955. – № 5. – С. 19–29.

174. Петербургский, А.В. Круговорот и баланс питательных веществ в земледелии / А.В. Петербургский. – М. : Наука. 1979. – 168 с.

175. Петербургский, А.В. Фосфор в почве и фосфатное питание растений / А.В. Петербургский. – Пущино : ОНТИ НЦБИ, 1980. – 31 с.

176. Петрофанов, В.Л. Роль гранулометрических фракций почв и десорбции калия / В.Л. Петрофанов // Почвоведение. – 2012. – № 6. – С. 668–681.

177. Пигарева, Н.Н. Калийный фонд Бурятии / Н.Н. Пигарева, Н.А. Пьянкова // Плодородие. – 2009. – № 3. – С. 8–9.

178. Платонов, И.Г. Нормативы затрат минеральных удобрений для повышения плодородия в дерново-подзолистой почве / И.Г. Платонов, А.Ф. Сафонов, В.Д. Полин, В.А. Розанов // Агрехим. вестник. – 2010. – № 5. – С. 9–11.

179. Плотников, А.М. Зависимость урожайности зерновых культур от содержания в почве доступных форм фосфора и калия / А.М. Плотников // Вестн. Курганской ГСХА. – 2019. – № 1. – С. 17–20.

180. Поддубный, А.С. Динамика агрохимического состояния пахотных почв в лесостепи Белгородской области / А.С. Поддубный // Достижения науки и техники АПК. – 2018. – № 6. – С. 15–17.

181. Пономарева, В.В. Гумус и почвообразование / В.В. Пономарева, Т.А. Плотникова. – Л. : Наука, 1980. – 222 с.

182. Почвоведение / коллектив авторов: под ред. И.С. Кауричева, И.П. Гречина. – М. : Колос, 1969. – 543 с.

183. 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. – 400 с.

184. 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.

185. Почвы северо-западной части Татарской Республики. По исследованиям экспедиции 1929 г. в составе почвоведов Б.В. Горбунова, Г.М. Колоскова и Е.Е. Ясницкого, под руков. проф. И.В. Тюрина / Всес. акад. с.-х. наук им. В.И. Ленина, Татарский науч.-исслед. ин-т соц. реконструкции сельского хозяйства и Наркомзем ТР. – Казань : [б. и.], 1933. – 106 с.

186. Природно-сельскохозяйственное районирование земельного фонда СССР (текст и карта) / под. руководст. ред. Д.И. Шашко, Е.И. Гайдамака, А.Н. Каштанов [и др.]. – М. : ГУГК, 1984. – 4 с.

187. Прокошев, В.В. Калий и калийные удобрения / В.В. Прокошев, И.П. Дерюгин. – М. : Ледум, 2000. – 185 с.

188. Прошкин, В.А. Эффективность применения фосфорных удобрений под пшеницу в зависимости от агрохимических удобрений / В.А. Прошкин, Е.С. Козенчева // Агрохимия. – 2015. – № 3. – С. 34–42.

189. Прянишников, Д.Н. Избранные сочинения / Д.Н. Прянишников; сост. А.В. Петербургский. Т. 1 : Агрохимия. – М. : Колос, 1965. – 767 с.

190. Пчелкин, В.У. Почвенный калий и калийные удобрения / В.У. Пчелкин. – М. : Колос, 1966. – 336 с.

191. Раков, А.Ю. Обменный калий как лимитирующий фактор урожайности / А.Ю. Раков, М.А. Сирота // Земледелие. – 2013. – № 7. – С. 31–32.

192. Роде, А.А. Основы учения о почвенной влаге / А.А. Роде. – М. : Гидрометеоиздат. – 1969. – Т. 2. – 650 с.

193. Розанов, В.Г. Морфология почв / В.Г. Розанов. – М. : Академический проспект, 2004. – 432 с.

194. Рокицкий, П.Ф. Биологическая статистика / П.Ф. Рокицкий. – Минск : Вышэйш. шк., 1972. – 320 с.

195. Романенков, В.А. Расчет урожайности зерновых культур и эффективности минеральных удобрений с учетом одновременного изменения климатических условий и плодородия почвы / В.А. Романенков, О.Д. Сиротенко, М.В. Беличен-



ко, В.Н. Павлова // Изв. Самарского науч. центра РАН. – 2009. – Т. 11, № 1 (7). – С. 1569–1574.

196. Романенков, В.А. Оценка климатических рисков при возделывании зерновых культур на основе региональных данных и результатов длительных опытов Геосети / В.А. Романенков, В.Н. Павлова, М.В. Беличенко // Агрохимия. – 2018. – № 1. – С. 77–86.

197. Российский статистический ежегодник. – М : Госкомстат России, 2017. – 686 с.

198. Сабиров, А.Т. Агрохимические свойства и урожайность зерновых культур в Республике Татарстан / А.Т. Сабиров, И.Д. Давлятшин // Вестн. Казан. ГАУ. – 2007. – № 2 (6). – С. 54–57.

199. Савич, В.И. Применение вариационной статистики в почвоведении / В.И. Савич. – М. : Изд-во ТСХА, 1972. – 103 с.

200. Савич, В.И. Взаимосвязи между свойствами почвы и плодородием / В.И. Савич, Д.С. Булгаков, Ю.А. Духанин, А.А. Оглоблина // Агрохимия. – 2007. – № 2. – С. 5–13.

201. Свирина, В.А. Азотный режим и биологическая активность почвы под влиянием известкования и удобрений / В.А. Свирина, О.А. Артюхова // Плодородие. – 2019. – № 5. – С. 3–6.

202. Сдобникова, О.В. Фосфорные удобрения / О.В. Сдобникова. – М. : Агропромиздат, 1985. – 111 с.

203. Семенов, В.А. Качественная оценка сельскохозяйственных земель / В.А. Семенов. – Л. : Колос, 1970. – 160 с.

204. Семенов, В.А. Оценка земель и прогноз урожая / В.А. Семенов. – Л. : Лениздат, 1977. – 137 с.

205. Семенов, В.А. Взаимосвязь между содержанием гумуса и другими свойствами почвы – факторами урожая / В.А. Семенов // Почвоведение. – 1992. – № 11. – С. 68–80.

206. Семенов, В.М. Почвенное органическое вещество / В.М. Семенов, Б.М. Когут. – М. : ГЕОС, 2015. – 233 с.

207. Сержанов, И.М. Эффективность биологических удобрений на урожайность и качество зерна яровой пшеницы в условиях северной части лесостепи / И.М. Сержанов, Ф.Ш. Шайхутдинов, С.Ш. Нуриев [и др.] // Достижения науки и техники АПК. – 2013. – №11. – С. 56–65.
208. Сискевич, Ю.И. Мониторинг содержания калия в почвах Липецкой области / Ю.И. Сискевич, Г.Н. Никонова // Агрехим. вестник. – 2006. – № 6. – С. 2–4.
209. Система ведения отраслей Агропромышленного комплекса Республики Татарстан / под ред. Л.П. Зариповой. – Казань : Таткнигоиздат, 1992. – 525 с.
210. Смяян, Н.И. Пригодность почв БССР под основные культуры / Н.И. Смяян. – Минск : Ураджай, 1980. – 175 с.
211. Спиркин, А.Г. Основы философии. Учеб. пособие для вузов / А.Г. Спиркин. – М. : Политиздат, 1988. – 592 с.
212. Соболев, С.С. Бонитировка почв / С.С. Соболев. – М. : Почв. ин-т им. В.В. Докучаева, 1965. – 412 с.
213. Справочник агрохимика / И.Д. Давлятшин, М.Ю. Гилязов, А.А. Лукманов [и др.]. – Казань : Изд. дом «МеДДоК», 2013. – 300 с.
214. Справочник агрохимика Республики Татарстан / П.А. Чекмарев, А.А. Лукманов, И.Д. Давлятшин [и др.]; под ред. акад. РАСХН П.А. Чекмарева. – Казань : [б. и.], 2015. – 324 с.
215. Сутягин, В.П. Космические и почвенные факторы формирования агрофитоценоза / В.П. Сутягин // Плодородие. – 2004. – № 4. – С. 32–35.
216. Сушеница, Б.А. Фосфор в системе мирового и отечественного производства / Б.А. Сушеница, В.Н. Капранов // Плодородие. – 2006. – № 5. – С. 29–31.
217. Сычев, В.Г. Возможности совершенствования градаций содержания «доступного» калия / В.Г. Сычев // Агрехим. вестник. – 2000. – № 5. – С. 30–34.
218. Сычев, В.Г. Основные ресурсы урожайности сельскохозяйственных культур и их взаимосвязь / В.Г. Сычев. – М. : ЦИНАО, 2003. – 228 с.
219. Сычев, В.Г. Прогноз потребности и платежеспособности спроса сельского хозяйства Российской Федерации до 2020 года / В.Г. Сычев, Е.И. Ефремов, А.А.

Завалин [и др.]. – М. : ВНИИА, 2011. – 52 с.

220. Сычев, В.Г. Прогноз потребности сельского хозяйства России в минеральных удобрениях к 2030 г. / В.Г. Сычев, Шафран С.А. Т.М. Духанина // Плодородие. – 2016. – № 2. – С. 5–7.

221. Сычев, В.Г. Почвенно-агрохимические ресурсы повышения продуктивности земледелия в Приволжском регионе / В.Г. Сычев., Р.А. Афанасьев // Плодородие. – 2017. – № 4. – С. 2–6.

222. Сычев, В.Г. Трансформация калия в почвах агроценозов без применения удобрений / В.Г. Сычев, Л.В. Никитина // Плодородие. – 2017. – № 6. – С. 5–7.

223. Сычев, В.Г. Современное состояние плодородия почв и основные аспекты его регулирования / В.Г. Сычев. – М. : РАН, 2019. – 325 с.

224. Тайчинов, С.Н. Система качественной оценки почв / С.Н. Тайчинов // Почвоведение. – 1971. – № 1. – С. 24–34.

225. Таланов И.П. Яровая пшеница в лесостепи Поволжья / И.П. Таланов. – Казань: «Интер-Графика». – 2005. – 229 с.

226. Трубников, Ю.Н. Эффективность минеральных удобрений на дерново-подзолистых почвах Приенисейской Сибири / Ю.И. Трубников // Плодородие. – 2012. – № 2. – С. 16–18.

227. Тюменцев, Н.Ф. Как оценивать качество почвы / Н.Ф. Тюменцев. – Новосибирск : Зап.-Сиб. кн. изд-во, 1966. – 120 с.

228. Тюменцев, Н.Ф. Сущность бонитировки почв на генетико-производственной основе / Н.Ф. Тюменцев. – Новосибирск : Наука. – 1975. – 120 с.

229. Тюрин, И.В. Почвы лесостепи / И.В. Тюрин // Почвы СССР. – М.–Л. : Изд-во АН СССР, 1939. – Т. 1. – С. 187–223.

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

231. Тюрникова, Е.Г. Влияние калийных удобрений на урожайность сельскохозяйственных культур и калийное состояние почв Нижегородской области / Е.Г. Тюрникова, В.И. Титова, Е.П. Ренжина, О.Д. Шафронов // Агрохим. вестник. –

2011. – № 2. – С. 10–12.

232. Умаров, М.М. Ассоциативная азотфиксация / М.М. Умаров. – М. : Изд-во Москов. ун-та, 1986. – 137 с.

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

234. Утэй, И.В. О дифференцированных методах создания мощного пахотного слоя на северных нечерноземных почвах / И.В. Утэй // Тр. Казан. СХИ. – Казань : Изд-во Казан. СХИ, 1956. – С. 35-41.

235. Фирсов, С.А. Влияние параметров плодородия дерново-подзолистых почв на формирование продуктивности сельскохозяйственных культур / С.А. Фирсов, С.С. Фирсов // Плодородие. – 2015. – № 5 (86). – С. 44–46.

236. Фирсов, С.А. Оценка плодородия Тверской области в зависимости от известкования / С.А. Фирсов // Агрехим. вестник. – 2010. – № 6. – С. 25–27.

237. Хазиев, Ф.Х. Почвы Башкортостана. В 2 т. – Т. 1: Эколого-генетическая и агропроизводственная характеристика / Ф.Х. Хазиев, А.Х. Мукатанов, И.К. Хабиров, Г.А. Кольцова, И.М. Габбасова, Р.Я. Рамазанов. – Уфа : Гилем, 1995. – 384 с.

238. Хазиев, Ф.Х. Почвы Башкортостана. В 2 т. – Т. 2: Воспроизводство плодородия: зонально-экологические аспекты / Ф.Х. Хазиев, Г.А. Кольцова, Р.Я. Рамазанов, А.Х. Мукатанов, И.М. Габбасова, М.М. Хамидуллин, И.К. Хабиров. – Уфа : Гилем, 1997. – 326 с.

239. Халезов, Н.А. Биологические и агротехнические основы повышения урожайности и кормовой ценности силосных культур в предуралье и на среднем Урале : автореферат дис. доктора сельскохозяйственных наук / Н.а. Халезов — Пермь : Пермский государственный сельскохозяйственный институт имени академика д. Н. Прянишникова, 1972. — 54 с. — url: <https://rucont.ru/efd/29477>

240. Чекмарев, П.А. Состояние плодородия почв и мероприятия по его повышению/ П.А. Чекмарев // Агрехим. вестник. – 2012. – № 1. – С. 2–4.

241. Чекмарев, П.А. Состояние плодородия пахотных почв Центрально-Черноземных областей России / П.А. Чекмарев // Достижения науки и техники

АПК. – 2015. – Т. 29, № 9. – С. 17–20.

242. Чекмарев, П.А. Воспроизводство плодородия – залог стабильного развития агропромышленного комплекса России / П.А. Чекмарев // Плодородие. 2018. – № 1. – С. 4–7.

243. Чекмарев, П.А. Плодородие и продуктивность почв Республики Татарстан / П.А. Чекмарев, А.А. Лукманов, С.Ш. Нуриев. – Казань : Изд-во Экспресс-формат, 2011. – 245 с.

244. Черноземы СССР (Предволжье и Предуралье) / ред. В.М. Фридланд, В.А. Носин, И.И. Лебедева. – М. : Колос, 1978. – 304 с.

245. Четверикова, Н.С. Динамика плодородия пахотных почв черноземов лесостепной зоны ЦЧО / Н.С. Четверикова // Достижения науки и техники АПК. – 2014. – № 2. – С. 18–21.

246. Чижикова, Н.П. Природные запасы элементов питания в агрочерноземах Ставропольского края при агрогенном воздействии / Н.П. Чижикова, С.Н. Шкабарда // Плодородие. – 2011. – № 4. – С. 48–50.

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

248. Чумаченко, И.Н. Фосфор и воспроизводство плодородия почв / И.Н. Чумаченко, Б.А. Сушеница // Агрехим. вестник. – 2001. – № 1. – С. 28–31.

249. Числа Вольфа (Электронный ресурс). <https://ru.wikipedia/>

250. Чухина, О.В. Продуктивность культур и изменение агрохимических показателей дерново-подзолистой почвы в севообороте при применении различных доз удобрений / О.В. Чухина, Ю.П. Жуков // Агрехимия. – 2015. – № 5. – С. 19–27.

251. Чуян, О.Г. Модель управления агрохимическими свойствами почв для условий Центрального Черноземья / О.Г. Чуян, Г.М. Дериглазова, Л.Н. Караулова, О.А. Митрохина // Вестн. Курск. ГСХА. – 2018. – № 8. – С. 88–96.

252. Шабаев, В.П. Количественная оценка микробиологической азотофиксации роли атмосферного азота в питании небобовых растений / В.П. Шабаев, У.У. Умаров, В.Ю. Смолин. – Пушкино : НЦБИ АН СССР, 1985. – 34 с.

253. Шатилов, И.С. Принципы программирования урожайности / И.С. Шатилов // Вестн. с.-х. науки. – 1973. – № 3. – С. 8–14.
254. Шатилов, И.С. Экологические, биологические и агротехнические условия получения запланированных урожаев / И.С. Шатилов // Изв. ТСХА. – 1970. – № 1. – С. 60–66.
255. Шатилов, И.С. Агрофизические, агрометеорологические и агротехнические основы программирования урожаев / И.С. Шатилов, А.Ф. Чудновский. – Л. : Гидрометеиздат, 1980. – 320 с.
256. Шафран, С.А. Баланс питательных веществ и прогнозирование плодородия почв / С.А. Шафран, Ю.С. Авдеев // Агрехим. вестник. – 2000. – № 1. – С. 26–28.
257. Шафран, С.А. Эффективность азотного удобрения зерновых культур различных сортов / С.А. Шафран, А.С. Хачидзе, М.Г. Мамедов, А.И. Васильев // Агрехимия. – 2006. – № 7. – С. 13–19.
258. Шафран, С.А. Эффективность азотной подкормки различных сортов озимой пшеницы на черноземе выщелоченном. / С.А. Шафран, А.И. Васильев, С.С. Андреев // Агрехимия. – 2008. – № 2. – С. 18–25.
259. Шафран, А.С. Влияние агрохимических свойств почв Центрального района на урожайность зерновых культур / С.А. Шафран, В.А. Прошкин // Агрехимия. – 2008. – № 7. – С. 5–12.
260. Шафран, С.А. Влияние типа почв и содержания в них подвижных фосфатов на эффективность фосфорных удобрений / С.А. Шафран // Агрехимия. – 2015. – № 3. – С. 26–33.
261. Шафран, С.А. Значение комплексного агрохимического окультуривания почв в повышении эффективности применения азотных удобрений / С.А. Шафран, Т.М. Духанина // Агрехимия. – 2017. – № 11. – С. 21–30.
262. Шахова, О.А. Особенности минерального питания яровой пшеницы в условиях внедрения ресурсосберегающих технологий в лесостепной зоне Северного Зауралья / О.А. Шахова, Д.И. Еремин // Вестн. Красноярского ГАУ. – 2007. – № 1. – С. 149–152.

