МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное бюджетное научное учреждение
«Всероссийский научно - исследовательский институт агрохимии
имени Д.Н. Прянишникова»

На правах рукописи

УДК 631.8:633.11

Пироженко Виталий Викторович

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ МИНЕРАЛЬНЫХ УДОБРЕНИЙ ПОД ОЗИМУЮ ПШЕНИЦУ НА ТИПИЧНОМ ЧЕРНОЗЕМЕ КУРСКОЙ ОБЛАСТИ

Специальность 4.3.1 – агрохимия, агропочвоведение, защита и карантин растений

Диссертация
на соискание ученой степени
кандидата сельскохозяйственных наук

Научный руководитель:
доктор сельскохозяйственных наук
Шафран Станислав Аронович

Москва, 2024

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ…… 4
1. ЛИТЕРАТУРНЫЙ ОБЗОР
1.1. Географическое расположение, почвенный покров и плодородие почв……...8
1.2. Применение минеральных удобрений и их эффективность на почвах Курской области……....14
1.3. Диагностика азотного питания для прогнозирования эффективности азотной подкормки озимой пшеницы……22
1.4. Вклад минеральных удобрений в формирование урожайности зерновых культур в Курской области……...29
1.5. Роль сорта в потреблении питательных веществ озимой пшеницы……..35
2. УСЛОВИЯ И МЕТОДЫ ПРОВЕДЕНИЯ ИССЛЕДОВАНИЙ
2.1.Агрохимическая характеристика почвы……...39
2.2. Метеорологические условия периодов проведения опытов……..41
2.3. Схема и методика проведения опытов……44
2.4. Методы исследований……....47
3. РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ
3.1. Влияние минеральных удобрений на урожайность озимой пшеницы……..49
3.2. Окупаемость минеральных удобрений в зависимости от доз азота, фосфора и калия……52
3.3. Влияние содержания доступных для растений форм азота, определяемых различными методами, на эффективность прибавки от азотных удобрений……..54
3.4. Действие минеральных удобрений на качество зерна озимой пшеницы…….55
3.5. Изменение химического состава зерна и соломы озимой пшеницы от минеральных удобрений……...60
3.6. Потребление и вынос питательных веществ урожаем озимой пшеницы…….63
3.7. Эффективность применения азотных удобрений под разные сорта озимой пшеницы……70

4. ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ МИНЕРАЛЬНЫХ УДОБРЕНИЙ ПОД ОЗИМУЮ ПШЕНИЦУ НА ТИПИЧНОМ ЧЕРНОЗЕМЕ…….76
ВЫВОДЫ……...81
ПРЕДЛОЖЕНИЯ ПРОИЗВОДСТВУ……..84
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ…….85
ПРИЛОЖЕНИЕ……...106

ВВЕДЕНИЕ

Уровень плодородия почв и их агрохимических показателей являются основополагающей основой для формирования урожайности сельскохозяйственных культур. В Курской области первой по значимости культурой является озимая пшеница. В последние годы значительно возросло применение минеральных удобрений. За этот период было внесено на каждый гектар посевной площади начиная с 46 кг/га в 2008 г. и доведено к 2018 г. до 134 кг/га. Это позволило значительно повысить урожайность зерновых культур, где основную долю составила озимая пшеница. Наряду с увеличением применения минеральных удобрений сельхозпоказатели области выведены новые высокоурожайные сорта озимой пшеницы, в том числе сорт Льговская-4. Для того чтобы получить от этих сортов наибольшую отдачу необходимо применение более совершенных приемов регулирования минерального питания, которое можно осуществить только за счет грамотного, научно обоснованного применения удобрений. К настоящему времени в отрасли растениеводства в нашей стране произошли и другие изменения. Наряду с созданием высокоурожайных сортов сельскохозяйственных культур, появлением высокопроизводительных посевных, почвообрабатывающих машин, техники для внесения удобрений, зерноуборочных комбайнов, стала применяться интегрированная система защиты растений и шире использоваться солома в качестве удобрения. Все это в конечном итоге диктует необходимость более рационального подхода к использованию имеющихся ресурсов, где основную роль составляют минеральные удобрения.

В связи с этим, проведение исследований по изучению эффективности применения минеральных удобрений под новый сорт озимой пшеницы, возделываемый на типичном черноземе Курской области, является актуальным.

Актуальность темы. Интенсификация земледелия и необходимость обеспечения населения продовольственным зерном высокого качества неразрывно связано с проблемой сохранения и повышения плодородия почв. Исследования, проведенные на всех типах почв России свидетельствуют, что

наиболее сильным антропогенным средством воспроизводства плодородия почв и повышения продуктивности пашни являются минеральные удобрения.

В настоящее время в связи с использованием более продуктивных сортов, расширением состава предшественников, а также изменениями агрохимических свойств почв возникает настоятельная необходимость в уточнении отзывчивости растений на отдельные виды удобрений, повышении уровня обеспечения почвы элементами минерального питания и систематической проверке этого уровня в целях продуктивного использования питательных веществ почвы и удобрений.

В связи с этим возникает необходимость в дальнейших исследованиях по уточнению зональных особенностей совершенствования приемов по повышению плодородия почв, продуктивности земель и качества продукции на основе эффективного применения удобрений в различных условиях. Особый интерес представляют исследования по определению отзывчивости новых сортов сельскохозяйственных культур на отдельные виды минеральных удобрений и их сочетания, на продуктивность сельскохозяйственных культур и качество продукции.

Цель и задачи исследований. Целью исследований явилось определение отзывчивости нового сорта озимой пшеницы Льговская-4 на отдельные виды минеральных удобрений и их влияние на урожайность, качество зерна.

Задачи исследований:

- определить оптимальные дозы азотных, фосфорных и калийных удобрений при возделывании данного сорта озимой пшеницы;

- выявить влияние отдельных видов минеральных удобрений и их сочетаний на урожайность и качество зерна озимой пшеницы;

- установить влияние отдельных видов минеральных удобрений на потребление и вынос питательных веществ сортом Льговская-4;

- выявить влияние содержания доступных для растений форм азота, определяемых различными методами, на эффективность применения азотных удобрений;

- дать экономическую оценку использования отдельных видов минеральных удобрений и их сочетаний при возделывании озимой пшеницы в условиях типичных черноземов Курской области.

Год закладки и место проведения опыта: 2015, Курская область, Льговский район, ФГУП Льговская опытная селекционная станция.

Научная новизна. Впервые изучена эффективность азотных, фосфорных и калийных удобрений под озимую пшеницу сорта Льговская-4 на типичном черноземе Курской области. Исследования показали, что изучаемый сорт озимой пшеницы более отзывчив на применение азотных удобрений по сравнению с ранее районированными сортами на типичных черноземах. Это позволяет стабильно получать урожайность этой культуры 50 ц/га и более. Действие фосфорных и калийных удобрений было невысоким, поскольку опыты были проведены на почве с высоким и повышенным содержанием подвижных форм фосфора и калия.

Применение азотных удобрений способствовало повышению качества зерна озимой пшеницы. В вариантах с его применением содержание сырой клейковины превышало 20%, а ее качество 90%.

Установлено, что испытуемый сорт озимой пшеницы выносит 1 т урожая меньше азота, фосфора и калия по сравнению с нормативом. Вынос азота колебался по вариантам опыта от 18,3 до 22,9 кг, тогда как согласно нормативным данным 25,6 кг, по фосфору соответственно 5,7-7,2, по калию 6,2-8,7 и 15,5 кг/т.

Практическая значимость работы. Проведенные исследования позволили научно обосновать роль минеральных удобрений в формировании урожайности нового сорта Льговская 4, возделываемого на типичном черноземе Курской области. Установлена окупаемость азотных удобрений прибавкой урожая озимой пшеницы при различных дозах и времени внесения. Дано научное объяснение низкой эффективности применения фосфорных и калийных удобрений на типичных черноземах, характеризующееся повышенной и высокой обеспеченностью подвижными формам фосфора и калия. Определение экономической эффективности применения минеральных удобрений позволяет

использовать это при разработке практических рекомендаций по их рациональному использованию.

Основные положения, выносимые на защиту:

1. Влияние минеральных удобрений на урожайность и качество зерна озимой пшеницы нового сорта Льговская 4.

2. Потребление и вынос питательных веществ урожаем озимой пшеницей, возмещение элементов питания удобрениями.

3. Оценка экономической эффективности применения минеральных удобрений.

Апробация работы.

Основные положения диссертационной работы ежегодно докладывались на годовых отчетах аспирантов. Результаты диссертационных исследований докладывались на 52-ой Международной очно-заочной научной конференции молодых ученых, специалистов-агрохимиков и экологов «Агроэкологические и экономические аспекты применения средств химизации в условиях биологизации и экологизации сельскохозяйственного производства», посвященной 200-летию со дня рождения профессора Ярослава Альбертовича Линовского (Москва, ФГБНУ «ВНИИ агрохимии», 24-25 октября 2018 г.).

Публикации по теме диссертации. Материалы исследования опубликованы в 4-х работах, в том числе в изданиях рекомендованных ВАК Министерством образования и науки РФ.

Структура и объем диссертации. Диссертация состоит: из введения, обзора литературы, 3 глав основной части, 24 таблиц, 1 рисунка, выводов, рекомендаций производству и 11 приложений. Диссертация изложена на 117 страницах компьютерного текста и включает в себя 195 источников литературы, в том числе 20 зарубежных авторов.

1. ЛИТЕРАТУРНЫЙ ОБЗОР

1.1. Географическое расположение, почвенный покров и плодородие почв Курской области

Курская область расположена в центре Восточно-Европейской равнины и относится к Средне-Русской провинции лесостепной зоны. Область занимает западную часть Центрально-Черноземной зоны и входит в состав Центрального Федерального округа. Вся территория Курской области составляет 29,8 тыс. кв. км, протяженность с запада на восток – 503 км, с юга на север – 171 км. В северной части она граничит – с Орловской областью, на юге – с Белгородской. На юго-западе земли Курской области соприкасаются с Украиной, на северо-западе – с Брянской областью (Агроклиматические ресурсы…, 1971).

Средне-Русская возвышенность на территории области представляет собой возвышенную равнину, сильно расчлененную речными долинами, балками, оврагами, что определяет преобладание долинно-балочного и овражно-балочного типов рельефа (Пироженко, Цыганков, Мирошниченко, 2019).

Почвы Курской области характеризуются сочетанием двух основных типов: черноземов, сформировавшихся под влиянием степной растительности и оподзоленных почв, образованных лесной растительностью.

Почвенный покров территории области представлен в основном черноземами различного типа, из которых 48% относится к черноземам выщелоченным, 26% к черноземам типичным и около 4% – черноземам обыкновенным. Наряду с этим 23% занимают серые лесные почвы. Встречаются лугово-черноземные, аллювиально-луговые, болотные (Справочник ВНИПТИХИМ, 1983; Муха, Сулима, Чаплыгин, 2006; Соловиченко, Тютюнов, Уваров, 2012). Это намного больше по сравнению с соседними областями, поскольку в Белгородской области таких почв насчитывается 7%, в Липецкой – 6, в Тамбовской – около 2% (Азаров, 2004; Айдиев, 2004).

Почвы Курской области богаты основными элементами питания. По гранулометрическому составу преобладают тяжелосуглинистые и глинистые

почвы – 64,6%, на суглинистые приходится 26,8%, на легкосуглинистые и супесчаные – 8,6%. Пашня в Курской области занимает 1842 тыс. га, или 61,4% земельной площади. Содержание гумуса в пахотном слое почвы в зависимости от степени эродированности колеблется в широких пределах: в черноземах – от 6,7 до 2,9%, в серых лесных почвах – от 3,1 до 1,1%. В условиях черноземных почв центральных областей ежегодные потери гумуса составляют в среднем 0,5-1,0 т/га (Чекмарев, Лукин, Сискевич, 2011). За 100 лет в черноземах Центрального Черноземья содержание гумуса уменьшилось на 30% (Щербаков, Васенев, 1996; Милащенко, 1998; Шалганов, Доманов и др., 2009; Долгополова, Пигарев, 2016). Площади кислых почв составляют 1305 тыс. га, или (70,9% пашни), из них 604,6 тыс. га сильно- и среднекислые, 738 тыс. га слабокислые (Чекмарев, Лукин, 2011).

Почвенный покров данного региона отличается более высоким плодородием, чем многие другие Федеральные округа. По мнению некоторых авторов (Лыков, Васильева, 1985; Добровольский, Никитина, 1990), отождествлять саму сущность плодородия биогеоценозов исключительно с плодородием почвы было приемлемо на начальном уровне агрономии, но в настоящее время требует серьезных уточнений. Создание урожая в рамках метаболизма агроценоза является только потенциальной возможностью плодородия почвы. Практика последних лет показала, что величина урожайности сельскохозяйственных культур во многом определяется не только плодородием почв, но внесением удобрений, что является мощным фактором активизации биологических процессов (Добровольский, Никитин, 1990; Доманов, 1995; Лазарев, Иванова и др., 2014; Лазарев, Золотарева и др., 2014; Бабунов, 2017; Лошаков, 2017; Бабунов, 2018).

По данным ФАО в настоящее время около 40% произведенного продовольствия получено за счет применения удобрений (Кудеяров, Семенов, 2017; Манжина, 2017; Сычев, Шафран, Виноградова, 2020). Это в определенной мере касается и нашей страны, так как во второй половине двадцатого века стала развиваться промышленность по производству минеральных удобрений и стали применяться в различных природно-климатических условиях нашей страны. Для

того чтобы удобрения эффективно использовались, были созданы Географическая сеть опытов с удобрениями и Государственная агрохимическая служба, которые приводили соответствующая испытания (Сычев, Романенков, Беличенко, 2016). Результаты таких опытов обобщались и делались определенные выводы о том, какие удобрения и где их надо применять, чтобы получить ощутимую отдачу. Исследованиями был охвачен достаточно широкий диапазон почвенных разновидностей и он коснулся черноземных почв, согласно которым стало очевидно, что минеральные удобрения могут хорошо влиять на урожайность культур не только на низкоплодородных дерново-подзолистых почвах, но и на черноземах (Богдевич, Вишлюк, $1991_{1,2}$; Боева,2000).

На основании обобщения большого количества полевых опытов (Боева, Чуян, 2000), проведенных Геосетью и Агрохимической службой были разработаны соответствующие нормативы, согласно которым стала определяться потребность в минеральных удобрениях по основным природно-климатическим зонам и экономическим районам страны (Нормативы для определения потребности …, 1980, 1985, 1986; Державин, Попова, Дегтярева, 1990; Афанасьев, Сычев, 2008).

Это было вызвано тем, что до этого за основу при определении потребности в удобрениях принимались результаты опытов, проводимых научно-исследовательскими учреждениями. Полученные данные распространяли для всей природно-климатической зоны с поправкой на агрохимические свойства почв (Справочник агрохимика Нечерноземной зоны, 1980; Справочник агрохимика, 1980_1; Державин, 1992; Артюшин, Державин, 1994).

Вместе с тем, было установлено, что с помощью этих нормативов затруднено определение доз удобрений, так как они не привязаны к типам почв, в них не выделено отдельно действие азотных, фосфорных и калийных удобрений в прибавке урожая от NPK и поэтому занижено действие азота и завышено фосфора и калия. Кроме того, нормативы не дифференцированы по агрохимическим свойствам почв, которые могут оказывать влияние как на урожайность, так и на

эффективность удобрений (Шафран, Духанина и др., 2015; Сычев, Шафран, Духанина, 2017).

Результаты первого цикла агрохимического обследования пахотных почв показали, содержание подвижных форм фосфора и калия заметно различалось между обследованными площадями. Наряду с почвами с высоким содержанием питательных веществ можно встретить поля недостаточной их обеспеченности элементами питания. Эти различия имели место по областям, относившихся к Центрально-Черноземной зоне. По состоянию на 1 января 1971 г. среднее содержание подвижного фосфора составляло 78 мг/кг в Курской области, тогда как в Белгородской – 56, в Липецкой – 48 мг/кг. Содержание подвижного калия также различалось между областями. Если в Воронежской области оно составляло 143 мг/кг, то в Курской – 74 мг/кг (Агрохимическая характеристика почв …, 1971).

Согласно данным первого цикла обследования в Курской области доля пашни с очень низким и низким содержанием K_2O составила 16%, со средним 48%, а в сумме с повышенным, высоким и очень высоким 36% (Агрохимическая характеристика почв, 1971). В Курской области было обследовано около 2 тыс. га пашни, из которых 25,3% характеризовались очень низким и низким содержанием P_2O_5, 58% средним и 17% повышенным, высоким и очень высоким содержанием. В этот период стало увеличиваться применение минеральных удобрений в Курской области, что способствовало не только повышению урожайности сельскохозяйственных культур, но повышало содержание подвижного фосфора в пахотных почвах (Хижняков, Цыганков, 2014). За годы интенсивной химизации (1971-1990 гг.) баланс фосфора в земледелии Курской области складывался с превышением его внесения под выносом урожаями, что позволило повысить среднее содержание в пахотных почвах до 134 мг/кг. Благодаря этому к 1996 г. площадей с очень низким содержанием P_2O_5, доля пашни с низкой обеспеченностью этим элементом питания сократилась с 12 до 2%, со средним с 58 до 23%. В то же время стал возрастать удельный вес почв с более высоким запасом подвижного фосфора. Количество повышеннообеспеченных площадей

выросло с 12 до 39%, высокообеспеченных – с 3 до 19%, очень высокообеспеченных – с 8 до 14% (Агрохимическая характеристика почв …, 1996; Лазарев, Лазарева, 2018).

В других областях этой же зоны пахотные почвы из средней категории по обеспеченности подвижным фосфором перешли в повышеннообеспеченную (Агрохимическая характеристика почв …, 1996).

После 1996 г. в связи со снижением уровня применения минеральных удобрений в стране, в том числе калийных, привело к тому, что формирование урожая сельскохозяйственных культур шло в основном за счет естественного плодородия и за счет запасов питательных веществ, созданных ранее (Кудеяров, Семенов, 2014). Исследованиями, проведенными в длительных опытах, в различных почвенно-климатических зонах, установлено, что при отрицательном балансе в почвах агроценозов при постоянном выносе калия урожаем сельскохозяйственных культур наблюдалось как снижение обменного калия (Прокошев, Носов, 2002; Никитина, Володарская, 2009; Лукин, 2012), так и увеличение его количества (Конончук, Никитина, 2002; Никитина, 2017). Это возможно объяснить тем, что растение удовлетворяет свои потребности в этом элементе за счет необменных форм, то есть происходящий процесс мобилизации превалирует над фиксацией. Это явление было установлено К.К. Гедройцем (1955).

Длительные опыты на черноземных почвах в полевых севооборотах с насыщенностью зерновыми 67% и пропашными 33% показали, что при длительном отрицательном балансе, основная часть в общем выносе калия урожаем приходится на долю необменной формы этого элемента (Минеев, 1999; Никитина, Володарская, 2007).

За период 1999-2003 гг. по результатам мониторинга средневзвешенное содержание подвижных P_2O_5 и K_2O составляло соответственно 139 и 103 мг/кг. По состоянию на 01.01.2021 года самое высокое средневзвешенное содержание подвижных форм P_2O_5 (143 мг/кг) и K_2O (169 мг/кг) было характерно для Белгородской области. В Курской области средневзвешенное содержание

подвижных форм P_2O_5 и K_2O было на уровне 129 мг/кг и 112 мг/кг соответственно. За исследуемый период отмечено снижение подвижных форм P_2O_5 на 10 мг/кг. Во всех областях ЦЧР установлен рост подвижных форм K_2O. Следует отметить, что подобные исследования проводились во всех других областях ЦЧР. Изучению современного агроэкологического состояния пахотных почв ЦЧР в научной литературе уделяется большое внимание (Lukin, Zhuikov, 2021; Malysheva et al., 2021; Surinov, 2022; Zavalin et al.,2022; Lukin, 2023a; Surinov, 2023). Пахотные почвы ЦЧР, как правило, характеризуются низкой обеспеченностью подвижными формами питательных веществ (Lukin, Chernikov, 2021; Lukin, Zhuikov, 2022). Содержание в почвах пашни свинца, кадмия и других тяжелых металлов не представляет опасности для получения безопасной растениеводческой продукции (Lukin, Selyukova, 2018; Malysheva, 2021; Lukin, 2023б).

За одну ротацию севооборота дополнительное использование калия на контроле без удобрений при среднегодовой продуктивности севооборота 28,9-45,0 ц з.е./га составляет 396-793 кг K_2O/га или 57-95 кг K_2O/га в год (Сычев, 2019). На более буферных почвах таких, как черноземы, отрицательный баланс по калию по данным Прокошева и Дерюгина (2000) в начале XXI века может быть оправдан с экономической точки зрения, однако, Чичкин (1999) наблюдал, что при систематическом дефиците калия на обыкновенном черноземе в севообороте через 18 лет во второй минимум после азота в посевах озимой пшеницы перешел калий, вместо фосфора. В Белгородской области увеличение средневзвешенного содержания подвижного K_2O составило 41 мг/кг, в Липецкой области – 19 мг/кг, в Курской – 9 мг/кг (Некрасов, Лукин, Куницын, 2021).

В научном сообществе неоднократно дискутировался вопрос о создании оптимальных уровней содержания подвижных форм фосфатов и калия для достижения высокой продуктивности земледелия. По мнению некоторых исследователей (Кулинцев, Годунова, Шаповалова, 2016). Для повышения плодородия почв и достижения высокой продуктивности земледелия является создание оптимального уровня содержания в почве подвижных форм фосфатов

(32-35 мг/кг) на черноземе обыкновенном Ставрополья. В 2016 году средняя обеспеченность почв пашни фосфором составляла 21 мг/кг, а площадь земель с содержанием P_2O_5 ниже оптимального уровня превышает 83%. Значительная часть урожая формировалась за счет естественного плодородия, поскольку вынос азота компенсировался удобрениями не более чем на 50%, фосфора на 80-90%, калия – на 20% (Сычев, 2000, 2019). Единого мнения ученых об уровнях оптимального содержания подвижного фосфора в различных типах почв Российской Федерации не имеется. По результатам обобщения данных полевых опытов Географической сети оптимальным уровнем содержания подвижного фосфора в дерново-подзолистых почвах является 100-150 мг/кг по Кирсанову; в обыкновенных, оподзоленных и мощных черноземах 100-150 мг/кг (по Чирикову); карбонатных черноземах, каштановых почвах – 30-35 мг/кг (по Мачигину) (Сычев, 2019).

Оптимальный фосфатный уровень в почве позволяет применять рациональные дозы азотных и калийных удобрений.

1.2. Применение минеральных удобрений и их эффективность на почвах Курской области

Применение минеральных и органических удобрений и их совместное использование оказывает существенное влияние на продуктивность агроценозов и плодородие почв. Следует отметить их многостороннее влияние на все важнейшие агрономические и агрохимические показатели функции почв. Согласно закону Либиха они обеспечивают элементы минерального питания и органические вещества, которые выносятся урожаем в хозяйственно-биологический круговорот (Лыков, 1982; Дьяконова, 1984; Чеботарев, 2009). Нет единого мнения по применению минеральных и органических удобрений. Однако ведущие ученые страны обеспокоены эффективностью использования минеральных удобрений (Алейнов, 2009). Академик В.И. Кирюшин (цит. по Зюкину, Степкиной 2016) отмечают несовершенство или отсутствие интегрированного применения удобрений с другими средствами управления

продукционными процессами агроценозов. Аналогичное мнение имел Л.М. Державин (1992, 2011, 2012). По мнению других исследователей, не достаточно учитывались связь удобрений с защитой растений, севооборотом, сортами. Это дополняется различными абиотическими стрессами и форс-мажорными обстоятельствами. Драгавцев В.А. (2006), Зюкин Д.А., Степкина И.И. (2016) считают, во-первых, урожаи зерновых на уровне 15-20 ц/га можно получать без применения удобрений. Во-вторых, высокая эффективность минеральных удобрений проявляется только при использовании самых современных, высокоотзывчивых на минеральные удобрения сорта. Если рост растений лимитируется засухой и холодом, то внесение удобрений само по себе не ускорит их рост и не повысит урожайность. В-третьих, использование новых высокоотзывчивых на удобрения сортов зерновых может обеспечить резкий скачок их урожайности без специальных, требующих десятилетия мер по повышению в почве содержания подвижного фосфора до так называемых «оптимальных» норм.

По применению минеральных удобрений имеются и другие мнения.

Вся история земледелия говорит о том, что главным условием, определяющим величину урожая в разные эпохи, была степень обеспеченности сельскохозяйственных культур азотом. Динамика урожаев сначала целиком, а затем в подавляющем большинстве преимущественно происходила под воздействием азота (Прянишников, 1965, 1965_1; Мавсумов, Кулиев, 2003; Рамазанова, Баймаганова, 2008; Рациональное использование минеральных удобрений, 2015). Переход от зернового трехполья и плодосмену с культурой клевера через ряд десятилетий привел к удвоению урожаев, а под влиянием минеральных удобрений рост урожаев вырос в 3-4 раза в сравнении с периодом трехпольной системы земледелия (Прянишников, 1945).

За последнее столетие, особенно в послевоенный период был достигнут ощутимый прогресс в земледелии не только в мире, но и в нашей стране. Это было связано с применением минеральных удобрений и, прежде всего, азотных (Кидин, 2004; Гера, 2007; Завалин, Пасынков, 2007; Иванова, 2012, 2012_1;

Бабунов, 2017, 2018; Bathelorj, 1987; Bockman, 1991). Азот также сыграл важную роль в развитии земледелия, но первоначально это был азот черноземов. Во второй половине XX века в СССР быстрыми темпами стала развиваться промышленность по производству минеральных удобрений. За время 1966-1970 гг. по 1986-1990 гг. их применение в России почти утроились и во все периоды внесение азотных удобрений превалировало над фосфорными и калийными. Все успехи и неудачи, связанные химизацией земледелия, в значительной мере можно отнести на азот минеральных удобрений (Сычев, Шафран, 2015). Среди всех макроэлементов азот, с одной стороны оказывает наибольшее влияние на рост урожайности и повышение качества растениеводческой продукции (Осипов, Соколов, 2001), с другой – при неправильном применении может оказать негативное влияние на развитие растений: возникает склонность зерновых к полеганию в результате нарушения равновесия в отношении углеводов к азоту, что отражается на качестве урожая. По обобщенным данным каждый килограмм азота может дополнительно дать следующее количество продукции: пшеница, ячмень (зерно) – 15 кг, солома – 25 кг. В связи с этим можно сделать вывод о том, что при недостаточной обеспеченности азотом недобираются урожаи и получается продукция низкого качества (Ермохин, Красницкий, 2009). (Носко, Гладких, 2013). Такие опасения не всегда оправданы.

Результаты многолетних полевых опытов проводимых в разных регионах страны указывают, что доля сельскохозяйственного производства в общем загрязнения тяжелыми металлами не превышает 2% (Небольсин, Небольсина, 2010; Морозова, 2015; Ефимова, Морозова, Лициков, 2017).

Так, наблюдая за питательным режимом почвы (чернозем типичный) количество нитратного азота в почве к уборке урожая озимой пшеницы уменьшилось, по сравнению с его содержанием на период посева в слое почвы 0-10 см по навозу с внесением $N_{60}P_{60}K_{60}$ – в 2,5 раза. Резко сокращалось количество нитратов во время уборки урожая и по другим слоям почвы (Тютюнов, Солнцев и др., 2016).

В связи с тем, что к началу XXI столетия изменилось соотношение цен на минеральные удобрений и растениеводческую продукцию снизился спрос сельскохозяйственных предприятий на их приобретение. При этом, сократился поток удобрений, который направлялся в хозяйстве Нечерноземной зоны и основная его часть стала приобретаться в регионах, в которых пахотные площади были расположены на различных разновидностях черноземных почв, включая в том числе Курскую область (Манжина, 2017; Алтухов, 2018).

