

УДК 633.13:631.8:632.155

На правах рукописи

ФЕДУЛОВА АНАСТАСИЯ ДМИТРИЕВНА

СРАВНИТЕЛЬНАЯ АГРОЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА
ПОСЛЕДЕЙСТВИЯ ОРГАНИЧЕСКИХ И МИНЕРАЛЬНЫХ УДОБРЕНИЙ В
РАЗЛИЧНЫХ ДОЗАХ И СОЧЕТАНИЯХ ПРИ ВОЗДЕЛЫВАНИИ ОВСА НА
ДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТОЙ ПОЧВЕ

Специальность 06.01.04 – агрохимия

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание учёной степени
кандидата биологических наук

Москва 2020

Работа выполнена в Федеральном государственном бюджетном научном учреждении «Всероссийский научно-исследовательский институт агрохимии имени Д.Н. Прянишникова»

Научный руководитель: **Мерзлая Генриэта Егоровна** – доктор сельскохозяйственных наук, профессор, заслуженный деятель науки РФ

Официальные оппоненты: **Ефремова Сания Юнусовна** – доктор биологических наук, профессор, ФГБОУ ВО «Пензенский государственный технологический университет», кафедра биотехнологии и техносферной безопасности, профессор
Чухина Ольга Васильевна – кандидат сельскохозяйственных наук, доцент, ФГБОУ ВО «Вологодская государственная молочнохозяйственная академия имени Н.В. Верещагина», факультет агрономии и лесного хозяйства, декан

Ведущая организация: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Нижегородская государственная сельскохозяйственная академия»

Защита диссертации состоится 24 сентября 2020 г. в 14:00 на заседании диссертационного совета Д 006.029.01 при Федеральном государственном бюджетном научном учреждении «Всероссийский научно-исследовательский институт агрохимии имени Д.Н. Прянишникова». Адрес: 127550, г. Москва, ул. Прянишникова, д. 31 а.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке при ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт агрохимии имени Д.Н. Прянишникова» на сайте: <https://vniia-pr.ru/diss/diss-fedulova-03-03-2020.pdf>

Автореферат разослан «___» _____ 2020 г.

Приглашаем Вас принять участие в обсуждении диссертации на заседании диссертационного совета. Отзывы на автореферат в 2-х экземплярах, заверенные гербовой печатью учреждения, просим направить по адресу: 127550, г. Москва, ул. Прянишникова, д. 31а, ученому секретарю диссертационного совета.
E-mail: dissovet_vniia@mail.ru

**Ученый секретарь
диссертационного совета**

Никитина Любовь Васильевна

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность. Продовольственная безопасность России во многом зависит от увеличения производства зерна, повышения конкурентоспособности сельскохозяйственной продукции на мировом рынке, получения экологически безопасных продуктов питания для населения. При решении этих задач важное значение имеет воспроизводство почвенного плодородия, сохранение экологического состояния почв (Минеев, Дебрецени, Мазур, 1993; Державин, 2013; Сычев, Милащенко, Шафран, 2018). В России зерновое хозяйство составляет основу растениеводства, и одной из главных зерновых культур является овес. По данным Росстата, посевная площадь овса в 2018 году составила 2 848,8 тыс. га, его урожайность в среднем по стране в 2011-2018 гг. достигла - 1,7 т/га.

В условиях Нечерноземной зоны Российской Федерации в повышении продуктивности зерновых культур и воспроизводстве почвенного плодородия большое значение имеет научно обоснованное применение органических и минеральных удобрений. При этом почвы зоны в своем большинстве имеют отрицательный баланс элементов питания, а большая часть урожая формируется за счет плодородия, созданного в годы интенсивной химизации земледелия (Концепция..., 2005; Черногоров, Чекмарев, Васенев и др., 2012).

В то же время интенсивное применение агрохимических средств, особенно при завышении их доз, может приводить к негативным последствиям и экологическим рискам в агросистемах (Анспок, 1978; Васенев, 2003; Черников, Соколов, Лукин, 2013). В связи с этим целесообразны исследования, прежде всего в длительных полевых опытах, по действию и последствию органических и минеральных удобрений в широком диапазоне их доз и сочетаний в системе почва-растение для достижения высокого агроэкологического эффекта.

Цель и задачи исследований. Цель исследований – установить влияние длительного последствия органических и минеральных удобрений в разных дозах и сочетаниях на агрохимические и экологические свойства дерново-подзолистой легкосуглинистой почвы, урожайность и качество зерна овса, обосновать экологически безопасные дозы удобрений, обеспечивающие повышение его продуктивности и получение биологически полноценной продукции.

Задачи исследований:

1. Изучить последствие доз и сочетаний органических и минеральных удобрений при длительном применении в севообороте на урожайность зерна овса сорта Скакун, возделываемого в зернотравяном севообороте.

2. Определить влияние последствия органических и минеральных удобрений в различных дозах и сочетаниях при длительном применении на биохимический состав основной и побочной продукции овса, содержание тяжелых металлов в зерне.

3. Изучить влияние последствий длительного применения различных доз и сочетаний органических и минеральных удобрений в севообороте на агрохимические свойства легкосуглинистой дерново-подзолистой почвы.

4. Исследовать последствие органических и минеральных удобрений в разных дозах и сочетаниях на биологическую активность почвы и содержание в ней тяжелых металлов.

5. Определить экономическую и энергетическую эффективность последствий длительного применения органических и минеральных удобрений при возделывании овса на дерново-подзолистой легкосуглинистой почве в условиях западной части Нечерноземной зоны РФ.

Научная новизна исследований. Впервые на основании данных полевого опыта в условиях западной части Нечерноземной зоны России выявлены закономерности длительного последствия разных доз и сочетаний органических и минеральных удобрений, а также систем удобрения: органической, минеральной, органо-минеральной, применяемых в севообороте, – на урожайность и качество овса, а также на экологическое состояние и агрохимические свойства дерново-подзолистой легкосуглинистой почвы. Определена энергетическая и экономическая эффективность последствий длительного применения систем удобрения, включая биологизированные системы, при возделывании овса в зернотравяном севообороте.

Установлено, что наиболее эффективными, экологически безопасными системами удобрений являются органо-минеральные с 30 % насыщением питательными элементами в органической форме, которые в дозах N60-120P60-120K60-120 на фоне подстилочного навоза 6-12 т в расчете на 1 га севооборотной площади при поддерживающем внесении азотной подкормки (N45) обеспечивают урожайность овса сорта Скакун 2,4-2,8 т/га, что на 35-55% выше контроля. При этом зерно овса превосходит контроль по содержанию сырого белка на 34-37 % и массе 1000 зерен на 12 %.

Показано, что систематическое длительное, в течение 30 лет, применение под культуры зернотравяного севооборота органических и минеральных удобрений при оптимизации их доз и сочетаний не приводит в последствии к накоплению тяжелых металлов в почве и растительной продукции овса.

Практическая значимость работы. В условиях западной части Нечерноземной зоны Российской Федерации на дерново-подзолистой легкосуглинистой почве рекомендуется при возделывании овса в полевом севообороте использовать в последствии органо-минеральные системы удобрения в дозах N60-120P60-120K60-120 и 6-12 т/га подстилочного навоза при поддерживающей весенней подкормке азотом 45 кг/га д.в., обеспечивающие повышение урожайности зерна на 35-55 % и получение экологически безопасной продукции.

Положения, выносимые на защиту:

1. Эффективность длительного последствия различных доз и сочетаний органических и минеральных удобрений при использовании

весенней подкормки азотом на урожайность зерна овса сорта Скакун при возделывании в зернотравяном севообороте на дерново-подзолистой легкосуглинистой почве.

2. Влияние длительного последействия органических и минеральных удобрений на качество овса по показателям содержания в основной и побочной продукции биофильных элементов, сырого белка в зерне, массы 1000 зерен.

3. Результаты длительного последействия различных доз и сочетаний органических и минеральных удобрений на экологическую безопасность зерновой продукции овса по содержанию тяжелых металлов (медь, цинк, свинец, кадмий, никель, хром, кобальт, марганец, ртуть) и мышьяка.

4. Влияние последействия длительного применения органических и минеральных удобрений на основные агрохимические и экологические показатели дерново-подзолистой легкосуглинистой почвы.