263. Шевцова, Л.К. Гумусное состояние почв при длительном применении различных систем удобрения / Л.К. Шевцова, М.В. Беличенко // Плодородие почв России : состояние и возможности (к 100-летию со дня рождения Тамары Никандровны Кулаковской) ; под ред. В.Г. Сычева. – М. : ВНИИА, 2019. – С. 79–86.
264. Шильников, И.А. Известкование почв / И.А. Шильников, Л.А. Лебедева. – М. : Агропромиздат, 1987. – 171 с.
265. Шильников, И.А. Известкование выщелоченных и оподзоленных черноземов / И.А. Шильников, Н.П. Богомазов, А.В. Ивойлов // Плодородие черноземов России ; под ред. Н.З. Милащенко. – М. : Агроконсалт, 1988. – С. 266–280.
266. Шильников, И.А. Агрохиммелиорация – основа применения удобрений / И.А. Шильников // Плодородие. – 2006. – № 5. – С. 24–26.
267. Шильников, И.А. Известкование как фактор урожайности и почвенного плодородия / И.А. Шильников, В.Г. Сычев, Н.А. Зеленов, Н.И. Аканова, Л.С. Федотова. – М. : ВНИИА, 2008. – 308 с.
268. Шильников, И.А., Потери питательных элементов растений / И.А. Шильников, В.Г. Сычев, А.Х. Шеуджен, Н.И. Аканова. – Lambert Academic Publishing OmniScriptuin GmbH & Co.RG. Deutshland, 2015. – 502.
269. Шильников, И.А. Периодическое известкование – фактор стабилизации урожая в условиях засухи / И.А. Шильников, Н.И. Аканова, Н.А. Зеленов [и др.] // Плодородие. – 2012. – № 2. – С. 34–36.
270. Шишов, Л.Л. Критерии и модели плодородия почв / Л.Л. Шишов, В.А. Дурманов, И.И. Карманов. – М. : Агропромиздат, 1987. – 184 с.
271. Шишов, Л.Л. Региональные эталоны почвенного плодородия / Л.Л. Шишов, Д.С. Булгаков, И.И. Карманов [и др.]. – М. : Почв. ин-т им. В.В. Докучаева, 1991. – 274 с.
272. Шишов, Л.Л. Теоретические основы и пути повышения плодородия почв / Л.Л. Шишов, Д.Н. Дурманов, И.И. Карманов, В.В. Ефремов. – М. : Агропромиздат, 1991. – 304 с.
273. Яковенко, Л.Л. Калийный режим почвы в севооборотах с люпином /

Л.Л. Яковенко, Г.Л. Яговенко // Плодородие. – 2009. – № 6. – С. 13–14.

274. Якименко, В.Н. Калий в агроценозах Западной Сибири / В.Н. Якименко. – Новосибирск : Изд-во СО РАН, 2003. – 231 с.

275. Якименко, В. Н. Подвижность калия в почвах / В. Н. Якименко // Агрохимия. – 2005. – № 9. – С. 5–12.

276. Якименко, В.Н. Зависимость урожайности и качества картофеля от уровня калийного питания / В.Н. Якименко // Плодородие. – 2017. – № 4. – С. 6–9.

277. Якутина, О.П. Поверхностный сток и миграция основных элементов питания растений в процессе снеготаяния / О.П. Якутина, А.А. Танасиенко, А.С. Чумбаев // Агрохимия. – 2009. – № 2. – С. 60–70.

278. Якушев, В.П. Информационное обеспечение точного земледелия / В.П. Якушев, В.В. Якушев. – СПб. : [б.и.], 2007. – 382 с.

279. 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.

280. Яппаров, А.Х. Основные подходы к разработке программ «Плодородие» / А.Х. Яппаров, В.З. Латыпова, Е.И. Ломако [и др.]. – Казань : Изд-во «ДАС». 2002. – 163 с.

281. Allen et al., R.H. Allen, G. Hanuscak, M. Graig. Limited use of remotely sensed data for crop condition monitoring and crop yield forecasting in NASS.-2002. [Электронный ресурс] Режим доступа:

<http://www.nass.usda.gov/research/avhrr/remotouse.pdf>

282. Ashraf M. Y., Rafique N., Ashraf M., Azhar N., Marchand M. Effect of supplemental potassium (K<sup>+</sup>) on growth, physiological and biochemical attributes of wheat grown under saline conditions. J. Plant Nutr., 2013. 36- p. 443–458.

283. Basco B., Cammarano D., Carfagna E. Review of Crop Yield Forecasting Methods and Early Warning Systems. -2014

284. Becker-Reshef I., Vermote E., Lindeman M., Justice C.. A generalized regression-based model for forecasting winter wheat yields in Kansas and Ukraine using



MODIS data, *Remote Sens. Environ.*, 2010, vol. 114, no. 6, pp. 1312–1323.

285. Bilousova Z., Klipakova Yu., Keneva V., Priss O.. Forecasting of winter wheat (*Triticum aestivum* L.) yield for the Southern Steppe of Ukraine using meteorological indices./ *Ukrainian Journal of Ecology*. -2020. - 10(3) - p. 36-43

286. Brown T.T., Koenig R.T., Harsh J.B., Huggins D.R., Rossi R.E. Lime effects on soil acidity, crop yield, and aluminum chemistry in directseeded cropping systems// *Soil science society of America journal*, vol. 72, No. 3, 2008, pp. 634-640, DOI: 10.2136/sssaj2007.0061.

287. Bubela T., Malachivskyy P., Pokhodylo Y., Mykyychuk M., Vorobets O. Mathematical modeling of soil acidity by the admittance parameters/ *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 2016. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/matematicheskoe-modelirovanie-kislotnosti-pochvy-po-parametram-admitansa/viewer>

288. Budong Q., Reinder De J., Richard W., Chipanshi A., Hill H.. Statistical spring wheat yield forecasting for the Canadian prairie provinces. *Agricultural and Forest Meteorology*, Volume 149, Issues 6–7, 15 June 2009, Pages 1022-1031

289. Burman S. *Proc. XI Inter. Congr. On Nitrogenfication*. – 1998. - P. 609.

290. Caires E.F., Haliski A., Bini A.R., Scharr D.A. Surface liming and nitrogen fertilization for crop grain production under no-till management in Brazil// *European journal of agronomy*, vol. 66, 2015, pp. 41-53, DOI: 10.1016/j.eja.2015.02.008.

291. Jacobson L. Role of calcium in absorption of monovalent cations / L. Jacobson, D.P. Moore, R.J. Haannapel // *Plant Physiol*. – 1960. – V. 35. – P. 352-358.

292. Khan S.A., Mulvaney R.L., Ellsworth T.R. The potassium paradox: Implications for soil fertility, crop production and human health./ *Cambridge University Press*, 10 october 2013/ <https://www.cambridge.org/core/journals/renewable-agriculture-and-food-systems/article/potassium-paradox-implications-for-soil-fertility-crop-production-and-human-health/2C9ADE6C6B44EB23BAA7AE6CD953E085>

293. Kumar M. B., Labanya R., Hem C. Joshi. Influence of Long-term Chemical fertilizers and Organic Manures on Soil Fertility/ *Universal Journal of Agricultural Re-*

search-20119. 7(5)-p. 177-188

294. Rajiv Kumar Singh, Twinkle R Singh. Note on the Crop Yield Forecasting Methods// Asian Journal of Agricultural Research. – January 2019. URL: [https://www.researchgate.net/publication/332270275\\_Note\\_on\\_the\\_Crop\\_Yield\\_Forecasting\\_Methods](https://www.researchgate.net/publication/332270275_Note_on_the_Crop_Yield_Forecasting_Methods)

295. Manna M, Swarup A, Wanjari R, Mishra B, Shahi D. Long-term fertilization, manure and liming effects on soil organic matter and crop yields. Soil and Tillage Research, -2007. 94: 397–409

296. Mengel K. Ernährung und Stoffwechselder Pflanze / K. Mengel. – Jena. – 1972. – 470 p.

297. Nikityuk Yu., Teslyuk A. Ecological assessment of the influence of organic fertilizers on the yield of grain crops in the conditions of Zhytomyr polissya./ Norwegian Journal of development of the International Science,- 2020.- No 51.

298. Páscoa P., Gouveia C M, Russo A., Trigo R.M. The role of drought on wheat yield interannual variability in the Iberian Peninsula from 1929 to 2012. Int J Biometeorol, -2018. URL: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/27796567/>

299. Ram S, Singh V, Sirari, P. Effect of 41 years of application of inorganic fertilizers and FYM on crop yields, soil quality, and sustainable yield index under a rice-wheat cropping system on mollisols of north India. Communication in Soil Science and Plant Analysis, 2016.47(2)- p.179-193.

300. Singh B., Schulze D. G. (2015) Soil Minerals and Plant Nutrition/ Nature Education Knowledge 6(1):1. <https://www.nature.com/scitable/knowledge/library/soil-minerals-and-plant-nutrition-127881474/>

301. Stevenson F.J. Origin and distribution of nitrogen in soil. In W.V. Bartholomew and F.E. Clark. Eds. Soil Nitrogen. // Monograph № 10. American Society of Agronomy. Madison, Wis. 1965. P. 1-42.

302. Schwertmann U. Die selective kationensorption der Tonfraktion einiger Boden aus Sedimenten / U. Schwertmann // Z. Pflanzenemayr., Dung, Bodenkunde, 1962. – V. 9. - P. 69-84.

303. Shpedt A.A., Nikitina V.I. The influence of microrelief on the agrochemical properties of chernozems and the yield of spring wheat and barley/ August 2009 Eurasian Soil Science 42(8):909-915.

304. Vance C.P., Uhde-Stone C., Allan D. Phosphorus acquisition and use: critical adaptation by plants for securing non-renewable resources. New Phytologist, 2003. 15, 423-447.

305. Vlamis J. Acid soil infertility as related to soil solution and solid – phase effects / J. Vlamis // Soil Science. – 1953. – V. 75. – P.383-393.

306. Yasnolob I.O., Chayka T.O., Galych O.A., Kolodii O.S., Moroz S.E., Protsiuk N.Yu, Lotych I.I. Stimulating the increasing of natural soil fertility: economic and environmental aspects. -2019. [Электронный ресурс] Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/stimulating-the-increasing-of-natural-soil-fertility-economic-and-environmental-aspects/viewer>

**ПРИЛОЖЕНИЯ**

Результаты ретроспективного расчета фактической урожайности яровой пшеницы –  $У_{\text{ф}}$  в зависимости от факторов на примере Буинского муниципального района Республики Татарстан ( $n=49$ ), шаг 2, 11 факторов, среднее отклонение –21,96%

Годы	Урожайность – $У_{\text{ф}}$ , т/га		Отклонение		Годы	Урожайность – $У_{\text{ф}}$ , т/га		Отклонение	
	$У_{\text{ф}}$	$У_{\text{фрасч}}$	т/га	%		$У_{\text{ф}}$	$У_{\text{фрасч}}$	т/га	%
1970	2,26	1,64	0,62	27,43	1995	2,30	2,35	-0,05	2,22
1971	2,04	2,20	-0,16	7,82	1996	3,50	3,39	0,11	3,26
1972	2,03	1,57	0,46	22,48	1997	5,10	4,52	0,58	11,37
1973	3,09	1,51	1,58	51,26	1998	1,41	1,54	-0,13	9,48
1974	1,88	2,27	-0,39	20,75	1999	1,75	2,84	-1,09	62,55
1975	1,38	1,87	-0,49	35,33	2000	2,55	3,17	-0,62	24,20
1976	2,22	2,92	-0,70	31,63	2001	4,94	3,69	1,25	25,28
1977	1,82	2,02	-0,20	11,06	2002	4,37	2,72	1,65	37,70
1978	2,37	3,42	-1,05	44,24	2003	4,61	3,98	0,63	13,65
1979	1,58	2,18	-0,60	38,00	2004	3,67	3,47	0,20	5,40
1980	2,50	2,00	0,50	19,81	2005	3,76	3,85	-0,09	2,32
1981	1,16	1,81	-0,65	55,98	2006	4,00	3,05	0,95	23,84
1982	3,23	2,86	0,37	11,61	2007	3,91	3,56	0,35	9,00
1983	2,33	3,68	-1,35	57,90	2008	4,25	3,65	0,60	14,21
1984	1,53	1,56	-0,03	2,21	2009	4,80	3,16	1,64	34,20
1985	2,07	2,44	-0,37	17,90	2010	1,32	2,69	-1,37	103,67
1986	2,39	1,91	0,48	19,92	2011	3,24	3,34	-0,10	2,99
1987	1,86	1,93	-0,07	4,01	2012	2,92	2,96	-0,04	1,21
1988	1,69	1,86	-0,17	10,20	2013	2,06	1,78	0,28	13,75
1989	1,47	2,17	-0,70	47,64	2014	2,37	2,66	-0,29	12,16
1990	2,31	2,81	-0,50	21,85	2015	2,39	2,22	0,17	7,11
1991	1,68	1,84	-0,16	9,43	2016	2,50	3,17	-0,67	27,00
1992	3,07	2,97	0,10	3,41	2017	3,52	3,72	-0,20	5,79
1993	3,01	2,43	0,58	19,21	2018	2,04	2,44	-0,40	19,72
1994	3,42	3,87	-0,45	13,10					

Результаты ретроспективного расчета фактической урожайности яровой пшеницы –  $У_{\text{ф}}$  в зависимости от факторов на примере Буинского муниципального района Республики Татарстан ( $n=49$ ), шаг 4, 9 факторов, Среднее отклонение – 21,98 %

Годы	Урожайность – $У_{\text{ф}}$ , т/га		Отклонение		Годы	Урожайность – $У_{\text{ф}}$ , т/га		Отклонение	
	$У_{\text{ф}}$	$У_{\text{фрасч.}}$	т/га	%		$У_{\text{ф}}$	$У_{\text{фрасч.}}$	т/га	%
1970	2,26	1,64	0,62	27,42	1995	2,30	2,37	-0,07	3,20
1971	2,04	2,19	-0,15	7,25	1996	3,50	3,40	0,10	2,88
1972	2,03	1,56	0,47	23,13	1997	5,10	4,50	0,60	11,73
1973	3,09	1,48	1,61	52,11	1998	1,41	1,63	-0,22	15,78
1974	1,88	2,26	-0,38	20,35	1999	1,75	2,95	-1,20	68,80
1975	1,38	1,82	-0,44	31,87	2000	2,55	3,25	-0,70	27,33
1976	2,22	2,89	-0,67	30,20	2001	4,94	3,69	1,25	25,40
1977	1,82	1,97	-0,15	8,22	2002	4,37	2,80	1,57	35,94
1978	2,37	3,40	-1,03	43,43	2003	4,61	3,98	0,63	13,61
1979	1,58	2,16	-0,58	36,51	2004	3,67	3,45	0,22	6,11
1980	2,50	2,01	0,49	19,57	2005	3,76	3,79	-0,03	0,78
1981	1,16	1,81	-0,65	56,10	2006	4,00	3,03	0,97	24,17
1982	3,23	2,86	0,37	11,44	2007	3,91	3,52	0,39	10,05
1983	2,33	3,66	-1,33	56,92	2008	4,25	3,65	0,60	14,23
1984	1,53	1,56	-0,03	1,84	2009	4,80	3,15	1,65	34,43
1985	2,07	2,47	-0,40	19,27	2010	1,32	2,65	-1,33	100,41
1986	2,39	1,94	0,45	18,84	2011	3,24	3,33	-0,09	2,82
1987	1,86	1,90	-0,04	2,24	2012	2,92	2,91	0,01	0,19
1988	1,69	1,85	-0,16	9,73	2013	2,06	1,79	0,27	13,26
1989	1,47	2,16	-0,69	46,86	2014	2,37	2,64	-0,27	11,54
1990	2,31	2,85	-0,54	23,49	2015	2,39	2,21	0,18	7,39
1991	1,68	1,85	-0,17	10,36	2016	2,50	3,17	-0,67	26,69
1992	3,07	2,98	0,09	2,85	2017	3,52	3,75	-0,23	6,64
1993	3,01	2,42	0,59	19,48	2018	2,04	2,45	-0,41	20,26
1994	3,42	3,91	-0,49	14,19					

Результаты ретроспективного расчета фактической урожайности яровой пшеницы –  $У_{\text{ф}}$  в зависимости от факторов на примере Буинского муниципального района Республики Татарстан ( $n=49$ ), шаг 5, 8 факторов, среднее отклонение – 21,22 %

Годы	Урожайность – $У_{\text{ф}}$ , т/га		Отклонение		Годы	Урожайность – $У_{\text{ф}}$ , т/га		Отклонение	
	$У_{\text{ф}}$	$У_{\text{фрасч}}$	т/га	%		$У_{\text{ф}}$	$У_{\text{фрасч}}$	т/га	%
1970	2,26	1,77	0,49	21,75	1995	2,30	2,28	0,02	0,99
1971	2,04	2,27	-0,23	11,17	1996	3,50	3,35	0,15	4,26
1972	2,03	1,64	0,39	18,98	1997	5,10	4,41	0,69	13,44
1973	3,09	1,51	1,58	51,23	1998	1,41	1,59	-0,18	12,91
1974	1,88	2,26	-0,38	20,27	1999	1,75	2,86	-1,11	63,61
1975	1,38	1,80	-0,42	30,59	2000	2,55	3,19	-0,64	24,92
1976	2,22	2,73	-0,51	23,07	2001	4,94	3,57	1,37	27,71
1977	1,82	1,81	0,01	0,60	2002	4,37	2,71	1,66	37,99
1978	2,37	3,20	-0,83	35,17	2003	4,61	3,82	0,79	17,10
1979	1,58	2,04	-0,46	29,22	2004	3,67	3,25	0,42	11,53
1980	2,50	1,76	0,74	29,73	2005	3,76	3,79	-0,03	0,83
1981	1,16	1,62	-0,46	40,08	2006	4,00	2,96	1,04	25,93
1982	3,23	2,65	0,58	18,06	2007	3,91	3,51	0,40	10,21
1983	2,33	3,57	-1,24	53,36	2008	4,25	3,59	0,66	15,42
1984	1,53	1,45	0,08	5,42	2009	4,80	2,98	1,82	37,94
1985	2,07	2,31	-0,24	11,68	2010	1,32	2,63	-1,31	99,17
1986	2,39	1,95	0,44	18,45	2011	3,24	3,23	0,01	0,36
1987	1,86	1,96	-0,10	5,41	2012	2,92	2,83	0,09	3,01
1988	1,69	1,86	-0,17	10,23	2013	2,06	1,76	0,30	14,48
1989	1,47	2,17	-0,70	47,41	2014	2,37	2,56	-0,19	7,98
1990	2,31	2,87	-0,56	24,18	2015	2,39	2,19	0,20	8,26
1991	1,68	1,86	-0,18	10,96	2016	2,50	3,11	-0,61	24,46
1992	3,07	3,02	0,05	1,48	2017	3,52	3,75	-0,23	6,48
1993	3,01	2,29	0,72	23,97	2018	2,04	2,34	-0,30	14,92
1994	3,42	3,88	-0,46	13,46					

Результаты ретроспективного расчета фактической урожайности яровой пшеницы –  $У_{\text{ф}}$  в зависимости от факторов на примере Буинского муниципального района Республики Татарстан ( $n=49$ ), шаг 6, 7 факторов, среднее отклонение –22,56%