К этому времени Географической сетью ВНИИА и агрохимической службой были проведены многочисленные полевые опыты, в которых изучалась эффективность минеральных удобрений, вносимых под сельскохозяйственные культуры в различных природно-климатических зонах страны, и при этом значительное внимание было уделено зерновым культурам, из которых наибольший удельный вес в структуре площадей занимает озимая пшеница в Европейской части страны (Сычев, 2000, 2003).

Опыты с этой культурой, проведенные на основных типах почв показали по изучению эффективности азотных удобрений при основном внесении, установлено, что наибольшая прибавка урожая была получена на дерново-подзолистых почвах. В зависимости от дозы удобрения она составила 8,1-15,5 ц/га. При продвижении с Севера на Юг величина этой прибавки заметно уменьшалось. На черноземах типичных она занимала среднее положение, но при этом урожайность озимой пшеницы в вариантах без внесения удобрений была достаточно высокой и заметно превосходила дерново-подзолистые и серые лесные почвы. Окупаемость азотных удобрений прибавкой урожая озимой пшеницы также занимала среднее положение среди представленных почвенных разновидностей (Шафран, 2021).

Одним из способов повышения эффективности применения азотных удобрений под озимую пшеницу является весенняя подкормка (Андриеш, 1989; Андреев, 2003). Однако обобщение полевых опытов агрохимической службы показали, что весенняя подкормка не всегда и не везде имеет преимущество перед основным удобрением в одинаковых дозах. Например, на дерново-подзолистых,

карбонатных черноземах окупаемость азота прибавкой урожая при поверхностной подкормке оказалось ниже, чем при основном внесении (Попов, 2000).

Прикорневой способ внесения азота имел преимущество по сравнению с поверхностным практически на всех типах почв за исключением черноземов южных. На типичных черноземах прикорневой способ снесения азота обеспечил прирост 1,5 кг/га (Шафран, 2022).

Таким образом, результаты приведенных исследований показали, что действие азотных удобрений, внесенных под озимую пшеницу в значительной степени определяется природно-климатической зоной, а также типом и подтипом почв (Ореховская, Ступаков, 2015; Пигарев, Иванов, 2021). Наряду с этим, внутри этих зон можно встретить результаты экспериментальных данных полученных в опытах Географической сети и агрохимической службы, которые свидетельствуют о различном влиянии на прибавку урожая в одних и тех же природных зонах. По данным академика Коренькова Д.А. (1999) окупаемость азотных удобрений прибавкой урожая озимой пшеницы, полученная в опытах Геосети на 3,8-4,6 кг/га превышала аналогичные показатели агрохимической службы.

Аналогичные результаты были получены и по яровым зерновым культурам. Окупаемость азотных удобрений прибавкой урожая яровой пшеницы и ячменя значительно превышала данные агрохимической службы. Державин Л.М. (1992) объясняет это тем, что почвы сельскохозяйственных предприятий, на которых проводила опыты агрохимическая служба, характеризовались более низким плодородием почв и агротехникой возделывания культур по сравнению с полями научных учреждений, входящих в Географическую сеть. Такое положение сложилось благодаря более высокому уровню обеспеченности ОПХ научных учреждений минеральными удобрениями в сравнении со среднерегиональными, что позволило за короткий срок генетически низкоплодородные почвы перевести в высокоплодородные.

Такое объяснение оправдано, но не обосновано научно, поскольку в приведенных данных отсутствуют сведения об уровнях плодородия почв и

степени их окультуренности как в опытах Геосети, так и в опытах агрохимической службы. Известно, что окультуренность почв не является каким-то абстрактным понятием, а определяется вполне конкретными показателями, основными из которых являются содержание гумуса, содержание подвижных форм макро – и микроэлементов, реакции почвенной среды. Все эти факторы непосредственно участвуют в формировании биологического урожая, а остальные – только этому способствуют (Сычев, 2003).

Однако при обобщении полевых опытов головных институтов не используются данные по агрохимической характеристике почв. Приведенные выше материалы по эффективности применения азотных удобрений под озимую пшеницу относятся к этой категории обобщения. Проведение подобных исследований на местах свидетельствуют о том, что на эффективность применения минеральных удобрений оказывает влияние не только тип почвы, но и ее агрохимические свойства. Наиболее наглядно это было представлено опытами, в которых создавались искусственно созданные фосфатные уровни (Касицкий, Хачитрян, Трофимов, 1988; Чумаченко, 1999; Аристархов, 2000).

В обобщении материала, учеными ВНИИА были представлены экспериментальные данные, устанавливающие влияние агрохимических свойств на урожайность озимой пшеницы и эффективность применения под нее минеральных удобрений. Выявлено, что наряду с природно-климатическими и почвенными условиями на эффективность минеральных удобрений большое влияние оказывают агрохимические свойства почв. Зачастую их действие на урожайность намного превосходят генетические свойства почвенного покрова (Сычев, Шафран, 2013).

Статистическая обработка материала показала, что содержание подвижного фосфора в почвах оказывает влияние не только на эффективность применения фосфорных удобрений, но еще способствует повышению прибавки урожая зерновых культур. В большей степени это касается озимой пшеницы на всех почвах, на которых проводилось исследование.

Так, прибавка урожая озимой пшеницы, полученная от внесения 60 кг/га азота при низком содержание подвижного фосфора составила 6,9 ц/га, на черноземах типичных 4,7 ц/га, на черноземах карбонатных 2,4 ц/га, тогда как содержание P_2O_5 выше среднего прирост урожая составил соответственно от такой же дозы 9,4, 6,6 и 4,6 ц/га, т.е. значительно выше (Шафран, Духанина, 2017).

Наряду с этим, результаты исследований показали, что содержание азота в почве независимо от метода его определения оказывало весьма существенное влияние на урожайность озимой пшеницы и эффективность азотных удобрений, общая закономерность такова: с увеличением содержания азота в почвах возрастала урожайность и снижалась эффективность азотных удобрений (Козеичева, 2011; Иванова, 2012).

Увеличение обеспеченности почв, независимо от их генезиса от низкой до повышенной степени обеспеченности минеральным азотом удваивалось урожайность на всех представленных почвенных разновидностей. На черноземах типичных урожайных возрастала с 12,8 ц/га до 24,8 ц/га. Наряду с этим, с повышением содержания минерального азота происходило снижение прибавки урожая о т азотных удобрений. От внесения N_{60} на типичном черноземе прибавка урожая составляло 6,6 ц/га при низком содержании минерального азота и 3,1 ц/га – при повышенном и высоком. В целом, суммарная урожайность все-таки превышала показатели полученные на почве с низким содержанием минерального азота (Шафран, 2020).

Наряду с содержанием доступных форм азота и подвижного фосфора на эффективность применение азотных удобрений под озимую пшеницу оказывает степень обеспеченности почв подвижным калием. При его низком содержании от внесения N_{60} прибавка урожая озимой пшеницы на типичном черноземе составляет 5,5 ц/га, а при повышенном – 6,1 ц/га, то есть разница достаточно ощутима.

Результаты исследований показали, что комплекс агрохимических свойств оказывает большое влияние как на урожайность, так и на эффективность

применения азотных удобрений под озимую пшеницу. При переводе типичных черноземов из низкой степени окультуренности в повышенную урожайность озимой пшеницы увеличивается без внесения удобрений в 2 раза и составляет около 17 ц/га при низком содержании минерального азота и 32 ц/га при его повышенном содержании (Шафран, 2022).

Таким образом, изложенные выше данные свидетельствуют о том, что агрохимические свойства почв оказывают большое влияние как на урожайность культур, так и на эффективность применения под них минеральных удобрений. В связи с этим, в последнее время стали расширяться исследования по дифференцированному применению минеральных удобрений с учетом внутрипольной вариабельности агрохимических свойств почв. По данным наших и зарубежных ученых эффективность дифференцированного внесения удобрений значительно выше традиционных технологий, базирующихся на усредненных данных о состоянии почвы и посевов (Khitrov N. B., Rukhovich D. I., Koroleva P. V. [et al.], 2020; Bora G.C., Nowatzki J.F., Roberts D.C., 2012; Monzon J. P., Calviño P. A., Sadras V. O., Zubiaurre J. B., Andrade F. H., 2018).

Farid H., Bakhsh A., Ahmad N. (2016) считают, что при внесении минеральных удобрений важно учитывать пространственную неоднородность плодородия полей. А возможность адаптации технологий к пространственной вариабельности содержания элементов минерального питания и корректировка нормативов их применения при возделывании сельскохозяйственных культур определяет целесообразность распространения точного земледелия в сельском хозяйстве.

Опираясь на эти данные ученые ВНИИА разработали соответствующие нормативы для зерновых культур, которые можно использовать при определении потребности в азотных удобрениях (Региональные нормативы окупаемости …, 2016).

Наряду с этим, следует сказать, что к настоящему времени селекционерами выведены новые сорта зерновых культур и требуется их изучение на

отзывчивость на применение минеральных удобрений. Это относится к сорту озимой пшеницы Льговская 4.

1.3. Диагностика азотного питания для прогнозирования эффективности азотной подкормки озимой пшеницы

В нашей стране основной зерновой культурой является пшеница, доля посевов которой в последние годы в структуре посевных площадей составляет 59%, а в общем производство зерна ≈ 62%. В группе продовольственных зерновых культур ее удельный вес значительно больше – 93% (Алтухов, 2018). По объему производства пшеницы Россия входит в тройку крупнейших мировых экспортеров пшеницы. Однако ее урожайность в среднем по стране остается невысокой (≈ 30 ц/га) (Журавлева, 2018). Такое положение сложилось в связи с тем, что в последние годы резко снизилось применение удобрений в нашей стране, но особенно остро их недостаток ощущается в отношении зерновых культур, несмотря на то, что исследованиями отечественных ученых доказано, что для повышения урожайности возможно только при грамотном, научно обоснованным применении удобрений. Такие работы проводились во всех зерносеющих зонах России и они свидетельствуют о том, что их действие высокоэффективно не только в Нечерноземной зоне, но и в других природно-климатических зонах (Кудеяров, Семенов, 2016; Сычев, 2019).

Немало исследований было посвящено изучению влияния минеральных удобрений непосредственно озимой пшеницы, которая является одной из основных культур в Центрально-Черноземной зоне. Сюда можно отнести публикации Лукина С.В. (2012) по круговороту основных питательных элементов в земледелии Белгородской области. О возможностях увеличения производства зерна пшеницы в Центрально-Черноземной зоне Российской Федерации сообщали Турусов В.И., Богатык О.Г., Айдиев А.Я. (2018) и Соловиченко В.Д., Тютюнов С.И., Уваров Г.И. (2012), которые изложили свой взгляд на воспроизводство плодородия почв и рост продуктивности сельскохозяйственных культур Центрально-Черноземного региона.

Немалый интерес вызывает публикация Алейнова Д.П. (2009). Определенное внимание было уделено эффективности доз минеральных удобрений внесенных под озимую пшеницу не только в Центрально-Черноземной зоне (Мовазнов, Кулиев, 2003), но также и в Предуралье (Неволина, 2013), в Поволжье (Бесланеев и др., 2003). В ряде работ обращено внимание не только на агрохимические, но и на экологические аспекты, которые проявляются при применении минеральных удобрений (Носко, Гладких, 2013; Дубовик, Дубовик, Виноградов, 2014; Морозова, 2018).

Наибольшее влияние на урожайность озимой пшеницы оказывали азотные удобрения. Наибольшее потребление азота – до 50-55% отмечается в период выхода в трубку – колошение. Дефицит азота в отдельные фазы невозможно восполнить его внесением в последующие фазы (Cormier, F., Faure, S., Dubreuil, P. et al., 2013).

Значительное внимание уделяли исследованию влияния удобрений на качество зерна (Смуров, Григоров, Шапошникова, 2006; Окорков, Семин, 2014; Ореховская, Ступаков, 2015; Тютюнов, Шестопалов, 2022).

Аналогичные исследования проводились и в зарубежных странах. Например, по данным китайских ученых, оптимальная обеспеченность растений азотом в осенний период способствует формированию зерна с высоким содержанием белка. Так, в зерне озимой пшеницы под действием удобрений его содержание увеличивается на 1,0-1,5% до 12,1-13,6% (Zhao B, 2014).

В ряде работ приведены данные о влиянии новых сортов на урожайность озимой пшеницы в различных зонах ее возделывания (Ториков, 1999; Тутукова, Молкандуев, Молкандуев и др., 2011).

В технологии возделывания озимых зерновых культур большое значение имеет азотная подкормка, оптимальным сроком для внесения которых является весенний период возобновления вегетации растений. Обобщение многочисленных полевых опытов Географической сети ВНИИА и агрохимической службы показали, что азотная подкормка озимой пшеницы эффективна во всех природно-климатических зонах ее возделывания, начиная от дерново-подзолистых и

заканчивая каштановыми почвами (Сычев, Шафран, 2012; Вислобокова, Тютюнов, 2018). Анализ полученных данных позволяет сделать вывод о том, что на действие азотных удобрений в каждой природно-климатической зоне большое влияние оказывают агрохимические свойства почв. В Нечерноземной зоне – содержание минерального азота, подвижных форм фосфора и калия, реакция почвенной среды, в Центрально-черноземной – содержание минерального азота, подвижного фосфора и отчасти подвижного калия, на карбонатных черноземах и каштановых почвах – содержание минерального азота и подвижного фосфора (Сычев, Шафран, 2015). Эти данные дают возможность составить прогноз эффективности азотной подкормки озимой пшеницы, используя среднемноголетние метеорологические данные основных зон возделывания этой культуры. Такой прогноз был составлен для основных типов почв Европейской части страны на весну 2012 г., в нем приведены максимальные дозы азота, при которых затраты на применение азотных удобрений могли бы окупиться стоимостью прибавки урожая озимой пшеницы при соотношении цен на зерно и удобрения, сложившиеся весной 2012 г. (Рекомендации по применению …, 2012). В этих рекомендациях сделана попытка использовать данные Гидрометцентра России по агрометеорологическому прогнозу состояния озимых зерновых культур и запасов влаги. Однако в полной мере применить эту информацию не представляли возможным, так как сведения по влагозапасам не были привязаны к типам почв, на которые были ориентированы рекомендации.

Несмотря на достаточное количество сведений, характеризующих влияние уровня обеспеченности почв и количества выпавших осадков, не удалось разработать надежные модели, учитывающие в единой системе агрометеорологическую и агрохимическую информацию позволяющую определить дозы удобрений, хотя ретроспективный анализ полевых опытов позволяет разработать соответствующие градации (Романенков, Сиротенко, Беличенко, 2009; Шафран, Прошкин, Шаброва, 2013).

Так, для засушливого Поволжья эффективность азотных удобрений выделена отдельно для влажных и засушливых лет (Чуб, 1989; Конончук, 2004),

поэтому данные не позволяют прогнозировать эффективность азотных удобрений, поскольку трудно предусмотреть, какие погодные условия будут в конкретном вегетационном периоде. Более приемлем для таких целей может быть прогноз в зависимости от количества осадков, выпавших за осенне-зимний период, которые сравниваются со среднемноголетними данными и с учетом этого корректируется доза азота (Иванова, Державин, 2008). Аналогичный подход к определению доз азотных удобрений в подкормку озимой пшеницы применяют для условий Молдавии, где эффективность азота увязывается с обеспеченностью почв нитратным азотом и выпавших осадков за сентябрь-март. С учетом этих данных разработана соответствующая шкала, по которой можно определить дозу азота, исходя из сложившихся условий (Андриеш, Гожижецкая, 1989).

Для Московской области предложено корректировать дозу азотного удобрения по количеству осадков в период возобновления вегетации озимой пшеницы. Работы по озимой пшенице Барыбино. Расчеты показали, что максимум прироста урожайности на единицу внесенного азота пропорционален сумме апрельских осадков, что позволяет скорректировать дозу азотного удобрения на ранних этапах вегетации (Романенков, 2011). Однако следует отметить, что сроки проведения подкормки в данном регионе могут меняться в зависимости от погодных условий года (Небытов, Коломейченко, 2005). В одних случаях проведение данного агроприема может осуществляться в 1-й декаде апреля, в других – в 3-й, и поэтому ориентир на сумму апрельских осадков может привести к ошибочному результату.

Для определения потребности озимой пшеницы в азотном питании в период весна-лето проводят диагностику его содержания в слое почвы 0-60 см в ранние сроки, так как в связи с миграцией нитратного азота вглубь, верхние слои почвы могут быть сильно обеднены. Доза весенней азотно подкормки дифференцируется в зависимости от времени возобновления вегетации, состояния перезимовавших растений и результатов почвенной диагностики (Вислобокова, Тютюнов, 2016).

В связи с этим учеными ВНИИА была предпринята попытка изучить влияние содержание азота в почве и величины осадков на величину прибавки

урожая от внесенных азотных удобрений в подкормку озимой пшеницы. Подобные исследования были проведены на нескольких типах почв, включая черноземы различной разновидности и каштановые почвы (Шафран, Прошкин, Шаброва, 2013). Результаты исследования показали, что более высокая теснота связи оказалась между суммой осадков за август-февраль по сравнению с вегетационным периодом. На черноземах выщелоченных и типичных Центрального Федерального округа корреляционные отношения составило соответственно 0,95 и 0,74. Наряду с этим, достаточно тесная связь выявлена на таких же почвах между прибавкой урожая озимой пшеницы от азотного удобрения и содержанием минерального азота, а также подвижного фосфора в почве. Обеспеченность почвы подвижными формами калия практически не влияла на действие азотных удобрений.

Аналогичные данные были получены на типичном черноземе этого же федерального округа, где наибольшая прибавка урожая озимой пшеницы отмечалась при запасе минерального азота 88 кг/га. При этом низкая доза азота – 30 кг/га была менее эффективной по сравнению с N_{60} и N_{90} (Акулов, Доманов, Афанасьев, 1990).

На серой лесной почве и типичном черноземе Тамбовской области наиболее тесная связь между обеспеченностью почв азотом и эффективностью азотных удобрений, вносимых под озимую пшеницу, также обнаружена между суммарным содержанием нитратов и обменного аммония (r = 0,733). Количество легкогидролизуемого и нитратного азота слабее коррелировало с величиной прибавки урожая от азотного удобрения (r = 0,051-0,664). Нитрифицирующая способность почвы без учета исходного содержания в ней минеральных соединений азота не отражала действительной обеспеченности растений этим элементом. Метод Корнфилда оказался менее пригодным для характеристики обеспеченности почв азотом (r = - 0,442) (Никитишен, Демидов, 1990).

В то же время для типичных черноземов Центрально-Черноземных районов предлагается использовать метод определения нитратного азота, мотивируя его

быстротой и технологическими достоинствами (Никитин, 1998; Никитин, Гетманский, 2000).

Вместе с тем, рядом исследований показано, что наряду с большим воздействием на величину урожайности озимой пшеницы от внесения азотных удобрений оказывает содержание доступных форм почвы, немалое значение может иметь его взаимодействие с подвижным фосфором в различных почвенно-экологических условиях (Чумаченко, 1999; Сушеница, 2007; Никитишен, Личко, 2013). В ряде работ говорится также о влиянии содержания подвижного калия на эффективность азотных удобрений при их применении под зерновые культуры (Конончук В.В.; Никитина, 2018).

Оптимальное содержание фосфора и калия в осенний период благоприятствует кущению и развитию растений. А также накоплению сахаров, что способствует лучшей их перезимовке. Дефицит фосфора в этот период не может быть возмещен последующим улучшением питания. Следовательно, осеннее кущение до ухода в зиму и ранневесеннее возобновление вегетации являются критичными периодами в жизни и питании озимой пшеницы (Farid H.U., Bakhsh A, Ahmad N, Ahmad A, Mahmood-Khan Z., 2016)

Наряду с этим на урожайность озимой пшеницы оказывают немалое влияние также ее сортовые особенности. Сорта ранних периодов селекции формировали максимальную прибавку урожая пшеницы при внесении в подкормку 30-60 кг/га азота, тогда как современные в дозах N_{90} и N_{120} (Журавлева, 2018).

Для обоснования целесообразности внесения азотных удобрений в подкормку озимой пшеницы наряду с агрохимическими факторами, важное значение имеют экономические показатели (Штоколова, Федулов, 2020), так как стоит задача повысить не только урожайность и качество зерна, но и добиться того, чтобы затраты на применение удобрений окупились стоимостью прибавки урожая. Для взаимной адаптации агрохимических и экономических факторов наиболее удобным показателем является окупаемость удобрений прибавкой урожая. Для этого на всероссийском уровне ВНИИА были использованы

Региональные нормативы окупаемости минеральных удобрений прибавкой урожая зерновых культур (Нормативы окупаемости, 2016). В отличие от ранее разработанных они составлены с учетом основных типов, дифференцированы по дозам и агрохимическим свойствам почв. Это позволяет устанавливать дозы питательных веществ в зависимости от агрохимических свойств почв и уровня планируемой урожайности; выделять поля, на которых применение дает возможность обеспечить максимальную экономическую эффективность и составить прогноз экономической эффективности применения минеральных удобрений в зависимости от складывающихся цен на удобрения и сельскохозяйственную продукцию.

Для того, чтобы установить целесообразность внесения удобрений, выбрать наиболее рациональную дозу азота и поле, на котором можно получить наиболее высокий экономический эффект, использовали такой показатель, как граница окупаемости удобрений (ГОУ), который обозначает величину прибавки урожая, стоимость которой равняется всем затратам на применение удобрений и выражается в кг/кг или т/т. Полученную величину сравнивают с нормативами окупаемости удобрения. Если она выше норматива, то применение данного удобрения невыгодно, а если ниже, то целесообразно (Андреев, 2003).

Апробация метода была проведена ВНИИА по основным типам почв, на которых возделывается озимая пшеница, используя цены на удобрения и зерно действовавшие на конец 2019 г. При этом для расчетов использовали данные по цене зерна в зависимости от его категории качества, имея в виду только 3-й, 4-й и 5-й классы. Согласно расчетам граница окупаемости аммиачной селитры для 3-го класса составляла 4,9 кг/кг, для 4-го – 6,1 и 5-го – 7,5 кг/кг. На типичных черноземах с низким содержанием минерального азота внесение N_{30} и N_{60} будет экономически оправдано независимо от содержания подвижных форм фосфора и калия при получении пшеницы 3-го класса, аналогичная ситуация сложится и при средней обеспеченности почвы $N_{мин}$, а при повышенной – экономически оправдано внесение азота будет при дозе 30 кг/га. В том случае, если будет получено зерно 4-го класса, внесение азота будет оправдано во всех

рассматриваемых случаях при низком содержании минерального азота, при среднем затраты не окупятся при низком содержании P_2O_5 в дозе N_{60}, а при повышенной обеспеченности $N_{мин}$ – только по всем вариантам в дозе N_{30}.

При получении зерна 5-го класса затраты на применение аммиачной селитры будет оправдано на всех вариантах с низким содержанием минерального азота, при среднем внесение N_{30} везде, а N_{60} – только, где содержание P_2O_5 и K_2O были выше средней. При высокой обеспеченности – только в дозах N_{30} при высоком содержании P_2O_5 (Шафран, 2021).

Приведенные результаты свидетельствуют о том, что наибольшую окупаемость затрат на проведение подкормки озимой пшеницы можно ожидать на почвах при низкой обеспеченности их минеральным азотом, повышением и высоким содержанием подвижных форм фосфора и калия. Окупаемость затрат на применение азотных удобрений оказывает существенное влияние на качество зерна озимой пшеницы, так как закупочная цена зависит от данного показателя. Если принять зерно 3-го класса за 100%, стоимость пшеницы 4-го и 5-го классов составит соответственно 80 и 65%. Примерно в таких соотношениях складывались цены в предыдущие годы, например, в 2015-2016 гг. (Алтухов, 2018).

1.4. Вклад минеральных удобрений в формирование урожайности зерновых культур в Курской области

Эффективность применения минеральных удобрений принято оценивать по прибавкам урожая и по их окупаемости этой прибавкой. Данный показатель просто получить в полевом опыте, однако в условиях производства этот показатель определить не представляется возможным, поскольку оставлять на каждом поле контрольную полосу без внесения удобрений не представляется возможным и, поэтому для оценки экономической эффективности в производстве приходится прибегать к косвенным методам (Богдевич, Вишлюк, Грузд, 1991), среди которых наиболее применимым был признан метод долевого участия удобрений в формировании урожайности сельскохозяйственных культур. По

данным массовых краткосрочных полевых опытов с удобрениями, проводимых агрохимслужбой на землях хозяйств, долевое участие полного минерального удобрения (NPK) в формировании урожая в зависимости от природных зон от 15,8% в сухостепной зоне до 36,4% в южнотаежной лесной зоне при долевом участии азотных удобрений в формировании урожая от полного минерального удобрения 28,6-70,2%, фосфорных – 25,5-60,6, калийных – 8,5-23,9% (Державин, 1992). Этот метод был взят за основу при разработке ЦИНАО инструкции и нормативов определения экономической и энергетической эффективности применения удобрений (Инструкции и нормативы по определению экономической и энергетической эффективности применения удобрений, 1987).

Опыт работы того периода показал, что данный метод стали успешно использовать специалисты сельского хозяйства, и он быстро распространился по территории страны. Наряду с этим, апробация показала, что этот метод более точно отражает условия крупных регионов – область, край, республика, экономический район, страна в целом на базе «Нормативов» для определения потребности сельского хозяйства в минеральных удобрениях (Нормативы для определения потребности сельского хозяйства в минеральных удобрениях, 1985).

При определении эффективности удобрений в границах административных районов, сельскохозяйственных предприятий и тем более полей метод долевого участка минеральных удобрений в формировании урожайности не может использоваться, так как эти коэффициенты были разработаны на основе общесоюзных нормативов определения потребности в удобрениях, в которых отражены данные только по экономическим районам и внутри них по природным зонам. Они не были привязаны к типам почв и их агрохимическим свойствам, хотя эти факторы оказывают большое влияние как на урожайность, так и на эффективность удобрений (Шафран, 2021). В целях совершенствования нормативных данных для определения экономической эффективности удобрений в условиях производства предпринимались различные подходы. Например, для условий Московской области делали поправку по районам с учетом бонитета почв по отношению к среднеобластному показателю (Токарев, 1991). В

республике Беларусь также был использован бонитировочный балл, в котором отражались природные свойства почв и степень их агрохимической окультуренности. Для определения влияния уровня почвенного плодородия на урожайность основных сельскохозяйственных культур разработаны средние нормативы цены балла почвы. Для этого были использованы данные контрольных вариантов полевых опытов Агрохимической службы и Географической сети БССР (Богдевич, Вишлюк, Грузд, 1991).

Аналогичный подход был использован Молдавским филиалом ЦИНАО при оценке нормативной оплаты 1 кг д.в. и целевого участия удобрений в районах и хозяйствах республики (Ткач, 1991).

Приведенные примеры относились к периоду интенсивного применения минеральных удобрений в нашей стране. В настоящее время кардинально изменились экономические условия, наметилась устойчивая тенденция повышения цен на минеральные удобрения и снизилась покупательная способность сельхозтоваропроизводителей. В таких условиях внесение минеральных удобрений не всегда может окупиться стоимостью прибавки урожая, как это было ранее. Следовательно, возросли требования к грамотному, рациональному, научно-обоснованному их применению. В связи с этим, использование усредненных нормативов потеряло смысл. Учитывая большую вариабельность агрохимических свойств почв не только внутри экономических районов и областей, но и в пределах одного хозяйства, расчеты по таким нормативам могут привести к неверным результатам (Шафран, 2021).

В целях дальнейшего совершенствования нормативно-справочной базы, способствующей более эффективному применению минеральных удобрений ВНИИА выполнены соответствующие разработки для основных зерновых культур, картофеля, льна-долгунца и сахарной свеклы (Шафран, 2023), которые послужили научной основой для установления величины долевого участия или вклада азотных, фосфорных и калийных удобрений в формирование урожайности культур.