5. Оценка энергетической и экономической эффективности длительного применения органических и минеральных удобрений в последействии при возделывании овса в полевом севообороте.

Личный вклад автора. Соискатель лично принимал участие в проведении полевых и аналитических работ. Самостоятельно подготовил литературный обзор по теме диссертации, выполнил анализ и обобщение экспериментальных данных, провел статистическую обработку полученных в экспериментах материалов с использованием компьютерной программы STRAZ-91.

Апробация результатов работы. Результаты и выводы экспериментальных исследований докладывались на Международной научно-практической конференции, посвященной 130-летию Н. И. Вавилова (г. Москва, ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К. А. Тимирязева», 2017 г.); Международной научно-практической конференции «Проблемы экологии и сельское хозяйство в XXI веке, посвященной 130-летию со дня рождения Н. И. Вавилова» (Большие Вязьмы Одинцовского р-на Московской обл., ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт фитопатологии», 2017 г.); Международной научной экологической конференции «Экологические проблемы развития агроландшафтов и способы повышения их продуктивности» (г. Краснодар, ФГБОУ ВО «Кубанский государственный аграрный университет имени И. Т. Трубилина», 2018 г.).

По теме работы издано 8 научных статей, в том числе 4 в рецензируемых журналах и изданиях, входящих в перечень ВАК РФ.

Структура и объём диссертации. Диссертация состоит из введения, обзора литературы, экспериментальной части, состоящей из шести пунктов и методического раздела, заключения, выводов, рекомендаций производству и приложений. Список использованной литературы включает 143 наименования, в том числе 16 на иностранных языках. Материал

диссертации изложен на 133 страницах машинописного текста, включает 24 таблицы и 18 рисунков в тексте, а также 3 приложения.

Благодарности. Автор выражает глубокую признательность научному руководителю доктору сельскохозяйственных наук, профессору, заслуженному деятелю науки РФ Мерзлой Генриэте Егоровне за квалифицированное руководство, методическую помощь в проведении исследований, поддержку и внимание при работе над диссертацией, а также сотрудникам лаборатории агрохимии органических удобрений ФГБНУ «ВНИИ агрохимии имени Д.Н. Прянишникова», ФГБНУ «Смоленский НИИСХ», ФГБУ ГЦАС «Московский», ФГБУ ГЦАС «Вологодский» за оказанную помощь в проведении исследований, заведующему кафедрой экологии ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева», доктору биологических наук, профессору Васеневу Ивану Ивановичу, доктору сельскохозяйственных наук, профессору кафедры Постникову Дмитрию Андреевичу и всему профессорско-преподавательскому составу кафедры экологии за ценные и полезные советы.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Условия и методы исследований

Опыт заложен в поселке Ольша Смоленского района Смоленской области в 1978 г. Исследования проводились в 2015-2018 гг. и являлись составной частью плана НИР ФГБНУ «ВНИИ агрохимии имени Д.Н. Прянишникова» по заданию 0572-2014-0012 «Разработать системы удобрения, обеспечивающие оптимизацию содержания в почве органического вещества и устойчивость агроценозов».

Схема опыта – сокращенная факториальная, представляет собой выборку 1/27 (6х6х6х6). Изучались четыре фактора – навоз, азотные, фосфорные, калийные минеральные удобрения в шести дозах – 0, 1, 2, 3, 4, 5.

Закладка и проведение опыта выполнялись в соответствии с Программой и методикой исследований в Географической сети опытов по комплексному применению средств химизации в земледелии (1990).

В опыте прошло пять ротаций севооборота. Чередование культур в первой ротации севооборота (1979-1989 гг.): 1. картофель – 2. ячмень – 3. озимая рожь – 4. овес – 5. горохоовсяная смесь – 6. озимая пшеница – 7. ячмень – 8. и 9. многолетние травы 1-го и 2-го годов пользования – 10. озимая рожь – 11. овес; во второй (1990-1995 гг.) и в третьей (1996-2001 гг.) ротациях: 1. картофель – 2. ячмень – 3. и 4. многолетние травы 1-го и 2-го годов пользования – 5. озимая пшеница – 6. овес; в четвертой (2002-2008 гг.) и пятой (2009-2015 гг.) ротациях: 1. однолетние травы (овес на зеленый корм)

–

2. озимая рожь – 3. ячмень – 4. и 5. многолетние травы 1-го и 2-го годов пользования – 6. яровая пшеница – 7. овес.

Насыщенность севооборота зерновыми культурами составляла от первой к пятой ротации: 54, 50, 50, 57, 57 %, в среднем – 54 %; насыщенность многолетними травами – соответственно 18, 33, 33, 28, 28 %, в среднем – 28 %.

В качестве органических удобрений применяли навоз крупного рогатого скота с небольшим количеством подстилки – в первых трех ротациях и компост на основе навоза и торфа – в четвертой ротации.

Органические удобрения вносили в первой ротации севооборота под картофель и озимую пшеницу, во второй и третьей ротациях – под картофель, в четвертой ротации – под озимую рожь. Органические удобрения имели в среднем влажность 70 % и содержали на сырое вещество 0,46 % общего азота, 0,08 % аммонийного азота, 0,21 % P_2O_5 и 0,66 % K_2O . Содержание органического вещества (на сухую массу) составляло 59 %, отношение C:N равно 19. Валовое содержание тяжелых металлов было невысоким: Cd – 0,1, Cr – 1, Ni – 1, Cu – 0,6, Zn – 7 мг/кг сухой массы.

С единичной дозой органического удобрения 3,2 т (округленно 3 т) в почву вносилось в расчете на 1 гектар в год 580 кг органического вещества, 14,5 кг азота, 6,6 кг фосфора (P_2O_5), 20,7 кг калия (K_2O). За 30 лет опыта с одной дозой органического удобрения (навоза или компоста) 96 т/га, в почву поступило 17,4 т органического вещества, 435 кг общего азота, 198 кг фосфора (P_2O_5), 621 кг калия (K_2O). В качестве минеральных удобрений в опыте применяли аммиачную селитру, двойной суперфосфат, хлористый калий. Одна доза азота, фосфора и калия соответствовала 25,5 (округленно 30) кг действующего вещества на 1 гектар. За 4 ротации севооборота (30 лет) в почву поступило с минеральными удобрениями по 765 кг/га азота, фосфора (P_2O_5) и калия (K_2O).

Повторность в опыте трехкратная. Площадь делянки 112 м² (7х16 метров), учетная площадь делянки – 48 м² (4х12 метров).

В данной работе представлены результаты исследований по эффективности последствий органических и минеральных удобрений при выращивании овса сорта Скакун в пятой ротации зернотравяного севооборота при поддерживающем внесении аммиачной селитры в дозе N45 фоном во всех вариантах полевого опыта.

Почва опытного участка дерново-подзолистая легкосуглинистая окультуренная, перед закладкой опыта характеризовалась следующими агрохимическими показателями: рН 5,5-6,4, содержание гумуса 1,3% С, подвижного фосфора (P_2O_5) (по Кирсанову) 110-209 мг/кг и калия (K_2O) 115–146 мг/кг почвы.

Урожайность культуры определялась сплошным методом, масса 1000 зерен - по ГОСТ 10842-89. Расчет гидротермического коэффициента (ГТК) осуществлялся по Г.Т. Селянинову. Статистическая обработка экспериментальных данных выполнена по В.Н. Перегудову (1978) и Б.А. Доспехову (1979) с использованием компьютерной программы STRAZ-

91, разработанной М.Г. Захариним. Химические анализы растительных образцов были проведены по следующим методикам: общий азот по Кьельдалю по ГОСТ 134964-93; фосфор по ГОСТ 26657-97; калий на пламенном фотометре по ГОСТ 30504-97.

