

**МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
ФГБОУ ВО «БЕЛГОРОДСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АГРАРНЫЙ  
УНИВЕРСИТЕТ ИМ. В.Я. ГОРИНА»**

На правах рукописи



**Морозова Тамара Сергеевна**

**АГРОХИМИЧЕСКИЕ И ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ  
ВОЗДЕЛЫВАНИЯ ОЗИМОЙ ПШЕНИЦЫ В УСЛОВИЯХ  
ЮГО-ЗАПАДНОЙ ЧАСТИ ЦЧЗ**

Специальность 06.01.04 – агрохимия

диссертация на соискание учёной степени  
кандидата сельскохозяйственных наук

Научный руководитель –  
доктор сельскохозяйственных наук,  
Лицуков С.Д.

**Белгород – 2018**

## ОГЛАВЛЕНИЕ

	ВВЕДЕНИЕ	3
1	ВЛИЯНИЕ ОРГАНИЧЕСКИХ И МИНЕРАЛЬНЫХ УДОБРЕНИЙ НА ИЗМЕНЕНИЕ АГРОХИМИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ПОЧВ И УРОЖАЙНОСТЬ ОЗИМОЙ ПШЕНИЦЫ (Обзор литературы)	7
1.1	Влияние удобрений на показатели почвенного плодородия	7
1.2	Влияние удобрений на урожайность и качество зерна озимой пшеницы	16
1.3	Тяжелые металлы и их экологическая опасность в агроэкосистемах	25
2	УСЛОВИЯ И МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЙ	49
2.1	Почвенно-климатические условия	49
2.2	Схема опыта и методика исследований	56
3	РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ	
3.1	Влияние удобрений на агрохимические показатели чернозёма типичного	60
3.2	Агрохимические и экологические аспекты возделывания озимой пшеницы в условиях юго-западной части ЦЧЗ	71
3.2.1	Влияние удобрений на накопление кадмия в почве	71
3.2.2	Влияние удобрений на урожайность и качество зерна озимой пшеницы	78
3.2.3	Влияние удобрений на содержание кадмия в основной и побочной продукции озимой пшеницы	99
4	БИОЭНЕРГЕТИЧЕСКАЯ И ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА УДОБРЕНИЙ ПРИ ВОЗДЕЛЫВАНИИ ОЗИМОЙ ПШЕНИЦЫ	105
	ЗАКЛЮЧЕНИЕ	111
	ПРЕДЛОЖЕНИЯ ПРОИЗВОДСТВУ	114
	СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ	115
	ПРИЛОЖЕНИЯ	140

## ВВЕДЕНИЕ

**Актуальность темы исследований.** Важнейшим условием развития современного земледелия является использование в агроэкосистеме средств химизации. Это обусловлено необходимостью поддержания и улучшения уровня почвенного плодородия, а также получения высоких и стабильных урожаев.

Вместе с тем научно необоснованное систематическое применение высоких доз минеральных и органических удобрений приводит к снижению эффективности удобрений, качества урожая, почвенного плодородия и негативно воздействует на состояние окружающей природной среды.

Длительное внесение удобрений вызывает опасение о возможности загрязнения почв тяжелыми металлами. Их влияние обусловлено не только наличием металлов в составе применяемых агрохимикатов, но и косвенным влиянием на динамику почвенных процессов. Применение удобрений приводит к различным взаимодействиям между химическими элементами в почве, при этом жизненно необходимые элементы переходят в труднодоступные формы, вместе с тем усиливается мобилизация токсических металлов в почве, поглощение их растениями.

В длительных стационарных опытах особый интерес для изучения представляют два аспекта проблемы: накопление тяжелых металлов в почве за счёт внесения удобрений и их влияние на подвижность и доступность металлов.

В связи с этим возникает необходимость детального изучения поведения биогенных и токсичных элементов в агроэкосистеме с интенсивным сельскохозяйственным использованием при длительном действии и последствии удобрений.

**Цель и задачи исследований.** Цель работы – изучить влияние минеральных и органических удобрений на агроэкологическое состояние почвы, урожайность и качество зерна озимой пшеницы.

Исследования нацелены на решение следующих **задач**:

1. Изучить закономерности изменения основных агрохимических показателей плодородия чернозёма типичного в зависимости от внесения удобрений.

2. Определить содержание валовых и подвижных форм кадмия в почве и его накопление озимой пшеницей.

3. Установить взаимосвязь между содержанием минерального азота в почве, урожайностью и качеством зерна озимой пшеницы.

4. Дать агрохимическое и экологическое обоснование применения минеральных и органических удобрений под озимую пшеницу.

5. Определить энергетическую и экономическую эффективность применения минеральных и органических удобрений под озимую пшеницу.

**Научная новизна работы.** В почвенно-климатических условиях юго-западной части ЦЧЗ дана сравнительная оценка действия различных доз удобрений на накопление кадмия в почве. Установлена корреляционная зависимость между содержанием минерального азота в почве, урожайностью и качеством зерна озимой пшеницы. Определена зависимость содержания кадмия в зерне озимой пшеницы от внесения минеральных и органических удобрений.

**Теоретическая и практическая значимость.** Результаты исследований позволяют прогнозировать состояние плодородия чернозема типичного и могут служить основой для разработки мероприятий по снижению антропогенной нагрузки на почву. Определена зависимость между запасами минерального азота в почве и урожайностью озимой пшеницы и качеством зерна, что позволяет прогнозировать урожайность этой культуры. Рассчитан вынос питательных элементов урожаем озимой пшеницы с учётом побочной продукции, что может быть использовано в практике расчета доз удобрений.

**Основные положения, выносимые на защиту.**

1. Количественная оценка агрохимических показателей плодородия чернозема типичного при различных дозах минеральных и органических удобрений.

2. Уровень содержания кадмия в черноземе типичном и накопление его в основной и побочной продукции озимой пшеницы.
3. Количественная оценка урожайности и качества зерна озимой пшеницы при внесении разных доз минеральных и органических удобрений.
4. Взаимосвязь содержания азота в почве с урожайностью и качеством зерна озимой пшеницы.
5. Энергетическая и экономическая оценка эффективности удобрений.

**Апробация работы.** Материалы диссертации докладывались на II-й молодежной book-ассамблеи, посвящённой Году окружающей среды (г. Белгород, 2013 г), на международных научно-производственных конференциях (г. Белгород, 2014 г., 2015 г.), на онлайн-конференции «Исследования молодых ученых – аграрному производству», посвященной Дню Российской науки (г. Белгород, 2015 г.), на всероссийской научно-практической конференции «Биологизация земель в адаптивно-ландшафтной системе земледелия» (г. Белгород, 2015 г.).

**Публикации.** По итогам исследований опубликовано 12 печатных работ, включая 4 статьи в научных журналах из списка рекомендованных ВАК.

**Личный вклад автора.** Диссертационная работа является обобщением результатов полевых и лабораторных исследований, полученных автором за 3 года (2012-2015). Автор принимала личное участие в разработке программы и методики исследований, проведении полевых и лабораторных исследований, ею проведён анализ и обобщены экспериментальные данные, сформулированы научные положения и выводы.

**Структура и объем работы.** Диссертация изложена на 143 страницах машинописного текста и содержит 4 главы, заключение, предложения производству, список литературы и приложения. Список литературы включает 209 источников, среди которых 19 публикаций иностранных авторов. Работа содержит 24 таблицы и 3 приложения.

**Благодарности.** Автор выражает особую признательность научному руководителю, доктору сельскохозяйственных наук С.Д. Лицукову, а также сотрудникам кафедры земледелия, агрохимии и экологии за всестороннюю помощь в проведении диссертационного исследования и консультации при работе над диссертацией. Глубокую благодарность за предоставленную возможность в проведении полевых и лабораторных исследований, автор выражает директору ФГБНУ «Белгородский ФАНЦ РАН» д.с.-х.н. С.И. Тютюнову и заведующему лабораторией плодородия почв и мониторинга д.с.-х.н. В.Д. Соловиченко.

# **1 ВЛИЯНИЕ ОРГАНИЧЕСКИХ И МИНЕРАЛЬНЫХ УДОБРЕНИЙ НА ИЗМЕНЕНИЕ АГРОХИМИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ПОЧВ И УРОЖАЙНОСТЬ ОЗИМОЙ ПШЕНИЦЫ (Обзор литературы)**

## **1.1 Влияние удобрений на показатели почвенного плодородия**

При интенсивном ведении сельскохозяйственного производства ежегодно возрастает техногенное влияние на почву, что вызывает изменение её свойств и снижение эффективного плодородия.

Применение органических и минеральных удобрений – обязательное условие существенного улучшения питательного режима чернозема типичного Центрально-Черноземного региона.

Система применения удобрений способствует коренному улучшению пищевого режима почвы, созданию оптимального запаса питательных веществ для получения высоких урожаев. Научно обоснованная система агротехнических мероприятий оптимизирует агрофизические показатели почвы, благоприятные условия для динамичного развития почвенной биоты и накопления легкоусвояемых элементов в почве [106].

Изменения, происходящие в почве в результате сельскохозяйственного использования, влияют на состояние гумуса, поскольку именно он является основной частью почвенно-поглощающего комплекса (ППК).

Либих Ю. (1987) утверждал, что гумус улучшает питание растений вследствие наличия медленного, но регулярного выделения  $\text{CO}_2$ , служащего растворителем тех веществ почвы, которые необходимы для питания растений. Органическое вещество почвы содержит около 98 % запасов азота, до 60 % фосфора и до 80 % серы [8, 189].

В научных исследованиях задача регулирования содержания гумуса в почве относится к числу важнейших. Установлено, что распашки земель привела к сокращению этого ценного ресурса почвы.

Длительное использование чернозема привело к изменению его гумусного состояния, что обусловлено сокращением количества поступающих в почву растительных остатков.

Интенсивное сельскохозяйственное использование почв ЦЧО, в зависимости от степени эродированности и местоположения в рельефе, приводит к снижению содержания гумуса на 25-52%, лабильных гумусовых веществ на 33-50%, негумифицированного органического вещества в 2-2,4 раза, по сравнению с целинными почвами. К таким потерям гумуса в пахотных почвах приводит недостаточное поступление в них органического вещества, повышенная минерализация гумуса и негумифицированного органического вещества, нерациональные обработки почвы, перенасыщение севооборотов пропашными культурами и недостаточное вовлечение в них многолетних бобовых трав и т.д. [74].

Длительное внесение удобрений оказывает разносторонне влияние на пищевой режим почв, вынос и баланс питательных веществ, и продуктивность сельскохозяйственных культур [2, 72, 143, 144].

Получение максимального, генетически обусловленного урожая, в том числе и на высококультурных почвах, может быть достигнуто только при урегулировании процессов питания растений. При этом необходимо учитывать законы формирования урожая и агротехнические мероприятия для каждой культуры индивидуально. В условиях развитой агротехники внесение незначительного количества удобрений проявляет высокую эффективность [146].

Среди множества взаимосвязанных показателей плодородия почвы важнейшее значение имеет содержание органического вещества в почве и его качественное состояние. Воспроизводство в почве органического вещества является основой существования почвы как природного ресурса.

Органическое вещество – это энергетическая основа биологических процессов, характеризующаяся свойствами физиологически активных веществ, регулирующих процессы роста и питания растений, но, находясь в интенсивном сельскохозяйственном использовании, оно всегда неустойчиво. В условиях недостаточного внесения удобрений урожай сельскохозяйственных культур формируется главным образом за счёт почвенных запасов эле-



ментов питания, прежде всего азота, освобождаемых при минерализации гумуса. Интенсивность процесса минерализации органического вещества верхних слоёв почвы зависит от его запасов, количества и вида вносимых удобрений, типа почвы. Так, на черноземных почвах минерализация гумуса в среднем за год составляет 0,4- 0,5 % [14].

Наблюдения Е.В. Навольневой (2013) показали, что удобрения, в большей степени органические, играют значительную роль в накоплении гумуса. Повышение дозы минеральных удобрений даёт положительный результат только по фону разных доз навоза [116].

По данным В.Д. Панникова и В.Г. Минеева (1977) с целью восполнения запасов гумуса в почве необходимо совместное применение органических и минеральных удобрений [138] .

Минеральные удобрения, главным образом азотные, снижают содержания гумуса в почве. Кроме того, в процессе разложения гумуса значительная часть азота высвобождается и, промываясь в нижние слои почвы, становится источником загрязнения грунтовых вод нитратами. Применение повышенных доз минеральных удобрений ускоряет процесс разложения гумуса, его агробиологические свойства стремительно ухудшаются, а почва теряет высокую буферность, емкость поглощения и структуру.

По мнению А.С. Образцова (2001) для компенсации потерь гумуса в почве на поля зерновых культур необходимо вносить 3,2 т/га навоза, корнеплодов – 29,2 и силосных культур – 18,8 т/га [126].

На изменение содержания гумуса в пахотном слое и его распределение по профилю значительное влияние оказывают не только удобрения и мелиоранты, но и увлажнение, обуславливающее нисходящие или восходящие потоки вещества в профиле почвы. В годы с достаточным количеством осадков максимальное повышение содержания гумуса наблюдается преимущественно в нижней части профиля за счет миграционных форм гумуса, а в годы с дефицитом осадков его содержание повышается в слое 0-40 см, а с глубиной

понижается. Внесение дефеката, особенно по органическому фону, стабилизирует гумусное состояние почвы [163].

Применение минеральных удобрений в сочетании с послеуборочными остатками и сидеральными культурами повышает содержание органического вещества на 3,44 % [30].

Возрастающие дозы минеральных и органических удобрений повышают содержание общего гумуса в верхнем слое почвы, однако качественный его состав при этом ухудшается и снижается соотношение гуминовых кислот к фульвокислотам [142].

С уменьшением запаса гумуса в почве одновременно снижается содержание азота, что связано с выносом его сельскохозяйственными культурами.

В черноземах типичных Центрально-Черноземного района содержание азота в минеральной форме (в основном в нитратной) составляет 0,6-1,7% от общего содержания, в форме легкогидролизуемых соединений – 5-8%, в форме трудногидролизуемых соединений – 12-15%, в форме негидролизуемых соединений – 75-82%. В зависимости от условий коэффициент использования сельскохозяйственными растениями минерального азота изменяется от 30 до 70%, легкогидролизуемого азота – от 15 до 20% [2, 6, 87, 185].

К источникам поступления азота в почву относятся: атмосферные осадки, остатки растений и животных, минеральные и органические удобрения. Кроме того, наиболее важной статьёй поступления азота в почву является азотфиксация микроорганизмами и клубеньковыми бактериями [140].

В агроландшафты Белгородской области в период с 1964 г. по 2009 г. с минеральными удобрениями поступило 38,8-61,9% азота, с органическими удобрениями – 6,6-21,2 %, с семенами – 2,1-5,6 %, за счет симбиотической азотфиксации – 15,0-24,9; вследствие несимбиотической азотфиксации – 4,9-16,0 % [74, 87].

Содержание основных элементов питания растений изменяется, главным образом, под влиянием удобрений. Применение минеральных удобрений из расчета  $N_{45}P_{30}K_{30}$  повышает содержание щелочно-гидролизуемого

азота, подвижного фосфора и обменного калия. Формирование урожая сельскохозяйственных культур влечёт за собой отчуждение питательных элементов из почвы. Так, к периоду уборки количество щелочно-гидролизуемого азота уменьшилось в слое 0-20 см в среднем на 35 мг/кг, а в слое 0-40 см – на 19 мг/кг почвы [45].

Внесение азота в дозе 30-40 кг/га под культуры зернопарового севооборота длительного стационарного опыта на черноземах южных ежегодно поддерживало запасы нитратного азота в первой половине вегетации на уровне 16,4-18,0 мг/кг (80-87 кг/га), что было вполне способно обеспечить нормальный рост и развитие растений. Увеличение ежегодной дозы до  $N_{60-90}$  повышает содержание  $N-NO_3^-$  на 9 кг/га. Совместное применение минеральных азотных удобрений и соломы повышает содержание нитратного азота [26].

При совместном внесении минеральных удобрений и навоза на чернозёме типичном в условиях юго-западной части Центрально-чернозёмного региона содержание доступного растениям азота в слое почвы 0-30 см увеличивается в 1,5-2,5 раза, а в метровом слое в 3,2 раза [174].

Степень обеспеченности растений доступными формами фосфора является одним из важнейших признаков плодородия почв. В почве он находится как в органической, так и в неорганической форме и поглощается растениями из почвенного раствора. В течение вегетации корневая система растений способна поглощать фосфор из нижних слоев почвы и транспортировать его в их вегетативные органы. Фосфор, содержащийся в растительных остатках, подвергается процессам минерализации, затем переходит в минеральную и органическую часть почвы и прочно в ней закрепляется.

Достаточная обеспеченность растений этим элементом способствует нормальному протеканию процессов фотосинтеза, дыхания, аккумуляции и переноса энергии, а также деления и роста клеток, поскольку входит в состав нуклеиновых кислот, фосфолипидов и ряда коферментов. Кроме того, фосфор ускоряет процесс созревания растений, что сказывается на эффек-

тивности использования воды. Для нормального развития растения должны получать оптимальное количество фосфора, внесенного с соблюдением сроков и форм внесения, чтобы растение смогло завершить свой продукционный цикл без снижения урожайности [2,105].

При длительном внесении удобрений в почве повышается содержание минеральных соединений фосфора, что делает их более доступными для растений и как следствие возрастает продуктивность севооборота.

Применение повышенных доз фосфорсодержащих удобрений повышает содержание доступных форм фосфора в слое почвы 0-30 и 30-50 см. Под влиянием удобрений изменяется и фракционный состав минеральных фосфатов. В тоже время длительное взаимодействие удобрений с почвой постепенно снижает долю доступных форм фосфора и повышает долю недоступных форм. При оптимальном обеспечении озимых культур фосфором с начала их вегетации растения создают резерв этого элемента питания на весь вегетационный период, при этом увеличивается его содержание в зерне, повышается зимостойкость и устойчивость к засухе [122].

Дефицит доступных форм фосфора в почве, особенно в первые две недели после появления всходов оказывает неблагоприятное влияние на процессы роста и развития растений [55].

Внесение удобрений значительно повышает содержание подвижного фосфора в корнеобитаемом слое. Следовательно, соединения фосфора локализуются в месте внесения удобрений, их подвижность по профилю ограничена реакцией почвенного раствора, содержанием свободных форм кальция и содержанием органического вещества [12,71].

Биологические и химические процессы, протекающие в почве, оказывают влияние на эффективность фосфорных удобрений: коэффициент использования фосфора из удобрений составляет 15-25% от внесенной нормы [57].

Содержание фосфатов в почве существенно варьирует под влиянием влажности почвы, её температурно режима. Резкие изменения влажности

почвы в пахотном слое приводят к перемещению активных фосфатов и повышению количества труднорастворимых форм [185].

Важным и незаменимым элементом минерального питания растений является калий. В почвах калий на 99,9 % представлен минеральными соединениями, поэтому, его валовое содержание в почве может сильно варьировать и в первую очередь зависит от состава минералов, гранулометрического состава почв и почвообразующих процессов. На черноземных почвах удобрения не оказывают такого существенного влияния на содержание обменного калия, как на содержание подвижного фосфора и минерального азота, поэтому концентрации этого элемента в почве большого внимания, как правило, не уделяется [189].

Удобрения являются не только источником доступных растениям элементов питания, но и положительно влияют на состав почвенно-поглощающего комплекса, улучшают структурно-агрегатный состав и азотный фонд почвы. Повышение содержания гумуса в почве в результате внесения удобрений, а также известкование кислых почв, укрепляет необменное поглощение калия [106].

Внесение калийных удобрений повышает запасы всех форм калия в почве. Так, в условиях многолетнего стационарного полевого опыта Белгородского НИИСХ, внесение минеральных удобрений и навоза повысило содержание подвижных форм калия в почве в 1,2-1,3 раза по отношению к контрольному варианту. Внесение минеральных удобрений совместно с органическими повышает содержание подвижных форм калия в 1,4-1,6 раза и незначительно неподвижных форм. Минеральные удобрения в дозе  $N_{42-62}P_{62}K_{62}$  на фоне 16 т/га навоза увеличивают интенсивность баланса калия более 80%, тогда как навоз создает интенсивность баланса лишь на 39%, что в 2,6 раза меньше, чем минеральные удобрения. Увеличение кислотности и запасов влаги в почве, приводит к повышению содержания подвижного калия за счёт его мобилизации из недоступных форм [24, 67].

В Туркменистане на светло-коричневых почвах применение навоза в дозе 30 т/га отмечено повышение содержания калия в слое 0-50 см [113].

Результаты исследований ряда ученых показывают, что в различных почвенно-климатических условиях эффективность действия удобрений на изменение показателей почвенного плодородия отличается [119,131].

Одним из главных факторов почвенного плодородия, отражающимся на формировании урожая возделываемых культур, считается реакция почвенного раствора. К основному лимитирующему фактору получения стабильно высоких и экологически безопасных урожаев сельскохозяйственных культур необходимо отнести повышенную кислотность почвы.

Всякая сельскохозяйственная культура максимальную свою продуктивность проявляет лишь в определенном диапазоне величины рН. Так, оптимальные значения рН для озимой пшеницы – 6,3-7,5.

По данным Н.И. Корнейко (2014) за последние годы доля кислых почв на территории Белгородской области увеличилась с 22,9 (1976-1983 гг.) до 45,83 % (2009-2014 гг.). Вследствие этого недобор продукции растениеводства, в пересчете на зерно составил около 190 тыс. т/год. В западных районах преобладают процессы подкисления почв, а в центральных и северных районах – подщелачивания. В степных юго-восточных районах области (Алексеевский, Валуйский, Вейделевский, Ровеньской районы) почвенный покров, в основном, представлен черноземами обыкновенными, для которых характерно перемещение карбонатов с восходящими токами влаги в пахотный слой и подщелачивание реакции среды [73].

Результаты исследований В.Г. Минеева (2004) показали, что длительное применение минеральных удобрений приводит к ухудшению кислотно-основных свойств почв. Это вызвано поглощением почвой катионов, содержащихся в удобрении, и подкислением почвенного раствора из-за вытеснения водорода и алюминия из ППК, а также физиологической кислотностью азотных и калийных удобрений [105].

Исследования, проведённые в стационарном опыте отдела химизации ВГАУ на черноземе выщелоченном, свидетельствуют, что внесение удобрений и мелиорантов на протяжении длительного времени приводит к изменению физико-химических показателей почвы. Минеральные удобрения характеризуются биохимической и физиологической кислотностью и на вариантах с их внесением актуальная и потенциальная кислотность выше, чем на контроле. Кроме этого, минеральных удобрений благоприятствуют росту урожая сельскохозяйственных культур, а с ним возрастает вынос кальция и магния из почвы. При внесении навоза также наблюдается подкисляющее действие, но менее выраженное, а совместное применение навоза с минеральными удобрениями существенно ослабляет эти процессы, что связано с наличием в навозе кальция. Резкое повышение кислотности, особенно гидролитической привело к значительному снижению урожайности озимой пшеницы. Подкисляющий эффект минеральных удобрений необходимо компенсировать внесением дефеката, наибольший эффект проявляется при внесении его по органическому фону [55, 164].

Подкисление почвенного раствора, за счёт минеральных удобрений, способствует переводу питательных элементов в труднодоступные для растений формы и увеличению подвижности токсичных веществ [180].

Многолетние наблюдения О.В. Волынкиной и соавторов (2014) показали, что применение азотных и фосфорных удобрений привело к незначительному изменению кислотности выщелоченного чернозёма. К исходной величине  $pH_{КС1}$  в 1986 г. подкисление почвы отмечено до класса слабокислой к 2012 году. Кроме того, что дополнительное подкисление проявлялось тем заметнее, чем выше доза азотных удобрений [25].

Обобщая имеющиеся литературные сведения о легкодоступных основных макроэлементах, находящихся в почве, необходимо отметить, что параллельно с содержанием гумуса, определяющим плодородие почвы, в нем кардинальная роль принадлежит азоту, фосфору и калию почвы.

## **1.2 Влияние удобрений на урожайность и качество озимой пшеницы**

Озимая пшеница считается главной продовольственной культурой для большинства населения Земли. России принадлежит наибольшая посевная площадь и второе место по валовому сбору пшеницы в Европе.

Климатические и почвенные ресурсы, а также сорта озимой пшеницы позволяют возделывать ее в Белгородской области, поэтому среди озимых зерновых озимая пшеница занимает лидирующую позицию и по сравнению с яровой пшеницей гарантирует более высокие и стабильные урожаи.

Сегодняшние агротехнологии возделывания сельскохозяйственных культур одновременно с получением высоких урожаев хорошего качества растениеводческой продукции предусматривают сохранение и воспроизводство плодородия почв.

Научными исследованиями доказано существование взаимосвязи между уровнем плодородия почвы, применением удобрений, урожайностью культур и валовыми сборами растениеводческой продукции, что обосновывает необходимость применения системы удобрения в землепользовании [105, 117, 119, 126, 131].

Реализация потенциальных возможностей формирования урожая достигается путём создания оптимальных условий питания.

Мировой опыт ведения сельского хозяйства свидетельствует, что ведущим фактором повышения продуктивности пашни является применение удобрений. С другой стороны, нерациональное их использование может привести к загрязнению окружающей среды, что существенно скажется на качестве жизни человека. Грамотный подход к составлению систем удобрений на основе органических и минеральных компонентов обеспечит не только сбалансированное питание растений, но и ослабевает негативное влияние дефицита или избытка того или иного элемента питания [66, 69].



Даже в черноземах основная часть питательных веществ находится в труднодоступной для растений форме, поэтому повысить урожайность озимой пшеницы без применения удобрений невозможно.

Рост урожайности и повышение качества сельскохозяйственных культур зависит от ряда факторов, воздействующих на растение в течение всего периода вегетации: влагообеспеченность, тепловой режим, содержание в почве в доступной для растений форме элементов питания и многие другие. Внесения минеральных и органических удобрений является рычагом, с помощью которого можно регулировать обеспечение растений питательными веществами. При этом дозы удобрений должны удовлетворять потребности растений, обеспечивать рост урожайности и продуктивности культуры, а также оптимизировать почвенное плодородие [126,150].

Правильное применение минеральных и органических удобрений благоприятно сказывается на качестве растительной продукции: улучшается химический состав, питательная ценность и технологические ее характеристики. Качество сельскохозяйственной продукции по сбалансированности макро и микроэлементов в значительной мере отражает условия выращивания растений. Основная задача системы удобрения заключается в обеспечении растений оптимальным количеством элементов минерального питания, благоприятствующего получению хорошего урожая высокого качества.

Для нормального роста растениям необходимы элементы питания, содержащиеся в форме минеральных солей и легкодоступные для поглощения их корнями растений. Результаты исследований подтверждают, что применение удобрений является наиболее действенным приёмом увеличения содержания подвижных форм элементов питания растений в почве [96].

К основным элементам, необходимым для формирования высокого урожая сельскохозяйственных культур относятся азот, фосфор и калий [21,45, 103, 109, 112]. Наличие данных элементов питания в недостаточном количестве, особенно в первый месяц после появления всходов озимой пше-

ницы, отрицательно сказывается на формировании числа колосков в колосе и цветков в них [106].

Нарушение научных основ системы удобрения может привести к кардинальному ухудшению качества урожая, и биогенные элементы могут стать токсичными.

Шпаар Д. (2008) отмечает необходимость совместного применения минеральных и органических удобрений. Это значительно повышает продуктивность растений и, как следствие, урожайность культур. Внесение только органических удобрений повышает продуктивность растений, но менее эффективно отражается на урожайности, чем при использовании органо-минеральных и даже одних минеральных удобрений. Повышается и количество побочной продукции культур, что в большей мере приводит к насыщению почвы органическим веществом и способствует сохранению почвенного плодородия [186].

В результате минерализации органических удобрений растения дополнительно получают диоксид углерода, следовательно, улучшается не только корневое, но и воздушное питание растений [189].

В условиях Белгородской области на всех, используемых под озимую пшеницу, почвах отмечается положительная отзывчивость культуры на удобрения. Однако на величину эффекта оказывает влияние ряд факторов: почвенно-климатические условия, плодородие почвы, виды, дозы, сроки внесения удобрений и способы их использования, предшествующая культура [6, 49,159].

Применение минеральных удобрений повышают урожайность зерна озимой пшеницы. Исследования, проведённые В.В. Бутяйкиным и М.Н. Чаткиным (2014), показали, что под действием удобрений ( $N_{112}P_{80}K_{80}$ ) при отвальной вспашке урожай озимой пшеницы возрастает на 9 ц/га [20].

Внесение минеральных удобрений под озимую пшеницу в дозе  $N_{120}P_{90}K_{40}$  на черноземных почвах обеспечивает прибавку урожая 12,2 ц/га [46].

В жизни растений особо важным элементом считается азот, входящий в состав белков, аминокислот, хлорофилла и фосфатидов, а также большинства ферментов и других биологически активных соединений, которые участвуют в синтезе органического вещества.

Азот является крайне дефицитным элементом в питании растений. Растениями он усваивается в форме анионов ( $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{NO}_2^-$ ), катиона ( $\text{NH}_4^+$ ) и органических соединений. Недостаток азота в почве приводит к нарушению роста и развития растений. Он не выводится из организма, а при старении листьев высвобождается в процессе распада азотсодержащих соединений и оттекает в молодые части растения. Внешние признаки процесса реутилизации проявляются в изменении окраски отживающих листьев от зеленой до желтой [47].

Избыточное или несвоевременное внесение азотных удобрений, может привести к снижению потребления азота растениями и нерациональному использованию всех остальных ресурсов. По мировым оценкам, с урожаем зерна выносится около 30% от внесенного с удобрениями азота. По этой причине встаёт ряд проблем: с экономической точки зрения – затраты, с экологической – ущерб окружающей среде. В связи с этим, возникает необходимость разработки мероприятий, позволяющих повысить эффективность использования азота растениями.

Решение этой проблемы возможно за счет оптимизации агротехнологий и подбора сортов сельскохозяйственных культур с более эффективным потреблением азота и формированием растительной биомассы [42, 104].

В течение вегетации озимая пшеница неравномерно потребляет основные элементы питания. Большая его часть требуется в начальный период, когда формируются вегетативные органы. До прекращения осенней вегетации растением потребляется до 20-25 кг/га азота, следовательно, для удовлетворения потребности растений в данном элементе, учитывая коэффициент использования минерального азота почвы равный 40-50 %, необходимо обеспечить содержание минерального азота в пределах корнеобитаемого слоя на

уровне 40-45 кг/га. Потребление фосфора и калия в этот период составляет 6-8 и 15-20 кг/га соответственно. На начальной стадии роста озимая пшеница очень чувствительна к недостатку основных элементов питания. Избыток азота осенью приводит к плохой перезимовки растений, а усиленное азотное питание в летний период, особенно в условиях обильного влагообеспечения, вызывает полегание пшеницы в период налива зерна. Так же, повышение содержания доступных форм азота в почве в более поздние стадии вегетации может оказать отрицательное воздействие на скорость созревания растений, устойчивость к болезням, а также к накоплению нитратов в биомассе [126,146].

Динамика потребления элементов питания пшеницей сильно коррелирует с ростом фитомассы. Более интенсивно потребляются элементы питания в период от фазы весеннего кущения до колошения, в период быстрого нарастания вегетативной массы. К началу стеблевания растения образуют 10-15 % биомассы от максимального количества, но потребляют уже азота – 25-30 % всего, фосфора – 20-25 % и калия – 25-30%. Осенью растения озимой пшеницы нуждаются в усиленном фосфорном и калийном и умеренном азотном питании. Основная роль фосфора в этот период заключается в стимулировании развития корневой системы и повышает устойчивость к неблагоприятным условиям внешней среды. Оптимальное содержание фосфора и калия в осенний период благоприятствует кущению и развитию растений, а также накоплению сахаров, что способствует лучшей их перезимовки. Дефицит фосфора в этот период не может быть возмещен последующим улучшением питания. Следовательно, осеннее кущение до ухода в зиму и ранневесеннее возобновление вегетации являются критическими периодами в жизни и питании озимой пшеницы [209].

Между содержанием азота в вегетативных частях растений пшеницы в определенные фазы роста и в полученном урожае установлена тесная корреляционная зависимость, позволяющая прогнозировать не только количество,

но и качество урожая по содержанию азота в растении, а также степень нуждаемости пшеницы в азотном питании [120, 124].

Азот потребляется растениями озимой пшеницы в течение всего вегетационного периода: начинается с первых дней жизни и заканчивается в фазу налива зерна. По фазам развития растения потребление азота не одинаковое. Потребление азота в фазу кущения составляет 20-25%, в период выхода в трубку - колошения –50-55%, цветения- начала восковой спелости – 5-10 % от максимального количества потребляемого азота. Недостаток азота в отдельные фазы невозможно восполнить внесением его в последующие фазы [20, 42, 109, 194].

По данным С.В. Лукина, Н.С. Четвериковой и М.А. Ероховец (2011) при урожайности озимой пшеницы 3,5 т/га средний вынос азота составляет 61 кг/га (учитывая вынос соломы – 83 кг/га) [90].

Основным фактором повышения урожайности, особенно в условиях интенсивного растениеводства является применение удобрений под основную обработку почвы и проведение подкормки азотными удобрениями в фазу кущения и колошения. Ранняя весенняя подкормка азотными удобрениями создает условия для быстрого роста корневой системы и дополнительного кущения, способствует усилению развития колосоносных побегов и получению наибольшей прибавки урожая.

При проведении корневых подкормок рекомендуется применять нитратные формы азотных удобрений, которые быстро растворяются, передвигаются с влагой почвы и достигают наиболее активной поглощающей части корневой системы. Проведение весенней подкормки озимой пшеницы аммиачной селитрой приводит к увеличению густоты продуктивного стеблестоя на 10,0%, урожайности на 20% [110, 111, 114, 170].

Оптимальная обеспеченность растений азотом в осенний период способствует формированию высокобелкового зерна.

