

На правах рукописи

БОВИНА НЕЛЛИ ВЯЧЕСЛАВОВНА

**ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ПРИМЕНЕНИЯ РАЗЛИЧНЫХ
СИСТЕМ УДОБРЕНИЯ НА ГУМУСОВОЕ СОСТОЯНИЕ ДЕРНОВО-
ПОДЗОЛИСТЫХ ПОЧВ В ДЛИТЕЛЬНЫХ СТАЦИОНАРНЫХ ОПЫТАХ**

03.02.08 – Экология (в биологии)

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата биологических наук

Москва – 2020

Работа выполнена на кафедре экологии ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный университет–МСХА имени К.А. Тимирязева»

Научный руководитель **Черников Владимир Александрович**,
доктор сельскохозяйственных наук, профессор,
профессор кафедры экологии ФГБОУ ВО
«Российский государственный аграрный
университет – МСХА имени К.А. Тимирязева»

Официальные оппоненты: **Семенов Вячеслав Михайлович**,
доктор биологических наук, главный научный
сотрудник лаборатории почвенных циклов азота и
углерода Института физико-химических и
биологических проблем почвоведения Российской
академии наук – обособленного подразделения
ФГБУН «Федеральный исследовательский центр
«Пушкинский научный центр биотехнологических
исследований Российской академии наук»

Мерзлая Генриэта Егоровна,
доктор сельскохозяйственных наук, профессор,
главный научный сотрудник ФГБНУ
«Всероссийский научно-исследовательский
институт агрохимии имени Д.Н. Прянишникова»

Ведущая организация Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего образования
«Московский государственный университет имени
М.В. Ломоносова», факультет Почвоведения

Защита состоится «25» ноября 2020 г. в _____ часов на заседании
диссертационного совета Д 220.043.03 на базе ФГБОУ ВО «Российский
государственный аграрный университет–МСХА имени К.А. Тимирязева», по
адресу: 127550, г. Москва, ул. Прянишникова, д. 19, тел/факс: 8 (499)976-21-84.

С диссертацией можно ознакомиться в Центральной научной библиотеке
имени Н.И. Железнова ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный
университет – МСХА имени К.А. Тимирязева» и на сайте Университета
www.timacad.ru.

Автореферат разослан «___» сентября 2020 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета Д 220.043.03,
кандидат биологических наук, доцент

О.В. Селицкая

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность. Контролирование гумусового состояния почвы является одним из важнейших факторов управления плодородием. Многолетние стационарные опыты являются хорошей базой для агроэкологического мониторинга плодородия почв. В условиях активного антропогенного вмешательства в почвообразовательный процесс, происходит изменение качественного состава почвенного органического вещества (ПОВ). В связи с этим становится ошибочным сведение всех исследований к изучению только количественных параметров органического вещества (ОВ), необходимо так же проводить исследование его качественного состава, по которому можно судить об относительной устойчивости агроэкосистемы. Изучение качества получаемой сельскохозяйственной продукции позволяет дать более полную экологическую характеристику состояния агроэкосистемы с учетом воздействия на нее как природных, так и антропогенных факторов.

Цель исследования: дать комплексную агроэкологическую оценку влияния применения различных систем удобрения (минеральной, органической и органоминеральной) и их последствий на гумусовое состояние, физико-химические свойства дерново-подзолистых почв, а также качество получаемой продукции озимой ржи в агроэкосистемах двух длительных полевых опытов.

Задачи:

1. Дать агроэкологическую характеристику влияния различных систем удобрения на количественный состав ПОВ дерново-подзолистой почвы в агроэкосистемах двух длительных полевых опытов: РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева и СШ-5М ЦОС ВНИИ агрохимии им. Д.Н. Прянишникова;
2. Провести оценку устойчивости агроэкосистемы на основании данных о влиянии различных систем удобрения на качественный состав ПОВ дерново-подзолистой почвы;

3. Применить метод рентгенфлуоресцентного анализа при помощи растрового электронного микроскопа для агроэкологической оценки элементного состава дерново-подзолистой почвы;
4. Провести исследование влияния различных систем удобрения на физико-химические свойства дерново-подзолистой почвы в двух длительных полевых опытах;
5. Дать агроэкологическую оценку влияния последствий применяемых систем удобрения на гумусовое состояние и физико-химические свойства дерново-подзолистой почвы в длительном полевом опыте СШ-5М ЦОС ВНИИ агрохимии им. Д.Н. Прянишникова;
6. Оценить влияние различных систем удобрения на показатели качества зерна озимой ржи, которые являются важнейшим параметром агроэкологической характеристики экосистемы.

