

На правах рукописи



Морозова Тамара Сергеевна

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

Специальность 06.01.04 – Агрохимия

АВТОРЕФЕРАТ

**диссертации на соискание ученой степени
кандидата сельскохозяйственных наук**

Белгород – 2018

Работа выполнена в федеральном государственном образовательном учреждении высшего образования «Белгородский государственный аграрный университет имени В.Я. Горина» на кафедре агрохимии, земледелия и экологии

Научный руководитель: доктор сельскохозяйственных наук, доцент
Лицуков Сергей Дмитриевич

Официальные оппоненты: **Лазарев Владимир Иванович** - доктор сельскохозяйственных наук, профессор, ФГБНУ «Курский научно-исследовательский институт агропромышленного производства, заместитель директора по НИР, заведующий лабораторией технологии возделывания полевых культур и агроэкологической оценки земель;
Мамеев Василий Васильевич - кандидат сельскохозяйственных наук, доцент, ФГБОУ ВО «Брянский государственный аграрный университет», кафедра агрохимии, почвоведения и экологии, доцент

Ведущая организация: ФГБОУ ВО «Орловский государственный аграрный университет имени Н.В. Парахина»

Защита состоится «27» сентября 2018г. в 12 часов на заседании диссертационного совета Д 220.010.07 при ФГБОУ ВО «Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I», по адресу: 394087, г. Воронеж, ул. Мичурина, 1.

Тел./факс. (4732) 53-86-51, e-mail: olga.koltsova.52@ mail.ru

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ФГБОУ ВО «Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I» и на сайте www.ds.vsau.ru, с авторефератом – на сайтах Министерства образования и науки РФ www.vak3.ed.gov.ru и ВГАУ www.ds.vsau.ru.

Автореферат разослан «___» _____ 2018 г.

Отзывы на автореферат в двух экземплярах, заверенные и скрепленные гербовой печатью организации, просим направлять ученому секретарю диссертационного совета.

Ученый секретарь диссертационного совета кандидат сельскохозяйственных наук,
доцент  Кольцова Ольга Михайловна

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

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 материалов, 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 в связи с применением 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 исследований – 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, посвященной 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 заведующей лабораторией плодородия почв и мониторинга д.с.-х.н. В.Д. Соловиченко.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

1 ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ

В данной главе раскрываются особенности влияния минеральных и органических удобрений на показатели почвенного плодородия чернозема, урожайность и качество озимой пшеницы, а также влияние удобрений на накопление и поведение тяжелых металлов, в частности кадмия, в системе «почва-растение».

Анализ отечественных и зарубежных исследований показал, что проблема плодородия черноземов в последние годы заметно обострилась, поэтому необходим поиск путей его сохранения и воспроизводства.

Тема диссертационной работы предопределена необходимостью изучения влияния природных и антропогенных факторов на поступление и распределение кадмия в почве и растениях, с целью предотвращения неблагоприятных токсико-экологических ситуаций в условиях черноземных почв ЦЧЗ.

2 УСЛОВИЯ И МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЙ

Полевые исследования по изучению влияния антропогенного фактора на свойство и плодородие чернозема типичного, а также урожайность и качество озимой пшеницы проводились в 2012-2015 гг. в стационарном полевом опыте Белгородского НИИ сельского хозяйства, заложенного в 1987 году.

Исследуемая территория расположена в зоне умеренно-континентального климата: показатель среднегодового количества осадков – 553 мм, максимум – в июле составляет 69 мм; среднегодовая температура воздуха + 6,30. Сложившиеся условия по осадкам и температуре в 2012-2013 гг. и 2014-2015 гг. были менее благоприятными для возделывания озимой пшеницы. Более благоприятным для формирования урожая озимой пшеницы оказался 2013-2014 сельскохозяйственный год.

Опыты проводились на черноземе типичном среднесиловом малогумусном тяжелосуглинистом на лессовидном суглинке.

Агрохимическая характеристика опытного участка: содержание гумуса – 5,3 %, рН_{KCl} – 5,8, подвижного фосфора – 57 мг/кг, обменного калия – 121 мг/кг, азота легкогидролизуемого – 160 мг/кг.