Результаты исследования показали, что величина вклада азотных удобрений в формирование урожайности озимой пшеницы на типичных черноземах варьировала в широких пределах в зависимости от агрохимических свойств почвы и доз азота (Шафран, 2023). При внесении N_{60} долевое ее участие изменялось от 34 до 9% в зависимости от увеличения содержания минерального азота в почве от менее 5 до превышения более 10 мг/кг. Хотя при этом увеличение содержания подвижных форм фосфора и калия заметно возрастало и способствовала приросту урожайности озимой пшеницы, что положительно влияло на окупаемость азота прибавкой урожая. Так, при низкой обеспеченности почвы минеральным азотом (менее 5 мг/кг) внесение N_{60} при низком содержании P_2O_5 и K_2O окупаемость прибавкой урожая составила 7,3 кг/кг, то при повышенной и высокой – 11,3 кг/кг. При содержании минерального азота более 10 мг/кг при таком же содержании подвижных форм фосфора и калия окупаемость азота также возрастала с 3,3 до 5,3 кг/кг (Региональные нормативы окупаемости минеральных удобрений прибавкой урожая зерновых культур, 2016).

При увеличении доз азота от 30 до 150 кг/га и при содержании P_2O_5 и K_2O окупаемость этого удобрения снижалась от 13,0 до 2,3 кг/кг, а при повышенном содержании $N_{мин}$ при такой же обеспеченности подвижными формами фосфора и калия от 9,3 до 2,2 кг/кг.

Обобщение результатов многочисленных полевых опытов показало, что содержание подвижного фосфора в почвах оказывает существенное влияние на урожайность сельскохозяйственных культур. Подобная закономерность отмечена на всех без исключения типах почв. При этом на эффективность применения фосфорных удобрений наибольшее влияние оказывали не генетические свойства почв, а содержание в них подвижного фосфора. Переход почв в более высокие категории по уровню содержания подвижного фосфора приводил к снижению эффективности фосфорных удобрений. Особенно это заметно проявилось на зерновых культурах, так как при высокой обеспеченности почв подвижным фосфором фосфорные удобрения практически не действовали. Особенно заметно это проявилось на их окупаемости прибавкой урожая и долевом участии в

формировании урожайности. Так, окупаемость фосфорных удобрений прибавкой урожая озимой пшеницы на черноземах типичных и выщелоченных при низком содержании P_2O_5 составила 6,7 кг/кг, при среднем – 2,2; при повышенном 0,9 кг/кг, а долевое участие фосфорных удобрений в формировании урожайности озимой пшеницы соответственно в зависимости от дозы 15-21%, 5-7%, 1% (Шафран, 2023). Из этого можно сделать вывод, что на значительной части Курской области вносить фосфорные удобрения под озимую пшеницу вряд ли целесообразно, поскольку доля пахотных почв с низким содержанием подвижного фосфора составляет всего 1%.

По данным Географической сети опытов с удобрениями и Агрохимической службы эффективность калийных удобрений понижена при продвижении с севера на юг, что объясняется, с одной стороны, различным содержанием подвижного калия в почвах, с другой – водным режимом (Прокошев, Дерюгин, 2000). В тоже время, в одной и той же зоне действие калийных удобрений находится в обратной зависимости от уровня обеспеченности почв подвижным калием. К сожалению, в зоне распространения черноземных почв в Центральном Федеральном округе проведено мало опытов по изучению эффективности применения калийных удобрений под озимую пшеницу. Лишь имеются данные по черноземам выщелоченным, в которых показан эффект от внесения калийных удобрений, но и только для двух групп – средней и повышенной. Из этого следует, что окупаемость озимой пшеницы прибавкой урожая была невысокой и составляла в зависимости от дозы 1,5-4,3 кг/кг при повышенной обеспеченности и 0,7-2,1, а вклад калийных удобрений в формирование урожайности этой культуры находился в пределах 5-7% для средней группы обеспеченности, для повышенной – 2%. Примерно такие же величины получены и на черноземах обыкновенных. Следовательно, проведение подобных опытов необходимо в этой зоне (Шафран, 2023).

Тем не менее, располагая имеющейся нормативно-справочной информацией, сотрудники ВНИИА апробировали методику по оценке эффективности применения минеральных удобрений под зерновые культуры в

субъектах Федерации в среднем за 2016-2020 гг. В основу расчетов были положены статистические данные о внесении минеральных удобрений под зерновые культуры и по их урожайности, а также данные по распределению почвенных разновидностей и агрохимической характеристике почв по состоянию на 1 января 2012 г., нормативы окупаемости минеральных удобрений прибавкой урожая зерновых культур и методика определения агрономической и экономической эффективности минеральных удобрений в условиях производства (Шафран, 2023).

Результаты исследований показали, что уровень применения минеральных удобрений оказывал заметное влияние на урожайность зерновых культур. Связь между дозами удобрений и величиной урожайности достоверно коррелировали. При этом было отмечено не только в субъектах Федерации, расположенных в Нечерноземной зоне, но и зоне распространения черноземных почв. На черноземах европейской части дозы удобрений варьировали от 15 до 87 кг/га, а урожайность от 21,3 до 54,3 ц/га, коэффициент корреляции при этом составлял 0,95. Это свидетельствует о том, что минеральные удобрения, внесенные под зерновые культуры на черноземных почвах весьма эффективны. При этом наблюдались немалые различия в урожайности зерновых культур в близлежащих друг к другу областях Центрального Федерального округа. Так, в Курской и Белгородской областях урожайность зерновых культур составила 49,5 и 48,7 ц/га, что значительно выше по сравнению с Липецкой, Воронежской и Тамбовской областями, которые применили под зерновые культуры меньше минеральных удобрений.

Немалый интерес вызывают также данные о прибавках урожая зерновых культур от внесения минеральных удобрений, которые составили соответственно 7,9-9,3 ц/га и 6,9-8,9 ц/га, а также урожайность, которую можно получить без внесения удобрений. Так, в Курской области следует ожидать 39,2 ц/га, в Белгородской – 39,7, тогда в Воронежской только 29,5 ц/га, в Тамбовской 28,3 ц/га, что говорит о более высоком уровне почвенного плодородия в названных регионах (Сычев, Шафран, Ильюшенко, 2022).

Таким образом, представленные данные убеждают нас в том, что в условиях Курской области имеются условия для повышения урожайности зерновых культур и, особенно, озимой пшеницы. Об этом свидетельствуют не только опыты научно-исследовательских учреждений, но данные производства. Тем не менее, актуальность исследований по изучению отзывчивости новых сортов на применение удобрений не вызывает сомнений. Проведение таких опытов крайне необходимо.

1.5. Роль сорта в потреблении питательных веществ озимой пшеницей

Как известно, что одним из основных звеньев в технологии сельскохозяйственных культур является применение удобрений. Их вклад в формирование урожая зерновых культур достаточно высок не только в Нечерноземной зоне, но и в регионах с преобладанием черноземов. Озимая пшеница предъявляет повышенные требования к плодородию почвы (Медведев, Губарев, Вайгант, 2008). По данным Географической сети опытов с удобрениями, оптимальной дозой внесения полного минерального удобрения под озимую пшеницу в среднем по Российской Федерации является 201 кг/га д.в. ($N_{75}P_{75}K_{51}$). В Центральном районе 255 ($N_{96}P_{89}K_{70}$), в Центрально-Черноземном 230 ($N_{84}P_{80}K_{66}$) (Державин, 2012). По сообщению ряда авторов (Гамзиков, 2000; Попов, 2000; Обушенко, 2004; Романенков, Сиротенко, Беличенко и др., 2009) растения в онтогенезе проявляют не одинаковую чувствительность к обеспечению питательными веществами. Согласно нормативам вклад азотных удобрений в формирование урожайности озимой пшеницы при низком содержании минерального азота и повышенной обеспеченности подвижными формами фосфора и калия на дерново-подзолистых почвах в зависимости от дозы азотного удобрения составлял 38-43%, на типичных черноземах 27-31% (Богдевич, Вишлюк, Грузд, 1991). Вместе с тем, следует отметить, что в связи с полученным на типичных черноземах более высокой урожайности разница менее выражена.

В связи с тем, что в настоящее время стоимость минеральных удобрений возросла до таких размеров, что доход, полученный из прибавки урожая не всегда

может окупить затраты на их применение и поэтому необходим дальнейший поиск путей наиболее рационального использования минеральных удобрений. Одним из таких путей является учет биологических особенностей сортов сельскохозяйственных культур (Хачидзе, Мамедов, 2004).

Установлено, что различные сорта растений обладают генетически детерминированной способностью неодинаково поглощать и использовать лимитирующие вещества почвы и удобрений (Иванова, Кудинов, Пигарев, 2020). Между тем, этот фактор практически не применяется при разработке системы удобрений, не говоря уже о технологии их внесения. Нормативы затрат удобрений на получение единицы урожая сельскохозяйственных культур, нормативы выноса питательных веществ, коэффициенты их использования из почвы и удобрений, то есть основополагающие показатели для определения доз, разработаны для культуры в целом.

Исследованиями НИИСХЦРИЗ было показано, что сорта озимой пшеницы и ярового ячменя по-разному отзываются на минеральные удобрения.

Однако остались невыясненные вопросы потребления питательных веществ и влияние удобрений на химический состав различных сортов зерновых культур. Для этого были проведены соответствующие исследования на высокоокультуренной дерново-подзолистой почве, которые характеризовались очень высоким содержанием подвижного фосфора и высоким калия. Результаты опыта показали, что разница в урожайности озимой пшеницы между сортами составляла значительную величину. В варианте без удобрений урожайность в среднем за 4 года колебалась от 31,4 до 51,7 ц/га, а прибавка урожая при внесении N_{35} от 4,2 до 14,8 ц/га, окупаемость азота прибавкой урожая варьировала от 12,0 до 46,3 кг/кг, а затраты азота на прибавку урожая (Шафран, Хачидзе, Мамедов, 2004).

В этой работе также уделено большое внимание определению выноса питательных веществ урожайности и затратам азотных удобрений на формирование урожайности озимой пшеницы, поскольку в имеющихся в тот период нормативах такие показатели отсутствовали, хотя являлись

основополагающими показателями при определении потребности культур в минеральных удобрениях (Нормативы, 1986). Результаты опытов показали, что вынос питательных веществ единицей урожая зерна озимой пшеницы с учетом соломы заметно различался по сортам. С увеличением интенсивности сорта возрастал вынос элементов питания. Разница с выноса азота колебалась от без внесения азотных удобрений колебалась от 27,7 до 32,4 кг/т, с его применением от 29,6 до 34,9 кг/т. По фосфору соответственно 9,1-11,8 и 9,7-14,6 кг/т, по калию 10,8-25,6 и 14,5-26,7.

Не менее интересны были исследования академика Сандухадзе (2006), в которых изучались сортовые особенности потребления фосфора и калия почвы озимой пшеницей. Опыты проводились также на дерново-подзолистой почве с очень высоким содержанием P_2O_5 и высоким K_2O. Результаты опыта показали, что на высокообеспеченных подвижным фосфором почвах изучаемые сорта характеризовались очень высоким уровнем содержания фосфора в почвах, особенно в период кущения (0,89-1,12%). Подкормка пшеницы азотом (N_{60}) улучшила поступление в растения калия и фосфора, особенно в периоды кущения и выноса в трубку, а при внесении N_{120} содержание фосфора в растениях повышалось на 36-40%. Улучшение азотного питания растений повышало поступление калия в растения на 22-40% даже в период молочно-восковой спелости.

Таким образом, приходим к выводу, что сорта озимой пшеницы по-разному отзывались на внесение азотных удобрений на дерново-подзолистых почвах. В связи с этим, подобные исследования актуальны и во всех зонах их распространения, в частности и в Центрально-Черноземном регионе.

Такие работы проводились в Юго-западной части Центрально-Черноземного региона с различными сортами озимой пшеницы с целью определения влияния различных доз минеральных удобрений на изменение величины урожайности и качественные характеристики.

Были исследованы сорта местной селекции Альмера, Слобода и Сураева, а также сорт селекции ФГБНУ «НЦЗ имени П.Л. Лукьяненко»: Алексеич, Безостая

100, Тимирязевка 150. Осеннее внесение азофоски 16:16:16 в дозе 250 кг/га и весенней подкормке 68,8 кг/га д.в. и 103,2 кг/га д.в. показали, что низкорослые сорта краснодарских селекций более отзывчивы на минеральные удобрения (урожайность 8,1-8,7 т/га), но содержание клейковины невысокое, так как содержание белка зависит от вегетативной массы растений – основного источника азота в период налива зерна (Романенко, Беспалова, Кудрашов, 2005; Маковник, 2010; Ториков, 2011, 2012; Тупицин, 2016; Тютюнов, Шестопалов, 2022).

Наиболее интенсивные сорта озимой пшеницы характеризовались более высоким содержанием питательных веществ в растениях. Вследствие этого вынос элементов питания также был у них выше. Также более интенсивные сорта характеризуются более высоким использованием азота из удобрений. В целом внесение азотных удобрений способствовало лучшему использованию фосфора и калия почвы.

Подобные исследования были также проведены в Тамбовском научно-исследовательском институте сельского хозяйства на типичном черноземе с повышенным и высоким содержанием подвижных форм фосфора и калия. Результаты опыта показали, что удельный вынос питательных веществ испытательными сортами озимой пшеницы Московская 39 и Губернатор Дона оказался выше по сравнению с нормативом. Это можно объяснить разными периодами селекции сравниваемых сортов, поскольку нормативы были разработаны в 1991 г., то есть когда доминировали иные сорта, тогда как в настоящее время районированы другие (Иванова, 2012,2012_1).

При этом можно допустить, что аналогичная закономерность будет проявляться на черноземах Курской области.

2. УСЛОВИЯ И МЕТОДЫ ПРОВЕДЕНИЯ ИССЛЕДОВАНИЙ

Результаты агрохимического обследования почв Курской области, проводимые ГСАС «Курская» показали, что из 1842 тыс. га пашни по состоянию на 2015-2018 гг. имели следующие показатели:

по кислотности – среднекислые 583,9 тыс. га – 31,7%; близкие к нейтральным 241,3 тыс. га – 13,1%; нейтральные 22,1 тыс. га – 1,2%; средневзвешенное значение pH 5,4

по содержанию подвижного фосфора – с низким содержанием P_2O_5 – 22,66 тыс. га – 1,23%; средним – 526,81 тыс. га – 28,6%; повышенным – 698,49 тыс. га – 37,92%; высоким – 400,45 тыс. га – 21,74%; очень высокое – 188,25 тыс. га – 10,22%; средневзвешенное значение P_2O_5 – 132 мг/с на 100 г почвы

по содержанию обменного калия – со средним содержанием K_2O – 327,88 тыс. га – 17,8%; повышенным – 820,8 тыс. га – 44,56%; высоким – 599,94 тыс. га – 32,57%; очень высоким – 90,26 тыс. га – 4,9% (Пироженко, Цыганков, Мирошниченко, 2019).

2.1. Агрохимическая характеристика почвы опытного участка

Исследования по изучению эффективности применения минеральных удобрений и их влияние на урожайность и качество зерна озимой пшеницы проводились на черноземе типичном тяжелосуглинистого гранулометрического состава. Полевые опыты по единой схеме внесения минеральных удобрений закладывались на полях Льговской опытной селекционной станции в зоне действия ГСАС «Рыльская» в течение 2015-2018 гг.

Почва опытного участка – типичный чернозем, тяжелосуглинистого гранулометрического состава, по степени гумусированности меньше минимального содержания. Участок выровненный, впадин и склонов нет.

С целью установления состояния почвенного плодородия на опытном участке перед закладкой опыта было проведено агрохимическое обследование почв.

Отбор почвенных образцов проводился в соответствии с «Методическими указаниями по проведению комплексного мониторинга плодородия почв земель сельскохозяйственного назначения». Москва ФГНУ «Росинформагротех» 2003.

Глубина отбора почвенных образцов 0-20 см. Отобралось 52 образца, с 4-мя повторностями, по 1 смешанному образцу с каждой делянки. Агрохимические показатели почвы по вариантам представлены в таблице 1.

Таблица 1

Агрохимическая характеристика опытного участка

№	Гранулометрический состав	Гумус, %	Азот легкогидр., мг/кг	Фосфор подвижный, мг/кг	Калий обменный, мг/кг	Кислотность pH солевая
2015 г.						
1-13	тяжело-суглинистый	4,10-4,75	98,9-118,1	180-224	83-200	5,5-6,1
обеспеченность		средняя	низкая	высокая	высокая	близко к нейтральному
2016 г.						
1-13	тяжело-суглинистый	4,36-4,54	108,1-115,1	188-199	121-129	5,6-6,0
обеспеченность		средняя	низкая	высокая	высокая	близко к нейтральному
2017 г.						
1-13	тяжело-суглинистый	4,21-4,67	102,2-117,3	184-205	93-154	5,5-6,1
обеспеченность		средняя	низкая	высокая	высокая	близко к нейтральному

Содержание гумуса в среднем за 3 года колебалось между повторностями от 4,1% до 4,75%, средневзвешенное содержание составляет 4,45, что соответствует средней степени обеспеченности.

Содержание легкогидролизуемого азота варьировало от 99 мг/кг до 118 мг/кг, средневзвешенное содержание составляет 111 мг/кг почвы, что относится к низкой степени обеспеченности.

Содержание в почве подвижного фосфора P_2O_5 составляло 180-224 мг/кг, что представляет собой высокую группу обеспеченности.

Вариации в почве обменного калия K_2O находились в пределах 83-200 мг/кг, и относилось к средней повышенной степени обеспеченности.

Кислотность почв характеризовалась величиной pH солевой вытяжки в пределах 5,5-6,1 единиц, что соответствует реакции раствора близкой к нейтральной.

Сумма поглощенных оснований варьировала от 33,2 мг-экв/100 г почвы до 36,0 мг-экв/100 г почвы, в среднем содержание составляет 34,9 мг-экв/100 г почвы, что соответствует очень высокому содержанию.

Содержание магния обменного колеблется между повторностями от 1,6 мг-экв/100 г почвы до 2,0 мг-экв/100 г почвы, средневзвешенное содержание составляет 1,80 мг-экв/100 г почвы, что соответствует средней степени обеспеченности.

Гидролитическая кислотность колеблется между повторностями от 2,07 мг-экв/100 г почвы до 3,3 мг-экв/100 г почвы и в среднем составляет 2,66 мг-экв/100 г почвы, что соответствует близкой к нейтральной.

Содержание кальция обменного колеблется между повторностями от 14 мг-экв/100 г почвы до 16 мг-экв/100 г почвы, средневзвешенное содержание составляет 16 мг-экв/100 г почвы, что соответствует высокой степени обеспеченности.

Согласно вышеизложенным данным можно сделать вывод, что вариация агрохимических свойств почв в разнице повторной и между годами обследования была незначительной и не могла отразиться на результатах исследования.

2.2 Метеорологические условия периодов проведения опытов

Климат области умеренно-континентальный. Годовой приход солнечной радиации равен 89 ккал/см^2. На севере области среднегодовая температура воздуха составляет 4,6°С, на юго-западе – 6,1°С. Годовая сумма осадков 500…600 мм, за период активной вегетации – 260…310 мм. В среднем, гидротермический

коэффициент на территории области равен 1,2…1,3, что указывает на несколько засушливые условия. Сумма активных температур воздуха 2300…2450°С. Продолжительность безморозного периода 189…195 дней.

Погодные условия в период проведения опытов представлены в таблице 2.

Таблица 2

Погодные условия в годы проведения опыта

Месяц	Средняя многолетняя температура, °С	Средняя месячная температура, °С				Средняя многолетняя температура, °С	Средняя многолетняя температура, °С			
		2015	2016	2017	2018		2015	2016	2017	2018
1	-10,0	-4,3	-9,4	-6,0	-4,0	34,0	26,3	107,5	38,0	47,0
2	-8,0	-4,1	-0,6	-4,5	-6,0	33,0	57,1	37,2	21,0	51,0
3	-2,9	0,7	0,9	5,0	-4,5	32,0	33,2	58,8	19,0	86,0
4	6,7	6,5	9,0	9,0	10,0	35,0	52,0	47,9	15,0	16,0
5	13,8	14,6	14,3	13,5	17,5	50,0	12,0	69,4	41,0	51,0
6	17,3	19,3	18,9	17,5	18,5	59,0	96,4	71,5	61,0	37,0
7	18,9	20,2	21,7	19,0	21,0	71,0	63,1	80,6	117,0	84,0
8	18,1	19,2	20,7	21,0	21,0	64,0	3,4	114,0	48,0	2,0
9	12,4	14,9	11,5	15,5	17,0	44,0	69,0	6,2	38,0	37,0
10	6,4	2,8	4,6	7,0	9,5	41,0	9,9	50,9	66,0	44,0
11	0,1	1,6	-1,6	2,0	-0,5	41,0	79,5	57,0	58,0	3,0
12	-4,3	-0,6	-5,6	1,5	-4,0	41,0	28,4	50,5	125,0	74,0
S_X	5,7	7,6	7,0	8,4	8,0	545,0	530,3	751,5	647,0	532,0

Количество осадков, выпавшее в предпосевной – посевной периоды (август-сентябрь 2015 г.) составило 72,4 мм, что значительно меньше средней многолетней суммы осадков в этот период (108 мм). Причем в августе месяце

количество осадков было незначительное – 3,4 мм. Основное количество осадков 69 мм – выпало в сентябре месяце.

Средний месячный температурный режим в августе был 19,2°С, что на 1,1°С выше средних многолетних значений (18,1°С), в сентябре 14,9°С, что на 2,5°С выше средних многолетних значений (12,4°С).

Количество осадков, выпавшее в предпосевной – посевной периоды (август-сентябрь 2016 г.) составило 120,2 мм, что выше средней многолетней суммы осадков в этот период (108 мм). Причем в августе месяце выпало основное количество осадков – 114 мм. Незначительное количество садков – 6,2 мм – выпало в сентябре месяце.

Средний месячный температурный режим в августе был 20,7°С, что на 2,6°С выше средних многолетних значений (18,1°С), в сентябре 11,5°С, что на 0,9°С ниже средних многолетних значений (12,4°С).

Количество осадков, выпавшее в предпосевной – посевной периоды (август-сентябрь 2017 г.) составило 86 мм, что ниже средней многолетней суммы осадков в этот период (108 мм). Причем в августе и сентябре месяце выпало примерно одинаковое количество осадков – 48 мм и 38 мм соответственно.

Средний месячный температурный режим в августе был 21°С, что на 2,9°С выше средних многолетних значений (18,1°С), в сентябре 15,5°С, что на 3,1°С выше средних многолетних значений (12,4°С).

Это способствовало тому, что запасы продуктивной влаги в пахотном слое почвы перед посевом озимой пшеницы в 2015 г. практически отсутствовали или были минимальными, перед посевом в 2016 г. были на среднем уровне, а перед посевом в 2017 г. были удовлетворительны, что повлияло на всходы. Прекращение осенней вегетации наступило во второй декаде ноября месяца, с постепенным переходом среднесуточной температуры воздуха в сторону дальнейшего понижения, озимая пшеница перешла в стадию покоя.

В зимне-весенне-летний период вегетации озимой пшеницы средняя месячная сумма осадков в 2016 г., в 2017 г. значительно выше средней многолетней суммы осадков, а в 2018 г. ниже средней многолетней.

Средний месячный температурный режим в 2016 г., 2017 г., 2018 г. был выше средней многолетней температуры.

2.3. Схема и методика проведения исследований

Исследования проводились с районированным в условиях Центрально-Черноземного региона сортом озимой пшеницы Льговская-4, созданного на Льговской опытной селекционной станции, которая является оригинатором сорта. Сорт пользуется повышенным спросом в Курской (прил. 1), Воронежской, Орловской, Белгородской, Липецкой областях. Разрешающие возможности сорта: масса 1000 зерен 38-46 г. Урожайность зерна 57-87 ц/га. Максимальная урожайность 99,74 ц/га получена в Курской области в 2007 году. Сорт среднеспелый, вегетационный период 284-316 дней созревает на 5 - + дней раньше Московской-39, зимостойкий, высота растений 58-93 см. Рекомендован для возделывания в центрально-черноземном районе РФ. Основные достоинства: зимостойкий, высокой продуктивной кустистости, устойчив к полеганию, устойчив к твердой головне, отзывчив на внесение удобрений (основное, подкормка).

Исследования были направлены на изучение отзывчивости нового сорта озимой пшеницы Льговская-4 на отдельные виды минеральных удобрений и их сочетания, влияние минеральных удобрений на урожайность, качество зерна в полевом севообороте со следующим чередованием культур (табл. 3): кукуруза на силос – овес – чистый пар – озимая пшеница – сахарная свекла – кукуруза на зерно.

Лучшими предшественниками являются черный и занятой пар, горох. Норма высева 4 млн. всхожих семян (180-200 кг/га). Посев обычный, рядовой. При загущенном посеве снижается урожайность сорта. Весной необходимо провести подкормку озимых.

Полевые работы на опытном участке проводились в агротехнические сроки, характерные для северо-западной зоны Курской области, теми же машинами и оборудованием, которые использовались в производственных условиях.

Таблица 3

Чередование культур в полевом севообороте

Показатели	2013	2014	2015	2016
Культура	Кукуруза на силос	Овес	Пар, озимая пшеница	Озимая пшеница
Урожай, ц/га	350	40		47
Внесено, кг/га	Аммиачная селитра	-	-	-
N	50 д.в. кг/га	-	-	-
P_2O_5	-	-	-	-
K_2O	-	-	-	-
Известкование	-	-	-	-
Внесение органики	-	Жом 300 т/га	-	-

Минеральные удобрения: аммиачная селитра, суперфосфат, хлористый калий – были внесены в августе под основную обработку почвы, аммиачная селитра весной в качестве подкормки в соответствии со схемой опыта.

Расчет количества минеральных удобрений представлен в таблице 4.

$$x = \frac{б * в}{а} 100, \text{где}$$

х – количество удобрений в кг на делянку;

б – доза питательного вещества, кг д.в. на 1 кг;

в – площадь делянки, $м^2$;

а – содержание питательного вещества в удобрениях, %.

Площадь посевной делянки 224 $м^2$ (6,4 × 35), учетной – 140 $м^2$ (4 × 35).

Повторность в опытах четырехкратная, размещение вариантов в опыте систематическое в один ярус.

Использовали следующие виды удобрений:

- азотные – аммиачная селитра – 34% д.в.

- фосфорные – суперфосфат – 41% и 26% д.в.

- калийные – хлористый калий – 60% д.в.

Таблица 4

Расчет количества удобрений на делянку, кг

№ вар-та	кг д.в. на 1 га			Вносится кг на делянку (S=224 м^2)				Вносится, кг
				Аммиачная селитра	Суперфосфат		Хлористый калий	Аммиачная селитра
	N	P	K	34%	41%	26%	60%	34%
				основное с осени				подкормка весной
1	-	-	-	-	-	-	-	-
2	-	60	60	-	3,28	5,17	2,24	-
3	-	60	60	-	3,28	5,17	2,24	3,95
4	60	60	60	3,95	3,28	5,17	2,24	-
5	60	60	60	3,95	3,28	5,17	2,24	1,98
6	60	60	60	3,95	3,28	5,17	2,24	3,95
7	60	60	60	3,95	3,28	5,17	2,24	5,93 (3,95+1,98)
8	60	-	60	3,95	-	-	2,24	-
9	60	30	60	3,95	1,64	2,6	2,24	-
10	60	60	60	3,95	4,9	7,75	2,24	-
11	60	60	-	3,95	3,28	5,17	-	-
12	60	60	30	3,95	3,28	5,17	1,12	-
13	60	60	90	3,95	3,28	5,17	3,36	-
Итого на 1 повторность				39,5	36,1	57	24,64	15,81
Всего на 4 повторности				158	145	228	98,56	63,24

Схема полевого опыта и содержание вариантов: 1. Без удобрений – 2. $P_{60}K_{60}$ – основное – 3. $P_{60}K_{60}$ – основное + N_{60} весной – 4. $N_{60}P_{60}K_{60}$ – основное – 5. $N_{60}P_{60}K_{60}$ – основное + N_{30} весной – 6. $N_{60}P_{60}K_{60}$ – основное + N_{60} весной – 7. $N_{60}P_{60}K_{60}$ – основное + $N_{90\ (60+30)}$ весной – 8. $N_{60}K_{60}$ – основное – 9. $N_{60}P_{30}K_{60}$ – основное – 10. $N_{60}P_{90}K_{60}$ – основное – 11. $N_{60}P_{60}$ – основное – 12. $N_{60}P_{60}K_{30}$ – основное.