Содержание тяжелых металлов в зерне и почве определяли по методикам: ГОСТ 30178-96 «Сырье и продукты пищевые. Атомно-абсорбционный метод определения и токсичных элементов» – (медь, цинк, свинец, кадмий); МУ № 01-19/47-11. Москва 1992 г. (никель, хром, марганец, кобальт); МУ 5178-90 «МУ по обнаружению и определению содержания общей ртути в пищевой продукции»; ГОСТ 26930-86 «Сырье и продукты пищевые. Метод определения мышьяка»; МВИ массовых долей токсичных металлов в пробах почв атомно-абсорбционным методом» ФР.1.31.2007.04106 (медь, цинк, свинец, кадмий, никель, хром, марганец, кобальт); мышьяк – «МУ по определению мышьяка в почвах фотометрическим методом», Москва, 1993 г.; ртуть – «Руководство по санитарно-химическому исследованию почвы», Москва, 1993 г. Биологическую активность почвы устанавливали по интенсивности разложения полотна методом Е. Н. Мишустина, И. С. Вострова и А. Н. Петровой, способом контроля дыхания почвы в посевах (Патент № 2507517), методом разложения органического вещества с помощью чайных пакетиков по совместной методике Университета Утрехта (Нидерланды) и Университета Умео (Швеция) по Международной программе с участием Географической сети опытов с удобрениями ВНИИА. Энергетическую и экономическую эффективность определяли в соответствии с рекомендациями по составлению проекта на применение удобрений (Державин, 2001).

Метеорологические условия в годы исследований были различными. Гидротермический коэффициент в годы исследований колебался в пределах 1,0-2,0, при среднем многолетнем значении ГТК – 1,9. В 2016-2018 гг. ГТК был на уровне среднего многолетнего значения, а в 2015 г. этот показатель был значительно ниже нормы.

Влияние последствий органических и минеральных удобрений на урожайность овса

Зависимость урожайности зерна овса от последствий различных доз и сочетаний органических и минеральных удобрений изучали в конце пятой ротации зернотравяного севооборота на двух полях в 2015 и 2016 годах соответственно. Данные опыта по урожайности культуры овса сорта Скакун представлены в таблице 1, рисунках 1-5.

В контрольном варианте в 2015 году на поле 1 была получена урожайность 20,4 ц/га, в 2016 году на поле 2 - 15,1 ц/га, а в среднем по двум полям – 17,7 ц/га. В 2015 году прибавки урожайности овса по всем вариантам

опыта колебались от 1,2 до 15,0 ц/га. По результатам, представленным в таблице 1, одностороннее внесение азотных, фосфорных и калийных удобрений в последствии при сложившихся фонах питания растений не давало достоверной прибавки урожая зерна овса.

Одностороннее внесение азотных, фосфорных и калийных удобрений в последствии при сложившихся фонах питания растений не давало достоверной прибавки урожая зерна овса.

Последствие минеральной системы удобрения (N90P90K90) в 2015 году было эффективным, и прибавка к контролю достигала 51 %. Положительные результаты в 2015 году были получены и в варианте последствия органо-минеральной системы в двукратной дозе (N60P60K60 + 6 т/га навоза). Повышение доз удобрений в органо-минеральной системе до 3-кратных не сопровождалось ростом урожайности зерна.

В 2016 году значимые прибавки урожая относительно контроля составили от 2,0 до 8,4 ц/га. Следует отметить, что сохранилось сходство результатов по урожайности овса в вариантах последствия калийного удобрения и навоза в 2015 году. В отношении органо-минеральной системы удобрения в вариантах различных доз следует отметить, что существенные прибавки урожайности зерна были достигнуты в последствии самых высоких четырехкратных (N120P120K120 + 12 т/га навоза) и пятикратных (N150P150K1250 + 15 т/га навоза) доз, где они составили 55,3 и 65,5 % соответственно.

Таким образом, анализ полученных результатов по урожайности зерна овса при последствии различных видов и сочетаний органических и минеральных удобрений в разные по метеоусловиям годы позволяет с большой уверенностью констатировать, что в сложившихся условиях длительного полевого опыта органо-минеральная система удобрений в четырёхкратных дозах (N120P120K120 + 12 т/га навоза) обеспечивала достоверную прибавку зерна даже в неблагоприятный по погодным условиям вегетационный период.

Таблица 1 - Влияние последствия различных доз и сочетаний органических и минеральных удобрений на урожайность овса

Вариант опыта	Поле 1, 2015 г.	Поле 2, 2016 г.	В среднем по 2 полям			
			урожайность, ц/га	прибавка		
				ц/га	%	
0000	Контроль	20,4	15,1	17,7	-	-
3000	N90	21,6	17,1	19,3	1,6	9,0
0300	P90	22,8	17,6	20,2	2,5	14,1
0030	K90	27,6	15,0	21,3	3,6	20,3

0003	9 т/Га навоза	27,6	15,0	21,3	3,6	20,3
0330	P90K90	21,8	18,5	20,2	2,5	14,1
3030	N90K90	23,8	15,8	19,8	2,1	11,9
3300	N90P90	26,0	21,2	23,6	5,9	33,3
0033	K90 + 9 т/Га навоза	30,1	16,6	23,4	5,7	32,2
0303	P90 + 9 т/Га навоза	21,8	15,0	18,4	0,7	4,0
0333	P90K90 + 9 т/Га навоза	28,8	17,6	23,2	5,5	31,1
3003	N90 + 9 т/Га навоза	21,6	21,0	21,3	3,6	20,3
3330	N90P90K90	30,8	17,7	24,5	6,8	38,4
3033	N90K90 + 9 т/Га навоза	27,1	21,0	24,1	6,4	36,2
3303	N90P90 + 9 т/Га навоза	28,1	21,0	24,6	6,9	39,0
3333	N90P90K90 + 9 т/Га навоза	30,8	17,4	24,1	6,4	36,2
1111	N30P30K30 + 3 т/Га навоза	24,1	16,7	20,4	2,7	15,3
1141	N30P30K120 + 3 т/Га навоза	30,6	18,0	20,4	2,7	15,3
1411	N30P120K30 + 3 т/Га навоза	26,0	17,8	24,3	6,6	37,3
1441	N30P120K120 + 3 т/Га навоза	31,2	18,4	21,9	4,2	23,7
4111	N120P30K30 + 3 т/Га навоза	22,6	16,5	24,8	7,1	40,1
4141	N120P30K120 + 3 т/Га навоза	28,3	17,4	19,6	1,9	10,7
4411	N120P120K30 + 3 т/Га навоза	31,2	17,8	22,9	5,2	29,4
4441	N120P120K120 + 3 т/Га навоза	27,9	21,8	24,5	6,8	38,4
1114	N30P30K30 + 12 т/Га навоза	23,1	18,3	24,9	7,2	40,7
1144	N30P30K120 + 12 т/Га навоза	31,8	15,4	20,7	3	16,9
1414	N30P120K30 + 12 т/Га навоза	32,6	14,7	23,6	5,9	33,3
1444	N30P120K120 + 12 т/Га навоза	30,9	20,7	23,7	6	33,9

4114	N120P30K30 + 12 т/га навоза	30,1	14,0	25,8	8,1	45,8
4144	N120P30K120 + 12 т/га навоза	31,6	16,0	22,1	4,4	24,9
4414	N120P120K30 + 12 т/га навоза	29,7	15,8	23,8	6,1	34,5
4444	N120P120K120 + 12 т/га навоза	32,4	22,6	27,5	9,8	55,3
2222	N60P60K60 + 6 т/га навоза	30,6	17,1	23,9	6,2	35,0
2252	N60P60K150 + 6 т/га навоза	26,9	16,2	21,6	3,9	22,0
2522	N60P150K60 + 6 т/га навоза	24,6	17,2	20,9	3,2	18,1
2552	N60P150K150 + 6 т/га навоза	28,0	22,0	25,0	7,3	41,2
5222	N150P60K60 + 6 т/га навоза	29,0	15,0	22,0	4,3	24,3
5252	N150P60K150 + 6 т/га навоза	28,7	18,0	23,4	5,7	32,2
5522	N150P150K60 + 6 т/га навоза	27,4	16,5	22,0	4,3	24,3
5552	N150P150K150 + 6 т/га навоза	30,1	23,2	26,7	9	50,8
2225	N60P60K60 + 15 т/га навоза	32,8	19,8	26,3	8,6	48,6
2255	N60P60K150 + 15 т/га навоза	31,2	21,8	26,5	8,8	49,7
2525	N60P150K60 + 15 т/га навоза	33,3	21,8	27,6	9,9	55,9
2555	N60P150K150+ 15 т/га навоза	35,0	23,5	29,3	11,6	65,5
5225	N150P60K60 + 15 т/га навоза	30,8	18,3	24,6	6,9	40,0
5525	N150P150K60 + 15 т/га навоза	32,8	22,0	27,4	9,7	54,8
5255	N150P60K150 + 15 т/га навоза	30,7	21,8	26,3	8,6	48,6
5555	N150P150K150	35,4	23,2	29,3	11,6	65,5