Содержание белка в зерне озимой пшеницы повышается с 11,5 до 12,1% на фоне применения органических удобрений и с 12,9 до 13,6% при совместном внесении органических и минеральных удобрений [200].

Проведение исследований на производственных посевах тритикале и озимой ржи показало, что при подкормке озимых культур аммонийной селитрой существенно повысило содержание нитратного азота, особенно в слое почвы 0-20 см. Внесение сульфата аммония привело к увеличению содержания аммонийной формы азота. В итоге, под влиянием азотных подкормок увеличилось содержание элементов питания в зерне озимых культур [141].

Качество зерна озимой пшеницы в большей степени определяется соотношением азота и фосфора во вносимых удобрениях. Урожай зерна с повышенным содержанием белка может быть получен при преобладании азота над фосфором [51].

При возделывании озимой пшеницы необходимо стремиться не только к росту урожайности культуры, но повышению качества её продукции. Качество зерна определяется содержанием белка и клейковины. Основная роль в повышении содержания белка принадлежит азоту, поскольку его накопление происходит в результате реутилизации азотистых веществ, накопленных в вегетативных органах растений до начала налива зерна и поглощения азота из почвы в период налива зерна. Эффективным способом повышения белковости зерна является внесение азота в конце колошения начале налива зерна [51, 84].

По данным В.П. Фещенко (2014), при внесении азотных удобрений из расчёта 200 кг/га существенно повышается потребление азота растениями и увеличивается урожайность культуры. Повышение дозы азотных удобрений до 350 кг/га не приводит к дальнейшему росту урожайности, однако способствует повышению содержания общего азота в зерне [177].

В полевом опыте Центра точного земледелия было изучено влияние азотных подкормок на урожайность и качество зерна озимой пшеницы. В ходе исследований установлено, что применение первой азотной подкормки в

фазу кущения (N-70 кг/га) урожайность повысилась в среднем на 21-23%; применение второй азотной подкормки в фазу колошения (N -70 кг/га) увеличило содержание белка в зерне на 35-38% [175].

В Предуралье на дерново-подзолистых тяжёлосуглинистых среднеокультуренных почвах применение минеральных удобрений положительно повлияло на величину урожайности и показатели качества озимой пшеницы. Внесение нитроаммофоски под предпосевную культивацию и нитрата аммония в подкормку) в дозе  $N_{30}P_{30}K_{30} + N_{30}$  увеличило урожайность пшеницы на 0,94 т/га, содержание клейковины в зерне на 30% и содержание сырого протеина на 0,53 %, по сравнению с контролем [120].

На серой лесной почве Владимирского ополья применение удобрений повысило урожайность зерна озимой пшеницы на 8,6 ц/га, по сравнению с вариантом без внесения удобрений. Повышение дозы минеральных удобрений стало основной причиной полегания культуры. Внесение навоза КРС увеличивало урожайность пшеницы до 51,0 ц/га. При сочетании разных доз навоза с одинарной дозой NPK также наблюдалась тенденция повышения урожайности озимой пшеницы. С повышением уровня применения органических и минеральных удобрений возрастал вынос элементов минерального питания основной продукцией с учетом побочной азота в 1,25-1,80,  $P_2O_5$  – в 1,17-1,62,  $K_2O$  – в 1,22-1,61 раз [131].

При внесении подстилочного навоза урожайность пшеницы повышается, а качество зерна при этом не улучшается. Внесение минеральных удобрений благоприятно сказывается на росте и развитии вегетативной массы, а навоз как медленноразлагающееся удобрение обеспечивает оптимальное питание растений в период налива зерна. Изменение содержания белка в пшенице под действием фосфорных и калийных удобрений неустойчиво, однако, правильное соотношение N:P:K в удобрении оказывает положительное влияние на качество зерна [20, 188].

Данные, полученные С.И. Новоселовым и соавторами (2013) показывают, что применение минеральных удобрений и последствие навоза по-

вышает содержание сырого протеина в зерне. В зерне, выращенном без удобрений, его содержание составляло 11,4-12,2 %, на удобренных фонах – 14,0 % [44].

Исследования, проведённые в зернопропашном севообороте в условиях Белгородской области, показали, что содержание сырого протеина в зерне озимой пшеницы на варианте без применения удобрений выше на 0,2-0,4%, чем по фону последствия навоза при увеличении доз минеральных удобрений [133].

В случае, когда поглощенный растениями азот расходуется на синтез аминокислот и белков не в полном объёме происходит накопление нитратов, оказывающих токсическое действие на растения. На реперных объектах Белгородской области результаты исследований показали, что генеративные органах растений накапливают нитратов меньше, чем вегетативные. Так, содержание нитратов в зерне озимой пшеницы в среднем составило  $65,4 \pm 12,1$ , в зерне ячменя –  $66,5 \pm 14,1$  мг/кг, а в соломе –  $239 \pm 58$  и  $244 \pm 51$  мг/кг соответственно [90].

Обобщая анализ литературных данных следует отметить, что урожайность озимой пшеницы и качество зерна, по большому счёту, зависят от обеспеченности растений основными элементами питания (N, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, K<sub>2</sub>O) на протяжении всего периода вегетации. Именно сбалансированное питание растений макро- и микроэлементами регулирует большинство процессов обмена веществ и выполняет основную функцию в формировании урожая и его химического состава.

В работах многих авторов говорится о важности определения оптимальной дозы в системе применения минеральных удобрений. Количество внесённых удобрений должно в полной мере обеспечивать питание возделываемых культур, способствовать формированию высокого урожая хорошего качества и не оказывать негативных экологических последствий для окружающей среды.



Анализ научной литературы показал, что проведение исследований в длительных стационарных опытах основано на сравнении между собой минеральный, органический, органо-минеральной (различной насыщенности) систем удобрений. Исследования подтверждают, что минеральные удобрения наиболее эффективны при прямом действии, а органические (навоз) – в последствии.

Нами была поставлена задача изучить влияние фонов питания, в условиях возделывания озимой пшеницы на черноземе типичном, на агрохимические показатели почвы, в том числе кислотно-основные, химический состав растений озимой пшеницы, урожайность и качество полученной продукции.

### **1.3 Тяжелые металлы и их экологическая опасность в агроэкосистеме**

В последние годы значительно обостряется экологическая ситуация не только в региональном масштабе, но и глобальном. Перед человечеством встает вопрос поиска эффективных мер устойчивого развития биосферы. Расширение сельскохозяйственной деятельности и развитие промышленного производства приводят к увеличению уровня загрязнения окружающей среды техногенными выбросами, в результате чего значительные площади посева сельскохозяйственных культур подвергаются воздействию токсичных веществ [136].

В результате поступления тяжелых металлов (ТМ) в объекты окружающей среды, в том числе почву и растения происходит сбой нормального функционирования агроэкосистем.

Химические элементы, приводящие к нарушению процессов метаболизма в живых организмах, даже в малых количествах, относятся к тяжелым металлам. В перечень тяжелых металлов включены элементы, атомная масса которых более 50 у.е., а плотность более 5 г/см<sup>3</sup>. К их числу относятся как абсолютно и условно необходимые микроэлементы, так и элементы-примеси.

К числу наиболее распространенных и изученных тяжелых металлов относятся ртуть, кадмий, свинец, медь, цинк, селен, хром, никель, серебро, олово и сурьма.

Все ТМ в той или иной степени ядовиты, хотя некоторые из них играют значимую физиологическую роль в жизни живых организмов: активно участвуют в биологических процессах, входят в состав ряда ферментов. Так, цинк, медь, железо в малых количествах являются не токсикантами, а напротив, стимуляторами роста [59].

По токсичности и распространению в окружающей среде приоритетную группу занимают: Hg, Pb, As, Cd, Zn, Cu, Cr, Ni. Основными источниками поступления этих элементов в организм человека и сельскохозяйственных животных является растительная пища, атмосферный воздух и вода [128].

Поведение тяжелых металлов в экосистемах является приоритетным направлением экологических исследований. Загрязнение почв ТМ является необратимым видом деградации. Уменьшить валовое содержание тяжелых металлов в загрязненных почвах практически невозможно, однако реально снизить их подвижность и доступность их для растений.

Опасность металлов усиливается ещё и тем, что они обладают кумулятивным действием и сохраняют токсические свойства сотни лет [4].

Наличие в почве тяжёлых металлов, является не только результатом антропогенной деятельности, но и связано с особенностями генезиса почв, химическим составом почвообразующих пород [91].

Содержание этих элементов в горных породах незначительно, поскольку они относятся к рассеивающим химическим элементам. В земной коре содержится 83 мг/кг цинка, 0,14 мг/кг – кадмия, от 10 до 40 мг/кг – свинца. В верхних слоях почвы (0-25 см), в зависимости от концентрации и типа почвы кадмий может удерживаться в течение 25-50 лет, а в отдельных случаях даже 200-800 лет [63, 135, 182]. По данным А.П. Виноградова (1957) природное содержание кадмия в почве 0,01-0,20 мг/кг [22].

Основными источниками поступления их в почву считаются: выбросы предприятий цветной и черной металлургии, сжигание отходов (пластмасс, кадмиево-никелевых электрических элементов), выхлопные газы автотранспорта, сточные воды и отходы животноводческих комплексов, минеральные и органические удобрения [8, 23, 31, 60, 68, 108, 166, 176].

Одним из приоритетных источников загрязнения почв тяжелыми металлами являются атмосферные осадки, содержащие токсичные элементы в виде оксидов или солей. В такой форме они обладают высокой миграционной способностью в почве [8].

Выбросы кадмия в атмосферу ежегодно составляют свыше 25 тыс. т. В результате на поверхность почвы в России с атмосферными осадками и пылью ежегодно выпадает 1,9-5,4 г/га кадмия [162].

В промышленно-развитых районах в год выпадает 0,2-9,0 кг/км<sup>2</sup> кадмия. Вблизи металлургических комбинатов на поверхности почвы содержание кадмия в 20-50 раз выше, чем на поверхности почв крупных городов, что обусловлено оседанием кадмия из атмосферного воздуха [63].

Существенный вклад в загрязнение почв и растений тяжёлыми металлами вносят транспортные средства. Использование свинецсодержащего бензина обеспечивает около 60-70% всех выбросов свинца в атмосферу. Кадмий, содержащийся в дизельном топливе, освобождается при сжигании, и его концентрация может достигать 15 мг/м<sup>3</sup>. Резина покрышек автотранспорта и смазочные масла также содержат кадмий [106].

В почвах вблизи дорожных магистралей с интенсивным движением транспорта наблюдается заметное накопление кадмия. Его содержание при удалении от дороги уменьшается, так на расстоянии 0-5 м от дороги в почве содержится 0,3 мг/кг, 5-20 м – 0,2 и более 20 м – 0,1 мг/кг [8].

Исследованиями, проведёнными С.И. Паниным с соавторами (2014) в условиях стационара лаборатории земледелия им. Н.Р. Асыки БелГАУ им. В.Я. Горина, расположенного вдоль федеральной магистрали Москва – Симферополь, установлено, что аккумуляции свинца и кадмия злаковыми поле-

выми культурами повышалась по мере удалённости от полевых защитных лесополосы [137].

Среди антропогенных источников поступления тяжёлых металлов в почву существенную роль играют такие агротехнические мероприятия, как внесение удобрений, пестицидов и орошение [8,10].

Использование фунгицидов приводит к поступлению тяжёлых металлов в агроценозы в концентрациях токсичных для растений [9].

Минеральные удобрения содержат в своем составе микроэлементы в виде примесей, поэтому регулярное их применение изменяет содержание в почве. С минеральными удобрениями в агроландшафты поступает около 90 % тяжелых металлов, включая Mn – 92, Zn – 91, Cu – 89, Cd – 87, Ni – 86, Co – 8 %. Изменение содержания микроэлементов под действием макроудобрений обусловлено: поступлением в почву дополнительного количества микроэлементов; изменением реакции среды под действием физиологически кислых удобрений; изменением скорости поглощения микроэлементов в соответствии с явлениями синергизма и антагонизма [15, 53, 97, 125]. Кадмий находится в антагонизме с кальцием, фосфором и калием, свинец и медь – с азотом, кроме того медь и цинк могут иметь синергетическое взаимодействие с кальцием и фосфором [62].

Наибольшее количество токсичных элементов имеют фосфорные удобрения, содержащие в своём составе разнообразные примеси. Фосфорные удобрения, получаемые с использованием экстракционной ортофосфорной кислоты (двойной суперфосфата, аммофоса, аммофоска, нитрофоса, нитрофоска) отличаются по набору и концентрации примесей тяжёлых металлов. К примеру, 100 г суперфосфата содержит 720,2 мкг кадмия, фосфата калия – 471 мкг и селитры – до 66 мкг [107, 144]. Несомненно, что при внесении в почву высоких доз удобрений усиливается вероятность попадания кадмия в организм животных через растения. По другим данным фосфорные удобрения, производимые из отечественного сырья, в отношении тяжёлых металлов без-

опасны. В апатитах Кольского полуострова содержание кадмия составляет 0,4-0,6 мг/кг [8,9].

В фосфорных удобрениях кадмий находится в подвижном состоянии легкодоступном для растений. Даже при незначительном повышении количества кадмия в почве наблюдается существенное его содержание в растениях. Поступление кадмия с фосфорными удобрениями в 2-3 раза больше, чем потребляется растениями, следовательно, за счёт их применения ежегодный прирост токсичного элемента достигает 0,15 %. В почвенном профиле кадмий закрепляется менее прочно, по сравнению со свинцом. Почвам с нейтральной и щелочной реакцией почвенного раствора, с высоким содержанием гумуса и высокой емкостью поглощения характерна максимальная его адсорбция [134, 139].

Одним из источников загрязнения окружающей среды тяжелыми металлами является использование в качестве органических удобрений навоза.

Подстилочный навоз КРС может содержать до 0,12 мг/кг кадмия [78]. В других литературных источниках указано, что навоз является источником кадмия от 2 до 100 г на 1га почвы [128, 180].

На территории Российской Федерации выявлено 184 тыс. га почв, загрязненных Cd. На территории Белгородской области на 11,8 тыс. га пахотных почв валовое содержание кадмия превышает установленный уровень ориентировочно-допустимой концентрации. Средневзвешенное содержание кадмия в почвах области составляет 0,67 мг/кг. Почвы с кислой средой содержат кадмия на 11 % меньше, чем почвы с реакцией среды более 5,5 [3,5, 11, 78, 91].

Кроме того, на территории области отмечено снижение валового содержания тяжёлых металлов в направлении с востока на запад. Причиной этому является увеличение кислотности почвы и количества атмосферных осадков [92, 173].

В длительных опытах особый интерес для изучения представляет накопление тяжелых металлов в почве в связи с применением удобрений, их

влияние на подвижность в почве и доступность их растениям.

Поступление в почву больших количеств тяжелых металлов заметно изменяет биологические, химические и физические свойства, что приводит к снижению почвенного плодородия.

Тяжелые металлы оказывают непосредственное воздействие на почвенные организмы. Среди множества живых организмов, именно растения являются мощными аккумуляторами тяжёлых металлов. Металлы, поступая в растения, нарушают обмен веществ, снижают их продуктивность и качество продукции. Они отличаются высокой токсичностью и способностью по пищевым цепям поступать в организм человека и животных, представляя серьезную угрозу их здоровью [1, 4, 13, 43, 191, 204].

В связи с усилением техногенной нагрузки на окружающую среду некоторые тяжелые металлы включены в международные и отечественные списки загрязняющих веществ и подлежат контролю [101].

Ряд элементов: ртуть, кадмий, медь, никель, кобальт, свинец считаются токсичными элементами и относятся к первому классу опасности [37].

В последние годы проблема увеличения содержания кадмия в растениеводческой продукции приобретает всё большую актуальность. Поскольку этот металл, поступая в растения, накапливается в листьях и зерне, создавая потенциальную угрозу здоровью человека и животных.

Считается, что растения более устойчивы к повышенным концентрациям тяжёлых металлов в почве, чем к пониженным. Однако увеличение их до определённых значений оказывает неблагоприятное воздействие на состояние растений [62].

Увеличение содержания калия в почве за счет применения минеральных удобрений увеличивает поступление в растения кадмия, т.е. по отношению друг к другу данные элементы проявляют синергизм. В условиях повышенной концентрации калия в почве между катионами  $K^+$  и  $Cd^{2+}$  могут проявляться явления антагонизма [168].

Длительное (в течение 60 лет) внесение удобрений на агродерново-подзолистой почве привело к повышению содержания кислоторастворимой формы цинка, что положительно коррелирует с содержанием Cd [58].

Результаты исследований, проведенные С.Е. Цыплаковым и др. (2009) на черноземе выщелоченном в условиях Воронежской области показали, что содержание различных форм ТМ на вариантах опыта обусловлено поступлением их в почву с фосфатами [29].

Исследованиями А.Н. Парасюты и др. (2000) в условиях Краснодарского края и установлено, что использование агротехнологий с повышенными дозами органических и минеральных удобрений на выщелоченном черноземе не приводит к накоплению кадмия и свинца в почве [28].

Данные полученные И.А. Лебедевским (2010) показывают, что даже тройные дозы удобрений приведут к накоплению тяжёлых металлов только спустя несколько тысячелетий. Для кадмия этот срок наступит через 65715 лет, а для свинца – 887333 года. Следовательно, применяемые удобрения существенным источником накопления токсичных элементов не являются [78].

Минеральные удобрения и традиционные органические удобрения, применяемые в средних дозах, способны повысить уровень содержания тяжёлых металлов до значений ПДК лишь за сотни лет. Концентрация кадмия от 0,01 до 1,00 мг/кг считается нормальной, а 12 мг/кг – высокой, такая концентрация оказывает отрицательное влияние на фиксацию атмосферного воздуха, процессы аммонификации и денитрификации [148].

Находясь в рассеянном состоянии тяжёлые металлы способны образовывать аккумуляции. Их концентрация в сотни, а то и тысячи раз выше среднепланетарного уровня. Для оценки фонового содержания металлов приняты кларки по Виноградову, так для почв Среднерусской возвышенности кларк кадмия равен 0,5 мг/кг [173].

К элементам необходимым для нормальной жизнедеятельности растений кадмий не относится и физиологических функций в растениях не выполняет [16, 19, 23, 181, 182, 195].

В других литературных источниках отмечено, что не смотря на то, что кадмий не является необходимым элементом он выполняет функцию стимулятора. В одном из опытов было обнаружено, что при содержании кадмия в почве не более 10 мг/кг в растении возрастает содержание витамина С [183].

Повышение содержания кадмия в почве приводит к накоплению его в растениях, причем преимущественное накопление отмечено в корнях, наименьшее – в генеративных и запасающих органах. Для человека кадмий более токсичен, чем для растений, поскольку неопасное его содержание для растений опасно для человека. В растениях его фитотоксичность проявляется при повышенных концентрациях (в дерново-подзолистой почве более 50мг/кг), что повышает опасность передачи токсиканта по пищевым цепям [127, 130, 168, 187].

Кадмий входит в состав белка «металлотионеина», характеризующегося высоким содержанием сульфгидрильных групп и тяжелых металлов. Тионеин участвует в связывании и транспортировке тяжелых металлов для их выведения из организма. Кадмий активирует ряд цинк зависимых ферментов: триптофан оксигеназу, карбоксипептидазу. Однако учеными не обнаружено ферментов, которые бы активировали только кадмий [59].

Роль кадмия для человека мало изучена, но в литературных источниках указано, что кадмий влияет на углеводный обмен, играет роль в синтезе в печени гиппуровой кислоты, принимает участие в обмене в организме цинка, железа, меди и кальция [63].

Исследования ряда авторов показали определённую корреляцию содержания кадмия в почвах и растениях. По данным Ф.Н. Лисецкого и др. (2008), С.В. Лукина (2012), Н.М. Матвеева и др. (2008) и В.П. Фещенко (2015) содержание кадмия в растениях находится в прямой корреляционной зависимости от его концентрации в почве. Это свидетельствует о том, что доступность тяжелых металлов для растений определяют воднорастворимые или подвижные формы, а не запас элементов в почве [7, 93, 99, 176].



Накопление тяжелых металлов техногенной природы отмечается в верхних слоях почвы, содержание их в нижележащих горизонтах резко снижается. Повышенное содержание токсичных элементов в верхнем горизонте почв указывает на антропогенный фактор накопления, и в незначительной степени определяется генетическими особенностями почв [130, 171, 197, 198].

Исследованиями подтверждено, что тяжелые металлы медленно вытесняются при выщелачивании, потреблении растениями, эрозии, дефляции и в отличие от ряда других токсикантов техногенного характера, слабо подвергаются физико-химическому или биологическому разрушению. Это приводит к снижению почвенного плодородия, значительному сокращению урожая и существенному ухудшению его качества [9, 62].

В целинных почвах максимальное содержание загрязняющих металлов наблюдается только в верхнем слое (0-5 см), а в обрабатываемых почвах – в пахотном слое (0-20 или 0-30 см) [59].

После интенсивного накопления в верхних слоях почв ТМ способны мигрировать вниз по почвенному профилю. Этот процесс представляет большую опасность, поскольку токсичные элементы становятся доступными растениям во всем корнеобитаемом слое [19].

Подвижные формы кадмия в пахотном и подпахотном слоях почвы могут составлять 54-88 % от валового содержания, тогда как свинца – 36,9-51,5%, марганца – 25,5-31,9% [160].

Анализ почв разных районов Москвы, показал, что значительные количества кадмия сосредоточены в верхних слоях почвы, а с глубиной его содержание стремительно уменьшается, приравниваясь к нулю. Полученные результаты позволяют выявить следующую тенденцию: с увеличением концентрации поллютанта с глубиной наблюдается увеличение общих запасов вещества, что служит причиной изменения степени загрязнения почв. Так, экологически чистая почва может перейти в категорию загрязненной. Уменьшение концентрации поллютанта с глубиной приводит к снижению его

общего запаса в метровом слое почвы, в результате чего степень загрязнения почвы переходит на сторону категории чистой [5].

Повышенное содержание кадмия в корнеобитаемом слое зоне тормозит рост корня: уменьшается его длина, число боковых корней, корневые волоски отмирают, уменьшается биомасса [195, 203, 205].

В почвенном растворе тяжёлые металлы находятся в форме свободных катионов и ассоциатов с компонентами раствора. Тяжелые металлы претерпевают в почве химические превращения, в результате которых сильно изменяется их химический состав. Биологическое значение имеют подвижные формы токсичных элементов, т.е. те формы, которые максимально доступны для живых организмов.

Основные факторы, влияющие на распределение кадмия между почвой и раствором – это рН, гранулометрический и минералогический состав, степени гумусированности, окислительно-восстановительные условия. Значение рН считается доминирующим фактором, определяющим до 72% общего распределения кадмия между твердой и жидкой фазой почвы. Кальций и цинк в концентрации свыше 0,3 мг/л конкурируют с кадмием за места сорбции в ППК [34, 64, 91].

Состояние тяжёлых металлов в почвах, в большей степени подвижных форм, меняется в сезонной динамике. Изменение влажности и температуры почв влечет за собой изменение концентрации  $\text{CO}_2$  в почвенном воздухе и растворе, вследствие чего изменяется микробиологическая активность почвы, реакция среды, комплексообразующая и восстанавливающая способность почвенных растворов. Эти показатели являются причиной изменения подвижности металлов в почвах [41].

Миграции загрязняющих элементов в нижние слои почвы способствует обилие осадков, кроме того повышение уровня осадков усиливает способность растений извлекать кадмий из почвы, в большей степени это проявляется на вариантах с внесением повышенных доз удобрений [31, 32, 197, 206].

Изучение перераспределения тяжелых металлов, под действием осадков сточных вод и извести в профиле дерново-подзолистой супесчаной почвы в условиях Владимирской области позволили установить, что масса свинца и кадмия сосредоточена в слое 0-40 см. Залегающий на глубине 50-60 см мощный водоупорноморенный тяжелый суглинок сдерживает миграцию тяжелых металлов в более глубокие горизонты. К снижению валового содержания кадмия в почве осенью привела дождливая и теплая погода, в результате активно протекающих окислительно-восстановительных процессов часть кадмия перешла в подвижную форму, а часть вымылась инфильтрационными водами [17].

Удобрения и средства защиты растений способны оказать влияние на подвижность тяжёлых металлов в почве.

Исследованиями Н.Г. Гайдуковой (2010) установлено косвенное влияние системы защиты растений на степень подвижности кадмия, поскольку препараты вносятся непосредственно на растения и изменяют способность поглощать элементы питания из почвы. Совместное использование средств защиты растений, минеральных удобрений и навоза повышает степень подвижности кадмия на 25-30 % [32].

Характерной особенностью черноземов является устойчивость их к воздействию поступающих элементов благодаря высокой емкости поглощения, обусловленной повышенным содержанием гумуса, обилием глинистых частиц, нейтральной и слабощелочной реакцией среды. В почвах, подверженных техногенному загрязнению, адсорбционно-десорбционное равновесие считается основным процессом, контролирующим содержание водорастворимых форм микроэлементов. В связи с этим концентрация минеральных веществ в почвенном растворе – наиболее существенный экологический показатель, позволяющий определить их миграцию по профилю почвы и поглощение растениями.

Согласно литературным данным, содержание тяжёлых металлов в почве находится в прямо пропорциональной зависимости с содержанием гумуса в

почве. Они связываются органическим веществом с образованием как лабильных, так и нерастворимых органоминеральных координационных соединений, которые слабо доступны для поглощения растениями. Поэтому, вероятность накопления чрезмерного количества тяжёлых металлов растениями, произрастающими на почвах, насыщенных органическим веществом ниже, чем произрастающих на малоплодородных [40, 118, 128, 151].

Верхний, наиболее гумусированный слой почвы, характеризуется более высоким содержанием тяжёлых металлов, что служит одной из причин повышенного содержания их в сельскохозяйственной продукции. Свойство кадмий сохранять подвижность и в щелочной среде обусловлено образования комплексных соединений с органическим веществом почв [77].

Для чернозёмных почв характерно наименьшее поступление металлов в растения. Инактивирующее свойство таких почв связано с образованием соединений с органическим веществом и труднорастворимых соединений (карбонатов, бикарбонатов, фосфатов). Активность таких реакций обуславливает высокое содержание органического вещества, преимущественно высокая ёмкость поглощения, нейтральная реакция почвенной среды [173].

Смещение реакции почвенного раствора в нейтральную сторону и увеличение степени гумусированности приводит к повышению ёмкости поглощения почвы, следовательно, увеличивается буферность и способность связывания тяжёлых металлов. В такой среде тяжёлые металлы переходят в неподвижное состояние и практически не поступают в растения [139].

Оценка степени загрязнения почв опытного поля Уральской ГСХА комплексом тяжелых металлов (Zn, Pb и Cd) свидетельствует о том, что при одном и том же уровне загрязнения опасность его выше для почв с кислой реакцией среды, низким содержанием гумуса и более легким механическим составом [13, 151].

На подвижность тяжёлых металлов в почве прямое влияние оказывает гранулометрический состав. Почвы тяжёлого механического состава облада-

ют большей удерживающей способностью илистой фракции, следовательно, опасность загрязнения растений тяжёлыми металлами снижается [128].

Содержания в почве фосфора влияет на подвижность тяжелых металлов в почве. Фосфаты образуют с ионами тяжелых металлов труднорастворимые соли. В свою очередь и ТМ оказывают влияние на поступление фосфора в растения. Кадмий является антагонистом ионов кальция, железа, магния, цинка, что приводит к дефициту этих элементов [43, 157,187].

По химическим свойствам кадмий близок к цинку, поэтому может замещать его во многих биохимических процессах, нарушая работу большинства ферментов.

Кроме того, результаты некоторых исследований свидетельствуют как об ослабляющем, так и об усиливающем действии кадмия и цинка. Но в большинстве случаев цинк ослабляет поглощение кадмия корнями и листьями. Медь и железо также влияют на уровень кадмия в растении, замедляя его передвижения по тканям корня [62, 166].

В условиях модельного опыта (с искусственным загрязнением типичного чернозема растворимыми солями тяжёлых металлов) установлено содержание подвижных форм Pb, Zn, Cd и Cu, не оказывающее негативное воздействие на урожайность основных сельскохозяйственных культур и загрязнение их тяжёлыми металлами. По свинцу оно составило 73 мг на кг почвы, по цинку – 180, по кадмию – 2,3, по меди – 99 мг/ кг почвы. На основании полученных результатов автор предлагает ОДК подвижных форм Pb, Zn, Cd и Cu для чернозема типичного, по отношению к Pb и Zn наиболее устойчивой культурой определяет – картофель, по отношению к Cd – ячмень. Установлена математическая зависимость между содержанием этих элементов в почве и растениях, позволяющая с высокой степенью надежности ( $R= 0,80-0,99$ ) прогнозировать уровень загрязнения растениеводческой продукции по содержанию подвижных форм изучаемых металлов в почве [95].

Подвижность металлов в почве оказывает влияние на степень опасности элемента: чем более он подвижен, тем легче он поступает в почвенный

раствор и проникает в растения. Подвижность металлов в большой степени обусловлена химическими свойствами самих элементов. Например, кадмий и цинк более подвижны, чем свинец и медь [43, 193].

Известно, что на подвижность тяжёлых металлов в почве сильное влияние оказывает реакция среды. Чем кислее почва, тем более подвижны в ней металлы и тем в больших количествах они поступают в растения. Подвижность кадмия усиливается при реакции почвенного раствора в интервале 4,5-5,5. При значениях рН 7,5 и выше подвижность кадмия снижается и начинает контролироваться растворимостью его соединений ( $\text{CdCO}_3$  и  $\text{Cd}_3(\text{PO}_4)_2$ ). Растворимость соединений ряда элементов, в том числе Pb, Cd, Cu, Zn увеличивается при уменьшении величины рН. В отличие от других тяжёлых металлов, сорбция кадмия происходит гораздо быстрее (за 10-15 минут на 95 %). Повышение концентрации кальция в почвенном растворе, приводит к уменьшению сорбционной ёмкости почв в отношении кадмия [62, 87].

Кроме того, доступность металлов зависит не только от рН почвенного раствора, но и от кислотности ризосферных выделений. Растения отличаются по способности подкислять почвенный раствор, окружающий корни. Например, корневая система фасоли способна растворять и потреблять гораздо больше металлов, чем корневая система овса. Способность накапливать большие количества ТМ у двудольных растений выше, чем однодольных [207].

Известно, что загрязнение почвы ухудшает условия роста и развития растений и снижает урожайность сельскохозяйственных культур.

В растения тяжёлые металлы поступают корневым и аэральным путями, эти процессы зависят от концентрации токсиканта в почве, воздухе, осадках, климатических условий, а также анатомических особенностей растений.

Кадмий способен сравнительно быстро передвигаться из корня в побег. С помощью радиоактивного  $\text{Cd}^{107}$  обнаружено, что после помещения растения риса в питательный раствор, содержащий кадмий в основании стебля он

появляется уже через один час, а во влагалища листьев и листовые пластинки металл поступает спустя 36 часов, что, по всей вероятности, связано с его задержкой в узлах стебля [199].

Кадмий склонен к активному биоконцентрированию, что способствует его накоплению в избыточных биодоступных концентрациях в крайне быстрые сроки.

Согласно литературным данным, по скорости поступления в растения тяжёлые металлы формируют следующий ряд: Cd>Pb>Zn>Cu>Mn>Fe [8,128].

На рост растений и его физиологическое состояние особое влияние оказывают соли металлов. К наиболее характерным реакциям растений в ответ на воздействие кадмия относятся: торможение поглощения и транспорта вод, закрытие устьиц, снижение процессов синтеза хлорофилла и фотосинтеза, нарушение целостности мембраны. Фитотоксичность проявляется в затруднении поступления и метаболизма в растениях следующих элементов питания: Ca, Mg, P, Zn, Cu, Mg [61, 62, 75, 152, 190, 192, 201, 202].

Рядом авторов отмечено, что загрязнение окружающей среды кадмием приводит к уменьшению высоты побега, сокращению числа междоузлий, снижению накопления сырой и сухой биомассы, а также уменьшению размеров соцветия у злаковых растений. Кадмий способен к перемещению в генеративные органы злаковых культур, что создает потенциальную угрозу здоровью человека и животных увеличивает опасность для животных и человека [115, 130, 154, 167, 196, 204, 205, 208].

Казнина Н. М. и Титов А. Ф. (2013) приводят сравнительный ряд по устойчивости к кадмию физиологических процессов: дыхание > водный обмен > фотосинтез > развитие > рост [65].

Степень накопления тяжёлых металлов определяется биологической особенностью возделываемой культуры, физиологической ролью элемента и содержанием его в почве [100, 156].

Невысокие концентрации кадмия способны оказывать положительное влияние на продуктивность растений. Так, при концентрации кадмия 0,5 и 5 мг/кг отмечено увеличение массы 1000 зёрн ячменя [153].

Повышенное содержание кадмия в почве повышает содержание нитратов в растениях, вследствие подавления активности нитратредуктазы [183].

Повышение уровня загрязнения почвы кадмием влияет на азотный, фосфорный и углеводный обмен в растениях. Средний уровень загрязнения почвы кадмием (6 мг/кг) повышает содержание общего азота, однако белковый азот при этом уменьшается, а содержание водорастворимых сахаров при этом уменьшается в 3,6 раза [50]. По мнению других авторов, повышение содержания кадмия до 10 мг/кг способствует увеличению содержания фруктозы и сахарозы [62].

Обработка корней кукурузы и пшеницы кадмием значительно увеличивает содержание фосфора в клетках корней, а высокие концентрации его, наоборот, снижают количество азота и фосфора в растениях. В листьях ячменя и пшеницы под действием определённых концентраций повышается содержание магния. При действии кадмия в концентрации 500 мкМ в наземных органах ячменя увеличивается содержание калия и кальция, а повышение концентрации до 1 мМ снижает содержание этих элементов в листьях пшеницы [166].