Годы	Урожайность – $У_{\text{ф}}$ , т/га		Отклонение		Годы	Урожайность – $У_{\text{ф}}$ , т/га		Отклонение	
	$У_{\text{ф}}$	$У_{\text{фрасч}}$	т/га	%		$У_{\text{ф}}$	$У_{\text{фрасч}}$	т/га	%
1970	2,26	1,96	0,30	13,41	1995	2,30	2,43	–0,13	5,47
1971	2,04	2,44	–0,40	19,43	1996	3,50	3,52	–0,02	0,55
1972	2,03	1,86	0,17	8,40	1997	5,10	4,68	0,42	8,18
1973	3,09	1,66	1,43	46,23	1998	1,41	1,77	–0,36	25,19
1974	1,88	2,41	–0,53	28,44	1999	1,75	2,94	–1,19	68,27
1975	1,38	1,95	–0,57	41,59	2000	2,55	3,23	–0,68	26,78
1976	2,22	2,89	–0,67	30,26	2001	4,94	3,59	1,35	27,42
1977	1,82	1,98	–0,16	8,52	2002	4,37	2,79	1,58	36,13
1978	2,37	3,45	–1,08	45,57	2003	4,61	3,73	0,88	19,04
1979	1,58	2,21	–0,63	39,57	2004	3,67	3,42	0,25	6,78
1980	2,50	1,92	0,58	23,09	2005	3,76	3,89	–0,13	3,41
1981	1,16	1,80	–0,64	55,08	2006	4,00	3,04	0,96	23,89
1982	3,23	2,74	0,49	15,15	2007	3,91	3,54	0,37	9,57
1983	2,33	3,60	–1,27	54,54	2008	4,25	3,64	0,61	14,27
1984	1,53	1,46	0,07	4,58	2009	4,80	2,96	1,84	38,40
1985	2,07	2,45	–0,38	18,34	2010	1,32	2,69	–1,37	104,02
1986	2,39	1,89	0,50	20,89	2011	3,24	3,32	–0,08	2,50
1987	1,86	1,79	0,07	3,56	2012	2,92	2,84	0,08	2,75
1988	1,69	1,82	–0,13	7,55	2013	2,06	1,65	0,41	19,86
1989	1,47	2,11	–0,64	43,50	2014	2,37	2,30	0,07	3,15
1990	2,31	3,07	–0,76	32,75	2015	2,39	2,00	0,39	16,27
1991	1,68	1,99	–0,31	18,46	2016	2,50	3,02	–0,52	20,78
1992	3,07	3,12	–0,05	1,68	2017	3,52	3,61	–0,09	2,63
1993	3,01	2,42	0,59	19,55	2018	2,04	2,14	–0,10	5,03
1994	3,42	3,94	–0,52	15,15					



Результаты ретроспективного расчета фактической урожайности яровой пшеницы –  $У_{\text{ф}}$  в зависимости от факторов на примере Буинского муниципального района Республики Татарстан ( $n=49$ ), шаг 7, 6 факторов, среднее отклонение –22,74 %

Годы	Урожайность – $У_{\text{ф}}$ , т/га		Отклонение		Годы	Урожайность – $У_{\text{ф}}$ , т/га		Отклонение	
	$У_{\text{ф}}$	$У_{\text{фрасч}}$	т/га	%		$У_{\text{ф}}$	$У_{\text{фрасч}}$	т/га	%
1970	2,26	1,98	0,28	12,59	1995	2,30	2,24	0,06	2,78
1971	2,04	2,38	-0,34	16,80	1996	3,50	3,31	0,19	5,50
1972	2,03	1,86	0,17	8,55	1997	5,10	4,72	0,38	7,39
1973	3,09	1,70	1,39	44,85	1998	1,41	1,84	-0,43	30,34
1974	1,88	2,28	-0,40	21,28	1999	1,75	2,91	-1,16	66,37
1975	1,38	1,86	-0,48	34,44	2000	2,55	3,14	-0,59	23,21
1976	2,22	2,80	-0,58	26,04	2001	4,94	3,65	1,29	26,10
1977	1,82	1,95	-0,13	7,04	2002	4,37	2,90	1,47	33,75
1978	2,37	3,51	-1,14	48,12	2003	4,61	3,53	1,08	23,33
1979	1,58	2,30	-0,72	45,45	2004	3,67	3,54	0,13	3,63
1980	2,50	1,92	0,58	23,31	2005	3,76	3,84	-0,08	2,18
1981	1,16	1,85	-0,69	59,57	2006	4,00	3,06	0,94	23,58
1982	3,23	2,74	0,49	15,30	2007	3,91	3,57	0,34	8,77
1983	2,33	3,54	-1,21	51,76	2008	4,25	3,61	0,64	15,17
1984	1,53	1,36	0,17	11,04	2009	4,80	2,75	2,05	42,63
1985	2,07	2,53	-0,46	21,99	2010	1,32	2,72	-1,40	106,12
1986	2,39	1,90	0,49	20,71	2011	3,24	3,47	-0,23	7,25
1987	1,86	1,77	0,09	4,71	2012	2,92	2,98	-0,06	2,13
1988	1,69	1,79	-0,10	5,83	2013	2,06	1,78	0,28	13,52
1989	1,47	2,16	-0,69	46,71	2014	2,37	2,25	0,12	5,11
1990	2,31	3,30	-0,99	42,72	2015	2,39	2,05	0,34	14,03
1991	1,68	1,98	-0,30	17,58	2016	2,50	3,13	-0,63	25,21
1992	3,07	3,14	-0,07	2,15	2017	3,52	3,67	-0,15	4,40
1993	3,01	2,54	0,47	15,74	2018	2,04	2,25	-0,21	10,41
1994	3,42	3,66	-0,24	7,03					

Результаты ретроспективного расчета фактической урожайности яровой пшеницы –  $У_{\text{ф}}$  в зависимости от факторов на примере Буинского муниципального района Республики Татарстан ( $n=49$ ), шаг 9, 4 фактора, среднее отклонение – 23,75 %

Годы	Урожайность – $У_{\text{ф}}$ , т/га		Отклонение		Годы	Урожайность – $У_{\text{ф}}$ , т/га		Отклонение	
	$У_{\text{ф}}$	$У_{\text{фрасч}}$	т/га	%		$У_{\text{ф}}$	$У_{\text{фрасч}}$	т/га	%
1970	2,26	2,49	-0,23	10,13	1995	2,30	2,35	-0,05	2,35
1971	2,04	2,23	-0,19	9,49	1996	3,50	3,36	0,14	3,89
1972	2,03	1,69	0,34	16,75	1997	5,10	4,18	0,92	18,05
1973	3,09	1,56	1,53	49,42	1998	1,41	2,23	-0,82	58,23
1974	1,88	2,54	-0,66	35,16	1999	1,75	2,91	-1,16	66,42
1975	1,38	2,06	-0,68	49,01	2000	2,55	3,14	-0,59	23,26
1976	2,22	3,05	-0,83	37,42	2001	4,94	3,13	1,81	36,59
1977	1,82	2,18	-0,36	19,74	2002	4,37	2,65	1,72	39,42
1978	2,37	3,25	-0,88	37,26	2003	4,61	3,39	1,22	26,54
1979	1,58	2,39	-0,81	51,07	2004	3,67	4,28	-0,61	16,63
1980	2,50	2,13	0,37	14,93	2005	3,76	4,04	-0,28	7,46
1981	1,16	1,55	-0,39	33,90	2006	4,00	2,98	1,02	25,60
1982	3,23	2,73	0,50	15,46	2007	3,91	3,34	0,57	14,47
1983	2,33	2,85	-0,52	22,52	2008	4,25	3,63	0,62	14,63
1984	1,53	2,32	-0,79	51,73	2009	4,80	2,39	2,41	50,12
1985	2,07	3,11	-1,04	50,41	2010	1,32	2,61	-1,29	97,37
1986	2,39	1,92	0,47	19,56	2011	3,24	3,22	0,02	0,72
1987	1,86	1,81	0,05	2,66	2012	2,92	3,14	-0,22	7,44
1988	1,69	2,00	-0,31	18,19	2013	2,06	2,13	-0,07	3,17
1989	1,47	1,51	-0,04	2,48	2014	2,37	2,40	-0,03	1,08
1990	2,31	3,10	-0,79	34,29	2015	2,39	2,08	0,31	13,08
1991	1,68	1,93	-0,25	15,10	2016	2,50	2,81	-0,31	12,27
1992	3,07	2,76	0,31	10,12	2017	3,52	3,61	-0,09	2,68
1993	3,01	2,91	0,10	3,37	2018	2,04	2,24	-0,20	10,00
1994	3,42	3,35	0,07	2,07					

Результаты ретроспективного расчета фактической урожайности яровой пшеницы –  $У_{\text{ф}}$  в зависимости от факторов на примере Буинского муниципального района Республики Татарстан ( $n=49$ ), шаг 10, 3 фактора, среднее отклонение –26,01 %

Годы	Урожайность – $У_{\text{ф}}$ , т/га		Отклонение		Годы	Урожайность – $У_{\text{ф}}$ , т/га		Отклонение	
	$У_{\text{ф}}$	$У_{\text{фрасч}}$	т/га	%		$У_{\text{ф}}$	$У_{\text{фрасч}}$	т/га	%
1970	2,26	2,49	–0,23	10,13	1995	2,30	2,35	–0,05	2,35
1971	2,04	2,23	–0,19	9,49	1996	3,50	3,36	0,14	3,89
1972	2,03	1,69	0,34	16,75	1997	5,10	4,18	0,92	18,05
1973	3,09	1,56	1,53	49,42	1998	1,41	2,23	–0,82	58,23
1974	1,88	2,54	–0,66	35,16	1999	1,75	2,91	–1,16	66,42
1975	1,38	2,06	–0,68	49,01	2000	2,55	3,14	–0,59	23,26
1976	2,22	3,05	–0,83	37,42	2001	4,94	3,13	1,81	36,59
1977	1,82	2,18	–0,36	19,74	2002	4,37	2,65	1,72	39,42
1978	2,37	3,25	–0,88	37,26	2003	4,61	3,39	1,22	26,54
1979	1,58	2,39	–0,81	51,07	2004	3,67	4,28	–0,61	16,63
1980	2,50	2,13	0,37	14,93	2005	3,76	4,04	–0,28	7,46
1981	1,16	1,55	–0,39	33,90	2006	4,00	2,98	1,02	25,60
1982	3,23	2,73	0,50	15,46	2007	3,91	3,34	0,57	14,47
1983	2,33	2,85	–0,52	22,52	2008	4,25	3,63	0,62	14,63
1984	1,53	2,32	–0,79	51,73	2009	4,80	2,39	2,41	50,12
1985	2,07	3,11	–1,04	50,41	2010	1,32	2,61	–1,29	97,37
1986	2,39	1,92	0,47	19,56	2011	3,24	3,22	0,02	0,72
1987	1,86	1,81	0,05	2,66	2012	2,92	3,14	–0,22	7,44
1988	1,69	2,00	–0,31	18,19	2013	2,06	2,13	–0,07	3,17
1989	1,47	1,51	–0,04	2,48	2014	2,37	2,40	–0,03	1,08
1990	2,31	3,10	–0,79	34,29	2015	2,39	2,08	0,31	13,08
1991	1,68	1,93	–0,25	15,10	2016	2,50	2,81	–0,31	12,27
1992	3,07	2,76	0,31	10,12	2017	3,52	3,61	–0,09	2,68
1993	3,01	2,91	0,10	3,37	2018	2,04	2,24	–0,20	10,00
1994	3,42	3,35	0,07	2,07					

Результаты ретроспективного расчета фактической урожайности яровой пшеницы –  $У_{\text{ф}}$  в зависимости от факторов на примере Буинского муниципального района Республики Татарстан ( $n=49$ ), шаг 11, 2 фактора, среднее отклонение –28,83 %

Годы	Урожайность – $У_{\text{ф}}$ , т/га		Отклонение		Годы	Урожайность – $У_{\text{ф}}$ , т/га		Отклонение	
	$У_{\text{ф}}$	$У_{\text{фрасч}}$	т/га	%		$У_{\text{ф}}$	$У_{\text{фрасч}}$	т/га	%
1970	2,26	2,97	–0,71	31,59	1995	2,30	2,53	–0,23	10,12
1971	2,04	2,86	–0,82	40,09	1996	3,50	3,06	0,44	12,63
1972	2,03	2,27	–0,24	11,63	1997	5,10	3,92	1,18	23,08
1973	3,09	2,23	0,86	27,86	1998	1,41	2,27	–0,86	61,10
1974	1,88	2,78	–0,90	48,14	1999	1,75	3,13	–1,38	78,71
1975	1,38	2,21	–0,83	60,02	2000	2,55	2,84	–0,29	11,45
1976	2,22	3,24	–1,02	45,86	2001	4,94	3,14	1,80	36,49
1977	1,82	2,51	–0,69	38,02	2002	4,37	2,77	1,60	36,54
1978	2,37	3,36	–0,99	41,72	2003	4,61	3,43	1,18	25,53
1979	1,58	2,01	–0,43	27,42	2004	3,67	4,25	–0,58	15,78
1980	2,50	2,13	0,37	14,99	2005	3,76	3,18	0,58	15,40
1981	1,16	1,87	–0,71	61,30	2006	4,00	2,97	1,03	25,67
1982	3,23	2,70	0,53	16,37	2007	3,91	2,70	1,21	31,02
1983	2,33	2,89	–0,56	23,83	2008	4,25	3,01	1,24	29,13
1984	1,53	2,33	–0,80	52,48	2009	4,80	2,58	2,22	46,16
1985	2,07	3,44	–1,37	66,13	2010	1,32	2,45	–1,13	85,81
1986	2,39	1,85	0,54	22,71	2011	3,24	3,31	–0,07	2,18
1987	1,86	1,81	0,05	2,80	2012	2,92	3,12	–0,20	6,75
1988	1,69	1,91	–0,22	12,87	2013	2,06	2,21	–0,15	7,40
1989	1,47	1,97	–0,50	33,80	2014	2,37	2,53	–0,16	6,79
1990	2,31	2,77	–0,46	19,96	2015	2,39	2,40	–0,01	0,23
1991	1,68	1,93	–0,25	14,71	2016	2,50	3,20	–0,70	28,07
1992	3,07	1,83	1,24	40,23	2017	3,52	3,49	0,03	0,93
1993	3,01	2,01	1,00	33,32	2018	2,04	2,34	–0,30	14,54
1994	3,42	2,96	0,46	13,31					

Результаты ретроспективного расчета скользящей урожайности яровой пшеницы при длине шага 11 лет –  $Y_{11}$  в зависимости от факторов на примере Буинского муниципального района Республики Татарстан (n =49), 11 факторов, среднее отклонение – 10,44%

Годы	Урожайность – $Y_{11}$ , т/га		Отклонение		Годы	Урожайность – $Y_{11}$ , т/га		Отклонение	
	$Y_{11}$	$Y_{11\text{расч.}}$	т/га	%		$Y_{11}$	$Y_{11\text{расч.}}$	т/га	%
1970	2,30	2,19	0,11	4,94	1995	2,74	2,86	-0,12	-4,36
1971	2,25	1,89	0,36	15,99	1996	2,98	3,20	-0,22	-7,39
1972	2,20	1,73	0,47	21,42	1997	3,22	3,68	-0,46	-14,17
1973	2,15	2,00	0,15	6,83	1998	3,36	3,31	0,05	1,48
1974	2,10	2,34	-0,24	-11,22	1999	3,42	3,47	-0,05	-1,58
1975	2,11	2,19	-0,08	-3,79	2000	3,45	3,26	0,19	5,59
1976	2,01	2,47	-0,46	-22,78	2001	3,61	3,06	0,55	15,31
1977	2,11	2,34	-0,23	-11,00	2002	3,64	2,73	0,91	25,08
1978	2,14	2,50	-0,36	-16,82	2003	3,56	2,81	0,75	21,07
1979	2,00	2,37	-0,37	-18,29	2004	3,87	3,32	0,55	14,28
1980	2,02	2,21	-0,19	-9,36	2005	3,83	3,38	0,45	11,77
1981	2,11	2,10	0,01	0,70	2006	3,90	3,27	0,63	16,13
1982	2,08	2,06	0,02	0,75	2007	3,71	3,29	0,42	11,39
1983	2,06	2,44	-0,38	-18,40	2008	3,50	3,41	0,09	2,57
1984	1,98	2,30	-0,32	-16,13	2009	3,30	2,83	0,47	14,16
1985	2,05	2,22	-0,17	-8,46	2010	3,18	3,31	-0,13	-4,04
1986	1,97	1,88	0,09	4,56	2011	3,07	3,07	0,00	0,01
1987	2,15	2,14	0,01	0,34	2012	3,02	3,15	-0,13	-4,24
1988	2,13	2,08	0,05	2,47	2013	2,86	2,86	0,00	-0,08
1989	2,23	2,36	-0,13	-5,66	2014	2,73	2,53	0,20	7,50
1990	2,3	2,55	-0,25	-11,05	2015	2,58	2,86	-0,28	-10,78
1991	2,43	2,59	-0,16	-6,46	2016	2,44	2,82	-0,38	-15,46
1992	2,67	2,77	-0,10	-3,67	2017	2,30	3,31	-1,01	-43,89
1993	2,63	2,32	0,31	11,97	2018	2,15	2,29	-0,14	-6,53
1994	2,64	3,15	-0,51	-19,46					

Результаты ретроспективного расчета скользящей урожайности яровой пшеницы при длине шага 11 лет –  $Y_{11}$  в зависимости от факторов на примере Буинского муниципального района Республики Татарстан ( $n=49$ ), 10 факторов, среднее отклонение – 10,44%