Технологические приемы возделывания озимой пшеницы на опытном поле включали: ранневесеннее боронование – дискование пара в 3-х повторностях по мере появления сорняков бороной дисковой БДП-6000 – предпосевная культивация культиватором глубокорыхлителем COS с шириной захвата 5 м – посев рядовой сеялкой Амазоне D-4000.

Сроки сева и подкормки по годам: сев – 12.09.2015, подкормка – 28.03.2016, уборка – 04.08.2016; сев – 15.09.2016, подкормка – 09.04.2017, уборка – 04.09.2017; сев – 09.09.2017, подкормка – 03.04.2018, уборка – 09.08.2018.

В период начала выхода в трубку была проведена обработка посевов гербицидом Статус гранд в дозе 35 г/га против широколистных однолетник и многолетних сорняков и фунгицидом Новус – 0,7 л/га.

Для определения структуры и качества урожая за 2 дня до начала уборки озимой пшеницы с каждой делянки отобрано по 4 основных образца. После просушки в них определено число продуктивных растений на квадратном метре, высота растений, длина колоса. После обмолота определены масса 1000 зерен (ГОСТ 10842-89), натура зерна (ГОСТ 54895-2012), клейковина и ее качество (ГОСТ 27839-2013), влажность (ГОСТ 13586.5-2015).

Уборку урожая проводили с площади учетной делянки, зерно взвешивалось в мешках на десятичных весах, с перерасчетом на центнеры с одного гектара. Пересчет урожая проводился на 100%-ную чистоту и 14%-ную влажность зерна. Убирали урожай самоходным комбайном «Сампо-500» прямым комбайнированием.

2.4. Методы исследований

В годы проведения полевых опытов с озимой пшеницей велись фенологические наблюдения за посевами по «Методике государственного сортоиспытания сельскохозяйственных культур» (1996): густота насаждений – путем подсчета всех растений на учетных площадках; степень распространения болезней – по общепринятым в фитопатологии методам. В лабораторных условиях проводили исследования почвенных и растительных образцов.

В лабораторных условиях проводили исследование почвенных и растительных образцов.

Методы анализа почвенных образцов:

- влажность почвы – весовым методом с высушиванием почвенных образцов при t – 105° до постоянного веса (P_0-P_{160});

- гидролитическая кислотность – по методу Каппена ГОСТ 26212-2021;

- кислотность pH_{KCl} – ионометрически ГОСТ 26483-85;

- органическое вещество – ГОСТ 26213-2021;

- сумма поглощенных оснований – по методу Каппена титриметрически ГОСТ 27821-2020;

- фосфор подвижный – фотометрически по методу Чирикова ГОСТ 26204-91;

- азот щелочногидролизуемый – по методу Корнфилда, ЦИНАО. – М., 1985 год;

- калий обменный – по методу Чирикова ГОСТ 26204-91;

- кальций обменный – комплексометрически ГОСТ 26490-85;

- магний обменный – комплексометрически ГОСТ 26487-85;

- гранулометрический состав – ГОСТ 12536-2014;

- азот нитратный – ионометрически ГОСТ 26951-86;

- азот аммиачный – фотометрически ГОСТ 26489-85;

- отбор проб почвы – ГОСТ Р 58595-2019.

Методы анализа растительных образцов и продукции:

- азот – по методу Кьельдаля ГОСТ 32044.1-2012;

- фосфор – фотометрически ГОСТ 26657-97;

- калий – пламенно-фотометрически ГОСТ 30504-97;

- содержание белка в зерне – по методу Кьельдаля ГОСТ 10846-91;

- количество и качество клейковины – ГОСТ 54478-2011;

- натура зерна – ГОСТ 10840-2017;

- масса 1000 зерен – ГОСТ ISO 520-2014.

Статистическая обработка экспериментальных данных проводилась методом дисперсионного (Доспехов, 1986; Афанасьев, 2002) и корреляционно-регрессионного анализов с применением программы «Статистика» версия 2.6», пакеты анализа Microsoft Excel (2013).

3. РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

3.1. Влияние минеральных удобрений на урожайность озимой пшеницы

Наибольшая урожайность озимой пшеницы была получена в 2017 году. Несколько ниже был уровень урожайности в 2018 г., наименьшим – в 2016 г.

В 2016 году в контроле (без удобрений) получена наименьшая урожайность зерна озимой пшеницы – 36,1 ц/га (табл. 5, прил. 2). Применение минеральных удобрений обеспечило достоверный рост урожайности. Наибольшая урожайность получена в 5-7 вариантах с внесением удобрений, содержащих азот, фосфор и калий, а также в вариантах с подкормкой. Внесение $N_{60}P_{60}K_{60}+N_{30}$, $N_{60}P_{60}K_{60}+N_{60}$, $N_{60}P_{60}K_{60}+N_{90}$ обеспечило прибавку урожайности по сравнению с контролем на 12,1-14,5 ц/га. В вариантах с парным внесением удобрений: $P_{60}K_{60}$, $N_{60}K_{60}$, $N_{60}P_{60}$ прибавка урожайности была значительно ниже.

Таблица 5

Урожайность зерна озимой пшеницы в зависимости от уровня минерального питания

Варианты опыта	Урожайность, ц/га				Прибавка, ц/га			
	Годы							
	2016	2017	2018	Среднее	2016	2017	2018	Среднее
1. Контроль (без удобрений)	36,1	37,4	36,5	36,7	-	-	-	-
2. $P_{60}K_{60}$	38,4	40,3	39,0	39,2	2,3	2,9	2,5	2,6
3. $P_{60}K_{60}+N_{60}$	47,8	50,2	49,1	49,0	11,7	12,8	12,6	12,4
4. $N_{60}P_{60}K_{60}$	45,5	47,8	46,8	46,7	9,4	10,4	10,3	10,0
5. $N_{60}P_{60}K_{60}+ N_{30}$	48,2	50,6	49,3	49,4	12,1	13,2	12,8	12,7
6. $N_{60}P_{60}K_{60}+ N_{60}$	49,4	51,8	50,4	50,5	13,3	14,4	13,9	13,9
7. $N_{60}P_{60}K_{60}+ N_{90}$	50,6	53,1	52,0	51,9	14,5	15,7	15,5	15,2
8. $N_{60}K_{60}$	44,0	46,2	45,3	45,2	7,9	8,8	8,8	8,5
9. $N_{60}P_{30}K_{60}$	44,6	46,9	45,4	45,6	8,5	9,5	8,9	9,0
10. $N_{60}P_{90}K_{60}$	44,8	47,0	46,2	46,0	8,7	9,6	9,7	9,3
11. $N_{60}P_{60}$	43,8	45,9	45,1	44,9	7,7	8,5	8,6	8,3
12. $N_{60}P_{60}K_{30}$	44,1	46,3	45,8	45,4	8,0	8,9	9,3	8,7
13. $N_{60}P_{60}K_{90}$	45,2	47,5	46,9	46,5	9,1	10,1	10,4	9,9
$НСР_{05}$	1,62	1,7	1,67	1,67				

В 2017 году урожайность зерна озимой пшеницы в контрольном варианте (без удобрений) составляла 37,4 ц/га. В 5-7 вариантах наибольшая урожайность получена при тройном сочетании NPK с проведением ранневесенней подкормки. Внесение $N_{60}P_{60}K_{60}+N_{30}$, $N_{60}P_{60}K_{60}+N_{60}$, $N_{60}P_{60}K_{60}+N_{90}$ обеспечило прибавку урожайности зерна по сравнению с контролем 13,2-15,7 ц/га (табл. 5, прил. 3).

В 2018 г. урожайность зерна пшеницы в варианте без удобрений составила 36,5 ц/га. Как и в предшествующие годы в 5-7 вариантах наибольшая урожайность получена при применении N+P+K. Дозы внесения $N_{60}P_{60}K_{60}+N_{30}$, $N_{60}P_{60}K_{60}+N_{60}$, $N_{60}P_{60}K_{60}+N_{90}$ обеспечили прибавки урожайности по сравнению с контролем 12,8-15,5 ц/га (табл. 5, прил. 4).

Отзывчивость озимой пшеницы на минеральные удобрения зависела от условий увлажнения и температурного режима (в 2017 г. прибавки урожайности от внесения удобрений были выше, чем в 2016 и 2018 гг.), но в целом эта разница была незначительной.

В связи с тем, что схема опыта позволяла выделить эффект не только от NPK, но и от применения азотных, фосфорных и калийных удобрений, результаты опыта дают возможность показать действие от их применения.

Наиболее высокая прибавка урожая озимой пшеницы была получена от азотных удобрений. Прирост урожая в зависимости от увеличения дозы азота возрастал от 9,8 до 12,9 ц/га. Действие фосфорных и калийных удобрений проявилось в меньшей степени. В данном случае величина прибавки урожая от их внесения была незначительной и не превышала НСР. Это вполне объяснимо, так как почва, на которой проводились опыты, характеризовалась высокой и повышенной обеспеченностью подвижными формами фосфора и калия. Все это отразилось на величине урожайности и окупаемости минеральных удобрений прибавкой урожая.

Наряду с этим обращает внимание то, что применение азотной подкормки оказалось более эффективным по сравнению с осенним внесением азотных удобрений.

Влияние удобрений на урожайность зерна озимой пшеницы сорта Льговская-4, представлено в таблице 5. Отмечается увеличение урожайности при возрастании доз азотных удобрений. В тоже время, эффективность Р-К удобрений была значительно ниже. Внесение $P_{60}K_{60}$, $N_{60}K_{60}$, $N_{60}P_{60}$ давало значительно меньшую прибавку урожайности по сравнению с применением всех 3-х элементов питания.

Применение удобрений увеличивало выход (долю) побочной продукции – соломы в среднем на 1,4-5,9 ц/га (табл. 6). В тоже время основная продукция преобладала над побочной, соотношение зерно : солома составляло 1/0,80-1/1,04 (табл. 6).

Таблица 6

Урожайность соломы озимой пшеницы в зависимости от уровня минерального питания

Варианты опыта	Урожайность, ц/га				Прибавка, ц/га	Зерно/ Солома
	Годы					
	2016	2017	2018	Среднее		Среднее
1. Контроль (без удобрений)	37,9	38,5	38,3	38,2	-	1/1,04
2. $P_{60}K_{60}$	39,2	40,3	39,4	39,6	1,4	1/1,01
3. $P_{60}K_{60}+N_{60}$	45,4	40,2	46,6	44,1	5,9	1/0,90
4. $N_{60}P_{60}K_{60}$	40,1	45,4	42,1	42,5	4,3	1/0,91
5. $N_{60}P_{60}K_{60}+ N_{30}$	43,0	40,5	46,8	43,4	5,2	1/0,87
6. $N_{60}P_{60}K_{60}+ N_{60}$	44,0	41,4	40,3	41,9	3,7	1/0,83
7. $N_{60}P_{60}K_{60}+ N_{90}$	40,5	42,5	41,6	41,5	3,3	1/0,80
8. $N_{60}K_{60}$	39,6	41,6	40,8	40,6	2,4	1/0,90
9. $N_{60}P_{30}K_{60}$	40,1	42,2	40,9	41,1	2,9	1/0,90
10. $N_{60}P_{90}K_{60}$	40,3	42,3	41,6	41,4	3,2	1/0,90
11. $N_{60}P_{60}$	39,4	41,3	40,6	40,4	2,2	1/0,90
12. $N_{60}P_{60}K_{30}$	39,7	41,7	41,2	40,9	2,7	1/0,90
13. $N_{60}P_{60}K_{90}$	40,7	45,1	42,2	42,7	4,5	1/0,90
$НСР_{05}$	1,31	1,50	1,34	1,38		

3.2. Окупаемость минеральных удобрений в зависимости от доз азота фосфора и калия

Одним из важных показателей в оценке эффективность применения минеральных удобрений наряду с прибавкой урожая является такой показатель как их окупаемость приростом урожая. Этот показатель позволяет обосновать целесообразность применения тех или иных видов и форм минеральных удобрений и установить наиболее рациональные дозы их внесения с учетом экономических критериев. В связи с тем, что метеорологические условия в годы проведения опыта изменялись незначительно, то величина прибавки урожая мало варьировала по годам исследования, но в тоже время она заметно возрастала с увеличением доз удобрений. В первую очередь это касается азотных удобрений, внесение которых способствует заметному увеличению урожайности озимой пшеницы и ее прибавки. Наряду с этим, увеличение доз азота заметно повлияло на величину окупаемость данного удобрения. Наибольшая окупаемость 1 кг азота приростом урожая получена при весенней подкормке озимой пшеницы в дозе N_{60}, где они в среднем за 3 года составила 16,3 кг/кг (табл. 7). Внесение такой же дозы азота осенью окупилось 12,4 кг/кг, ниже весеннего внесения почти на 4 кг.

Дробное применение азотных удобрений способствовало увеличению урожайности озимой пшеницы, но при этом снижалась их окупаемость прибавкой урожая. В среднем за 3 года внесение N_{30} окупилось 11,2 кг зерна пшеницы, N_{60} 9,1 и N_{90} 8,1 кг/кг.

Действие фосфорных и калийных удобрений, как уже отмечалось, было невысоким и это отразилось на их окупаемости прибавкой урожая. В среднем за три года каждый внесенный кг P_2O_5 в зависимости от дозы колебался от 0,9 до 2,2 кг зерна, а $К_2О$ 1,5-3,0 кг зерна (табл. 7).

Суммарная окупаемость NPK удобрений варьировала по вариантам опыта более заметно. При этом, более существенная отдача от внесения удобрений отмечалась в тех вариантах, где были применены азотные удобрения. Так, в варианте $Р_{60}К_{60}$ окупаемость удобрений составила 2,2 кг. В варианте, где внесли

$N_{60}K_{60}$ оплата удобрений прибавкой урожая озимой пшеницы составило 7,1 кг и почти столько в варианте $N_{60}P_{60}$ – 7,0 кг.

Таблица 7

Окупаемость минеральных удобрений в зависимости от доз азота фосфора и калия, кг/кг

Дозы удобрений	2016 г.	2017 г.	2018 г.	В среднем
Азотные удобрения на фоне $P_{60}K_{60}$				
N_{60} – осень	11,8	12,5	13,0	12,4
N_{60} – подкормка	15,7	16,5	16,8	16,3
N_{60} осень + N_{30} – подкормка	10,9	11,4	11,4	11,2
N_{60} осень + N_{60} – подкормка	9,2	9,6	8,6	9,1
N_{60} осень + N_{90} – подкормка	8,1	8,5	7,9	8,1
Фосфорные удобрения на фоне $N_{60}K_{60}$				
P_{30}	2,0	2,3	0,3	1,5
P_{60}	1,5	2,7	2,5	2,2
P_{90}	0,9	0,9	0,9	0,9
Калийные удобрения на фоне $N_{60}P_{60}$				
K_{30}	1,0	1,3	2,3	1,5
K_{60}	3,1	3,2	2,8	3,0
K_{90}	1,6	1,8	2,0	1,8
Суммарная окупаемость (NPK)				
$P_{60}K_{60}$	1,9	2,4	2,2	2,2
$P_{60}K_{60}$ + N_{60}	6,5	7,1	7,0	6,9
$N_{60}P_{60}K_{60}$	5,2	5,8	5,7	5,6
$N_{60}P_{60}K_{60}$ + N_{30}	5,7	6,3	6,1	6,0
$N_{60}P_{60}K_{60}$ + N_{60}	5,5	6,0	5,8	5,8
$N_{60}P_{60}K_{60}$ + N_{90}	5,4	5,8	5,7	5,6
$N_{60}K_{60}$	6,6	7,3	7,3	7,1
$N_{60}P_{30}K_{60}$	5,7	6,3	5,9	6,0
$N_{60}P_{90}K_{60}$	4,1	4,6	4,6	4,4
$N_{60}P_{60}$	6,8	7,1	7,2	7,0
$N_{60}P_{60}K_{30}$	5,3	5,9	6,2	5,8
$N_{60}P_{60}K_{90}$	4,3	4,8	5,0	4,7

Таким образом, из результатов исследования следует, что в наибольшей степени окупались прибавкой урожая озимой пшеницы азотные удобрения. Окупаемость фосфорных и калийных удобрений оказалась невысокой, так как их внесение незначительно отразилось на приросте урожая вследствие хорошей обеспеченности почвы подвижными формами фосфора и калия.

3.3. Влияние содержания доступных для растений форм азота, определяемых различными методами, на эффективность прибавки от азотных удобрений

Запас минерального азота в почве оказывал весомое влияние на эффективность азотных удобрений.

Всем природно-климатических зонам была характерна общая закономерность – с увеличением содержания минерального азота в почве повышалась урожайность и снижалось действие азотных удобрений.

Для установления степени обеспеченности почв азотом агрохимической службой используются различные методы определения доступных форм азота в почве: азота нитратов, азота обменного аммония, щелочногидролизуемого – по Корнфилду, легкогидролизуемого – по Тюрину-Кононовой, нитрификационной способности – по Кравкову.

Влияние содержания доступных для растений форм азота, определяемых различными методами, на прибавку урожая от азотных удобрений на культуре озимой пшеницы в Курской области не проводилось, поэтому одной из задач настоящей работы явилось выявление связи между этими показателями.

Результаты корреляционного и регрессионного анализов показывают об отсутствии линейной связи между содержанием аммонийного и щелочногидролизуемого азота ($r = 0{,}20\text{-}0{,}25$), нитратного $N\text{-}NO_3$ и суммой $N\text{-}NO_3+N\text{-}NH_4$ - $N_{мин}$ ($r = 0{,}40\text{-}0{,}47$) с прибавкой урожайности озимой пшеницы. Наиболее тесной была связь между содержанием минерального азота в почве и прибавкой урожайности зерна озимой пшеницы.

3.4. Действие минеральных удобрений на качество зерна озимой пшеницы

Применение удобрений оказывает существенное влияние не только на повышение урожайности сельскохозяйственных культур, но и на качество продукции. Из минеральных удобрений наибольшим влиянием отличаются азотные удобрения. Внесение минеральных удобрений в оптимальных дозах увеличивает содержание и качество клейковины в зерне озимой пшеницы. От внесения фосфорных и калийных удобрений в большинстве случаев не наблюдается положительного эффекта на качестве зерна.

Изучаемые удобрения и погодные условия в годы проведения исследований оказали значительное влияние на содержание сырой клейковины (табл. 8). Это отмечалось и другими авторами (Личко, Колосинец, Ваулина, 2007).

Таблица 8

Содержание сырого белка в зерне озимой пшеницы, Льговская-4, % на абсолютно сухое вещество

Варианты опыта	2016 г.	2017 г.	2018 г.	Среднее
1. Без удобрений	7,9	8,4	8,2	8,2
2. $P_{60}K_{60}$	8,0	8,6	8,1	8,2
3. $P_{60}K_{60}+N_{60}$ весна	9,2	9,5	9,3	9,3
4. $N_{60}P_{60}K_{60}$	8,8	9,2	8,9	9,0
5. $N_{60}P_{60}K_{60}+ N_{30}$ весна	8,9	9,3	8,9	9,0
6. $N_{60}P_{60}K_{60}+ N_{60}$ весна	8,6	8,7	8,6	8,6
7. $N_{60}P_{60}K_{60}+ N_{90}$ весна	9,6	9,9	9,7	9,7
8. $N_{60}K_{60}$	7,5	6,8	7,5	7,3
9. $N_{60}P_{30}K_{60}$	8,8	8,9	8,9	8,9
10. $N_{60}P_{90}K_{60}$	8,3	8,6	8,4	8,4
11. $N_{60}P_{60}$	9,6	10,0	10,0	9,9
12. $N_{60}P_{60}K_{30}$	10,3	11,2	10,9	10,8
13. $N_{60}P_{60}K_{90}$	8,4	7,5	8,5	8,1

Одним из важных показателей качества озимой пшеницы является содержание белка. Согласно нашим исследованиям эти показатели различались

между вариантами опыта. Наиболее высокими показателями выделялись варианты, в которых применялись азотные удобрения. В среднем за три года наиболее высокое содержание белка (10,8%) зафиксировано в варианте 12 (табл. 8), в котором оно превышало остальные во все годы исследования.

Во всех вариантах, где проводилась азотная подкормка, имелась тенденция к увеличению содержания белка в зерне и во всех вариантах опыта, в которых вносились азотные удобрения, содержание белка превосходило контрольный вариант. Наряду с этим следует отметить, что содержание белка в зерне пшеницы рассматриваемого опыта было невысоким. Об этом можно судить по данным полевого опыта, проведенного также на типичном черноземе Тамбовской области в течение 2010-2012 гг. с сортами Московская-39 и Губернатор Дона, в которых в среднем за три года содержание белка составляло 16,5-17,7% у первого и 14,5-15,2% у второго (Иванова, 2012, 2012_1). При этом также азотные удобрения способствовали повышению белковости зерна, несмотря на несколько иные метеорологические условия.

Применение азотных удобрений повышало содержание клейковины по отношению к контролю на 3 и более процентов (табл. 9).

Таблица 9

Влияние минеральных удобрений на массовую долю сырой клейковины, %

Варианты опыта	2016 г.	2017 г.	2018 г.	Среднее
1. Контроль (без удобрений)	18,9	14,4	15,2	16,2
2. $P_{60}K_{60}$	19,9	15,5	17,7	17,7
3. $P_{60}K_{60}+N_{60}$	20,7	20,8	20,7	20,7
4. $N_{60}P_{60}K_{60}$	21,2	21,4	21,4	21,3
5. $N_{60}P_{60}K_{60}+ N_{30}$	20,7	19,8	20,3	20,3
6. $N_{60}P_{60}K_{60}+ N_{60}$	21,1	20,4	20,7	20,7
7. $N_{60}P_{60}K_{60}+ N_{90}$	21,2	20,8	21,1	21,0
8. $N_{60}K_{60}$	21,1	19,9	20,8	20,6
9. $N_{60}P_{30}K_{60}$	21,5	19,8	20,9	20,7
10. $N_{60}P_{90}K_{60}$	21,5	17,6	20,8	20,0
11. $N_{60}P_{60}$	21,3	21,1	21,2	21,2
12. $N_{60}P_{60}K_{30}$	20,5	20,8	20,7	20,7
13. $N_{60}P_{60}K_{90}$	19,3	19,9	19,6	19,6

Определенное влияние на этот показатель также оказали погодные условия вегетационных периодов. В большей степени это коснулось вариантов, в которых не применялись азотные удобрения. Так, в 2017 году на контроле массовая доля клейковины составила 14,4%, в варианте $P_{60}K_{60}$ – 15,5%. Внесение в этом году азотных удобрений позволило увеличить содержание клейковины и удобрений по ряду вариантов уровня приближающегося к средней величине, полученной в среднем за три года.

Качество клейковины в зерне озимой пшеницы также изменялось под влиянием азотных удобрений и погодных условий (табл. 10).

Таблица 10

Влияние минеральных удобрений на качество сырой клейковины в зерне озимой пшеницы, ед.

Варианты опыта	2016 г.	2017 г.	2018 г.	Среднее
1. Контроль (без удобрений)	83,90	88,75	87,63	86,85
2. $P_{60}K_{60}$	86,13	88,75	87,91	87,60
3. $P_{60}K_{60}+N_{60}$	89,38	90,75	90,64	90,26
4. $N_{60}P_{60}K_{60}$	88,50	96,25	95,4	93,38
5. $N_{60}P_{60}K_{60}+ N_{30}$	87,60	88,75	88,48	88,28
6. $N_{60}P_{60}K_{60}+ N_{60}$	89,13	96,50	95,23	93,62
7. $N_{60}P_{60}K_{60}+ N_{90}$	91,5	97,0	96,71	95,07
8. $N_{60}K_{60}$	90,25	95,5	95,21	93,65
9. $N_{60}P_{30}K_{60}$	92,13	94,75	93,94	93,61
10. $N_{60}P_{90}K_{60}$	93,00	89,0	90,14	90,71
11. $N_{60}P_{60}$	90,50	96,50	95,28	94,1
12. $N_{60}P_{60}K_{30}$	86,75	84,0	85,45	85,4
13. $N_{60}P_{60}K_{90}$	90,38	87,25	89,33	88,98

Внесение азотных удобрений оказывало заметное влияние на качество сырой клейковины во все годы исследования, но наиболее заметно эти изменения коснулись вегетационного периода 2016 г., когда разница между контрольным вариантом и вариантом 10 составила почти 10 единиц, что превышает аналогичные показатели других лет исследования (табл. 10).

Важным показателем в оценке технологических свойств зерна, который используют при оценке его крупности и выполненности, является масса 1000 зерен (рис. 1, прил. 11).

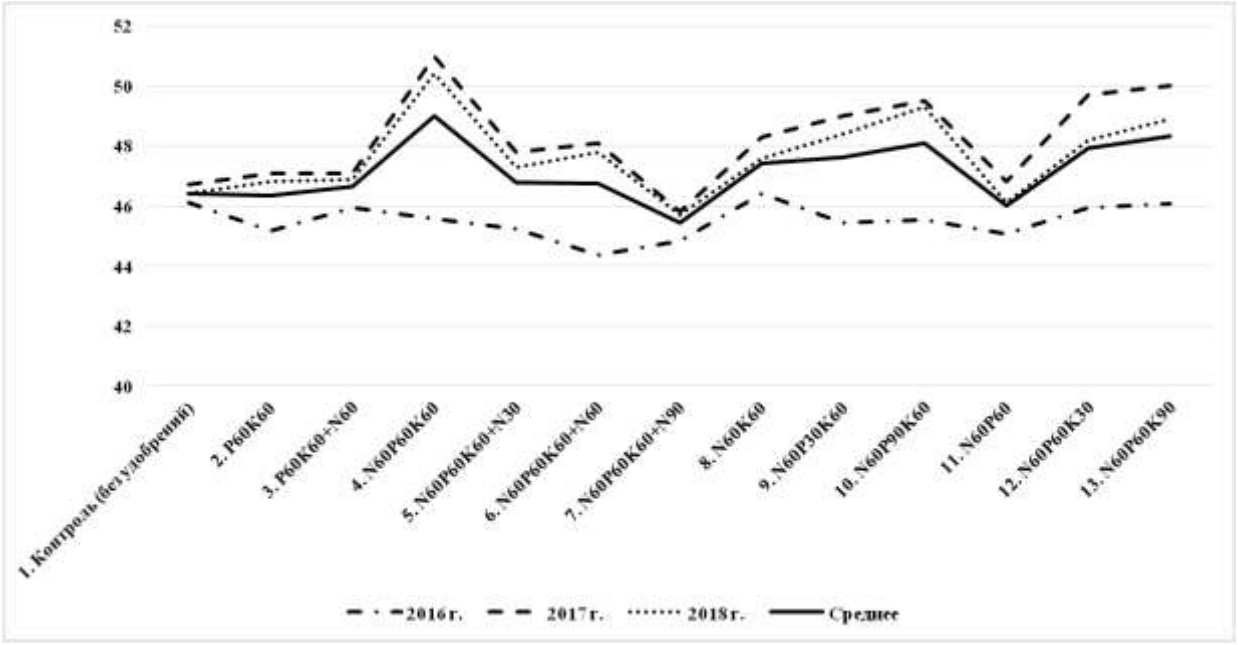

Рис. 1. Влияние минеральных удобрений на массу 1000 зерен озимой пшеницы, г

Чем крупнее зерно, чем лучше оно выполнено, тем больше масса 1000 зерен, а чем больше масса, тем плотнее зерно и в нем больше содержится питательных веществ. Этот показатель важен также при оценке качества семенного зерна.

В нашем опыте масса 1000 зерен мало зависела от погодных условий и в среднем за три года в контрольном варианте составила 46,4 г. Наряду с этим отмечено, что действие азотных удобрений на увеличение массы 1000 зерен в большей мере проявилось в 2017 и 2018 гг., так как в эти годы прирост массы зерна был более ощутим и в отдельных вариантах достигал 51,0 г (рис. 1, прил. 11). В среднем за три года исследований только в трех вариантах масса 1000 зерен превышала 48 г.