Следовательно, степень влияния кадмия, как и других тяжелых металлов, определяется концентрацией элемента в окружающей среде. Содержание их в микроколичествах не вызывает никаких негативных реакций, а поступление их в больших количествах заметно изменяют биологические, химические и физические свойства почвы, что ведет к ухудшению почвенного плодородия и снижению качества растениеводческой продукции.

Между дозами внесения удобрений и урожаем зерновых культур установлена прямая связь. Внесение удобрений активизирует рост и развитие растений пшеницы, что способствует более активному поглощению элементов питания, в том числе и тяжелых металлов. Повышенные дозы удобрений



( $N_{120}P_{60}K_{40}$ ,  $N_{240}P_{120}K_{80}$ ) приводят к накоплению кадмия в зерне озимой пшеницы, что свидетельствует о высокой подвижности кадмия в почве и активным поглощением его растениями. Повышенное накопление тяжелых металлов в зерне озимой пшеницы может наблюдаться даже на слабозагрязнённой почве [98, 127].

В окружающей природной среде кадмий практически не подвергается разложению и продолжает в ней циркулировать. Обладает высокой токсичностью, относительно большой мобильностью и доступностью для растений. Коэффициенты использования кадмия из почвы растения озимой пшеницы в 5-10 раз выше, чем свинца [32].

Фоновое содержание кадмия в зерне злаковых культур находится в пределах 0,013-0,22 мг/кг сухого вещества [63].

Зерновые культур разделяют по степени устойчивости к тяжелым металлам. Так, ячмень и рис относятся к весьма устойчивым, а овес и пшеница – к чувствительным [164]. По другим данным, пшеница относится к группе культур наиболее устойчивых к загрязнению тяжелыми металлами [77].

Алексеев Ю.В. (1987) отмечает, что сорта яровой пшеницы не обладают существенными различиями по способности накапливать тяжелые металлы. Выращивание пшеницы почве, подвергшейся загрязнению, не зависимо от сорта, приводит к увеличению содержания металлов в зерне с нарастанием их концентрации в почве [8].

Исследования Н.М.Троц с коллегами (2012) показали, что озимая пшеница аккумулирует кадмия на 20,1 % меньше, чем озимая рожь и, наоборот, на 86,0 % больше свинца. В корнях пшеницы кадмия превышает содержание в побегах в 20 раз больше, а в зерне в 200 раз [169].

Репродуктивные органы растений способны накапливать значительно меньшее количество тяжелых металлов, чем вегетативные. Исследованиями установлено, что только подвижная форма кадмия в почве влияет на его содержание в генеративных органах яровой пшеницы. По мере снижения накопительной способности тяжёлых металлов органы растений распределяются

следующим образом: корень>стебель>листья >соцветия [8, 52, 88, 89, 94, 128, 147].

В зависимости от вида растений аккумуляция тяжелых металлов надземными органами в 10-15 раз выше, а в некоторых источниках указано, что и в 200 раз меньше, чем корнями. Побеги однолетних растений содержат цинка, свинца и кадмия составляет от 6 до 35%, а в некоторых случаях – до 46% от общего содержания в растении [59].

Изучение влияния различной концентрации нитрата кадмия на ростовые процессы и интенсивность фотосинтеза растений пшеницы сорта Приокская показало, что основная часть поглощенного кадмия аккумулируется на уровне корневой системы проростков, следовательно, нитрат кадмия оказывает ингибирующее воздействие на рост корневой системы [75].

Аккумуляция высокотоксичных тяжёлых металлов – кадмия и свинца основной продукции ниже, чем побочной. Содержания кадмия в растениеводческой продукции находится в прямой корреляционной зависимости с его концентрацией в почве [84, 176].

По данным Е.Е. Петрова и Е.В. Райхерта (2013) накопление цинка в генеративных органах яровой пшеницы в 1,4-2 раза выше, чем в вегетативных, а накопление кадмия находится на одинаковом уровне [139].

Исследованиями, проведенными С.В. Лукиным (2008) установлено, что по содержанию тяжёлых металлов в растениях озимой пшеницы и ячменя образуется ряд: Pb>Cd>As>Hg [94].

По коэффициенту биологического поглощения кадмия в основной продукции сельскохозяйственные культуры С.Д. Лицуков (2011) распределил следующим образом: подсолнечник > горох > озимая пшеница > сахарная свёкла > ячмень > кукуруза на зерно [88].

Изучение процесса аккумуляции тяжелых металлов сельскохозяйственными растениями (пшеница, ячмень, овес, подсолнечник, кукуруза, люцерна, гречиха, горох, горчица, соя и разнотравье) Старооскольско-Губкинского района Белгородской области позволило установить ряд биона-

копления тяжелых металлов растениями:  $Pb > Cd > Zn > Cu$ . Кроме, того отмечена высокая степень накопления кадмия в люцерне, сое и разнотравье [93].

Снижение продуктивности растений является результатом негативного действия кадмия на физиологические процессы. Высокие концентрации кадмия приводят не только к снижению наземной массы растений и урожая семян, но и ухудшают качество урожая, снижая количество питательных элементов, незаменимых аминокислот, витаминов, белков [65, 79].

Под действием Cd отмечено снижение темпов накопления N,  $P_2O_5$  и  $K_2O$  в растении льна-долгунца [56].

С целью избежания негативного влияния тяжелых металлов на составные компоненты окружающей среды и на организм человека вводятся нормативы допустимого содержания токсичных веществ. Для установления оптимальных концентраций необходимо исследовать закономерности перемещения химических элементов в системах почва-растение-человек и почва-растение-животное-человек.

В основе разрешения проблемы экологического нормирования лежит подход, основанный на определении допустимой нагрузки на почву с учетом её буферных свойств, снижающих подвижность поступающих из внешней среды химических элементов и её способность к самоочищению.

Следовательно, нормирование тяжелых металлов в почве весьма разумно. Нормирование предусматривает установление предельно допустимых концентраций и фоновых количеств, чего очень сложно достичь на практике в связи с трудностями полного учета всех факторов природной среды. Изменение только таких агрохимических свойств почвы как: реакция среды, содержание гумуса, степень насыщенности основаниями, гранулометрический состав позволяет в разы сократить или повысить содержание тяжелых металлов в растениях. О фоновом содержании некоторых металлов также нет единого мнения. Приводимые исследователями результаты различаются зачастую в 5-10 раз [8, 59].

Согласно гигиеническим нормативам для разного типа почв установлены ориентировочно допустимые концентрации кадмия в почве: песчаных и супесчаных – 0,5 мг/кг; кислых суглинистых и глинистых – 1,0 мг/кг; нейтральных и близких к нейтральным суглинистых и глинистых – 2,0 мг/кг [38].

В Российской Федерации нормативными документами установлена ориентировочно-допустимая концентрация кадмия в почве (ОДК), ориентированная на валовое содержание элемента в почве и зависящая от её физико-химических показателей. В почве легкого гранулометрического состава металл подвижен из-за её низкой катионообменной емкости и, следовательно, доступность элемента растениям выше. В почвах более тяжелого гранулометрического состава подвижность Cd в системе почва-растение в большей степени обусловлена кислотностью среды, на которую ориентирован показатель ОДК.

В соответствии с государственными нормативами величина ОДК валовой формы кадмия находится в зависимости от реакции среды, так для кислых почв ( $\text{pH}_{\text{KCl}} < 5,5$ ) установлено значение 1,0 мг/кг, для нейтральных ( $\text{pH}_{\text{KCl}} > 5,5$ ) – 2,0 мг/кг [35, 36].

Официальных нормативов ПДК для кадмия не утверждено. Это может быть связано с небольшим объемом достоверной информации о механизмах накопления элемента в объектах окружающей природной среды. За границей концентрация кадмия 3-5 мг/кг почвы установлена как предельно допустимая концентрация [62].

Снижению токсичного действия тяжёлых металлов на растения способствует внесение в почву различных веществ, изменяющих реакцию почвенной среды и способствующих переходу тяжёлых металлов в соединения труднодоступные для растений. Наиболее распространенным и эффективным приёмом является известкование.

Кальций, как обязательный компонент известковых материалов, улучшает физические свойства почв: способствуя коагуляции почвенных коллоид-

дов, он укрепляет структуру почвы, повышает водопроницаемость и вододерживающую способность. Кроме того, кальций и другие катионы выступают в роли антагонистов для катионов тяжелых металлов при поступлении в растение. При внесении в почву  $\text{CaCO}_3$  уменьшается подвижность кадмия и уменьшается доля положительно заряженных соединений кадмия [54, 76, 80, 81, 86, 129].

На почвах с повышенным содержанием кадмия, тяжелым гранулометрическим составом и слабокислой или близкой к нейтральной реакцией среды известкование не дало желаемого эффекта [43].

В работе С.Е. Цыплакова с соавторами (2009) отмечено, что внесение дефеката на черноземе выщелоченном уменьшило содержание тяжелых металлов, особенно в верхней части профиля почвы [29].

Согласно данным Ю.В. Алексеева (1987) известкование нецелесообразно проводить на слабокислых и нейтральных почвах, а также на почвах тяжелого гранулометрического состава. Перед известкованием важно предварительное обследование почв на содержание в них повышенных количеств  $\text{Cr}$  и  $\text{Mo}$ . Эти металлы в большинстве случаев подвижны в нейтральной и слабощелочной среде, нежели в кислой, поэтому известкование почв, с повышенной концентрацией данных металлов, может отрицательно сказаться на качестве выращиваемых сельскохозяйственных культур [8].

Применение органических удобрений в качестве химических мелиорантов на почвах, загрязненных тяжелыми металлами, носит противоречивый характер.

С одной стороны, ингредиенты органических удобрений, взаимодействуя с ионами тяжелых металлов, образуют органоминеральные соединения, ослабляющие их подвижность. Внесение высоких доз органических удобрений, а также применение зелёных удобрений снижают содержание кадмия в растениях [10].

На основании исследований на светло-серой лесной почве Г.А. Титовым (2014) было установлено, что применение осадка городских сточных вод

(ОГСВ), навоза КРС, их сочетаний и удобрений оказывает положительное влияние на смещение реакции почвенной среды в нейтральную сторону; внесение ОГСВ 30-60 т/га повысило содержание гумуса на 0,01-0,05 %, а использование навоза в той же дозе на 0,01-2,05 %, кроме того происходит незначительное снижение содержания тяжёлых металлов. Однако повышенные дозы органических удобрений могут привести к нарушению санитарно-гигиенических показателей почвы, поскольку разложение и минерализация больших доз органики приводит к накоплению в почве нитратов и нитритов [165].

Значительное влияние на подвижность тяжелых металлов в почве оказывает скорость разложения органических удобрений. Внесение в почву неразложившейся соломы сначала повышает подвижность тяжелых металлов в результате образования низкомолекулярных растворимых органоминеральных комплексов, а затем начинает проявляться иммобилизирующий эффект [51].

Опытами Минеева В.Г. с соавторами (1993) установлено, что внесение навоза и азотно-калийных удобрений ослабевают протекание процессов мобилизации тяжёлых металлов. Кроме того, проведение известкования и внесение навоза на кислых почвах снижает накопление тяжёлых металлов растительной продукцией. Тенденция уменьшения содержания тяжёлых металлов в растениях отмечена при внесении суперфосфата [108].

Результаты многолетних исследований С. Н. Никитина (2014), показали, что использование различных видов органических удобрений на фоне диатомита способствует снижению поступления свинца и кадмия в зерно сельскохозяйственных культур в зернопаровом севообороте [121].

По данным Ларешина В.Г. и др. (2008) применение фосфорных удобрений способствует снижению подвижности ТМ и их доступности для растений, за счёт образования труднорастворимых соединений. На эффективность применения фосфорных удобрений оказывает влияние содержание ТМ в почве и реакции среды. На почвах с реакцией почвенного раствора меньше

5,8 рекомендуется вносить фосфоритную муку и суперфосфат, корректируя дозы их внесения с учётом обеспеченности почвы фосфором, планируемых урожаев и выноса дозы. Кроме того, внесение минеральных (в том числе и фосфорных) удобрений ведет к созданию оптимального состояния растений, увеличению их сопротивляемости неблагоприятным факторам внешней среды и снижению токсического действия токсичных элементов на растительные организмы. Совместное применение органических и минеральных удобрений считается наиболее эффективным мероприятием [77].

Сокаева Р.М. и Сокаев К.Е. (2009) указывают на эффективность применения известковой муки. Так, внесение её в почву из расчёта 6 т/га снижает содержание тяжёлых металлов в клубнях картофеля [161].

Внесение извести и совместное её внесение с навозом снижает отрицательное влияние тяжелых металлов на урожайность сельскохозяйственных культур и сокращает их поступление в продукцию растениеводства [27, 85, 106, 123].

Внесение извести, навоза и совместное их внесение снижает поступление тяжелых металлов в основную и побочную продукцию фасоли. При внесении извести содержание кадмия в бобах фасоли уменьшилось в 1,9 раза, и его содержание было на уровне контрольных значений – 0,063 г/кг, что на 0,037 мг/кг ниже ПДК, а по сравнению с вариантом  $N_{180}P_{180}K_{180}^+$  ТМ на 0,06 мг/кг. В вариантах с внесением навоза содержание кадмия составило 0,076 мг/кг [84].

Таким образом, анализ литературных данных, показывает, что проблема поведения тяжелых металлов в системе «почва-растение» является актуальной как в нашей стране, так и за рубежом. Среди учёных нет единого мнения о влиянии природных и техногенных экологических факторов на распределение и накопление тяжёлых металлов в почвенном и растительном покрове. Различные почвы по-разному аккумулируют тяжелые металлы, также весьма противоречивы сведения и о распределении тяжелых металлов по органам растений.

В связи с этим возникает необходимость в условиях конкретной почвенно-климатической зоны изучения влияния природных и антропогенных факторов на поступление и распределение тяжёлых металлов почве и растениях, с целью предотвращения неблагоприятных токсико-экологических ситуаций.

На основе комплексного анализа литературных источников все вышеизложенное предопределило выбор темы диссертационной работы, исследования по которой проводились в 2012-2015 годах в условиях юго-западной части ЦЧЗ.



## 2 УСЛОВИЯ И МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЙ

### 2.1 Почвенно-климатические условия

Пестрота условий почвообразования обеспечила формирование различных типов почв на территории области. Основную площадь – 2090,8 тыс. га или 77,1% площади занимают черноземные почвы, около 15% территории области занимают серые лесные почвы, и лишь 8% приходится на долю лугово-черноземных, черноземно-луговых, солонцов, солодей, пойменных, песчаных и дерново-намытых почв.

Площадь распаханых черноземов достигает 89,9 % от всей пашни. На территории области наибольшее распространение получили следующие подтипы чернозёмов: площадь чернозёмы типичные – 979,1 тыс. га, выщелоченные – 517,1 тыс. га, обыкновенные – 318,9 тыс. га, оподзоленные – 64,2 тыс. га [39].

Наши исследования проводились на черноземе типичном среднеспособном малогумусном тяжелосуглинистом на лессовидном суглинке. Данный подтип почв имеет гидролитическую кислотность на уровне 2-3 мг. экв. на 100 г почвы в бескарбонатном горизонте, высокую степень насыщенности основаниями – 85-96 %, хорошую обеспеченность азотом и калием. Используя метод Чирикова, установлено содержание подвижного фосфора и обменного калия в почве (67-78 мг/кг, – 88-112 мг/кг почвы соответственно). Реакция почвенной среды у чернозёмов изменяется в зависимости от содержания карбонатов. В верхней части гумусового горизонта, где карбонаты отсутствуют, величина рН солевой вытяжки составляет 6,8. В слое почвы 50-60 см она возрастает до 6,9-7,2. Почва имеет благоприятные физические и водно-физические свойства, отличительная их особенность – незначительная величина плотности сложения гумусового горизонта А+В (1,10-1,25 г/см<sup>3</sup>) и высокая порозность (54-60 %). Гранулометрический состав изменяется от глинистого до среднесуглинистого. Содержание физической глины составляет от 46,2 до 63,5 %, а ила от 25 до 46 %, причем содержание ила и других фрак-

ций по профилю почвы с глубиной практически не изменяется. Данный подтип почв по праву считается лучшей почвой в Белгородской области [11].

Территория Белгородской области характеризуется большим количеством распаханых земель и высокоразвитым сельским хозяйством, поскольку располагает плодородными почвами и благоприятными климатическими условиями.

Продуктивность сельскохозяйственных культур изменяется по годам под влиянием изменяющихся метеорологических условий, а также других факторов, часто связанных с увлажнением и температурным режимом. Кроме того эти показатели определяют аккумуляцию химических элементов в почве, формы их нахождения, а также подвижность и миграцию.

Климат Белгородской области относится к умеренно-континентальному типу с умеренно холодной зимой, со снегопадами и оттепелями и продолжительным летом. Более заметно континентальность выражена к востоку и особенно к юго-востоку. По агроклиматическим характеристикам территория области разделяется на два района – северо-западный (наиболее холодный) и юго-восточный (более тёплый).

На территории области в среднем за год выпадает от 420 до 590 мм осадков, разнообразие рельефа и наличие крупных лесных массивов обуславливают неравномерное их распределение. На западных склонах возвышенностей, а также в долинах, открытых к западу, осадков выпадает больше.

Территория места проведения опытов расположена в зоне, где ограничивающим фактором роста и развития растений является засушливость климата (ГКТ – 0,7-0,9). Сумма осадков по средним многолетним данным составляет 553,2 мм, на период активной вегетации приходится 260-290 мм. В течение года осадки выпадают неравномерно: зимой – 19 %, весной – 22 %, летом – 36 %, осенью – 23 % от общего их количества.

Основным источником накопления влаги в почве в холодный период года являются осадки, выпадающие в виде снега и морозящего дождя. Осадки летнего периода выпадают, преимущественно, в виде ливней, характери-

зующихся высокой степенью интенсивности, что вызывает развитие эрозии почв.

Неустойчивость выпадения осадков приводит к засухам. На территории области ежегодно бывают засухи и суховеи, различной степени интенсивности, наносящие значительный ущерб посевам сельскохозяйственных культур.

За период вегетации насчитывается 27-32 дня с суховеями. Июнь считается наиболее засушливым месяцем, когда число дней с засухой достигает 9-14 дней.

Среднегодовая температура воздуха западного агроклиматического района области составляет от +5,9 до +6,3<sup>0</sup>С, сумма активных температур 2510...2620 <sup>0</sup>С. Зима умеренно холодная: средняя месячная температура самого холодного месяца января - 4,1<sup>0</sup>С. Безморозный период в среднем составляет 177 дней. Лето жаркое, самым теплым месяцем считается июль, когда среднесуточная температура составляет +21,7 <sup>0</sup>С.

Осенью первые заморозки в воздухе регистрируются в конце сентября - начале октября. Зимний режим устанавливается не сразу, часто происходит чередование низких температур с оттепелями, зачастую снежный покров в этот период ещё не сформирован.

На территории Белгородской области во второй декаде декабря образуется устойчивый снежный покров, средняя высота которого не превышает 12-19 см, держится до середины марта.

По среднемноголетним данным Белгородской метеостанции переход температуры через 0 <sup>0</sup>С фиксируется в третьей декаде марта и второй декаде ноября, в первых числах апреля и в конце октября – через 5 <sup>0</sup>С, а через 10 <sup>0</sup>С – в конце апреля и сентября. Число дней с температурой воздуха выше 0 <sup>0</sup>С составляет 225 - 240, выше 5 <sup>0</sup>С – 190 дней, выше 10 <sup>0</sup>С – 150–158 дней.

В начале мая возможны возвраты холодов, когда ночью при тихой безоблачной погоде температура опускается ниже 0<sup>0</sup>. На открытых равнинных местах в начале мая отмечается прекращение заморозков в воздухе. На по-

верхности почвы заморозки заканчиваются обычно на 10-12 дней позднее чем в воздухе.

В климатических условиях, характерных для Белгородской области, период активной вегетации (переход среднесуточной температуры через +5 °С) озимой пшеницы составляет четыре месяца в текущем году (с апреля по июль) и два месяца в предыдущем году (сентябрь, октябрь).

В холодный период года господствуют ветры восточных направлений, которые вызывают дефляцию почв. За вегетационный период количество дней со скоростью ветра больше 15 м/сек составляет 13,9. В теплый период года преобладают ветры западного направления, средняя скорость ветра достигает 2,5-4,5 м/сек [39].

Погодные условия в годы исследований по данным метеорологического поста Белгородского НИИСХ складывались по-разному.

Данные о метеорологических условиях в период проведения исследований представлены в таблице 2.1.

Таблица 2.1 – Метеорологические условия за годы исследований (метеопост с. Гонки)

Год	Месяц	Температура, °С			Осадки, мм		
		средне- месячная	средне- много- летняя	откло- нение, +/-	сумма	средне- много- летние	% к средне- многол.
1	2	3	4	5	6	7	8
2012	Сентябрь	15,6	12,9	2,7	17,9	40,0	45
	Октябрь	9,9	6,4	3,5	91,9	46,0	200
	Ноябрь	2,8	0,3	2,5	19,4	46,0	42
	Декабрь	-6,4	-4,7	-1,7	41,5	43,0	97
2013	Январь	-4,1	-8,5	4,4	53,6	36,0	149
	Февраль	-2,1	-6,4	4,3	27,7	32,0	87
	Март	-2,0	-2,5	0,5	80,7	34,0	237
	Апрель	11,5	7,5	4,0	4,6	41,0	11
	Май	20,0	14,6	5,4	0,0	47,0	0
	Июнь	23,0	17,9	5,1	67,0	63,0	106
	Июль	22,3	19,9	2,4	59,5	69,0	86
	Август	21,4	18,7	2,7	19,0	56,0	34
	Сентябрь	11,7	12,9	-1,2	128,3	40,0	321
	Октябрь	5,3	6,4	-1,1	0,0	46,0	0
	Ноябрь	1,6	0,3	1,3	0,0	46,0	0
	Декабрь	-3,5	-4,7	1,2	0,0	43,0	0

Продолжение таблицы 2.1							
1	2	3	4	5	6	7	8
2014	Январь	-7,4	-8,5	1,1	35,3	36,0	98
	Февраль	-1,8	-6,4	4,6	9,3	32,0	29
	Март	5,7	-2,5	8,2	3,5	34,0	10
	Апрель	10,3	7,5	2,8	30,0	41,0	73
	Май	20,3	14,6	5,7	82,2	47,0	175
	Июнь	19,6	17,9	1,7	113,5	63,0	180
	Июль	23,6	19,9	3,7	8,5	69,0	12
	Август	22,9	18,7	4,2	63,5	56,0	113
	Сентябрь	15,1	12,9	2,2	26,0	40,0	65
	Октябрь	7,0	6,4	0,6	22,0	46,0	48
	Ноябрь	-0,1	0,3	-0,4	0,0	46,0	0
	Декабрь	-2,7	-4,7	2,0	47,5	43,0	110
2015	Январь	-3,4	-8,5	5,1	17,0	36,0	47
	Февраль	-2,7	-6,4	3,7	53,0	32,0	166
	Март	3,4	-2,5	5,9	26,2	34,0	77
	Апрель	9,4	7,5	1,9	53,6	41,0	131
	Май	17,7	14,6	3,1	38,0	47,0	81
	Июнь	22,4	17,9	4,5	59,0	63,0	94
	Июль	22,6	19,9	2,7	79,5	69,0	115
	Август	23,2	18,7	4,5	2,0	56,0	4

Процессы формирования урожая озимой пшеницы после перезимовки протекает в основном в апреле, мае и июне и, как показали исследования, во многом определяются погодными условиями и прежде всего количеством осадков.

Незначительное количество осадков в апреле и их отсутствие в мае не оказывает значительного влияния на ростовые процессы. В этот период основная роль принадлежала запасам доступной влаги весной в слое 0-100 см, ее величина во все годы значительно пополняется осадками марта и апреля месяцев. В годы исследований их количество в марте месяце в 2013 году составило 80,7 мм (в 2,4 раза больше нормы), в 2014 году – 30,0 мм (в 1,4 раза ниже нормы). В марте 2015 года осадков выпало 26,2 мм, что в 1,3 раза меньше среднемноголетнего количества, а в апреле, напротив, осадков было в 1,3 раза больше нормы – 53,6 мм.

В годы исследований условия увлажнения за счет атмосферных осадков в период весенней и летней вегетации различались значительно. Их количество в 2013 году за апрель-июнь составило – 71,6 мм, в 2014 году соот-

ветственно – 225,7 мм и в 2015 году – 150,6 мм, что обеспечило оптимальные условия влагообеспеченности в период от выхода в трубку до колошения. Осадки в этот период обеспечивают закладку и формирование основных органов, определяющих величину урожая.

Май 2015 года отличался дефицитом осадков по сравнению с 2014 годом и среднемноголетними данными. Основное количество майских осадков пришлось на вторую декаду месяца, а третья декада характеризовалась отсутствием осадков.

Кроме того, увеличению дефицита влаги способствовала температура воздуха, средняя температура месяца была выше нормы на 3,1 °С. Озимая пшеница на 5-10 дней раньше обычных сроков начала колоситься (27 мая), причём в колосе сформировано от 14 до 20 колосков, что меньше прошлогоднего на 2 колоска.

За счет атмосферных осадков оптимальная обеспеченность посевов озимой пшеницы влагой была в 2014 году.

За период исследований подтверждено, что показатели температуры воздуха значительно колеблются от средних многолетних значений.

Погодные условия в период сева определяют развитие растений. Осенние условия являются решающими, поскольку в период прохождения фазы кущения накапливается необходимое количество пластических веществ в листьях и узле кущения.

Температурный режим осенью 2012 года для растений озимой пшеницы сложился благоприятно (температура от 15,6 до 2,8 °С). Постепенное снижение температуры воздуха в этот период создало благоприятные условия для закалки растений, повышения их устойчивости к низким температурам.

Сентябрь 2013 года характеризовался прохладной погодой. Среднемесячная температура составила 11,7 °С, что ниже обычной на 1,2 °С. Температурный режим октября оставался в пределах нормы, а ноябрь характеризовался более высокой температурой (на 3,5 °С), чем многолетняя.

В целом условия начала перезимовки озимых культур складывались хорошие. Озимые находились в состоянии покоя, условия накопления питательных веществ были удовлетворительные.

В течение зимы 2014 года среднесуточная температура по месяцам была выше средних многолетних значений на 1,1 - 4,6 °С. Характер погоды февраля определялся неустойчивым температурным режимом. В первой декаде стояла морозная погода, во второй – аномально теплая, а в третьей – слабоморозная. Средняя температура за месяц составила -1,8 °С, что выше климатической нормы на 4,6 °С. Средняя сумма осадков за месяц составила 9,3 мм, что составляет 29 % от многолетней нормы. Чередование заморозков и оттепелей с осадками в виде дождя и снега привело к образованию ледяной корки на посевах озимой пшеницы.

Температурный режим в период сева в 2014 году был теплее (в большей степени первая и вторая декады) обычного на 2,2 °С, что вместе с небольшим количеством осадков благоприятствовало дружному появлению всходов.

В зимние месяцы 2015 года преобладала аномально теплая погода с резким колебанием осадков. Похолодание уже в конце осени и сравнительно теплая зима привели к перерастанию озимых.

На развитие растений отрицательно повлияли и высокие температуры в мае месяце. Когда средняя температура воздуха достигла в 2013 году + 20,0 °С, в 2014 году +20,3 °С, в 2015 году соответственно +17,7 °С, в то время как среднемноголетние значения составляют +14,6 °С.

В июне температура также превышала среднемноголетние значения (+17,9 °С) и достигала по годам +23,0 °С, +19,6 °С и +22,4 °С.

Обеспеченность почвы влагой и показатели температурного режима в 2012-2013 гг. и 2014-2015 гг. календарных годах были менее благоприятными для возделывания озимой пшеницы.

В осенне-зимний период наиболее жесткие условия сложились в 2014-2015 гг., когда из-за недостатка влаги наблюдалась гибель озимых. Летние

месяцы (июнь, июль) 2015 года характеризовались неоднородным температурным режимом (с преобладанием повышенного) и умеренным количеством дождей. В первой и второй декадах июня были отмечены осадки в виде ливневых дождей, что в сочетании с порывистым ветром привело к полеганию растений. Июль отличался высокой температурой в сочетании с существенным количеством осадков, что препятствовало уборке пшеницы.

Погодные условия 2012-2013 года сельскохозяйственного года характеризуются резкими контрастами температур и неравномерным распределением осадков по месяцам вегетации, что оказало влияние на рост и развитие растений в агробиоценозе озимой пшеницы. Кроме того, в период цветения и налива зерна озимой пшеницы неблагоприятным фактором оказались засухи.

Более благоприятным для формирования урожая озимой пшеницы оказался 2013-2014 сельскохозяйственный год.

## **2.2 Схема опыта и методика исследований**

Исследования проводились в стационарном полевом опыте Белгородского НИИ сельского хозяйства, заложенном в 1987 году.

Площадь опыта занимает 22,5 га. В опыте используется метод расщепленных делянок. Делянки размещены систематически в один ярус. Посевная площадь элементарной делянки составляла 120 м<sup>2</sup>, учётная – 100 м<sup>2</sup>. Повторность опыта 3-х кратная. Опыт развёрнут в натуре на пяти полях. Площадь одного поля составляла 4,5 га.

Агрохимическая характеристика опытного участка: содержание гумуса – 5,3 %, рН<sub>KCl</sub> – 5,8, содержание подвижного фосфора – 57 мг/кг, обменного калия – 121 мг/кг, азота легкогидролизуемого – 160 мг/кг.

Исследования проведены в зернопропашном севообороте, со следующим чередованием культур: озимая пшеница – сахарная свекла – ячмень – кукуруза на силос – горох.



Исследования по изучению влияния доз удобрений на показатели почвенного плодородия, урожайность и качество зерна озимой пшеницы проводили по схеме:

1. Без удобрений (контроль);
2.  $N_{60}P_{60}K_{60} + N_{30}$  рано весной;
3.  $N_{120}P_{120}K_{120} + N_{30}$  рано весной;
4. Навоз 40 т/га (последействие);
5.  $N_{60}P_{60}K_{60} + N_{30}$  рано весной +навоз 40 т/га (последействие);
6.  $N_{120}P_{120}K_{120} + N_{30}$  рано весной + навоз 40 т/га (последействие);
7. Навоз 80 т/га (последействие);
8.  $N_{60}P_{60}K_{60} + N_{30}$  рано весной +навоз 80 т/га (последействие);
9.  $N_{120}P_{120}K_{120} + N_{30}$  рано весной + навоз 80 т/га (последействие).

В опыте использовался сорт озимой мягкой пшеницы селекции ГНУ Белгородский НИИСХ Россельхозакадемии «Синтетик», который характеризуется повышенной устойчивостью к «стеканию» зерна и прорастанию на корню в период уборки.

В качестве основной обработки почвы проводилась вспашка на глубину 22 см.

Согласно схеме опыта минеральные удобрения в виде азофоски ежегодно вносили под основную обработку и 30 кг/га д.в. азота для проведения подкормки аммиачной селитрой рано весной.

Из органических удобрений применяли навоз КРС. Навоз вносили под сахарную свёклу один раз за ротацию севооборота. В расчете на простое воспроизводство почвенного плодородия навоз вносился в одинарной дозе, которая составляла 40 т/га, а в расчете на расширенное воспроизводство доза внесения навоза была увеличена вдвое и составляла 80 т/га.

В полевом опыте при возделывании озимой пшеницы использована общепринятая для ЦЧР агротехника.

Объектами исследований выступили основные компоненты агроэкосистем – почва и растения.

Исследования проводились в период с 2012 по 2015 г. согласно методическим указаниям [102].

Образцы почвы отбирали ежегодно в апреле и июле через 20 см до глубины 1 метр.

Пробы растений озимой пшеницы с выделением основной и побочной продукции отбирали во время уборки урожая.

Определение агрохимических показателей почвы проводилось в аккредитованной испытательной лаборатории ФГБНУ «Белгородский ФАНЦ РАН»:

- ✓ рН<sub>KCl</sub> – по методу ЦИНАО (ГОСТ 26483-85);
- ✓ гумус – ГОСТ 26213-93;
- ✓ сумма поглощенных оснований – по методу Каппена-Гильковица (ГОСТ 27821-88);
- ✓ гидролитическая кислотность – по методу Каппена в модификации ЦИНАО (ГОСТ 26212-91);
- ✓ легкогидролизуемый азот – по Корнфилду;
- ✓ подвижные формы фосфора на некарбонатных почвах – по методу Чирикова в модификации ЦИНАО (ГОСТ 26-204-91);
- ✓ обменные формы калия на некарбонатных почвах – по методу Чирикова в модификации ЦИНАО (ГОСТ 26-204-91);

В растительных образцах (в зерне и соломе), отобранных в фазу полной спелости, определяли: азот (ГОСТ 13496.4-93), фосфор – фотометрическим методом (ГОСТ 26657-97), калий – пламенно-фотометрическим методом (ГОСТ 30504-97), нитратный азот – ионометрическим методом (ГОСТ 13496.19-93), белок по ГОСТ 10846-91; массовая доля клейковины – по ГОСТ 13586.1.

В аккредитованной испытательной лаборатории почв, кормов, пищевой и сельскохозяйственной продукции ФГБОУ ВО «Белгородский государственный аграрный университет им. В.Я. Горина» определены следующие показатели:

- ✓ валовый и подвижный кадмий в почве;
- ✓ кадмий в зерне и соломе озимой пшеницы;
- ✓ клейковина в зерне (по ГОСТ 27839-88).

Содержание валовых и подвижных форм кадмия в почве, а также содержание кадмия в озимой пшенице определяли атомно-абсорбционным методом ГОСТ 30178-96 и МУ ЦИНАО. Испытания проводили на атомно-абсорбционном спектрофотометре, укомплектованном горелкой для воздушно-ацетиленового пламени. Применялся метод сухого озоления образца в муфельной печи. Согласно ГОСТ 26929 проводили минерализацию пробы. Достоверность результатов испытаний и измерений подтверждали в соответствии с методическими указаниями параллельными испытаниями использованием стандартных образцов почвы и зерна и соломы озимой пшеницы.