Степень разработанности темы. В современных условиях при постоянно растущей нагрузке на окружающую среду и агроэкосистемы в частности, очень важно проводить комплексные исследования, особенно, когда речь идет о медленно текущих во времени процессах. Существует большое количество разрозненных исследований, охватывающих глубокое изучение относительно небольшого спектра показателей. С точки зрения агроэкологии необходимо изучать не только отдельные параметры агроэкосистем, но и их взаимосвязь между собой, а также их зависимость от внешних условий. Дериватографический метод исследования почв в настоящее время является малораспространенным в связи с трудоемкостью расшифровки и описания результатов. Однако он высокоинформативный и позволяет определять не только количество ПОВ, но и его качественный состав, на основе которого можно судить об относительной стабильности гумусовых веществ (ГВ). Исследования элементного анализа почв, которые проводились ранее, так же были трудоемки в своей реализации и требовали совмещения растровых электронных микроскопов с рентгеновскими микроанализаторами. Появление современных растровых электронных микроскопов открывает новые горизонты

для исследований, позволяя сразу получить информацию и об элементном составе почвенного образца, и о его микроморфологии.

Научная новизна исследований. В работе представлена комплексная экологическая оценка влияния различных систем удобрения и их последствия на агроэкосистему. Для исследования элементного состава почв был применен метод рентгенфлуоресцентного анализа (РФА) новейшим растровым электронным микроскопом со встроенным энергодисперсионным спектрометром. Комплекс исследований проводился на базе двух длительных полевых опытов, что является очень важным в агроэкологической оценке относительной устойчивости как агроэкосистемы в целом, так и ее отдельных компонентов. Применение дериватографического метода исследования и РФА позволило проводить исследование при полном исключении воздействия химических реактивов на образцы, т.к. изучению подвергались непосредственно почвенные образцы, прошедшие пробоподготовку.

Основные положения, выносимые на защиту:

1. В связи с возрастающими нагрузками развивающихся технологий на агроэкосистему необходимо проводить комплексную оценку ее параметров. В агроэкосистеме изменения протекают медленно, поэтому важно проводить многолетнее и разностороннее изучение ее стабильности, поиск наиболее эффективных систем удобрения для получения высоких урожаев сельскохозяйственной продукции хорошего качества при минимизации рисков разрушения системы.
2. Использование большого количества методов исследования повышает достоверность получаемых результатов, благодаря тому, что результаты одного метода подтверждаются другими. Появление резко выделяющихся результатов облегчает поиск ошибок и нестыковок в проводимых исследованиях, а так же позволяет оперативно модифицировать программу исследований.
3. Предлагается более широкое внедрение дериватографического метода исследований в практику агроэкологических и почвенных

исследований в связи с его очень высокой информативностью. Преимущество данного метода состоит в том, что деструкция образца проводится под воздействием температуры, имитируя природный процесс минерализации. Длительное последствие применяемых систем удобрения негативно сказывается на почвенном органическом веществе и физико-химических показателях почвы;

Теоретическая и практическая значимость. Спектр методов, предложенных в данной работе для исследования, позволяет дать более полную оценку влияния различных систем удобрения и их последствия на агроэкосистему. Проведение комплексного исследования позволяет найти наиболее уязвимые компоненты агроэкосистемы, лимитирующие ее устойчивость. Сравнение метода Тюрина и дериватографического метода для определения содержания почвенного органического вещества показало очень высокую сходимость результатов по расчету коэффициента корреляции, а значит дериватографический метод исследования может быть рекомендован для более широкого распространения, т.к. является очень информативным и позволяет давать наряду с количественной оценкой ПОВ, оценку его качественного состава. Высокую информативность показал также метод РФА при помощи современного растрового электронного микроскопа, т.к. позволяет помимо микроморфологического исследования, проводимого на более ранних моделях растровых электронных микроскопов, получить информацию об элементном составе почв. Проведенное исследование позволяет рекомендовать к применению на практике органоминеральную систему удобрения как наиболее оптимальную, т.к. она позволяет получить наилучшее сочетание устойчивости ПОВ, структуры и качества получаемого урожая. Рожь является важнейшей продовольственной культурой, поэтому изучение ее качества занимает важное место в блоке агроэкологических исследований.