+ 15 т/га навоза					
НСР₀₅	1,8	1,6	3,2		

$$y_{2015} = 34,87 + 1,0965K^{0,5} + 0,497H + 0,93(NP) - 1,07(NK)^{0,5} - 0,82(PH)^{0,5},$$

$$R_{2015} = 0,48,$$

$$y_{2016} = 14,81 + 2,40N^{0,5} - 2,86P^{0,5} - 1,71P - 3,36K^{0,5} + 0,36H - 1,26(NK)^{0,5},$$

$$R_{2016} = 0,78,$$

$$y_{cp} = 18,0 + 0,77P + 0,59K + 1,1H + 0,51(NP)^{0,5} - 0,91(PH)^{0,5},$$

$$R_{cp} = 0,87.$$

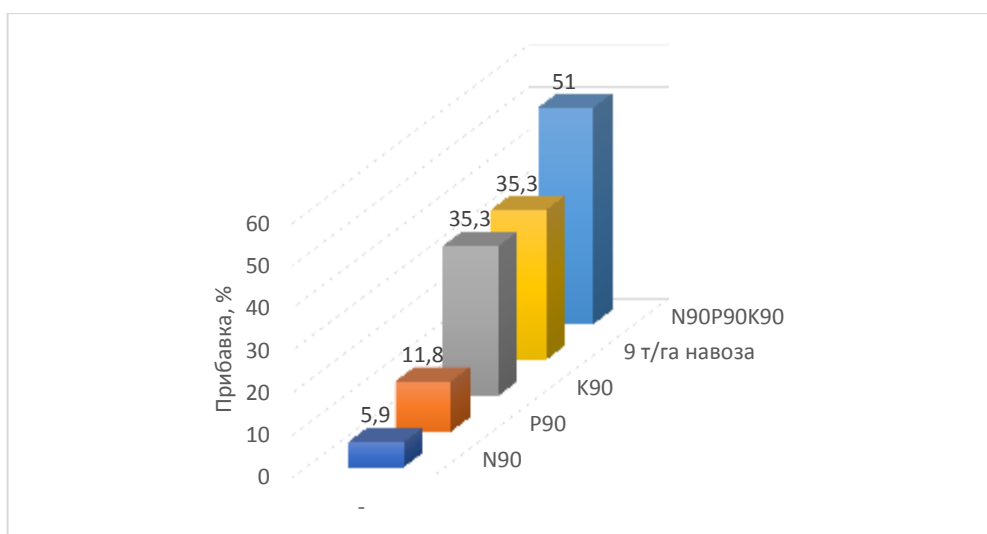


Рисунок 1- Прибавки урожая зерна овса в зависимости от последействия органических и минеральных удобрений, 2015 г. Поле 1

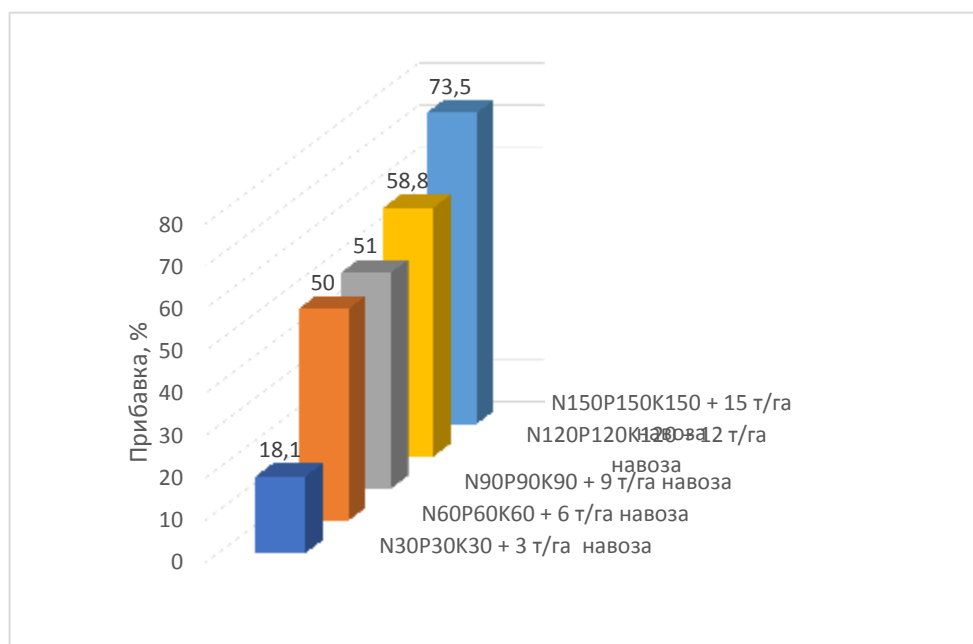


Рисунок 2 - Прибавки урожая овса в зависимости от последействия возрастающих доз органо-минеральных систем удобрения, 2015 г. Поле 1

На основании уравнения регрессии, полученного в среднем по двум полям установлены зависимости урожайности зерна овса от отдельных видов удобрений, которые показаны на рисунках 3-5. С возрастанием доз навоза с нулевой до пятикратной в последствии урожайность овса увеличивалась от 18 до 23,55 ц/га, доз фосфора от 18 до 71,75 ц/га, доз калия с 18 до 20,68 ц/га.

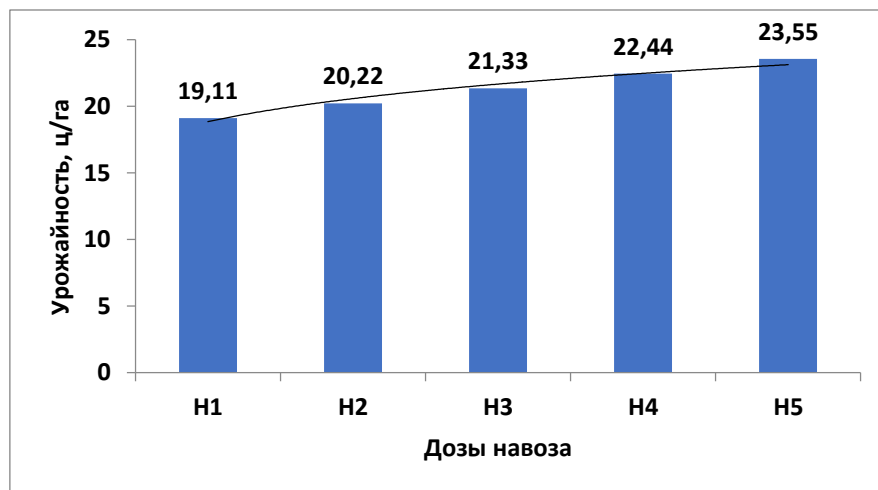


Рисунок 3 - Влияние возрастающих доз органических удобрений на урожайность овса в последствии

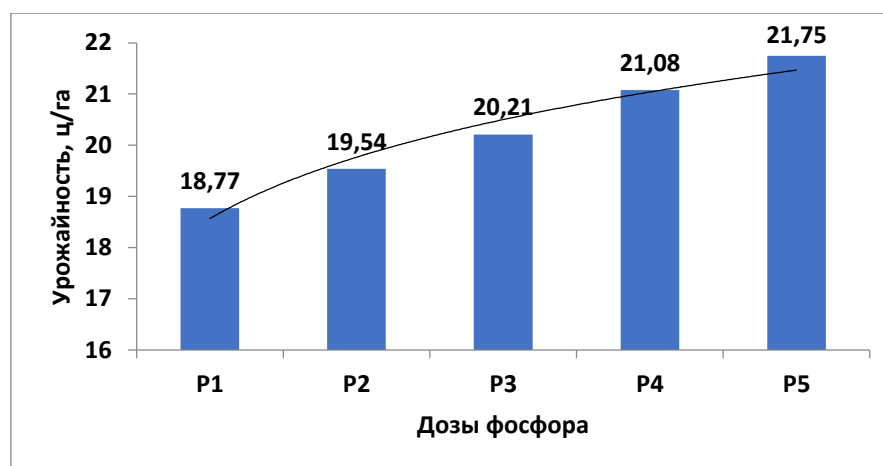


Рисунок 4 - Влияние возрастающих доз минеральных фосфорных удобрений на урожайность овса в последствии