Учет урожая продукции озимой пшеницы проводили поделочно. Урожай убирали при наступлении полной спелости и влажности зерна 12-14 % комбайном «Sampo Rosenlew» во второй декаде июля.

Статистическую обработку результатов исследований проводили методом дисперсионного анализа, корреляционного и регрессионного анализа зависимости урожайности культур от изучаемых факторов и элементов плодородия почвы по Б.А. Доспехову с использованием компьютерных программ [48].

Расчет энергетической эффективности был произведен по методике В.Г. Минеева [105].

### **3 РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ**

#### **3.1 Влияние удобрений на агрохимические показатели чернозёма типичного**

Важным естественным аккумулятором и источником энергии на Земле, определяющим развитие почвы и формирование её особого свойства – плодородия, является органическое вещество почвы. Содержание гумуса в почве, в значительной степени, определяет агрофизические, физико-химические, агрохимические свойства почвы и служит резервным источником элементов питания для растений [117].

Гумусное состояние почв имеет определяющее значение при оценке её плодородия. В почвах Белгородской области данный показатель находится в среднем на уровне 5,0% [73]. Основным источником поступления органического вещества служат остатки растений, которые в виде корневой системы, листостебельной массы, стерни и т.д. служат первичным материалом для формирования органического вещества почвы в виде гумуса. В результате деятельности почвенных микроорганизмов и беспозвоночных животных происходит преобразование органического вещества почвы. Интенсивность преобразования органического вещества отмирающих растений усиливают благоприятный температурный режим почв, влажность, содержание в ней питательных веществ, рН, газовый режим. Внесение удобрений не только пополняет содержание питательных веществ для растения, но и способствует их мобилизации в почве в доступную форму, повышения энергии жизненных процессов в почве, улучшения их свойств. Таким образом, научно-обоснованная система удобрения выполняет важные экологические функции при применении ее в агроценозе [155, 163, 189].

Кроме того необходимо отметить, что гумус почвы выполняет санитарно-гигиеническую роль с точки зрения загрязнения биосферы. Гумус способен поглощать токсические вещества и тяжелые металлы, попадающие в почву, препятствуя их проникновению в грунтовые воды и растения [105].

В стационарном полевом опыте Белгородского НИИСХ изучение влияния удобрений на содержание гумуса проводится с момента закладки опыта в 1987 году. Для анализа изменения содержания гумуса за основу мы взяли 2000 год. Данные представлены в таблице 3.1.

Таблица 3.1 – Содержание гумуса в слое почвы 0-30см, %

Вариант	2000 г.	2015 г.	+,-
Контроль	5,16	4,95	-0,22
N <sub>90</sub> P <sub>60</sub> K <sub>60</sub>	5,32	4,87	-0,44
N <sub>150</sub> P <sub>120</sub> K <sub>120</sub>	5,15	4,66	-0,47
Навоз 40 <sup>*</sup>	5,37	5,01	-0,36
N <sub>90</sub> P <sub>60</sub> K <sub>60</sub> + Навоз 40 <sup>*</sup>	5,10	4,83	-0,27
N <sub>150</sub> P <sub>120</sub> K <sub>120</sub> +Навоз 40 <sup>*</sup>	5,22	5,03	-0,18
Навоз 80 <sup>**</sup>	5,38	5,23	-0,15
N <sub>90</sub> P <sub>60</sub> K <sub>60</sub> +Навоз 80 <sup>**</sup>	5,44	5,19	-0,25
N <sub>150</sub> P <sub>120</sub> K <sub>120</sub> + Навоз 80 <sup>**</sup>	5,33	5,19	-0,14
НСП <sub>05</sub>	0,06	0,02	

Примечание: \*– последствие 40 т/га навоза; \*\*– последствие 80 т/га навоза

Табличные данные показывают, что содержание гумуса на контроле за пятнадцать лет уменьшилось на 0,22 % и составило 4,95 %. Снижение содержания гумуса в контрольном варианте может быть вызвано естественными процессами минерализации органического вещества при недостаточном поступлении свежих органических остатков.

Внесение минеральных удобрений, особенно в двойной дозе, усилило процессы минерализации. Интенсивное использование минеральных удобрений максимально снизило содержание гумуса за 15 лет. Так, в варианте N<sub>90</sub>P<sub>60</sub>K<sub>60</sub> содержание его уменьшилось на 0,44% и составило 4,87 %, а в варианте N<sub>150</sub>P<sub>120</sub>K<sub>120</sub> – на 0,47 % и составило 4,66 %.

Последствие органических удобрений в дозе 40 т/га несколько снижали процессы минерализации (отмечено снижение содержания гумуса на 0,36 %). Повышение дозы навоза до 80 т/га способствовала дальнейшему снижению процессов минерализации (его содержание снизилось лишь на 0,15 %). Самые низкие значения снижения содержания гумуса отмечены на вариантах с внесением двойных доз минеральных удобрений на фоне после-

действия навоза. Этому способствует, на наш взгляд, увеличение массы корневых и пожнивных остатков за счёт роста урожайности.

Оптимальным для поддержания баланса гумуса в слое почвы 0-30 см является вариант с использованием минеральных удобрений в дозе  $N_{150}P_{120}K_{120}$  на фоне последействия 80 т/га навоза, где отмечено наименьшее снижение содержания гумуса (0,14 %) за 15 лет.

Таким образом, содержание гумуса в чернозёме типичном за 15-летний период заметно изменяется под действием удобрений. Так, во всех вариантах опыта процессы минерализации гумуса преобладают над процессами гумификации, что особенно выражено при внесении только минеральных удобрений.

Одним из основных показателей плодородия почв является содержание в почве минерального азота.

В органическом веществе почвы сосредоточено основное количество почвенного азота. Однако для растений данный азот непосредственно недоступен и об обеспеченности растений почвенным азотом судят по содержанию в почве минерального азота. От общего содержания азота в почве минеральные соединения азота составляют лишь 1-5%. Эти соединения представлены в основном нитратными и аммонийными формами азота, которые и обеспечивают питание растений.

Нитратный азот из пахотных горизонтов почв может вымываться атмосферными осадками и поливными водами в более глубокие слои, поэтому о динамике содержания нитратного азота в почве нужно судить не только в разрезе гумусово-аккумулятивного горизонта, но и нижних слоёв, вплоть до материнской породы. Кроме того, процесс миграции нитратного азота всегда сопровождается активной минерализацией органического вещества в верхних горизонтах и выносом минерального азота урожаем возделываемых культур.

Внесение азота в соответствии с потребностью в нём растений позволяет избежать избыточного накопления в почве нитратов, повышенное со-

держание которых, как известно, приводит к усилению его потерь вследствие процессов выщелачивания и денитрификации [146].

Определение минеральных форм азота в почвенных образцах показывает их содержание только для срока взятия образца и не даёт представления об обеспеченности растения почвенным азотом в течение вегетации. В связи с этим возникает необходимость определять минеральный азот в почве несколько раз за период вегетации растений, т.е. в динамике. Это позволяет рассчитать или корректировать дозы и сроки внесения азотных удобрений, проведение подкормок растений азотом [189].

В таблице 3.2 представлена информация о содержании минерального азота в почве в фазу кущения и в фазу полной спелости озимой пшеницы.

В результате исследований установлено, что в фазу кущения содержание минерального азота в слое почвы 0-20 см на контрольном варианте было минимальным и составило 7,2 мг/кг почвы. Внесение повышенных доз минеральных удобрений увеличило содержание минерального азота на 5,0 и 9,9 мг/кг или на 41 и 57,9 % по сравнению с неудобренным вариантом. Последействие навоза в дозе 40 и 80 т/га повысило содержание азота на 4,0 мг/кг или на 35,7 % и на 8,5 мг/кг или 54,1 % соответственно. Совместное действие двойной дозы минеральных удобрений и последействие навоза повышает содержание минерального азота на 41,7 %. В варианте  $N_{90}P_{60}K_{60+}$  навоз 40 т/га (последействие) его содержание увеличилось на 4,6 мг/кг или 39 %. В варианте  $N_{90}P_{60}K_{60+}$  навоз 80 т/га (последействие) содержание минерального азота было максимальным – 19,1 мг/кг, что на 11,9 мг/кг или 62,3 % больше значений контрольного варианта.

Содержание азота в слое почвы 0-20 см в фазу полной спелости культуры составляло 19,6-31,2 мг/кг. Минимальное содержание отмечено в варианте без внесения удобрений, внесение удобрений повысило его содержание. При внесении  $N_{90}P_{60}K_{60}$  увеличение составило 16,6 %, а при повышении дозы вдвое ( $N_{150}P_{120}K_{120}$ ) – 37,2 %.

Таблица 3.2 – Содержание минерального азота в почве в среднем за три года (2013-2015 гг.), мг/кг

Вариант	0-20 см		21-40 см		41-60 см		61-80 см		81-100 см	
	Фаза кущения	Фаза полной спелости	Фаза кущения	Фаза полной спелости	Фаза кущения	Фаза полной спелости	Фаза кущения	Фаза полной спелости	Фаза кущения	Фаза полной спелости
Контроль	7,2	19,6	9,8	14,9	5,9	12,9	25,7	19,0	14,8	15,0
N <sub>90</sub> P <sub>60</sub> K <sub>60</sub>	12,2	23,5	13	23,4	10,2	20,9	17,8	22,1	16,3	23,5
N <sub>150</sub> P <sub>120</sub> K <sub>120</sub>	17,1	31,2	16,2	23,2	8,5	27,9	9,8	20,2	10,2	29,2
Навоз 40*	11,2	22,9	9,6	11,7	7,1	11,1	14,5	27,4	21,4	17,0
N <sub>90</sub> P <sub>60</sub> K <sub>60</sub> + Навоз 40*	11,8	22,0	9,5	17,3	14,3	17,3	25,3	23,5	22,4	17,3
N <sub>150</sub> P <sub>120</sub> K <sub>120</sub> +Навоз 40*	12,3	21,3	9,3	23,0	21,4	23,0	36,1	29,2	23,4	19,2
Навоз 80**	15,7	25,4	15,1	13,2	15,9	11,3	20,2	19,9	21,4	16,8
N <sub>90</sub> P <sub>60</sub> K <sub>60</sub> +Навоз 80**	19,1	25,6	12,8	19,9	12,2	14,6	22,7	19,4	20,3	15,6
N <sub>150</sub> P <sub>120</sub> K <sub>120</sub> + Навоз 80**	12,4	25,6	10,5	26,7	8,5	13,9	15,1	18,2	19,2	14,0

Примечание: \*– последствие 40 т/га навоза; \*\*– последствие 80 т/га навоза



В вариантах с последствием навоза в дозе 40 т/га и 80 т/га его содержание составило 22,9 и 25,4 мг/кг почвы, что на 14,4 и 22,8 % соответственно выше, чем на контроле. Внесение минеральных удобрений в одной и двух дозах на фоне последствия 40 т/га навоза увеличивало содержание минерального азота по сравнению с контролем на 2,4 и 1,7 мг/кг почвы. Минеральные удобрения на фоне последствия 80 т/га навоза увеличивали содержание минерального азота на 6 мг/кг почвы по отношению к контролю.

В результате проведенных исследований установлено, что на посевах озимой пшеницы минимальное содержание минерального азота в почве в слое 0-20 см было в фазу кущения, а в фазу полной спелости постепенное увеличение с достижением максимальных величин.

Снижение содержания минерального азота в фазу кущения по вариантам, по сравнению с фазой полной спелости, выглядело следующим образом: на контроле – на 12,4 мг/кг или на 36,7 %;  $N_{90}P_{60}K_{60}$  – на 11,3 мг/кг или на 51,9 %;  $N_{150}P_{120}K_{120}$  – на 14,1 мг/кг или на 54,8 %; последствие 40 т/га навоза – на 11,7 мг/кг или на 48,9 %;  $N_{90}P_{60}K_{60}$  на фоне последствия 40 т/га навоза – на 10,2 мг/кг или на 53,6 %;  $N_{150}P_{120}K_{120}$  на фоне последствия 40 т/га навоза – на 9,0 мг/кг или на 57,7 %; последствие 80 т/га навоза – на 9,7 мг/кг или на 61,8 %;  $N_{90}P_{60}K_{60}$  на фоне последствия 80 т/га навоза – на 6,5 мг/кг или на 74,6 %;  $N_{150}P_{120}K_{120}$  на фоне последствия 80 т/га навоза – на 13,2 мг/кг или на 48,4 %.

Динамика содержания минерального азота в 0-20 см слое чернозема типичного в течение вегетации озимой пшеницы на всех изучаемых фонах питания имела общую направленность: весной, в фазу кущения, когда из-за повышенной влажности и низких температур микробиологические процессы ослаблены, а процессы аммонификации и нитрификации идут слабо, его содержание в почве низкое. К фазе полной спелости, когда потребление азота растениями практически прекращается, а нитрификации и аммонификации ещё достаточно активно протекают, содержание минерального азота в почве возрастает.

Кроме того, произошло и перераспределение содержания минерального азота в почве по слоям почвы. Основная часть минерального азота в фазу кущения локализуется в слоях 61-80 и 81-100 см, а в фазу полной спелости в слоях 0-20 и 61-80 см. Подробные данные о содержании форм азота приведены в приложениях А и Б.

Мы рассчитали запасы минерального азота в почве, которые представлены в таблице 3.3.

Из представленных данных видно, что в слое почвы 0-20 см в фазу кущения запасы минерального азота на контроле составили 14 кг/га, а в фазу полной спелости – 39 кг/га. Внесение удобрений увеличивает запасы минерального азота в фазу кущения до 38 кг/га, а фазу полной спелости до 52 кг/га. Разница между запасами минерального азота в слое 0-20 в фазу кущения пшеницы и в фазу полной спелости на контроле составила 25 кг/га, в вариантах с применением удобрений от 23 кг/га в варианте  $N_{90}P_{60}K_{60}$  до 14 кг/га в варианте  $N_{90}P_{60}K_{60}$ +навоз 80 т/га (последействие). Такая же тенденция наблюдается и в слое 21-40 см и 41-60 см. Однако в слое 61-80 и 81-100 см запасы азота в почве в фазу полной спелости выше, чем в фазу кущения.

В фазу кущения запасы минерального азота в метровом слое почвы в варианте с последействием навоза 80 т/га соответствовали запасам в фазу полной спелости, в остальных вариантах отмечено снижение. На контроле запасы уменьшились на 33 кг/га или на 20,9 %, а внесение минеральных удобрений способствовало максимальному его снижению. Так, в варианте  $N_{90}P_{60}K_{60}$  оно составило 87 кг/га или 38,8 %, а в варианте  $N_{150}P_{120}K_{120}$  – 140 кг/га или 53,6 %.

Таблица 3.3 – Запасы минерального азота в почве в среднем за три года (2013-2015 гг.), кг/га

Вариант	0-20 см		21-40 см		41-60 см		61-80 см		81-100 см		0-100 см	
	Фаза кущения	Фаза полной спелости	Фаза кущения	Фаза полной спелости	Фаза кущения	Фаза полной спелости	Фаза кущения	Фаза полной спелости	Фаза кущения	Фаза полной спелости	Фаза кущения	Фаза полной спелости
Контроль	14	39	19	26	12	25	51	38	29	30	125	158
N <sub>90</sub> P <sub>60</sub> K <sub>60</sub>	24	47	26	46	20	41	35	44	32	46	137	224
N <sub>150</sub> P <sub>120</sub> K <sub>120</sub>	34	62	32	46	17	55	18	40	20	58	121	261
Навоз 40*	22	45	19	23	14	22	28	54	42	34	125	178
N <sub>90</sub> P <sub>60</sub> K <sub>60</sub> + навоз 40*	23	44	19	35	28	34	50	46	44	34	154	193
N <sub>150</sub> P <sub>120</sub> K <sub>120</sub> + навоз 40*	24	42	19	46	42	46	72	58	46	38	203	230
Навоз 80**	31	51	30	26	31	22	40	39	42	33	174	171
N <sub>90</sub> P <sub>60</sub> K <sub>60</sub> + навоз 80**	38	52	25	39	24	25	38	38	41	31	166	185
N <sub>150</sub> P <sub>120</sub> K <sub>120</sub> + навоз 80**	24	52	21	53	17	27	30	36	38	28	130	196

Примечание: \*– последствие 40 т/га навоза; \*\*– последствие 80 т/га навоза

Причиной снижения запасов минерального азота может быть способность азота мигрировать по почвенному профилю, так как азот в нитратной форме не поглощается почвенно-поглощающим комплексом и значительная его часть теряется.

В вариантах с внесением минеральных удобрений на фоне последействия навоза разница между запасами азота в фазу кущения и полной спелости озимой пшеницы сглаживается.

Запасы минерального азота в почве в течение вегетации перераспределились по слоям. В фазу кущения запасы минерального азота в слое почвы 0-40 см составили от 65 кг/га на контроле до 105-108 кг/га в вариантах с внесением двойной дозы минеральных удобрений на фоне последействия 80 т/га навоза и при отдельном их внесении, что составляет 50,8 % от запасов в фазу полной спелости на контроле; 53,8 % – в варианте  $N_{90}P_{60}K_{60}$ ; 61,1 % – в варианте  $N_{150}P_{120}K_{120}$ ; 60,3 % – в варианте последействия 40 т/га навоза; 53,2% – в варианте  $N_{90}P_{60}K_{60}$ + навоз 40 т/га (последействие); 48,9 % – в варианте  $N_{150}P_{120}K_{120}$ +навоз 40т/га (последействие); 79,2 % – в варианте навоз 80 т/га (последействие); 69,2 % – в варианте  $N_{90}P_{60}K_{60}$ +навоз 80т/га (последействие); 42,9 % – в варианте  $N_{150}P_{120}K_{120}$ + навоз 80 т/га (последействие).

В слое 0-60 см разница между запасами в фазу кущения и фазу полной спелости увеличилась в вариантах с последействием навоза и совместном действии минеральных удобрений и последействии навоза. Весной запасы минерального азота в почве в слое 0-60 см составили 50,0 % к летним на контроле, 52,2 % – в варианте  $N_{90}P_{60}K_{60}$ ; 50,9 % – в варианте  $N_{150}P_{120}K_{120}$ ; 61,1 % – в варианте навоз 40 т/га (последействие); 61,9 % – в варианте  $N_{90}P_{60}K_{60}$ + навоз 40 т/га (последействие); 63,4 % – в варианте  $N_{150}P_{120}K_{120}$ + навоз 40 т/га (последействие); 92,9 % – в варианте навоз 80т/га (последействие); 75,0 % – в варианте  $N_{90}P_{60}K_{60}$ + навоз 80т/га (последействие); 47,0 % – в варианте  $N_{150}P_{120}K_{120}$ + навоз 80 т/га (последействие).

Данные проведенных исследований показывают, что в слое 0-40 см находится 21-55% запасов минерального азота от запасов в метровом слое в

фазу кущения и 38-54 % в фазу полной спелости. В слое 0-60 см содержится 36-69 % минерального азота весной и 57-67 % летом.

Следовательно, за весенне-летний период запасы минерального азота в почве перераспределяются по слоям. В фазу кущения наибольшие запасы минерального азота наблюдаются в слое 61-80, под влиянием удобрений запасы изменяются от 18 до 72 мг/кг почвы.

Озимая пшеница очень требовательна к плодородию почв, в частности к реакции почвенного раствора (оптимальное значение  $pH_{KCl}$  6-7). Даже при незначительных отклонениях нарушается поступление питательных веществ, рост растений затормаживается (корневая система озимой пшеницы слабо развивается, корешки укорачиваются и постепенно чернеют), особенно в начальные фазы развития пшеницы, ухудшается зимостойкость. Как следствие посевы изрежены, снижается устойчивость к различным заболеваниям, урожай и его качество снижается [21].

Таблица 3.4 – Реакция почвенного раствора в среднем за 2013-2015 гг.

Вариант	$pH_{KCl}$	Нг, мг-экв/100 г почвы	S, мг-экв/100 г почвы
Контроль	5,85	2,48	38,2
$N_{90}P_{60}K_{60}$	5,50	2,75	37,9
$N_{150}P_{120}K_{120}$	5,50	2,75	37,8
Навоз 40*	5,88	2,34	37,6
$N_{90}P_{60}K_{60}$ + навоз 40*	5,65	2,61	36,5
$N_{150}P_{120}K_{120}$ + навоз 40*	5,53	2,68	38,9
Навоз 80**	5,69	2,48	36,8
$N_{90}P_{60}K_{60}$ + навоз 80**	5,84	2,44	36,5
$N_{150}P_{120}K_{120}$ + навоз 80**	5,68	2,49	37,1

Примечание: \* – последствие 40 т/га навоза; \*\* – последствие 80 т/га навоза

Как видно из представленных данных, высокая насыщенность минеральными удобрениями привела к подкислению реакции почвенного раствора.

В вариантах внесения одинарных и двойных доз минеральных удобрений величина  $pH$  в пахотном слое чернозема типичного снижалась с 5,85 до 5,50.

Положительное влияние на изменение реакции почвенного раствора оказало последствие органические удобрения и внесение минеральных

удобрений на фоне последствия навоза. Так, последствие 40 т/га навоза приблизило значение реакции почвенного раствора к нейтральной – 5,88, а последствие двойной дозы навоза заметно снижает её – на 0,19 ед.

Следовательно, минеральные удобрения способствуют подкислению реакции почвенной среды, а органические удобрения стабилизируют этот показатель.

Минеральные удобрения увеличивали показатель гидролитической кислотности относительно контроля на 0,27 мг-экв/100 г почвы. Последствие навоза в дозе 40 т/га обеспечило снижение гидролитической кислотности до 0,14 мг-экв/100 г почвы по сравнению с контролем. Внесение минеральных удобрений в одной и двух дозах на фоне последствия 40 т/га навоза повысили гидролитическую кислотность относительно контроля на 0,13 и 0,20 мг-экв/100 г почвы. На вариантах с последствием 80 т/га навоза как в чисто виде, так и на фоне минеральных удобрений показатель Нг находился на уровне контроля.

Под действием удобрений сумма поглощенных оснований изменялась незначительно. При внесении минеральных удобрений в одной и двух дозах эта величина снизилась всего лишь с 38,2 до 37,9 и 37,8 мг-экв./100 г.

Последствие навоза в дозе 40 т/га также способствовало незначительному снижению суммы поглощённых оснований (на 0,6 мг-экв/100 г почвы). Последствие навоза в дозе 80 т/га способствовало несколько большему её снижению (на 1,4 мг-экв/100 г почвы).

При внесении минеральных удобрений на фоне последствия 40 и 80 т/га навоза сумма поглощенных оснований относительно варианта без внесения удобрений уменьшилась на одинаковую величину – 1,7 мг-экв/100 г почвы.

На варианте с внесением двойной дозы минеральных удобрений на фоне последствия 40 т/га навоза величина суммы поглощённых оснований была равна контрольному варианту. В варианте с максимальной дозой удоб-

рений ( $N_{150}P_{120}K_{120+}$  навоз 80 т/га (последствие)) этот показатель снизился на 1,1 мг-экв/100 г почвы.

В результате наших исследований установлено, что минеральная система удобрений озимой пшеницы повышает обменную и гидролитическую кислотность при одновременном снижении суммы поглощённых оснований, усиливает процессы минерализации гумуса, повышает запасы минерального азота в почве. Так, за 15-ти летний период содержание гумуса под влиянием минеральных удобрений и последствие органических удобрений уменьшилось по сравнению с контрольным вариантом. Однако минимальное снижение этого показателя отмечается в вариантах с внесением  $N_{150}P_{120}K_{120}$  на фоне последствия 40 и 80 т/га навоза.

Максимальные запасы минерального азота в слое 0-100 см отмечены при внесении  $N_{150}P_{120}K_{120}$  в чистом виде и на фоне последствия 40 т/га навоза.

Минеральная система удобрений в большей степени способствует подкислению реакции почвенного раствора.

## **3.2 Агрохимические и экологические аспекты возделывания озимой пшеницы в условиях юго-западной части ЦЧЗ**

### **3.2.1 Влияние удобрений на накопление кадмия в почве**

Кадмий считается одним из опасных токсикантов окружающей среды. Содержание кадмия в почвах на порядок меньше, чем его содержание в растениях, например, в черноземе оно составляет  $1 \cdot 10^{-5}$  %. Содержание кадмия в почве на уровне 5 мг/кг снижает продуктивность сельскохозяйственных культур в 2 раза, а период его полувыведения из почвы достигает 1100 лет [9].

По данным П.М. Авраменко и С.В. Лукина (2001) фоновое содержание валовых форм кадмия в пахотном горизонте черноземных почв естественных ландшафтов составляет 0,33-0,35 мг/кг [3].

Интенсивное применение в сельском хозяйстве минеральных удобрений, химических средств защиты растений обострили экологическую про-

блему состояния пашни. В удобрениях кадмий находится в основном в подвижном состоянии и легкодоступен растениям. Этим и объясняется незначительное повышение содержания его в почве при существенном повышении количества кадмия в растениях. С фосфорными удобрениями в течение года в почву поступает кадмия в 2-3 раза больше, чем потребляют растения. Фосфорные удобрения являются источником поступления кадмия в почву, так за их счётежегодный прирост составляет 0,15% [63, 115].

В Белгородской области среднее содержание кадмия в навозе КРС (влажность 60 %) составляет 0,11 мг/кг, в аммиачной селитре – 0,04 мг/кг в азофоске (16:16:16) – 0,1 мг/кг [179].

Мощным аккумулятором загрязняющих веществ, в том числе и тяжёлых металлов, служит почва. Из почвы растения поглощают до 70% кадмия, а из воздуха лишь 30%, следовательно, что позволяет считать растительную пищу основным источником кадмиевой интоксикации живых организмов [136].

Мы провели анализ изменения содержания кадмия в почве от доз минеральных и органических удобрений.

В таблице 3.5. представлено содержание валовых форм кадмия в черноземе типичном.

Таблица 3.5 – Содержание валовых форм кадмия в слое почвы 0-30 см, (среднее за 2013-2015 гг.), мг/кг

Вариант	Фаза кущения	Фаза полной спелости
Контроль	0,72	0,72
N <sub>90</sub> P <sub>60</sub> K <sub>60</sub>	0,75	0,76
N <sub>150</sub> P <sub>120</sub> K <sub>120</sub>	0,78	0,81
Навоз 40	0,62	0,64
N <sub>90</sub> P <sub>60</sub> K <sub>60</sub> + навоз 40	0,73	0,78
N <sub>150</sub> P <sub>120</sub> K <sub>120</sub> + навоз 40	0,78	0,83
Навоз 80	0,68	0,83
N <sub>90</sub> P <sub>60</sub> K <sub>60</sub> + навоз 80	0,86	0,86
N <sub>150</sub> P <sub>120</sub> K <sub>120</sub> + навоз 80	0,86	0,91
<b>ОДЖ</b>	<b>1,0</b>	

Примечание: \* – последствие 40 т/га навоза; \*\* – последствие 80 т/га навоза



Данные таблицы показывают, что содержание кадмия ниже ОДК во всех вариантах и составляет от 0,62 мг/кг в варианте с последствием 40 т/га навоза до 0,86 мг/кг в вариантах с внесением минеральных удобрений в одной и двух дозах на фоне последствия 80 т/га навоза рано весной и от 0,64 мг/кг в варианте с последствием 40 т/га навоза до 0,91 мг/кг в варианте внесения  $N_{150}P_{120}K_{120}$  на фоне навоза в дозе 80 т/га в фазу полной спелости. Даже при систематическом ежегодном внесении двойных доз минеральных удобрений ( $N_{150}P_{120}K_{120}$ ) содержание валовых форм кадмия увеличилось весной на 0,06 мг/кг или на 7,7%, летом – на 0,11 мг/кг почвы или на 11,1 %, по сравнению с их содержанием в почве абсолютного контроля.

Следовательно, внесение минеральных и органических удобрений за длительный период не способствуют значительному накоплению валовых форм кадмия в почве.

Валовые формы кадмия являются относительно малоподвижными, за счет активной фиксации мелкодисперсными частицами почвы и органическими комплексами в структуре органоминеральных соединений, поэтому наибольший интерес представляет изучение подвижных форм кадмия. Количество подвижных форм кадмия в почве непостоянно. Оно меняется за счёт разрушения минералов, выноса с урожаем растений, деятельности микроорганизмов, метеорологических условий, а также проявляется в сезонном изменении концентраций тяжелых металлов по профилю почвы.

В работах ряда авторов показано, что тяжелые металлы концентрируются в самом верхнем слое почвы. Тяжелые металлы, в отличие от многих других техногенных загрязняющих веществ, практически не подвергаются физико-химическому или биологическому разрушению. Кроме того, они медленно удаляются при выщелачивании, потреблении растениями, эрозии и дефляции. Это приводит к снижению плодородия почв, существенному уменьшению урожая и значительному ухудшению его качества [8, 59, 62].

Содержание подвижных форм кадмия в чернозёме типичном представлено в таблице 3.6.

Таблица 3.6 – Содержание подвижных форм кадмия в почве (слой 0-30 см) в среднем за 2013-2015 гг., мг/кг

Вариант	Фаза кушения	Фаза полной спелости
Контроль	0,17	0,16
N <sub>90</sub> P <sub>60</sub> K <sub>60</sub>	0,13	0,13
N <sub>150</sub> P <sub>120</sub> K <sub>120</sub>	0,14	0,11
Навоз 40*	0,13	0,12
N <sub>90</sub> P <sub>60</sub> K <sub>60</sub> +навоз 40*	0,16	0,17
N <sub>150</sub> P <sub>120</sub> K <sub>120</sub> +навоз 40*	0,14	0,10
Навоз 80**	0,12	0,11
N <sub>90</sub> P <sub>60</sub> K <sub>60</sub> +навоз 80**	0,12	0,11
N <sub>150</sub> P <sub>120</sub> K <sub>120</sub> +навоз 80**	0,16	0,12

Примечание: \* – последствие 40 т/га навоза; \*\* – последствие 80 т/га навоза

Согласно представленным в таблице 3.6 данным, содержание подвижных форм кадмия в слое почвы 0-30 см по вариантам опыта колеблется от 0,12 до 0,16 мг/кг весной и от 0,10 до 0,17 мг/кг в фазу полной спелости, что составляет 14,0-18,6 и 12,8-21,8 % от валового содержания элемента.

Содержание подвижных форм кадмия в варианте без внесения удобрений существенно не отличалось по фазам вегетации озимой пшеницы и в слое почвы 0-30 см в среднем за три года составило на контроле – 0,16- 0,17 мг/кг.

Весной, в фазу кушения, внесение минеральных удобрений в дозе N<sub>90</sub>P<sub>60</sub>K<sub>60</sub> и N<sub>150</sub>P<sub>120</sub>K<sub>120</sub> привело к снижению содержания подвижного кадмия до 0,13 и 0,14 мг/кг почвы соответственно. Это связано, на наш взгляд, с образованием нерастворимых соединений с ортофосфорной кислотой.

В вариантах с последствием 40 т/га и 80 т/га навоза содержание подвижных форм кадмия составило 0,13 и 0,12 мг/кг почвы соответственно, что на 0,04-0,05 мг/кг ниже по сравнению с контролем. Это, видимо, связано с образованием органо-минеральных соединений с кадмием.

В вариантах с внесением минеральных на фоне последствия навоза, как при одинарных, так и при двойных дозах содержание кадмия не превышало уровня контрольного варианта и составило от 0,12 до 0,16 мг/кг почвы.

Анализ почвенных образцов, отобранных в фазу полной спелости, показывает, что содержание подвижных форм кадмия в почве на контроле со-

ставило 0,16 мг/кг. В вариантах с внесением минеральных удобрений, последствием навоза и внесением минеральных удобрений на фоне последствие навоза его содержание изменялось от 0,10 до 0,17 мг/кг почвы.

Следовательно, как в весенний период (фаза кущения), так и летом (фаза полной спелости) содержание подвижных форм кадмия изменяется незначительно. Внесение минеральных удобрений, органических удобрений и внесение минеральных удобрений на фоне последствие навоза за длительный период не приводит к увеличению подвижных форм кадмия в почве и, следовательно, не оказывает отрицательного влияния на агроэкологическое состояние почвы.

В результате высокой подвижности катионов тяжелых металлов в корни растений поступает избыточное их количество. В таком случае мембраны клеток их просто не выдерживают и клеточные механизмы перестают регулировать поступление катионов тяжелых металлов, что приводит к их накоплению в растениях и угнетению растений, и, как следствие, потере урожая и его качества [166].

Для оценки влияния средств химизации на превращения кадмия в почве нами рассчитан коэффициент его подвижности, который представлен в таблице 3.7.

Таблица 3.7 – Коэффициент подвижности кадмия в среднем за 2013-2015 гг., %

Вариант	Фаза кущения	Фаза полной спелости
Контроль	23,6	22,2
N <sub>90</sub> P <sub>60</sub> K <sub>60</sub>	17,3	17,1
N <sub>150</sub> P <sub>120</sub> K <sub>120</sub>	17,9	13,6
Навоз 40*	21,0	18,8
N <sub>90</sub> P <sub>60</sub> K <sub>60</sub> +навоз 40*	21,9	21,8
N <sub>150</sub> P <sub>120</sub> K <sub>120</sub> +навоз 40*	17,9	12,0
Навоз 80**	17,6	13,3
N <sub>90</sub> P <sub>60</sub> K <sub>60</sub> +навоз 80**	14,0	12,8
N <sub>150</sub> P <sub>120</sub> K <sub>120</sub> +навоз 80**	18,6	13,2

Примечание: \* – последствие 40 т/га навоза; \*\* – последствие 80 т/га навоза

Анализ данных таблицы показывает, что коэффициент подвижности кадмия на контрольном варианте весной несколько выше, чем летом и в

среднем за три года он составил 23,6 и 22,2 % соответственно. Внесение минеральных удобрений в одной и двух дозах оказало положительное влияние на снижение коэффициента подвижности. Так, в вариантах  $N_{90}P_{60}K_{60}$  и  $N_{150}P_{120}K_{120}$  он составил 17,3 и 17,9 % соответственно, что ниже по сравнению с контролем.