Годы	Урожайность – $Y_{11}$ , т/га		Отклонение		Годы	Урожайность – $Y_{11}$ , т/га		Отклонение	
	$Y_{11}$	$Y_{11\text{расч}}$	т/га	%		$Y_{11}$	$Y_{11\text{расч}}$	т/га	%
1970	2,30	2,19	0,11	4,89	1995	2,74	2,86	-0,12	-4,29
1971	2,25	1,89	0,36	16,01	1996	2,98	3,20	-0,22	-7,32
1972	2,20	1,73	0,47	21,37	1997	3,22	3,68	-0,46	-14,24
1973	2,15	2,00	0,15	6,75	1998	3,36	3,31	0,05	1,37
1974	2,10	2,33	-0,23	-11,11	1999	3,42	3,47	-0,05	-1,59
1975	2,11	2,19	-0,08	-3,73	2000	3,45	3,26	0,19	5,64
1976	2,01	2,47	-0,46	-22,68	2001	3,61	3,06	0,55	15,27
1977	2,11	2,34	-0,23	-11,01	2002	3,64	2,73	0,91	25,00
1978	2,14	2,50	-0,36	-16,90	2003	3,56	2,81	0,75	21,20
1979	2,00	2,37	-0,37	-18,41	2004	3,87	3,32	0,55	14,22
1980	2,02	2,21	-0,19	-9,37	2005	3,83	3,38	0,45	11,80
1981	2,11	2,10	0,01	0,63	2006	3,90	3,27	0,63	16,12
1982	2,08	2,06	0,02	0,76	2007	3,71	3,29	0,42	11,38
1983	2,06	2,44	-0,38	-18,32	2008	3,50	3,41	0,09	2,61
1984	1,98	2,30	-0,32	-16,03	2009	3,30	2,83	0,47	14,29
1985	2,05	2,23	-0,18	-8,56	2010	3,18	3,31	-0,13	-4,08
1986	1,97	1,88	0,09	4,62	2011	3,07	3,07	0,00	0,00
1987	2,15	2,14	0,01	0,43	2012	3,02	3,15	-0,13	-4,33
1988	2,13	2,08	0,05	2,54	2013	2,86	2,86	0,00	-0,15
1989	2,23	2,36	-0,13	-5,68	2014	2,73	2,52	0,21	7,60
1990	2,30	2,56	-0,26	-11,29	2015	2,58	2,86	-0,28	-10,78
1991	2,43	2,59	-0,16	-6,50	2016	2,44	2,82	-0,38	-15,55
1992	2,67	2,77	-0,10	-3,67	2017	2,30	3,31	-1,01	-43,88
1993	2,63	2,32	0,31	11,90	2018	2,15	2,29	-0,14	-6,55
1994	2,64	3,15	-0,51	-19,27					

Результаты ретроспективного расчета скользящей урожайности яровой пшеницы при длине шага 11 лет –  $Y_{11}$  в зависимости от факторов на примере Буинского муниципального района Республики Татарстан ( $n=49$ ), 9 факторов, среднее отклонение – 10,52 %

Годы	Урожайность – $Y_{11}$ , т/га		Отклонение		Годы	Урожайность – $Y_{11}$ , т/га		Отклонение	
	$Y_{11}$	$Y_{11\text{расч.}}$	т/га	%		$Y_{11}$	$Y_{11\text{расч.}}$	т/га	%
1970	2,30	2,18	0,12	5,13	1995	2,74	2,86	-0,12	-4,45
1971	2,25	1,89	0,36	15,87	1996	2,98	3,21	-0,23	-7,59
1972	2,20	1,74	0,46	21,06	1997	3,22	3,69	-0,47	-14,52
1973	2,15	2,00	0,15	6,85	1998	3,36	3,31	0,05	1,44
1974	2,10	2,33	-0,23	-11,08	1999	3,42	3,47	-0,05	-1,50
1975	2,11	2,19	-0,08	-3,74	2000	3,45	3,26	0,19	5,63
1976	2,01	2,46	-0,45	-22,61	2001	3,61	3,06	0,55	15,25
1977	2,11	2,34	-0,23	-10,90	2002	3,64	2,74	0,90	24,86
1978	2,14	2,51	-0,37	-17,14	2003	3,56	2,81	0,75	21,10
1979	2,00	2,37	-0,37	-18,30	2004	3,87	3,32	0,55	14,18
1980	2,02	2,21	-0,19	-9,39	2005	3,83	3,38	0,45	11,65
1981	2,11	2,10	0,01	0,40	2006	3,90	3,27	0,63	16,06
1982	2,08	2,07	0,01	0,55	2007	3,71	3,29	0,42	11,36
1983	2,06	2,44	-0,38	-18,55	2008	3,50	3,41	0,09	2,58
1984	1,98	2,29	-0,31	-15,80	2009	3,30	2,84	0,46	14,07
1985	2,05	2,23	-0,18	-8,79	2010	3,18	3,31	-0,13	-4,21
1986	1,97	1,88	0,09	4,55	2011	3,07	2,99	0,08	2,73
1987	2,15	2,13	0,02	0,71	2012	3,02	3,16	-0,14	-4,51
1988	2,13	2,07	0,06	2,60	2013	2,86	2,87	-0,01	-0,21
1989	2,23	2,35	-0,12	-5,44	2014	2,73	2,53	0,20	7,36
1990	2,30	2,56	-0,26	-11,37	2015	2,58	2,86	-0,28	-10,93
1991	2,43	2,59	-0,16	-6,40	2016	2,44	2,83	-0,39	-16,07
1992	2,67	2,76	-0,09	-3,44	2017	2,30	3,31	-1,01	-44,09
1993	2,63	2,31	0,32	12,09	2018	2,15	2,30	-0,15	-6,85
1994	2,64	3,15	-0,51	-19,32					

Результаты ретроспективного расчета скользящей урожайности яровой пшеницы при длине шага 11 лет –  $Y_{11}$  в зависимости от факторов на примере Буинского муниципального района Республики Татарстан, (n =49), 8 факторов, среднее отклонение – 10,52 %

Годы	Урожайность – $Y_{11}$ , т/га		Отклонение		Годы	Урожайность – $Y_{11}$ , т/га		Отклонение	
	$Y_{11}$	$Y_{11\text{расч.}}$	т/га	%		$Y_{11}$	$Y_{11\text{расч.}}$	т/га	%
1970	2,30	2,18	0,12	5,13	1995	2,74	2,86	-0,12	-4,45
1971	2,25	1,89	0,36	15,87	1996	2,98	3,21	-0,23	-7,59
1972	2,20	1,74	0,46	21,06	1997	3,22	3,69	-0,47	-14,52
1973	2,15	2,00	0,15	6,85	1998	3,36	3,31	0,05	1,44
1974	2,10	2,33	-0,23	-11,08	1999	3,42	3,47	-0,05	-1,50
1975	2,11	2,19	-0,08	-3,74	2000	3,45	3,26	0,19	5,63
1976	2,01	2,46	-0,45	-22,61	2001	3,61	3,06	0,55	15,25
1977	2,11	2,34	-0,23	-10,90	2002	3,64	2,74	0,90	24,86
1978	2,14	2,51	-0,37	-17,14	2003	3,56	2,81	0,75	21,10
1979	2,00	2,37	-0,37	-18,30	2004	3,87	3,32	0,55	14,18
1980	2,02	2,21	-0,19	-9,39	2005	3,83	3,38	0,45	11,65
1981	2,11	2,10	0,01	0,40	2006	3,90	3,27	0,63	16,06
1982	2,08	2,07	0,01	0,55	2007	3,71	3,29	0,42	11,36
1983	2,06	2,44	-0,38	-18,55	2008	3,50	3,41	0,09	2,58
1984	1,98	2,29	-0,31	-15,80	2009	3,30	2,84	0,46	14,07
1985	2,05	2,23	-0,18	-8,79	2010	3,18	3,31	-0,13	-4,21
1986	1,97	1,88	0,09	4,55	2011	3,07	2,99	0,08	2,73
1987	2,15	2,13	0,02	0,71	2012	3,02	3,16	-0,14	-4,51
1988	2,13	2,07	0,06	2,60	2013	2,86	2,87	-0,01	-0,21
1989	2,23	2,35	-0,12	-5,44	2014	2,73	2,53	0,20	7,36
1990	2,3	2,56	-0,26	-11,37	2015	2,58	2,86	-0,28	-10,93
1991	2,43	2,59	-0,16	-6,40	2016	2,44	2,83	-0,39	-16,07
1992	2,67	2,76	-0,09	-3,44	2017	2,30	3,31	-1,01	-44,09
1993	2,63	2,31	0,32	12,09	2018	2,15	2,30	-0,15	-6,85
1994	2,64	3,15	-0,51	-19,32					



Результаты ретроспективного расчета скользящей урожайности яровой пшеницы при длине шага 11 лет –  $Y_{11}$  в зависимости от факторов на примере Буинского муниципального района Республики Татарстан, ( $n=49$ ), 7 факторов, среднее отклонение –10,61

Годы	Урожайность – $Y_{11}$ , т/га		Отклонение		Годы	Урожайность – $Y_{11}$ , т/га		Отклонение	
	$Y_{11}$	$Y_{11\text{расч.}}$	т/га	%		$Y_{11}$	$Y_{11\text{расч.}}$	т/га	%
1970	2,30	2,17	0,13	5,65	1995	2,74	2,90	-0,16	-5,83
1971	2,25	1,88	0,37	16,23	1996	2,98	3,23	-0,25	-8,29
1972	2,20	1,74	0,46	21,02	1997	3,22	3,71	-0,49	-15,09
1973	2,15	2,01	0,14	6,40	1998	3,36	3,32	0,04	1,20
1974	2,10	2,32	-0,22	-10,67	1999	3,42	3,45	-0,03	-0,98
1975	2,11	2,20	-0,09	-4,38	2000	3,45	3,22	0,23	6,63
1976	2,01	2,47	-0,46	-22,72	2001	3,61	3,07	0,54	15,07
1977	2,11	2,37	-0,26	-12,23	2002	3,64	2,71	0,93	25,53
1978	2,14	2,50	-0,36	-16,82	2003	3,56	2,81	0,75	21,08
1979	2,00	2,36	-0,36	-17,83	2004	3,87	3,34	0,53	13,66
1980	2,02	2,21	-0,19	-9,16	2005	3,83	3,38	0,45	11,77
1981	2,11	2,11	0,00	0,14	2006	3,90	3,28	0,62	15,90
1982	2,08	2,06	0,02	1,01	2007	3,71	3,28	0,43	11,65
1983	2,06	2,44	-0,38	-18,30	2008	3,50	3,38	0,12	3,32
1984	1,98	2,31	-0,33	-16,88	2009	3,30	2,85	0,45	13,62
1985	2,05	2,24	-0,19	-9,29	2010	3,18	3,33	-0,15	-4,82
1986	1,97	1,86	0,11	5,52	2011	3,07	2,99	0,08	2,58
1987	2,15	2,15	0,00	0,19	2012	3,02	3,17	-0,15	-5,09
1988	2,13	2,08	0,05	2,33	2013	2,86	2,87	-0,01	-0,19
1989	2,23	2,37	-0,14	-6,32	2014	2,73	2,53	0,20	7,21
1990	2,30	2,54	-0,24	-10,39	2015	2,58	2,87	-0,29	-11,23
1991	2,43	2,60	-0,17	-7,04	2016	2,44	2,84	-0,40	-16,43
1992	2,67	2,72	-0,05	-1,98	2017	2,30	3,28	-0,98	-42,50
1993	2,63	2,30	0,33	12,45	2018	2,15	2,29	-0,14	-6,28
1994	2,64	3,14	-0,50	-18,75					

Результаты ретроспективного расчета скользящей урожайности яровой пшеницы при длине шага 11 лет –  $Y_{11}$  в зависимости от факторов на примере Буинского муниципального района Республики Татарстан, (n =49), 6 факторов, среднее отклонение – 10,57%

Годы	Урожайность – $Y_{11}$ , т/га		Отклонение		Годы	Урожайность – $Y_{11}$ , т/га		Отклонение	
	$Y_{11}$	$Y_{11\text{расч.}}$	т/га	%		$Y_{11}$	$Y_{11\text{расч.}}$	т/га	%
1970	2,30	2,16	0,14	5,90	1995	2,74	2,87	-0,13	-4,63
1971	2,25	1,88	0,37	16,49	1996	2,98	3,19	-0,21	-7,19
1972	2,20	1,72	0,48	21,64	1997	3,22	3,69	-0,47	-14,75
1973	2,15	2,00	0,15	6,84	1998	3,36	3,29	0,07	2,19
1974	2,10	2,31	-0,21	-9,82	1999	3,42	3,43	-0,01	-0,28
1975	2,11	2,19	-0,08	-3,56	2000	3,45	3,21	0,24	6,97
1976	2,01	2,46	-0,45	-22,15	2001	3,61	3,07	0,54	15,03
1977	2,11	2,35	-0,24	-11,43	2002	3,64	2,70	0,94	25,79
1978	2,14	2,48	-0,34	-15,83	2003	3,56	2,81	0,75	21,02
1979	2,00	2,32	-0,32	-16,24	2004	3,87	3,35	0,52	13,32
1980	2,02	2,18	-0,16	-7,68	2005	3,83	3,39	0,44	11,60
1981	2,11	2,09	0,02	1,08	2006	3,90	3,28	0,62	15,84
1982	2,08	2,05	0,03	1,51	2007	3,71	3,28	0,43	11,60
1983	2,06	2,43	-0,37	-18,18	2008	3,50	3,38	0,12	3,42
1984	1,98	2,32	-0,34	-16,94	2009	3,30	2,85	0,45	13,77
1985	2,05	2,25	-0,20	-9,87	2010	3,18	3,34	-0,16	-4,89
1986	1,97	1,89	0,08	4,05	2011	3,07	3,00	0,07	2,26
1987	2,15	2,19	-0,04	-1,96	2012	3,02	3,20	-0,18	-6,05
1988	2,13	2,11	0,02	0,86	2013	2,86	2,90	-0,04	-1,33
1989	2,23	2,39	-0,16	-7,20	2014	2,73	2,58	0,15	5,44
1990	2,30	2,54	-0,24	-10,22	2015	2,58	2,91	-0,33	-12,91
1991	2,43	2,58	-0,15	-6,25	2016	2,44	2,88	-0,44	-18,00
1992	2,67	2,71	-0,04	-1,40	2017	2,30	3,32	-1,02	-44,15
1993	2,63	2,30	0,33	12,58	2018	2,15	2,33	-0,18	-8,41
1994	2,64	3,11	-0,47	-17,68					

Результаты ретроспективного расчета скользящей урожайности яровой пшеницы при длине шага 11 лет –  $Y_{11}$  в зависимости от факторов на примере Буинского муниципального района Республики Татарстан, (n=49), 5 факторов, среднее отклонение –10,48 %

Годы	Урожайность – $Y_{11}$ , т/га		Отклонение		Годы	Урожайность – $Y_{11}$ , т/га		Отклонение	
	$Y_{11}$	$Y_{11\text{расч.}}$	т/га	%		$Y_{11}$	$Y_{11\text{расч.}}$	т/га	%
1970	2,30	2,12	0,18	7,84	1995	2,74	2,88	-0,14	-5,05
1971	2,25	1,91	0,34	14,99	1996	2,98	3,23	-0,25	-8,28
1972	2,20	1,79	0,41	18,67	1997	3,22	3,75	-0,53	-16,60
1973	2,15	2,00	0,15	6,81	1998	3,36	3,25	0,11	3,42
1974	2,10	2,29	-0,19	-9,22	1999	3,42	3,38	0,04	1,19
1975	2,11	2,19	-0,08	-3,69	2000	3,45	3,20	0,25	7,27
1976	2,01	2,42	-0,41	-20,56	2001	3,61	3,05	0,56	15,42
1977	2,11	2,32	-0,21	-9,95	2002	3,64	2,71	0,93	25,41
1978	2,14	2,50	-0,36	-16,60	2003	3,56	2,79	0,77	21,63
1979	2,00	2,30	-0,30	-14,87	2004	3,87	3,29	0,58	14,90
1980	2,02	2,16	-0,14	-6,81	2005	3,83	3,41	0,42	11,07
1981	2,11	2,13	-0,02	-0,87	2006	3,90	3,28	0,62	15,80
1982	2,08	2,05	0,03	1,34	2007	3,71	3,28	0,43	11,64
1983	2,06	2,47	-0,41	-19,90	2008	3,50	3,37	0,13	3,75
1984	1,98	2,24	-0,26	-13,16	2009	3,30	2,88	0,42	12,76
1985	2,05	2,24	-0,19	-9,06	2010	3,18	3,36	-0,18	-5,52
1986	1,97	1,92	0,05	2,67	2011	3,07	3,05	0,02	0,77
1987	2,15	2,17	-0,02	-1,07	2012	3,02	3,20	-0,18	-5,88
1988	2,13	2,12	0,01	0,43	2013	2,86	2,87	-0,01	-0,43
1989	2,23	2,39	-0,16	-7,14	2014	2,73	2,58	0,15	5,65
1990	2,30	2,56	-0,26	-11,15	2015	2,58	2,91	-0,33	-12,65
1991	2,43	2,58	-0,15	-6,22	2016	2,44	2,92	-0,48	-19,84
1992	2,67	2,71	-0,04	-1,61	2017	2,30	3,31	-1,01	-43,70
1993	2,63	2,27	0,36	13,67	2018	2,15	2,34	-0,19	-8,65
1994	2,64	3,12	-0,48	-18,08					

Результаты ретроспективного расчета скользящей урожайности яровой пшеницы при длине шага 11 лет –  $Y_{11}$  в зависимости от факторов на примере Буинского муниципального района Республики Татарстан, (n =49), 4 фактора, среднее отклонение – 10,40%

Годы	Урожайность – $Y_{11}$ , т/га		Отклонение		Годы	Урожайность – $Y_{11}$ , т/га		Отклонение	
	$Y_{11}$	$Y_{11\text{расч.}}$	т/га	%		$Y_{11}$	$Y_{11\text{расч.}}$	т/га	%
1970	2,30	2,20	0,10	4,42	1995	2,74	2,90	-0,16	-5,69
1971	2,25	1,96	0,29	12,73	1996	2,98	3,26	-0,28	-9,30
1972	2,20	1,83	0,37	16,68	1997	3,22	3,77	-0,55	-16,94
1973	2,15	2,02	0,13	5,84	1998	3,36	3,27	0,09	2,68
1974	2,10	2,32	-0,22	-10,58	1999	3,42	3,39	0,03	0,89
1975	2,11	2,20	-0,09	-4,25	2000	3,45	3,21	0,24	7,09
1976	2,01	2,41	-0,40	-19,84	2001	3,61	3,03	0,58	16,06
1977	2,11	2,29	-0,18	-8,73	2002	3,64	2,70	0,94	25,70
1978	2,14	2,46	-0,32	-14,73	2003	3,56	2,77	0,79	22,26
1979	2,00	2,26	-0,26	-12,86	2004	3,87	3,29	0,58	14,95
1980	2,02	2,09	-0,07	-3,57	2005	3,83	3,42	0,41	10,64
1981	2,11	2,08	0,03	1,66	2006	3,90	3,28	0,62	15,95
1982	2,08	2,01	0,07	3,51	2007	3,71	3,27	0,44	11,89
1983	2,06	2,45	-0,39	-18,92	2008	3,50	3,36	0,14	3,99
1984	1,98	2,25	-0,27	-13,74	2009	3,30	2,84	0,46	13,99
1985	2,05	2,25	-0,20	-9,80	2010	3,18	3,35	-0,17	-5,40
1986	1,97	1,94	0,03	1,71	2011	3,07	3,03	0,04	1,30
1987	2,15	2,21	-0,06	-2,57	2012	3,02	3,19	-0,17	-5,55
1988	2,13	2,15	-0,02	-0,91	2013	2,86	2,87	-0,01	-0,31
1989	2,23	2,40	-0,17	-7,55	2014	2,73	2,56	0,17	6,38
1990	2,30	2,58	-0,28	-12,36	2015	2,58	2,90	-0,32	-12,44
1991	2,43	2,61	-0,18	-7,33	2016	2,44	2,92	-0,48	-19,51
1992	2,67	2,72	-0,05	-1,91	2017	2,30	3,31	-1,01	-43,95
1993	2,63	2,25	0,38	14,42	2018	2,15	2,30	-0,15	-7,02
1994	2,64	3,14	-0,50	-18,87					