Общая площадь полевого опыта составляет 22,5 га. В опыте используется метод расщепленных делянок. Делянки размещены систематически в один ярус. Посевная площадь элементарной делянки составляла 120 м², учётной – 100 м². Повторность опыта 3-х кратная. Опыт развёрнут в натуре на пяти полях.

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

В опыте использовался сорт озимой мягкой пшеницы селекции ГНУ Белгородский НИИСХ Россельхозакадемии «Синтетик». Агротехника возделывания общепринятая в соответствии с системой земледелия Белгородской области.

Исследования по изучению влияния доз удобрений на урожайность и качество озимой пшеницы проводили по схеме: без удобрений (контроль); N₆₀P₆₀K₆₀ + N₃₀ рано весной; N₁₂₀P₁₂₀K₁₂₀ + N₃₀ рано весной; навоз 40 т/га (последствие); N₆₀P₆₀K₆₀ + N₃₀ рано весной + навоз 40 т/га (последствие); N₁₂₀P₁₂₀K₁₂₀ + N₃₀ рано весной + навоз 40 т/га (последствие); навоз 80 т/га (последствие); N₆₀P₆₀K₆₀ + N₃₀ рано весной + навоз 80 т/га (последствие); N₁₂₀P₁₂₀K₁₂₀ + N₃₀ рано весной + навоз 80 т/га (последствие).

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.

Образцы исследуемой почвы и сельскохозяйственной культуры были отобраны на опытных делянках лаборатории мониторинга и плодородия почв ФГБНУ «Белгородский ФАНЦ РАН». 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_{KCl} – 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 во время уборки, такие показатели как: 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), сырой протеин – путём определения содержания в зерне азота (ГОСТ 13496,4-93) и дальнейшего его пересчёта на чистый протеин.

В аккредитованной испытательной лаборатории почв, кормов, пищевой и сельскохозяйственной продукции ФГБОУ ВО «Белгородский государственный аграрный университет им. В.Я. Горина» определены валовые и подвижные формы кадмий в почве и кадмий в зерне и соломе озимой пшеницы (ГОСТ 30178-96); клейковина в зерне (ГОСТ 27839-88).

3 РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

3.1 Влияние удобрений на агрохимические показатели чернозёма типичного

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.

Таблица 1 – Содержание гумуса в слое почвы 0-30см, %

Вариант	2000 г.	2015 г.	+, -
Контроль	5,16	4,95	-0,22
N ₉₀ P ₆₀ K ₆₀	5,32	4,87	-0,44
N ₁₅₀ P ₁₂₀ K ₁₂₀	5,15	4,66	-0,47
Навоз 40*	5,37	5,01	-0,36
N ₉₀ P ₆₀ K ₆₀ + Навоз 40*	5,10	4,83	-0,27
N ₁₅₀ P ₁₂₀ K ₁₂₀ +Навоз 40*	5,22	5,03	-0,18
Навоз 80**	5,38	5,23	-0,15
N ₉₀ P ₆₀ K ₆₀ +Навоз 80***	5,44	5,19	-0,25
N ₁₅₀ P ₁₂₀ K ₁₂₀ + Навоз 80***	5,33	5,19	-0,14
HCP ₀₅	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 N₉₀P₆₀K₆₀ содержание его уменьшилось на 0,44% и составило 4,87 %, а в варианте N₁₅₀P₁₂₀K₁₂₀ – 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 последствия 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 N₁₅₀P₁₂₀K₁₂₀ на фоне последствия 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.

Под влиянием удобрений изменяется содержание и запасы минерального азота в почве.

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.

По мере созревания растений озимой пшеницы азот из вегетативных органов перемещается в репродуктивные и потребность их в азоте снижается. В то же время под действием минерализации органического вещества почвы к созреванию растений отмечается по всем вариантам некоторое увеличение содержания минерального азота в ней.

Наименьшее содержание минерального азота отмечено в варианте без внесения удобрений, при внесении минеральных удобрений и их внесении на фоне последействия навоза его содержание в почве увеличивалось.