Последствие 40 т/га навоза снижало коэффициент подвижности кадмия весной на 2,6 % по сравнению с контролем. В варианте  $N_{90}P_{60}K_{60}$  + навоз 40 т/га (последствие) коэффициент подвижности составил 21,9 %, что на 1,7 % ниже, чем в варианте без внесения удобрений. Применение двойной дозы минеральных удобрений на фоне последствия 40 т/га навоза способствовало снижению коэффициента подвижности кадмия до 17,9 %. Последствие двойной дозы навоза, а также внесение  $N_{90}P_{60}K_{60}$  и  $N_{150}P_{120}K_{120}$  на фоне последствия двойной дозы навоза снижали коэффициент подвижности кадмия до 17,6; 14,0 и 18,6 %, что на 6,0; 9,6 и 5,0 % ниже значений контрольного варианта.

Положительное действие навоза и минеральных удобрений на снижение коэффициента подвижности кадмия объясняется тем, что одновременно с образованием карбонатов и бикарбонатов в почве образуются и комплексные соединения кадмия с органическим веществом почвы и фосфат ионами.

В фазу полной спелости озимой пшеницы коэффициент подвижности кадмия на контрольном варианте составил 22,2 %, что незначительно ниже, чем в весенний период. Такая же тенденция наблюдалась в вариантах с внесением минеральных удобрений и внесением минеральных удобрений на фоне последствия навоза. Однако в вариантах  $N_{150}P_{120}K_{120}$  + навоз 40 т/га (последствие); в варианте навоз 40 т/га (последствие); в варианте  $N_{90}P_{60}K_{60}$  + навоз 80 т/га (последствие) и в варианте  $N_{150}P_{120}K_{120}$  + навоз 80 т/га (последствие) коэффициент подвижности кадмия снизился до 12,0; 13,3; 12,8 и 13,2 % соответственно.

Снижение коэффициента подвижности может быть обусловлено изменением среды почвенного раствора в результате гидролиза вносимых удоб-

рений. Кроме этого повышенные дозы комплексных удобрений снижают подвижность кадмия в результате образования нерастворимых соединений с фосфат ионами.

Таким образом, на контрольном варианте, в варианте  $N_{90}P_{60}K_{60}$  и в варианте с внесением минеральных удобрений в дозе  $N_{90}P_{60}K_{60}$  на фоне последействия 40 т/га навоза в фазу полной спелости озимой пшеницы коэффициент подвижности кадмия снизился по сравнению с весенним периодом незначительно. Однако в вариантах  $N_{150}P_{120}K_{120}$ ;  $N_{150}P_{120}K_{120}$  + навоз 40 т/га (последействие); навоз 80 т/га (последействие);  $N_{90}P_{60}K_{60}$  + навоз 80 т/га (последействие) и в варианте  $N_{150}P_{120}K_{120}$  + навоз 80 т/га (последействие) коэффициент подвижности кадмия снизился до 13,6; 12,0; 13,3; 12,8 и 13,2 % соответственно. Это связано, прежде всего, с окислительно-восстановительными процессами происходящими в почве под воздействием удобрений, климатическими условиями и действием самих растений в процессе их питания.

Наибольшее снижение подвижности кадмия обусловлено совместным действием двойной дозы минеральных удобрений на фоне последействия 40 т/га и 80 т/га навоза, а также последействием двойной дозы навоза (80 т/га) и внесение  $N_{90}P_{60}K_{60}$  на фоне последействия двойной дозы навоза.

Следовательно, длительное внесение минеральных и органических удобрений не способствует повышению содержания валового кадмия в почве. Внесение минеральных и последействие органических удобрений приводят к снижению содержания подвижного кадмия в почве на 0,01-0,05 мг/кг.

Внесение минеральных, последействие органических и внесение минеральных удобрений на фоне последействия навоза снижает коэффициент подвижности кадмия по отношению к контролю.

Подводя итог, можно отметить, что внесение минеральных и последействие органических удобрений не оказало значительного влияния на содержание валовых форм кадмия в почве и не привело к увеличению подвижных форм данного элемента.

Коэффициент подвижности кадмия при внесении минеральных удобрений и при внесении их на фоне последствия навоза снижается.

### 3.2.2 Влияние удобрений на урожайность и качество зерна озимой пшеницы

На формирование урожайности озимой пшеницы большое влияние оказывают природно-климатические условия, культура земледелия, агротехника и технология выращивания культуры, внесение удобрений и т.д. Определяющим фактором при получении высоких стабильных урожаев зерна культуры является, прежде всего, обеспечение растений элементами питания и водой [109, 133, 158, 170, 172].

В таблице 3.8. приведены результаты исследований зависимости урожайности озимой пшеницы от доз применяемых удобрений.

Как показывают исследования, на урожайность озимой пшеницы оказывают влияние дозы внесенных минеральных удобрений и последствие органических удобрений, а также погодные условия.

Таблица 3.8 – Урожайность озимой пшеницы за 2013-2015 гг., т/га

Вариант	2013 г.		2014 г.		2015 г.		В среднем за 3 года	
	Урожайность	Прибавка	Урожайность	Прибавка	Урожайность	Прибавка	Урожайность	Прибавка
Контроль	3,67	-	3,90	-	3,80	-	3,79	-
N <sub>90</sub> P <sub>60</sub> K <sub>60</sub>	4,47	0,80	5,30	1,40	5,20	1,40	4,99	1,20
N <sub>150</sub> P <sub>120</sub> K <sub>120</sub>	5,10	1,43	6,00	2,10	5,30	1,50	5,47	1,68
Навоз 40*	4,13	0,46	4,30	0,40	4,30	0,50	4,24	0,45
N <sub>90</sub> P <sub>60</sub> K <sub>60</sub> + навоз 40*	4,53	0,86	4,90	1,00	4,50	0,70	4,64	0,85
N <sub>150</sub> P <sub>120</sub> K <sub>120</sub> + навоз 40*	4,80	1,13	6,30	2,40	5,20	1,40	5,43	1,64
Навоз 80**	4,43	0,76	4,60	0,70	4,20	0,40	4,41	0,62
N <sub>90</sub> P <sub>60</sub> K <sub>60</sub> + навоз 80**	4,93	1,26	5,40	1,50	5,40	1,60	5,24	1,45
N <sub>150</sub> P <sub>120</sub> K <sub>120</sub> + навоз 80**	5,50	1,83	6,80	2,90	5,60	1,80	5,97	2,18
<b>НСР<sub>0,05</sub></b>	<b>0,13</b>		<b>0,10</b>		<b>0,15</b>			

Примечание: \* – последствие 40 т/га навоза; \*\* – последствие 80 т/га навоза

На контрольном варианте в 2013 году урожайность озимой пшеницы составила 3,67 т/га, при внесении  $N_{90}P_{60}K_{60}$  – 4,47 т/га, прибавка к контролю составила 0,80 т/га. Двойная доза минеральных существенно повысила урожайность озимой пшеницы до 5,10 т/га, в этом случае прибавка составила 1,43 т/га. Последствие от внесения органических удобрений в дозах 40 и 80 т/га повысило урожайность в 1,1 и 1,2 раза соответственно, по сравнению с контролем.

Внесение минеральных удобрений на фоне последствия навоза наиболее эффективно сказывается на урожайности озимой пшеницы. Так, при внесении одинарных доз минеральных удобрений ( $N_{90}P_{60}K_{60}$ ) на фоне последствия 40 т/га навоза прибавка составила 0,86 т/га, а увеличение дозы навоза вдвое повысило урожайность на 31,7 %, прибавка составила 1,26 т/га.

Внесение двойной дозы минеральных удобрений на фоне навоза также способствовали увеличению урожайности. Наибольшая прибавка урожая (1,83 т/га) достигается при внесении двойной дозы минеральных удобрений на фоне последствия 80 т/га навоза.

Самая высокая урожайность озимой пшеницы была получена в 2014 году и на контрольном варианте составила 3,90 т/га.

Внесение минеральных удобрений в одинарных дозах повышало урожайность до 5,30 т/га. Применение двойных доз минеральных удобрений способствовало дальнейшему росту урожайности озимой пшеницы на 0,70 т/га по сравнению с одинарными дозами.

Последствие органических удобрений оказывало незначительное влияние на повышение урожайности культуры относительно вариантов без удобрений, где прибавки соответственно составляли 0,40 и 0,70 т/га при урожае 4,30 и 4,60 т/га.

Применение одинарных доз минеральных удобрений на фоне последствия навоза в одной и двух дозах позволило получить 4,90 и 5,40 т/га соответственно. При внесении двойных доз минеральных удобрений на фоне

последствия органических урожайность составила 6,30 и 6,80 т/га соответственно.

На контрольном варианте в 2015 году урожайность озимой пшеницы составила 3,80 т/га. Внесение минеральных удобрений в одной и двух дозах урожайность повысилась на 26,9 и 28,3 % соответственно.

За счет действия навоза урожайность повысилась в среднем на 1,11 т/га или на 9,5%. При этом, повышение дозы навоза не оказало влияние на урожайность.

На вариантах применения минеральных удобрений на фоне последствия навоза в одной и двух дозах урожайность пшеницы составила 4,50 и 5,20 т/га соответственно, при урожайности на контроле 3,80 т/га. Совместное действие NPK и последствие 80 т/га навоза повысило урожайность зерна до 5,40 и 5,60 т/га, или на 27,5 и 36,3 % соответственно.

При анализе урожайности озимой пшеницы за три года исследований была установлена зависимость данного показателя от удобрений. Так, на контрольном варианте урожайность составила 3,79 т/га, внесение минеральных удобрений в одной и двух дозах увеличило её на 24,1 и 30,7 % соответственно. В вариантах с последствием навоза в дозах 40 т/га и 80 т/га и внесении  $N_{90}P_{60}K_{60}$  на фоне последствия 40 т/га навоза урожайность повысилась всего лишь на 10,6; 14,1 и 18,3 %, по сравнению с контролем. Существенное увеличение (на 36,5 %) относительно контроля было установлено в варианте  $N_{150}P_{120}K_{120}$  на фоне последствия 80 т/га навоза.

Сравнение величины урожайности озимой пшеницы по годам и в среднем за три года показало значительные колебания её величины. Эффективность применения удобрений проявлялась во все годы, а наиболее благоприятным для формирования урожая озимой пшеницы оказался 2013-2014 сельскохозяйственный год. Хотя сумма осадков составила всего 410 мм, что ниже среднемноголетнего значения на 14,6%, в критические периоды роста и развития растений в почве было достаточно влаги. Среднегодовая температура была равна 7,7 °С, что больше среднемноголетних значений на 2,5 °С.



При анализе действия различных доз минеральных удобрений, последствие навоза, и минеральных удобрений на фоне последствие навоза, в среднем за годы исследований была отмечена наименьшая эффективность от последствие органических удобрений в дозе 40 т/га и наибольшая – от внесения  $N_{150}P_{120}K_{120}$  на фоне последствие навоза в дозе 80 т/га, где прибавки урожая озимой пшеницы по отношению к контролю составили соответственно 12,5 и 28,8%.

Озимая пшеница – важнейшая продовольственная культура, поскольку зерно озимой пшеницы считается высококачественным питательным продуктом.

Основным показателем качества зерна пшеницы является его биохимический состав: количество белков, их аминокислотный состав, содержание крахмала и витаминов. Пищевую ценность пшеницы определяет содержание белка. В зерне озимой пшеницы содержится 11-20% белка, 63-74% крахмала, около 2% жира и столько же клетчатки и золы [21].

В настоящее время важнейшая народнохозяйственная задача заключается в том, чтобы, наряду с повышением урожайности пшеницы, улучшить качество ее зерна. Решение этой задачи возможно только путем устранения причин ухудшения качества пшеницы, которые кроются в четко обозначившемся в последние годы снижении эффективного плодородия почв, в обеднении их легкоподвижными питательными веществами, в частности нитратного азота, который в первую очередь определяет накопление в зерне белков и клейковины.

Климатические условия выращивания пшеницы также оказывают влияние на содержание белка в зерне. С запада на восток и с севера на юг европейской части страны его содержание увеличивается. Влажность и температура почвы и почвенного воздуха играют решающую роль в биосинтезе белка в растениях. Так в засушливые годы урожайность пшеницы может снижаться, а содержание белка – увеличиваться, а во влажные – наоборот [138].

Общеизвестно, что минеральные удобрения положительно влияют на урожай и качество зерна озимой пшеницы: азот, главным образом в форме аммиачных удобрений, участвует в образовании белковых веществ; фосфор необходим как элемент питания и для более полного усвоения азота, необходимого для активизации синтеза белков; калий способствует синтезу белков, принимает участие в образовании углеводов, хлорофилла, каротина и других веществ [120, 131, 158, 159].

Обеспечение в ключевые периоды – фазы кущение, рост стебля и непосредственно перед колошением растений озимой пшеницы достаточным количеством азота обязательно для повышения содержания белка и клейковины в зерне. Применение азотных удобрений является наиболее эффективным приемом повышения содержания белка и сырой клейковины [18, 141].

Внесение навоза положительно влияет на урожайность озимой пшеницы, однако, не всегда благоприятно сказывается на качестве зерна [49].

Высокое содержание органического вещества и его запасы с повышением уровня увлажнения усиливают подвижность фосфора [149].

Весенняя подкормка азотными минеральными удобрениями считается неотъемлемым мероприятием для повышения урожайности и качества зерна озимой пшеницы [172, 175, 186].

Исследованиями Г.И. Уварова и А.П. Карабутова (2013) установлено, что накопление общего и нитратного азота в почве повышает содержание протеина и азота, однако снижает содержание калия в зерне. Содержание фосфора в зерне находится в сильной прямой связи с нитрификационной способностью почвы и содержанием гидролизуемого азота. Содержание общего азота в растениях озимой пшеницы зависит и от уровня увлажненности, в более засушливые годы его содержание повышается [174].

Данные таблицы 3.9 свидетельствуют о содержании основных элементов питания в зерне озимой пшеницы.

Анализ химического состава зерна озимой пшеницы показывает о том, что с повышением уровня удобренности изменяется содержание элементов питания.

Больше всего в зерне озимой пшеницы содержится азота и фосфора, так как эти элементы входят в состав белковых молекул.

Таблица 3.9 – Химический состав зерна озимой пшеницы в среднем за 2013-2015 гг.

Вариант	Азот, %	Фосфор, %	Калий, %	Кальций, %	Нитраты, мг/кг
Контроль	2,12	0,36	0,35	0,06	17,08
N <sub>90</sub> P <sub>60</sub> K <sub>60</sub>	2,15	0,32	0,35	0,07	17,88
N <sub>150</sub> P <sub>120</sub> K <sub>120</sub>	2,59	0,35	0,32	0,07	20,52
Навоз 40*	2,13	0,35	0,32	0,06	22,48
N <sub>90</sub> P <sub>60</sub> K <sub>60</sub> +навоз 40*	2,36	0,41	0,38	0,06	22,48
N <sub>150</sub> P <sub>120</sub> K <sub>120</sub> +навоз 40*	2,27	0,45	0,35	0,07	19,60
Навоз 80**	2,10	0,36	0,32	0,07	20,52
N <sub>90</sub> P <sub>60</sub> K <sub>60</sub> +навоз 80**	2,20	0,44	0,38	0,08	26,44
N <sub>150</sub> P <sub>120</sub> K <sub>120</sub> +навоз 80**	2,35	0,37	0,35	0,07	27,68

Примечание: \* – последствие 40 т/га навоза; \*\* – последствие 80 т/га навоза

Изучаемые в опыте системы удобрения способствовали изменению содержания азота в зерне озимой пшеницы. В контрольном варианте отмечено минимальное содержание азота в зерне – 2,12 %, внесение минеральных удобрений в дозе N<sub>90</sub> P<sub>60</sub> K<sub>60</sub> незначительно повысили содержание азота в зерне.

В среднем по опыту самые высокие показатели содержания этого элемента в зерне изучаемой культуры – 2,59 % были отмечены в варианте N<sub>150</sub> P<sub>120</sub> K<sub>120</sub>, где разница по сравнению с контрольным вариантом составила 0,47 %.

Последствие навоза снижало содержание азота в зерне озимой пшеницы до 2,13 % и 2,10 %, что ниже значений контрольного варианта в среднем на 0,2 % и на 0,46 % ниже значений варианта N<sub>150</sub> P<sub>120</sub> K<sub>120</sub>. При внесении минеральных удобрений на фоне последствия навоза также отмечается уменьшение содержания азота в зерне по сравнению с внесением двойной дозы минеральных удобрений.

Содержание фосфора в зерне озимой пшеницы в среднем за 3 года исследований варьировало в пределах 0,32-0,45 %. Максимальные значения его содержания были получены в варианте  $N_{150}P_{120}K_{120}$  + навоз 40 т/га (последействие) – 0,45 % и в варианте  $N_{90}P_{60}K_{60}$  + навоз 80 т/га (последействие) – 0,44 %. Применение минеральных на фоне органических существенно повышает содержание фосфора в сравнении с минеральными удобрениями на 0,11 %, в сравнении с органическими – на 0,09 %.

В варианте с внесением минеральных удобрений в дозе  $N_{150}P_{120}K_{120}$  на фоне последействия 80 т/га навоза отмечено снижение содержания  $P_2O_5$  по сравнению с вариантами, где вносились минеральные удобрения в дозе  $N_{90}P_{60}K_{60}$  на фоне последействия 80 т/га и 40 т/га навоза, а также  $N_{150}P_{120}K_{120}$  на фоне последействия 40 т/га навоза на 0,07; 0,04 и 0,09 % соответственно. Это может быть связано с эффектом разбавления, так как в этом варианте получена максимальная прибавка урожая.

Содержание фосфора в растениях озимой пшеницы зависит не только от удобрений, но и от увлажненности периода исследований. Чем менее увлажнен год, тем выше содержание элемента в растениях.

На абсолютном контроле в зерне калия содержится в среднем 0,35 %. Содержание калия в зерне озимой пшеницы при внесении удобрений находилось приблизительно на одном уровне и превышало показатели контроля на 0,03 % в вариантах  $N_{90}P_{60}K_{60}$  + навоз 40 (последействие) и  $N_{90}P_{60}K_{60}$  + навоз 80 т/га (последействие).

Внесение удобрений достоверно не влияло на содержание кальция в зерне и соломе. В зерне содержание кальция изменяется при совместном внесении минеральных удобрений и навоза в дозе 80 т/га (увеличение в 1,2 раза).

Внесение минеральных и последействие навоза, а также внесение минеральных удобрений на фоне последействия навоза не зависимо от доз внесения, увеличивали содержание нитратного азота в зерне озимой пшеницы по сравнению с контролем. Минеральные удобрения в дозе  $N_{90}P_{60}K_{60}$  привели к минимальному повышению содержания нитратов в зерне – на 0,80 мг/кг.

В варианте  $N_{90}P_{60}K_{60}$  + навоз 80 т/га (последствие) и в варианте  $N_{150}P_{120}K_{120}$  + навоз 80 т/га (последствие) содержание нитратов было максимальным и составило 26,44 мг/кг и 27,68 мг/кг, что существенно выше значений контрольного варианта – на 9,36 мг/кг и 10,6 мг/кг, что ниже уровня ПДК (300 мг/кг).

Данные о химическом составе соломы представлены в таблице 3.10.

Таблица 3.10 – Химический состав соломы озимой пшеницы в среднем за 2013-2015 гг.

Вариант	Азот, %	Фосфор, %	Калий, %	Кальций, %	Нитраты, мг/кг
Контроль	0,62	0,040	1,08	0,30	208,9
$N_{90}P_{60}K_{60}$	0,43	0,014	0,84	0,30	217,5
$N_{150}P_{120}K_{120}$	0,47	0,062	1,12	0,31	282,0
Навоз 40*	0,59	0,070	1,20	0,24	190,5
$N_{90}P_{60}K_{60}$ +навоз 40*	0,88	0,078	0,90	0,27	205,0
$N_{150}P_{120}K_{120}$ +навоз 40*	0,78	0,094	0,94	0,28	213,8
Навоз 80**	0,63	0,102	1,00	0,32	282,0
$N_{90}P_{60}K_{60}$ +навоз 80**	0,86	0,062	1,16	0,31	355,0
$N_{150}P_{120}K_{120}$ +навоз 80**	0,92	0,078	1,08	0,32	468,0

Примечание: \* – последствие 40 т/га навоза; \*\* – последствие 80 т/га навоза

Больше всего в соломе озимой пшеницы накапливалось калия. Его содержание колебалось в пределах 0,84 % в варианте  $N_{90}P_{60}K_{60}$  до 1,20 % в варианте с последствием навоза 40 т/га. По сравнению с его содержанием на контроле разница составила 0,12- 0,24 %. Следовательно, внесение удобрений в среднем за три года не оказали существенного влияния на изменение содержания калия в растениях озимой пшеницы. Это может быть связано с тем, что потребление растениями калия в значительной степени обусловлено запасами его в почве, а так как почвы нашего опытного участка характеризуются высокой обеспеченностью калием, то эффект от внесения удобрений был незначительный.

Незначительные изменения содержания калия в зерне и соломе может быть связано и с тем, что в растении калий распределен неравномерно: его больше в молодых жизнедеятельных частях и органах растения, чем в старых. При недостатке калия в питательной среде происходит отток его из более старых органов и тканей в молодые растущие органы, где он подвергается-

ся повторному использованию (реутилизации). Исследованиями В.И. Ковтун и Л.Н. Ковтун (2013) установлено, что в пыльце содержится значительное его количество [69].

Как и все основные элементы питания, содержание калия в растениях озимой пшеницы в некоторой степени зависит от увлажненности периода исследований. В менее увлажненные годы содержание калия в растениях озимой пшеницы возрастает.

На изменение содержания кальция в соломе озимой пшеницы удобрения практически не влияли. Его содержание в соломе удобренных и неудобренных растений было примерно одинаковым и изменялось от 0,24 до 0,32 %.

Существенному увеличению содержания азота в соломе озимой пшеницы способствовало внесение минеральных удобрений на фоне навоза. Содержание азота в соломе варьировало от 0,43-0,47 % в вариантах с внесением минеральных удобрений до 0,92 % в варианте  $N_{150}P_{120}K_{120}$  + навоз 80 т/га (последствие). Последствие навоза в дозе 40 и 80 т/га не оказало влияния на изменение содержания азота в соломе.

В соломе озимой пшеницы нитратов содержится больше, чем в зерне. Исследования подтверждают, что чем насыщеннее фон питания растений, тем больше накапливается нитратов в соломе, в десятки раз меньше в зерне. Это обусловлено существующими защитными механизмами, ограничивающими поступление токсических соединений и избытка элемента питания в генеративные органы растений.

Внесение минеральных удобрений в дозе  $N_{150}P_{120}K_{120}$  на фоне последствия 80 т/га навоза увеличили содержание нитратного азота в соломе озимой пшеницы в 1,3 раза.

В вариантах с внесением  $N_{90}P_{60}K_{60}$  и внесением  $N_{90}P_{60}K_{60}$  и  $N_{150}P_{120}K_{120}$  на фоне последствия навоза в дозе 40 т/га содержание нитратного азота в соломе оставалось на уровне контрольных значений. Последствие навоза в дозе 40 т/га снижало данный показатель в 1,1 раза, относительно контроля.

Максимальное накопление нитратов соломой (355,0 и 468,0 мг/кг) отмечено в вариантах с внесением NPK и на фоне последействия навоза 80 т/га, что не превышает величину ПДК для кормов (1000 мг/кг).

Интенсивная химизация сельского хозяйства, направленная на максимальное повышение урожайности возделываемых культур, сопровождается увеличением выноса всех элементов питания.

В зависимости от условий произрастания озимая пшеница на формирование 10 ц зерна и соответствующего количества побочной продукции потребляет: N – 25-30 кг, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> – 10-14 и K<sub>2</sub>O – 20-25 кг.

Активное поглощение основных элементов минерального питания наблюдается с момента весеннего возобновления вегетации до начала колошения. До начала колошения растением потребляется более 2/3 всего необходимого для роста и развития количества азота, в период цветения растения почти прекращают его поглощение. После начала формирования зерна пшеницы снова возрастает потребность в этом элементе, и при нормальных условиях развития в этот период она усваивает остальные 25-30 % необходимого ей азота.

Фосфор озимая пшеница использует более равномерно: к началу формирования зерна необходимое ей количество этого элемента обычно составляет более 80 %. После начала молочного состояния зерна потребление растением фосфора прекращается.

Активное поглощение калия отмечается до начала колошения. Затем потребление его резко сокращается, а в некоторых случаях даже наблюдается процесс обратной диффузии, когда некоторое его количество медленно переходит в почвенный раствор.

Однако такая динамика выноса основных элементов минерального питания озимой пшеницей наблюдается при оптимальных условиях роста и развития. В полевых условиях для растений далеко не всегда количество элементов минерального питания находится в доступной им подвижной форме.

Урожайность озимой пшеницы определяется и соотношением азота, фосфора и калия в почве. Ранее рекомендовалось соотношение азота, фосфора и калия 1:1:1.

В последние годы исследованиями и практикой выращивания озимой пшеницы по интенсивной технологии подтверждено, что для получения максимального урожая зерна высокого качества, при высоких нормах внесения удобрений, необходимо преобладание азота в пределах 1,5:1:1-2:1:1. Высокая потребность во внесении повышенных норм азота обусловлена высоким выносом азота из почвы, который преобладает вынос фосфора в три-четыре раза [180, 186].

Для корректировки доз удобрений необходимо знать вынос питательных веществ основной и побочной продукцией. Нами был рассчитан вынос основных элементов питания зерном и соломой озимой пшеницы (табл. 3.11, 3.12).

Расчёты показали, что вынос элементов питания урожаем основной продукцией озимой пшеницы возрастал по сравнению с контролем во всех удобренных вариантах и соответствовал росту урожайности зерна озимой пшеницы.

Таблица 3.11 – Вынос основных элементов питания зерном озимой пшеницы в среднем за 2013-2015 гг., кг/га

Вариант	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O
Контроль	83,8	13,6	13,3
N <sub>90</sub> P <sub>60</sub> K <sub>60</sub>	103,8	16,0	17,5
N <sub>150</sub> P <sub>120</sub> K <sub>120</sub>	152,6	19,3	17,5
Навоз 40*	90,3	14,8	13,6
N <sub>90</sub> P <sub>60</sub> K <sub>60</sub> +навоз 40*	109,5	19,0	17,6
N <sub>150</sub> P <sub>120</sub> K <sub>120</sub> +навоз 40*	123,3	24,7	19,0
Навоз 80**	92,6	15,8	14,1
N <sub>90</sub> P <sub>60</sub> K <sub>60</sub> +навоз 80**	115,3	23,0	19,9
N <sub>150</sub> P <sub>120</sub> K <sub>120</sub> +навоз 80**	140,3	21,9	20,9

Примечание: \* – последствие 40 т/га навоза; \*\* – последствие 80 т/га навоза

На контрольном варианте вынос азота с зерном озимой пшеницы составил 83,8 кг/га, применение минеральных удобрений, особенно в двойной дозе, увеличивало интенсивность поглощения азота, и в варианте N<sub>150</sub>P<sub>120</sub>K<sub>120</sub>



вынос азота составил 103,8 кг/га, что в 1,2 раза больше по отношению к контролю. В вариантах последействия органических удобрений вынос азота был незначительно выше, чем в контрольном варианте.

Внесение двойной дозы минеральных удобрений на фоне последействия 80 т/га навоза увеличило вынос азота до 140,3 кг/га. Несколько ниже он был при внесении минеральных удобрений на фоне последействия навоза в дозе 40 т/га.

Вынос фосфора в опыте изменялся от 13,6 кг/га в варианте без внесения удобрений, до 24,7 кг/га в варианте с внесением двойной дозы минеральных удобрений на фоне последействия 40 т/га навоза. Последействие навоза существенно не повлияло на вынос этого элемента.

На контрольном варианте вынос калия был минимальным и составил 13,3 кг/га. Минеральные удобрения улучшали калийное питание, в результате чего вынос его увеличился на 4,2 кг/га. Последействие органических удобрений привело к снижению выноса калия, и в варианте последействия 40 т/га навоза вынос этого элемента был на уровне контрольных значений – 13,6 кг/га, что может быть связано с нарушением соотношения элементов питания в данном варианте. Применение двойной дозы минеральных удобрений на фоне последействия 80 т/га навоза увеличило вынос калия до максимальных значений – 20,9 кг/га.

Таблица 3.12 – Вынос основных элементов питания соломой озимой пшеницы в среднем за 2013-2015 гг., кг/га

Вариант	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O
Контроль	28,2	1,8	49,1
N <sub>90</sub> P <sub>60</sub> K <sub>60</sub>	25,7	0,8	50,3
N <sub>150</sub> P <sub>120</sub> K <sub>120</sub>	30,9	4,1	73,5
Навоз 40*	30,0	3,6	61,1
N <sub>90</sub> P <sub>60</sub> K <sub>60</sub> +навоз 40*	49,0	4,3	50,1
N <sub>150</sub> P <sub>120</sub> K <sub>120</sub> +навоз 40*	50,8	6,1	61,3
Навоз 80**	33,3	5,4	52,9
N <sub>90</sub> P <sub>60</sub> K <sub>60</sub> +навоз 80**	54,1	3,9	72,9
N <sub>150</sub> P <sub>120</sub> K <sub>120</sub> +навоз 80**	65,9	5,6	77,4

Примечание: \* – последействие 40 т/га навоза; \*\* – последействие 80 т/га навоза

Вынос побочной продукцией азота, фосфора и калия, по сравнению с контролем, увеличивают все применяемые удобрения, за исключением NPK в одной дозе. В варианте  $N_{90}P_{60}K_{60}$  отмечено снижение интенсивности выноса N – на 2,5 кг/га или на 8,9 %,  $P_2O_5$  – на 1,0 кг/га или на 55,6 % и повышение  $K_2O$  – на 1,2 кг/га или на 2,4 %. В вариантах с внесением минеральных удобрений на фоне последействия навоза вынос азота и калия достигает максимальных значений (65,9 и 77,4 кг/га). В вариантах последействия навоза вынос азота и калия приближался к его уровню в контрольном варианте.

Применение удобрений оказало значительное влияние на изменение интенсивности выноса фосфора соломой. На контроле вынос фосфора соломой составил 1,8 кг/га, внесение минеральных удобрений увеличило вынос этого элемента, и в варианте  $N_{150}P_{120}K_{120}$  он составил 4,1 кг/га. В варианте  $N_{150}P_{120}K_{120}$ + навоз 40 т/га (последействие) вынос фосфора соломой был максимальным и составил 6,1 кг/га, что в 3,4 раза больше в сравнении с контролем и в 1,5 раза в сравнении с вариантом  $N_{150}P_{120}K_{120}$ .

Таким образом, вынос азота и фосфора зерном озимой пшеницы выше, чем соломой, а вынос калия выше соломой, чем зерном. На контроле вынос азота зерном озимой пшеницы составил 83,8 кг/га, а соломой лишь 28,2 кг/га. Максимальный вынос азота зерном и соломой отмечен в варианте  $N_{150}P_{120}K_{120}$ +навоз 80 т/га (последействие), он составил 140,3 кг/га и 65,9 кг/га соответственно. Вынос фосфора зерном в десятки раз выше, чем соломой. Так, если вынос фосфора зерном варьирует от 13,6 кг/га до 24,7 кг/га, то соломой от 0,8 кг/га до 6,1 кг/га.

Вынос калия соломой превышает вынос его зерном в 2,8-4,5 раза. Внесение двойной дозы минеральных удобрений на фоне навоз 80 т/га обеспечивает максимальный вынос как соломой (77,4 кг/га), так и зерном (20,9 кг/га). С повышением уровня интенсификации вынос калия соломой озимой пшеницы увеличивался более интенсивно, чем зерном.

На основе выноса элементов питания основной продукцией с учетом побочной единицей продукции рассчитывается баланс питательных веществ

и дозы применения удобрений. Расчёт выноса основных элементов питания представлен в таблице 3.13.

Таблица 3.13 – Вынос основных элементов питания зерном и соломой озимой пшеницы в среднем за 2013-2015 гг., кг/га

Вариант	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O
Контроль	112,0	15,4	62,4
N <sub>90</sub> P <sub>60</sub> K <sub>60</sub>	129,5	16,8	67,8
N <sub>150</sub> P <sub>120</sub> K <sub>120</sub>	183,5	23,3	91,0
Навоз 40*	120,3	18,4	74,6
N <sub>90</sub> P <sub>60</sub> K <sub>60</sub> +навоз 40*	158,5	23,4	67,7
N <sub>150</sub> P <sub>120</sub> K <sub>120</sub> +навоз 40*	174,1	30,8	80,3
Навоз 80**	125,9	21,2	67,0
N <sub>90</sub> P <sub>60</sub> K <sub>60</sub> +навоз 80**	169,4	26,9	92,9
N <sub>150</sub> P <sub>120</sub> K <sub>120</sub> +навоз 80**	206,2	27,4	98,3

Примечание: \* – последствие 40 т/га навоза; \*\* – последствие 80 т/га навоза

Анализ полученных данных показал, что за три года исследований наиболее высокий вынос азота (206,2 кг/га) отмечен в варианте N<sub>150</sub>P<sub>120</sub>K<sub>120</sub>+навоз 80 т/га (последствие), несколько меньший – на 22,7 мг/кг он был в варианте N<sub>150</sub>P<sub>120</sub>K<sub>120</sub> и на 32,1 мг/кг в варианте N<sub>150</sub>P<sub>120</sub>K<sub>120</sub>+навоз 40 т/га (последствие). Для фосфора наиболее высокие величины общего выноса установлены в варианте сочетания последствия 40 т/га навоза с применением двойной дозы NPK (30,8 кг/га), в вариантах с внесением NPK на фоне последствия навоза 80 т/га (26,9- 27,4 кг/га).