Методология и методы исследования. Программа исследований включает в себя изучение почвенных образцов, отобранных из пахотного горизонта различных вариантов исследования длительного полевого опыта

РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева, а также почвенных образцов отобранных по горизонтам почвенного профиля различных вариантов исследования длительного полевого опыта СШ-5М ЦОС ВНИИА им. Д.Н. Прянишникова. Почвенные образцы отбирались при помощи бура, а также из почвенных разрезов в вариантах с минеральной и органоминеральной системами удобрения в длительном полевом опыте СШ-5М ЦОС ВНИИА им. Д.Н. Прянишникова. При изучении количественного состава ПОВ методами, рекомендованными комиссией географической сети опытов с удобрениями проводился анализ почвенных вытяжек, приготовленных в соответствии требованиями конкретного метода анализа. При изучении качественного состава ПОВ дериватографическим методом и элементного состава почвы методом сканирующей электронной микроскопии растровым электронным микроскопом проводился анализ почвенных образцов, прошедших стандартную процедуру пробоподготовки. При изучении качества зерна озимой ржи при помощи ближней инфракрасной спектроскопии проводился анализ в двух вариантах: цельного и размолотого в муку зерна.

Степень достоверности. Для доказательства достоверности отличий результатов по вариантам исследования был применен расчет показателя наименьшей существенной разницы (НСР) с уровнем значимости 95%, а для доказательства сходства результатов исследования различными методами были вычислены коэффициенты корреляции. Для расчета статистических показателей были применены пакеты программ Statistica 10.0 и Ms Exel 2007.

Апробация результатов работы. Результаты работы докладывались на следующих конференциях: Московская научно-практическая конференция «Студенческая наука» (г.Москва, октябрь 2016г.); Международная научная конференция молодых ученых «Почва и бобовые – симбиоз для жизни» Чтения имени В.Р. Вильямса (г.Москва, декабрь 2016г.); Первая открытая конференция молодых ученых Почвенного института имени В.В. Докучаева «Почвоведение: горизонты будущего» (г.Москва, февраль 2017г.); Международная научная конференция XX Докучаевские молодежные чтения «Почва и устойчивое

развитие государств», посвященной году экологии в России (г.Санкт-Петербург, март 2017г.); XXIV Международная конференция студентов, аспирантов и молодых ученых «Ломоносов-2017» (г.Москва, апрель 2017г.); Международная научная конференция молодых ученых и специалистов, посвященная 100-летию И.С. Шатилова (г.Москва, июнь 2017г.); Международная молодежная научная конференция «Вильямсовские чтения» (г.Москва, декабрь 2017г.); Международная научная конференция, посвященная 130-летию Н.И. Вавилова (г.Москва, декабрь 2017г.); Вторая открытая конференция молодых ученых Почвенного института имени В.В. Докучаева «Почвоведение: горизонты будущего - 2018» (г.Москва, февраль 2018г.); Международная научная конференция XXI Докучаевские молодежные чтения «Почвоведение – мост между науками» (г.Санкт-Петербург, март 2018г.); XXV Международная конференция студентов, аспирантов и молодых ученых «Ломоносов-2018» (г.Москва, апрель 2018г.); Международная научная конференция молодых ученых и специалистов, посвященная 150-летию со дня рождения В.П. Горячкина (г.Москва, июнь 2018г.); 52-я международная научная конференция молодых ученых, специалистов-агрохимиков и экологов, посвященной 200-летию со дня рождения проф. Я.А. Линовского (г.Москва, октябрь 2018г.); Международная молодежная научная конференция «Генетическая и агрономическая оценка почв» 3-и Вильямсовские чтения (г.Москва, декабрь 2018г.); Международная научная конференция, посвященная 175-летию К.А. Тимирязева (г.Москва, декабрь 2018г.); Международная научная конференция XXII Докучаевские молодежные чтения «Почва как система функциональных связей в природе» (г.Санкт-Петербург, февраль-март 2019г.); XXVI Международная конференция студентов, аспирантов и молодых ученых «Ломоносов-2019» (г.Москва, апрель 2019г.); Международная научная конференция молодых ученых и специалис-тов, посвященная 150-летию А.В. Леонтовича (г.Москва, июнь 2019г.).