Натурой зерна считается масса 1 л семян в граммах. Этот показатель зависит от многих факторов: состояния поверхности зерновок, их формы и

крупности, плотности, влажности, засоренности зерновой массы, что в конечном итоге позволяет судить о степени выполненности зерна, то есть степени созревания и налива (табл. 11).

Таблица 11

Влияние минеральных удобрений на натуру зерна озимой пшеницы, г/л

Варианты опыта	2016 г.	2017 г.	2018 г.	Среднее
1. Контроль (без удобрений)	723	720	718	720
2. $P_{60}K_{60}$	723	708	712	714
3. $P_{60}K_{60}+N_{60}$	723	721	720	721
4. $N_{60}P_{60}K_{60}$	725	711	710	715
5. $N_{60}P_{60}K_{60}+ N_{30}$	725	716	714	718
6. $N_{60}P_{60}K_{60}+ N_{60}$	728	730	728	728
7. $N_{60}P_{60}K_{60}+ N_{90}$	719	721	721	720
8. $N_{60}K_{60}$	729	706	713	716
9. $N_{60}P_{30}K_{60}$	725	721	720	722
10. $N_{60}P_{90}K_{60}$	725	727	723	725
11. $N_{60}P_{60}$	724	717	716	719
12. $N_{60}P_{60}K_{30}$	711	721	715	715
13. $N_{60}P_{60}K_{90}$	718	730	722	723

В среднем за три года в опыте натура зерна составила 720 г/л, по вариантам опыта разница была небольшой. Размах колебаний между вариантами варьировал от 714 до 728 г/л, а по годам в контрольном варианте от 718 до 723, а в варианте с наиболее высокими показателями от 723 до 727 г/л.

Таким образом, в среднем за три года исследований возрастающие дозы азотных удобрений оказывали положительное влияние на накопление белка в зерне клейковины с 10,63 до 12,41%. Фосфорные и калийные удобрения не оказали заметного влияния на этот показатель. Во всех вариантах опыта с применением удобрений отмечалось увеличение, по сравнению с контролем, таких показателей качества, как масса 1000 зерен и натура зерна. Масса 1000 зерен возрастала на 1,3-5,3 г, а натура на 13-33 г/л по сравнению с контролем.

3.5. Изменение химического состава зерна и соломы озимой пшеницы от минеральных удобрений

Содержание N, P_2O_5, K_2O в зерне и соломе озимой пшеницы при возделывании его в условиях Курской области изменялось по годам исследований, но в большей степени на эти различия оказывало действие минеральных удобрений. В первую очередь это касалось азотных удобрений (Боева, 2000).

В среднем по годам исследований содержание N в зерне варьировало от 1,43 до 1,90%. В вариантах, где не применялись азотные удобрения, содержание азота составило 1,43-1,44% в зерне и 0,44-0,43% – в соломе. В вариантах с внесением азотных удобрений содержание азота в зерне колебалось от 1,27 до 1,90%, в соломе концентрация N при этом изменилась незначительно (табл. 12, прил. 8).

Таблица 12

Влияние минеральных удобрений на содержание азота в зерне озимой пшеницы, % на абсолютно сухое вещество

Варианты опыта	2016 г.	2017 г.	2018 г.	Среднее
1. Контроль (без удобрений)	1,38	1,47	1,43	1,43
2. $P_{60}K_{60}$	1,40	1,50	1,42	1,44
3. $P_{60}K_{60}+N_{60}$	1,61	1,67	1,63	1,64
4. $N_{60}P_{60}K_{60}$	1,55	1,61	1,56	1,57
5. $N_{60}P_{60}K_{60}+ N_{30}$	1,57	1,64	1,56	1,59
6. $N_{60}P_{60}K_{60}+ N_{60}$	1,50	1,52	1,50	1,51
7. $N_{60}P_{60}K_{60}+ N_{90}$	1,69	1,73	1,70	1,71
8. $N_{60}K_{60}$	1,31	1,20	1,30	1,27
9. $N_{60}P_{30}K_{60}$	1,54	1,57	1,56	1,56
10. $N_{60}P_{90}K_{60}$	1,45	1,50	1,48	1,48
11. $N_{60}P_{60}$	1,69	1,75	1,76	1,73
12. $N_{60}P_{60}K_{30}$	1,82	1,96	1,92	1,90
13. $N_{60}P_{60}K_{90}$	1,47	1,50	1,49	1,49

В среднем по годам исследований содержание N в зерне варьировало от 1,38 до 1,47% на контроле и от 1,82 до 1,96% в варианте с наиболее высоким выносом содержания азота. Аналогичная картина наблюдалась и в других

вариантах с применением азота. Следовательно, в данном опыте погодные условия вегетационных периодов мало повлияли на содержание азота в зерне озимой пшеницы.

Содержание азота в соломе озимой пшеницы в большинстве вариантов мало заметно изменилось по вариантам, исключая вариант с наиболее высокой дозой азота (90 кг/га) в виде весенней подкормки, в котором содержание азота в среднем за три года 1,71%, тогда как по всем вариантам с осенним внесением азота его содержание имеет тенденцию к некоторому снижению по отношению к контролю.

Содержание фосфора также колебалось незначительно по годам исследования (табл. 13, прил. 9).

Таблица 13

Влияние минеральных удобрений на содержание фосфора в зерне озимой пшеницы, % на абсолютно сухое вещество

Варианты опыта	2016 г.	2017 г.	2018 г.	Среднее
1. Контроль (без удобрений)	0,39	0,40	0,40	0,40
2. $P_{60}K_{60}$	0,46	0,50	0,47	0,48
3. $P_{60}K_{60}+N_{60}$	0,57	0,55	0,55	0,56
4. $N_{60}P_{60}K_{60}$	0,51	0,57	0,54	0,54
5. $N_{60}P_{60}K_{60}+ N_{30}$	0,52	0,52	0,50	0,51
6. $N_{60}P_{60}K_{60}+ N_{60}$	0,49	0,55	0,53	0,52
7. $N_{60}P_{60}K_{60}+ N_{90}$	0,50	0,53	0,52	0,52
8. $N_{60}K_{60}$	0,49	0,52	0,51	0,51
9. $N_{60}P_{30}K_{60}$	0,49	0,50	0,50	0,50
10. $N_{60}P_{90}K_{60}$	0,45	0,48	0,45	0,46
11. $N_{60}P_{60}$	0,42	0,48	0,44	0,45
12. $N_{60}P_{60}K_{30}$	0,45	0,46	0,45	0,45
13. $N_{60}P_{60}K_{90}$	0,50	0,53	0,52	0,52

На контроле содержание фосфора в зерне в среднем за три года составило 0,40% с колебаниями по годам от 0,39 до 0,40%. В вариантах с внесением фосфорных удобрений содержание P_2O_5 в зерне несколько увеличивалось и в среднем за три года составило в зерне 0,48-0,56%. При этом, наиболее заметно это проявилось в вариантах с применением азотных удобрений. Так, при внесении

$P_{60}K_{60}$ содержание фосфора в зерне составило 0,48%, а в варианте с добавлением N_{60} в виде подкормки – 0,56% (табл. 13).

Вариация содержания P_2O_5 в соломе была менее выражена как по годам исследования, так и по вариантам опыта. В среднем за три года содержание P_2O_5 в соломе колебалось по вариантам опыта от 0,14 до 0,18%, по годам на контроле от 0,15 до 0,17%, в вариантах с наиболее высоким содержанием P_2O_5 от 0,17 до 0,19%.

На содержание калия в зерне озимой пшеницы применение калийных удобрений мало повлияло (табл. 14, прил. 10).

Таблица 14

Влияние минеральных удобрений на содержание калия в зерне озимой пшеницы, % на абсолютно сухое вещество

Варианты опыта	2016 г.	2017 г.	2018 г.	Среднее
1. Контроль (без удобрений)	0,40	0,45	0,42	0,42
2. $P_{60}K_{60}$	0,42	0,47	0,43	0,44
3. $P_{60}K_{60}$+N_{60}	0,44	0,45	0,44	0,44
4. $N_{60}P_{60}K_{60}$	0,40	0,44	0,40	0,41
5. $N_{60}P_{60}K_{60}$+ N_{30}	0,41	0,44	0,42	0,42
6. $N_{60}P_{60}K_{60}$+ N_{60}	0,42	0,47	0,44	0,44
7. $N_{60}P_{60}K_{60}$+ N_{90}	0,43	0,45	0,45	0,44
8. $N_{60}K_{60}$	0,42	0,45	0,44	0,44
9. $N_{60}P_{30}K_{60}$	0,41	0,44	0,43	0,43
10. $N_{60}P_{90}K_{60}$	0,40	0,43	0,43	0,42
11. $N_{60}P_{60}$	0,40	0,43	0,43	0,42
12. $N_{60}P_{60}K_{30}$	0,43	0,43	0,44	0,43
13. $N_{60}P_{60}K_{90}$	0,42	0,43	0,42	0,42

В среднем за три года исследований содержание K_2O в зерне варьировало от 0,41 до 0,44% по вариантам опыта. Вариация содержания калия в соломе была более выражена, поскольку она колебалась от 0,22 до 0,49% по вариантам опыта. Аналогичная ситуация прослеживается и по годам исследования. Так, в контрольном варианте она колебалась от 0,28 до 0,34%, в варианте $N_{60}P_{60}K_{30}$ – 0,41-0,60%, в варианте $P_{60}K_{60}$ – 0,22-0,28% (табл. 14).

Таким образом, приведенные данные позволяют определить потребление и вынос питательных веществ урожаями в зависимости от уровня применения минеральных удобрений.

3.6. Потребление и вынос питательных веществ урожаем озимой пшеницы

В оценке эффективности использования удобрений важное значение, наряду с рассмотренными, имеет такой показатель, как вынос питательных веществ частью урожая зерновых культур. Данные по выносу элементов питания сельскохозяйственных культур является научной основой для определения баланса азота, фосфора и калия в агроценозе при оценке интенсивности земледелия, прогнозировании земледелия плодородия почв и целенаправлении его регулирования. Эти показатели могут быть использованы также при установлении доз элементов питания с учетом коэффициентов возмещения их выноса запланированным урожаем (Сычев, Афанасьев, 2008).

Полученные результаты свидетельствуют о том, что величина выноса питательных веществ, в первую очередь, зависела от сбора зерна и соломы озимой пшеницы. Причем в большей степени это отразилось на выносе азота. Так в седьмом варианте опыта, в котором была внесена наибольшая доза азотного удобрения вынос азота составил почти 120 кг/га. Вынос фосфора и калия также различался по вариантам опыта, но эта разница была менее существенна. Это можно объяснить тем, что внесение азотных удобрений способствовало увеличению содержания азота в зерне и соломе, тогда как фосфорные и калийные удобрения менее заметно влияли на изменения аналогичных показателей по P_2O_5 и K_2O. Все это заметно отразилось на удельном выносе питательных веществ. Из таблицы 15 следует, что вынос азота 1 т зерна с учетом соответствующего сбора соломы в вариантах с внесением азота весной превышал показатели контроля. Аналогичные данные были получены при внесении фосфорного удобрения, так как его удельный вынос во всех вариантах опыта превышал контрольный, тогда как влияние калийного удобрения практически не отразилось на удельном выносе K_2O.

Таблица 15

Вынос питательных веществ озимой пшеницы (в среднем за 2016-2018 гг.)

№ вар	Сбор, т/га		Отношение солома/зерно	Вынос, кг/га			Вынос, кг/т		
	Зерно	Солома		N	P_2O_5	K_2O	N	P_2O_5	K_2O
1	3,67	3,82	1,04	69,4	20,8	27,5	18,9	5,7	7,5
2	3,92	3,96	1,01	73,5	24,4	27,3	18,8	6,2	7,0
3	4,90	4,41	0,90	98,9	35,3	33,3	20,3	7,2	8,5
4	4,67	4,25	0,91	90,0	32,8	28,8	19,1	7,0	6,2
5	4,94	4,34	0,88	101,4	32,7	34,1	20,5	6,7	6,9
6	5,05	4,19	0,83	94,0	33,8	31,9	18,3	6,7	6,3
7	5,21	4,15	0,80	119,3	33,8	39,5	22,9	6,5	7,6
8	4,52	4,07	0,90	70,2	31,2	31,7	15,5	6,9	7,0
9	4,56	4,11	0,90	84,2	29,4	30,4	18,5	6,4	6,7
10	4,60	4,14	0,90	84,0	27,8	32,2	18,3	6,0	7,0
11	4,49	4,04	0,90	95,4	26,8	32,9	21,8	6,0	7,3
12	4,54	4,09	0,90	99,5	27,8	39,7	22,4	6,1	8,7
13	4,65	4,27	0,92	87,7	31,9	33,2	19,0	6,9	7,1
Лесостепная зона ЦР (Нормативы выноса элементов питания сельскохозяйственными культурами. – М.: ЦИНАО, 1991)							25,6	9,3	15,5

Сравнивая полученные данные с нормативами выноса элементов питания для лесостепной зоны Центрально-Черноземного района видно, что вынос азота составил 25,6 кг, P_2O_5 – 9,3 и K_2O – 15,5 кг, что превышает представленные данные. Видимо на это повлияла разница в соотношении основной и побочной продукции. Отношение зерно/солома в нормативах составило 1,3, в полученных данных варьировало между вариантами от 0,80 до 1,01, при 0,80 относится к варианту 7, где была получена самая высокая урожайность.

В оценке эффективности применения минеральных удобрений наряду с прибавкой урожая и их окупаемостью этой прибавкой, важное значение имеет такой показатель, как долевое участие или вклад удобрений в формирование урожайности сельскохозяйственных культур, который принято выражать в процентах (Державин, 1992). Данный показатель был использован ЦИНАО для

определения экономической эффективности внесенных минеральных удобрений, в крупных регионах (республики, экономические районы) в производственных условиях. Другого способа для этого не существует, поскольку оставлять на каждом поле контрольный участок (без внесения удобрений) не представляется возможности. Для того, чтобы этот метод мог использоваться, ЦИНАО были разработаны инструкция и нормативы по определению экономической и энергетической эффективности применения минеральных удобрений (1987), который базировался на нормативах для определения потребности сельского хозяйства в минеральных удобрениях (1985). Он стал успешно применяться специалистами сельского хозяйства и быстро распространялся по территории страны. Наряду с этим апробация показала, что этот метод отражает условия крупных регионов и не пригоден для использования в административных районах, сельскохозяйственных предприятиях и тем более на полях, поскольку нормативной основой для этого служили общесоюзные нормативы, которые не были привязаны к типам почв и их агрохимическим свойствам.

В целях совершенствования нормативной базы ВНИИА выполнены соответствующие разработки для основных зерновых культур, картофеля, льна-долгунца и сахарной свеклы (Шафран, 2023). В этих нормативах представлены данные о долевом участии или вкладе азотных, фосфорных и калийных удобрений в формирование перечисленных культур в зависимости от доз внесения, типов почв и их агрохимических свойств.

Согласно этой методике был определен вклад минеральных удобрений в формирование урожайности озимой пшеницы в нашем опыте.

Вклад минеральных удобрений в формирование урожайности при внесении NPK варьировал между вариантами в пределах 19-30% в зависимости от доз удобрений. В вариантах, где отсутствовал в схеме какой-либо питательный элемент, долевое участие удобрений заметно снижалось. Более заметно это отмечалось при невнесении азота (табл. 16).

Таблица 16

Вклад удобрений в формирование урожайности и возмещении выноса элементов питания урожайности озимой пшеницы (в среднем за 2016-2018 гг.)

Варианты опыта	NPK	Возмещение выноса, %		
1. Без удобрений	0	0	0	0
2. $P_{60}K_{60}$	6	0	246	220
3. $P_{60}K_{60}+N_{60}$	25	61	170	180
4. $N_{60}P_{60}K_{60}$	22	67	183	208
5. $N_{60}P_{60}K_{60}+ N_{30}$	26	112	183	176
6. $N_{60}P_{60}K_{60}+ N_{60}$	27	128	183	188
7. $N_{60}P_{60}K_{60}+ N_{90}$	30	100	178	152
8. $N_{60}K_{60}$	16	85	0	189
9. $N_{60}P_{30}K_{60}$	20	71	105	197
10. $N_{60}P_{90}K_{60}$	20	71	324	186
11. $N_{60}P_{60}$	18	63	224	0
12. $N_{60}P_{60}K_{30}$	19	60	216	76
13. $N_{60}P_{60}K_{90}$	21	68	188	271

Полученные данные были близки к нормативным для озимой пшеницы, возделываемой на типичных черноземах при аналогичных агрохимических свойствах. Для того, чтобы оценить влияние различных доз минеральных удобрений на изменение агрохимических показателей почвы были определены коэффициенты возмещения выноса азота, фосфора и калия по вариантам опыта. Результаты свидетельствуют о том, что вынос азота урожаями превышал его дозу в тех случаях, когда было внесено с удобрениями в сумме 90-150 кг/га за осенний и весенний периоды. В остальных вариантах вынос азота был компенсирован на 60-85%.

В связи с тем, что вынос фосфора урожаями составлял меньшую величину по сравнению с азотом, величина возмещения его выноса была иной и колебалась между вариантами в пределах 21-35 кг/га. Для компенсации такого выноса потребовалось внесение фосфора в меньших дозах по сравнению с внесенными,

так как почва на которой проводился опыт характеризовался повышенным и высоким содержанием подвижного фосфора. На таких почвах действие фосфора малоэффективно и его целесообразно вносить в меньших дозах для поддержания фосфатного уровня на таком уровне.

Величина выноса калия мало отличалась от фосфора, хотя по нормативным данным для лесостепной зоны вынос калия составлял 15,5 кг/т, что в разы превышает полученные показатели. Видимо, на это повлияло разное соотношение в сборе зерна и соломы.

Об усвоении азота из аммиачной селитры судили по коэффициентам его использования, определенный разностным методом (Державин, 1986).

В среднем за три года, наиболее высокий вынос азота в варианте $P_{60}K_{60}$, определялось его потребление из удобрения, которое составило 45 кг/га или 38% от внесенного количества (табл. 17).

Аналогично были установлены коэффициенты использования азота из удобрений. Полученные данные свидетельствуют о том, что внесение азота осенью было менее эффективно по сравнению с весенней подкормкой.

Коэффициент использования азота из удобрения, внесенного осенью составил 18%, тогда как при весенней подкормке в такой же дозе 27%. В других вариантах опыта, где вносились азотные удобрения в дозе 60 кг/га коэффициенты использования азота из удобрений варьировали от 12 до 26%. Такой разброс данных можно объяснить применением наряду с азотными удобрениями, фосфорных и калийных в разных дозах.

Таблица 17

Коэффициенты использования азота из удобрений (в среднем за 3 года)

Варианты опыта	Вынос урожаем всего, кг/га	Вынос из удобрений, кг/га	Коэффициент
$P_{60}K_{60}$	74	0	-
$P_{60}K_{60}+N_{60}$ весна	99	25	25
$N_{60}P_{60}K_{60}$ осень	90	16	18
$N_{60}P_{60}K_{60}+ N_{30}$ весна	101	27	27

Продолжение таблицы 17

$N_{60}P_{60}K_{60}$+ N_{60} весна	95	21	22
$N_{60}P_{60}K_{60}$+ N_{90} осень	119	45	38
$N_{60}K_{60}$	70	0	0
$N_{60}P_{30}K_{60}$	84	10	12
$N_{60}P_{90}K_{60}$	84	10	12
$N_{60}P_{60}$	95	21	22
$N_{60}P_{60}K_{30}$	100	26	26
$N_{60}P_{60}K_{90}$	88	14	16

В условиях дефицита основных органических удобрений в последние годы стали применяться в качестве удобрений солому зерновых культур, которая не используется на корм. По расчетам ученых ВНИИА в нашей стране среднегодовой выход соломы составляет около 100 млн тонн, более 50-60% который может использоваться как органическое удобрение. Солома озимой пшеницы характеризуется как менее ценная в кормовом отношении, но в то же время вполне пригодна для использования в удобрительных целях (Мерзлая, Державин, Завалин, 2012). Опыт отечественного и зарубежного земледелия показывает, что использование измельченной соломы, как органического удобрения на фоне азотных удобрений, является важным средством поддержания баланса гумуса и питательных веществ на бездефицитном уровне (Сычев, Лошаков, Мерзлая и др., 2012).

В нашем опыте вынос азота соломой составляет в зависимости от варианта от 16 до 24%, фосфора от 21 до 29% и калия от 31 до 51% (табл. 18).

Это означает при сборе урожая 4 т/га возврат элементов питания может составить значительную величину. По азоту он будет 82 кг/га, по фосфору 27 кг/га и по калию 31 кг/га. Если эти величины сопоставить с выносом питательных урожаями данного полевого опыта, видно, что количество возвращенного азота компенсирует его вынос во многих вариантах опыта. Исключение составляют дозы азота 90, 120 и 150 кг/га. Вынос фосфора будет возвращен полностью в

вариантах, где фосфорные удобрения вносились, а вынос калия почти полностью возмещался, исключая седьмой и двенадцатый варианты (табл. 18).

Таблица 18

Долевое участие зерна и соломы в общем выносе элементов питания озимой пшеницы Льговская-4 на типичном черноземе, %

Варианты опыта	зерно			солома		
	N	P_2O_5	K_2O	N	P_2O_5	K_2O
1. Без удобрений	76	71	56	24	29	44
2. $P_{60}K_{60}$	77	77	63	23	23	37
3. $N_{60}P_{60}K_{60}$	81	78	65	19	22	35
4. $N_{90}P_{60}K_{60}$	77	77	66	23	23	34
5. $N_{120}P_{60}K_{60}$	85	79	69	15	21	31
6. $N_{60}K_{60}$	88	74	63	18	26	37
7. $N_{60}P_{30}K_{60}$	84	78	64	16	22	36
8. $N_{60}P_{90}K_{60}$	81	76	60	19	24	40
9. $N_{60}P_{60}K_{30}$	87	73	49	13	27	51
10. $N_{60}P_{60}K_{90}$	79	78	59	21	22	41

Наряду с этим следует сказать, что для компенсации выноса элементов питания для недопущения снижения их содержания в почве необходимо возвращать азота в пределах 13-29 кг/га, фосфора 6-8 кг/га и калия 9-20 кг/га (табл. 19).

Это позволит заметно компенсировать убыль питательных веществ. В первую очередь, это относится к фосфору и, особенно, к калию, поскольку появится возможность сократить расход этого элемента на 31-50% (табл. 19).

Таблица 19

Вынос питательных веществ соломой озимой пшеницы и их возврат в почву

Варианты опыта	Сбор, т/га	Вынос урожаем, кг/га			Возмещение выноса, %		
		N	P_2O_5	K_2O	N	P_2O_5	K_2O
1. Без удобрений	3,82	17	6	12	24	29	44
2. $P_{60}K_{60}$	3,96	17	6	10	23	25	37

Продолжение таблицы 19

3. $P_{60}K_{60}$ + 60	4,41	19	8	11	19	23	33
4. $N_{60}P_{60}K_{60}$	4,25	17	8	9	19	24	31
5. $N_{60}P_{60}K_{60}$ + N_{30}	4,34	23	7	13	18	21	38
6. $N_{60}P_{60}K_{60}$ + N_{60}	4,19	18	8	10	19	24	31
7. $N_{60}P_{60}K_{60}$ + N_{90}	4,15	29	7	17	24	21	43
8. $N_{60}K_{60}$	4,07	13	7	12	19	22	38
9. $N_{60}P_{30}K_{60}$	4,11	13	8	11	15	27	36
10. $N_{60}P_{90}K_{60}$	4,14	16	7	13	19	25	40
11. $N_{60}P_{60}$	4,04	18	7	14	19	26	43
12. $N_{60}P_{60}K_{30}$	4,09	13	7	20	13	25	50
13. $N_{60}P_{60}K_{90}$	4,27	18	8	14	21	25	42

3.7. Эффективность применения азотных удобрений под разные сорта озимой пшеницы

В середине 60-х годов прошлого столетия был выведен сорт озимой пшеницы Мироновская 808, который долгое время занимал доминирующее положение во многих регионах России и оказал существенное влияние на рост урожайности этой культуры.

Результаты полевых опытов научно-исследовательских учреждений и агрохимической службы свидетельствовали о том, что сорт Мироновская 808 превышал стандарт по урожайности на 5-10 ц/га, а на сортоучастках его урожайность достигала 35-45 ц/га (Сандухадзе, Журавлева, Кочетыгов, 2011).

С тех пор произошли большие перемены в сельскохозяйственном производстве: появилась новая высокопроизводительная техника, изменилась технология возделывания сельскохозяйственных культур, были выведены новые высокопродуктивные сорта. Одним из них является сорт озимой пшеницы Льговская-4, выведенный Льговской селекционной станцией Курской области и стал пользоваться большим спросом не только в этом регионе, но и в Воронежской, Орловской, Белгородской и Липецкой областях. Основные достоинства этого сорта – это высокая зимостойкость, устойчивость к полеганию

и твердой головне. Вместе с тем, данных об эффективности применения минеральных удобрений под этот сорт в Центральной Черноземной зоне недостаточно, что вызывало необходимость проведения подобных исследований. Представляет также интерес сравнение полученных данных по сорту Льговская-4 с сортом Мироновская 808.

В связи с этим нами была предпринята попытка изучить влияние азотных удобрений на урожайность и качество зерна сорта озимой пшеницы Льговская-4 на черноземе типичном, сравнить полученные результаты с обобщенными данными полевых опытов агрохимической службы по сорту Мироновская 808, проведенных на таких же почвах.

Полученные данные говорят о том, что урожайность озимой пшеницы заметно различалась между изучаемыми сортами. В контрольном варианте сбор зерна сорта Льговская-4 в 1,2 раза превысил Мироновскую 808. Прибавка урожайности от внесения $P_{60}K_{60}$ была несколько выше по сорту Мироновская 808, что можно объяснить различным содержанием подвижного фосфора в почве. По обобщенным данным многочисленных полевых опытов эффективность применения фосфорных удобрений под озимую пшеницу при увеличении степени обеспеченности черноземов типичных от средней до высокой прибавки снижается практически до нуля. Наряду с этим, на почвах с увеличенным содержанием P_2O_5 возрастает эффективность азотных удобрений (Региональные нормативы окупаемости минеральных удобрений прибавкой урожая зерновых культур, 2016). Видимо, этот фактор и большее количество выпавших осадков в течение вегетационного периода усилили отзывчивость сорта Льговская-4 на азотные удобрения. Прибавка урожая этого сорта от внесения N_{60} независимо от времени внесения более, чем в 2 с лишним раза превышали таковую по сорту Мироновская 808 (табл. 20).

Таблица 20

Эффективность применения азотных удобрений под озимую пшеницу

№	Варианты опыта	Урожайность, ц/га		Прибавка урожая, ц/га		Окупаемость азота прибавкой урожая, кг/кг	
		Мироновская 808	Льговская-4	Мироновская 808	Льговская-4	Мироновская 808	Льговская-4
1	Контроль	21,2	36,8	-	-	-	-
2	$P_{60}K_{60}$ – фон	24,8	39,4	3,6	2,6	-	-
3	Фон + N_{60} осенью	25,8	46,7	4,6	9,9	7,7	16,5
4	Фон + N_{60} весной	26,9	49,0	5,7	12,2	8,2	20,3

Окупаемость азота прибавкой урожая озимой пшеницы сорта Льговская-4 также намного превосходила Мироновскую 808. Сравнение этих величин с границами окупаемости аммиачной селитры, которая, исходя из соотношения цен на удобрение и зерно озимой пшеницы по состоянию на конец 2017 г. составляет около 10,9 кг/кг (Шафран, 2020), показывает, что затраты на применение данного удобрения не окупятся стоимостью прибавки урожая Мироновской 808, тогда как внесение данного удобрения в такой же дозе под Льговскую-4 может оказаться рентабельным.