На фоне последствия 80 т/га навоза при повышении дозы минеральных удобрений, наблюдался максимальный вынос калия – 98,3 кг/га.

Установлено, что относительно контроля удельный вынос азота, фосфора и калия возрастал на всех удобренных вариантах в соответствии с увеличением доз NPK.

Следовательно, в среднем за три года исследований наибольшие показатели выноса элементов питания отмечены в вариантах внесения двойной дозы минеральных удобрений и их внесения на фоне последствия навоза. Это обусловлено увеличением урожайности основной и побочной продукции озимой пшеницы за счет действия удобрений.

Удобрения, изменяя содержание подвижных форм элементов питания как в почве, так и в растениях озимой пшеницы, способствовали формированию разного уровня урожайности культуры. Это сказалось определенным образом на величине выноса элементов питания её урожаем.

Вынос элементов питания основной с учетом побочной продукции единицей урожая представлен в таблице 3.14.

Таблица 3.14 – Вынос элементов питания основной продукцией с учетом побочной в среднем за 2013-2015 гг., кг/ц

Вариант	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O
Контроль	3,0	0,4	1,6
N <sub>90</sub> P <sub>60</sub> K <sub>60</sub>	2,6	0,3	1,4
N <sub>150</sub> P <sub>120</sub> K <sub>120</sub>	3,4	0,4	1,7
Навоз 40*	2,8	0,4	1,8
N <sub>90</sub> P <sub>60</sub> K <sub>60</sub> +навоз 40*	3,4	0,5	1,5
N <sub>150</sub> P <sub>120</sub> K <sub>120</sub> +навоз 40*	3,2	0,6	1,5
Навоз 80**	2,9	0,5	1,5
N <sub>90</sub> P <sub>60</sub> K <sub>60</sub> +навоз 80**	3,2	0,5	1,8
N <sub>150</sub> P <sub>120</sub> K <sub>120</sub> +навоз 80**	3,5	0,5	1,6

Примечание: \* – последствие 40 т/га навоза; \*\* – последствие 80 т/га навоза

Полученные данные свидетельствуют о том, что озимая пшеница отличается высоким выносом азота (2,6-3,5 кг/т), заметно меньше калия (1,4-1,8 кг/т) и фосфора (0,3-0,6 кг/т). Наименьшее количество азота, фосфора и калия на единицу продукции выносили из почвы растения на варианте с применением минеральных удобрений в дозе N<sub>90</sub>P<sub>60</sub>K<sub>60</sub>, применение двойной дозы минеральных удобрений увеличивало вынос NPK озимой пшеницей.

Вынос азота урожаем пшеницы в варианте без внесения удобрений составил 3,0 кг/ц, при внесении минеральных удобрений в дозе N<sub>90</sub>P<sub>60</sub>K<sub>60</sub> вынос азота уменьшился на 0,4 кг/ц, а при увеличении дозы минеральных удобрений (N<sub>150</sub>P<sub>120</sub>K<sub>120</sub>) происходит обогащение получаемой продукции азотом – вынос увеличился на 0,8 кг/ц. При внесении двойной дозы минеральных удобрений на фоне последствия навоза 40 т/га использование растениями азота удобрений значительно увеличивается и достигает максимальной величины – 3,5 кг/ц.

Количество выносимого фосфора под влиянием удобрений существенно не изменялось по сравнению с контролем. На фоне минеральных удобрений вынос фосфора находился на уровне контрольных значений – 0,3-0,4 кг/ц. В вариантах с последствием навоза в дозе 80 т/га и с внесением минеральных удобрений на фоне последствия навоза вынос фосфора составил 0,5 кг/ц, а при внесении двойной дозы минеральных удобрений на фоне последствия 80 т/га навоза вынос фосфора составил 0,6 кг/ц, что на 0,2 кг/ц больше, чем в варианте без удобрений.

Вынос калия под действием удобрений значительно варьированию не подвержен. Наибольшие показатели выноса (1,8 кг/ц) отмечены при внесении  $N_{90}P_{60}K_{60}$  на фоне последствия 80 т/га навоза и при последствии 40 т/га навоза. Несколько меньшим (1,7 кг/ц) он был в варианте  $N_{150}P_{120}K_{120}$ . Минимальный вынос калия – 1,4 кг/ц отмечен в варианте  $N_{90}P_{60}K_{60}$ . При внесении двойных доз минеральных удобрений на фоне последствия 80 т/га навоза вынос калия оставался на уровне контрольных значений – 1,6 кг/ц.

Следовательно, вынос азота, фосфора и калия единицей основной продукции озимой пшеницы с учетом побочной слабо зависел от вида и доз удобрений. Однако, показатели выноса элементов питания в вариантах с совместным применением минеральных и органических удобрений выше, чем при использовании НРК или только навоза, что подтверждается и величиной урожайности.

Вынос питательных веществ в пересчете на 1 ц основной продукции с учетом побочной составил в среднем азота 3,1, фосфора – 0,5 и калия – 1,6 кг при нормативных показателях для ЦЧЗ 2,6; 0,9 и 1,6 кг/ц соответственно.

В общем выносе элементов питания озимой пшеницей преобладал азот, а порядок выноса их в убывающем ряду выглядит следующим образом:  $N > K_2O > P_2O_5$ .

Изменение качественных показателей зерна озимой пшеницы под влиянием органических и минеральных удобрений приведено в таблице 3.15.

Таблица 3.15 – Показатели качества зерна озимой пшеницы в среднем за 2013-2015 гг., %

Вариант	2013 г.			2014 г.			2015 г.			В среднем за 3 года		
	Белок	Клейковина	ИДК	Белок	Клейковина	ИДК	Белок	Клейковина	ИДК	Белок	Клейковина	ИДК
Контроль	11,2	20,9	79	12,6	20,6	82	11,9	21,6	83	12,1	21,0	87
N <sub>90</sub> P <sub>60</sub> K <sub>60</sub>	11,6	20,7	79	12,7	21,6	83	12,5	22,6	85	12,3	21,6	86
N <sub>150</sub> P <sub>120</sub> K <sub>120</sub>	13,9	30,1	97	14,9	32,2	98	15,7	33,9	99	14,8	32,1	98
Навоз 40*	11,0	20,5	76	12,5	25,8	92	12,7	24,3	89	12,1	23,5	89
N <sub>90</sub> P <sub>60</sub> K <sub>60</sub> +навоз 40*	13,1	28,1	84	13,5	27,7	95	13,9	34,2	97	13,5	30,0	91
N <sub>150</sub> P <sub>120</sub> K <sub>120</sub> +навоз 40*	12,5	22,9	85	13,4	26,5	92	12,9	26,0	92	12,9	25,1	90
Навоз 80**	10,7	19,4	80	11,9	29,4	95	13,5	29,3	95	12,0	25,7	90
N <sub>90</sub> P <sub>60</sub> K <sub>60</sub> +навоз 80**	12,2	24,3	96	12,1	24,3	92	13,2	30,5	98	12,5	26,4	95
N <sub>150</sub> P <sub>120</sub> K <sub>120</sub> +навоз 80**	13,1	28,9	95	13,0	28,2	92	14,1	33,0	97	13,4	30,0	95

Примечание: \*– последствие 40 т/га навоза; \*\*– последствие 80 т/га навоза

Анализ показателей качества зерна пшеницы показывает, что в 2013 году содержание белка в зерне озимой пшеницы по вариантам изменялось от 11,2 % на контроле до 13,1% при внесении  $N_{90}P_{60}K_{60}$  на фоне последействия 40 т/га навоза и при внесении  $N_{150}P_{120}K_{120}$  на фоне последействия 80 т/га навоза, в вариантах с последействием 40 и 80 т/га навоза содержание белка было ниже и составило 11,0 и 10,7 % соответственно.

По вариантам опыта содержание клейковины колеблется от 19,4 % в варианте с последействием 80 т/га навоза до 30,1 % в варианте с внесением двойной дозы минеральных удобрений. Увеличение дозы минеральных удобрений на фоне последействия 80 т/га навоза незначительно снижает содержание клейковины.

В 2014 году содержание белка в зерне озимой пшеницы по вариантам составило от 11,9 % в варианте с последействием 80 т/га навоза до 13,5 % в варианте с внесением  $N_{90}P_{60}K_{60}$  на фоне последействия 40 т/га навоза.

Минимальное содержание клейковины отмечено в варианте с последействием 80 т/га навоза. Внесение двойной дозы минеральных удобрений максимально увеличило содержание клейковины – до 32,2 %.

В 2014 году последействие 40 т/га навоза увеличило содержание клейковины на 5,2 % по сравнению с контролем и на 4,2 % по сравнению с вариантом внесения одной дозы минеральных удобрений.

В варианте последействия 80 т/га навоза также отмечено повышение содержания клейковины: на 8,8% по сравнению с вариантом без применения удобрений и на 7,81 по сравнению с вариантами внесения одной дозы минеральных удобрений. Последействие навоза в значительной степени зависит от условий, способствующих активной жизнедеятельности микрофлоры, разлагающей органическое удобрение. Сочетание достаточного увлажнения с хорошей теплообеспеченностью растений позволяют ускорить процессы разложения навоза. Такие благоприятные условия в опыте отмечены в 2014 году, когда процессы минерализации навоза активизировались и его последействие эффективно отразилось на качестве урожая пшеницы.

Содержание белка в зерне пшеницы в 2015 году зависело, прежде всего, от климатических условий, год оказался более засушливым, урожай пшеницы снизился, а содержание белка – увеличилось. По вариантам опыта его содержание составляло от 11,9 % на контрольном варианте до 15,7 % в варианте с внесением двойной дозы минеральных удобрений.

Содержание клейковины находилось в пределах от 21,6 % без применения удобрений до 34,2 % при внесении  $N_{90}P_{60}K_{60}$  на фоне последействия 40 т/га навоза.

В течение трёх исследований по содержанию белка и сырой клейковины зерно озимой пшеницы соответствовало II классу. В среднем за три года максимальное содержание белка и клейковины (14,8 и 32,1%) отмечено при двойных дозах минеральных удобрений. В варианте с последействием 80 т/га навоза содержание белка было минимальным и составило 12,0 %.

В контрольном варианте содержание клейковины было минимальным – 21,0 %. Совместное действие минеральных удобрений и последействие органических удобрений оказали положительное влияние на содержание клейковины, увеличивая по сравнению с естественным агрохимическим фоном и последействием навоза.

Таким образом, из восьми изученных фонов удобренности для озимой пшеницы в условиях опыта оптимальным является внесение минеральных удобрений в дозе  $N_{150}P_{120}K_{120}$ . В этом варианте получены самые высокие значения показателей качества зерна.

Уровень урожайности озимой пшеницы на антропогенно-преобразованных черноземных почвах определяется режимом и запасом доступных растениям минеральных соединений элементов питания в почве.

Для того, чтобы оценить зависимость урожая озимой пшеницы и качества её продукции от содержания запасов в почве минерального азота необходимо рассчитать коэффициенты корреляции (табл. 3.16. и табл. 3.17.).

В таблице 3.16 представлена количественная зависимость между запасами минерального азота в почве и урожайностью озимой пшеницы, выраженная уравнениями регрессии.



Таблица 3.16 – Зависимость урожайности озимой пшеницы от запасов минерального азота в почве

Слой почвы, см	Коэффициенты корреляции		Коэффициенты детерминации		Уравнение линейной регрессии	
	июль	апрель	июль	апрель	июль	апрель
0-40	0,92	0,40	0,86	0,17	$Y = 20,18x - 13,06$	$Y = 6,76x + 16,13$
0-60	0,82	0,44	0,67	0,20	$Y = 28,56x - 21,23$	$Y = 10,21x + 22,01$
0-100	0,66	0,17	0,44	0,03	$Y = 31,35x + 45,68$	$Y = 6,76x + 115,15$

Установлена положительная связь урожая культуры с запасами минерального азота в летний и весенний период по горизонтам 0-40 см; 0-60 см; 0-100 см. Коэффициенты корреляции свидетельствуют о сильной связи урожая с содержанием минерального азота в слоях почвы 0-40 и 0-60 см в летний период.

Летом коэффициент корреляции между урожаем культуры и количеством минерального азота в слое 0-100 см составил 0,66, а весной всего 0,17.

Низкое значение коэффициента корреляции в весенний период по слоям почвы 0-40 см и 0-60 см (0,40; 0,44) свидетельствует о слабой взаимосвязи изучаемых факторов. В весенний период между содержанием минерального азота в почве в слое 0-100 см и урожайностью озимой пшеницы количественная зависимость не установлена.

Тесная связь между содержанием азота в слое почвы и продуктивностью озимой пшеницы в летний период указывает на то, что по уровню содержания доступных растениям соединений азота в слоях 0-40 и 0-60 см перед посевом можно планировать уровень урожайности, прогнозировать условия азотного питания растений, а также определить потребность в азотных подкормках и установить их дозы.

Уравнения регрессии позволяют прогнозировать содержание белка в зерне озимой пшеницы при известных запасах минерального азота в почве осенью и весной в слое 0-100 см; 0-60 см и 0-40 см (табл. 3.17).

Установлена сильная положительная связь содержания белка с содержанием минерального азота в летний и весенний период по горизонтам 0-40 см; 0-60 см и 0-100 см, что указывает на прямую зависимость, выраженную уравнениями регрессии.

Таблица 3.17 – Зависимость содержания белка в зерне озимой пшеницы от содержания минерального азота в почве

Слой почвы, см	Коэффициенты корреляции		Коэффициенты детерминации		Уравнение линейной регрессии	
	июль	апрель	июль	апрель	июль	апрель
0-40	0,91	0,75	0,82	0,57	$Y = 2,14x + 6,17$	$Y = 2,85x - 11,93$
0-60	0,99	0,98	0,98	0,96	$Y = 29,28x - 311,6$	$Y = 6,43x - 45,62$
0-100	0,98	0,98	0,96	0,96	$Y = 45,0x - 501,8$	$Y = 12,8x - 88,24$

Результаты проведенных исследований свидетельствуют о том, что оптимальные запасы минерального азота в почве в слое 0-100 см опытного участка составляют: весной – 261 кг/га, в варианте  $N_{150}P_{120}K_{120}$ ; летом – 203 кг/га, в варианте  $N_{150}P_{120}K_{120}$  + навоз 40 т/га (последствие). В этих вариантах с внесением двойной дозы минеральных удобрений в чистом виде и на фоне последствия 40 т/га навоза получена урожайность озимой пшеницы 5,47 и 5,43 т/га с содержанием белка 14,8 и 12,9 % соответственно.

Установлена сильная положительная связь урожайности культуры с запасами минерального азота в почве. Полученные уравнения регрессии позволяют прогнозировать урожайность озимой пшеницы при известных запасах минерального азота в почве весной и летом.

Корреляционная зависимость между запасами минерального азота в почве и содержанием белка в зерне озимой пшеницы свидетельствует о сильной прямой связи.

На основании проведенных исследований можно сделать вывод, что внесение минеральных удобрений на фоне последствия навоза существенно повышает урожайность озимой пшеницы. Максимальная урожайность получена при внесении  $N_{150}P_{120}K_{120}$  на фоне последствия 80 т/га навоза и составила 5,97 т/га.

Внесение минеральных  $N_{150}P_{120}K_{120}$  и  $N_{90}P_{60}K_{60}$  на фоне последствия 80 т/га навоза оказало положительное влияние на качество зерна озимой пшеницы. На удобренных вариантах по всем показателям зерно соответствует 2 классу.

Установлена положительная связь урожая с запасами минерального азота в почве.

С ростом продуктивности озимой пшеницы возрастает и вынос основных питательных элементов с урожаем.

### 3.2.3 Влияние удобрений на содержание кадмия в основной и побочной продукции озимой пшеницы

Зерно озимой пшеницы широко используется как в пищу, так и на корм скоту, из него изготавливают муку, макаронные и крупяные изделия, в том числе и для детского питания.

Загрязнение почв тяжелыми металлами негативно отражается на росте и развитии растений. Избыточное их количество в растительных организмах подавляет ход метаболических процессов, приводит к денатурации белков, тормозит развитие и снижает продуктивность растений [59, 105, 108].

Исследования ряда авторов подтверждают неравномерность распределения тяжелых металлов по органам и тканям растений. Изучение этих свойств позволит выращивать экологически безопасную продукцию растениеводства на почвах подвергшихся антропогенной нагрузке [82, 83, 166, 169, 177].

Данные о накоплении кадмия зерном и соломой озимой пшеницы приведены в таблице 3.18.

Таблица 3.18 – Содержание кадмия в озимой пшенице в среднем за 2013-2015 гг., мг/кг

Вариант	Зерно	Солома
Контроль	0,05	0,07
N <sub>90</sub> P <sub>60</sub> K <sub>60</sub>	0,06	0,07
N <sub>150</sub> P <sub>120</sub> K <sub>120</sub>	0,07	0,09
Навоз 40 <sup>*</sup>	0,07	0,08
N <sub>90</sub> P <sub>60</sub> K <sub>60</sub> +навоз 40 <sup>*</sup>	0,07	0,08
N <sub>150</sub> P <sub>120</sub> K <sub>120</sub> +навоз 40 <sup>*</sup>	0,08	0,07
Навоз 80 <sup>**</sup>	0,06	0,07
N <sub>90</sub> P <sub>60</sub> K <sub>60</sub> +навоз 80 <sup>**</sup>	0,07	0,08
N <sub>150</sub> P <sub>120</sub> K <sub>120</sub> +навоз 80 <sup>**</sup>	0,07	0,09
<b>ПДК</b>	<b>0,1</b>	

Примечание: \* – последствие 40 т/га навоза; \*\* – последствие 80 т/га навоза

На контрольном варианте содержание кадмия в зерне составляло в среднем за три года 0,05 мг/кг, внесение минеральных удобрений незначительно увеличило поступление этого элемента. В вариантах N<sub>90</sub>P<sub>60</sub>K<sub>60</sub> и N<sub>150</sub>P<sub>120</sub>K<sub>120</sub> его было 0,06 и

0,07 мг/кг соответственно, что на 0,01 и 0,02 мг/кг больше в сравнении с контролем.

В варианте с последствием 40 т/га навоза содержание кадмия составило 0,07 мг/кг, что выше по сравнению с вариантом  $N_{150}P_{120}K_{120}$  на 0,02 мг/кг или в 1,5 раза, внесение двойной дозы навоза не повлияло на изменение содержания кадмия в зерне. Внесение минеральных удобрений на фоне последствия навоза на снижение поступления кадмия в растениеводческую продукцию не дало положительного результата. При внесении минеральных удобрений в дозе  $N_{150}P_{120}K_{120}$  на фоне последствия 80 т/га навоза отмечено максимальное (0,08 мг/кг) накопление кадмия зерном озимой пшеницы, что в 1,7 раза больше, чем на контроле.

Анализ данных в среднем за три года показывает, что солома накапливает кадмия несколько больше, чем зерно. Содержание кадмия в соломе изменяется от 0,07 мг/кг до 0,09 мг/кг. На контрольном варианте содержание кадмия в соломе составило 0,07 мг/кг, что в 1,4 раза больше, чем в зерне. Минеральные удобрения на фоне последствия навоза усилили накопление кадмия в соломе. Двойная доза минеральных удобрений повысила его содержание на 0,02 мг/кг. Внесение минеральных удобрений в одной и двух дозах на фоне последствия навоза в дозе 40 т/га несколько снижало накопление этого элемента. Максимальному накоплению кадмия в соломе (0,09 мг/кг) способствовало применение двойной дозы минеральных удобрений в чистом виде и на фоне последствия 80 т/га навоза. Необходимо отметить, что во всех вариантах опыта содержание кадмия в соломе озимой пшеницы не превышает ПДК – 0,3 мг/кг.

Таким образом, в результате исследований установлено, что применение удобрений в различных дозах и сочетаниях не приводит к токсичному накоплению подвижных форм кадмия в растениях озимой пшеницы.

Для того чтобы оценить интенсивность поступления кадмия в растениеводческую продукцию нами рассчитан коэффициент биологического поглощения.

Коэффициент биологического поглощения КБП рассчитывается как отношение содержания элемента в золе растений к валовому содержанию в

почве. Согласно шкалы И.А. Авессаломова (1987) кадмий относится к элементам сильного накопления ( $10 > \text{КБП} \geq 1$ ) [1].

Значения коэффициентов накопления для различных сельскохозяйственных культур существенно изменяется, определяющими факторами варьирования являются почвенные условия и биологические особенности культур. Максимально накапливать тяжелые металлы способны листья бобовых культур, листовые овощи, вегетативная масса трав и солома зерновых культур [188].

Таблица 3.19 – Коэффициент биологического поглощения кадмия продукцией озимой пшеницы в среднем за 2013-2015 гг., %

Вариант	Зерно	Солома
Контроль	6,9	9,7
N <sub>90</sub> P <sub>60</sub> K <sub>60</sub>	7,9	9,3
N <sub>150</sub> P <sub>120</sub> K <sub>120</sub>	8,6	11,5
Навоз 40*	10,9	12,9
N <sub>90</sub> P <sub>60</sub> K <sub>60</sub> +навоз 40*	8,9	10,9
N <sub>150</sub> P <sub>120</sub> K <sub>120</sub> +навоз 40*	9,6	8,9
Навоз 80**	7,2	10,2
N <sub>90</sub> P <sub>60</sub> K <sub>60</sub> +навоз 80**	8,1	9,3
N <sub>150</sub> P <sub>120</sub> K <sub>120</sub> +навоз 80**	7,6	10,5

Примечание: \* – последствие 40 т/га навоза; \*\* – последствие 80 т/га навоза

Коэффициент биологического поглощения кадмия варьирует в широких пределах: 6,9-10,9 % для зерна и 8,9-12,5 % для соломы, что позволяет отнести кадмий к элементам сильной интенсивности поглощения. КБП указывает на степень доступности элемента для растений и его поведения в системе «почва – растение».

Коэффициент биологического поглощения кадмия зерном на контроле составил 6,9 %. Внесение минеральных удобрений в дозах N<sub>90</sub>P<sub>60</sub>K<sub>60</sub> и N<sub>150</sub>P<sub>120</sub>K<sub>120</sub> увеличили КБП на 1,0-1,7 % соответственно. В вариантах с последствием 40 и 80 т/га навоза данный показатель увеличивается по сравнению с контрольным вариантом на 2,9 и 3,3 % соответственно. При внесении минеральных удобрений на фоне последствия навоза величина коэффициента биологического поглощения кадмия несколько снижается.

Коэффициент биологического поглощения кадмия соломой изменялся от 9,7 % на контроле до 12,9 % в варианте с последствием 40 т/га навоза.

На наш взгляд, влияние на изменение КБП оказывает реакция почвенного раствора. Кроме того, внесение минеральных удобрений и последствие органических удобрений способствует более интенсивному росту и развитию растений, в процессе которого при дыхании, корневой системой растений выделяется углекислый газ, который при взаимодействии с почвенным раствором подкисляет реакцию почвенной среды. В связи с этим поглощающая активность растений усиливается, и коэффициент биологического поглощения увеличивается.

Повышение КБП в вариантах с последствием навоза, на наш взгляд, вызвано активностью процессов минерализации органического вещества.

В результате исследований установлено положительное действие минеральных удобрений на фоне последствия навоза на снижение поступления кадмия в зерно и солому озимой пшеницы, за счёт образования труднорастворимых соединений с кадмием.

Для более полной оценки количества металла, перешедшего из почвы в растения, был рассчитан коэффициент накопления (Кн) – отношение содержания элемента в золе растений к содержанию его подвижных форм в почве (табл. 3.20).

Таблица 3.20 – Коэффициент накопления кадмия продукцией озимой пшеницы в среднем за 2013-2015 гг., %

Вариант	Зерно	Солома
Контроль	29,4	43,7
N <sub>90</sub> P <sub>60</sub> K <sub>60</sub>	46,1	53,8
N <sub>150</sub> P <sub>120</sub> K <sub>120</sub>	50,0	81,8
Навоз 40*	53,8	66,7
N <sub>90</sub> P <sub>60</sub> K <sub>60</sub> +навоз 40*	43,8	47,1
N <sub>150</sub> P <sub>120</sub> K <sub>120</sub> +навоз 40*	57,1	70,0
Навоз 80**	50,0	63,6
N <sub>90</sub> P <sub>60</sub> K <sub>60</sub> +навоз 80**	50,0	72,7
N <sub>150</sub> P <sub>120</sub> K <sub>120</sub> +навоз 80**	43,8	75,0

Примечание: \* – последствие 40 т/га навоза; \*\* – последствие 80 т/га навоза

Анализ коэффициентов накопления показал, что кадмий накапливается растениями озимой пшеницы с вариацией значений в пределах Кн = 29,4-57,1 % для зерна и 43,7-81,8 % для соломы. Коэффициенты накопления Cd соломой превышали КН зерном в 1,5 раза.

Коэффициент накопления кадмия зерном на контроле составил 29,4 %. Внесение минеральных удобрений усиливало накопление кадмия зерном. Двойная доза минеральных удобрений увеличила коэффициент накопления на 20,6 %. Максимальное повышение коэффициента накопления (на 27,7 %) отмечено в вариантах с внесением  $N_{150}P_{120}K_{120}$  на фоне последействия 40 т/га навоза.

Исследования, проведенные нами, показывают, что интенсивнее накопление кадмия соломой озимой пшеницы по сравнению с зерном.

Максимальному увеличению Кн кадмия соломой способствовало внесение двойной дозы минеральных удобрений, в этом варианте отмечено увеличение на 38,1 %, относительно контроля.

Таким образом, внесение удобрений способствует росту урожайности озимой пшеницы и, как следствие, повышению коэффициента накопления.

Одним из показателей накопления тяжелых металлов растениями является величина их биологического выноса с урожаем (табл. 3.21).

Биологический вынос элементов с основной и побочной продукцией определяется величиной урожая, содержанием металла в растении, а также биологическими особенностями возделываемой культуры.

Таблица 3.21 – Вынос кадмия озимой пшеницей в среднем за 2013-2015 гг., г/га

Вариант	Основная продукция	Побочная продукция	Основная и побочная продукция
Контроль	0,22	0,33	0,55
$N_{90}P_{60}K_{60}$	0,34	0,45	0,79
$N_{150}P_{120}K_{120}$	0,40	0,56	0,96
Навоз 40*	0,32	0,43	0,74
$N_{90}P_{60}K_{60}$ +навоз 40*	0,36	0,43	0,79
$N_{150}P_{120}K_{120}$ +навоз 40*	0,44	0,48	0,92
Навоз 80**	0,38	0,44	0,82
$N_{90}P_{60}K_{60}$ +навоз 80**	0,46	0,57	1,03
$N_{150}P_{120}K_{120}$ +навоз 80**	0,58	0,62	1,20

Примечание: \* – последействие 40 т/га навоза; \*\* – последействие 80 т/га навоза

На контроле вынос кадмия основной продукцией составил 0,22 г/га. Внесение минеральных удобрений, последействие навоза и внесение минеральных

удобрений на фоне последствия навоза способствовали увеличению выноса кадмия зерном.

В варианте  $N_{90}P_{60}K_{60}$  и  $N_{150}P_{120}K_{120}$  вынос увеличился на 0,12 г/га или на 35,3 % и 0,18 г/га или на 45 % соответственно. В вариантах с последствием навоза вынос также увеличивался, но несколько меньше. Внесение двойной дозы минеральных удобрений на фоне 80 т/га навоза максимально повысило вынос кадмия зерном и он составил 0,58 г/га, что на 0,36 г/га или 62,1 % превышает вынос в варианте без применения удобрений.

Внесение минеральных удобрений, последствие навоза и внесение минеральных удобрений на фоне последствия навоза увеличили вынос кадмия соломой по сравнению с контролем. Внесение минеральных удобрений в дозе  $N_{150}P_{120}K_{120}$  на фоне последствия 80 т/га навоза повысило вынос кадмия соломой озимой пшеницы на 0,29 г/га или 46,8 %, по сравнению с контрольным вариантом.

Вынос кадмия основной и побочной продукцией возрастает с ростом уровня применения удобрений. Применение двойной дозы минеральных удобрений увеличивало вынос кадмия озимой пшеницей на 42,7 % относительно контроля и на 17,7 % относительно одинарной дозы.

Наибольший суммарный вынос кадмия основной и побочной продукцией – 1,20 кг/га, выявлен в варианте с внесением двойной дозы минеральных удобрений на фоне последствия 80 т/га навоза.

Таким образом, внесение минеральных удобрений повышает содержание кадмия в зерне на 0,03 и 0,01 мг/кг, однако это не превышает ПДК.

Коэффициент биологического поглощения и коэффициент накопления кадмия озимой пшеницей под влиянием удобрений повышаются. Прослеживается закономерность увеличения выноса кадмия зерном и соломой озимой пшеницы, в зависимости от доз удобрений и их комбинаций.



#### **4 БИОЭНЕРГЕТИЧЕСКАЯ И ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА УДОБРЕНИЙ ПРИ ВОЗДЕЛЫВАНИИ ОЗИМОЙ ПШЕНИЦЫ**

Интенсификация сельскохозяйственного производства приводит к увеличению урожайности сельскохозяйственных культур, что связана с ростом затрат невозобновляемой энергии, в том числе и за счет возрастающего применения удобрений.

Современная технология выращивания полевых культур должна быть энергосберегающей, т. е. обеспечивающей минимальные затраты совокупной энергии на получение единицы продукции.

По совокупным энергозатратам в расчете на 1 кг д.в. минеральные удобрения, в зависимости от вида, оцениваются следующим количеством энергии, МДж: азотные – 86,6; фосфорные – 12,6; калийные – 8,3. Производство азотных удобрений – наиболее энергоемкий процесс, что является причиной более низкой их эффективности в сравнении с фосфорными и калийными удобрениями. Расход энергии на применение удобрений зависит от подготовки их к внесению, способа внесения, дозы или нормы внесения, а также используемой сельскохозяйственной техники [105].

В настоящее время, в связи с нестабильностью рыночных отношений, в мировой практике одновременно с традиционными методами оценки эффективности производства сельскохозяйственной продукции всё большую актуальность приобретает метод энергетической оценки, учитывающий не только количество энергии, затраченной на производство сельскохозяйственной продукции, но и аккумулированной в ней.

На основании биоэнергетической оценки можно количественно оценить энергетическую стоимость полученной сельскохозяйственной продукции, что является условным показателем энергетической рентабельности производства.

Расчет энергетической эффективности применения удобрений под озимую пшеницу представлен в табл. 4.1.

Проведенные расчеты показали, что наибольшее содержание энергии в урожае (35865 МДж) получено при совместном внесении двойных доз минераль-

ных удобрений на фоне последствия навоза 80 т/га), т.е. в варианте с максимальной прибавкой урожайности зерна озимой пшеницы.

Таблица 4.1 – Энергетическая эффективность применения удобрений при возделывании озимой пшеницы

Вариант	Прибавка урожая, т/га	Энергия, накопленная в зерне от применения удобрений, МДж	Энергетические затраты от применения удобрений, МДж	Энергетический коэффициент
Контроль	0	-	-	-
N <sub>90</sub> P <sub>60</sub> K <sub>60</sub>	1,20	19742	9066	2,17
N <sub>150</sub> P <sub>120</sub> K <sub>120</sub>	1,68	27639	15528	1,78
Навоз 40*	0,45	7403	5600	1,32
N <sub>90</sub> P <sub>60</sub> K <sub>60</sub> +навоз 40*	0,85	13984	14666	0,95
N <sub>150</sub> P <sub>120</sub> K <sub>120</sub> +навоз 40*	1,64	26981	21128	1,28
Навоз 80**	0,62	10200	11200	0,91
N <sub>90</sub> P <sub>60</sub> K <sub>60</sub> +навоз 80**	1,45	23855	20266	1,18
N <sub>150</sub> P <sub>120</sub> K <sub>120</sub> +навоз 80**	2,18	35865	26728	1,34

Примечание: \* – последствие 40 т/га навоза; \*\* – последствие 80 т/га навоза

За счёт применения минеральных удобрений, в зерне озимой пшеницы была накоплена энергия, которая изменялась от 19742 МДж в варианте N<sub>90</sub>P<sub>60</sub>K<sub>60</sub> до 27639 МДж в варианте N<sub>150</sub>P<sub>120</sub>K<sub>120</sub>.

Наименьший прирост энергии за счет дополнительно полученной продукции озимой пшеницы отмечен на фоне последствия навоза.

Применение минеральных удобрений в дозе N<sub>90</sub>P<sub>60</sub>K<sub>60</sub> наиболее энергетически эффективно, так как энергетические затраты при этом относительно невелики при высокой дополнительной энергии в прибавке урожая. За счёт высокой энергоёмкости минеральных удобрений их применение повышает затраты энергии на производство зерна, однако при этом увеличивается и количество энергии, накопленной в зерне от их использования.

Обобщающим показателем биоэнергетической эффективности является энергетический коэффициент выращивания культуры. Среди всех удобренных вариантов опыта максимальный коэффициент энергетической эффективности (2,17) отмечен в варианте N<sub>90</sub>P<sub>60</sub>K<sub>60</sub>. Близкий результат обеспечило внесение N<sub>150</sub>P<sub>120</sub>

$K_{120} - 1,78$ . При внесении минеральных удобрений на фоне последствий 40 и 80 т/га навоза энергетический коэффициент снижается.

В варианте опыта с последствием 80 т/га навоза энергетический коэффициент был наименьшим и составил 0,91.

Следует отметить, что наибольшие величины энергетического коэффициента были в вариантах с внесением минеральных удобрений и превышали значения среднего энергетического коэффициента, установленного для озимой пшеницы по России (1,54). В варианте с последствием 80 т/га навоза и в варианте с внесением  $N_{90}P_{60}K_{60}$  на фоне последствий 40 т/га навоза энергетический коэффициент был ниже среднего по стране в 1,6 и 1,7 раз соответственно.