Результаты ретроспективного расчета скользящей урожайности яровой пшеницы при длине шага 11 лет –  $Y_{11}$  в зависимости от факторов на примере Буинского муниципального района Республики Татарстан, (n=49), 3 факторов, среднее отклонение –10,58 %

Годы	Урожайность – $Y_{11}$ , т/га		Отклонение		Годы	Урожайность – $Y_{11}$ , т/га		Отклонение	
	$Y_{11}$	$Y_{11\text{расч.}}$	т/га	%		$Y_{11}$	$Y_{11\text{расч.}}$	т/га	%
1970	2,30	2,18	0,12	5,35	1995	2,74	2,97	-0,23	-8,27
1971	2,25	1,95	0,30	13,55	1996	2,98	3,38	-0,40	-13,36
1972	2,20	1,89	0,31	14,02	1997	3,22	3,69	-0,47	-14,55
1973	2,15	1,93	0,22	10,35	1998	3,36	3,32	0,04	1,12
1974	2,10	2,33	-0,23	-11,02	1999	3,42	3,32	0,10	3,05
1975	2,11	2,22	-0,11	-5,21	2000	3,45	3,21	0,24	6,88
1976	2,01	2,36	-0,35	-17,59	2001	3,61	2,89	0,72	19,98
1977	2,11	2,24	-0,13	-6,29	2002	3,64	2,74	0,90	24,81
1978	2,14	2,42	-0,28	-13,09	2003	3,56	2,75	0,81	22,89
1979	2,00	2,28	-0,28	-14,17	2004	3,87	3,31	0,56	14,38
1980	2,02	2,15	-0,13	-6,25	2005	3,83	3,49	0,34	8,78
1981	2,11	2,08	0,03	1,55	2006	3,90	3,21	0,69	17,62
1982	2,08	2,08	0,00	0,22	2007	3,71	3,21	0,50	13,40
1983	2,06	2,37	-0,31	-14,89	2008	3,50	3,35	0,15	4,29
1984	1,98	2,36	-0,38	-19,29	2009	3,30	2,81	0,49	14,73
1985	2,05	2,38	-0,33	-16,15	2010	3,18	3,32	-0,14	-4,45
1986	1,97	2,00	-0,03	-1,64	2011	3,07	3,08	-0,01	-0,45
1987	2,15	2,12	0,03	1,47	2012	3,02	3,19	-0,17	-5,61
1988	2,13	2,18	-0,05	-2,48	2013	2,86	2,91	-0,05	-1,87
1989	2,23	2,17	0,06	2,88	2014	2,73	2,62	0,11	3,86
1990	2,30	2,61	-0,31	-13,37	2015	2,58	2,88	-0,30	-11,79
1991	2,43	2,59	-0,16	-6,49	2016	2,44	2,95	-0,51	-20,70
1992	2,67	2,65	0,02	0,91	2017	2,30	3,30	-1,00	-43,38
1993	2,63	2,32	0,31	11,86	2018	2,15	2,37	-0,22	-10,28
1994	2,64	3,11	-0,47	-17,99					

Результаты ретроспективного расчета скользящей урожайности яровой пшеницы при длине шага 11 лет –  $Y_{11}$  в зависимости от факторов на примере Буинского муниципального района Республики Татарстан, (n =49), 2 факторов среднее отклонение –10,84 %

Годы	Урожайность – $Y_{11}$ , т/га		Отклонение		Годы	Урожайность – $Y_{11}$ , т/га		Отклонение	
	$Y_{11}$	$Y_{11расч.}$	т/га	%		$Y_{11}$	$Y_{11расч.}$	т/га	%
1970	2,30	2,14	0,16	7,06	1995	2,74	2,99	-0,25	-8,98
1971	2,25	1,89	0,36	15,91	1996	2,98	3,35	-0,37	-12,52
1972	2,20	1,93	0,27	12,13	1997	3,22	3,54	-0,32	-9,97
1973	2,15	1,98	0,17	8,11	1998	3,36	3,43	-0,07	-2,05
1974	2,10	2,33	-0,23	-10,81	1999	3,42	3,28	0,14	4,20
1975	2,11	2,30	-0,19	-8,95	2000	3,45	3,22	0,23	6,74
1976	2,01	2,27	-0,26	-12,86	2001	3,61	2,81	0,80	22,24
1977	2,11	2,26	-0,15	-7,06	2002	3,64	2,71	0,93	25,46
1978	2,14	2,30	-0,16	-7,55	2003	3,56	2,61	0,95	26,65
1979	2,00	2,39	-0,39	-19,34	2004	3,87	3,11	0,76	19,56
1980	2,02	2,20	-0,18	-9,13	2005	3,83	3,51	0,32	8,43
1981	2,11	2,17	-0,06	-2,65	2006	3,90	3,23	0,67	17,18
1982	2,08	2,01	0,07	3,55	2007	3,71	3,28	0,43	11,63
1983	2,06	2,30	-0,24	-11,52	2008	3,50	3,38	0,12	3,53
1984	1,98	2,38	-0,40	-20,42	2009	3,30	2,84	0,46	13,81
1985	2,05	2,20	-0,15	-7,22	2010	3,18	3,45	-0,27	-8,42
1986	1,97	2,05	-0,08	-4,01	2011	3,07	3,02	0,05	1,47
1987	2,15	2,18	-0,03	-1,41	2012	3,02	3,18	-0,16	-5,37
1988	2,13	2,23	-0,10	-4,72	2013	2,86	3,04	-0,18	-6,20
1989	2,23	2,20	0,03	1,32	2014	2,73	2,65	0,08	2,78
1990	2,30	2,55	-0,25	-10,90	2015	2,58	2,97	-0,39	-15,24
1991	2,43	2,68	-0,25	-10,25	2016	2,44	2,90	-0,46	-18,68
1992	2,67	2,75	-0,08	-3,13	2017	2,30	3,24	-0,94	-40,97
1993	2,63	2,34	0,29	10,86	2018	2,15	2,40	-0,25	-11,53
1994	2,64	3,08	-0,44	-16,61					

Результаты ретроспективного расчета скользящей урожайности яровой пшеницы при длине шага 11 лет –  $Y_{11}$  в зависимости от факторов на примере Буинского муниципального района Республики Татарстан, (n =49), 1 фактор, среднее отклонение – 11,94 %

Годы	Урожайность – $Y_{11}$ , т/га		Отклонение		Годы	Урожайность – $Y_{11}$ , т/га		Отклонение	
	$Y_{11}$	$Y_{11\text{расч.}}$	т/га	%		$Y_{11}$	$Y_{11\text{расч.}}$	т/га	%
1970	2,30	2,30	0,00	0,16	1995	2,74	2,78	-0,04	-1,46
1971	2,25	2,01	0,24	10,48	1996	2,98	3,22	-0,24	-8,00
1972	2,20	2,03	0,17	7,58	1997	3,22	3,57	-0,35	-10,97
1973	2,15	2,06	0,09	4,08	1998	3,36	3,15	0,21	6,37
1974	2,10	2,48	-0,38	-18,04	1999	3,42	2,98	0,44	12,81
1975	2,11	2,48	-0,37	-17,44	2000	3,45	3,11	0,34	9,79
1976	2,01	2,48	-0,47	-23,14	2001	3,61	2,66	0,95	26,44
1977	2,11	2,41	-0,30	-14,11	2002	3,64	2,50	1,14	31,36
1978	2,14	2,44	-0,30	-13,86	2003	3,56	2,47	1,09	30,61
1979	2,00	2,46	-0,46	-23,16	2004	3,87	3,27	0,60	15,51
1980	2,02	2,28	-0,26	-12,71	2005	3,83	3,77	0,06	1,66
1981	2,11	2,20	-0,09	-4,29	2006	3,9	3,30	0,60	15,39
1982	2,08	2,00	0,08	3,68	2007	3,71	3,38	0,33	8,78
1983	2,06	2,27	-0,21	-10,14	2008	3,50	3,49	0,01	0,23
1984	1,98	2,38	-0,40	-20,39	2009	3,30	2,80	0,50	15,19
1985	2,05	2,16	-0,11	-5,23	2010	3,18	3,53	-0,35	-11,03
1986	1,97	2,04	-0,07	-3,55	2011	3,07	2,99	0,08	2,64
1987	2,15	2,19	-0,04	-2,06	2012	3,02	3,26	-0,24	-8,05
1988	2,13	2,27	-0,14	-6,61	2013	2,86	3,00	-0,14	-4,81
1989	2,23	2,06	0,17	7,82	2014	2,73	2,58	0,15	5,51
1990	2,30	2,48	-0,18	-7,90	2015	2,58	2,90	-0,32	-12,58
1991	2,43	2,56	-0,13	-5,24	2016	2,44	2,79	-0,35	-14,23
1992	2,67	2,80	-0,13	-4,90	2017	2,30	3,22	-0,92	-39,93
1993	2,63	2,44	0,19	7,24	2018	2,15	2,30	-0,15	-6,99
1994	2,64	2,94	-0,30	-11,53					

Результаты ретроспективного расчета скользящей урожайности яровой пшеницы при длине шага 22 –  $Y_{22}$  года в зависимости от факторов на примере Буинского муниципального района Республики Татарстан, (n =49), шаг 2, 11 факторов, среднее отклонение – 6,09%

Годы	Урожайность – $Y_{22}$ , т/га		Отклонение		Годы	Урожайность – $Y_{22}$ , т/га		Отклонение	
	$Y_{22}$	$Y_{22\text{расч.}}$	т/га	%		$Y_{22}$	$Y_{22\text{расч.}}$	т/га	%
1970	2,11	2,04	0,07	3,46	1995	2,95	2,93	0,02	0,81
1971	2,10	1,90	0,20	9,66	1996	3,04	3,19	-0,15	5,06
1972	2,10	1,84	0,26	12,19	1997	3,12	3,35	-0,23	7,51
1973	2,10	1,96	0,14	6,62	1998	3,25	3,26	-0,01	0,28
1974	2,10	2,20	-0,10	4,81	1999	3,24	3,31	-0,07	2,28
1975	2,10	2,13	-0,03	1,37	2000	3,32	3,17	0,15	4,59
1976	2,10	2,24	-0,14	6,47	2001	3,34	3,01	0,33	9,80
1977	2,10	2,18	-0,08	4,02	2002	3,36	2,84	0,52	15,58
1978	2,10	2,31	-0,21	9,90	2003	3,33	2,88	0,45	13,59
1979	2,10	2,33	-0,23	10,72	2004	3,30	2,98	0,32	9,61
1980	2,04	2,19	-0,15	7,27	2005	3,26	3,14	0,12	3,56
1981	2,08	2,15	-0,07	3,45	2006	3,32	3,03	0,29	8,67
1982	2,12	2,22	-0,10	4,63	2007	3,25	3,10	0,15	4,50
1983	2,18	2,51	-0,33	14,91	2008	3,21	3,16	0,05	1,61
1984	2,15	2,43	-0,28	12,93	2009	3,16	2,83	0,33	10,31
1985	2,22	2,38	-0,16	7,30	2010	3,10	3,12	-0,02	0,63
1986	2,39	2,26	0,13	5,48	2011	3,05	3,05	0,00	0,01
1987	2,35	2,42	-0,07	3,02	2012	3,00	3,04	-0,04	1,38
1988	2,35	2,36	-0,01	0,61	2013	2,95	2,95	0,00	0,06
1989	2,36	2,51	-0,15	6,18	2014	2,89	2,82	0,07	2,41
1990	2,51	2,65	-0,14	5,70	2015	2,84	2,98	-0,14	4,86
1991	2,60	2,67	-0,07	2,70	2016	2,79	2,98	-0,19	6,67
1992	2,75	2,75	0,00	0,12	2017	2,74	3,25	-0,51	18,67
1993	2,77	2,44	0,33	11,77	2018	2,68	2,65	0,03	1,21
1994	2,84	3,10	-0,26	9,31					



Результаты ретроспективного расчета скользящей урожайности яровой пшеницы при длине шага 22 –  $Y_{22}$  года в зависимости от факторов на примере Буинского муниципального района Республики Татарстан, (n =49), шаг 3, факторов, среднее отклонение – 8,6%

Годы	Урожайность – $Y_{22}$ , т/га		Отклонение		Годы	Урожайность – $Y_{22}$ , т/га		Отклонение	
	$Y_{22}$	$Y_{22расч.}$	т/га	%		$Y_{22}$	$Y_{22расч.}$	т/га	%
1970	2,11	2,06	0,05	2,39	1995	2,95	2,92	0,03	0,86
1971	2,10	1,91	0,19	8,85	1996	3,04	3,20	-0,16	5,30
1972	2,10	1,86	0,24	11,45	1997	3,12	3,36	-0,24	7,58
1973	2,10	1,97	0,13	6,40	1998	3,25	3,26	-0,01	0,34
1974	2,10	2,21	-0,11	5,12	1999	3,24	3,31	-0,07	2,23
1975	2,10	2,13	-0,03	1,43	2000	3,32	3,17	0,15	4,55
1976	2,10	2,23	-0,13	6,04	2001	3,34	3,01	0,33	9,96
1977	2,10	2,17	-0,07	3,35	2002	3,36	2,84	0,52	15,58
1978	2,10	2,30	-0,20	9,34	2003	3,33	2,87	0,46	13,76
1979	2,10	2,32	-0,22	10,27	2004	3,30	2,98	0,32	9,81
1980	2,04	2,17	-0,13	6,13	2005	3,26	3,15	0,11	3,32
1981	2,08	2,13	-0,05	2,56	2006	3,32	3,03	0,29	8,79
1982	2,12	2,21	-0,09	4,07	2007	3,25	3,11	0,14	4,44
1983	2,18	2,50	-0,32	14,84	2008	3,21	3,16	0,05	1,62
1984	2,15	2,43	-0,28	12,82	2009	3,16	2,82	0,34	10,80
1985	2,22	2,38	-0,16	7,39	2010	3,10	3,12	-0,02	0,55
1986	2,39	2,27	0,12	5,10	2011	3,05	3,05	0,00	0,01
1987	2,35	2,43	-0,08	3,45	2012	3,00	3,04	-0,04	1,28
1988	2,35	2,37	-0,02	0,96	2013	2,95	2,95	0,00	0,04
1989	2,36	2,51	-0,15	6,25	2014	2,89	2,82	0,07	2,51
1990	2,51	2,67	-0,16	6,28	2015	2,84	2,98	-0,14	4,83
1991	2,60	2,68	-0,08	2,92	2016	2,79	2,98	-0,19	6,75
1992	2,75	2,75	0,00	0,15	2017	2,74	3,26	-0,52	18,94
1993	2,77	2,44	0,33	11,93	2018	2,68	2,64	0,04	1,40
1994	2,84	3,11	-0,27	9,56					

Результаты ретроспективного расчета скользящей урожайности яровой пшеницы при длине шага 22 –  $Y_{22}$  года в зависимости от факторов на примере Буинского муниципального района Республики Татарстан, (n=49), шаг 4, факторов, среднее отклонение – 6,01 %

Годы	Урожайность – $Y_{22}$ , т/га		Отклонение		Годы	Урожайность – $Y_{22}$ , т/га		Отклонение	
	$Y_{22}$	$Y_{22\text{расч.}}$	т/га	%		$Y_{22}$	$Y_{22\text{расч.}}$	т/га	%
1970	2,11	2,05	0,06	2,96	1995	2,95	2,92	0,03	0,90
1971	2,10	1,92	0,18	8,60	1996	3,04	3,20	-0,16	5,41
1972	2,10	1,88	0,22	10,71	1997	3,12	3,37	-0,25	8,14
1973	2,10	1,97	0,13	6,32	1998	3,25	3,26	-0,01	0,21
1974	2,10	2,20	-0,10	4,78	1999	3,24	3,30	-0,06	1,91
1975	2,10	2,13	-0,03	1,33	2000	3,32	3,16	0,16	4,67
1976	2,10	2,22	-0,12	5,60	2001	3,34	3,01	0,33	9,93
1977	2,10	2,16	-0,06	3,05	2002	3,36	2,85	0,51	15,27
1978	2,10	2,31	-0,21	9,83	2003	3,33	2,86	0,47	14,06
1979	2,10	2,32	-0,22	10,33	2004	3,30	2,97	0,33	10,10
1980	2,04	2,17	-0,13	6,17	2005	3,26	3,15	0,11	3,22
1981	2,08	2,15	-0,07	3,30	2006	3,32	3,03	0,29	8,75
1982	2,12	2,21	-0,09	4,28	2007	3,25	3,11	0,14	4,39
1983	2,18	2,51	-0,33	15,21	2008	3,21	3,16	0,05	1,70
1984	2,15	2,40	-0,25	11,83	2009	3,16	2,82	0,34	10,70
1985	2,22	2,38	-0,16	7,36	2010	3,10	3,12	-0,02	0,76
1986	2,39	2,27	0,12	4,91	2011	3,05	3,05	0,00	0,01
1987	2,35	2,42	-0,07	3,01	2012	3,00	3,04	-0,04	1,40
1988	2,35	2,37	-0,02	0,87	2013	2,95	2,95	0,00	0,04
1989	2,36	2,51	-0,15	6,21	2014	2,89	2,81	0,08	2,66
1990	2,51	2,68	-0,17	6,84	2015	2,84	2,98	-0,14	4,78
1991	2,60	2,68	-0,08	2,92	2016	2,79	2,99	-0,20	7,27
1992	2,75	2,76	-0,01	0,24	2017	2,74	3,26	-0,52	18,90
1993	2,77	2,44	0,33	11,99	2018	2,68	2,65	0,03	1,22
1994	2,84	3,11	-0,27	9,37					

Результаты ретроспективного расчета скользящей урожайности яровой пшеницы при длине шага 22 –  $Y_{22}$  года в зависимости от факторов на примере Буинского муниципального района Республики Татарстан, (n =49), шаг 5, факторов, среднее отклонение – 6,04 %