Азотные удобрения заметно повлияли на качество зерна Льговской-4, повысив в нем содержание белка и клейковины. Внесение азота в дозе 60 кг/га способствовало повышению содержания белка по сравнению с контролем на 1,1%, клейковины почти на 4% (табл. 21).

Таблица 21

Влияние азотных удобрений на качество зерна озимой пшеницы

№	Вариант опыта	Мироновская 808			Льговская-4		
		Белок, %	Клейковина, %	Масса 1000 зерен, г	Белок, %	Клейковина, %	Масса 1000 зерен, г
1	Контроль	10,8	24,6	37,0	8,4	16,7	46,4
2	$P_{60}K_{60}$	10,8	24,3	37,1	8,7	17,8	46,2
3	Фон + N_{60} осенью	11,0	24,7	37,3	9,5	21,1	47,3
4	Фон + N_{60} весной	11,1	24,9	37,1	9,7	20,6	45,8

Масса 1000 зерен практически не менялась в зависимости от вариантов опытов. Это относится к обоим сортам. У сорта Льговская-4 масса 1000 зерен на 9-10 грамм превышала Мироновскую 808.

Согласно полученным данным удельный вынос азота сортом Мироновская 808 в среднем значительно превосходил сорт Льговская-4. Аналогичные результаты получены также по выносу фосфора и калия. При этом наиболее существенно эта разница прослеживалась по содержанию K_2O (табл. 22).

Следует также отметить, что сорт Льговская-4 несколько лучше реагировал на увеличение доз калия, способствуя возрастанию его выноса с 42 до 61 кг/га, тогда как изменение потребления калия Мироновской 808 не отмечено. Аналогичные данные отмечены и по удельному выносу K_2O.

Результаты исследований свидетельствуют о различной отзывчивости изучаемых сортов на внесение азотных удобрений. Внесение азота в дозе 60 кг/га как осенью, так и весной способствовало заметному повышению урожайности обоих сортов. Однако, более отзывчивым оказался сорт Льговская-4, прибавка урожая от внесения азота в 2 с лишним раза превышала прирост урожая сорта Мироновская 808. Аналогичные данные получены по окупаемости азотных удобрений прибавкой урожая, сопоставление которых с границей окупаемости аммиачной селитры свидетельствует о том, что при существующих ценах на

удобрение затраты на его применение могут окупиться стоимостью прибавки урожая только по сорту Льговская-4, а внесение азота под Мироновскую 808 окажется нерентабельным. Внесение азотных удобрений способствовало повышению содержания белка и клейковины в зерне пшеницы Льговская-4.

Вынос питательных веществ различался между изучаемыми сортами озимой пшеницы. Вынос азота одного урожая пшеницы Мироновская 808 с учетом соломы существенно превышал таковой сортом Льговская-4 при небольших дозах азота. В первом случае величина выноса варьировала от 26,9 до 29,1 кг/т, во втором от 21,9 до 28,2 кг/т, полученная при внесении N_{120} кг/га (табл. 22).

Таблица 22

Влияние азотных удобрений на урожай и вынос питательных веществ различными сортами озимой пшеницы на типичных черноземах

№	Варианты опытов	Мироновская 808 (1982-1984 гг.)			Льговская-4 (2016-2018 гг.)		
		N	P_2O_5	K_2O	N	P_2O_5	K_2O
Вынос, кг/т							
1	Без удобрений	29,0	9,7	21,5	21,9	6,6	9,6
2	$P_{60}K_{60}$	26,9	10,0	21,0	21,8	7,5	5,6
3	$N_{60}P_{60}K_{60}$	27,8	9,9	21,8	24,6	8,6	5,2
4	$N_{90}P_{60}K_{60}$	29,1	9,8	22,0	20,9	8,1	4,2
5	$N_{120}P_{60}K_{60}$	29,0	9,6	21,4	28,2	7,7	5,6
Доля зерна в общем выносе, %							
1	Без удобрений	70	78	30	76	71	56
2	$P_{60}K_{60}$	69	77	31	77	77	63
3	$N_{60}P_{60}K_{60}$	67	76	29	81	78	65
4	$N_{90}P_{60}K_{60}$	67	80	30	77	77	66
5	$N_{120}P_{60}K_{60}$	67	79	43	85	79	69

Удельный вынос фосфора Мироновской 808 также превышал показатели Льговская-4. Различия более заметными были на контроле и в варианте без внесения азота. Иная картина сложилась в выносе калия изучаемыми сортами. Вынос калия Мироновской 808 более, чем в 2 раза превышал показатели Льговской-4. Это можно объяснить тем, что калий накапливается в соломе в более

высоких количествах по сравнению с зерном. В связи с тем, отношение сбора зерна к сбору соломы было более высоким у Мироновской 808 общий вынос K_2O превысил аналогичный показатель Льговской-4.

Доля зерна в общем выносе этого элемента надземной частью у сорта Мироновская 808 колебалась от 29 до 43%, тогда как у Льговской-4 56-69% (табл. 22). Данный фактор оказал влияние, но в меньшей степени, на вынос азота и почти не подействовал на вынос фосфора.

Следует также отметить, что удельный вынос элементов питания Мироновской 808 несколько отличался от норматива для лесостепной зоны бывшего Центрально-Черноземного района, превышая норматив по азоту и калию, тогда как по сорту Льговская-4 вынос азота, и особенно калия, оказался значительно ниже нормативного показателя (Нормативы выноса элементов питания сельскохозяйственными культурами, 1991).

4. ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ МИНЕРАЛЬНЫХ УДОБРЕНИЙ ПОД ОЗИМУЮ ПШЕНИЦУ НА ТИПИЧНЫХ ЧЕРНОЗЕМАХ

Как уже говорилось, что в конце прошлого столетия усилилась работа по выведению новых сортов зерновых культур. По мере включения в сортоиспытание новых, более перспективных сортов расширились исследования по выявлению их отзывчивости на минеральные удобрения. Вполне возможно, что новые сорта озимой пшеницы, выведенные на высокоплодородных почвах, по-другому будут реагировать, на менее плодородные. Несоответствие возможностей нового сорта и условий производства является одной из причин низкой реализации потенциала новых сортов. По данным НИИСХ ЦРНЗ потенциальная урожайность пшеницы и ячменя реализуется в производственных условиях на 30-40% (Неттевич, 2002). Испытание новых сортов этим же институтом также показало, что вновь выведенные сорта озимой пшеницы на высокоокультуренных почвах лучше реагировали на азотную подкормку по сравнению с сортами более раннего периода селекции, обеспечивая более высокую прибавку урожая (Журавлева, 2011).

В технологии возделывания озимой пшеницы важное значение имеет внесение азотных удобрений в период весеннего возобновления вегетации растений. Для обоснования целесообразности проведения азотной подкормки озимой пшеницы, наряду с агрохимическими факторами, немалое значение имеют экономические показатели, так как целью этого мероприятия заключается не только в повышении урожайности и качества зерна, но и добиться того, чтобы затраты на применение удобрений окупилось стоимостью прибавки урожая.

Для обоснования целесообразности использования тех или иных видов и форм удобрений, их доз и способов внесения, необходимы экономические расчеты, опирающиеся на действующие цены на удобрения и сельскохозяйственную продукцию. Расчет выполняется по формуле:

$$Ч_д = С – Е,$$

Где $Ч_д$ – условно чистый доход, руб.;

С – стоимость продукции, полученной от удобрений, руб.;

Е – сумма издержек, связанных с применением удобрений, руб.

Эти издержки складываются из стоимости удобрений, НДС, затрат на доставку со складов до полей, затрат на хранение и складскую переработку, на внесение удобрений, на уборку, доработку и перевозку дополнительного урожая. Для того чтобы установить целесообразность применения минеральных удобрений, выбрать наиболее целесообразную дозу питательного вещества и способ внесения используется такой показатель, как граница окупаемость удобрения (ГОУ) (Андреев, 2003). Этот показатель обозначает величину прибавки урожая, стоимость которой равняется всем затратам на применение удобрений. Расчет проводится по формуле:

$$ГОУ = З/С,$$

где З – затраты на применение удобрений, руб.;

С – стоимость единицы сельхозпродукции, руб.

Граница окупаемость удобрений зависит от соотношения цен на удобрения и сельскохозяйственную продукцию. При увеличении стоимости удобрений возрастает граница его окупаемости, а при более высокой цене реализации продукции – снижается.

Полученные в опытах данные сравниваются с величиной ГОУ. Если данная величина окажется выше стоимости прибавки урожая, то применение данного удобрения невыгодно, а если ниже, то целесообразно.

Сопоставление величины затрат на применение минеральных удобрений свидетельствуют о том, что только в четырех вариантах опыта стоимость прибавки урожая превышала затраты на применение удобрений. Сюда относится вариант, в котором азотное удобрение было внесено весной в период возобновления вегетации пшеницы, варианты с внесением N_{150}, без внесения фосфора и калия. В связи с тем, что эффективность фосфорных и калийных удобрений была невысокой вследствие повышенного и высокого содержания подвижных форм фосфора и калия в почве, затраты на их применение не

окупилось стоимостью прибавки урожая. Это также относится к варианту $P_{60}K_{60}$, где прибавка 2,6 ц/га не окупилась ее стоимостью (табл. 23).

Таблица 23

Экономическая эффективность применения минеральных удобрений в среднем за 2016-2018 гг.

Варианты опыта	Прибавка урожая, ц/га	Затраты на применение удобрений, руб./га				Стоимость прибавки, руб./га
		Азотные	Фосфорные	Калийные	всего	
1. $P_{60}K_{60}$	2,6	-	4629	3429	8058	2279
2. $N_{60}P_{60}K_{60}$ – весна	12,4	2089	4629	3429	10147	10869
3. $N_{60}P_{60}K_{60}$ – осень	10,0	2089	4629	3429	10147	8765
4. $N_{60}P_{60}K_{60}$	12,7	3134	4629	3429	11192	11132
5. $N_{90}P_{60}K_{60}$	13,9	4178	4629	3429	12236	12183
6. $N_{120}P_{60}K_{60}$	15,2	5223	4629	3429	13281	13323
7. $N_{60}K_{60}$	8,5	2089	-	3429	5518	7450
8. $N_{60}P_{30}K_{60}$	9,0	2089	2314	3429	7832	7889
9. $N_{60}P_{90}K_{60}$	9,3	2089	6943	3429	12461	8154
10. $N_{60}P_{60}$	8,3	2089	4629	-	6718	7275
11. $N_{60}P_{60}K_{30}$	8,7	2089	4629	1714	8432	7626
12. $N_{60}P_{60}K_{90}$	9,9	2089	4629	5143	11861	8677

Вместе с тем, схема опыта позволяет определить общие затраты не только по всем вариантам опыта, но и выделить отдельно эффективность азотных удобрений сопоставив полученную урожайность с фоном $P_{60}K_{60}$.

Результаты расчета показали, что прибавка урожая озимой пшеницы от внесения одних азотных удобрений оказалась высокой и возрастала по мере повышения доз. Прибавка от внесения N_{150} составила 12,8 ц/га (табл. 24).

Таблица 24

Экономическая эффективность применения азотных удобрений под озимую пшеницу

Варианты опыта	Прибавка к фону $P_{60}K_{60}$, ц/га	Затраты на применение, руб./га	Стоимость прибавки, руб./га	Условный доход, руб./га	Рента-бель-ность, %
N_{60} весна	9,8	2089	7732	5643	73
N_{60} осень	7,5	2089	6574	4485	68
N_{90} (60+30)	10,2	3134	8940	5806	65
N_{120} (60+60)	11,3	4178	9904	5726	58
N_{150} (60+30)	12,8	5223	11219	5996	114
$N_{60}K_{60}$	8,5	5518	7450	1932	35
$N_{60}P_{60}$	8,3	6718	7275	557	8

Благодаря более высоким прибавкам урожая, полученным за счет внесения только азотных удобрений, снизились затраты на их применение. Это повлекло за собой увеличение условно чистого дохода. Во всех вариантах применение азотных удобрений было экономически выгодно, даже по дозе N_{150}, внесенных дробно (60 осенью, 90 в подкормку). Следует отметить также, весеннее внесение азота было более эффективно по сравнению с азотным в одинаковых дозах (табл. 24).

Применение вместе с азотом фосфорных и калийных удобрений было также экономически оправдано, но эффект был менее ощутим, поскольку внесение фосфорных и калийных удобрений снижало величину условно чистого дохода из-за невысокой прибавки урожая на почве хорошо обеспеченной повышенными формами фосфора и калия. Исходя из этого следует, что применение фосфорных и калийных удобрений в изученных дозах не имеет смысла, поскольку они не обеспечивают получения достоверной прибавки урожая.

В том случае, если речь идет о необходимости внесения для поддержки фосфатного и калийного уровней в почве, целесообразно применять удобрения, содержание P_2O_5 и K_2O в дозах компенсирующих их вынос урожаями, который

колебался по вариантам опыта по фосфору в пределах 20,8 до 33,8 кг/га, по калию от 27,5 до 39,7 кг/га (табл. 15), а возмещение выноса с удобрениями составило соответственно 105-246 и 76-271 % (табл. 16).

В нашем опыте возврат фосфора с соломой составил 23-29%, калия 31-50%, что означает при сборе соломы от 3,8 до 4,3 т/га вынос P_2O_5 будет варьировать от 6 до 8 кг/га, калия от 9 до 20 кг/га.

ВЫВОДЫ

1. За годы проведения исследований действие минеральных удобрений на урожайность озимой пшеницы в большей степени проявились в вариантах, в которых были применены азотные удобрения, а наиболее высокая урожайность 5,9 т/га была получена в варианте $N_{150}P_{60}K_{60}$. Действие фосфорных и калийных удобрений на прирост урожайности озимой пшеницы оказалось невысоким, что объясняется достаточно высоким содержанием подвижных форм фосфора и калия в почве. Прибавка урожая от внесения $P_{60}K_{60}$ составила в среднем за три года 2,6 ц/га.

2. Погодные условия по годам исследования мало различались, что мало отразилось на урожайности озимой пшеницы. Урожайность пшеницы в контрольном варианте колебались от 36,1 до 37,4 ц/га, а в варианте $N_{150}P_{60}K_{60}$ от 50,6 до 53,1 ц/га. Прибавка урожая от внесения азота в дозе 60 кг/га варьировала соответственно в пределах 11,7-12,8 ц/га, а при внесении N_{150} 14,5-15,7 ц/га. Применение азотных удобрений в виде весенней подкормки было более эффективно по сравнению с осенним внесением. Разница в прибавке урожайности составила 2,4 ц/га, а окупаемость 1 кг азота прибавкой урожая 3,9 кг.

3. Результаты исследования по изучению влияния различных методов определения содержания доступных форм азота в типичном черноземе Курской области показало слабую тесноту связи между содержанием аммонийного азота и эффективностью азотных удобрений ($r = 0,20$), щелочногидролизуемого азота ($r = 0,25$), нитратного азота несколько выше ($r = 0,41$) и минерального азота ($r = 0,47$).

4. Минеральные удобрения оказали определенное влияние также на качество зерна озимой пшеницы. В наибольшей степени на качество зерна оказало применение азотных удобрений. Практически на всех вариантах опыта, где внесли азот, увеличивалось содержание сырого белка по сравнению с контролем. В среднем за три года исследований наиболее высокое содержание белка (10,8%) зафиксировано в варианте, в котором внесли $N_{60}P_{60}K_{30}$. Применение азотных удобрений повышало также содержание клейковины. Наиболее высокое содержание сырой клейковины отмечено в вариантах с внесением азотных

удобрений (более 20%), а без них – 16,2-17,7%. Аналогичные результаты проявились и на качестве сырой клейковины, тогда как не сказались на массе 1000 зерен и натуре зерна.

5. Азотные удобрения увеличивали содержание азота в зерне и соломе, которое варьировало от 1,43 до 1,90%, в соломе от 0,40 до 0,45 на контроле и от 0,38 до 0,74 в вариантах с внесением высоких доз азота. Содержание фосфора колебалось в меньшей степени и составило на контроле в зерне 0,39-0,40%, в соломе колебалось в пределах 0,14-0,18%. На содержание калия в зерне озимой пшеницы мало влияло на содержание K_2O, которое составило 0,41-0,49%. В соломе концентрация калия колебалась в более широких пределах и варьировала от 0,22 до 0,34%.

6. Удельный вынос питательных веществ во всех вариантах опыта оказался ниже нормативных данных для лесостепной зоны Центрального федерального округа. Вынос азота 1 т урожая озимой пшеницы Льговской-4 варьировал от 18,3 до 22,9 кг/т, тогда как согласно нормативу он составлял 25,6 кг/т. Аналогичную картину представляли данные по фосфору, вынос которого составлял 5,7-7,2 кг/т, что также ниже нормативных данных. Удельный вынос калия почти в 2 раза был ниже нормативного.

7. Долевое участие минеральных удобрений в формировании урожайности озимой пшеницы составляло по вариантам опыта 19-30% и зависело от доз азотных удобрений. При внесении N_{150} вклад минеральных удобрений составил 30%, а в вариантах, где не были применены азотные удобрения этот показатель составил только 6%.

8. Коэффициенты использования азота из удобрений зависели от их доз и времени внесения. При дозе 150 кг/га было усвоено 38% азота, в том случае, когда внесение азота было внесено дробно, а имеют 60 кг/га осенью и 30 кг/га весной в виде подкормки. При весеннем и осеннем применении азота в одинаковых дозах преимущество было за подкормкой, поскольку коэффициент использования азота при этом составил 25% против 18%.

9. Сорт озимой пшеницы Льговская-4 лучше отзывался на уровень почвенного плодородия и внесение минеральных удобрений. В контрольном варианте сбор зерна Льговская-4 в 1,7 раза превысил сорт Мироновская-808. Аналогичные данные были получены при сравнении величины прибавки урожая от внесения азотных удобрений в осенний и весенний периоды. В первом случае они составили 4,6 и 9,9 ц/га, во втором 5,7 и 12,2 ц/га, что отразилось на окупаемости 1 кг азота, которая по Мироновской-808 равнялась 7,7-8,2 кг/кг, на Льговской-4 16,5 и 20,3 кг/кг.

10. Благодаря более высокой прибавкой урожая, полученной от применения азотных удобрений во всех вариантах опыта было экономически целесообразно, даже в дозе N_{150}, внесенного дробно (60 осенью, 90 в подкормку). Весеннее внесение азота было более эффективно по сравнению с осенним в одинаковых дозах.

Применение фосфорных и калийных удобрений на почвах хорошо обеспеченных подвижными формами фосфора и калия малоэффективно и поэтому экономически нецелесообразно.

ПРЕДЛОЖЕНИЯ ПРОИЗВОДСТВУ

1. На типичных черноземах Курской области с высоким содержанием подвижных форм фосфора и калия дозы азотных удобрений следует устанавливать с учетом содержания минерального азота в почве. Для получения урожая озимой пшеницы более 50 ц/га азотные удобрения имеют смысл применить дробно, то есть осенью и весной в качестве подкормки.

2. На почвах, где содержание P_2O_5 и K_2O относится к повышенной и высокой степени обеспеченности. Фосфорные и калийные удобрения вносить не имеет смысла. Для поддержки фосфорного и калийного уровней в почве следует использовать измельченную солому, с которой будет компенсирован вынос фосфора и калия.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Агроклиматические ресурсы Курской области. Справочник. – Ленинград: Гидрометеоиздат, 1971. – 103 с.

2. Агрохимическая характеристика почв сельскохозяйственных угодий Российской Федерации (по состоянию на 1 января 1971 года). – М.: МСХ РСФСР, 1971. – 48 с.

3. Агрохимическая характеристика почв сельскохозяйственных угодий Российской Федерации (по состоянию на 1 января 1996 г.). – М., 1996. – 42 с.

4. Азаров В.Б. Мониторинг плодородия почв Центрального Черноземья. Учебно-методическое пособие. – Белгород: Отчий край. – 2004. – 204 с.

5. Айдиев А.Ю. Научные и практические основы сохранения плодородия почв земель сельскохозяйственного назначения в адаптивно-ландшафтном земледелии / Материалы Международной научно-практической конференции. – Белгород, 2004. – С. 205-208.

6. Акулов П.Г., Доманов Н.М., Афанасьев Р.А. Оптимизация азотного питания озимой пшеницы в интенсивной технологии ее возделывания на типичных черноземах Центрально-Черноземной / Бюллетень ВИУА. – № 98. – М.: ВИУА, 1990. – С. 54-55.

7. Алейнов Д.П. А готово ли наше сельское хозяйство использовать минеральные удобрения? // Экономика сельскохозяйственных и перерабатывающих предприятий. – 2009. – № 1. – С. 6-11.

8. Алтухов А.И. Совершенствование организационно-экономического механизма – необходимое условие увеличения производства высококачественного зерна пшеницы. – М.: Росинформатех, 2018. – С. 5-40.

9. Андреев С.С. Экономическая эффективность применения азотных удобрений в подкормку озимой пшеницы на различных почвах // Бюллетень ВИУА. – № 118. – М.: Агроконсолдинг, 2003. – С. 97-98.

10. Андриеш С.В., Гожижецкая А.К. Прогноз эффективности азотных подкормок // Химия в сельском хозяйстве. – 1989. – № 5. – С. 27-31.

11. Аристархов А.Н. Оптимизация питания растений и применение удобрений в агроэкосистемах / под ред. Минеева В.Г. – М.: ЦИНАО, 2000. – 524 с.

12. Артюшин А.М., Державин Л.М. Краткий справочник по удобрениям. – М.: Колос, 1994. – 208 с.

13. Афанасьев Р.А. Дисперсионный анализ многолетних данных полевых опытов // Плодородие. – 2002. – № 6 (9). – С. 28-30.

14. Афанасьев Р.А., Сычев В.Г. Методика разработки нормативов и коэффициентов возмещения выноса питательных веществ при удобрении сельскохозяйственных культур. – М.: ВНИИА, 2008. – 24 с.

15. Бабунов А.Б. Динамика агрохимических показателей плодородия почв и их регулирование в условиях Тамбовской области // Материалы Международной научной конференции «Динамика показателей плодородия почв и комплекс мер по их регулированию при длительном применении систем удобрения в разных почвенно-климатических зонах» 16-17 апреля 2018 г. / Под ред. акад. РАН В.Г. Сычева. – М.: ВНИИА, 2018. – С. 4-9.

16. Бабунов А.Б. Сравнение эффективности применения минеральных удобрений на сортах ярового ячменя различных периодов селекции // Плодородие. – 2017. – № 4. – С. 22-24.

17. Бабунов А.Б., Бадин А.Е. Влияние минеральных удобрений на урожайность и качество ярового ячменя Саншайн, а также вынос элементов питания // Достижения науки и техники АПК. – 2018. – Т. 32. – № 8. – С. 32-34.

18. Бесланеев С.М. и др. Дозы удобрений при выращивании озимой пшеницы на выщелоченном черноземе // Агрохимический вестник. – 2003. – № 5. – С. 16-17.

19. Богдевич И.М., Вишлюк Г.В., Грузд В.К. Методика определения эффективности удобрений в Белгородской области. Повышение экономической эффективности применения минеральных удобрений. – М.: ЦИНАО, 1991. – С. 51-68.

20. Богдевич И.М., Вишлюк Г.В., Грузд В.К. Методика определения эффективности удобрений в Белгородской области. Повышение экономической эффективности применения минеральных удобрений. – М.: ЦИНАО, 1991_1. – С. 54-68.

21. Боева Н.Н., Чуян Г.А. Влияние длительного и систематического пользования органических и минеральных удобрений на урожайность озимой пшеницы при различных погодных условиях на черноземе типичном // Информационный листок Курского ЦНТИ – 2000 – № 098-00.

22. Боева Н.Н., Айдиев А.Ю., Карпинец Т.Т. Влияние калийных удобрений на урожайность озимой пшеницы при различных погодных условиях на черноземе типичном / Информационный листок Курского ЦНТИ. – 2000. – № 098-00.

23. Боева Н.Н., Чуян Г.А. Влияние длительного и систематического использования органических и минеральных удобрений на плодородие чернозема типичного / Информационный листок Курского ЦНТИ. – 2000. – № 098-00.

24. Вислобокова Л.Н., Тютюнов С.И. О возможности увеличения производства зерна пшеницы в Центрально-Черноземной зоне Российской Федерации / В кн. Научные основы производства высококачественного зерна пшеницы. – М.: ФГБНУ «Росинформагротех», 2018. – С. 291-317.

25. Гамзиков Г.П. Принципы почвенной диагностики азотного питания полевых культур и применения азотных удобрений / Совершенствование методов почвенно-растительной диагностики азотного питания растений и технологий применения удобрений на их основе. – М.: ВНИИПТИХИМ, 2000. – С. 33-35.

26. Гедройц К.К. Доступность растений Ca, Mg и K, находящихся в состоянии к обмену неспособном. – М.: Сельхозгиз, 1955. – Соч. Т. 3. – С. 445-457.

27. Гера К. Международный научный центр по удобрениям (CIEC) исторический обзор / Актуальные проблемы агрохимической науки. – М.: ВНИИА, 2007. – С. 340-347.

28. Гончаров С.В., Павлова Т.И., Соколова Е.А., Масютенко Н.П. Курская область. Почвенный покров, фитосанитарное состояние почвы и мероприятие по их улучшению / Сб. Экорационное развитие Агробизнеса, 2022. – С. 2-26.

29. Державин Л.М. Интегрированное применение средств химизации / В сб. Инновационные решения регулирования плодородия почв сельскохозяйственных угодий. – М.: ВНИИА, 2011. – С. 127-143. (Для вставки Х)

30. Державин Л.М. Применение минеральных удобрений в интенсивном земледелии. – М.: Колос, 1992. – 271 с.

31. Державин Л.М. Рекомендации по проектированию интегрированного применения средств химизации в энергосберегающих агротехнологиях возделывания озимых зерновых культур при модернизации зернового хозяйства. – М.: ВНИИА, 2012. – С. 24-27.

32. Державин Л.М., Попова Р.Н., Дегтярева Н.И. Нормативы, регламентирующие дозы минеральных удобрений в интенсивном земледелии. – М.: МСХ, 1990. – 28 с.

33. Добровольский Д.Е., Никитин И.В. Функция почв в биоценозе и экосистемах. – М.: Наука, 1990. – 184 с.

34. Долгополова Н.В., Пигорев И.Я. Роль плодородия в адаптивно-ландшафтном земледелии / Проблемы и перспективы инновационного развития агротехнологий: материалы Международной научно-практической конференции. – 2016. – С. 3-4.

35. Доманов Н.М. Разработка и оптимизация систем комплексного применения средств химизации под озимую пшеницу в Центрально-Черноземной зоне России: Автореф. дисс. … докт. с.-х. наук. – М.: ВИУА, 1995. – 57 с.

36. Доспехов Б.А. Методика полевого опыта. – М.: Агропромиздат, 1985. – 351 с.

37. Драгавцев В.А. Повышение «оплаты» минеральных удобрений урожаем и генетически – селекционные проблемы // Экономика сельскохозяйственных и перерабатывающих предприятий – 2009 – №3. – С.26-27.

38. Дубовик Д.В., Дубовик Е.В., Виноградов Д.Ю. Влияние агротехнических приемов на урожайность озимой пшеницы // Земледелие. – 2014. – № 1. – С. 39-40.

39. Дьяконова К.В. Рекомендации для исследования баланса и трансформации органического вещества при сельскохозяйственном использовании в интенсивном окультуривании почв. – М., 1984. – 96 с.

40. Ермохин Ю.И., Красницкий В.М. Современные подходы к диагностике азотного питания и применения азотных удобрений. – Омск. – 2009. – ФГОУ ВПО ОмГАУ. – 25 с.

41. Ефимова Л.А., Морозова Т.С., Лицуков С.Д. Экологические аспекты применения удобрений в черноземе типичном юго-западной части Центрально-Черноземного региона // Инновации в АПК: проблемы и перспективы. – 2017. – №1 (13). – С. 81-88.

42. Журавлева Е.В. Достижения селекции и создания новых адаптивных сортов пшеницы для производства зерна высокого качества. – М.: Росинформагротех, 2018. – С. 51-60.