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 %; последействие 40 т/га навоза – на 11,7 мг/кг или на 48,9 %; $N_{90}P_{60}K_{60}$ на фоне последействия 40 т/га навоза – на 10,2 мг/кг или на 53,6 %; $N_{150}P_{120}K_{120}$ на фоне последействия 40 т/га навоза – на 9,0 мг/кг или на 57,7 %; последействие 80 т/га навоза – на 9,7 мг/кг или на 61,8 %; $N_{90}P_{60}K_{60}$ на фоне последействия 80 т/га навоза – на 6,5 мг/кг или на 74,6 %; $N_{150}P_{120}K_{120}$ на фоне последействия 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 и 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.

Запасы минерального азота в почве в течение вегетации перераспределялись по слоям.

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 варианте 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 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. В метровом слое почвы в варианте с последействием навоза 80 т/га запасы минерального азота соответствовали запасам в фазу полной спелости, в остальных вариантах отмечено снижение.

Причиной снижения запасов минерального азота может быть способность азота мигрировать по почвенному профилю, так как азот нитратной формы 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.

В слое 0-60 см разница между запасами в фазу кущения и фазу полной спелости увеличилась в вариантах с последствием навоза и совместном действии минеральных удобрений и последствии навоза.

В ходе исследований установлено, 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.

Рассматривая влияние удобрений на агрохимические показатели почвы необходимо отметить, что высокая насыщенность минеральными удобрениями способствует подкислению реакции почвенного раствора. В вариантах с внесением одинарных и двойных доз минеральных удобрений величина рН 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 удобрений (N₁₅₀ P₁₂₀ K₁₂₀₊ 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 последствием органических удобрений уменьшилось по сравнению с контрольным вариантом. Минимальное снижение этого показателя отмечается в вариантах с внесением N₁₅₀ P₁₂₀ K₁₂₀ на фоне последствия 40 и 80 т/га навоза.

Максимальные запасы минерального азота в слое 0-100 см отмечены при внесении N₁₅₀ P₁₂₀ K₁₂₀ в чистом виде и на фоне последствия 40 т/га навоза.

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

3.2 Агрехимические и экологические аспекты возделывания озимой пшеницы в условиях юго-западной части ЦЧР

3.2.1 Влияние удобрений на накопление кадмия в почве

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.

Мы провели анализ содержания кадмия в почве в зависимости от действия доз минеральных удобрений, последствий органических удобрений и совместного их действия в течение длительного периода (опыт заложен в 1987 г.).

Таблица 2– Содержание валовых форм кадмия в слое почвы 0-30 см в среднем за 2013-2015 гг., мг/кг

Вариант	Фаза кущения	Фаза полной спелости
Контроль	0,72	0,72
N ₉₀ P ₆₀ K ₆₀	0,75	0,76
N ₁₅₀ P ₁₂₀ K ₁₂₀	0,78	0,81
Навоз 40*	0,62	0,64
N ₉₀ P ₆₀ K ₆₀ + Навоз 40*	0,73	0,78
N ₁₅₀ P ₁₂₀ K ₁₂₀ +Навоз 40*	0,78	0,83
Навоз 80**	0,68	0,83
N ₉₀ P ₆₀ K ₆₀ +Навоз 80**	0,86	0,86
N ₁₅₀ P ₁₂₀ K ₁₂₀ + Навоз 80**	0,86	0,91
ОДК	1,0	

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 N₁₅₀P₁₂₀K₁₂₀ на фоне навоза в дозе 80 т/га в фазу полной спелости. Даже при систематическом ежегодном внесении двойных доз минеральных удобрений (N₁₅₀P₁₂₀K₁₂₀) 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.