Публикации. По результатам работы опубликовано 25 печатных работ (1 принята к печати, публикация осенью 2020 г.), 3 из которых в журналах,

рекомендуемых ВАК РФ, из них 1 в рецензируемых научных изданиях, входящих в международные реферативные базы данных и системы цитирования (WoS(BIOSIS)).

Структура и объем диссертации. Диссертация на соискание ученой степени кандидата биологических наук изложена на 142 страницах машинописного текста и состоит из введения, трех глав, выводов, библиографического списка и одного приложения. Работа включает 20 таблиц и 6 рисунков, библиографический список включает 158 наименований.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

В рамках изучения количественного состава ПОВ представлены и проанализированы результаты определения содержания органического углерода по методу Тюрина в модификации ЦИНАО, лабильного углерода по методу Дьяконовой, водорастворимого углерода по методу Дьяконовой, подвижных гумусовых веществ по методу Тюрина в модификации Пономаревой и Плотниковой, углерода, экстрагируемого горячей водой (ЭГВ) по методу Кершинса. Для изучения качественного состава ПОВ был применен дериватографический метод исследования. Для определения элементного состава почвенных образцов был использован метод сканирующей электронной микроскопии. Для определения физико-химических показателей почвы применялись следующие методы: рН водной и солевой вытяжки, подвижного алюминия по Соколову, нитратного азота потенциометрическим методом, аммонийного азота по методу ЦИНАО, подвижных соединений фосфора и калия по методу Кирсанова в модификации ЦИНАО. Среди показателей структуры урожая определялись следующие: количество растений на 1 м², средняя длина растения и колоса, среднее количество зерен в колосе, масса 1000 зерен и урожайность. При определении показателей качества урожая озимой ржи исследование проводили в двух вариантах: сначала проводили БИК-анализ цельного зерна, а затем муки. В результате были получены такие показатели как содержание белка, клетчатки, жира и золы, а также число падения.

Количественный состав ПОВ. Применение органических и минеральных удобрений способствует увеличению содержания органического углерода в почве (табл.1).

Таблица 1 – Количественный состав почвенного органического вещества по материалам длительного полевого опыта РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева

Система удобрения	Содержание органического углерода, %	Содержание лабильного углерода, %	Содержание водораств. углерода, %	Содержание углерода ЭГВ, %	Содержание углерода ГК, %	Содержание углерода ФК, %	$C_{гк} \cdot C_{фк}$
Озимая рожь							
Контроль без извести	1,22	0,25	0,048	0,055	0,087	0,235	0,37
Контроль + известь	1,16	0,26	0,042	0,049	0,082	0,196	0,42
НПК без извести	1,57	0,30	0,064	0,099	0,169	0,413	0,41
НПК + известь	1,33	0,26	0,056	0,095	0,159	0,368	0,43
Навоз без извести	1,80	0,32	0,059	0,073	0,123	0,286	0,43
Навоз + известь	1,86	0,31	0,053	0,064	0,106	0,263	0,40
НПК + навоз без извести	1,97	0,36	0,084	0,097	0,164	0,398	0,41
НПК + навоз + известь	1,91	0,30	0,070	0,089	0,145	0,364	0,40
НСП _{0,5}	0,05	0,01	0,0003	0,004	0,015	0,021	-
Картофель							
Контроль без извести	0,99	0,17	0,030	0,031	0,059	0,131	0,45
Контроль + известь	0,93	0,13	0,031	0,026	0,043	0,102	0,42
НПК без извести	1,04	0,19	0,044	0,040	0,076	0,182	0,42
НПК + известь	1,10	0,14	0,037	0,039	0,063	0,151	0,42
Навоз без извести	1,33	0,24	0,049	0,058	0,087	0,235	0,37
Навоз + известь	1,57	0,30	0,047	0,057	0,091	0,236	0,39
НПК + навоз без извести	1,33	0,23	0,051	0,061	0,099	0,243	0,41
НПК + навоз + известь	1,45	0,24	0,042	0,057	0,093	0,243	0,38
НСП _{0,5}	0,01	0,003	0,0003	0,004	0,020	0,040	-

А применение их комплекса дает наилучший результат. Влияние известкования, в целом, не способствует накоплению органического и

лабильного углерода в почве под озимой рожью, а вот в вариантах с картофелем отмечается положительное влияние извести.