43. Завалин А.А., Пасынков А.В. Азотное питание и прогноз качества зерновых культур. – М.: ВНИИА, 2007. – 208 с.

44. Зюкин Д.А., Степкина И.И. Эффективность использования затрат на минеральные удобрения в зерновом хозяйстве // Вестник Курской сельскохозяйственной академии. – 2016. – № 3. – С. 11-14.

45. Иванова Е.М., Кудинов В.А., Пигорев И.Я. Сортовая спецификация озимой пшеницы в структуре посевных площадей Курской области / В кн. Молодежная наука – развитию агропромышленного комплекса / Курск: Курская ГСХА, 2020. – С. 32-37.

46. Иванова О.М. Влияние азотных удобрений на урожайность и качество различных сортов озимой пшеницы на типичном черноземе Тамбовской области // Вестник Мичуринского государственного аграрного университета. – Мичуринск-наукоград РФ. – 2012_1 – № 4. – С. 49-54.

47. Иванова О.М. Оценка влияния азотных удобрений на продуктивность сортов озимой пшеницы на типичном черноземе Тамбовской области // Агрохимический вестник. – 2012. – № 5. – С. 44-45.

48. Иванова Т.И., Державин Л.М. Методическое руководство по проектированию применения удобрений в технологиях адаптивно-ландшафтного земледелия. – М.: МСХ РФ, РАСХН, 2008. – № 5. – С. 27-31.

49. Инструкция и нормативы по определению экономической и энергетической эффективности минеральных удобрений. – М.: Госагропром СССР, 1987. – 44 с.

50. Касицкий Ю.И., Хачитрян С.М., Трофимов С.Н. Эффективность возрастающих доз фосфорных удобрений в зависимости от времени взаимодействия с различными типами почв в одинаковых климатических условиях // Агрохимия. – 1988. – № 9. – С. 14-23.

51. Кидин В.В. Исследования Д.Н. Прянишникова в области агрохимии. // Плодородие. – 2004. – № 5. – С. 2-5.

52. Кирюшин В.И., Кирюшин С.В. Агротехнологии – М.: Лань, 2015, – 463 с.

53. Ковтун В.И. Технология выращивания высококачественного зерна озимой пшеницы на юге России // Земледелие. – 2013. – № 3. – С. 27-29.

54. Козеичева Е.С. и др. Эффективность азотных удобрений в зависимости от агрохимических свойств черноземных почв Центрального Федерального округа Российской Федерации. // Плодородие. – 2011. – № 2. – С. 12-14.

55. Конончук В.В., Никитина Л.В. Влияние систематического применения удобрений на баланс калия и некоторых показателей калийного режима светло-каштановой почвы при орошении // Агрохимия. – 2002. – № 6. – С. 53-58.

56. Кореньков Д.А. Агроэкологические аспекты применения азотных удобрений. – М.: Агроконсалт, 1999. – 198 с.

57. Кудеяров В.Н., Семенов В.М. Проблемы агрохимии и современное состояние сельскохозяйственного производства в Российской Федерации // Агрохимия. – 2014. – № 10. – С. 3-17.

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

59. Кулинцев В.В., Годунова Е.И., Шаповалова Н.Н. Значение результатов длительного опыта с удобрениями для разработки эффективных мероприятий по сохранению обыкновенных черноземов Ставрополья / В кн. 75 лет Географической сети опытов с удобрениями. – М.: ВНИИА, 2016. – С. 153-161.

60. Курская область в цифрах / Курск: Курск-стат. – 2023. – 224 с.

61. Лазарев В.И., Золотарева И.А., Хижняков А.Н. Эффективность влияния отдельных видов минеральных удобрений и их сочетаний на продуктивность культур зернопропашного севооборота. // Вестник Курской ГСХА. – 2014. – № 3. – С. 58-59.

62. Лазарев В.И., Лазарева Р.И., Иванова Е.В., Пироженко В.В. Эффективность использования карбамидно-аммиачного удобрения (КАС-32) на яровой пшенице в Курской области. // Плодородие. – 2019. – № 4. – С. 8-11.

63. Лазарев Е.И., Лазарева Р.И., Ильин Б.С. Фосфатный режим чернозема типичного в различных агроценозах при его длительном сельскохозяйственном использовании // Вестник Курской ГСХА. – 2018. – № 7. – С. 5-11.

64. Личко Н.М., Колосинец С.Н., Ваулина Г.И. Урожайность и хлебопекарные качества озимой пшеницы в зависимости от сорта и уровня минерального питания в условиях Центрального района Нечерноземной почвы // Известия ТСХА. – 2007. – № 2. – С. 104-112.

65. Лошаков В.Г. Теория и практика Российского земледелия. – М.: Ламберт, 2017. – Т. III. – 684 с.

66. Лукин С.В. Круговорот основных питательных элементов в земледелии Белгородской области // Достижения науки и техники. – 2012. – № 4. – С. 15-17.

67. Лыков А.М. Воспроизводство плодородия почв в Нечерноземной зоне. – М.: Россельхозиздат, 1982. – 144 с.

68. Лыков А.М., Васильева Д.В. Влияние длительного интенсивного применения удобрения, известкования и севооборота на урожайность полевых культур // Известия ТСХА. – 1985. – Вып. 4. – С. 33-41.

69. Маковник А.Н., Галушко Н.А. Влияние предшественников, удобрений и сроков сева на формирование стеблестоя сортов озимой пшеницы / Сб. трудов молодых ученых: ГНУ Ставропольский НИИСХ Россельхозакадемии.– Ставрополь: АГРУС, 2010. – С. 66-74.

70. Мамедов М.Г., Шкунов П.В., Шилова М.С. Распределение земельного фонда сельскохозяйственных угодий РСФСР по группам почв // Справочное пособие. – М.: ВНИЭСХ, 1980. – 180 с.

71. Мамонтов В.Г., Артельева З.С., Лазарев В.И., Родионова Л.П., Крылов В.А. Сравнительная характеристика свойств целинного, пахотного и залежного чернозема типичного Курской области // Бюллетень Почвенного института имени В.В. Докучаева, 2020. – Вып. 101. – С. 182-201.

72. Мамонтов В.Г., Рогова О.Б., Панова П.Ю., Беляева Е.А. Изменение химического состава чернозема типичного Курской области при переводе бессменного пара в залежь // Электронный научно-производственный журнал «Агро-Зко-Инфо». – 2021. – №1. – http: // agroecoinfo.narod.ru/jurnal/STATYI2021/1/st_103.pdf

73. Манжина С.А. Анализ обеспеченности АПК России удобрениями // Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации. – 2017. – № 7 (27). – С. 199-221.

74. Медведев И.Ф., Губарев Д.И., Вайгант А.А. Особенности формирования урожая и качества зерна пшеницы на различных уровнях потенциального и эффективного плодородия почвенных контуров / Интенсификация, ресурсосбережение и охрана почв в адаптивно-ландшафтных системах земледелия. – Курск: ВНИИЗ и ЗПЭ, 2008. – С. 567-569.

75. Мерзлая Г.Е., Державин Л.М., Завалин А.А. Рекомендации по эффективному использованию соломы и сидератов в земледелии. – М.: ВНИИА, 2012. – 44 с.

76. Милащенко Н.З. Плодородие черноземов России. – М.: Агроконсалт, 1998. – 688 с.

77. Минеев В.Г. Агрохимия и экологические функции калия. – М.: МГУ, 1999. – 332 с. – Минсельхоз РФ, 1996.

78. Мовсумов З.Р., Кулиев В.Ф. Урожайность озимой пшеницы в зависимости от доз минеральных удобрений // Агрохимия. – 2003. – № 9. – С. 42-46.

79. Морозова Т.С. Влияние удобрений на урожайность и качество озимой пшеницы в условиях Белгородской области / Проблемы и перспективы инновационного развития агротехнологий: Материалы XIX Международной научно-производственной конференции (Белгород, 24-26 мая 2015.). Том 1. Белгород: ФГБОУ ВО Белгородский ГАУ, 2015. С. 23-24.

80. Морозова Т.С. Получение экологически чистой продукции озимой пшеницы в условиях современной химизации / Исследования молодых ученых– аграрному производству: материалы онлайн-конференции, посвященной Дни Российской науки, 4 февраля 2015 г. / Ассоциация аграрных вузов Центрального федерального округа – Майский: Изд-во Белгородского ГАУ, 2015– С. 23-24.

81. Муха В.Д., Сулима А.Ф., Чаплыгин В.И. Почвы Курской области. – Курск, ГСХА, 2006. – 119 с.

82. Небытов В.Г., Коломейченко В.В. Урожайность зерновых в зависимости от погодных условий и удобрения // Земледелие. – 2005. – № 2. – С. 24-25.

83. Небольсин А.Н., Небольсина З.П. Известкование почв (результаты 50-летних полевых опытов) – С – Петербург: ГНУ ЛНИИСХ, 2010. – 241 с.

84. Неволина К.Н. Влияние минеральных удобрений на урожайность и качество зерна озимых зерновых культур в Предуралье // Достижения науки и техники АПК. – 2013. – № 5. – С. 27-29.

85. Некрасов Р.В., Лукин С.В., Куницын Д.А., Пироженко В.В. Мониторинг основных агрохимических показателей плодородия пахотных почв в Центральном черноземном районе России // Достижение науки и техники АПК. – 2021 – Т.35 – №9 – С.4-10.

86. Неттевич Э.Д. Итоги селекции основных зерновых культур в начале 3-го тысячелетия. – М.: НИИСХ ЦРНЗ, 2002. – 43 с.

87. Никитин В.В. Методические основы диагностики азотного режима чернозема типичного в зерново-свекловичном севообороте // Агрохимия. – 2013. – № 2. – С. 15-21.

88. Никитин В.В., Агафонов М.Н. Агрохимические основы получения высоких урожаев озимой пшеницы на черноземах юго-запада ЦЧЗ / Тез.докл. Всероссийского координационного совещ. учреждений госсети длительных опытов с удобрениями и др. агрохимическими средствами, 23–27 марта. – М, 1998 – С.45-46.

89. Никитин В.В., Гетманский В.З. Диагностические основы оптимизации минерального питания культур зерносвекловичного севооборота в юго-западной части Центрально-Черноземной зоны. Совершенствование методов почвенно-растительной диагностики азотного питания растений и технологий применения удобрений на их основе. – М.: ВНИПТИХИМ, 2000. – С. 95-98.

90. Никитина Л.В. Влияние длительного применения удобрений в зернопропашном севообороте на калийный режим дерново-подзолистой тяжелосуглинистой почвы // Агрохимия. – 2012. – № 2. – С. 15-23.

91. Никитина Л.В., Володарская И.В. Динамика обменного калия и его минеральные уровни в агроценозах на дерново-подзолистых почвах // Агрохимия. – 2007. – № 2. – С. 14-18.

92. Никитишен В.И., Демидов В.В. Почвенно-агрохимические и экологические основы повышения продуктивности агроценозов. – Пущино: ОНТИ НЦБИ АН СССР, 1990. – 135 с. Ин-т почвоведения и фотосинтеза. – Пущино: НЦБИ, 1990. – 134 с.

93. Никитишен В.И., Личко В.И. Взаимодействие азота и фосфора почвы и удобрений в питании озимой пшеницы в различных почвенно-экологических условиях // Агрохимия. – 2013. – № 2. – С. 22-29.

94. Нормативные показатели выноса и коэффициентов использования питательных веществ сельскохозяйственными культурами из минеральных удобрений и почвы. – М.: ЦИНАО, 1986. – 112 с.

95. Нормативы выноса элементов питания сельскохозяйственными культурами. – М.: ЦИНАО, 1991. – 35 с.

96. Нормативы для определения потребности сельского хозяйства в минеральных удобрениях. – М.: МСХ СССР, 1985. – 336 с.

97. Нормативы для определения потребности сельского хозяйства о минеральных удобрениях. – М.: ЦИНАО, МСХ СССР, 1980. – 239 с.

98. Носко Б.С., Гладких Е.Ю. Экологические последствия применения высоких доз минеральных удобрений на черноземе типичном // Проблемы агрохимии и экологии. – 2013. – № 2. – С. 32-37.

99. Обушенко В.Я. Совершенствование методов почвенно-растительной диагностики азотного питания растений и технологий применения удобрений на их основе. – М.: ВНИИПТИХИМ, 2004. – С. 160-164.

100. Окорков В.В., Семин И.В. Влияние удобрений на продуктивность и качество зерновых культур на серой лесной почве ополья // Аграрный вестник Верхневолжья. – 2014. – № 2 (7). – С. 21-28.

101. Ореховская А.А., Ступаков А.Г. Влияние агротехнических приемов на продуктивность озимой пшеницы в условиях Центрально-Черноземного региона // Вестник Международного института питания. – 2015. – № 1. – С. 6-9.

102. Осипов А.И., Соколов О.А. Роль азота в плодородии почв и питании растений. – С-Пб., 2001. – 353 с.

103. Пигорев И.Я., Иванова Е.М., Шитиков Н.В., Кудинов В.А., Гордеев А.Ю. Агробиологическая оценка комплексного применения макро- и микроудобрений при интенсивной технологии возделывания озимой пшеницы на черноземе типичном лесостепи России. // Вестник Курской ГСХА. – 2021. – № 5. – С. 38-46.

104. Пироженко В.В., Цыганков Д.Н., Мирошниченко О.Н. Мониторинг состояния плодородия пахотных почв Курской области. // Достижения науки и техники АПК. – 2019. – Т. 33. – № 4. – С. 12-15.

105. Попов П.Д. Влияние азотных удобрений на урожай озимой пшеницы в основных почвенно-климатических зонах России. Сборник «Совершенствование

методов почвенно-растительной диагностики азотного питания растений и технология применения на их основе. – М.: ВНИПТИХИМ, 2000. – С. 5-13.

106. Прокошев В.В., Дерюгин И.П. Калий и калийные удобрения. – М.: Ледум, 2000. – 185 с.

107. Прокошев В.В., Носов В.В. Уровень калийного питания – одно из условий устойчивого земледелия в Центрально-Черноземных областях // Теория и практика использования агрохимических средств в современном земледелии Центрально-Черноземных областей. – Белгород: Крестьянское дело, 2002. – С. 120-125.

108. Прянишников Д.Н. Азот в жизни растений и земледелии СССР / В кн. Избранные произведения – 1945 (1965). – Т. 3. – С. 283-460.

109. Прянишников Д.Н. Основные вопросы химизации земледелия. – М., 1965_1. – С. 246-337.

110. Рамазанова С.Б., Баймаганова Г.М., Рамазанова Р.Х. Оптимизация применения удобрений в эффективных агротехнологиях / Интенсификация ресурсосбережения и охрана почв в адаптивно-ландшафтных системах земледелия. – Курск: ВНИИЗ и ЗПЭ, 2008. – С. 345-355.

111. Рациональное использование минеральных удобрений под озимую пшеницу на дерново-подзолистых почвах (рекомендации). – М.: ВНИИА, 2015. – 32 с.

112. Региональные нормативы окупаемости минеральных удобрений прибавкой урожая зерновых культур. – М.: ВНИИА, 2011. – 115 с.

113. Региональные нормативы окупаемости минеральных удобрений прибавкой урожая зерновых культур. – М.: ВНИИА, 2016. – 96 с.

114. Реестр плодородия почв сельскохозяйственного назначения РФ по состоянию на 01.01.2021 г.

115. Рекомендации по применению азотных удобрений в подкормку озимых зерновых культур весной 2012 г. – М.: ВНИИА, 2012. – 24 с.

116. Романенков В.А. Принципы оптимизации азотного питания зерновых культур на уровне хозяйства. Питание растений // Вестник Международного института питания растений. – 2011. – № 2. – С. 2-5.

117. Романенков В.А., Сиротенко О.Д., Беличенко М.В., Павлова В.Н. Расчет урожайности зерновых культур и эффективности минеральных удобрений с учетом одновременного изменения климатических условий и плодородия почвы // Известия Самарского научного центра РАН. – 2009. – Т. 11. – № 1-7. – С. 1569-1573.

118. Романенко А.А., Беспалова А.А., Кудрашов И.Н. Новая сортовая политика и сортовая агротехника озимой пшеницы / Краснодар, 2005. – 220 с.

119. Сандухадзе Б.И., Журавлева Е.В., Кочетыгов Г.В. Озимая пшеница Нечерноземья в решении продовольственной безопасности Российской Федерации. – М.: ООО «НИПКЦ Восход-А», 2011. – 156 с.

120. Сандухадзе Б.И., Лобода Б.П., Асхадуллин Д.Х., Журавлева Е.В. Сортовые особенности потребления фосфора и калия озимой пшеницы. Сб. Достижения и перспективы селекции и технологического обеспечения АПК в Нечерноземной зоне РФ. Сборник научных трудов, Немчиновка, 2006. – С. 99-103.

121. Смуров С.И., Григоров О.В., Шапошникова Т.А. Урожайность и качество зерна озимой пшеницы в зависимости от ее сортов, предшественников и фонов минерального питания / Материалы конференции «Проблемы сельскохозяйственного производства на современном этапе и пути их решения». X международная научная конференция. – Белгород: БелГСХА, 2006. – С. 57.

122. Соловиченко В.Д. Тютюнов С.И., Уваров Г.И. Воспроизводство плодородия почв и рост продуктивности сельскохозяйственных культур Центрально-Черноземного региона. – Белгород: Отчий край, 2012. – 256 с.

123. Справочник. Распределение земельного фонда сельскохозяйственных угодий РСФСР по группам почв. – М.: ВНИПТИХИМ, 1983. – 183 с.

124. Справочник агрохимика Нечерноземной зоны. – М.: Колос, 1980. – 575 с.

125. Справочник агрохимика. – М.: Россельхозиздат, 1980_1. – 285 с.

126. Статистический ежегодник Курской области / Курскстат. – Курск: Курскстат, 2019. – С. 50-51.

127. Сушеница Б.А. Фосфатный режим почв и его регулирование. – М.: Колос. – 2007. – 376 с.

128. Сычев В.Г. Оптимальный фосфатный уровень в почве для рационального использования минеральных удобрений / Современное состояние плодородия почв и основные аспекты его регулирования. – М.: РАН, 2019. – С. 120-125.

129. Сычев В.Г. Основные ресурсы урожайности сельскохозяйственных культур и их взаимосвязь. – М.: ЦИНАО, 2003. – 228 с.

130. Сычев В.Г. Современное состояние плодородия почв и основные аспекты его регулирования. – М.: РАН, 2019. – 324 с.

131. Сычев В.Г. Тенденция изменения агрохимических показателей плодородия почв Европейской части России. – М.: ЦИНАО, 2000. – 187 с.

132. Сычев В.Г. Эффективность калийных удобрений в зависимости от обеспеченности почв калием / В кн.: Современное состояние плодородия почв и основные аспекты его регулирования. – М.: РАН, 2019. – С. 164-175.

133. Сычев В.Г., Шафран С.А. Агрохимические свойства почв и эффективность минеральных удобрений. – М.: ВНИИА, 2013. – 296 с.

134. Сычев В.Г., Шафран С.А. Влияние агрохимических свойств почв на эффективность минеральных удобрений. – М.: ВНИИА, 2012. – 115 с.

135. Сычев В.Г., Шафран С.А. Регулирование азотного питания культурных растений. – М.: ВНИИА, 2015. – 156 с.

136. Сычев В.Г., Шафран С.А., Ильюшенко И.В. Применение минеральных удобрений и их эффективность в различных зонах России// Плодородие. – 2022. – №3. – С. 3-6.

137. Сычев В.Г., Лошаков В.Г., Мерзлая Г.Е. Воспроизводство плодородия почвы при зерновой специализации земледелия в Центральном районе Нечерноземной зоны. – М.: ВНИИА, 2012. – 48 с.

138. Сычев В.Г., Романенков В.А., Беличенко М.В. Значение географической сети опытов с удобрениями для решения современных проблем сельскохозяйственного производства / В кн.: 75 лет географической сети опытов с удобрениями. – М.: ВНИИА, 2016. – С. 3-10.

139. Сычев В.Г., Шафран С.А., Виноградова С.Б. Плодородие почв России и пути его регулирования. // Агрохимия. – 2020. – № 6. – С. 3-13.

140. Сычев В.Г., Шафран С.А., Духанин Т.М. Диагностика минерального питания полевых культур и определение потребности в удобрениях. – М.: ВНИИА, 2017. – 220 с.

141. Ткач Н.М. Определение эффективности удобрений с учетом поправочных коэффициентов на качество почвы в республике Молдова. – М.: ЦИНАО, 1991. – С. 49-54.

142. Токарев В.В. Методика определения эффективности минеральных удобрений в условиях сельскохозяйственного производства и ее совершенствование, повышение экономической эффективности применения минеральных удобрений. – М.: ЦИНАО, 1991. – С. 3-14.

143.Ториков В.Е. Сорт, агротехника, урожайность озимой пшеницы Нечерноземья. – Брянск: БГСХА, 1999. – 214 с.

144.Ториков, В.Е. Урожайность, качество зерна озимой пшеницы в зависимости от условий выращивания и норм внесения минеральных удобрений // Проблемы агрохимии и экологии. – 2011. – № 2. – С. 50-54.

145.Ториков, В.Е., Мельникова О.В., Шпилев Н.С. Урожайность, адаптивный потенциал и качество зерна сортов озимой пшеницы // Плодоводство и ягодоводство России. – 2012. – № 2. – С. 318-333.

146.Ториков В.Е., Осипов А.А. Влияние условий выращивания и минеральных удобрений на урожай и качество озимой пшеницы // Аграрный вестник Урала. – 2015. – № 6 (136). – С. 24-28.

147.Ториков В.Е., Мельникова О.В., Шпилев Н.С., Малеев В.В., Осипова А.А. Урожайность и качество зерна современных сортов озимой пшеницы на юго-

западе центрального региона России // Вестник Курской сельскохозяйственной академии. – 2017. – № 4. – С. 15-19.

148. Тупицын, Н.В. От пшеничного зернышка до хлебных полей – Германия. – 2016. – 237 с.

149. Турусов В.И., Богатык О.Г., Айдиев А.Я. О возможностях увеличения производств зерна пшеницы в Центрально-Черноземной зоне Российской Федерации / В кн.: Научные основы производства высококачественного зерна пшеницы. – М.: Росинформагротех, 2018. – С. 291-309. (для зерна)

150. Тутукова Д.А., Малкандуев Х.А., Малкандуева А.Х. Влияние уровня минерального питания на урожайность и качество зерна новых сортов озимой пшеницы в условиях вертикальной зональности Кабардино-Балкарии // Вестник Ормевского аграрного университета. – 2011. – № 4 (31). – С. 7-8.

151. Тютюнов С.И., Шестопалов И.О. Влияние различных доз минеральных удобрений на содержание сырой клейковины в зерне озимой пшеницы // Сахарная свекла. – 2022. – С. 22-24.

152. Тютюнов С.И., Никитин А.Н., Воронин А.Н. О методике программирования урожаев на черноземах Центрально-Черноземного региона // Агрохимия. – 2013. – № 9. – С. 48-54.

153. Тютюнов С.И., Солнцев Н.К., Шаповалов Н.К. Влияние комплексного применения средств химизации на продуктивность озимой пшеницы / В кн.: 75 лет Географической сети опытов с удобрениями. – 2016. – С. 293-299.

154. Хачидзе А.С., Мамедов М.Г. Отзывчивость сортов зерновых культур на минеральные удобрения // Плодородие. – 2004. – № 6. – С. 31-38.

155. Хижняков А.Н., Цыганков Д.Н. Динамика изменения состояния плодородия пахотных почв Курской области за 50 лет. // Достижения науки и техники АПК. – 2014. – С. 11-13.

156. Чеботарев Н.Т. Изменение свойств почвы и продуктивности севооборота при длительном применении удобрений // Агрохимический вестник. – 2009. – № 6. – С. 10-11.

157. Чекмарев П.А., Лукин С.В., Сискевич Ю.И. Мониторинг кислотности пахотных почв Центрально-Черноземного района // Достижения науки и техники АПК. – 2011. – № 7. – С. 6-8.

158. Чекмарев П.А., Лукин С.В., Сискевич Ю.И. Мониторинг содержания органического вещества в пахотных почвах Центрально-Черноземного района // Достижения науки и техники АПК. – 2011. – № 9. – С. 23-26.

159. Чекмарев П.А., Лукин С.В., Сискевич Ю.И. Фосфор в земледелии Центрально-Черноземного района // Достижения науки и техники АПК. – 2011. – № 5. – С. 21-23.

160. Чичкин А.П. Агрометеорологические основы воспроизводства почвенного плодородия и формирование урожаев на обыкновенных черноземах и темно-каштановых почвах засушливого Поволжья: автореф. дисс. … д-ра с.-х. наук. – М., 199 – 57 с.

161. Чумаченко И.Н. Аспекты исследований фосфатного режима почв и оптимизация эффективности фосфорных удобрений. Сборник «Совершенствование многолетних исследований фосфатного режима почв, оптимизация фосфатного питания растений и баланс фосфора в агроэкосистемах». – М.: ВНИПТИХИМ, 1999. – С. 57-59.

162. Шалганов И.И., Доманов Н.М., Соловиченко В.Д. Длительные стационарные опыты и решение проблемы повышения плодородия почв и продуктивности земледелия. // Земледелие. – 2009. – № 7. – С. 16-18.

163. Шафран С.А. Ассортимент минеральных удобрений и экономическая эффективность их применения. – М.: ВНИИА, 2020. –229 с.

164. Шафран С.А. Вклад минеральных удобрений в формирование урожайности полевых культур. Сообщение 1. Азотные удобрения // Агрохимия. – 2021. – № 7. – С. 27-35.

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

166. Шафран С.А. Методика определения агрохимической и экономической эффективности применения минеральных удобрений в условиях производства. – М.: ВНИИА, 2023. – 155 с.

167. Шафран С.А. Окупаемость затрат на применение азотных удобрений в подкормку озимой пшеницы // Агрохимия. – 2021. – № 2. – С. 20-27.

168. Шафран С.А. Затраты азотных удобрений на формирование урожайности зерновых культур в зависимости от агрохимической окультуренности почв // Агрохимия. – 2022. – № 5. – С. 38-47.

169. Шафран С.А., Духанина Т.М. Значение комплексного агрохимического окультуривания почв в повышении эффективности азотных удобрений под пшеницу // Агрохимия. – 2017. – № 11. – С. 21-31.

170. Шафран С.А., Прошкин В.А., Шаброва Е.В. О возможности прогнозировать эффективности азотной подкормки озимой пшеницы по агрохимическим свойствам почв и величине осадков. – Агрохимия. – 2013. – № 11. – С. 26-37.

171. Шафран С.А., Хачидзе А.С., Мамедов М.Г. Эффективность применения азотных удобрений под различные сорта зерновых культур. Достижения и перспективы селекции и технологического обеспечения АПК в Нечерноземной зоне РФ. Сборник научных трудов, Немчиновка, 2006. – С. 365-366.

172. Шпаар Д., Эллмер Ф. Зерновые культуры: монография. – М.: ФУ Аинформ, 2000. – 421 с.

173. Штоколова К.В., Федулов М.А. Успехи Курской области в росте экономики растениеводства // Вестник Курской сельскохозяйственной академии. – 2020. – № 12. – С. 472-476.

174. Щербаков А.П., Васенев И.И. Агроэкологическое состояние почв Центрально-Черноземного округа. – Курск, 1996. – 326 с.

175. Bathelar J. An investment in the future. // Solutions. – 1987. – V. 31. – № 3. – P. 22-23.

176. Bockman O.H. Agriculture and fertilizers. – Oslo: Nozsk Hydro. – 1991. – 265 p.

177. Bora G.C., Nowatzki J.F. & Roberts D.C. Energy savings by adopting precision agriculture in rural USA. Energ Sustain Soc 2, 22 (2012).

178. Cormier, F., Faure, S., Dubreuil, P. et al. A multi-environmental study of recent breeding progress on nitrogen use efficiency in wheat (Triticum aestivum L.). Theor Appl Genet 126, 3035–3048 (2013).