Любой агротехнический приём считают экономически эффективным если сумма от реализации продукции не только возмещает затраты на её производство, но и обеспечивает получение чистого дополнительного дохода.

В последние годы заметно снизилась эффективность зернового производства, причиной чего выступает ряд факторов: ухудшение экономической ситуации в стране, нарушение технологий выращивания зерновых культур, сокращение объемов применения удобрений, снижение уровня почвенного плодородия и т.д.

При сложившихся рыночных условиях экономическая эффективность преимущественно зависит от цен на основные средства производства, горючее и электроэнергию, удобрения, стоимость сельскохозяйственной продукции. Рост продуктивности сельскохозяйственных культур и улучшение показателей плодородия почвы возможно при рациональном применении удобрений, эффективность которых зависит от почвенно-климатических условиях.

При экономической оценке эффективности применения различных систем удобрения огромную роль играют показатели прибавки урожайности культуры, полученные от действия этих систем удобрения, участвующих в формировании уровня рентабельности производства.

Для повышения экономической эффективности в современных рыночных условиях необходимо совершенствование уже действующих технологий возделывания сельскохозяйственных культур, основанных на использовании на практике

тех агротехнических приёмов, благодаря которым показатели рентабельности будут максимальными.

При расчёте экономической эффективности внесения различных доз минеральных и органических удобрений за основу были приняты технологические карты возделывания озимой пшеницы с учётом цен, сложившихся в Белгородской области на 2017 год (табл. 4.2). Технологическая карта возделывания озимой пшеницы приведена в приложении В.

За счёт применения минеральных удобрений можно получать более высокую урожайность, однако это приводит не только к увеличению показателей стоимости производимой продукции, но и повышению затрат и себестоимости зерна.

Производственные затраты и себестоимость при возделывании озимой пшеницы без внесения удобрений были минимальными и составляли 12296 руб/га и 3242 руб/т. Применение удобрений увеличивало производственные затраты и себестоимость зерна озимой пшеницы. Так, при внесении минеральных удобрений в дозе  $N_{90}P_{60}K_{60}$  они возросли до 18675 руб/га и себестоимость зерна составила при этом составила 3742 руб/т, а увеличение дозы до  $N_{150}P_{120}K_{120}$  повысило затраты ещё на 1903 руб/га, а себестоимость зерна на 20 руб/т. При внесении двойных доз минеральных на фоне последействия 80 т/га навоза затраты возросли до 26395 руб/га. Себестоимость зерна достигла максимальных значений при внесении  $N_{90}P_{60}K_{60}$  на фоне последействия 40 т/га навоза и составила 4808 руб/т зерна.

Сумма от реализации продукции зависела от урожайности зерна озимой пшеницы. Чем выше урожайность, тем больше была сумма от реализации.

Внесение  $N_{150}P_{120}K_{120}$  на фоне последействия 80 т/га навоза обеспечило максимальную урожайность озимой пшеницы, в результате стоимость продукции была максимальной и составила 50745 руб.

Увеличение затрат на возделывание озимой пшеницы, несмотря на довольно высокие показатели стоимости получаемого урожая, привело к снижению процента рентабельности вложенных средств.

Таблица 4.2 – Экономическая эффективность возделывания озимой пшеницы в зависимости от вида и доз удобрений (2013-2015 гг.)

Вариант	Урожайность, т/га	Стоимость зерновой продукции, руб.	Производственные затраты, руб/га	Условно чистый доход, руб/га	Уровень рентабельности, %	Себестоимость зерна, руб/т
Контроль	3,79	32215	12296	19919	162	3244
N <sub>90</sub> P <sub>60</sub> K <sub>60</sub>	4,99	42415	18675	23740	127	3742
N <sub>150</sub> P <sub>120</sub> K <sub>120</sub>	5,47	46495	20578	25917	126	3762
Навоз 40*	4,24	36040	18200	17840	98	4292
N <sub>90</sub> P <sub>60</sub> K <sub>60</sub> +навоз 40*	4,64	39440	22310	17130	77	4808
N <sub>150</sub> P <sub>120</sub> K <sub>120</sub> +навоз 40*	5,43	46155	23580	22575	96	4343
Навоз 80**	4,41	37485	18600	18885	102	4218
N <sub>90</sub> P <sub>60</sub> K <sub>60</sub> +навоз 80**	5,24	44540	24250	20290	84	4628
N <sub>150</sub> P <sub>120</sub> K <sub>120</sub> +навоз 80**	5,97	50745	24350	26395	108	4079

Примечание: \* – последствие 40 т/га навоза; \*\* – последствие 80 т/га навоза

Условно чистый доход на варианте без применения удобрений составил 19919 руб. Применение минеральных удобрений в одной и двух дозах, а также внесение двойной дозы минеральных удобрений увеличило данный показатель, по сравнению с контрольным вариантом на 3821 и 2177 руб/га соответственно.

В вариантах с последствием 40 и 80 т/га навоза и внесением  $N_{90}P_{60}K_{60}$  на фоне последствия 40 т/га из-за меньшей прибавки урожая и увеличения производственных затрат, по сравнению с вариантом без удобрений, условно чистый доход был ниже в среднем на 1967 руб/га.

Наибольший условно чистый доход даёт внесение минеральных удобрений в дозе  $N_{150}P_{120}K_{120}$  на фоне последствия 80 т/га навоза. Затраты на применение удобрений полностью окупаются прибавкой урожая, а условно чистый доход на 2045 руб/га превышает производственные затраты.

Проведённые исследования на чернозёме типичном показали, что внесение минеральных удобрений и их внесение на фоне последствия навоза способствует повышению энергетического коэффициента до единицы и выше.

Минеральные удобрения в чистом виде и их двойная доза на фоне последствия 80 т/га навоза являются важным фактором повышения урожайности зерна озимой пшеницы и экономически выгодны.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. За период с 2000 по 2015 годы содержание гумуса под влиянием минеральных и органических удобрений уменьшилось по сравнению с контролем. Минимальное снижение содержания гумуса за 15 лет на 0,18; 0,14 и 0,15 % отмечено в вариантах с внесением  $N_{150}P_{120}K_{120}$  на фоне последействия 40 и 80 т/га навоза и в варианте последействия навоза в дозе 80 т/га.

2. Минеральные удобрения в большей степени способствуют подкислению реакции почвенного раствора. При внесении  $N_{90}P_{60}K_{60}$  и  $N_{150}P_{120}K_{120}$  величина рН снижалась на 0,35 ед., по сравнению с величиной контрольного варианта. Положительное влияние на кислотность почвы оказывает последействие органических удобрений в дозе 40 т/га и внесение в  $N_{90}P_{60}K_{60}$  на фоне последействия 80 т/га навоза. В этих вариантах величина рН была на уровне контрольных значений.

3. В фазу полной спелости озимой пшеницы запасы минерального азота в почве были выше, по сравнению с фазой кущения. В слое почвы 0-20 см в течение вегетации озимой пшеницы максимальные запасы минерального азота были отмечены в вариантах с внесением двойной дозы минеральных удобрений в чистом виде и внесении минеральных удобрений на фоне последействия 80 т/га навоза. В слое почвы 0-100 см наибольшие его запасы отмечены при внесении  $N_{150}P_{120}K_{120}$  в чистом виде и на фоне последействия 40 т/га навоза. Корреляционный анализ подтвердил сильную зависимость урожайности озимой пшеницы от запасов минерального азота в слое почвы 0-40 см, 0-60 см и 0-100 см в весенний и летний периоды.

4. Внесение минеральных и последействие органических удобрений не оказывает значительного влияния на валовое содержание кадмия в почве, которое изменялось от 0,62 мг/кг в варианте с последействием 40 т/га навоза до 0,86 мг/кг в варианте с внесением двойной дозы минеральных удобрений на фоне последействия 80 т/га навоза, что на 0,38-0,14 мг/кг ниже ОДК.

5. Внесение минеральных, последействие органических и внесение минеральных на фоне последействия навоза не привело к увеличению по-

движных форм кадмия в почве и не оказывает отрицательного влияния на агроэкологическое состояние почвы. Коэффициент подвижности кадмия при внесении минеральных удобрений и при их внесении на фоне последствий навоза снижается с 23,6 до 14,0 % в фазу кущения и с 22,2 до 12,0 % в фазу полной спелости.

Внесение минеральных удобрений повышало содержание кадмия в зерне озимой пшеницы на 0,03-0,01 мг/кг, однако это не превышало ПДК. Таким образом, растительная продукция экологически безопасна по содержанию кадмия.

6. Под влиянием удобрений повышаются коэффициент биологического поглощения и коэффициент накопления кадмия озимой пшеницей. На контрольном варианте коэффициент биологического поглощения был минимальным и составил 5,4 %, максимальные его значения отмечены в варианте с последствием 80 т/га навоза – 8,7 %. Под действием удобрений КБП кадмия соломой озимой пшеницы изменялся незначительно – 1,7-2,2 %.

Коэффициент накопления кадмия зерном озимой пшеницы изменялся от 24,3% в варианте без применения удобрений, до 55,4 % – при внесении минеральных удобрений в дозе  $N_{150}P_{120}K_{120}$  на фоне последствий 80 т/га навоза. Минимальные значения Кн кадмия соломой (7,6 %) отмечены в контрольном варианте и в варианте с внесением  $N_{90}P_{60}K_{60}$  на фоне последствий 80 т/га навоза.

7. Внесение минеральных удобрений на фоне последствий навоза существенно увеличило урожайность озимой пшеницы, и прибавка относительно контроля составляла: на минеральном фоне – 1,20-1,68 т/га, органическом – 0,45-0,62 т/га, органо-минеральном – 0,85-2,18 т/га. Максимальная урожайность озимой пшеницы 5,97 т/га, была получена при внесении  $N_{150}P_{120}K_{120}$  на фоне последствий навоза 80 т/га.

8. Внесение минеральных удобрений в дозах  $N_{150}P_{120}K_{120}$  и  $N_{90}P_{60}K_{60}$  на фоне последствий 80 т/га навоза оказало положительное влияние на качество зерна озимой пшеницы, увеличивая по сравнению с естественным аг-



рохимическим фоном: содержание клейковины – на 8,7%, содержанию белка – на 1,6-2,2 %. На удобренных вариантах зерно озимой пшеницы по всем показателям соответствовало II классу.

9. Внесение минеральных удобрений и их внесение на фоне последствия навоза способствовали повышению энергетического коэффициента до единицы и выше.

10. Результаты расчёта экономической эффективности возделывания озимой пшеницы показывают, что более перспективно внесение минеральных удобрений на фоне последствия навоза. Затраты на применение минеральных удобрений в дозе  $N_{150}P_{120}K_{120}$  на фоне последствия 80 т/га навоза полностью окупаются прибавкой урожая и условно чистый доход, полученный от данного приёма на 2045 руб/га превышает производственные затраты.

## ПРЕДЛОЖЕНИЯ ПРОИЗВОДСТВУ

Для получения стабильных урожаев зерна озимой пшеницы хорошего качества с сохранением плодородия чернозёма типичного в условиях Белгородской области рекомендуется внесение минеральных удобрений в дозе  $N_{120}P_{120}K_{120}$  на фоне последействия 80 т/га навоза на фоне последействия навоза 80 т/га в основной приём и проведение ранне-весенней подкормки  $N_{30}$  аммиачной селитрой.

**СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Авессаломов, И.А. Геохимические показатели при изучении ландшафтов: Учебно-методическое пособие / И.А. Авессаломов. – М.: Издательство Московского университета, 1987. – 108 с.
2. Авраменко, П.М. Агрохимия на службе урожая / П.М. Авраменко. – Белгород: типография ООО ГиК, 2008. – 92 с.
3. Авраменко, П.М. Агрохимическое и агроэкологическое состояние почв Белгородской области / П.М. Авраменко, С.В.Лукин; БИЦ, Белгород, 2001. – 40 с.
4. Агрохимия / Б.А. Ягодин, П.М. Смирнов, Петербургский и др. – Агропромиздат, 1989.
5. Агроэкологическая характеристика пахотных почв Российской Федерации по содержанию тяжёлых металлов, мышьяка и фтора (по состоянию на 01.01.2000 г.). Агроконсалт.ММосква, 2002. – 50 с.
6. Азаров, В.Б. Мониторинг плодородия почв Центрального Черноземья: Учебно-методическое пособие. Белгород: «Отчий край», 2004. – 204 с.
7. Аккумуляция тяжелых металлов в растениеводческой продукции зоны техногенеза / Ф.Н. Лисецкий [и др.] // Вестник Оренбургского государственного аграрного университета. – 2008. –№ 10 (92). – С.142-149.
8. Алексеев, Ю.В. Тяжёлые металлы в агроландшафте / Ю.В. Алексеев. – СПб.: Издательство ПИЛФ РАН, 2008. – 216 с.
9. Алексеев, Ю.В. Тяжёлые металлы в почвах и растениях / Ю.В. Алексеев. – Л.: Агропромиздат, 1987. – 141 с.
10. Амелина, О.П. Экологическая оценка техногенного воздействия на ландшафт и методов его рекультивации / О.П. Амелина, С.А. Тобратов, И.Ю. Мажайская // Экологическое состояние природной среды и научно-практические аспекты современных мелиоративных технологий: сб. науч. тр. / под ред. Ю.А. Мажайского. – Рязань, 2004. – С. 506- 514.
11. Ахтырцев, Б.П. Почвенный покров Белгородской области: структура, районирование и рациональное использование / Б.П. Ахтырцев, В.Д.

Соловиченко. – Воронеж: Издательство Воронежского университета, 1984. – 265 с.

12. Афанасьев, Р.А. Содержание подвижного фосфора в почвах при длительном использовании удобрений / Р.А. Афанасьев, Г.Е. Мерзлая // Агрехимия. – 2013. – № 2. – С.30-36.

13. Байкенова, Ю.Г. Оценка степени опасности загрязнения почв тяжёлыми металлами (ТМ) / Ю.Г. Байкенова // Аграрный вестник Урала. – 2014. – № 7 – С. 10-14.

14. Балаев, А.Д. Трансформация органического вещества черноземных почв под влиянием длительного применения различных систем обработки и удобрения/ А.Д. Балаев, М.В. Гаврилюк, В.Н. Недбаев // Вестник Курской государственной сельскохозяйственной академии. – 2015. –№ 1. – С.47-48.

15. Белюченко, И.С. Вопросы защиты почв в системе агроландшафта / И.С. Белюченко // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета (Научный журнал КубГАУ) [Электронный ресурс]. – Краснодар: КубГАУ, 2014. – № 95 (01). – С. 823 – 854.

16. Белюченко, И.С. Загрязнение почв тяжелыми металлами / И.С. Белюченко, В.Н. Двоеглазов, В.Н. Гукалов // Экологические проблемы Кубани. – 2002. – № 16. – С. 83-107.

17. Белюченко, И.С. Экология Кубани.– Краснодар: КубГАУ, 2005. – Часть II. – 470 с.

18. Бобрышев, Ф. И. Озимая пшеница в Ставропольском крае / Ф. И. Бобрышев, А. И. Войсковой, В. В. Дубина и др. – Ставрополь: Изд-во СтГАУ «АГРУС», 2003. –307 с.

19. Большаков, В.А. Микроэлементы и тяжелые металлы в почвах / В.А. Большаков // Почвоведение. – 2002. – №7. – С.844-849.

20. Бутяйкин, В.В. Влияние способов основной обработки почвы и минеральных удобрений на урожай и качество зерна озимой пшеницы / В.В.

Бутяйкин, М.Н. Чаткин // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. – 2014. – № 7. – С.38-41.

21. Вавилов, П.П. Растениеводство / П.П. Вавилов, В.В. Гриценко, В.С. Кузнецов. – Под ред. П.П. Вавилова. – Издательство 4-е, доп. и перераб. – М.: Колос, 1979. – 519 с.

22. Виноградов, А.П. Геохимия редких и рассеянных химических элементов в почвах / А.П. Виноградов. – М.: Изд-во АН СССР, 1957. – 238 с.

23. Водяницкий, Ю.Н. Загрязнение почв тяжёлыми металлами и металлоидами и их экологическая опасность (аналитический обзор) / Ю.Н. Водяницкий // Почвоведение. – 2013. – № 7 – С. 872-881.

24. Влияние длительного применения удобрений на динамику калия в черноземе типичном / С.И. Тютюнов [и др.] // Земледелие. – 2014. – № 8. – С. 18-20.

25. Влияние длительного применения удобрений на агрохимические показатели выщелоченного чернозёма и продуктивность культур / О.В. Волюнкина [и др.] // Аграрный вестник Урала. – 2014. – № 7. – С. 15-21.

26. Влияние длительного применения удобрений на агрохимические свойства чернозема южного и продуктивность культур зернопарового севооборота / М.П. Чуб [и др.] // Агрохимия. – 2013. – № 2. – С. 3-8.

27. Влияние карбоната кадмия на урожай сельскохозяйственных культур, подвижность кадмия в почве и накопление растениями / Ю.А. Потапуева [и др.] // Агрохимия. – 2005. – № 8. – С.50-57.

28. Влияние многолетнего применения удобрений на накопление тяжёлых металлов в черноземе выщелоченном / А.Н. Парасюта, А.И. Столяров, В.П. Суетов и др. // Агрохимия. – 2000. – № 11. – С.62-65.

29. Влияние применения систем удобрений и мелиорантов на содержание различных форм тяжелых металлов в черноземе выщелоченном / С.Е. Цыплаков [и др.] // Материалы по изучению русских почв., Вып. 6 (33):Сб. науч. Докл. / Под ред. Б.Ф. Апарина.– СПб.: Изд-во С.-Петербур. ун-та, 2009. – С.145-149.

30. Влияние способов основной обработки почвы, удобрений и мелиоранта на показатели плодородия и урожайность озимой пшеницы / В.М. Кильдюшкин [и др.] // Биологизация земель в адаптивно-ландшафтной системе земледелия: материалы Всерос. научно-практической конф. (Белгородский НИИСХ 14-17 июля 2015 г.). – Белгород: «Отчий край», 2015. – С.108-113.

31. Вяйзенен, Г.Н. Мониторинг тяжелых металлов и радионуклидов в природных экосистемах / Г.Н. Вяйзенен, А.И. Токарь // Пищевые ресурсы дикой природы и экологическая безопасность населения: материалы Междунар. конф., 16-18 ноября 2004 г., Киров: ВНИИОЗ, 2004. –221с.

32. Гайдукова, Н.Г. О возможности чернозёма выщелоченного Кубани инактивировать особо опасные тяжелые металлы [Электронный ресурс] / Н.Г. Гайдукова // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета (Научный журнал КубГАУ). – Краснодар: КубГАУ, 2010. – № 61 (07). – Режим доступа: <http://ej.kubagro.ru/2010/07/pdf/04.pdf> (дата обращения 22.06.2016).

33. Гигиенические требования безопасности и пищевой ценности пищевых продуктов СанПиН 2.3.2.1078-01. Утв. постановлением Главного государственного санитарного врача РФ от 22.03.2002 г. № 3326. – Режим доступа: <http://standartgost.ru>

34. Глебова, И.В. Закономерности сорбционного распределения ионов кадмия в почвах Центрального Черноземья / И.В. Глебова, И.Я. Пиго-рев // Вестник Курской государственной сельскохозяйственной академии. – 2010. –№ 6. – С.42-48.

35. ГН 2.1.7.020-96. Почва, очистка населенных мест, бытовые и промышленные отходы, санитарная охрана почвы. Ориентировочно допустимые концентрации (ОДК) тяжелых металлов и мышьяка в почвах с различными физико-химическими свойствами. – М.: Госкомсанэпиднадзор, 1994. – 3 с.

36. ГН 2.1.7.2511-09 Гигиенические нормативы «Ориентировочно

допустимые концентрации (ОДК) химических веществ в почве». Утв. постановлением Главного гос. санитар. врача РФ от 18.05.2009 г. № 32.

37. ГОСТ 17.4.1.02-83. Охрана природы. Почва. Классификация химических веществ для контроля загрязнения. – М.: Стандартинформ, 2000. – 4 с.

38. ГОСТ 26213-91. Почвы. Определение гумуса по методу Тюрина в модификации ЦИНАО.

39. Государственный доклад « Об экологической ситуации в Белгородской области в 2014 году» [Электронный ресурс] – Режим доступа: [http://www.greenpatrol.ru/sites/default/files/doklad\\_ob\\_ekologicheskoy\\_situacii\\_v\\_belgorodskoy\\_oblasti\\_2014.pdf](http://www.greenpatrol.ru/sites/default/files/doklad_ob_ekologicheskoy_situacii_v_belgorodskoy_oblasti_2014.pdf) (дата обращения 30.06.2016).

40. Гукалов, В.Н. Оценка загрязнения почв тяжёлыми металлами с учётом их состояния в компонентах ландшафта / В.Н. Гукалов, В.И. Савич, Н.А. Трифонова // АГРО XXI. – 2015. – № 0406. – С. 44-46.

41. Гукалов, В.Н. Поэтапное изменение свойств почв при загрязнении их тяжёлыми металлами / В.Н. Гукалов, В.И. Савич, Н.А. Трифонова // Плодородие. – 2015. – № 1 (82). – С. 42-45.

42. Гуреев, И.И. Формализация азотного питания в перспективных агротехнологиях возделывания озимой пшеницы / И.И. Гуреев, Н.С. Климов // Вестник Курской государственной сельскохозяйственной академии. – 2015. – № 3. – С.46-47.

43. Дабахов, М.В. Экоотоксикология и проблемы нормирования / М.В. Дабахов, Е.В. Дабахова, В.И. Титова // Нижегородская государственная сельскохозяйственная академия. – Н. Новгород: Изд-во ВВАГС, 2005. – 165 с.

44. Действие и последствие органических удобрений в севообороте / С.И. Новоселов [и др.] // Агрехимия. – 2013. – №8. – С. 30-37.

45. Долгополова, Н.В. Динамика элементов питания при возделывании яровой твёрдой пшеницы по различным предшественникам и фонам удобренности / Н.В. Долгополова // Вестник Курской государственной сель-

скохозяйственной академии. – 2015. – № 4. – С. 51-53.

46. Дозы удобрений при выращивании озимой пшеницы на выщелоченном чернозёме / С.М. Бесланеев [и др.] // Агрехимический вестник. – 2003. – № 5. – С.16-17.

47. Дорошев, И.А. Роль азота в жизнедеятельности растений / И.А. Дорошев, В.В. Дроздова, А.Х. Шеуджен // Научное обеспечение агропромышленного комплекса: материалы Всерос. научно-практической конференции молодых ученых (26-28 ноября 2013 г. и 2-4 декабря 2014 г.). – Краснодар: КубГАУ, 2014. – С.21-23.

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

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

50. Егорова, Е.В. Влияние кадмия, меди и цинка на содержание углеводов и форм азота в ячмене на удобренной дерново-подзолистой почве / Е.В. Егорова // Проблемы агрохимии и экологии. – 2008. – № 4. – С.39-41.

51. Ермаков, В.В. Влияние минеральных удобрений и предшественников на качество зерна озимой пшеницы в зависимости от экспозиции склона / В.В. Ермаков, Д.В. дубовик // Агрехимия. – 2005. – № 4. – С. 16-21.

52. Еськов, Е.К. Накопление свинца и кадмия различными органами растений в зависимости от их удалённости от автомагистрали / Е.К. Еськов, М.Д. Еськова // Агрехимия. – 2013. – № 5. – С.81-85.

53. Ефремов, Е.Н. Контроль за содержанием тяжелых металлов в удобрениях и химических мелиорантах / Е.Н. Ефремов, В.В. Носиков // Сб. научн. тр. ЦИНАО. – М., 1988. – С. 91.

54. Жандарова, С.В. Экологические аспекты возделывания зерновых культур на загрязненных почвах / С.В. Жандарова, Б.В. Жандаров // Агрехимический вестник. – 2005. – № 1. – С.24-26.

55. Зайцева, Г.А. Зависимость урожайности сельскохозяйственных



культур от содержания фосфора в почве в начале вегетации под влиянием погодно-климатических условий / Г.А. Зайцева // Вестник Мичуринского государственного аграрного университета. – 2013. – № 1. – С.33-35.

56. Зубкова, В.М. Вариабельность элементного состава растений, выращиваемых на загрязненной тяжелыми металлами почве / В.М. Зубкова // Ученые записки Российского государственного социального университета. – 2009. – № 5. – С.169-177.

57. Иванова, С.Е. Фосфор: механизмы потерь из почвы и способы их снижения /С.Е. Иванова, И.В. Логинова, Т. Тиндалл // Питание растений. – 2011. – № 2. – С. 9-12.

58. Изменение содержания кислоторастворимой формы элементов в агродерново-подзолистой почве при внесении удобрений в длительном полевом опыте с севооборотом / Р.П. Макарикова [и др.] // Проблемы агрохимии и экологии. – 2013. – № 1. – С. 16-21.

59. Ильин, В.Б. Тяжелые металлы в системе почва – растение / В. Б. Ильин. – Новосибирск: Наука, 1991. –151 с.

60. Информационная оценка содержания тяжелых металлов в почвах / В.Н. Гукалов [и др.] // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. – 2015. – № 5. – С.58-64.

61. Исследование механизма повреждающего действия избыточных концентраций кадмия на состояние антиоксидантных ферментов кресс-салата / О.А. Науменко [и др.] // Вестник Оренбургского государственного университета. – 2013. – № 10 (159). – С.205-207.

62. Кабата-Пендиас А., Пендиас Х. Микроэлементы в почвах и растениях. – М.: Мир, 1989. – 439 с.

63. Кадмий: экологические аспекты (Гигиенические критерии состояния окружающей среды; 135). ВОЗ-Женева, 1994. –160 с.

64. Казакова, Н.А. Загрязнение почв тяжелыми металлами / Н.А. Казакова // Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии. – 2009. – № 1 (8). – С.29-31.

65. Казнина, Н.М. Влияние кадмия на физиологические процессы и продуктивность семейства Роасеае / Н. М. Казнина, А. Ф. Титов // Успехи современной биологии. – 2013, том 133, № 6. – С. 588-603.
66. Кануков, З.Т. Урожай и качество продукции культур севооборота при удобрении выщелоченного чернозёма / З.Т. Кануков, С.Х. Дзанагов, А.Е. Басиев // Плодородие. – 2009. – № 4. – С.41-42.
67. Карабутов, А.П. Влияние элементов агротехнологии на калийный режим почвы в длительных опытах / А.П. Карабутов, Г.И. Уваров // Научные ведомости БелГУ. Естественные науки. № 3 (200) 2015. Вып. 30. – С. 125-132.
68. Карпова, Е.А. Роль удобрений в циклах микроэлементов в агроэкосистемах / Е.А. Карпова // Российский химический журнал (Жур. Рос. хим. об-ва им. Д.И. Менделеева). – 2005. – Том XLIX. – С. 20-25.
69. Ковтун, В. И. Технология выращивания высококачественного зерна озимой пшеницы на юге России / В. И. Ковтун, Л. Н. Ковтун // Земледелие. – 2013. – № 3.– С. 27–29.
70. Комова, А.В. Влияние удобрений и мелиоранта на подвижность фосфора в черноземе выщелоченном / А.В. Комова, К.Е. Стекольников // Молодежный вектор развития аграрной науки: материалы 66-й студенческой научной конференции. – Ч. III. -Воронеж: ФГБОУ ВПО Воронежский ГАУ, 2015. – С. 58-62.
71. Корчагина, К.В. Оценка загрязнения почв кадмием и мышьяком с учетом изменения их концентрации и плотности почв с глубиной / К.В. Корчагина, А.В. Смагин, Т.В. Решетина // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. – 2013. –№ 8 (106). – С.40-43.
72. Костин, Я.В. Динамика изменения плодородия и продуктивности серых лесных почв при длительном применении разных форм минеральных удобрений / В.Я. Костин // диссертация на соискание ученой степени доктора сельскохозяйственных наук. – Рязань: Рязанская государственная сельскохозяйственная академия, 2001. – 260 с.

73. Корнейко, Н.И. Агрохимическое состояние пахотных почв Белгородской области / Н.И. Корнейко // Успехи современного естествознания. – 2014. – № 9. – С.120-124.

74. Котлярова, О.Г. Плодородие агроландшафтов Центрально-Черноземной зоны: Монография / О.Г. Котлярова, Г.И. Уваров, Е.Г.Котлярова. – Белгород: Изд-во БелГСХА, 2004. – 277с.

75. Кузнецова, С.А. Влияние кадмия на ростовые процессы и интенсивность фотосинтеза растений пшеницы / С.А. Кузнецова, Д.А. Климачев // Вестник Московского государственного областного университета. Серия: Естественные науки. –2014. – № 5. – С. 20-23.

76. Кузьмич, М.А. Влияние известкования на поступление ТМ в растения / М.А. Кузьмич, Г.А. Графская, Н.В. Хостищева // Агрохимический вестник. – 2000. – № 5. – С. 28-29.

77. Ларешин, В.Г. Сохранение и повышение плодородия земель сельскохозяйственного назначения: учебное пособие / Ларешин В.Г. [и др.] – М.: РУДН, 2008. – 172 с.

78. Лебедовский, И.А. Оценка содержания тяжелых металлов черноземе выщелоченном при длительном применении удобрений / И.А. Лебедовский // Агрохимический вестник. – 2010. – № 6. – С.13-16.

79. Лицуков, С.Д. Агроэкологические особенности возделывания овощных культур на почвах, загрязненных тяжелыми металлами / С.Д. Лицуков, А.В. Акинчин // Достижения науки и техники АПК. – 2008. – № 9. – С.17-19.

80. Лицуков, С.Д. Влияние средств химизации на подвижность свинца и цинка в почве / С.Д. Лицуков // Вестник Курской государственной сельскохозяйственной академии. – 2010. – № 3. – С. 31-33.

81. Лицуков, С.Д. Влияние средств химизации на поступление тяжелых металлов в клубни картофеля / С.Д. Лицуков // техника и технологии агропромышленного комплекса. – Москва: Издательство Московского ГАУ им. В.П. Горячкина. – 2003. – С. 250.

82. Лицуков, С.Д. Влияние тяжелых металлов на урожайность и качество картофеля / С.Д. Лицуков // Достижения науки и техники АПК. – 2003. – № 8. – С. 10-12.

83. Лицуков, С.Д. Накопление тяжелых металлов растениями картофеля на черноземе типичном / С.Д. Лицуков // Вестник Орловского ГАУ. – 2012. – № 1(98). – С.95-96.

84. Лицуков, С.Д. Накопление тяжёлых металлов растениями фасоли на чернозёме типичном / С.Д. Лицуков // Вестник Курской государственной сельскохозяйственной академии. – 2015. – № 4. – С. 49-51.

85. Лицуков, С.Д. Подвижность тяжелых металлов на черноземе типичном / С.Д. Лицуков // Бюллетень научных работ. – Белгород: Изд-во. БелГСХА, 2009. – Вып. 16. – С.22-27

86. Лицуков, С.Д. Получение экологически чистой продукции на почвах, загрязненных кадмием / С.Д. Лицуков // Достижения науки и техники АПК. – 2004. – № 4. – С.22-23.

87. Лицуков, С.Д. Получение экологически чистой продукции на почвах, загрязненных свинцом / С.Д. Лицуков // Агроэкологические проблемы в сельском хозяйстве. Сб. науч. тр. Часть 1. – Воронеж: Изд-во. Воронежский ГАУ, 2005. – С.209-212.

88. Лицуков, С.Д. Эколого-агрохимические аспекты возделывания сельскохозяйственных культур в ЦЧР: автореферат дис. ... доктора сельскохозяйственных наук: 06.01.04 / Лицуков Сергей Дмитриевич. – Воронеж, 2011. – 43 с.

89. Лукин, С.В. Устойчивость основных сельскохозяйственных растений к накоплению свинца, цинка, кадмия и меди / С.В. Лукин // Теория и практика использования агрохимических средств в современном земледелии Центрально-черноземных областей России. Материалы Всероссийской научно-практической конференции. – Белгород, 2002. – С.77-89.

90. Лукин, С.В. Агроэкологическая оценка содержания азота в сельскохозяйственных растениях и почвах Белгородской области / С.В. Лукин,

Н.С. Четверикова, М.А. Ероховец // Научные ведомости Белгородского университета. Естественные науки. –2011. – № 21 (116). Вып. 17. – С. 95-101.

91. Лукин, С.В. Микроэлементы в почвах Белгородской области / С.В. Лукин, П.М. Авраменко // Земледелие. – 2008. – № 7. –С. 21-22.

92. Лукин, С.В. Мониторинг содержания микроэлементов Zn, Cu, Mo, Co, Pb, Cd, As, Hg в пахотных чернозёмах юго-запада Центрально-Черноземной зоны / С.В. Лукин // Агрохимия. – 2012. – № 11. –С. 52-59.

93. Лукин, С.В. Нормирование содержания тяжелых металлов в черноземе Текст. /С.В. Лукин, Ф.Н. Лисецкий, В.Е. Евтушенко // Вестник Росс. акад. с-х. наук. –2000. – № 4. – С.68-69.

94. Лукин, С.В. Содержание свинца, кадмия, ртути и мышьяка в агроландшафтах Белгородской области / С.В. Лукин // Достижения науки и техники АПК. –2008. – № 7. – С. 39-41.

95. Лукин, С.В. Экологические проблемы и пути их решения в земледелии Белгородской области. – Белгород: Издательство «Крестьянское дело». 2004. – 164 с.

96. Лукьянова, Е.Н. Динамика содержания минерального азота, подвижного фосфора и обменного калия в почве при длительном применении минеральных удобрений / Е.Н. Лукьянова, Л.М. Онищенко // Научное обеспечение агропромышленного комплекса: материалы Всерос. науч.-практ. конф. молодых ученых (26–28 ноября 2013 г. и 2–4 декабря 2014 г.).– Краснодар: КубГАУ, 2014. – С. 36-38.

97. Лучницкая, О.А. Влияние длительного применения удобрений на содержание тяжелых металлов и калия в серой лесной почве / О.А. Лучницкая, В.И. Личко //Агрохимия. – 2005. – № 10. – С. 31-34.