Негативное влияние извести на накопление водорастворимого углерода отмечается для обеих культур. Известкование положительно влияет на содержание углерода ГК и ФК при возделывании озимой ржи и не влияет на эти показатели при возделывании картофеля.

Применение органических удобрений положительно влияет на накопление органического, лабильного и водорастворимого углерода для обеих культур. Тип гумуса в почвах исследуемых вариантов для обеих культур фульватного типа. Для озимой ржи наиболее высокое содержание углерода ЭГВ (по Кершинсу), наблюдается в органической системе удобрения без известкования, наиболее низкое - в контроле на фоне известкования. Для картофеля наиболее высокое содержание углерода ЭГВ наблюдается в органоминеральной системе удобрения без известкования.

Качественный состав ПОВ. Внесение извести увеличивает предел засухоустойчивости агроэкосистемы. В структуре периферической части гумусовых веществ по всем вариантам наблюдается одна фракция. Наблюдается положительное влияние извести на прочность периферической части гумусового вещества. Во всех известкованных вариантах центральная часть гумусовых веществ состоит всего из двух компонентов. Наиболее прочное ОВ характерно для минеральной и органоминеральной систем удобрения без известкования. Более устойчивыми к проявлению засушливых процессов будут варианты с органоминеральной системой удобрения, но для озимой ржи это будут варианты с известкованием, а для картофеля – без него.

Наименее прочносвязанная периферическая часть наблюдается в контроле и органической системе удобрения без извести. Внесение извести в вариантах с внесением только органических или только минеральных удобрений повышает устойчивость агроэкосистемы за счет увеличения прочности периферической части ПОВ. Наиболее прочная периферическая часть наблюдается в варианте с минеральными удобрениями без известкования. Отсутствие известкования

положительно сказывается как на количестве, так и на стабильности центральной части ПОВ. Агроэкосистема с озимой рожью в целом будет более стабильна и будет меньше подвержена деградиационным процессам. Минеральная и органическая системы удобрения без извести, имеют по 2 компонента в центральной части, но при применении минеральных удобрений уменьшается массовая доля центральной части ПОВ при повышении ее стабильности. Как и для картофеля, для озимой ржи наилучший результат наблюдается в органоминеральной системе без извести. В органоминеральной системе удобрения без извести для обеих культур наблюдается более стабильное ПОВ с наибольшим количеством компонентов, а значит, именно эти варианты обеспечат наибольшую устойчивость агроэкосистемы и более полно обеспечат выполнение почвой ее экологических функций.

Проведено сравнение дериватографического метода и метода Тюрина в модификации ЦИНАО как методов определения количества ОВ в почве. Величина коэффициентов корреляции для обеих культур (0,92 и 0,96) говорит о том, что оба метода приемлемы для отражения закономерностей накопления ПОВ в зависимости от применяемой системы удобрения. Более точным является термический метод анализа, так как в нем о количестве органического вещества судят по потере массы при воздействии температуры. Кроме того, по максимальной температуре разрушения можно определить прочность связи органического вещества, а так же определить качественный состав гумуса, что делает термографический метод анализа более предпочтительным.

Элементный анализ почвы. В вариантах с картофелем по всем системам удобрения обнаружено, что содержание углерода выше в известкованных вариантах. Наименьшее валовое содержание углерода в почве для вариантов с картофелем характерно для варианта с минеральной системой удобрения при известковании, причем почти половину от этой величины составляет содержание органического углерода (табл.2). В органоминеральной системе удобрения без известкования 2/3 валового количества углерода недоступно для растений. Для вариантов с озимой рожью среднее содержание углерода в почве, по сравнению

с картофелем, выше. Наибольшее валовое количество углерода для вариантов с озимой рожью характерно для варианта с минеральной системой удобрения и известкованием, но $\frac{3}{4}$ углерода, содержащегося в почве этого варианта недоступно растениям. Наилучшее соотношение валового и органического углерода наблюдается в органоминеральной системе удобрения с известкованием для картофеля и без известкования для озимой ржи.