179. Cycles, Nitrogen Budget, and Sustainability of Agroecosystems after Applying Organic Fertilizers (Labeled with 15N) / A. A. Zavalin, O. A. Sokolov, N. Y. Shmyreva [et al.] // Eurasian Soil Science. – 2022. – Vol. 55, No. 1. – P. 56-63. – DOI 10.1134/S1064229322010136. – EDN YPXIXM.

180. Farid H.U., Bakhsh A, Ahmad N, Ahmad A, Mahmood-Khan Z. Delineating site-specific management zones for precision agriculture. The Journal of Agricultural Science. 2016; 154(2):273-286.

181. Khitrov N. B., Rukhovich D. I., Koroleva P. V. [et al.] A study of the responsiveness of crops to fertilizers by zones of stable intra-field heterogeneity based on big satellite data analysis // Archives of Agronomy and Soil Science. – 2020. – Vol. 66, No. 14. – P. 1963-1975. – DOI 10.1080/03650340.2019.1703957. – EDN SFPLZR.

182. Kiryushin V.I. The management of soil fertility and productivity of agrocenoses in adaptive-landscape farming systems // Eurasian Soil Science. 2019. Vol. 52. No. 9. P. 1137-1145.

183. Lukin, S. V. Ecological Assessment of the Content of Cadmium in Soils and Crops in Southwestern Regions of the Central Chernozemic Zone, Russia / S. V. Lukin, S. V. Selyukova // Eurasian Soil Science. – 2018. – Vol. 51, No. 12. – P. 1547-1553. – DOI 10.1134/S1064229318120074. – EDN WUODBC.

184. Lukin, S. V. Monitoring of the Contents of Manganese, Zinc, and Copper in Soils and Plants of the Central Chernozemic Region of Russia / S. V. Lukin, D. V. Zhuikov // Eurasian Soil Science. – 2021. – Vol. 54, No. 1. – P. 63-71. – DOI 10.1134/S1064229321010099. – EDN OVADNG.

185. Lukin, S. V. Use of agroecological soil monitoring data in designing adaptive landscape farming systems / S. V. Lukin, V. A. Chernikov // Bio web of conferences: International Scientific and Practical Conference “Fundamental Scientific

Research and Their Applied Aspects in Biotechnology and Agriculture" (FSRAABA 2021), Tyumen, 19–20 июля 2021 года. – Tyumen: EDP Sciences, 2021. – P. 03015. – EDN KYGHAK.

186. Lukin, S. V. Content and Balance of Trace Elements (Co, Mn, Zn) in Agroecosystems of the Central Chernozemic Region of Russia / S. V. Lukin, D. V. Zhuikov // Agriculture. – 2022. – Vol. 12, No. 2. – DOI 10.3390/agriculture12020154. – EDN HCQUTK.

187. Lukin, S. V. Dynamics of Agroecological State of Soils in the Belgorod Region during Long-Term Agricultural Use / S. V. Lukin // Eurasian Soil Science. – 2023а. – Vol. 56, No. 12. – P. 1986-1998. – DOI 10.1134/s1064229323602123. – EDN FGDMWS.

188. Lukin, S. V. Agroecological Assessment of Heavy Metals and Arsenic Content in Ordinary Chernozem in the Central Chernozem Region of Russia / S. V. Lukin // Doklady Earth Sciences. – 2023б. – Vol. 508, No. 2. – P. 106-110. – DOI 10.1134/s1028334x22602024. – EDN VELTIX.

189. Malysheva, E. S. Complex Analysis of Data from Agrochemical and Soil-Erosion Monitoring Using Geoinformation Systems / E. S. Malysheva, A. V. Malyshev, I. G. Kostin // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, Ussurijsk, 20–21 июня 2021 года. – Ussurijsk, 2021. – P. 032070. – DOI 10.1088/1755-1315/937/3/032070. – EDN LOVMBT.

190. Malysheva, E. S. Application of geoinformation systems for a complex analysis of data from agrochemical and soil-erosion monitoring of soils / E. S. Malysheva // Bio web of conferences: International Scientific and Practical Conference "Fundamental Scientific Research and Their Applied Aspects in Biotechnology and Agriculture" (FSRAABA 2021), Tyumen, 19–20 июля 2021 года. – Tyumen: EDP Sciences, 2021. – P. 03016. – EDN FCSJYG.

191. Monzon J. P., Calviño P. A., Sadras V. O., Zubiaurre J. B., Andrade F. H. Precision agriculture based on crop physiological principles improves whole-farm yield and profit: A case study. European Journal of Agronomy. 2018; (99): 62-71.

192. Plant residues decomposition and active organic matter in the soil of incubation experiments / V.M. Semenov, N.V. Pautova, T.N. Lebedeva, et al. // Eurasian Soil Science. 2019. Vol. 52. No. 10. P. 1183-1194.

193. Surinov, A. V. Fertility dynamics of the forest-steppe zone's arable soils in the central chernozem region (on the example of the Prokhorovsky district of the Belgorod region) / A. V. Surinov // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. – 2022. – Vol. 1043, No. 1. – P. 012014. – DOI 10.1088/1755-1315/1043/1/012014. – EDN YVBZYV.

194. Surinov, A. V. Agro-ecological assessment of the condition of arable soils of the CCR / A. V. Surinov // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. – 2023. – Vol. 1206, No. 1. – P. 012011. – DOI 10.1088/1755-1315/1206/1/012011. – EDN AENOKZ.

195. Zhao, B., Yao, X., Tian, Y. C., Liu, X. J., Ata-UI-Karim, S. T., Ni, J., et al. (2014). New critical nitrogen curve based on leaf area index for winter wheat. Agronomy Journal, 106, 379–389.

ПРИЛОЖЕНИЕ

Приложение 1

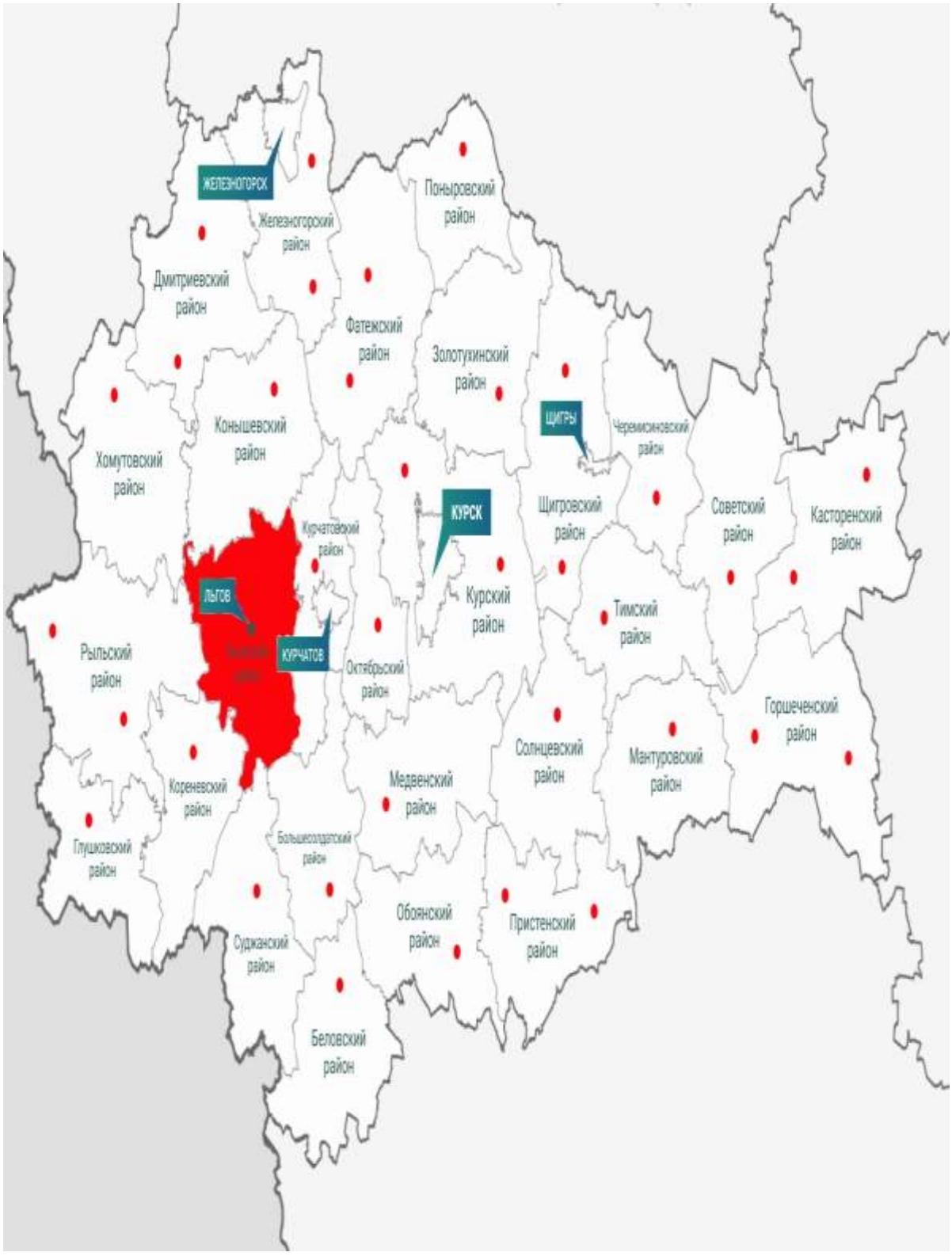

Рис. 1. Карта районов возделывания озимой пшеницы сорта Льговская 4

Приложение 2

Урожайность зерна озимой пшеницы, 2016 г.

№ вари-антов	Повторения				Сумма	Средние
	1	2	3	4		
1	36,3	36,2	35,9	36,0	144,4	36,1
2	38,3	39,2	38,1	38,0	153,6	38,4
3	47,7	47,9	47,4	48,2	191,2	47,8
4	45,2	45,8	45,4	45,6	182,0	45,5
5	48,0	48,8	48,1	47,9	192,8	48,2
6	49,1	50,2	48,8	49,5	197,6	49,4
7	50,1	50,6	50,3	51,1	202,1	50,5
8	44,3	44,6	43,5	43,6	176,0	44,0
9	44,2	44,9	45,0	44,3	178,4	44,6
10	44,4	44,7	45,3	44,8	179,2	44,8
11	43,3	43,7	44,2	44,0	175,2	43,8
12	44,4	44,7	43,2	44,1	176,4	44,1
13	45,1	45,8	45,2	44,7	180,8	45,2
Сумма	580,4	587,1	580,4	581,8	2329,7	
Средние	44,6	45,2	44,6	44,8		44,8

Приложение 3

Урожайность зерна озимой пшеницы, 2017 г.

№ вариантов	Повторения				Сумма	Средние
	1	2	3	4		
1	38,1	38,5	36,9	37,8	151,3	37,8
2	40,2	41,3	40,1	39,8	161,4	40,4
3	50,1	50,4	49,8	50,6	200,9	50,2
4	47,5	48,1	47,7	47,9	191,2	47,8
5	50,4	51,2	50,5	50,3	202,4	50,6
6	51,6	52,7	51,2	51,9	207,4	51,9
7	52,9	53,1	52,8	53,6	212,4	53,1
8	46,5	46,8	45,7	45,8	184,8	46,2
9	46,7	47,1	47,3	46,5	187,6	46,9
10	46,6	46,9	47,7	47,0	188,2	47,1
11	45,2	45,9	46,2	46,2	183,5	45,9
12	46,8	46,8	45,4	46,3	185,3	46,3
13	47,5	48,1	47,4	46,9	189,9	47,5
Сумма	610,1	616,9	608,7	610,6	2446,3	
Средние	46,9	47,5	46,8	47,0		47,0

Приложение 4

Урожайность зерна озимой пшеницы, 2018 г.

№ вариантов	Повторения				Сумма	Средние
	1	2	3	4		
1	36,8	36,7	36,2	36,3	146,0	36,5
2	39,2	39,4	38,6	38,8	156,0	39,0
3	49,6	49,7	48,3	48,7	196,3	49,1
4	47,2	47,1	46,4	46,5	187,2	46,8
5	49,7	49,8	48,9	48,8	197,2	49,3
6	50,7	50,9	49,9	50,1	201,6	50,4
7	51,8	52,4	51,6	52,3	208,1	52,0
8	45,3	45,9	44,9	45,1	181,2	45,3
9	45,1	45,5	46,1	44,9	181,6	45,4
10	45,7	45,9	46,7	46,5	184,8	46,2
11	44,6	44,9	45,6	45,3	180,4	45,1
12	45,9	46,2	45,3	45,8	183,2	45,8
13	46,8	47,4	46,9	46,5	187,6	46,9
Сумма	598,4	601,8	595,4	595,6	2391,2	
Средние	46,0	46,3	45,8	45,8		46,0

Приложение 5

Урожайность соломы озимой пшеницы, 2016 г.

№ вариантов	Повторения				Сумма	Средние
	1	2	3	4		
1	38,1	38,0	37,7	37,8	151,6	37,9
2	39,1	40,0	38,8	38,8	156,7	39,2
3	45,3	45,5	45,0	45,8	181,6	45,4
4	40,7	41,2	40,9	41,0	163,8	41,0
5	42,7	43,5	42,8	42,7	171,7	42,9
6	43,7	44,7	43,4	44,1	175,9	44,0
7	40,1	40,6	40,2	40,9	161,8	40,5
8	39,9	40,1	39,2	39,2	158,4	39,6
9	39,8	40,4	40,5	39,9	160,6	40,2
10	40,0	40,2	40,8	40,3	161,3	40,3
11	39,0	39,3	39,8	39,6	157,7	39,4
12	40,1	40,3	39,3	38,9	158,6	39,7
13	40,6	41,2	40,7	40,2	162,7	40,7
Сумма	529,1	535	529,1	529,2	2122,4	
Средние	40,7	41,2	40,7	40,7		40,8

Приложение 6

Урожайность соломы озимой пшеницы, 2017 г.

№ вари-антов	Повторения				Сумма	Средние
	1	2	3	4		
1	39,1	39,4	38,0	37,5	154,0	38,5
2	40,2	41,3	40,1	39,8	161,4	40,4
3	40,1	40,3	39,8	40,5	160,7	40,2
4	45,1	45,7	45,3	45,5	181,6	45,4
5	40,3	40,9	40,4	40,2	161,8	40,5
6	41,3	42,1	40,8	41,5	165,7	41,4
7	42,3	42,5	42,2	42,9	169,9	42,5
8	41,8	42,1	41,1	41,2	166,2	41,6
9	42,0	42,4	42,5	41,8	168,7	42,2
10	41,9	42,2	42,9	42,3	169,3	42,3
11	40,6	41,3	41,6	41,5	165,0	41,3
12	42,1	42,1	40,8	41,6	166,6	41,7
13	45,1	45,7	45,0	44,5	180,3	45,1
Сумма	541,9	548	540,5	540,8	2171,2	
Средние	41,7	42,2	41,6	41,6		41,8

Приложение 7

Урожайность соломы озимой пшеницы, 2018 г.

№ вари-антов	Повторения				Сумма	Средние
	1	2	3	4		
1	38,6	38,5	38,0	38,1	153,2	38,3
2	39,6	39,7	38,9	39,2	157,4	39,4
3	47,1	47,2	45,8	46,2	186,3	46,6
4	42,4	42,3	41,7	41,9	168,3	42,1
5	47,2	47,3	46,8	45,9	187,2	46,8
6	40,5	40,7	39,9	40,0	161,1	40,3
7	41,4	41,9	41,2	41,8	166,3	41,6
8	40,7	41,3	40,4	40,6	163,0	40,8
9	40,6	40,9	41,5	40,6	163,6	40,9
10	41,1	41,3	42,0	41,8	166,2	41,6
11	40,1	40,4	41,0	40,8	162,3	40,6
12	41,3	41,6	40,7	41,2	164,8	41,2
13	42,1	42,6	42,2	41,8	168,7	42,2
Сумма	542,7	545,7	540,1	539,9	2168,4	
Средние	41,7	42,0	41,5	41,5		41,7

Приложение 8

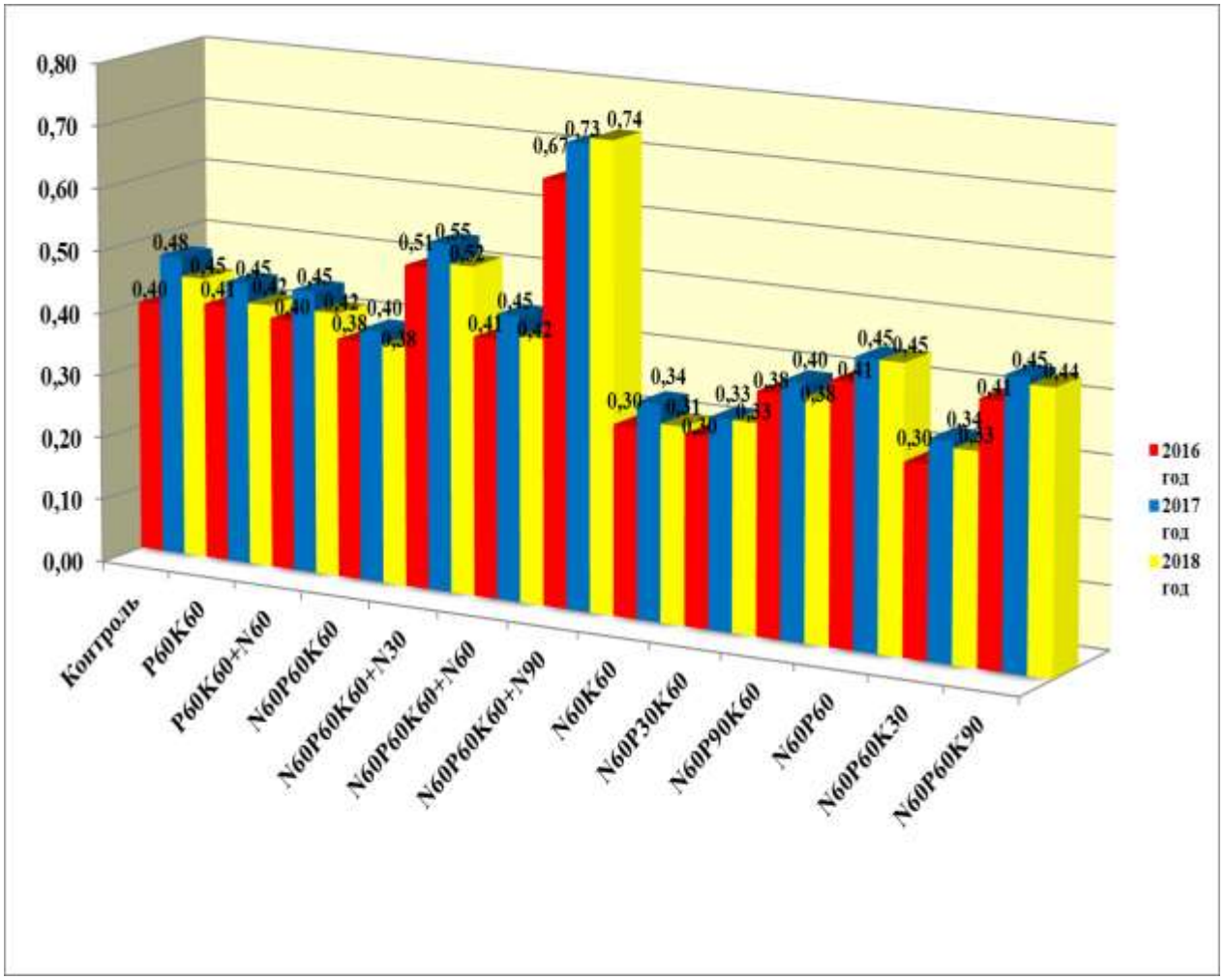

Рис. 2. Влияние минеральных удобрений на содержание азота в соломе озимой пшеницы, % на абсолютно сухое вещество

Приложение 9

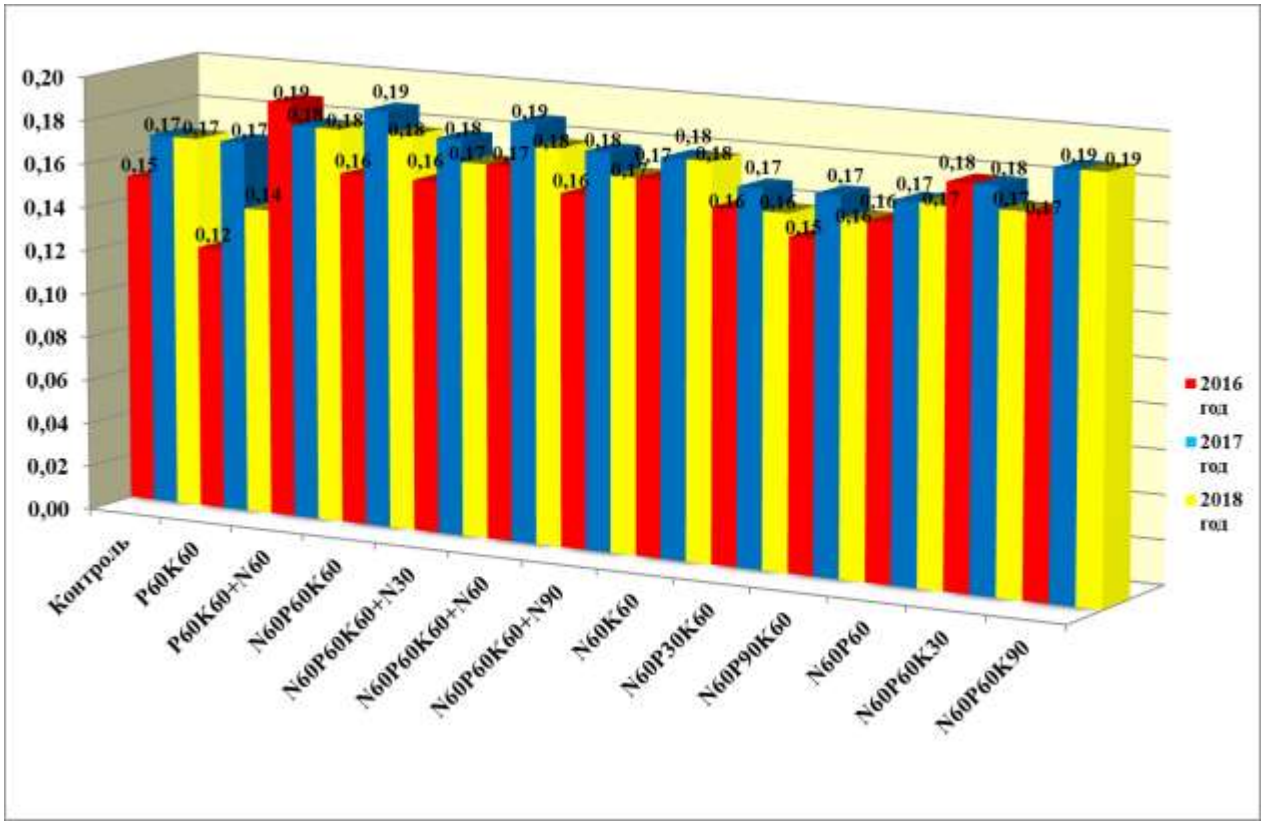

Рис. 3. Влияние минеральных удобрений на содержание фосфора в соломе озимой пшеницы, % на абсолютно сухое вещество

Приложение 10

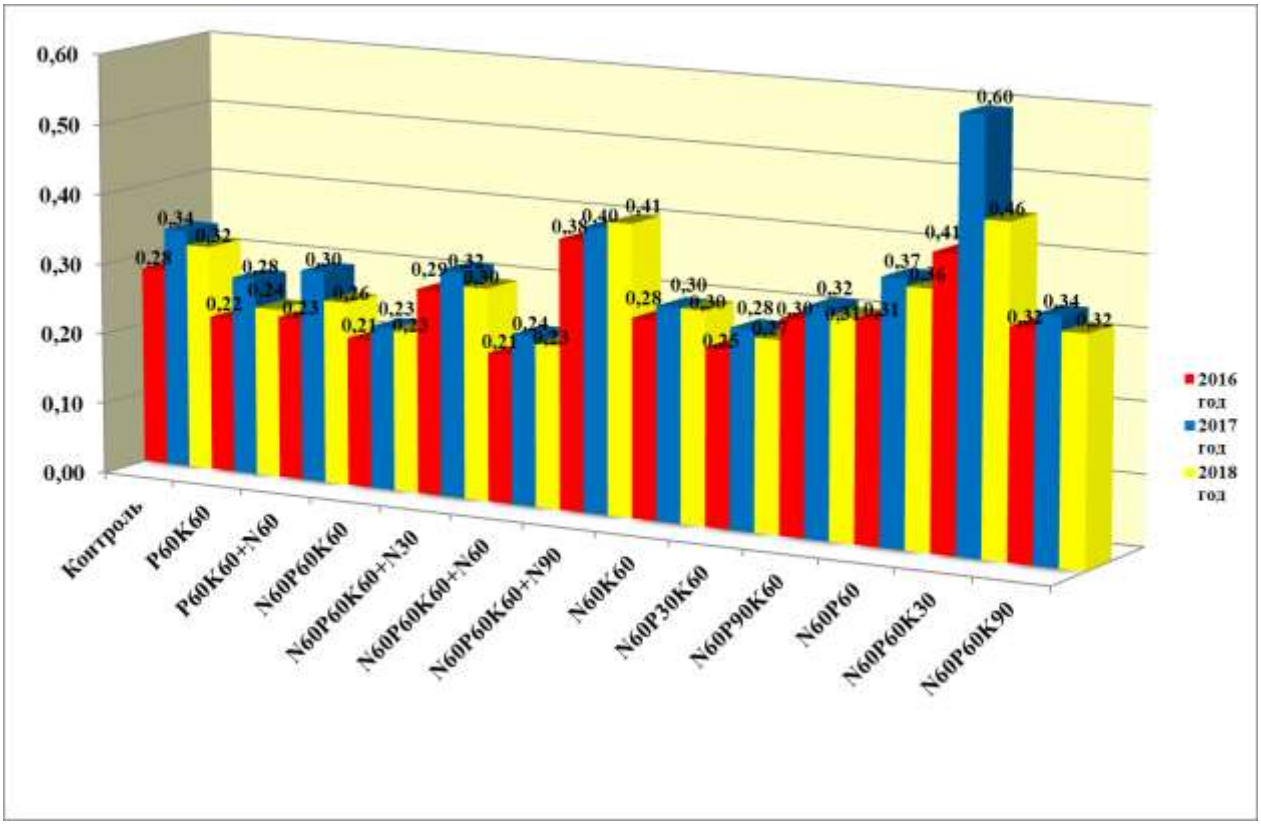

Рис. 4. Влияние минеральных удобрений на содержание калия в соломе озимой пшеницы, % на абсолютно сухое вещество

Приложение 11

Влияние минеральных удобрений на массу 1000 зерен озимой пшеницы, г

Варианты опыта	2016 г.	2017 г.	2018 г.	Среднее
1. Контроль (без удобрений)	46,10	46,7	46,4	46,4
2. $P_{60}K_{60}$	45,18	47,1	46,8	46,36
3. $P_{60}K_{60}+N_{60}$	45,93	47,1	46,9	46,64
4. $N_{60}P_{60}K_{60}$	45,58	51,0	50,4	49,0
5. $N_{60}P_{60}K_{60}+ N_{30}$	45,25	47,8	47,3	46,78
6. $N_{60}P_{60}K_{60}+ N_{60}$	44,35	48,1	47,8	46,75
7. $N_{60}P_{60}K_{60}+ N_{90}$	44,83	45,8	45,7	45,44
8. $N_{60}K_{60}$	46,40	48,3	47,6	47,43
9. $N_{60}P_{30}K_{60}$	45,45	49,0	48,4	47,62
10. $N_{60}P_{90}K_{60}$	45,53	49,5	49,3	48,11
11. $N_{60}P_{60}$	45,08	46,8	46,1	46,0
12. $N_{60}P_{60}K_{30}$	45,93	49,7	48,2	47,94
13. $N_{60}P_{60}K_{90}$	46,08	50,0	48,9	48,33