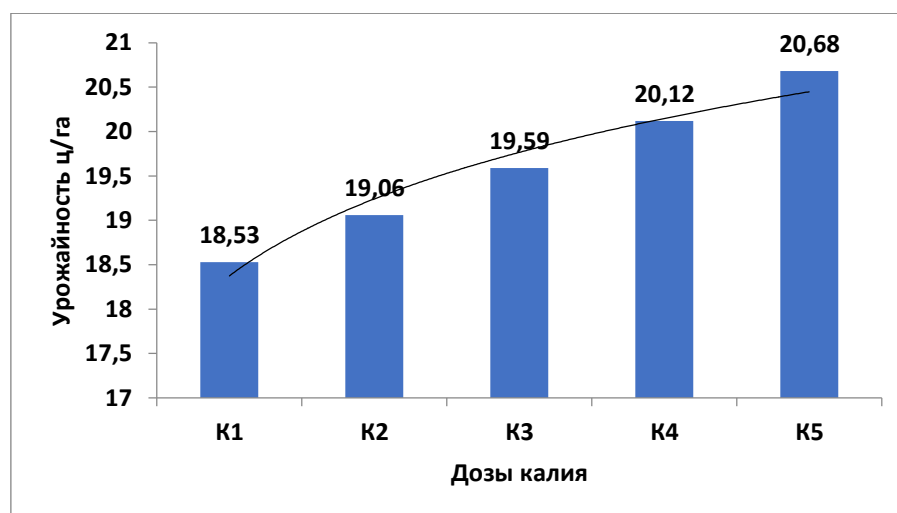


Рисунок 5 - Влияние возрастающих доз минеральных калийных удобрений на урожайность овса в последствии

Окупаемость одного килограмма NPK удобрений в последствии была более высокой по органической системе (2,9 кг) и ниже по минеральной (2,5 кг). В органо-минеральных вариантах с ростом доз от единичных до пятикратных она снижалась от 2 до 1,7 кг.

Таким образом, при анализе последствия органических и минеральных удобрений в широком диапазоне доз и сочетаний в пятой ротации полевого севооборота с использованием азотной подкормки (N45), начиная с 2009 года, на дерново-подзолистой легкосуглинистой почве при возделывании завершающей севооборот культуры овса к эффективным вариантам следует отнести органо-минеральную систему в трех-, четырехкратных дозах – N90-120P90-120K90-120 + 9-12 т/га подстилочного навоза, обеспечивающую урожайность зерна овса на уровне 24,1-27,5 ц/га, что на 36,2-55,3 % превышало контроль без удобрений.

Влияние органических и минеральных удобрений на качество зерна овса

Определение массы 1000 зерен овса в 2015 г. (поле 1) показало, что в контрольном варианте этот показатель был наименьшим и составил 27,5 г, в вариантах с удобрениями масса 1000 зерен повышалась и варьировала от 28,0 до 31,8 г.

При изучении последствия удобрений на содержание сырого белка в зерне овса было выявлено, что оно повышало данный показатель относительно контроля до 6,25-10,38 %. Максимальные значения 9,94 и 10,38% были достигнуты в вариантах последствия и минеральной системы (N90P90K90) и одного навоза (9 т/га).

Последствие органо-минеральной системы удобрения в единичных дозах (N30P30K30 + 3 т/га навоза) в меньшей мере влияло на содержание сырого белка в зерне овса (6,25%), чем последствие систем в вариантах с более высокими дозами (Рисунок 6).

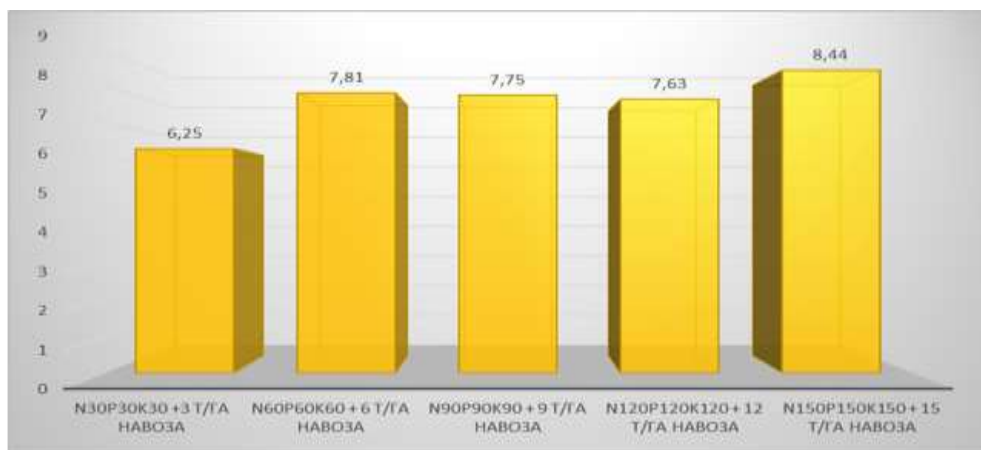


Рисунок 6 - Влияние последействия систем удобрения на содержание сырого белка в зерне овса (%), 2015 г. Поле 1.

Последействие удобрений оказывало влияние на химический состав как основной, так и побочной продукции овса. Содержание азота в зерне изменялось от 0,91 % на контроле до 1,35 % в варианте с пятикратной дозой удобрений (N150P150K150 + 15 т/га навоза). Выявлено увеличение содержания азота в зерне овса в зависимости от возрастающих доз удобрений в органо-минеральных системах, а также от последействия азотных (N90) и полного минерального удобрения (N90P90K90).

Содержание фосфора (P_2O_5) в зерне овса в условиях опыта варьировало от 0,62 до 0,79 %. Наиболее высокие показатели по содержанию фосфора были получены в вариантах последействия минеральной системы удобрения (N90N90K90) и одних фосфорных удобрений (P90), составившие 0,79 и 0,78 %, соответственно.

Содержание калия (K_2O) в зерне овса значительно увеличилось в органо-минеральных вариантах последействия четырех- (N120P120K120 + 12 т/га) и пятикратных (N150P150K150 + 15 т/га навоза) доз удобрений.

Содержание азота в соломе овса варьировало от 0,46 до 0,82 %. Максимальное количество азота в овсяной соломе было выявлено от последействия самой высокой дозы органо-минеральных удобрений (N150P150K150 + 15 т/га навоза). Содержание фосфора (P_2O_5) в соломе овса, как и в зерне, изменялось в зависимости от последействия используемых в опыте удобрений от 0,17 до 0,26 %. Проявилась определенная зависимость содержания калия (K_2O) в соломе овса от внесения удобрений. Минимальное значение калия в соломе овса отмечено на контроле и составило 1,11 %, максимальное – в варианте последействия органо-минеральных удобрений в пятикратной дозе (N150P150K150 + 15 т/га навоза) – 2,28 %.

Результаты проведенных исследований по содержанию тяжелых металлов (медь, цинк, свинец, кадмий, никель, хром, кобальт, марганец, ртуть) и мышьяка в зерне овса, выращенного в зернотравяном севообороте в условиях длительного применения органических и минеральных удобрений, представлены в таблице 2.

Повышение содержания кадмия в зерне отмечено при последствии минеральной системы удобрения (N90P90K90) – 0,032 мг/кг и органо-минеральной системы в трехкратных дозах (N90P90K90 + 9 т/га навоза) – 0,033 мг/кг. В варианте последствия азотных удобрений (N90) в зерне овса содержалось 0,028 мг/кг кадмия. В вариантах органо-минеральных систем удобрения наиболее высокие показатели по содержанию кадмия в овсе наблюдались при повышенных дозах удобрений. В целом в условиях опыта все показатели по содержанию кадмия в растениях были ниже уровня, установленного СанПиН 2.3.2.1078-01.

Наименьшее содержание свинца в зерне овса отмечено в варианте последствия одностороннего внесения фосфора (P90) – 0,042 мг/кг, максимальное – в последствии минеральной системы удобрения (N90P90K90) – 0,166 мг/кг. Однако в целом значения этого элемента в опытных растениях исследуемых вариантов удобрений не превышали санитарно-гигиенических норм.