Таблица 2 – Сравнение валового содержания углерода в почве и углерода почвенного органического вещества по вариантам исследования

Вариант	Валовое содержание С, %	Содержание С _{орг} , определенное дериватографическим методом, %	Отношение С _{вал} :С _{орг}
Картофель			
Контроль без извести	5,9	2,1	2,8
Контроль по извести	7,5	2,5	3,0
НПК без извести	6,3	2,8	2,3
НПК по извести	5,2	2,7	1,9
Навоз без извести	8,7	3,8	2,3
Навоз по извести	8,0	3,7	2,2
НПК + навоз без извести	9,7	3,6	2,7
НПК + навоз по извести	6,5	3,8	1,7
Озимая рожь			
Контроль без извести	11,4	3,8	3,0
Контроль по извести	7,4	3,0	2,5
НПК без извести	9,4	4,5	2,1
НПК по извести	15,4	4,0	3,9
Навоз без извести	10,6	5,5	1,9
Навоз по извести	9,4	5,0	1,9
НПК + навоз без извести	9,1	5,4	1,7
НПК + навоз по извести	10,5	5,5	1,9

По всем вариантам содержание марганца значительно ниже его предельно допустимой концентрации. В отдельных вариантах также были обнаружены такие ТМ как медь, цинк и хром, причем в количествах, превышающих их ПДК. Но закономерность их распределения по вариантам, а так же влияние на их содержание систем удобрения выявить не удалось.

Физико-химические свойства почв. В почве неизвесткованных участков под озимой рожью подвижный алюминий обнаружен в контрольном варианте и

вариантах с присутствием минеральных удобрений, а под картофелем подвижный алюминий обнаружен только в контроле. Большая часть алюминия находится в недоступной для растений форме. Применение органической системы удобрения (для обеих культур) и органоминеральной (для картофеля) характеризуется обеспеченностью почв подвижными формами N на уровне 3-4 класса, по сравнению с остальными вариантами, для которых характерен 1-2 класс. По содержанию подвижных форм P все варианты для обеих культур характеризуются 6 классом обеспеченности (за исключением контроля, для которого характерен 5 класс), а по содержанию подвижных форм K отмечается 5-6 класс обеспеченности (для контроля 3-4).

Влияние последствий применяемых систем удобрения. Содержание органического углерода, углерода ГК и ФК в контрольном варианте и минеральной системе удобрения снижалось с течением времени, а на органоминеральной системе удобрения к концу 7-ой ротации севооборота содержание органического углерода увеличилось, а за время изучения последствий резко снизилось и стало ниже содержания органического углерода в исходной почве (табл. 3).

Таблица 3 – Влияние последствий исследуемых систем удобрения на содержание активных компонентов гумуса и на его тип

Система удобрения	C _{орг} , %			C _{ГК} , %			C _{ФК} , %			C _{ГК} : C _{ФК}		
	1964	1992	2015	1964	1992	2015	1964	1992	2015	1964	1992	2015
Контроль	0,93	0,75	0,66	0,20	0,15	0,10	0,39	0,36	0,22	0,51	0,42	0,45
Минер.	0,96	0,75	0,69	0,20	0,16	0,06	0,35	0,28	0,15	0,57	0,57	0,40
Органо-минер.	0,91	0,93	0,83	0,21	0,24	0,08	0,35	0,34	0,19	0,60	0,77	0,42

На вариантах с минеральной и органоминеральной системами удобрения тип гумуса за время последствий сменился с фульватно-гуматного на фульватный. Последствие применяемых систем удобрения в целом негативно сказалось на физико-химических свойствах почвы (табл. 4). По всем вариантам за время применения удобрений потенциальная и гидролитическая кислотность

почв снизилась, а за время последствий возросла, причем гидролитическая кислотность для глубины 20-40 см стала выше, чем была в исходной почве.