Годы	Урожайность – $Y_{22}$ , т/га		Отклонение		Годы	Урожайность – $Y_{22}$ , т/га		Отклонение	
	$Y_{22}$	$Y_{22расч.}$	т/га	%		$Y_{22}$	$Y_{22расч.}$	т/га	%
1970	2,11	2,06	0,05	2,47	1995	2,95	2,91	0,04	1,25
1971	2,10	1,91	0,19	8,88	1996	3,04	3,19	-0,15	4,92
1972	2,10	1,87	0,23	10,92	1997	3,12	3,37	-0,25	8,09
1973	2,10	1,97	0,13	6,08	1998	3,25	3,27	-0,02	0,76
1974	2,10	2,19	-0,09	4,46	1999	3,24	3,31	-0,07	2,15
1975	2,10	2,12	-0,02	1,02	2000	3,32	3,16	0,16	4,81
1976	2,10	2,21	-0,11	5,40	2001	3,34	3,01	0,33	9,76
1977	2,10	2,17	-0,07	3,14	2002	3,36	2,86	0,50	15,03
1978	2,10	2,31	-0,21	9,98	2003	3,33	2,85	0,48	14,52
1979	2,10	2,33	-0,23	10,88	2004	3,30	2,98	0,32	9,64
1980	2,04	2,17	-0,13	6,27	2005	3,26	3,15	0,11	3,46
1981	2,08	2,15	-0,07	3,29	2006	3,32	3,03	0,29	8,75
1982	2,12	2,21	-0,09	4,18	2007	3,25	3,11	0,14	4,37
1983	2,18	2,50	-0,32	14,70	2008	3,21	3,15	0,06	1,80
1984	2,15	2,41	-0,26	11,89	2009	3,16	2,80	0,36	11,38
1985	2,22	2,39	-0,17	7,73	2010	3,10	3,12	-0,02	0,74
1986	2,39	2,27	0,12	5,16	2011	3,05	3,05	0,00	0,00
1987	2,35	2,42	-0,07	2,81	2012	3,00	3,05	-0,05	1,67
1988	2,35	2,36	-0,01	0,60	2013	2,95	2,96	-0,01	0,29
1989	2,36	2,51	-0,15	6,29	2014	2,89	2,80	0,09	3,01
1990	2,51	2,70	-0,19	7,56	2015	2,84	2,98	-0,14	4,77
1991	2,60	2,68	-0,08	3,03	2016	2,79	2,99	-0,20	7,24
1992	2,75	2,76	-0,01	0,28	2017	2,74	3,26	-0,52	18,94
1993	2,77	2,45	0,32	11,59	2018	2,68	2,65	0,03	1,18
1994	2,84	3,09	-0,25	8,67					

Результаты ретроспективного расчета скользящей урожайности яровой пшеницы при длине шага 22 –  $Y_{22}$  года в зависимости от факторов на примере Буинского муниципального района Республики Татарстан, (n =49), шаг 6, 7 факторов, среднее отклонение – 6,07 %

Годы	Урожайность – $Y_{22}$ , т/га		Отклонение		Годы	Урожайность – $Y_{22}$ , т/га		Отклонение	
	$Y_{22}$	$Y_{22\text{расч}}$	т/га	%		$Y_{22}$	$Y_{22\text{расч}}$	т/га	%
1970	2,11	2,06	0,05	2,41	1995	2,95	2,91	0,04	1,20
1971	2,10	1,91	0,19	8,83	1996	3,04	3,19	-0,15	5,02
1972	2,10	1,87	0,23	10,88	1997	3,12	3,37	-0,25	8,14
1973	2,10	1,97	0,13	6,13	1998	3,25	3,28	-0,03	0,81
1974	2,10	2,19	-0,09	4,51	1999	3,24	3,31	-0,07	2,21
1975	2,10	2,12	-0,02	1,01	2000	3,32	3,16	0,16	4,76
1976	2,10	2,21	-0,11	5,43	2001	3,34	3,01	0,33	9,75
1977	2,10	2,17	-0,07	3,11	2002	3,36	2,86	0,50	14,95
1978	2,10	2,31	-0,21	10,03	2003	3,33	2,85	0,48	14,43
1979	2,10	2,33	-0,23	10,85	2004	3,30	2,99	0,31	9,51
1980	2,04	2,17	-0,13	6,26	2005	3,26	3,15	0,11	3,38
1981	2,08	2,15	-0,07	3,24	2006	3,32	3,03	0,29	8,71
1982	2,12	2,21	-0,09	4,25	2007	3,25	3,11	0,14	4,36
1983	2,18	2,50	-0,32	14,71	2008	3,21	3,15	0,06	1,74
1984	2,15	2,41	-0,26	11,96	2009	3,16	2,80	0,36	11,34
1985	2,22	2,40	-0,18	7,92	2010	3,10	3,12	-0,02	0,77
1986	2,39	2,27	0,12	5,17	2011	3,05	2,99	0,06	1,83
1987	2,35	2,41	-0,06	2,72	2012	3,00	3,05	-0,05	1,78
1988	2,35	2,36	-0,01	0,56	2013	2,95	2,96	-0,01	0,38
1989	2,36	2,51	-0,15	6,15	2014	2,89	2,81	0,08	2,87
1990	2,51	2,70	-0,19	7,58	2015	2,84	2,98	-0,14	4,87
1991	2,60	2,68	-0,08	2,98	2016	2,79	3,00	-0,21	7,43
1992	2,75	2,75	0,00	0,15	2017	2,74	3,26	-0,52	19,12
1993	2,77	2,45	0,32	11,66	2018	2,68	2,65	0,03	1,06
1994	2,84	3,09	-0,25	8,69					

Результаты ретроспективного расчета скользящей урожайности яровой пшеницы при длине шага 22 –  $Y_{22}$  года в зависимости от факторов на примере Буинского муниципального района Республики Татарстан, ( $n=49$ ), шаг 7,6 факторов, среднее отклонение – 5,98 %

Годы	Урожайность – $Y_{22}$ , т/га		Отклонение		Годы	Урожайность – $Y_{22}$ , т/га		Отклонение	
	$Y_{22}$	$Y_{22\text{расч}}$	т/га	%		$Y_{22}$	$Y_{22\text{расч}}$	т/га	%
1970	2,11	1,97	0,14	6,60	1995	2,95	2,89	0,06	2,12
1971	2,10	1,84	0,26	12,59	1996	3,04	3,13	-0,09	2,83
1972	2,10	1,81	0,29	13,98	1997	3,12	3,35	-0,23	7,52
1973	2,10	1,91	0,19	9,21	1998	3,25	3,22	0,03	0,79
1974	2,10	2,11	-0,01	0,40	1999	3,24	3,23	0,01	0,22
1975	2,10	2,05	0,05	2,40	2000	3,32	3,07	0,25	7,56
1976	2,10	2,14	-0,04	2,02	2001	3,34	2,90	0,44	13,13
1977	2,10	2,11	-0,01	0,68	2002	3,36	2,75	0,61	18,25
1978	2,10	2,21	-0,11	5,44	2003	3,33	2,72	0,61	18,42
1979	2,10	2,17	-0,07	3,25	2004	3,30	2,95	0,35	10,63
1980	2,04	2,07	-0,03	1,71	2005	3,26	3,06	0,20	6,29
1981	2,08	2,10	-0,02	0,97	2006	3,32	2,98	0,34	10,16
1982	2,12	2,09	0,03	1,42	2007	3,25	2,97	0,28	8,47
1983	2,18	2,38	-0,20	9,02	2008	3,21	3,03	0,18	5,50
1984	2,15	2,34	-0,19	8,72	2009	3,16	2,75	0,41	13,03
1985	2,22	2,35	-0,13	5,96	2010	3,10	3,07	0,03	0,86
1986	2,39	2,19	0,20	8,23	2011	3,05	2,91	0,14	4,51
1987	2,35	2,36	-0,01	0,33	2012	3,00	3,00	0,00	0,12
1988	2,35	2,33	0,02	1,00	2013	2,95	2,89	0,06	2,18
1989	2,36	2,46	-0,10	4,18	2014	2,89	2,71	0,18	6,36
1990	2,51	2,59	-0,08	3,15	2015	2,84	2,91	-0,07	2,55
1991	2,60	2,62	-0,02	0,75	2016	2,79	2,92	-0,13	4,66
1992	2,75	2,62	0,13	4,88	2017	2,74	3,13	-0,39	14,40
1993	2,77	2,34	0,43	15,48	2018	2,68	2,54	0,14	5,31
1994	2,84	2,97	-0,13	4,66					

Результаты ретроспективного расчета скользящей урожайности яровой пшеницы при длине шага 22 –  $Y_{22}$  года в зависимости от факторов на примере Буинского муниципального района Республики Татарстан, (n =49), шаг 8, 5 факторов, среднее отклонение – 6,32%

Годы	Урожайность – $Y_{22}$ , т/га		Отклонение		Годы	Урожайность – $Y_{22}$ , т/га		Отклонение	
	$Y_{22}$	$Y_{22\text{расч}}$	т/га	%		$Y_{22}$	$Y_{22\text{расч}}$	т/га	%
1970	2,11	2,05	0,06	2,67	1995	2,95	3,00	-0,05	1,74
1971	2,10	1,92	0,18	8,63	1996	3,04	3,26	-0,22	7,17
1972	2,10	1,92	0,18	8,57	1997	3,12	3,40	-0,28	9,03
1973	2,10	1,96	0,14	6,71	1998	3,25	3,33	-0,08	2,55
1974	2,10	2,20	-0,10	4,84	1999	3,24	3,29	-0,05	1,61
1975	2,10	2,15	-0,05	2,15	2000	3,32	3,15	0,17	5,01
1976	2,10	2,21	-0,11	5,22	2001	3,34	2,93	0,41	12,34
1977	2,10	2,18	-0,08	3,83	2002	3,36	2,85	0,51	15,33
1978	2,10	2,29	-0,19	8,89	2003	3,33	2,79	0,54	16,18
1979	2,10	2,27	-0,17	7,95	2004	3,30	3,03	0,27	8,05
1980	2,04	2,18	-0,14	6,99	2005	3,26	3,16	0,10	3,12
1981	2,08	2,19	-0,11	5,10	2006	3,32	3,04	0,28	8,50
1982	2,12	2,20	-0,08	3,77	2007	3,25	3,03	0,22	6,69
1983	2,18	2,43	-0,25	11,36	2008	3,21	3,11	0,10	3,12
1984	2,15	2,46	-0,31	14,50	2009	3,16	2,82	0,34	10,73
1985	2,22	2,48	-0,26	11,81	2010	3,10	3,14	-0,04	1,36
1986	2,39	2,29	0,10	4,05	2011	3,05	3,01	0,04	1,17
1987	2,35	2,40	-0,05	1,92	2012	3,00	3,07	-0,07	2,43
1988	2,35	2,41	-0,06	2,62	2013	2,95	2,98	-0,03	1,06
1989	2,36	2,45	-0,09	3,68	2014	2,89	2,81	0,08	2,83
1990	2,51	2,68	-0,17	6,71	2015	2,84	2,98	-0,14	5,04
1991	2,60	2,70	-0,10	3,68	2016	2,79	3,01	-0,22	7,88
1992	2,75	2,67	0,08	3,08	2017	2,74	3,21	-0,47	17,05
1993	2,77	2,44	0,33	11,90	2018	2,68	2,64	0,04	1,50
1994	2,84	3,05	-0,21	7,34					

Результаты ретроспективного расчета скользящей урожайности яровой пшеницы при длине шага 22 –  $Y_{22}$  года в зависимости от факторов на примере Буинского муниципального района Республики Татарстан, (n =49), шаг 9, 4 факторов, среднее отклонение – 6,36 %

Годы	Урожайность – $Y_{22}$ , т/га		Отклонение		Годы	Урожайность – $Y_{22}$ , т/га		Отклонение	
	$Y_{22}$	$Y_{22\text{расч}}$	т/га	%		$Y_{22}$	$Y_{22\text{расч}}$	т/га	%
1970	2,11	2,04	0,07	3,53	1995	2,95	3,01	-0,06	2,09
1971	2,10	1,89	0,21	9,81	1996	3,04	3,25	-0,21	6,81
1972	2,10	1,94	0,16	7,60	1997	3,12	3,33	-0,21	6,79
1973	2,10	1,98	0,12	5,60	1998	3,25	3,38	-0,13	4,14
1974	2,10	2,20	-0,10	4,77	1999	3,24	3,27	-0,03	1,06
1975	2,10	2,18	-0,08	3,96	2000	3,32	3,16	0,16	4,93
1976	2,10	2,16	-0,06	3,08	2001	3,34	2,89	0,45	13,51
1977	2,10	2,19	-0,09	4,22	2002	3,36	2,83	0,53	15,66
1978	2,10	2,23	-0,13	6,23	2003	3,33	2,73	0,60	18,10
1979	2,10	2,32	-0,22	10,33	2004	3,30	2,94	0,36	10,96
1980	2,04	2,21	-0,17	8,37	2005	3,26	3,16	0,10	2,93
1981	2,08	2,23	-0,15	7,14	2006	3,32	3,05	0,27	8,27
1982	2,12	2,17	-0,05	2,21	2007	3,25	3,06	0,19	5,74
1983	2,18	2,39	-0,21	9,84	2008	3,21	3,12	0,09	2,73
1984	2,15	2,47	-0,32	14,98	2009	3,16	2,84	0,32	10,28
1985	2,22	2,39	-0,17	7,86	2010	3,10	3,20	-0,10	3,29
1986	2,39	2,31	0,08	3,17	2011	3,05	2,99	0,06	2,11
1987	2,35	2,42	-0,07	3,12	2012	3,00	3,07	-0,07	2,28
1988	2,35	2,43	-0,08	3,53	2013	2,95	3,04	-0,09	3,02
1989	2,36	2,46	-0,10	4,36	2014	2,89	2,82	0,07	2,40
1990	2,51	2,65	-0,14	5,63	2015	2,84	3,02	-0,18	6,48
1991	2,60	2,74	-0,14	5,37	2016	2,79	2,99	-0,20	6,99
1992	2,75	2,72	0,03	1,20	2017	2,74	3,18	-0,44	16,04
1993	2,77	2,45	0,32	11,46	2018	2,68	2,65	0,03	1,09
1994	2,84	3,03	-0,19	6,76					

Результаты ретроспективного расчета скользящей урожайности яровой пшеницы при длине шага 22 –  $Y_{22}$  года в зависимости от факторов на примере Буинского муниципального района Республики Татарстан, (n =49), шаг10, 3 факторов, среднее отклонение – 6,66 %

Годы	Урожайность – $Y_{22}$ , т/га		Отклонение		Годы	Урожайность – $Y_{22}$ , т/га		Отклонение	
	$Y_{22}$	$Y_{22\text{расч}}$	т/га	%		$Y_{22}$	$Y_{22\text{расч}}$	т/га	%
1970	2,11	2,08	0,03	1,35	1995	2,95	3,09	-0,14	4,60
1971	2,10	1,93	0,17	8,21	1996	3,04	3,32	-0,28	9,20
1972	2,10	1,98	0,12	5,82	1997	3,12	3,37	-0,25	8,05
1973	2,10	2,02	0,08	3,63	1998	3,25	3,46	-0,21	6,61
1974	2,10	2,25	-0,15	7,22	1999	3,24	3,35	-0,11	3,27
1975	2,10	2,22	-0,12	5,90	2000	3,32	3,19	0,13	4,04
1976	2,10	2,19	-0,09	4,52	2001	3,34	2,90	0,44	13,25
1977	2,10	2,23	-0,13	6,03	2002	3,36	2,85	0,51	15,23
1978	2,10	2,27	-0,17	8,22	2003	3,33	2,72	0,61	18,32
1979	2,10	2,37	-0,27	13,05	2004	3,30	2,91	0,39	11,84
1980	2,04	2,25	-0,21	10,37	2005	3,26	3,14	0,12	3,54
1981	2,08	2,25	-0,17	8,37	2006	3,32	3,05	0,27	8,27
1982	2,12	2,17	-0,05	2,27	2007	3,25	3,06	0,19	5,78
1983	2,18	2,40	-0,22	10,27	2008	3,21	3,13	0,08	2,52
1984	2,15	2,46	-0,31	14,52	2009	3,16	2,83	0,33	10,31
1985	2,22	2,36	-0,14	6,26	2010	3,10	3,20	-0,10	3,13
1986	2,39	2,24	0,15	6,14	2011	3,05	2,95	0,10	3,30
1987	2,35	2,34	0,01	0,57	2012	3,00	3,00	0,00	0,10
1988	2,35	2,36	-0,01	0,63	2013	2,95	2,96	-0,01	0,17
1989	2,36	2,45	-0,09	3,76	2014	2,89	2,69	0,20	6,87
1990	2,51	2,67	-0,16	6,29	2015	2,84	2,92	-0,08	2,87
1991	2,60	2,80	-0,20	7,52	2016	2,79	2,89	-0,10	3,50
1992	2,75	2,76	-0,01	0,53	2017	2,74	3,10	-0,36	12,96
1993	2,77	2,45	0,32	11,69	2018	2,68	2,52	0,16	5,89
1994	2,84	3,11	-0,27	9,46					



Результаты ретроспективного расчета фактической урожайности яровой пшеницы –  $У_{\text{ф}}$  (после исключения экстремальных годов), в зависимости от 11 факторов, шаг 2, среднее отклонение – 16,91%

№ п/п	Годы	Урожайность – $У_{\text{ф}}$ , т/га		Отклонение	
		$У_{\text{ф}}$	$У_{\text{фрасч}}$	т/га	%
1.	1970	2,26	1,51	0,75	33,32
2.	1971	2,04	2,41	-0,37	18,16
3.	1972	2,03	1,81	0,22	11,03
4.	1973	3,09	2,19	0,90	29,06
5.	1974	1,88	2,34	-0,46	24,61
6.	1976	2,22	3,26	-1,04	47,02
7.	1977	1,82	2,64	-0,82	45,31
8.	1980	2,50	2,60	-0,10	3,90
9.	1982	3,23	3,20	0,03	0,90
10.	1984	1,53	1,22	0,31	20,20
11.	1985	2,07	2,13	-0,06	2,76
12.	1986	2,39	1,83	0,56	23,31
13.	1987	1,86	2,07	-0,21	11,11
14.	1988	1,69	1,74	-0,05	3,13
15.	1990	2,31	2,97	-0,66	28,60
16.	1991	1,68	2,17	-0,49	29,17
<b>17.</b>	<b>1992</b>	3,07	3,38	-0,31	9,98
18.	1993	3,01	2,47	0,54	18,10
19.	1994	3,42	3,97	-0,55	16,13
20.	1995	2,30	2,45	-0,15	6,33
21.	1996	3,50	3,16	0,34	9,60
22.	1997	5,10	4,98	0,12	2,35
<b>23.</b>	<b>1998</b>	1,41	1,67	-0,26	18,28
24.	2000	2,55	3,24	-0,69	26,87
25.	2001	4,94	4,48	0,46	9,26
26.	2002	4,37	3,10	1,27	29,04
27.	2003	4,61	4,21	0,40	8,66
<b>28.</b>	<b>2004</b>	3,67	3,34	0,33	9,00
29.	2005	3,76	3,59	0,17	4,50
30.	2006	4,00	3,50	0,50	12,60
31.	2007	3,91	3,95	-0,04	1,00
32.	2008	4,25	3,79	0,46	10,75
33.	2009	4,80	3,76	1,04	21,71
34.	2011	3,24	3,24	0,00	0,05
35.	2012	2,92	3,18	-0,26	8,79
36.	2013	2,06	1,87	0,19	9,07
37.	2014	2,37	2,64	-0,27	11,25
38.	2015	2,39	2,50	-0,11	4,43
39.	2016	2,50	3,46	-0,96	38,43
40.	2017	3,52	3,73	-0,21	5,83
41.	2018	2,04	2,62	-0,58	28,57