Содержание ртути и мышьяка в зерне овса во всех исследуемых вариантах опыта было также значительно ниже установленных отечественных нормативов.

Таблица 2 - Содержание тяжелых металлов и мышьяка в зерне овса, мг/кг сухой массы. 2015 г. Поле 1

Вариант опыта		Cu	Zn	Pb	Cd	Ni	Cr	Co	Mn	Hg	As
0000	Контроль	3,46	17,6	0,058	<0,01	2,99	2,24	0,170	20,0	<0,005	<0,01
3000	N90	2,61	22,7	0,110	0,028	2,74	1,65	0,120	12,2	<0,005	<0,01
0300	P90	2,03	17,7	0,042	<0,01	1,99	0,98	0,034	16,3	<0,005	<0,01
0030	K90	2,62	16,6	0,062	<0,01	2,78	1,87	0,082	23,0	<0,005	<0,01
0003	9 т/га навоза	2,25	12,6	0,062	<0,01	2,15	1,68	0,040	15,1	<0,005	<0,01
3330	N90P90K90	2,24	24,1	0,166	0,032	2,29	1,26	0,090	24,4	<0,005	0,052
1111	N30P30K30 + 3 т/га навоза	2,33	17,1	0,052	<0,01	1,90	1,42	0,062	15,8	<0,005	<0,01
2222	N60P60K60 + 6 т/га навоза	2,20	20,1	0,078	<0,01	1,90	1,23	0,060	17,1	<0,005	<0,01
3333	N90P90K90 + 9 т/га навоза	2,09	18,3	0,114	0,033	2,61	1,57	0,046	46,9	<0,005	<0,01
4444	N120P120K120 + 12 т/га навоза	2,12	17,1	0,070	0,012	1,45	1,39	0,038	33,6	<0,005	<0,01
5555	N150P150K150 + 15 т/га навоза	2,12	26,2	0,106	0,020	2,34	1,31	0,040	22,1	<0,005	0,022
Допустимые уровни, мг/кг (СанПиН 2.3.2.1078-01)				0,5	0,1					0,03	0,2

Влияние последствий длительного применения органических и минеральных удобрений на агрохимические свойства почвы

Органические и минеральные удобрения при длительном их применении в последствии влияли на агрохимические свойства почвы, о чем свидетельствуют данные, полученные в конце пятой ротации зернотравяного севооборота.

Показатель pH_{kcl} почвы в вариантах последствия удобрений изменялся от 4,6 до 5,4 при значении на контроле 5,1. Наименьшее значение pH_{kcl} (4,6) отмечено при последствии органо-минеральной системы удобрения в пятикратной дозе (N150P150K150 + 15 т/га навоза).

Применение одних минеральных удобрений в вариантах N90, K90 оказывало подкисляющее влияние в последствии. Следует отметить, что при введении в комплекс минеральных удобрений фосфора наблюдалось повышение pH_{kcl} почвы, что может свидетельствовать об экологической функции фосфорного компонента как стабилизирующего реакцию почвенного раствора.

При использовании навоза и органо-минеральных систем (кроме самых высоких доз) величина pH_{kcl} в конце ротации стабилизировалась на уровне 5,1-5,4 единицы.

По содержанию гумуса в почве наибольшие значения получены в последствии органо-минеральной системы удобрения в четырех- и пятикратных дозах (N120-150P120-150K120-150 + 12-15 т/га навоза), соответственно 1,20 и 1,17 % С. Вероятно, эти системы удобрения более экологически сбалансированы для данного типа почв Нечерноземной зоны. Установлена корреляционная связь урожайности с гумусом почвы на уровне $r=0,71$.

При изучении влияния последствия удобрений на показатели подвижного фосфора и калия в пахотном слое прослеживаются следующие закономерности. На контроле значение фосфора составляло лишь 64 мг/кг, в варианте одностороннего внесения фосфора (P90) отмечалось резкое его повышение до 181 мг/кг P_2O_5 . Повышалось содержания фосфора в почве по системам удобрения: при внесении навоза – до 159 мг/кг, минеральной системы – до 221 мг/кг и органо-минеральных систем удобрения – до 171-318 мг/кг P_2O_5 . В отношении изменения содержания калия в почве по вариантам опыта четких закономерностей не было выявлено.

Влияние последствий длительного применения органических и минеральных удобрений в различных дозах и сочетаниях на экологическое состояние почвы

Анализ результатов определения валового содержания тяжелых металлов в пахотном слое почвы (0-20 см) по вариантам опыта, который был проведен в 2017-2018 годах, позволил выявить следующие закономерности.

Во всех вариантах опыта, включая контроль и варианты последствий длительного применения удобрений, валовое содержание тяжелых металлов в дерново-подзолистой легкосуглинистой почве не превышало установленных для них ОДК/ПДК.

Валовое содержание свинца в почве более высоким было в контрольном варианте, а также в вариантах минеральной системы (N90P90K90) и органо-минеральных систем в трех- и пятикратных дозах. Значения по содержанию цинка в 2017 году варьировали от 50,7 в варианте N90 до 71,8 мг/кг в органо-минеральном варианте с пятикратными дозами и не превышали ОДК для исследуемой почвы. Максимальное содержание кадмия в почве в условиях полевого опыта отмечено в варианте последствий органо-минеральной системы удобрений в пятикратных дозах (N150P150K150 + 15 т/га навоза), но при этом оно было более чем в два раза ниже ОДК. Содержание меди в почве во всех исследуемых вариантах опыта было почти в пять раз ниже ОДК. Значения по никелю в почве мало отличались от контроля, и во всех вариантах опыта они были более чем в 2 раза ниже ОДК. Содержание ртути во всех исследуемых образцах почвы в разы меньше установленных для металла нормативов. Наибольшее значение Hg было почти в 80 раз меньше ПДК. По мышьяку превышений ОДК также в ходе исследований не было выявлено, при этом максимальное значение As зафиксировано в варианте последствий органо-минеральной системы удобрения в трехкратных дозах – 1,14 мг/кг при ОДК, равной 5.

Содержание некоторых тяжелых металлов, таких как свинец, медь, кадмий в контрольном варианте было даже несколько выше, чем в вариантах последствий различных систем удобрения. Однако это превышение нельзя считать значимым.

В 2015-2018 гг. проводились исследования по определению биологической активности почвы в опыте разными методами. Одним из методов определения этого показателя был метод льняных полотен. В проведенных исследованиях степень разложения полотна сильно зависела от метеоусловий. «Очень сильной» она была почти во всех вариантах опыта в 2016 году (поле 2), который характеризовался выпадением большего количества осадков. Исключением был только вариант последствий органо-минеральной системы удобрения с высокими (пятикратными) дозами, но и в этом случае за период экспозиции разложилось до 78 % льняной ткани. Характерно, что в указанном варианте в последствии максимальных в опыте доз минеральных удобрений и навоза наблюдалось снижение биологической активности почвы, или конкретнее целлюлозоразлагающей способности, и в

другие годы определения (2015 г., 2017 г.). Исключением стал 2018 год, где степень разложения полотна была «Очень сильной», причем на двух полях.

Эта закономерность повторилась и при определении биологической активности почвы методом разложения органического вещества чая, разработанным Университетом Утрехта (Нидерланды) и Университетом Умео (Швеция) по Международной программе с участием Географической сети опытов с удобрениями ВНИИА.

В исследованиях совместно с сотрудниками ВНИИА (Э. Н. Аканов) в контрастных вариантах полевого опыта изучали влияние длительного применения удобрений на почвенное дыхание. Было установлено, что различные удобрения по-разному влияли на показатель биологической активности почвы. Наибольшие значения эмиссии CO_2 в атмосферу при возделывании овса наблюдались в весенний период (май 2015 г.) от последствий одностороннего внесения азота – 28 мкг С/г в сутки и органической системы удобрений – 36 мкг С/г при 22 мкг С/г в сутки на контроле.

Влияние последствий длительного применения органических и минеральных удобрений на баланс питательных элементов

Важным вопросом в земледелии является не только получение высокого экологически безопасного урожая, но и сохранение почвенного плодородия.