Таблица 3– Содержание подвижных форм кадмия в почве (слой 0-30 см) в среднем за 2013-2015 гг., мг/кг

Вариант	Фаза кущения	Фаза полной спелости
Контроль	0,17	0,16
N ₉₀ P ₆₀ K ₆₀	0,13	0,13
N ₁₅₀ P ₁₂₀ K ₁₂₀	0,14	0,11
Навоз 40*	0,13	0,12
N ₉₀ P ₆₀ K ₆₀ + Навоз 40*	0,16	0,17
N ₁₅₀ P ₁₂₀ K ₁₂₀ +Навоз 40*	0,14	0,10
Навоз 80**	0,12	0,11
N ₉₀ P ₆₀ K ₆₀ +Навоз 80**	0,12	0,11
N ₁₅₀ P ₁₂₀ K ₁₂₀ + Навоз 80**	0,16	0,12

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

Содержание подвижных форм кадмия (табл. 3) 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 кущения, внесение минеральных удобрений в дозе $N_{90}P_{60}K_{60}$ и $N_{150}P_{120}K_{120}$ 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 оди-нарных, 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 составило 0,16 мг/кг. В вариантах с внесением минеральных удобрений, последствием навоза и внесением минеральных удобрений на фоне последствия 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 последствия навоза за длительный период не приводит к увеличению подвижных форм кадмия в почве и, следовательно, не оказывает отрицательного влияния на агроэкологическое состояние почвы.

Для оценки влияния средств химизации на превращения кадмия в почве нами рассчитан коэффициент его подвижности, который представлен в таблице 4.

Таблица 4 – Коэффициент подвижности кадмия в среднем за 2013-2015 гг., %

Вариант	Фаза кущения	Фаза полной спелости
Контроль	23,6	22,2
$N_{90}P_{60}K_{60}$	17,3	17,1
$N_{150}P_{120}K_{120}$	17,9	13,6
Навоз 40*	21,0	18,8
$N_{90}P_{60}K_{60}$ + Навоз 40*	21,9	21,8
$N_{150}P_{120}K_{120}$ +Навоз 40*	17,9	12,0
Навоз 80**	17,6	13,3
$N_{90}P_{60}K_{60}$ +Навоз 80**	14,0	12,8
$N_{150}P_{120}K_{120}$ + 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 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 удобрений. 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 последствия 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 (последствие); навоз 80 т/га (последствие); $N_{90}P_{60}K_{60}$ + навоз 80 т/га (последствие) и в варианте $N_{150}P_{120}K_{120}$ + навоз 80 т/га (последствие) коэффициент подвижности кадмия снизился до 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 последствия 40 т/га и 80 т/га навоза, а также последствием двойной дозы навоза (80 т/га) и внесение $N_{90}P_{60}K_{60}$ на фоне последствия двойной дозы навоза.

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

Внесение минеральных удобрений, последствие навоза и внесение минеральных удобрений на фоне последствия навоза снижает коэффициент подвижности кадмия по отношению к контролю.

Подводя итог, можно отметить, что внесение минеральных и последствие 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

Один из главных показателей эффективности производства озимой пшеницы является урожайность, зависящая от погодных условий вегетационного периода и от уровня питания культуры. Кроме этого, показатели урожайности зерна озимой пшеницы позволяют судить об эффективности применяемых удобрений (табл. 5).

Таблица – 5 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 ₉₀ P ₆₀ K ₆₀	4,47	0,80	5,30	1,40	5,20	1,40	4,99	1,20
N ₁₅₀ P ₁₂₀ K ₁₂₀	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 ₉₀ P ₆₀ K ₆₀ + Навоз 40*	4,53	0,86	4,90	1,00	4,50	0,70	4,64	0,85
N ₁₅₀ P ₁₂₀ K ₁₂₀ + 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 ₉₀ P ₆₀ K ₆₀ +Навоз 80**	4,93	1,26	5,40	1,50	5,40	1,60	5,24	1,45
N ₁₅₀ P ₁₂₀ K ₁₂₀ + Навоз 80**	5,50	1,83	6,80	2,90	5,60	1,80	5,97	2,18
НСР_{0,05}	0,13		0,10		0,15			

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

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 N₉₀P₆₀K₆₀ 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 с последствием навоза в дозе 80 т/га и N₁₅₀P₁₂₀K₁₂₀.

Сравнение величины урожайности озимой пшеницы по годам и в среднем за три года показало значительные колебания её величины. Установлена минимальная эффективность от внесения органических удобрений и максимальная от внесения минеральных удобрений на фоне последствия навоза. Эффективность применения удобрений проявлялась во все годы, а наиболее благоприятным для формирования урожая озимой пшеницы оказался 2013-2014 сельскохозяйственный год.