Таблица 4 – Влияние последствий исследуемых систем удобрения на pH солевой вытяжки и гидролитическую кислотность

Система удобрения	pH _{KCl}			Нг, мг-экв/100 г			pH _{KCl}			Нг, мг-экв/100 г		
	0 – 20 см						20 – 40 см					
	1964	1992	2015	1964	1992	2015	1964	1992	2015	1964	1992	2015
Контроль	4,2	6,1	5,9	5,2	1,7	-	4,2	5,6	5,8	5,3	2,4	-
Минер.	4,3	6,1	5,9	5,3	1,8	3,0	4,2	5,3	4,9	5,2	2,5	9,4
Органо- минер.	4,3	6,2	5,6	5,4	1,7	4,4	4,2	5,5	4,4	5,4	2,5	10,9

Структура и качество урожая озимой ржи. Наибольшее количество растений на 1 м² наблюдается в контрольном варианте по извести, а наименьшее в варианте с органической системой удобрения без извести. По всем известкованным вариантам мы наблюдаем увеличение количества растений, за исключением органоминеральной системы удобрения. Масса 1000 зерен варьирует от 36,7 г до 48,5 г, что превышает средние значения этого показателя по требованиям к сорту Валдай. Наибольшая урожайность наблюдается в варианте с органоминеральной системой удобрения без извести.

Внесение минеральных удобрений положительно сказывается на накоплении белка, причем сочетание минеральных удобрений с органическими делает азот менее доступным для формирования растением белков. Таким образом, наилучшей системой удобрения по влиянию на содержание белка в зерне озимой ржи является минеральная система удобрения без извести. По всем вариантам, кроме контрольного, обнаружено, что применение извести способствует перераспределению клетчатки в зерне и увеличению ее количества в оболочке. По числу падения практически во всех вариантах рожь относится к 1 классу качества. Исключение составляют контрольный вариант без извести и органоминеральная система удобрения без извести – в них получена рожь 2 класса качества, а также минеральная система удобрения без извести – в этом варианте рожь относится к 3 классу качества (табл.5).

Таблица 5 – Влияние применяемых систем удобрения на число падения зерна
бессменно возделываемой озимой ржи

Вариант	Число падения	
	с	Класс качества муки (ГОСТ 16990-2017)
Контроль без извести	195,5	2
Контроль + известь	314,6	1
НPK без извести	91,2	3
НPK + известь	234,1	1
Навоз без извести	311,4	1
Навоз + известь	214,8	1
НPK + навоз без извести	188,7	2
НPK + навоз + известь	282,7	1

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Различные системы удобрения по-разному влияют на компоненты и показатели агроэкосистем. Особенно важно проводить комплексную агроэкологическую оценку в условиях длительных полевых опытов, так как появляется возможность наблюдать за стабильностью агроэкосистемы, а также за изменением параметров экологического каркаса территории во времени. В ходе выполнения данной работы проводилась агроэкологическая оценка влияния длительного применения различных систем удобрения и их последствий на количественный и качественный состав ПОВ, физико-химические свойства почвы, структуру и качество урожая бессменно возделываемой озимой ржи. По проведенным исследованиям можно сделать следующие выводы:

1. Влияние известкования, в целом, не способствует накоплению органического и лабильного углерода в почве под озимой рожью, а вот в вариантах с картофелем отмечается положительное влияние извести на эти показатели. Негативное влияние извести на накопление водорастворимого углерода отмечается для обеих культур. Внесение извести положительно влияет на содержание углерода ГК и ФК при возделывании озимой ржи и не влияет на эти показатели при возделывании картофеля. Органоминеральная и органическая системы удобрения положительно

влияют на накопление органического, лабильного и водорастворимого углерода для обеих культур;

2. Периферическая часть в общей структуре гумусовых веществ занимает примерно третью часть от всего органического вещества (от 27 до 35%), в ее структуре по всем вариантам наблюдается одна фракция, трансформация которой происходит в диапазоне температур от 265°C до 338°C. Исключение составляет только минеральная система удобрения без известкования при возделывании картофеля, наблюдается 2 компонента в периферической части гумусовых веществ, вариант наиболее уязвим и не способен обеспечить более высокую стабильность агроэкосистемы в целом, соответственно, полноценное выполнение экологических функций почвы. Практически по всем вариантам наблюдается положительное влияние известкования на прочность периферической части ПОВ. Доля центральной части в общей структуре гумусовых веществ составляет от 49 до 68 %, причем в структуре центральной части ГВ наблюдается от 2 до 4 компонентов для вариантов с картофелем и до 5 компонентов для вариантов с озимой рожью. Разрушение компонентов центральной части происходит в диапазоне температур от 413 до 940°C, термоэффекты, наблюдаемые при температурах выше 900° скорее относятся к разрушению связи минеральной части почвы. Выявлено положительное влияние известки на прочность связи центральной части ГВ с минеральной частью почвы;
3. Сравнение метода Тюринга в модификации ЦИНАО и дериватографического метода, в качестве методов определения содержания органического вещества, показало, что оба метода одинаково отражают закономерности накопления органического вещества, что подтверждается расчетом коэффициентов корреляции. Количество органического вещества, определяемое дериватографическим методом (2,05-3,77% для вариантов с картофелем и 3,00-5,51% для вариантов с озимой рожью) выше, чем определяемое методом Тюринга в модификации