Данные, полученные в длительном полевом опыте, свидетельствуют о дефиците гумуса в почве в конце пятой ротации зернотравяного севооборота. Так, если в начале опыта в почве содержание гумуса составлял 1,3 % С, то в конце пятой ротации оно колебалось по вариантам от 0,93 до 1,2 % С. Наибольшие потери гумуса в почве отмечались в контрольном варианте (0,47 % С абсолютных), наименьшие – в органо-минеральных вариантах удобрений с 4-5-кратными дозами (0,11-0,16 % С).

Отрицательный баланс фосфора наблюдался на контроле и в вариантах последствий азотных, калийных удобрений и навоза (9 т/га). При одностороннем внесении фосфорных удобрений (Р90), минеральной и органо-минеральной системы в двух-, трех- и четырехкратных дозах баланс фосфора характеризовался как положительный.

Положительный баланс по калию был получен во всех вариантах опыта, за исключением контроля и последствий органо-минеральной системы удобрений в низких дозах.

Энергетическая и экономическая эффективность последствий длительного применения органических и минеральных удобрений при возделывании овса

Определение энергетической и экономической эффективности последствий удобрений на посеве овса проводили в контрастных вариантах

опыта. Расчеты вели с учетом внесения подкормки азотом в дозе N45, которая осуществлялась фоном во всех вариантах.

При возделывании овса в условиях западной части Нечерноземной зоны России энергетическая эффективность последствий удобрений варьировала от 0,77 (N90) до 5,58 (N150P150K150 + 15 т/га навоза). Наиболее высокие показатели энергетической эффективности отмечены в вариантах опыта с достаточно высокой прибавкой урожая, т. е. в вариантах органо-минеральной системы в умеренных двух-, трехкратных и высоких четырех- и пятикратных дозах. Высокие значения энергетической эффективности достигались также в варианте последствия минеральной системы (N90P90K90) – 3,27.

Экономическая эффективность последствий удобрений с учетом внесения азотной подкормки фоном была наибольшей также в вариантах с высокими прибавками урожая. Показатели чистого дохода в опыте варьировали от 556 до 6086 руб./га.

Исходя из проведенных расчетов высокие показатели энергетической и экономической эффективности удобрений в последствии были получены в вариантах минеральной (N90P90K90) и органо-минеральных систем в умеренных дозах N60-90P60-90K60-90 + 6-9 т/га навоз, а максимальные значения достигнуты в вариантах органо-минеральных систем в высоких дозах удобрений N120-150P120-150K120-150 + 12-15 т/га навоза ежегодно. Эффективность последствий систем удобрений находилась в прямой зависимости от уровня применяемых доз под культуры зернотравяного севооборота.

Заключение

Возделывание овса сорта Скаун на окультуренной дерново-подзолистой легкосуглинистой почве в условиях западной части Нечерноземной зоны России малоэффективно без применения удобрений. По данным длительного полевого опыта, проводимого в течение 37 лет, урожайность зерна овса, возделываемого в зернотравяном севообороте (пятая ротация), в среднем по двум полям за годы исследований (2015-2016 гг.) в контрольном варианте, где удобрения не применялись, не превышала 17,7 ц/га, т.е. была наименьшей в опыте. Максимальная урожайность овса достигнута в последствии длительно применяемой органо-минеральной системы удобрений в четырехкратных дозах, составившая 27,5 ц/га и обеспечившая достоверную прибавку урожая к контролю 9,8 ц/га, или 55,3 %. Полученная в этом варианте урожайность овса была выше на 12 % по отношению к минеральной (N90P90K90) и на 29 % – по отношению к органической (9 т/га навоза) системам удобрения.

Урожайность зерна овса в последствии удобрений на уровне 23,9 ц/га при достоверной прибавке урожая по отношению к контролю 6,2 ц/га (35%) и окупаемости 1 кг NPK 2,3 кг зерна достигнута в варианте с двукратными дозами (N60P60K60 + 6 т/га навоза).

Минеральная система удобрения (N90P90K90) и органическая с тройной дозой навоза (9 т/га) обеспечивали в последствии примерно один и тот же уровень урожайности зерна овса (21-24 ц/га) при окупаемости 1 кг НРК удобрений 2,5 и 2,9 кг зерна.

Содержание сырого белка в зерне более высоким было в последствии органической – 10,4 %, минеральной – 9,9 % и максимальных, пятикратных доз органо-минеральной системы удобрения – 8,4 %. Полученное в последствии удобрений зерно характеризовалось как экологически безопасное. По содержанию исследуемых тяжелых металлов: кадмия, свинца, ртути, никеля, цинка, меди и мышьяка - зерно овса соответствовало гигиеническим нормам, установленным СанПиН 2.3.2.1078-01, что особенно важно для овса, который является ценной культурой для диетического и детского питания.

Применение удобрений в последствии позволяло поддерживать содержание органического углерода в почве на уровне от 1,07 до 1,20 % в зависимости от варианта опыта. Более высокое содержание гумуса в почве было в вариантах последствия органо-минеральной системы в высоких (четырёх- и пятикратной) дозах – 1,2 и 1,17 % С. Однако при этом в вариантах последствия органо-минеральных систем при повышении доз удобрений до пятикратных повышалась кислотность почвы до 4,6 ед. рН_{ксл}, при 5,1 - на контроле.

В вариантах последствия удобрений отмечалось улучшение фосфатного режима почв, особенно заметное в варианте органо-минеральной системы с четырехкратными дозами. Последствие удобрений положительно влияло и на калийный режим почвы (за исключением органо-минеральной системы в низких дозах).

Длительное применение органических и минеральных удобрений при оптимизации их сочетаний и доз не оказывало отрицательного воздействия на биологическую активность дерново-подзолистой легкосуглинистой почвы. Целлюлозаразрушающая активность микроорганизмов, определенная методом аппликации, при последствии минеральной, органической и органо-минеральной систем удобрений в умеренных (двух-, трехкратных) дозах в годы исследований отличалась высокими показателями, степень разложения полотна характеризовалась при этом как «сильная» и «очень сильная». Аналогичная закономерность наблюдалась и при определении биологической активности почвы методом разложения органического вещества чая.

Содержание тяжелых металлов в почве при длительном применении удобрений не превышало ориентировочно допустимых концентраций, но в варианте с последствием органо-минеральной системы в максимальной, пятикратной дозе (N150P150K150 + 15 т/га) содержание кадмия было более высоким, чем в других вариантах удобрений и составило 0,44 мг/кг при ОДК 1,0 мг/кг.

Согласно экономической и энергетической оценке длительного последствия удобрений и с учетом оплаты удобрений прибавками урожая

при возделывании овса установлена наиболее высокая эффективность последствия в варианте органо-минеральной системы удобрения в двукратных дозах, где в условиях опыта энергетический коэффициент достигал 3 ед., условно чистый доход 3100 руб./га.

Таким образом, в результате исследований в системе удобрения-почва-растение в длительном полевом опыте, заложенном в 1978 г на дерново-подзолистой легкосуглинистой почве в Западной части Нечерноземной зоны Российской Федерации (п. Ольша Смоленской области), при сравнительном изучении различных систем удобрения установлен наибольший агроэкологический эффект последствия органо-минеральной системы в дозах N120P120K120+12 т/га подстилочного навоза ежегодно при поддерживающей подкормке азотом 45 кг/га д. в., что обеспечивает получение экологически безопасного зерна на уровне 27,5 ц/га, повышение биологической активности почвы и улучшение ее агрохимических свойств.

Выводы

1. При возделывании овса в зернотравяном севообороте на дерново-подзолистой легкосуглинистой почве в условиях западной части Нечерноземной зоны РФ длительное применение органических и минеральных удобрений в оптимальных дозах и сочетаниях является эффективным приемом, обеспечивающим в последствии достоверный прирост урожайности биологически полноценной и экологически безопасной зерновой продукции. По данным исследований в полевом стационарном опыте, максимальная урожайность овса сорта Скакун достигалась при использовании в последствии органо-минеральной системы удобрения N120P120K120+12 т/га подстилочного навоза влажностью 70 % ежегодно при поддерживающей весенней подкормке азотом в дозе N45, когда в среднем по двум полям было собрано 27,5 ц/га зерна, что на 55,3 % превышало контроль без удобрений. Сравнительное изучение эффективности последствия систем удобрения: органической, минеральной, органо-минеральных - показало преимущество органо-минеральной системы. При этом урожайность зерна овса была выше на 12 % по отношению к минеральной и на 29% выше – к органической системам удобрения.