Анализ химического состава зерна озимой пшеницы показывает насколько изменяется содержание элементов питания в растении с повышением уровня удобренности почвы.

Увеличению содержания азота в растениях озимой пшеницы способствовало внесение минеральных удобрений и их внесение на фоне последствия навоза. В среднем по опыту самые высокие показатели содержания элемента в зерне изучаемой культуры – 2,59 % были отмечены в варианте N₁₅₀P₁₂₀K₁₂₀, где разница по сравнению с контрольным вариантом составила 0,47 %. Содержание азота в соломе варьировало от 0,43-0,47 % в вариантах с внесением минеральных удобрений до 0,92 % в варианте внесения N₁₅₀P₁₂₀K₁₂₀ на фоне последствия 80 т/га навоза. Последствие 40 и 80 т/га навоза не оказало влияние на изменение содержания азота в зерне и соломе озимой пшеницы.

Удобрения не оказали существенного влияния на изменение содержания фосфора, калия и кальция в продукции озимой пшеницы.

Несмотря на установленную тенденцию увеличения нитратов в зерне озимой пшеницы при внесении удобрений, их содержание было ниже уровня предельно допустимой концентрации – 300 мг/кг. В соломе содержание нитратов в варианте внесения N₁₅₀P₁₂₀K₁₂₀ на фоне последствия 80 т/га навоза было максимальным и составило 468 мг/кг.

На основании полученных данных установлено, что на реализацию максимального потенциала благоприятное влияние оказало внесение минеральных удобрений в одной и двух дозах на фоне последействия 80 т/га навоза.

Для прогнозирования урожайности озимой пшеницы и регулирования уровня азотного питания, необходимо знать содержание минерального азота в почве и питательных элементов в растениях.

Между запасами минерального азота в весенний и летний период по горизонтам 0-40 см; 0-60 см; 0-100 см и урожаем озимой пшеницы установлена положительная связь.

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

По содержанию белка и сырой клейковины за годы проведения опыта полученное 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 удобрений, минимальное (12,0 и 23,2 %) в варианте с последействием 80 т/га навоза.

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

Данные о накоплении кадмия зерном и соломой озимой пшеницы приведены в таблице 6.

Таблица 6 – Содержание кадмия в зерне и соломе озимой пшеницы изучали в среднем за 2013-2015 гг., мг/кг

Вариант	Зерно	Солома
Контроль	0,05	0,07
N ₉₀ P ₆₀ K ₆₀	0,06	0,07
N ₁₅₀ P ₁₂₀ K ₁₂₀	0,07	0,09
Навоз 40*	0,07	0,08
N ₉₀ P ₆₀ K ₆₀ + Навоз 40*	0,07	0,08
N ₁₅₀ P ₁₂₀ K ₁₂₀ +Навоз 40*	0,08	0,07
Навоз 80**	0,06	0,07
N ₉₀ P ₆₀ K ₆₀ +Навоз 80**	0,07	0,08
N ₁₅₀ P ₁₂₀ K ₁₂₀ + Навоз 80**	0,07	0,09
ПДК	0,1	

Примечание: * – последействие 40 т/га навоза; ** – последействие 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 N₉₀P₆₀K₆₀ и N₁₅₀P₁₂₀K₁₂₀ 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 последействием 40 т/га навоза содержание кадмия составило 0,07 мг/кг, что выше по сравнению с вариантом N₁₅₀P₁₂₀K₁₂₀ 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 последействия навоза на снижение поступления кадмия в растениеводческую продукцию не дало положительного результата. При внесении минеральных удобрений в дозе N₁₅₀P₁₂₀K₁₂₀ на фоне последействия 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 последействия 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 после-

действия 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 последействия 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 оценки интенсивности поступления кадмия в растениеводческую продукцию нами рассчитаны коэффициент биологического поглощения (КБП) и коэффициент накопления (Кн).

Таблица 7 – Коэффициент биологического поглощения кадмия продукцией озимой пшеницы в среднем за 2013-2015 гг., %

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

Примечание: * – последействие 40 т/га навоза; ** – последействие 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 поведении в системе «почва – растение».