Результаты ретроспективного расчета фактической урожайности яровой пшеницы –  $У_{\phi}$  (после исключения экстремальных годов), ( $n=41$ ),  $У_{\phi}$  в зависимости от факторов, шаг 3, 10 факторов, среднее отклонение –16,01%

№ п/п	Годы	Урожайность – $У_{\phi}$ , т/га		Отклонение	
		$У_{\phi}$	$У_{\text{фрасч}}$	т/га	%
1.	1970	2,26	1,51	0,75	33,16
2.	1971	2,04	2,42	-0,38	18,53
3.	1972	2,03	1,80	0,23	11,40
4.	1973	3,09	2,18	0,91	29,37
5.	1974	1,88	2,37	-0,49	25,82
6.	1976	2,22	3,29	-1,07	48,40
7.	1977	1,82	2,63	-0,81	44,40
8.	1980	2,50	2,64	-0,14	5,62
9.	1982	3,23	3,20	0,03	0,92
10.	1984	1,53	1,18	0,35	22,63
11.	1985	2,07	2,15	-0,08	3,66
12.	1986	2,39	1,87	0,52	21,63
13.	1987	1,86	2,03	-0,17	9,34
14.	1988	1,69	1,75	-0,06	3,84
15.	1990	2,31	2,97	-0,66	28,41
16.	1991	1,68	2,15	-0,47	27,94
<b>17.</b>	<b>1992</b>	3,07	3,40	-0,33	10,72
18.	1993	3,01	2,45	0,56	18,61
19.	1994	3,42	3,98	-0,56	16,47
20.	1995	2,30	2,42	-0,12	5,34
21.	1996	3,50	3,12	0,38	10,88
22.	1997	5,10	5,00	0,10	2,06
<b>23.</b>	<b>1998</b>	1,41	1,70	-0,29	20,62
24.	2000	2,55	3,34	-0,79	30,89
25.	2001	4,94	4,43	0,51	10,25
26.	2002	4,37	3,15	1,22	27,99
27.	2003	4,61	4,17	0,44	9,57
<b>28.</b>	<b>2004</b>	3,67	3,35	0,32	8,80
29.	2005	3,76	3,55	0,21	5,47
30.	2006	4,00	3,53	0,47	11,83
31.	2007	3,91	3,90	0,01	0,30
32.	2008	4,25	3,82	0,43	10,12
33.	2009	4,80	3,78	1,02	21,21
34.	2011	3,24	3,24	0,00	0,06
35.	2012	2,92	3,14	-0,22	7,68
36.	2013	2,06	1,87	0,19	9,02
37.	2014	2,37	2,60	-0,23	9,50
38.	2015	2,39	2,49	-0,10	4,03
39.	2016	2,50	3,43	-0,93	37,02
40.	2017	3,52	3,76	-0,24	6,78
41.	2018	2,04	2,61	-0,57	27,99

Результаты ретроспективного расчета фактической урожайности яровой пшеницы –  $У_{\phi}$  (после исключения экстремальных годов), ( $n = 41$ ), в зависимости от 9 факторов,  $n=41$ , шаг 4, среднее отклонение –16,30%

№ п/п	Годы	Урожайность – $У_{\phi}$ , т/га		Отклонение	
		$У_{\phi}$	$У_{\text{фрасч.}}$	т/га	%
1.	1970	2,26	1,53	0,73	32,11
2.	1971	2,04	2,40	-0,36	17,84
3.	1972	2,03	1,76	0,27	13,43
4.	1973	3,09	2,18	0,91	29,31
5.	1974	1,88	2,38	-0,50	26,53
6.	1976	2,22	3,31	-1,09	49,01
7.	1977	1,82	2,64	-0,82	45,00
8.	1980	2,50	2,62	-0,12	5,00
9.	1982	3,23	3,17	0,06	1,79
10.	1984	1,53	1,22	0,31	20,06
11.	1985	2,07	2,12	-0,05	2,32
12.	1986	2,39	1,86	0,53	21,98
13.	1987	1,86	2,08	-0,22	11,68
14.	1988	1,69	1,77	-0,08	4,65
15.	1990	2,31	2,93	-0,62	26,65
16.	1991	1,68	2,16	-0,48	28,79
<b>17.</b>	<b>1992</b>	3,07	3,42	-0,35	11,31
18.	1993	3,01	2,45	0,56	18,45
19.	1994	3,42	4,01	-0,59	17,19
20.	1995	2,30	2,43	-0,13	5,53
21.	1996	3,50	3,11	0,39	11,28
22.	1997	5,10	4,95	0,15	2,97
<b>23.</b>	<b>1998</b>	1,41	1,70	-0,29	20,78
24.	2000	2,55	3,34	-0,79	31,06
25.	2001	4,94	4,43	0,51	10,36
26.	2002	4,37	3,10	1,27	28,98
27.	2003	4,61	4,18	0,43	9,34
<b>28.</b>	<b>2004</b>	3,67	3,33	0,34	9,19
29.	2005	3,76	3,53	0,23	6,13
30.	2006	4,00	3,51	0,49	12,17
31.	2007	3,91	3,89	0,02	0,57
32.	2008	4,25	3,81	0,44	10,28
33.	2009	4,80	3,77	1,03	21,47
34.	2011	3,24	3,58	-0,34	10,39
35.	2012	2,92	3,11	-0,19	6,40
36.	2013	2,06	1,85	0,21	10,00
37.	2014	2,37	2,58	-0,21	8,74
38.	2015	2,39	2,47	-0,08	3,30
39.	2016	2,50	3,36	-0,86	34,24
40.	2017	3,52	3,73	-0,21	5,98
41.	2018	2,04	2,57	-0,53	25,95

Результаты ретроспективного расчета фактической урожайности яровой пшеницы –  $У_{\phi}$  (после исключения экстремальных годов), ( $n = 41$ ), в зависимости от 9 факторов, шаг 5, среднее отклонение –16,72 %

№ п/п	Годы	Урожайность – $У_{\phi}$ , т/га		Отклонение	
		$У_{\phi}$	$У_{\text{фрасч.}}$	т/га	%
1.	1970	2,26	1,53	0,73	32,11
2.	1971	2,04	2,40	-0,36	17,84
3.	1972	2,03	1,76	0,27	13,43
4.	1973	3,09	2,18	0,91	29,31
5.	1974	1,88	2,38	-0,50	26,53
6.	1976	2,22	3,31	-1,09	49,01
7.	1977	1,82	2,64	-0,82	45,00
8.	1980	2,50	2,62	-0,12	5,00
9.	1982	3,23	3,17	0,06	1,79
10.	1984	1,53	1,22	0,31	20,06
11.	1985	2,07	2,12	-0,05	2,32
12.	1986	2,39	1,86	0,53	21,98
13.	1987	1,86	2,08	-0,22	11,68
14.	1988	1,69	1,77	-0,08	4,65
15.	1990	2,31	2,93	-0,62	26,65
16.	1991	1,68	2,16	-0,48	28,79
<b>17.</b>	<b>1992</b>	3,07	3,42	-0,35	11,31
18.	1993	3,01	2,45	0,56	18,45
19.	1994	3,42	4,01	-0,59	17,19
20.	1995	2,30	2,43	-0,13	5,53
21.	1996	3,50	3,11	0,39	11,28
22.	1997	5,10	4,95	0,15	2,97
<b>23.</b>	<b>1998</b>	1,41	1,70	-0,29	20,78
24.	2000	2,55	3,34	-0,79	31,06
25.	2001	4,94	4,43	0,51	10,36
26.	2002	4,37	3,10	1,27	28,98
27.	2003	4,61	4,18	0,43	9,34
<b>28.</b>	<b>2004</b>	3,67	3,33	0,34	9,19
29.	2005	3,76	3,53	0,23	6,13
30.	2006	4,00	3,51	0,49	12,17
31.	2007	3,91	3,89	0,02	0,57
32.	2008	4,25	3,81	0,44	10,28
33.	2009	4,80	3,77	1,03	21,47
34.	2011	3,24	3,58	-0,34	10,39
35.	2012	2,92	3,11	-0,19	6,40
36.	2013	2,06	1,85	0,21	10,00
37.	2014	2,37	2,58	-0,21	8,74
38.	2015	2,39	2,47	-0,08	3,30
39.	2016	2,50	3,36	-0,86	34,24
40.	2017	3,52	3,73	-0,21	5,98
41.	2018	2,04	2,57	-0,53	25,95

Результаты ретроспективного расчета фактической урожайности яровой пшеницы –  $У_{\phi}$  (после исключения экстремальных годов), ( $n = 41$ ), в зависимости от 9 факторов, шаг 6, среднее отклонение – 17,45%

№ п/п	Годы	Урожайность – $У_{\phi}$ , т/га		Отклонение	
		$У_{\phi}$	$У_{\text{фрасч.}}$	т/га	%
1.	1970	2,26	1,43	0,83	36,80
2.	1971	2,04	2,34	-0,30	14,58
3.	1972	2,03	1,64	0,39	19,27
4.	1973	3,09	2,22	0,87	28,23
5.	1974	1,88	2,27	-0,39	20,48
6.	1976	2,22	3,28	-1,06	47,83
7.	1977	1,82	2,66	-0,84	46,30
8.	1980	2,50	2,70	-0,20	7,91
9.	1982	3,23	3,31	-0,08	2,54
10.	1984	1,53	1,28	0,25	16,26
11.	1985	2,07	2,24	-0,17	8,34
12.	1986	2,39	1,89	0,50	20,80
13.	1987	1,86	2,15	-0,29	15,63
14.	1988	1,69	1,76	-0,07	3,97
15.	1990	2,31	2,95	-0,64	27,90
16.	1991	1,68	2,23	-0,55	32,94
<b>17.</b>	<b>1992</b>	3,07	3,33	-0,26	8,58
18.	1993	3,01	2,44	0,57	18,80
19.	1994	3,42	4,03	-0,61	17,82
20.	1995	2,30	2,52	-0,22	9,47
21.	1996	3,50	3,02	0,48	13,75
22.	1997	5,10	4,82	0,28	5,44
<b>23.</b>	<b>1998</b>	1,41	1,81	-0,40	28,64
24.	2000	2,55	3,35	-0,80	31,33
25.	2001	4,94	4,65	0,29	5,83
26.	2002	4,37	3,28	1,09	25,03
27.	2003	4,61	4,38	0,23	4,92
<b>28.</b>	<b>2004</b>	3,67	3,26	0,41	11,19
29.	2005	3,76	3,11	0,65	17,30
30.	2006	4,00	3,42	0,58	14,62
31.	2007	3,91	3,71	0,20	5,16
32.	2008	4,25	3,61	0,64	14,94
33.	2009	4,80	3,82	0,98	20,41
34.	2011	3,24	3,55	-0,31	9,53
35.	2012	2,92	3,00	-0,08	2,77
36.	2013	2,06	1,83	0,23	11,29
37.	2014	2,37	2,64	-0,27	11,54
38.	2015	2,39	2,50	-0,11	4,47
39.	2016	2,50	3,40	-0,90	36,06
40.	2017	3,52	3,68	-0,16	4,46
41.	2018	2,04	2,70	-0,66	32,51

Результаты ретроспективного расчета фактической урожайности  
яровой пшеницы –  $Y_{11}$  в зависимости от 11 факторов, ( $n=41$ ),  
шаг 2, среднее отклонение – 11,22 %

№ п/п	Годы	Урожайность – $Y_{11}$ , т/га		Отклонение	
		$Y_{11}$	$Y_{\text{фрасч.}}$	т/га	%
1.	1970	2,30	2,18	0,12	5,19
2.	1971	2,25	1,95	0,30	13,17
3.	1972	2,20	1,82	0,38	17,32
4.	1973	2,15	2,16	-0,01	0,41
5.	1974	2,10	2,36	-0,26	12,36
6.	1976	2,01	2,54	-0,53	26,43
7.	1977	2,11	2,50	-0,39	18,50
8.	1980	2,02	2,37	-0,35	17,51
9.	1982	2,08	2,23	-0,15	7,35
10.	1984	1,98	2,26	-0,28	14,01
11.	1985	2,05	2,15	-0,10	4,69
12.	1986	1,97	1,80	0,17	8,45
13.	1987	2,15	2,11	0,04	1,91
14.	1988	2,13	1,97	0,16	7,37
15.	1990	2,30	2,65	-0,35	15,28
16.	1991	2,43	2,64	-0,21	8,77
17.	1992	2,67	2,88	-0,21	7,91
18.	1993	2,63	2,41	0,22	8,38
19.	1994	2,64	3,16	-0,52	19,87
20.	1995	2,74	2,85	-0,11	3,83
21.	1996	2,98	3,19	-0,21	6,96
22.	1997	3,22	3,71	-0,49	15,16
23.	1998	3,36	3,26	0,10	2,96
24.	2000	3,45	3,16	0,29	8,51
25.	2001	3,61	3,27	0,34	9,28
26.	2002	3,64	2,80	0,84	23,14
27.	2003	3,56	2,92	0,64	17,95
28.	2004	3,87	3,27	0,60	15,49
29.	2005	3,83	3,38	0,45	11,69
30.	2006	3,90	3,29	0,61	15,71
31.	2007	3,71	3,45	0,26	6,92
32.	2008	3,50	3,44	0,06	1,62
33.	2009	3,30	2,89	0,41	12,46
34.	2011	3,07	3,07	0,00	0,04
35.	2012	3,02	3,19	-0,17	5,64
36.	2013	2,86	2,84	0,02	0,85
37.	2014	2,73	2,53	0,20	7,45
38.	2015	2,58	2,84	-0,26	10,18
39.	2016	2,44	2,88	-0,44	17,96
40.	2017	2,30	3,27	-0,97	42,15
41.	2018	2,15	2,35	-0,20	9,11

Результаты ретроспективного расчета фактической урожайности  
яровой пшеницы –  $Y_{11}$  в зависимости от 10 факторов, ( $n=41$ ),  
шаг 3, среднее отклонение – 11,22 %

№ п/п	Годы	Урожайность – $Y_{11}$ , т/га		Отклонение	
		$Y_{11}$	$Y_{\text{фрасч.}}$	т/га	%
1.	1970	2,30	2,19	0,11	4,83
2.	1971	2,25	1,95	0,30	13,44
3.	1972	2,20	1,80	0,40	18,02
4.	1973	2,15	2,16	-0,01	0,23
5.	1974	2,10	2,36	-0,26	12,61
6.	1976	2,01	2,55	-0,54	26,83
7.	1977	2,11	2,50	-0,39	18,61
8.	1980	2,02	2,38	-0,36	17,57
9.	1982	2,08	2,23	-0,15	7,18
10.	1984	1,98	2,27	-0,29	14,75
11.	1985	2,05	2,15	-0,10	4,87
12.	1986	1,97	1,80	0,17	8,54
13.	1987	2,15	2,11	0,04	1,68
14.	1988	2,13	1,97	0,16	7,31
15.	1990	2,30	2,64	-0,34	14,81
16.	1991	2,43	2,64	-0,21	8,69
17.	1992	2,67	2,88	-0,21	7,81
18.	1993	2,63	2,41	0,22	8,41
19.	1994	2,64	3,17	-0,53	20,05
20.	1995	2,74	2,84	-0,10	3,83
21.	1996	2,98	3,18	-0,20	6,79
22.	1997	3,22	3,70	-0,48	14,78
23.	1998	3,36	3,27	0,09	2,74
24.	2000	3,45	3,17	0,28	8,20
25.	2001	3,61	3,27	0,34	9,34
26.	2002	3,64	2,79	0,85	23,22
27.	2003	3,56	2,93	0,63	17,75
28.	2004	3,87	3,28	0,59	15,22
29.	2005	3,83	3,38	0,45	11,84
30.	2006	3,90	3,29	0,61	15,68
31.	2007	3,71	3,45	0,26	7,05
32.	2008	3,50	3,45	0,05	1,51
33.	2009	3,30	2,89	0,41	12,50
34.	2011	3,07	3,05	0,02	0,50
35.	2012	3,02	3,19	-0,17	5,53
36.	2013	2,86	2,84	0,02	0,72
37.	2014	2,73	2,53	0,20	7,36
38.	2015	2,58	2,84	-0,26	10,27
39.	2016	2,44	2,87	-0,43	17,51
40.	2017	2,30	3,28	-0,98	42,41
41.	2018	2,15	2,34	-0,19	8,99

Результаты ретроспективного расчета фактической урожайности  
яровой пшеницы –  $Y_{11}$  в зависимости от 3 факторов, ( $n=41$ ),  
среднее отклонение – 11,22 %

№ п/п	Годы	Урожайность – $Y_{11}$ , т/га		Отклонение	
		$Y_{11}$	$Y_{\text{фрасч.}}$	т/га	%
1.	1970	2,30	2,35	-0,05	2,30
2.	1971	2,25	2,07	0,18	7,97
3.	1972	2,20	2,09	0,11	5,04
4.	1973	2,15	2,12	0,03	1,55
5.	1974	2,10	2,53	-0,43	20,28
6.	1976	2,01	2,51	-0,50	24,86
7.	1977	2,11	2,45	-0,34	15,89
8.	1980	2,02	2,31	-0,29	14,48
9.	1982	2,08	2,04	0,04	2,05
10.	1984	1,98	2,41	-0,43	21,83
11.	1985	2,05	2,18	-0,13	6,55
12.	1986	1,97	2,06	-0,09	4,49
13.	1987	2,15	2,21	-0,06	2,66
14.	1988	2,13	2,28	-0,15	6,98
15.	1990	2,30	2,50	-0,20	8,67
16.	1991	2,43	2,58	-0,15	6,14
17.	1992	2,67	2,80	-0,13	4,97
18.	1993	2,63	2,43	0,20	7,57
19.	1994	2,64	2,96	-0,32	12,28
20.	1995	2,74	2,80	-0,06	2,35
21.	1996	2,98	3,24	-0,26	8,59
22.	1997	3,22	3,57	-0,35	10,93
23.	1998	3,36	3,18	0,18	5,49
24.	2000	3,45	3,13	0,32	9,18
25.	2001	3,61	2,68	0,93	25,64
26.	2002	3,64	2,54	1,10	30,23
27.	2003	3,56	2,51	1,05	29,53
28.	2004	3,87	3,29	0,58	15,09
29.	2005	3,83	3,77	0,06	1,48
30.	2006	3,90	3,32	0,58	14,76
31.	2007	3,71	3,41	0,30	8,21
32.	2008	3,50	3,51	-0,01	0,36
33.	2009	3,30	2,83	0,47	14,24
34.	2011	3,07	3,00	0,07	2,18
35.	2012	3,02	3,29	-0,27	8,93
36.	2013	2,86	3,04	-0,18	6,17
37.	2014	2,73	2,62	0,11	4,00
38.	2015	2,58	2,95	-0,37	14,23
39.	2016	2,44	2,83	-0,39	16,11
40.	2017	2,30	3,26	-0,96	41,63
41.	2018	2,15	2,34	-0,19	8,85