2. Определение качества растительной продукции показало, что содержание сырого белка в зерне овса составляло в варианте органической системы – 10,4%, минеральной – 9,9% и высоких, пятикратных доз органо-минеральной системы удобрения - 8,4%.

3. Масса 1000 зерен в вариантах последствия удобрений колебалась от 28,0 г при внесении N90 до 31,8 г в вариантах P90 и органо-минеральной системы с пятикратными дозами (N150P150K120+15 т/га навоза) при контрольном значении 27,5 г.

4. Длительное применение органических и минеральных удобрений в последствии не оказало влияния на накопление тяжелых металлов и мышьяка в зерновой продукции овса. По содержанию Cd, Pb, Hg, Ni, Zn, Cu и As зерно овса на контроле и во всех вариантах последствия органических и

минеральных удобрений соответствовало гигиеническим нормам, установленным СанПиН 2.3.2.1078-01.

Органические и минеральные удобрения в последствии положительно влияли на агрохимические свойства почвы. Минеральная (N90P90K90), органическая (9 т/га навоза), а также органо-минеральные системы удобрений в низких одно-двухкратных дозах улучшали реакцию среды, повышая pH_{kcl} с 5,1 на контроле до 5,2-5,4. Под влиянием последствия удобрений увеличивалось содержание подвижного фосфора в почве с 64 мг/кг на контроле до 81-318 мг/кг P_2O_5 и улучшался, как правило, калийный режим. Во всех вариантах последствия удобрений в полевом опыте в пятой ротации севооборота наблюдалось повышение содержания гумуса в почве до 1-1,2 % С по сравнению с контролем (0,93%). В то же время по отношению к исходному содержанию отмечались потери гумуса. Максимальными они были в контрольном варианте 0,47 % С абсолютных, минимальными - в органо-минеральных вариантах удобрений с 4-5-кратными дозами 0,11-0,16 % С.

5. Содержание тяжелых металлов в почве при длительном применении удобрений не превышало ориентировочно допустимых концентраций, но в варианте с последствием органо-минеральной системы в максимальной, пятикратной дозе (N150P150K150 + 15 т/га) содержание кадмия было более высоким, чем в других вариантах удобрений и составило 0,44 мг/кг при ОДК 1,0 мг/кг.

6. Биологическая активность почвы зависела от уровня применения удобрений в последствии и метеорологических условий вегетационных периодов. В 2015 г. с низким значением ГТК, равном 1,0 при среднем многолетнем 1,9, биологическая активность почвы, определяемая по методу разложения льняного полотна, была максимальной (89 %) на контроле и минимальной (11-12 %) – в варианте последствия высоких доз удобрений органо-минеральных систем. Последствие умеренных двух-трехкратных доз органо-минеральных систем этот показатель составлял 51-67 %. В 2016 г. и 2018 г. с ГТК на уровне среднего многолетнего значения степень разложения льняных полотен в вариантах опыта характеризовалась как «сильная» и «очень сильная» (90-99%).

Аналогичные изменения биологической активности почвы в зависимости от последствия органических и минеральных удобрений наблюдались и при определении ее методом разложения органического вещества чая. По данным за 2018 г., максимальный процент разложения органического вещества чая ройбос был достигнут в последствии максимальных доз органо-минеральных удобрений и составил 51,8.

Наибольшие значения эмиссии CO_2 в атмосферу при возделывании овса в весенний период (май 2015 г.) наблюдались от последствия одностороннего внесения азота (28 мкг С/г в сутки) при 22 мкг С на контроле и подстилочного навоза (36 мкг С/г в сутки). В период уборки (август 2015 г.) максимальное значение этого показателя также отмечено от последствия азотных удобрений 24,7 мкг С при 16 мкг/г в сутки С на

контроле. Органический вариант в этом отношении занимал среднее положение.

7. Высокой экономической и энергетической эффективностью характеризовались варианты последействия удобрений с органо-минеральными системами в четырех- и пятикратной дозах, где был получен максимальный в опыте условно чистый доход 5-6 тыс. руб./га и коэффициент энергетической эффективности 4,72-5,58.

Рекомендации производству

В условиях западной части Нечерноземной зоны РФ на окультуренной дерново-подзолистой легкосуглинистой почве при возделывании овса сорта Скакун в севообороте для получения экологически безопасной зерновой продукции при урожайности на уровне 27,5 ц/га, что на 55 % превышает контроль, эффективно последействие органо-минеральной системы удобрения N120P120K120+12 т/га подстилочного навоза ежегодно с использованием весенней азотной подкормки N45. При этом зерно овса по содержанию сырого белка и массе 1000 семян превосходит контроль на 33 и 12 % соответственно, а содержание тяжелых металлов в растениях и в почве не превышает допустимых концентраций. Для обеспечения урожайности экологически безопасного зерна овса на уровне 24 ц/га, что на 35 % превышает контроль, рекомендуется в последействии органо-минеральная система в двухкратных дозах удобрений N60P60K60+6 т/га подстилочного навоза с весенней подкормкой N45. С целью воспроизводства плодородия почвы при длительном последействии удобрений необходимо введение в состав зернотравяного севооборота сидератов, а также проведение запашки измельчённой соломы зерновых культур при их уборке комбайнированием.

Список работ, опубликованных по теме диссертации:

В изданиях, рекомендованных ВАК:

1. Федулова, А.Д. Агроэкологические аспекты длительного применения органических и минеральных удобрений на дерново-подзолистой почве [Электронный ресурс] / А.Д. Федулова, Г.Е. Мерзлая, Д.А. Постников // «АгроЭкоИнфо». – 2018. – №2. – Режим доступа: http://agroecoinfo.narod.ru/journal/TEXT/RUSSIAN/2018/st_220_annot.html.

2. Федулова, А.Д. Влияние различных систем удобрения в последействии на микробиологическую активность почвы и урожайность овса / А.Д. Федулова, Г.Е. Мерзлая, Д.А. Постников // Достижения науки и техники АПК. – 2018. – №4. – С. 31-33.

3. Федулова, А.Д. Агроэкологические аспекты последействия различных систем удобрения в условиях длительного полевого опыта на дерново-подзолистой почве / А.Д. Федулова, Г.Е. Мерзлая, Д.А. Постников, Ю.А. Гаврилова // Достижения науки и техники АПК. – 2019. – №9. – С. 16-20.

4. Федулова, А.Д. Влияние органической, органоминеральной и минеральной систем удобрения на содержание тяжелых металлов в пахотном слое дерново-подзолистой почвы в последствии / А.Д. Федулова // Агрохимический вестник. – 2019. – №4. – С. 71-73.

Другие публикации:

5. Федулова, А. Д. Торф как составляющая компостов / А.Д. Федулова, Д.А. Постников // Болота и биосфера: материалы Всероссийской с международным участием IX Школы молодых ученых (14-18 сентября 2015 г., г. Владимир). – Иваново: Издательско-полиграфический комплекс.: ООО «ПресСто», 2015. – С. 256-260.

6. Федулова, А.Д. Экологическая оценка применения минеральной, органической и органоминеральной систем удобрения в последствии при возделывании овса / А.Д. Федулова, Г.Е. Мерзлая, Д.А. Постников // Фундаментальные и прикладные исследования в биоорганическом сельском хозяйстве России, СНГ и ЕС: Международная научно-практическая конференция 9-12 августа 2016 года. Материалы докладов, сообщений. Том 2. – Большие Вяземы: ФАНО, РАН, МСХ РФ, ВНИИФ, 2016. – С. 627-632.

7. Федулова, А. Д. Экологическая оценка минеральной, органической и органо-минеральной систем удобрения в последствии при возделывании овса / А.Д. Федулова, Г.Е. Мерзлая, Д.А. Постников, К.В. Постникова // Международный научно-исследовательский журнал «Успехи современной науки». – №10. – Том 2, 2017. – С. 140-143.

8. Федулова, А. Д. Влияние систем удобрений с использованием навоза и компостов в последствии на микробиологическую активность почвы и урожайность овса / Г.Е. Мерзлая, А.Д. Федулова, Д.А. Постников // Экологические проблемы развития агроландшафтов и способы повышения их продуктивности: Сборник статей по материалам Международной научной экологической конференции. – Краснодар: Кубанский государственный аграрный университет имени И.Т. Трубилина, 2018. – С.132-135.