Коэффициент биологического поглощения кадмия зерном на контроле составил 6,9 %. Внесение минеральных удобрений в дозах N₉₀P₆₀K₆₀ и N₁₅₀P₁₂₀K₁₂₀ увеличили КБП на 1,0-1,7 % соответственно. В вариантах с последействием 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 последействия 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 последействием 40 т/га навоза.

На наш взгляд, влияние на изменение КБП оказывает реакция почвенного раствора. Кроме того, внесение минеральных удобрений и последействие 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 последействием навоза, на наш взгляд, вызвано активностью процессов минерализации органического вещества.

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

Для более полной оценки количества кадмия, перешедшего из почвы в растения озимой пшеницы, был рассчитан коэффициент накопления (табл. 8).

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

Таблица 8 – Коэффициент накопления кадмия продукцией озимой пшеницы в среднем за 2013-2015 гг., %

Вариант	Зерно	Солома
Контроль	29,4	43,7
$N_{90}P_{60}K_{60}$	46,1	53,8
$N_{150}P_{120}K_{120}$	50,0	81,8
Навоз 40*	53,8	66,7
$N_{90}P_{60}K_{60}$ +навоз 40*	43,8	47,1
$N_{150}P_{120}K_{120}$ +навоз 40*	57,1	70,0
Навоз 80**	50,0	63,6
$N_{90}P_{60}K_{60}$ +навоз 80**	50,0	72,7
$N_{150}P_{120}K_{120}$ +навоз 80**	43,8	75,0

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

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 последствия 40 т/га навоза.

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

Максимальному увеличению K_n 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.

Нами был рассчитан вынос кадмия урожаем озимой пшеницы (табл. 9).

Таблица 9 – Вынос кадмия озимой пшеницей в среднем за 2013-2015 гг., г/га

Вариант	Основной продукцией	Побочной продукцией	Основной и побочной продукцией
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: * – последствие 40 т/га навоза; ** – последствие 80 т/га навоза

На контроле вынос кадмия основной продукцией был наименьшим и составил 0,22 г/га. Внесение минеральных удобрений, последствие 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 увеличился, 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 последствие навоза увеличили вынос кадмия соломой по сравнению с контролем. Внесение минеральных удобрений в дозе $N_{150}P_{120}K_{120}$ на фоне последствие 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 последствие 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 ВЫРАЩИВАНИИ ОЗИМОЙ ПШЕНИЦЫ

Расчет энергетической эффективности применения удобрений под озимую пшеницу показал, что наибольшее содержание энергии в урожае (35865 МДж) получено при совместном внесении двойных доз минеральных удобрений на фоне последствие навоза 80 т/га, т.е. в варианте с максимальной прибавкой урожайности зерна озимой пшеницы.

Среди всех удобренных вариантов опыта максимальный коэффициент энергетической эффективности (2,17) отмечен в варианте $N_{90}P_{60}K_{60}$. Близкий результат обеспечило внесение $N_{150}P_{120}K_{120}$ – 1,78. Величины энергетического коэффициента в данных вариантах превышали значения среднего энергетического коэффициента, установленного для озимой пшеницы по России (1,54). При внесении минеральных удобрений на фоне последствие 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. В варианте с последствием 80 т/га навоза и в варианте с внесением $N_{90}P_{60}K_{60}$ на фоне последствие 40 т/га навоза энергетический коэффициент был ниже среднего по стране в 1,6 и 1,7 раз соответственно.

Расчёт экономической эффективности применения удобрений под озимую пшеницу показал, что в варианте без применения удобрений из-за низкой урожайности, условно чистый доход был минимальным и 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 последствие 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 последствие 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 последствие навоза способствует повышению энергетического коэффициента до единицы и выше.

Минеральные удобрения в чистом виде и их двойная доза на фоне последействия 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 pH 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 pH 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 подвижных 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 последействия 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 последействием 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 последействия 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 последействия 80 т/га навоза.

7. Внесение минеральных удобрений на фоне последействия 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 последствия 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 последствия 80 т/га навоза оказало положительное влияние на качество зерна озимой пшеницы, увеличивая по сравнению с естественным агрохимическим 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 3455 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 последствия 80 т/га навоза на фоне последствия навоза 80 т/га в основной приём и проведение ранне-весенней подкормки N_{30} аммиачной селитрой.

СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

Статьи, опубликованные в изданиях, рекомендованных ВАК РФ

1. **Морозова, Т.С.** Влияние минерального питания на накопление подвижного кадмия в почве и озимой пшенице / Т. С. Морозова, С. Д. Лицуков, Л. А. Путятин // Вестник Курской государственной сельскохозяйственной академии. – 2014. – № 9. – С. 52-54.

2. **Морозова, Т.С.** Содержание подвижного кадмия в почве при длительном применении удобрений / Т.С. Морозова, Л.А. Путятин, С.Д. Лицуков // Сахарная свекла: научно-практический журнал. – 2016. – № 1. – С. 33-35.

3. **Морозова, Т. С.** Аккумуляция кадмия в почве и растениях озимой пшеницы под влиянием удобрений / Т.С. Морозова, С.Д. Лицуков // Инновации в АПК: проблемы и перспективы. – 2016. – № 4(12). – С. 91-97.

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

Статьи, опубликованные в других научных изданиях

5. **Морозова, Т.С.** Влияние средств химизации на накопление нитратного азота / Т.С. Морозова // In ЭКО veritas: материалы II book-ассамблеи / Белгор. гос. универс. научн. б-ка, БМЦ. – Белгород: БИЦ БГУНБ, 2013. – С. 48-52.

6. Партолина, Я.И. Влияние удобрений на накопление подвижных форм кадмия в почве / Партолина Я.И., **Т. С. Морозова** // Материалы международной студенческой научной конференции (25-26 марта 2014г.) – Белгород. – Изд-во Белгородской ГСХА, 2014. – С. 38.

7. **Морозова, Т.С.** Влияние удобрений на накопление кадмия в продукции озимой пшеницы на чернозёме типичном / Т. С. Морозова // Материалы конференции «Проблемы и перспективы инновационного развития агроинженерии, энергоэффективности и IT-

технологий»: XVIII международная научно-производственная конференция, Белгород, 26-27 мая 2014 г. / Белгородская государственная сельскохозяйственная академия им. В. Я. Горина. – Майский: Изд-во БелГСХА им. В.Я. Горина, 2014. – С. 17.

8. **Морозова, Т. С.** Получение экологически чистой продукции озимой пшеницы в условиях современной химизации / Т. С. Морозова // Исследования молодых ученых – аграрному производству: материалы онлайн-конференции, посвященной Дню российской науки, 4 февраля 2015 г. / Ассоциация аграрных вузов Центрального федерального округа. – Майский: Изд-во Белгородского ГАУ, 2015. – С. 61-64.

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

10. Бутова, О.В. Проблемы накопления нитратов в продукции озимой пшеницы / О.В. Бутова, **Т.С. Морозова** // Материалы международной студенческой научной конференции (31 марта –1апреля 2015г.) Том 2. –Белгород: Изд-во ФГБОУ ВО Белгородский ГАУ, 2015. – С. 136.

11. **Морозова, Т. С.** Влияние удобрений на кислотный режим чернозема типичного в условиях юго-западной части ЦЧЗ / Т.С. Морозова // Биологизация земель в адаптивно-ландшафтной системе земледелия: Материалы Всероссийской научно-практической конференции Белгородского научно-исследовательского института сельского хозяйства 14-17 июля 2015 г. Белгород: «Отчий край», 2015. – С. 338-342.

12. **Морозова, Т. С.** Влияние длительного внесения минеральных удобрений и навоза на подвижность кадмия в почве / Т.С. Морозова, С.Д. Лицуков // Проблемы и перспективы инновационного развития агротехнологий: Материалы XX Международной научно-производственной конференции (Белгород, 23-25 мая 2016г.). Том 1.– Белгород: Изд-во ФГБОУ ВО Белгородский ГАУ, 2016. – С. 31-32.

Подписано в печать

Формат 60x84 1/16. Бумага для множительных аппаратов. Печать на копировальном аппарате. Усл. печ. л. 1,0. Уч.-изд. л. 1,0. Тираж 100 экз. Заказ №