Результаты ретроспективного расчета фактической урожайности  
яровой пшеницы –  $Y_{22}$  в зависимости от 12 факторов, ( $n=41$ ),  
шаг 1, среднее отклонение – 6,75 %

№ п/п	Годы	Урожайность – $Y_{11}$ , т/га		Отклонение	
		$Y_{22}$	$Y_{\text{фрасч.}}$	т/га	%
1.	1970	2,11	2,07	0,04	2,08
2.	1971	2,10	2,00	0,10	4,99
3.	1972	2,10	1,94	0,16	7,75
4.	1973	2,10	2,13	-0,03	1,35
5.	1974	2,10	2,27	-0,17	7,94
6.	1976	2,10	2,36	-0,26	12,43
7.	1977	2,10	2,34	-0,24	11,63
8.	1980	2,04	2,38	-0,34	16,45
9.	1982	2,12	2,40	-0,28	13,30
10.	1984	2,15	2,43	-0,28	13,23
11.	1985	2,22	2,41	-0,19	8,78
12.	1986	2,39	2,32	0,07	2,98
13.	1987	2,35	2,50	-0,15	6,28
14.	1988	2,35	2,40	-0,05	1,94
15.	1990	2,51	2,80	-0,29	11,50
16.	1991	2,60	2,79	-0,19	7,32
17.	1992	2,75	2,92	-0,17	6,29
18.	1993	2,77	2,57	0,20	7,08
19.	1994	2,84	3,21	-0,37	13,16
20.	1995	2,95	2,99	-0,04	1,47
21.	1996	3,04	3,22	-0,18	6,08
22.	1997	3,12	3,49	-0,37	11,75
23.	1998	3,25	3,32	-0,07	2,22
24.	2000	3,32	3,24	0,08	2,40
25.	2001	3,34	3,25	0,09	2,57
26.	2002	3,36	3,00	0,36	10,82
27.	2003	3,33	3,03	0,30	9,06
28.	2004	3,30	3,01	0,29	8,73
29.	2005	3,26	3,15	0,11	3,43
30.	2006	3,32	3,13	0,19	5,58
31.	2007	3,25	3,24	0,01	0,18
32.	2008	3,21	3,24	-0,03	1,07
33.	2009	3,16	2,98	0,18	5,75
34.	2011	3,05	3,12	-0,07	2,29
35.	2012	3,00	3,11	-0,11	3,77
36.	2013	2,95	2,99	-0,04	1,42
37.	2014	2,89	2,87	0,02	0,61
38.	2015	2,84	3,04	-0,20	7,13
39.	2016	2,79	3,08	-0,29	10,30
40.	2017	2,11	3,31	-0,57	20,81
41.	2018	2,10	2,76	-0,08	2,94

Результаты ретроспективного расчета фактической урожайности  
яровой пшеницы –  $Y_{11}$  в зависимости от 4 факторов, ( $n=41$ ),  
шаг 9, среднее отклонение – 6,69 %

№ п/п	Годы	Урожайность– $Y_{11}$ , т/га		Отклонение	
		$Y_{22}$	$Y_{\text{фрасч.}}$	т/га	%
1.	1970	2,11	2,15	-0,04	1,68
2.	1971	2,10	2,00	0,10	4,96
3.	1972	2,10	2,04	0,06	2,67
4.	1973	2,10	2,09	0,01	0,58
5.	1974	2,10	2,31	-0,21	9,80
6.	1976	2,10	2,24	-0,14	6,90
7.	1977	2,10	2,28	-0,18	8,42
8.	1980	2,04	2,30	-0,26	12,72
9.	1982	2,12	2,22	-0,10	4,58
10.	1984	2,15	2,50	-0,35	16,26
11.	1985	2,22	2,40	-0,18	8,04
12.	1986	2,39	2,28	0,11	4,51
13.	1987	2,35	2,37	-0,02	0,86
14.	1988	2,35	2,40	-0,05	1,94
15.	1990	2,51	2,69	-0,18	7,30
16.	1991	2,60	2,82	-0,22	8,41
17.	1992	2,75	2,78	-0,03	1,10
18.	1993	2,77	2,47	0,30	10,95
19.	1994	2,84	3,12	-0,28	9,92
20.	1995	2,95	3,10	-0,15	5,12
21.	1996	3,04	3,33	-0,29	9,38
22.	1997	3,12	3,37	-0,25	7,94
23.	1998	3,25	3,47	-0,22	6,80
24.	2000	3,32	3,20	0,12	3,69
25.	2001	3,34	2,92	0,42	12,54
26.	2002	3,36	2,88	0,48	14,32
27.	2003	3,33	2,75	0,58	17,31
28.	2004	3,30	2,93	0,37	11,24
29.	2005	3,26	3,15	0,11	3,27
30.	2006	3,32	3,06	0,26	7,69
31.	2007	3,25	3,08	0,17	5,25
32.	2008	3,21	3,14	0,07	2,06
33.	2009	3,16	2,86	0,30	9,44
34.	2011	3,05	2,98	0,07	2,42
35.	2012	3,00	3,02	-0,02	0,62
36.	2013	2,95	2,98	-0,03	1,11
37.	2014	2,89	2,73	0,16	5,61
38.	2015	2,84	2,95	-0,11	3,94
39.	2016	2,79	2,92	-0,13	4,67
40.	2017	2,11	3,12	-0,38	13,83
41.	2018	2,10	2,56	0,12	4,38

Дисперсионный анализ полевого двухфакторного опыта  
Высота растений яровой пшеницы *Тулайковская 10*, см (2016-2018 гг.)  
1. Исходные данные

Фактор А	Фактор В	Повторность				Суммы V	Средние
		1	2	3	4		
Без известкования (рН 5,4-5,6)	Без удобрений (контроль)	71,1	66,9	72,5	65,6	276,00	69
	N <sub>37</sub> P <sub>24</sub> K <sub>26</sub> (на 3,0 т/га)	73,4	68,4	74,9	71,3	288,00	72
	N <sub>87</sub> P <sub>72</sub> K <sub>61</sub> (на 4,0 т/га)	74,5	79,0	73,0	77,5	304,00	76
	N <sub>137</sub> P <sub>120</sub> K <sub>97</sub> (на 5,0 т/га)	81,6	76,0	83,2	79,2	320,00	80
Известкование, 5 т/га (рН 6,1-6,2)	Без удобрений (контроль)	69,6	73,8	68,2	72,4	284,00	71
	N <sub>37</sub> P <sub>24</sub> K <sub>26</sub> (на 3,0 т/га)	72,8	79,5	77,3	70,5	300,00	75
	N <sub>87</sub> P <sub>72</sub> K <sub>61</sub> (на 4,0 т/га)	83,2	78,4	76,8	81,6	320,00	80
	N <sub>137</sub> P <sub>120</sub> K <sub>97</sub> (на 5,0 т/га)	82,2	80,5	85,5	83,8	332,00	83
Известкование, 5 т/га + фосфоритование, 1 т/га	Без удобрений (контроль)	73,7	75,2	70,8	72,3	292,00	73
	N <sub>37</sub> P <sub>24</sub> K <sub>26</sub> (на 3,0 т/га)	88,2	85,7	82,3	79,8	336,00	84
	N <sub>87</sub> P <sub>72</sub> K <sub>61</sub> (на 4,0 т/га)	84,3	88,6	87,7	83,4	344,00	86
	N <sub>137</sub> P <sub>120</sub> K <sub>97</sub> (на 5,0 т/га)	92,7	90,9	89,1	87,3	360,00	90
Сумма по повторениям		947,20	942,97	941,14	924,69	3 756,00	78,25

2. Результаты дисперсионного анализа (рендомизированные повторения)

Дисперсия	Сумма квадратов	Степень свободы	Средний квадрат	Критерий Фишера	
				расчетный	табличный
C	542,3465				
Sy	24,41143	35			
Sp	0,017706	2	0,008853		
Ca	23,86537	2	11,93269	13724,5	6,94
Cz <sub>1</sub>	0,003478	4	0,000869		
Cb	0,079942	3	0,026647	23,84835	3,01
Cab	0,418117	6	0,069686	62,36669	2,51
Cz <sub>11</sub>	0,026817	24	0,001117		

Оценка существенности различий			
Фактор	$F_{\text{факт.}}$	$F_{05}$	Вывод
А	138,00	12,7	достоверно
В	9,56	3,01	достоверно
АВ	264,00	2,51	достоверно

$HCP_{05}$ делянок 1 пор.	6,39	см
$HCP_{05}$ делянок 2 пор.	4,42	см
$HCP_{05}$ А	3,19	см
$HCP_{05}$ В	2,55	см
$HCP_{05}$ АВ	7,10	см

**Дисперсионный анализ полевого двухфакторного опыта  
Сухая масса пожнивно-корневых остатков, т/га (2016–2020 гг.)**

**1. Исходные данные**

Фактор А	Фактор В	Повторность				Суммы V	Средние
		1	2	3	4		
Без известкования (рН 5,4-5,6)	Без удобрений (контроль)	1,48	1,40	1,51	1,37	5,76	1,44
	N <sub>37</sub> P <sub>24</sub> K <sub>26</sub> (на 3,0 т/га)	1,71	1,60	1,75	1,66	6,72	1,68
	N <sub>87</sub> P <sub>72</sub> K <sub>61</sub> (на 4,0 т/га)	1,72	1,82	1,68	1,79	7,00	1,75
	N <sub>137</sub> P <sub>120</sub> K <sub>97</sub> (на 5,0 т/га)	1,84	1,71	1,87	1,78	7,20	1,80
Известкование, 5 т/га (рН 6,1-6,2)	Без удобрений (контроль)	1,64	1,74	1,60	1,70	6,68	1,67
	N <sub>37</sub> P <sub>24</sub> K <sub>26</sub> (на 3,0 т/га)	1,74	1,90	1,84	1,68	7,16	1,79
	N <sub>87</sub> P <sub>72</sub> K <sub>61</sub> (на 4,0 т/га)	2,29	2,16	2,11	2,24	8,80	2,2
	N <sub>137</sub> P <sub>120</sub> K <sub>97</sub> (на 5,0 т/га)	2,16	2,11	2,25	2,20	8,72	2,18
Известкование, 5 т/га + фосфоритование, 1 т/га	Без удобрений (контроль)	1,86	1,90	1,78	1,82	7,36	1,84
	N <sub>37</sub> P <sub>24</sub> K <sub>26</sub> (на 3,0 т/га)	2,05	1,99	1,91	1,85	7,80	1,95
	N <sub>87</sub> P <sub>72</sub> K <sub>61</sub> (на 4,0 т/га)	2,27	2,39	2,37	2,25	9,28	2,32
	N <sub>137</sub> P <sub>120</sub> K <sub>97</sub> (на 5,0 т/га)	2,44	2,39	2,35	2,30	9,48	2,37
Сумма по повторениям		23,19	23,10	23,02	22,65	91,96	1,92

**2. Результаты дисперсионного анализа (рэндомизированные повторения)**

Дисперсия	Сумма квадратов	Степень свободы	Средний квадрат	Критерий Фишера	
				расчетный	табличный
C	542,3465				
Sy	24,41143	35			
Sp	0,017706	2	0,008853		
Ca	23,86537	2	11,93269	13724,5	6,94
Cz <sub>1</sub>	0,003478	4	0,000869		
Cb	0,079942	3	0,026647	23,84835	3,01
Cab	0,418117	6	0,069686	62,36669	2,51
Cz <sub>11</sub>	0,026817	24	0,001117		

Оценка существенности различий			
Фактор	$F_{\text{факт.}}$	$F_{05}$	Вывод
А	2786,56	12,7	достоверно
В	1038,88	3,01	достоверно
АВ	329,87	2,51	недостоверно

$HCP_{05}$ делянок 1 пор.	0,15	т/га
$HCP_{05}$ делянок 2 пор.	0,11	т/га
$HCP_{05}$ А	0,08	т/га
$HCP_{05}$ В	0,06	т/га
$HCP_{05}$ АВ	0,12	т/га

Дисперсионный анализ полевого двухфакторного опыта  
Урожайность яровой пшеницы *Тулайковская 10*, т/га (2016-2020 гг.)

## 1. Исходные данные

Фактор А	Фактор В	Повторность				Суммы V	Средние
		1	2	3	4		
Без известкования (рН 5,4-5,6)	Без удобрений (контроль)	2,16	2,04	2,21	2,00	8,40	2,10
	N <sub>37</sub> P <sub>24</sub> K <sub>26</sub> (на 3,0 т/га)	2,78	2,59	2,84	2,70	10,92	2,73
	N <sub>87</sub> P <sub>72</sub> K <sub>61</sub> (на 4,0 т/га)	3,36	3,57	3,29	3,50	13,72	3,43
	N <sub>137</sub> P <sub>120</sub> K <sub>97</sub> (на 5,0 т/га)	4,12	3,84	4,20	4,00	16,16	4,04
Известкование, 5 т/га (рН 6,1-6,2)	Без удобрений (контроль)	2,29	2,43	2,25	2,39	9,36	2,34
	N <sub>37</sub> P <sub>24</sub> K <sub>26</sub> (на 3,0 т/га)	2,78	3,04	2,96	2,70	11,48	2,87
	N <sub>87</sub> P <sub>72</sub> K <sub>61</sub> (на 4,0 т/га)	3,86	3,64	3,56	3,78	14,84	3,71
	N <sub>137</sub> P <sub>120</sub> K <sub>97</sub> (на 5,0 т/га)	4,30	4,21	4,47	4,38	17,36	4,34
Известкование, 5 т/га + фосфоритование, 1 т/га	Без удобрений (контроль)	2,55	2,60	2,44	2,49	10,08	2,52
	N <sub>37</sub> P <sub>24</sub> K <sub>26</sub> (на 3,0 т/га)	3,05	2,96	2,84	2,76	11,60	2,90
	N <sub>87</sub> P <sub>72</sub> K <sub>61</sub> (на 4,0 т/га)	3,69	3,88	3,85	3,66	15,08	3,77
	N <sub>137</sub> P <sub>120</sub> K <sub>97</sub> (на 5,0 т/га)	4,55	4,46	4,38	4,29	17,68	4,42
Сумма по повторениям		39,50	39,26	39,28	38,64	156,68	3,26

## 2. Результаты дисперсионного анализа (рендомизированные повторения)

Дисперсия	Сумма квадратов	Степень свободы	Средний квадрат	Критерий Фишера	
				расчетный	табличный
C	542,3465				
Sy	24,41143	35			
Sp	0,017706	2	0,008853		
Ca	23,86537	2	11,93269	13724,5	6,94
Cz <sub>1</sub>	0,003478	4	0,000869		
Cb	0,079942	3	0,026647	23,84835	3,01
Cab	0,418117	6	0,069686	62,36669	2,51
Cz <sub>11</sub>	0,026817	24	0,001117		

Оценка существенности различий			
Фактор	$F_{\text{факт.}}$	$F_{05}$	Вывод
А	5233,09	12,7	достоверно
В	879,01	3,01	достоверно
АВ	9,92	2,51	достоверно

$HCP_{05}$ делянок 1 пор.	0,24	т/га
$HCP_{05}$ делянок 2 пор.	0,19	т/га
$HCP_{05}$ А	0,12	т/га
$HCP_{05}$ В	0,11	т/га
$HCP_{05}$ АВ	0,33	т/га

Согласовано: \_\_\_\_\_  
 Руководитель хозяйства \_\_\_\_\_  
 М.П. "Авангард" 2014 г.

Сметно-финансовый расчет затрат на известкование кислых почв  
 Номер проекта 57-2014  
 Буинский район  
 ООО "Авангард" отд. Маяк

Утверждаю: \_\_\_\_\_  
 начальник управления сельского хозяйства и продовольствия  
 М.П. \_\_\_\_\_ 2014 г.

Номер счета	Площадь известкования, га	Требуется внести извест.удобр. (СаСО3+MgCO3) кг	Действ. в физич. весе, т/га	Стоимость		Затраты на площадь известкования, руб				Итого без НДС	Всего НДС 18%	Про-щадь, га	СаСО3 + MgCO3 в физ.весе, тонн	на сумму, руб							
				материала, руб/т	доставки, руб/т	материала	автом. трансп.	водным трансп.	внесения												
1	585	1	27,50	5,1	5,25	7,74	212,85	231,00	40	250,10	0,00	552,84	49 168,35	53 233,78	0,00	15 197,60	117 598,74	-	20,63	159,64	88 196,80
1	585	2	45,70	4,8	6,50	9,59	438,28	231,00	40	250,10	0,00	540,57	101 238,06	109 508,83	0,00	29 274,05	240 120,94	-	36,56	350,61	192 096,75
1	573	3	86,30	5,2	5,00	7,37	636,03	231,00	40	250,10	0,00	535,05	145 922,93	159 071,10	0,00	46 175,88	352 169,71	-	64,73	477,02	264 127,28
1	575	4	56,10	5,4	4,65	5,86	384,85	231,00	40	250,10	0,00	508,59	88 900,35	96 250,96	0,00	28 531,90	213 883,24	-	42,08	288,64	160 262,43
				215,60			1 671,99	231,00		250,10	0,00	559,22	386 229,69	418 164,70	0,00	119 179,23	923 573,62	-	163,99	1 275,91	704 666,26

**Дополнительные данные**

Наименование разбрасывателя	Наименование известкового удобрения	Качество материала, %	
		влагж-ность	СаСО3 + MgCO3
Автом. разбр. РМУ-10	Микро-Савагеевского карьера	13,10	90,00
			13,30

**Составление ПСД**

	руб
Стоимость 1 га ПСД и авторского надзора за реализацией ПСД	118,66
НДС 18%	21,36
Итого на 1 га	140,02
<b>Всего</b>	<b>30 188,06</b>

Расчет выполнен в ФГБУ ЦАС "Татарский" по программе "Известь".  
 Дата расчета 29.03.2014



Директор  
 Начальник отдела ОПСХ

А.А. Лукманов  
 Р.Р. Гайров