98. Мадудина, А.С. Накопление тяжелых металлов в зерновой продукции, выращенной на черноземе выщелоченном Кубани / А.С.Мадудина, А.Н. Мязина, И.В. Шабанова // Научное обеспечение агропромышленного комплекса: материалы Всерос. науч.-практ. конф. молодых ученых (26-28 ноября 2013 г. и 2-4 декабря 2014 г.).–Краснодар: КубГАУ, 2014. – С.38-39.

99. Матвеев, Н.М. Вовлечение тяжелых металлов в основные трофические цепи в агрофитоценозах Высокого Заволжья: монография / Н.М. Матвеев, В.Н. Матвеев, Н.В. Прохорова; Федеральное агентство по образованию. – Самара: Изд-во «Самарский университет», 2008. – 144 с.

100. Мальцев, В.Ф. О накоплении тяжелых металлов (ТМ) в почве и растениях / В.Ф. Мальцев, С.А. Бельченко, А.Е. Сорокин, С.В. Фесенко // Биологизация земледелия в Нечерноземной зоне России. Научные труды – выпуск 2. Брянск 2005. – С. 174-185.

101. Методические указания по определению тяжёлых металлов в почвах сельхозугодий и продукции растениеводства. – М.: ЦИНАО. – 1992. – 62 с.

102. Методические указания по проведению локального мониторинга на реперных и контрольных участках. – М.: Росинформагротех, 2006. – 76 с.

103. Мельник, А.Ф. Адаптивные приёмы улучшения качества зерна озимой пшеницы / А.Ф. Мельник, А.Ф. Мартынов // Вестник ОрелГАУ. – 2012. – № 2(12). – С.23-28.

104. Мельник, А.Ф. Формирование урожайности и качества зерна озимой пшеницы / А.Ф. Мельник, А.Ф. Мартынов // Вестник ОрелГАУ. – 2012. – № 2(35). – С. 23-28.

105. Минеев, В.Г. Агрохимия / В.Г. Минеев. – М.: изд. МГУ, 2004. – 719 с.

106. Минеев, В.Г. Биологическое земледелие и минеральные удобрения / В.Г. Минеев, Б. Дебрецени, Т. Мазур. – М.: Колос, 1993.– 410 с.

107. Минеев, В.Г. Влияние последействия систем удобрения на барьерные функции растений ячменя на дерново-подзолистой почве, загрязненной свинцом и кадмием / В.Г. Минеев, Л.А. Лебедева, А.В. Арзамазова // Агрохимия. – 2009. – № 9. – С. 60-68.

108. Минеев, В.Г. Накопление тяжёлых металлов в почве и поступление их в растения при длительном агрохимическом опыте / В.Г. Минеев, Н.Ф. Гомонова // Докл. Рос. акад. наук. Экология. – 1993. – № 6. – С. 20-22.

109. Минеев, В.Г. Удобрения зерновых культур / В.Г. Минеев, М.М. Ивлев, Д.М. Аникст. – М.: Россельхозиздат, 1980. – 259 с.

110. Минеев, В.Г. Удобрение озимой пшеницы / В.Г. Минеев. – М.: Колос, 1973. – 206 с.

111. Минеральные подкормки и водоудерживающая способность пшеницы озимой / Г.Н. Пугачев [и др.] // Вестник Мичуринского государственного аграрного университета. – 2012. – № 2. – С.48-52.

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

113. Мырадов, Д. Плодородность почвы земель посева озимой пшеницы и ее повышение / Д. Мырадов, М. Оразбердиева // Молодой учёный. – 2015. – № 6 (86). – С. 347- 350.

114. Мязин, Н.Г. Влияние длительного применения удобрений на продуктивность звена севооборота и качество продукции на черноземе типичном / Н.Г. Мязин, Л.Ю. Лукин, Г.В. Дубинина // Агрохимия. – 1993. – № 5. – С.26-30.

115. Мязин, Н.Г. Влияние условий загрязнения почвы тяжелыми металлами на урожайность и качество зерна озимой пшеницы и корнеплодов сахарной свеклы / Н.Г. Мязин, Е.Г. Климкина // Агроэкологические проблемы в сельском хозяйстве: Сб. науч. тр. – Часть 1. – Воронеж: ВГАУ, 2005.

116. Навольнева, Е.В. Гумусное состояние чернозёма типичного: материалы международной конференции /Е.В. Навольнева. – М.: МАКС Пресс, 2013. – С. 180-181.

117. Нагорная, О.В. Влияние различных форм природопользования на энергетические функции органического вещества чернозёма типичного: автореф. дисс... канд. б. наук: 03.00.27. – Почвоведение, 03.00.16 – Экология / ВГУ; О.В.Нагорная – Воронеж, 2008. – 26с.

118. Накопление и распределение тяжёлых металлов в растениях зоны техногенеза / Т.М. Минкина [и др.] // Агрохимия. – 2013. – № 9. – С. 65-75.

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

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

121. Никитин, С. Н. Влияние средств химизации и биологизации на изменение содержания свинца и кадмия в зерне сельскохозяйственных культур / С. Н. Никитин // Земледелие. – 2014. – № 8. – С. 35-37.

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

123. Новые методы очистки почв от тяжёлых металлов / В.И. Савич [и др.] // Вестник Оренбургского государственного университета. – 2013. – № 4 (42). – С. 216-218.

124. Носатовский, А.И. Пшеница /А.И. Носатовский. – М.: Колос, 1965. – 568 с.

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

126. Образцов, А.С. Потенциальная продуктивность культурных растений / А.С. Образцов. – М.: ФГНУ «Росинформагротех», 2001. – Ил. 28.– 504с.

127. Об экологических рисках, связанных с накоплением свинца и кадмия в зерне озимой пшеницы, выращенной на чернозёме выщелоченном Западного Предкавказья [Электронный ресурс] / Н.Н. Нецадим [и др.] // Труды Кубанского государственного аграрного университета. – 2012. – № 3 (36). – Режим доступа: <http://kgau-works.kubsau.ru/issue/2012-36#> (дата обращения 22.06.2016).



128. Овчаренко, М.М. Тяжелые металлы в системе почва-растение-удобрения / М.М. Овчаренко. – М., 1997. – 290с.

129. Овчаренко, М.М. Приемы детоксикации почв, загрязненных тяжелыми металлами/ М.М. Овчаренко, И.А. Шильников, Н.А. Комарова // Агротехнический вестник. – 2005. – № 3. – С. 2-4.

130. Овчаренко, М.М. Тяжелые металлы в системе почва-растение-удобрение / М.М.Овчаренко // Химия в сельском хозяйстве. – 1995. – № 4. – С. 8-16.

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

132. Ориентировочно-допустимые концентрации (ОДК) тяжелых металлов и мышьяка в почвах (Дополнение №1 к перечню ПДК и ОДК №6229-91): Гигиенические нормативы. – М.: Информационно-издательский центр Госкомсанэпиднадзора России. – 8 с.

133. Ореховская, А.А. Влияние агротехнических приёмов на продуктивность озимой пшеницы в условиях ЦЧР / А. А. Ореховская, А.Г. Ступаков // Вестник Международного института питания растений. – 2015. – № 1. – С.6-9.

134. Основные сорбционные параметры распределения ионов кадмия в почвах Центрального Черноземья / В.Д. Муха [и др.] //Вестник Курской государственной сельскохозяйственной академии. – 2012. –№ 2. – С.87-90.

135. Особенности распределения ТМ в почвах сопредельных ландшафтов. Материалы докладов VI съезда Общества почвоведов им. В.В. Докучаева / Д.И. Щеглов [и др.]. – Петрозаводск: Карельский научный центр РАН, 2012. – Кн. 2. – С. 147-148.

136. Остромогильский, А.Х. Свинец, кадмий, мышьяк и ртуть в окружающей среде: моделирование глобального круговорота / А.Х. Остромогильский [и др.] // Мониторинг фонового загрязнения природных сред. – Л.: Гидрометеиздат, 1987. Вып. 4. С. 122-147.

137. Панин, С.И. Оценка аккумуляции тяжёлых металлов древесными растениями полевая защитной лесополосы и полевыми культурами / С.И. Панин, Е.Ю. Колесниченко, Т.С. Морозова, В.И. Соловьёва // Вестник Московского государственного областного университета. Серия: Естественные науки. – 2014. – № 1. – С. 75 - 80.

138. Панников, В.Д. Почва, климат, удобрения и урожай / В.Д. Панников, В.Г. Минеев. – М.: Колос, 1977. – 416 с.

139. Петрова, Е.Е. Загрязнение почв вблизи автомагистралей кадмием и цинком и их биологическое поглощение яровой пшеницей (в условиях Алейского района Алтайского края) / Е.Е. Петрова, Е.В. Райхерт // Известия Алтайского государственного университета. – 2013. – № 3 (79). – Том 1. – С.44-48.

140. Пигорев, И.Я. Элементы биологизации в технологии возделывания озимой пшеницы / И.Я. Пигорев, С.А. Тарасов // Вестник ОрелГАУ. – 2014. – № 5 (50). – С.103-109.

141. Плескачева, Е.Н. Оценка условий питания озимых культур при проведении азотных подкормок в ООО «Тигрицкое» Минусинского района / Е.Н. Плескачева // Инновационные тенденции развития российской науки: мат-лы VIII Международ. науч. - практ. конф. мол. уч. / под общ. ред. А.Г. Миронова; Краснояр. гос. аграр. ун-т. – Красноярск, 2015. – С. 63-67.

142. Плитинь, Ю.С. Качественный состав гумуса чернозема выщелоченного равнинного агроландшафта Западного Предкавказья / Ю.С. Плитинь // Научное обеспечение агропромышленного комплекса: материалы Всерос. науч.-практ. конф. молодых ученых (26-28 ноября 2013 г. и 2-4 декабря 2014 г.).–Краснодар: КубГАУ, 2014. – С. 46-48.

143. Плотников, А.А. Применение средств химизации и динамика почвенного плодородия в Костромской области / А.А. Плотников, Н.А. Лучник // Агрехимический вестник. – 2015. – № 3. – С.12-14.

144. Постников, А.В. Влияние различных форм фосфорных удобрений на плодородие и накопление тяжёлых металлов в почвах и растениях / А.В.

Постников, И.Н. Чумаченко, Н.Л. Кривоуст // Тяжёлые металлы и радионуклиды в агроэкосистемах. – М.: МГУ, 1994. – С. 54-56.

145. Проблемы деградации и восстановления продуктивности земель сельскохозяйственного назначения в России [Электронный ресурс] / Под редакцией академиков Россельхоакадемии А.В. Гордеева, Г.А. Романенко. – М.: Росинформагротех, 2008. 67 с. – Режим доступа: <http://agro.geonet.ru/publications/degradation.pdf> (дата обращения 30.06.2016).

146. Прянишников, Д.Н. Общие вопросы агрономии и химизации земледелия: Избранные сочинения. – М., 1965. – т. 3. – С. 10-20.

147. Романькова, А.А. Содержание кадмия и свинца в высших растениях на территории Красненского района Белгородской области / А.А. Романькова, И.В. Батлуцкая // Научные ведомости БелГУ. Естественные науки. № 3 (98) 2011. Вып. 14. – С. 68-75.

148. Рэуце, К. Борьба с загрязнением почвы / К. Рэуце, С. Кырстя.- М.: Агропромиздат, 1986. – 209с.

149. Савич, В.И. Изменение фосфатного состояния дерново-подзолистых почв при оглеении и внесении высоких доз органических удобрений / В.И. Савич, Р.Ф. Байбеков, Д.Н. Никиточкин, М.М. Кузелев // Плодородие. – 2013. – № 2. – С. 14-15.

150. Саленко, Е.А. Влияние минеральных удобрений на формирование параметров структуры урожая и качества зерна озимой пшеницы на чернозёме выщелоченном [Электронный ресурс] / Е.А. Саленко // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета (Научный журнал КубГАУ). – Краснодар: КубГАУ, 2015. – № 105 (01). – Режим доступа: <http://ej.kubagro.ru/2015/01/pdf/05.pdf> (дата обращения 22.06.2016).

151. Седых, В.А. Изменение подвижности тяжёлых металлов в почвах при применении высоких доз органических удобрений / В.А. Седых, А.В. Филиппова, А.К. Саидов // Известия Оренбургского аграрного университета. – 2012. – № 4 (36). – С. 209-212.

152. Серегин, И.В., Иванов, В.Б. Физиологические аспекты токсического действия кадмия и свинца на высшие растения // Физиология растений. 2001. Т.48. –С. 606-630.

153. Селезнева, Е.М. Влияние кадмия на некоторые морфофизиологические и биохимические показатели ячменя / Е. М. Селезнева, Л. И. Гончарова, Н. В. Белова // Агрехимия. – 2008.–№ 4. – С. 82-86.

154. Сизов, А.П. Проблемы борьбы с загрязнением почв и продукции растениеводства / А.П. Сизов, Д.М. Хомяков, П.М. Хомяков.– М.: МГУ, 1990. – 19 с.

155. Система удобрения как фактор сохранения гумуса в почве / Е.В. Навольнева [и др.] // Вестник Курской государственной сельскохозяйственной академии. – 2015. – № 5. – С. 55-57.

156. Слабко, Ю.И. Аккумуляция кадмия в почве и растениях сои под влиянием минеральных удобрений / Ю.И. Слабко, А.А. Лопатина // Вестник КрасГАУ. – 2016. – № 2. – С. 19-23.

157. Сладкова, Н.А. Распределение цинка и кадмия в системе торфяная почва-растение под влиянием фосфорных и калийных удобрений: дисс. на соиск. уч. ст. канд. биол. наук. – Санкт-Петербург-Пушкин, 2016. –187 с.

158. Смирнова, Л.Г. Влияние удобрений на урожайность озимой пшеницы на выщелоченном эродированном чернозёме / Л.Г. Смирнова // Зерновое хозяйство. – 2006. – № 4. – С. 23-24.

159. Смуров, С.И. Урожайность и качество зерна озимой пшеницы в зависимости от её сортов, предшественников и фонов минерального питания / С.И. Смуров, О.В. Григоров, Т.А. Шапашникова // Материалы конференции «Проблемы сельскохозяйственного производства на современном этапе и пути их решения» X междунар. науч.-произв. конференция.- Белгород: Издательство БелГСХА, 2006. – С. 57.

160. Содержание микроэлементов в чернозёме типичном в зависимости от степени его эродированности / Н.П. Масютенко [и др.] // Вестник Курской государственной сельскохозяйственной академии. – 2015. –№ 1. – С.40-

44.

161. Сокаева, Р.М. Проблема экологического нормирования биогеоценозов / Р.М. Сокаева, К.Е. Сокаев // *Агрехимический вестник*. – 2009. – № 4. – С. 6-8.

162. Соколов, О.А. Атлас распределения тяжелых металлов в объектах окружающей среды / О.А Соколов, В.А. Черников, С.В. Лукин. – 2-е изд., доп. – Белгород: КОНСТАНТА, 2008. – 188 с.

163. Стекольников, К.Е. Влияние длительного применения удобрений и мелиоранта на гумусное состояние чернозёма выщелоченного / К.Е. Стекольников, И.С. Горб, О.М. Кольцова // *Вестник Воронежского аграрного университета*. – 2013. – № 1. – С. 13-17.

164. Стекольников, К.Е. Влияние длительного применения удобрений и мелиоранта на кислотно-основной режим чернозёма выщелоченного / К.Е. Стекольников, И.С. Горб, О.М. Кольцова // *Вестник Воронежского аграрного университета*. – 2013. – № 4. – С. 22-31.

165. Титова, Г.А. Динамика агрохимических показателей и содержание тяжелых металлов в почве под влиянием осадка городских сточных вод и навоза / Г.А. Титова // *АГРО XXI*. – 2014. – № 0406. – С. 42-44.

166. Титов, А.Ф. Устойчивость растений к кадмию (на примере семейства злаков): учебное пособие / А.Ф. Титов, Н.М. Казнина, В.В. Таланова. – Институт биологии Карельского научного центра РАН. – Петрозаводск: Карельский научный центр РАН, 2012. – 55 с.

167. Титов, А.Ф. Влияние высоких концентраций кадмия на рост и развитие ячменя и овса на ранних этапах онтогенеза/ А.Ф.Титов, Г.Ф. Лайдинен, Н.М. Казнина // *Агрехимия*. 2002. № 9. С. 61–65.

168. Транслокация тяжелых металлов в системе почва-растение / К.Е. Сокаев [и др.] // *Агрехимический вестник*. – 2004. – № 2. – С.16-18.

169. Троц, Н.М. Характер поступления тяжелых металлов в озимые зерновые культуры Самарского Заволжья / Н.М. Троц, С.В. Обущенко, В.В. Троц // *Вестник Алтайского государственного аграрного университета*. –

2012. – № 11 (97). – С. 45-48.

170. Тутукова, Д.А. Влияние уровня минерального питания на урожайность и качество зерна новых сортов озимой пшеницы в условиях вертикальной зональности Кабардино-Балкарии / Д.А. Тутукова, Х.А. Малкандуев, А.Х. Малкандуева // Вестник Орловского аграрного университета. – 2011. – № 4 (31). – С. 7-9.

171. Тютюнов, С.И. Загрязнение почв Белгородской области и технологические приёмы по их восстановлению: Учебно-производственное пособие / С.И. Тютюнов, В.Д. Соловиченко, Г.И. Уваров [и др.]. – Белгород: «Отчий край», 2012. – 40 с.

172. Тютюнов, С.И. О методике программирования урожаев на чернозёмах Центрально-Чернозёмного региона / С.И. Тютюнов, В.В. Никитин, А.Н. Воронин // Агрехимия. – 2013. – №9. – С. 48-54.

173. Уваров, Г.И. Экологические функции почв / Г.И. Уваров: Учебное пособие. – Белгород: Бел ГСХА, 2007. – 175 с.: 47 ил.

174. Уваров, Г.И. Азотный режим чернозема в зависимости от удобрений и приёмов обработки / Г.И. Уваров, А.П. Карабутов: Научные ведомости Белгородского университета. Естественные науки. – 2013. – № 24 (167). Вып. 25. – С. 105-110.

175. Урожайность и качество зерна озимой пшеницы в зависимости от технологии возделывания в полевом опыте центра точного земледелия / [и др.] // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. – 2014. – № 10. – С.10-14.

176. Фещенко, В.П. Мониторинг тяжёлых металлов на сельскохозяйственных угодьях Новосибирской области: автореферат дис. ... кандидата биологических наук: 03.02.08 / Фещенко Валентина Петровна. - Новосибирск, 2015. – 20 с.

177. Фещенко, В.П. Экологическая оценка загрязнения тяжёлыми металлами сельскохозяйственных культур лесостепи Новосибирского Приобья // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. – 2014. – №

1(111). – С.39-41.

178. Хокесфорд, М. Дж. Сортовые различия в эффективности использования азота растениями пшеницы и существующий потенциал улучшения сортов / М. Дж. Хокесфорд // Питание растений. – 2014. – № 2. – С. 2-6.

179. Четверикова, Н.С. Кадмий в агроландшафтах Лесостепной зоны ЦЧО / Н.С. Четверикова, Л.В. Марциневская // Достижения науки и техники АПК. – 2013. – № 7. – С. 69-70.

180. Черкасов, Г.Н. Управление продуктивным процессом основных полевых культур Центрального Черноземья / Г.Н. Черкасов, М.Н. Понедельченко, Н.С. Соколев. – Белгород: Изд-во «Отчий край», 2004. – 100 с.

181. Черников, В.А. Агроэкология / В.А. Черников, А.И. Чекерес. – М.: КолосС, 2004. – 399с.

182. Черных, Н.А. Экотоксикологические аспекты загрязнения почв тяжелыми металлами / Н.А.Черных, Н.З. Милащенко, В.Ф. Ладонин. – М.: Агроконсалт, 1999. – 176 с.

183. Черных, Н.А. Загрязнения почв тяжелыми металлами и качество растениеводческой продукции / Н.А. Черных, И.С. Челтыгмашева, Ю.И. Баява // Вестник РУДН, 2003. – № 9. – С. 179-187.

184. Чертко, Н.К. Геохимия и экология химических элементов: Справочное пособие / Н.К. Чертко, Э.Н. Чертко. Мн.: Издательский центр БГУ, 2008. – 140 с.

185. Щербаков, А.П., Рудай И.Д. Плодородие почв, круговорот и баланс питательных веществ. – М.: Колос, 1983. – 189 с.

186. Шпаар, Д. Зерновые культуры (выращивание, уборка, доработка и использование): учебно-практическое руководство: в 2 т. – М.: ИД ООО «ДЛВ АГРОДЕЛО», 2008. – 656 с.

187. Эффективность севооборота при внесении органо-минеральных удобрений / В.Г. Небытов [и др.] // Вестник ОрелГАУ. – 2014. – № 5(50). – С.110-115.

188. Ягодин, Б.А. Кадмий в системе почва – удобрения – растения -

животные организмы и человек / Б.А. Ягодин, С.Б. Виноградова, В.В.Говорина // *Агрехимия* . – 1989. – № 5. – С.118-130.

189. Ягодин, Б.А. *Агрехимия* / Б.А. Ягодин, Ю.П. Жуков – М.: Колос, 2002. – 584 с.

190. Ahmad, I. Effects of cadmium stress upon activities of antioxidative enzymes, photosynthetic rate, and production of phytochelatin in leaves and chloroplasts of wheat cultivars differing in yield potential / I. Ahmad, M.Naeem, N.A.Khan, H.Samiulla// *Photosynthetica*. – 2009. – Volume. 47(1). – Pages 146-151.

191. Bradl, H.B. (ed.) *Heavy Metals in the Environment. Interface // Science and Technology*. –2005. London: Elsevier Ltd. – Volume 6. – 269 p.

192. Ci D., Jiang D., Wollenweber B. et al. Cadmium stress in wheat seedlings: growth, cadmium accumulation and photosynthesis // *Acta Physiol. Plant*. – 2010. – Volume 32. – Pages 365-373.

193. Clemens, S.Toxic metal accumulation, responses to exposure and mechanisms of tolerance in plants // *Biochem*. – 2006. – Volume 88. – Pages 1707-1719.

194. Cormier, F. A multi-environmental study of recent breeding progress on nitrogen use efficiency in wheat (*Triticum aestivum* L.) / F. Cormier, S. Faure, P. Dubreuil, S. Praud, J. Le Gouis // *Theoretical and Applied Genetics*. – 2013. – Volume 126 (12). – Pages 3035-3048.

195. Dal Corso G., Farinati S., Maistri S., Furini A. How plants cope with cadmium: Staking all on metabolism and gene expression // *J. Integr. Plant Biol*. – 2008. – Volume 50. – Pages 1268-1280.

196. Demirevska-Kepova K., Simova-Stoilova L., Petrova-Stoyanova Z., Feller U. Cadmium stress in barley: growth, leaf pigment and protein composition and detoxification of reactive oxygen species // *J. Plant Nutr*. – 2006. – Volume 29. – Pages 451-468.

197. Dragovic S, Mihailović N, Gajic B. Heavy metals in soils: distribution, relationship with soil characteristics and radionuclides and multivariate as-



assessment of contamination sources // *Chemosphere*. – 2008. – Volume 74. – Pages 491-495.

198. Dumontet S., Levesque M., Mathur S.P. Limited downward migration of pollutant metals (Cu, Zn, Ni and Pb) in acidis virginpeat soils near asmelter// *Water, Air and Soil Pollut.* – 1990. – Volume 49, 3-4. – Pages 329-342.

199. Fujimaki S., Suzui N., Ishioka N.S. et al. Tracing cadmium from culture to spikelet: noninvasive imaging and quantitative characterization of absorption, transport and accumulation of cadmium in an intact rice plant // *Plant Physiol.* – 2010. – Volume 152. – Pages 1796-1806.

200. Lin, Z. Long-term fertilization effects on processing quality of wheat grain in the North China Plain / Z. Lin, X. Chang, D. Wang, G. Zhao, B. Zhao // *Field Crops Research.*– 2015. – Volume 174. – Pages 55-60.

201. Lux A., Martinka M., Vaculik M., White P.J. Root responses to cadmium in the rhizosphere: a review // *J. Exp. Bot.* – 2011. – Volume 62. №. 1. – Pages 21-37.

202. Mysliwa-Kurdziel, B. Influence of Cd (II), Cr (VI) and Fe (III) on early steps of deetiolation process in wheat: fluorescence spectral changes of protochlorophyllide and newly formed chlorophyllide / B.Mysliwa-Kurdziel, K. Strałka// *Agriculture, Ecosystems, Environment.* – 2004. – Volume 106. – Pages 199-207.

203. Rout G.R., Das P. Effect of metal toxicity on plant growth and metabolism: I. Zinc. *Agronomie.* – 2003. – Volume 23. – Pages 3-11.

204. Vassilev A., Iordanov I., Chakakova E., Kerin V. Effect of cadmium stress on growth and photosynthesis of young barley (*H. vulgare* L.) plants. II. Structural and functional changes in the photosynthetic apparatus // *Bulg. J. Plant Physiol.* – 1995. – Volume 21. № 4. – Pages 12-21.

205. Y.G. Xu, W.T. Yu, Q. Ma, H. Zhou. Potential risk of cadmium in a soil-plant system as a result of long-term (10 years) pig manure application // *Czech Academy of Agricultural Sciences. Plant, Soil and Environment.* – 2015. – Volume 61. № 8. – Pages 352-357.

206. Sharma R.K., Agrawal M. Biological Effects of Heavy Metals: An overview // *J. Environ. Biol.* – 2005. – Volume 26 (3/4). – Pages 1-13.

207. Youssef, R.A. and Chino, M. Movement of metals from soil to plant roots // *Water, Air and Soil pollution.* – 1991. – 57-58. – Pages 249-258.

208. Zhang G.P., Fukami M., Sekimoto H. Influence of cadmium on mineral concentration and yield components in wheat genotypes differing in Cd tolerance at seedling stage // *Field Crops Res.* – 2002. Volume 77. – Pages 93-98.

209. Zhao, B. New critical nitrogen curve based on leaf area index for winter wheat / B. Zhao, X. Yao, Y. Tian, W. Cao, Y. Zhu // *Agronomy Journal.* – 2014. – Volume 106 (2). – Pages 379-389.

## **ПРИЛОЖЕНИЯ**

Содержание  $\text{NH}_4$  почве в среднем за три года (2013-2015 гг.), кг/га

Вариант	0-20 см		21-40 см		41-60 см		61-80 см		81-100 см		0-100 см	
	Фаза кущения	Фаза полной спелости	Фаза кущения	Фаза полной спелости	Фаза кущения	Фаза полной спелости	Фаза кущения	Фаза полной спелости	Фаза кущения	Фаза полной спелости	Фаза кущения	Фаза полной спелости
Контроль	3,2	15,4	4,9	9,6	2,8	8,9	23,2	16,8	10,7	10,2	3,2	15,4
$\text{N}_{90}\text{P}_{60}\text{K}_{60}$	6,6	17,3	5,2	13,3	5,9	15,6	13,6	13,6	10,1	16,2	6,6	17,3
$\text{N}_{150}\text{P}_{120}\text{K}_{120}$	9,3	22,8	11,5	16,7	4,3	23,1	5,8	14,9	7,1	21,0	9,3	22,8
Навоз 40*	5,5	12,7	4,8	4,6	4,3	7,4	13,0	24,8	20,0	15,5	5,5	12,7
$\text{N}_{90}\text{P}_{60}\text{K}_{60}+$ навоз 40*	8,4	14,6	4,3	10,1	11,0	11,1	21,0	20,9	21,0	15,2	8,4	14,6
$\text{N}_{150}\text{P}_{120}\text{K}_{120}+$ навоз 40*	7,0	10,8	4,4	15,4	5,7	12,6	26,9	23,9	16,5	14,4	7,0	10,8
Навоз 80**	9,6	18,2	7,8	7,3	10,8	7,3	16,4	16,8	15,9	10,9	9,6	18,2
$\text{N}_{90}\text{P}_{60}\text{K}_{60}+$ навоз 80**	11,8	14,6	4,0	14,4	3,1	7,4	15,3	10,8	14,4	8,3	11,8	14,6
$\text{N}_{150}\text{P}_{120}\text{K}_{120}+$ навоз 80**	6,2	11,0	4,2	12,6	3,5	7,7	11,5	12,0	15,0	7,3	6,2	11,0

Примечание: \*– последствие 40 т/га навоза; \*\*– последствие 80 т/га навоза

Содержание NO<sub>3</sub> в почве в среднем за три года (2013-2015 гг.), кг/га

Вариант	0-20 см		21-40 см		41-60 см		61-80 см		81-100 см	
	Фаза кущения	Фаза полной спелости	Фаза кущения	Фаза полной спелости	Фаза кущения	Фаза полной спелости	Фаза кущения	Фаза полной спелости	Фаза кущения	Фаза полной спелости
Контроль	4,0	4,2	4,9	5,3	3,1	4,0	2,5	2,2	4,1	4,8
N <sub>90</sub> P <sub>60</sub> K <sub>60</sub>	5,6	6,2	7,8	10,1	4,3	5,3	4,2	8,5	6,2	7,3
N <sub>150</sub> P <sub>120</sub> K <sub>120</sub>	7,8	8,4	4,7	6,5	4,2	4,8	4,0	5,3	3,1	8,2
Навоз 40*	5,7	10,2	4,8	7,1	2,8	3,7	1,5	2,6	1,4	1,5
N <sub>90</sub> P <sub>60</sub> K <sub>60</sub> + навоз 40*	3,4	7,4	5,2	7,2	3,3	6,2	4,3	2,6	1,4	2,1
N <sub>150</sub> P <sub>120</sub> K <sub>120</sub> + навоз 40*	5,3	10,5	4,9	7,6	15,7	10,4	9,2	5,3	6,9	4,8
Навоз 80**	6,1	7,2	7,3	5,9	5,1	4,0	3,8	3,1	5,5	5,9
N <sub>90</sub> P <sub>60</sub> K <sub>60</sub> + навоз 80**	7,3	11,0	8,8	5,5	9,1	7,2	7,4	8,6	5,9	7,3
N <sub>150</sub> P <sub>120</sub> K <sub>120</sub> + навоз 80**	6,2	14,6	6,3	14,1	5,0	6,2	3,6	6,2	4,2	6,7

Примечание: \*— последствие 40 т/га навоза; \*\*— последствие 80 т

Технологическая карта выращивания озимой пшеницы

Звено севооборота: озимая пшеница – сахарная свёкла – ячмень – кукуруза на силос – горох

Норма высева семян: 208 ц/га

Площадь посева: 4,5 га

Урожайность основной продукции: 59,7 ц/га

№ п/п	Срок выполнения работ	Наименование работ	Состав агрегата		Обслуживающий персонал, чел.	Затраты основных производственных ресурсов, руб.								Оплата труда, руб.		Всего затрат, руб.
						Горючее			Содержание ОС		ХСЗР руб.	Удобрения, руб.	Семена, руб.			
			Количество			Стоимость всего, руб. (+масло)	Запчасти	Амортизация								
			На ед. литр	Всего, литр												
1	2	3	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
1	Август	Пахота, 20-22 см	К-744	ПН-8-40	1	10,3	46,4	1722,3	1250	800				92,0	414	4186,3
2	Август	Предпосевная культивация, 6-8 см	МТЗ 1221	КТ-3,9	1	8,0	36,0	1360,0	1250	800				75,0	337,5	3747,5
3	Август	Подвоз удобрений	КА-МАЗ		3	10,0	45,0	1965	900	500				14,6	65,7	3365,0
4	Август	Подвоз семян	КА-МАЗ		3	10,0	45,0	1965	900	500				14,6	65,7	3365,0
5	Август	Заправка сеялок семенами	ЗИЛ-554 автопогрузчик		2	8,0	36,0	1260,0	1250	800				40,2	180,9	3671,8
5	Август	Посев с внесением удобрений	Джон Дир 6930	Амазон	3	3,1	13,95	488,3	1250	800	3400	6050	9200	115,0	517,5	22741,0

1	2	3	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
6	Март	Подвоз удоб- рений	КА- МАЗ		3	10,0	45,0	1965	900	500				17,0	76,5	3594,5
7	Март	Внесение удобрений (подкормка)	МТЗ- 80	Ама- зон	2	3,1	13,95	488,3	1250	800		3570		27,0	121,5	6472,8
8	Май	Подвоз воды	К-744	МЖ Т-11	1	3,1	13,95	488,3	900	500				17,0	76,5	1963,8
9	Май	Подвоз герби- цидов и инсек- тицидов в поле	ГАЗ- 53		3	10,0	45,0	1965	900	500				14,6	65,7	3365,0
10	Май	Внесение гер- бицида «Сер- то+» 0,2 л/га; инсектицида «Фастак», 0,15 л/га	МТЗ- 80	Ама- зон	2	3,1	13,95	488,3	1250	800	6620			54,3	244,4	9647,0
11	Май	Подвоз воды	К-744	МЖ Т-11	1	3,1	13,95	488,3	900	500				17,0	76,5	1963,8
12	Май	Подвоз фунги- цидов в поле	ГАЗ- 53		3	10,0	45,0	1965	900	500				14,6	65,7	3365,0
13	Май	Внесение фун- гицида «Рекс Дуо», 0,5 л/га	МТЗ- 80	Ама- зон	2	3,1	13,95	488,3	1250	800	4620			54,3	244,4	7647,0
14	Июль	Уборка	Sampo Rosen- lew		2	10,0	45,0	1796,3	1250	800				330	1485	6816,3
15	Июль	Перевозка зер- на на ток	КА- МАЗ		1	10,0	45,0	1965	900	500				14,6	65,7	3430,7
16	Июль	Очистка зерна	ЗАВ-20, ГАЗ-53		3	30	135	5425	1250	800				55,0	247,5	8217,5
Накладные расходы , 20 %																24390,0
<b>Итого:</b>																<b>121950,0</b>