ЦИНАО (0,93-1,57% для вариантов с картофелем и 1,16-1,97% для вариантов с озимой рожью), но дериватографический метод, является более предпочтительным в связи с тем, что воздействие на органическое вещество производится только повышением температуры при отсутствии воздействия химическими реактивами. Однако использование данного метода осложняется отсутствием сравнительных таблиц по содержанию органического вещества в других почвах;

4. Применение органоминеральной системы удобрения и известкования благоприятно сказывается на соотношении количеств валового и органического углерода для обеих культур, а значит укрепляет экологический каркас агроэкосистемы, т.к. при увеличении доли почвенного органического вещества более полно выполняются экологические функции почв;
5. Из тяжелых металлов в исследуемых образцах обнаружен марганец в количестве 0,2-0,4%, что значительно ниже его предельно допустимой концентрации (1,5%). В отдельных вариантах также были обнаружены такие ТМ как медь, цинк и хром, причем в количествах, превышающих их ПДК. Но закономерность их распределения по вариантам, а так же влияние на их содержание систем удобрения выявить не удалось;
6. В ходе исследования выявлено отсутствие влияния известкования на гидролитическую кислотность почвы, что может свидетельствовать о неверном расчете доз извести и требует дальнейшего изучения. Доказано положительное влияние известкования на содержание подвижного алюминия в почвах, т.к. в известкованных вариантах отсутствуют подвижные формы этого элемента, но валовое содержание алюминия находится на уровне от 4,5 до 7,3 %;
7. Применение органической системы удобрения (для обеих культур) и органоминеральной (для картофеля) позволило поднять класс обеспеченности почв подвижными формами азота до уровня 3-4 класса, по сравнению с остальными вариантами, для которых характерен 1-2 класс

обеспеченности. По содержанию подвижных форм фосфора все варианты для обеих культур характеризуются 6 классом обеспеченности (за исключением контрольного варианта, для которого характерен 5 класс), а по содержанию подвижных форм калия отмечается 5-6 класс обеспеченности (для контрольного варианта 3-4);

8. Последствие применяемых систем удобрения негативно повлияло на почвенное органическое вещество, т.к. содержание органического углерода, углерода гуминовых и фульвокислот за время последствия стало ниже, чем в исходной почве до закладки опыта, а тип гумуса сменился с фульватно-гуматного на фульватный. Последствие также негативно сказалось как на потенциальной, так и на гидролитической кислотности почв, эти величины стали выше, чем до закладки опыта;
9. Наибольшая урожайность и масса 1000 зерен озимой ржи наблюдается в органоминеральной системе удобрения. Масса 1000 зерен для других вариантов варьирует от 36,7 г до 48,5 г, что превышает средние значения этого показателя по требованиям к сорту.
10. Наилучшей системой удобрения по влиянию на содержание белка в зерне озимой ржи является минеральная система удобрения, причем наибольшее накопление белка характерно для известкованных вариантов. Доказано положительное влияние извести на показатель числа падения для муки озимой ржи, во всех известкованных вариантах рожь относится к 1 классу качества, в неизвесткованных вариантах рожь относится к 1 классу в варианте с минеральной системой удобрения, ко 2 классу – в вариантах контроль и органоминеральная система, к 3 классу – вариант с минеральной системой удобрения.

Проведенное исследование позволяет рекомендовать к применению на практике органоминеральную систему удобрения как наиболее оптимальную, т.к. она позволяет получить наилучшее сочетание устойчивости почвенного органического вещества, структуры и качества получаемого урожая.

В дальнейших исследованиях планируется дополнение агроэкологической оценки изучением микробного комплекса почв, эмиссии углекислого газа, а также проведение комплекса исследований на севооборотном участке длительного полевого опыта.

Список работ, опубликованных по теме диссертации:

в изданиях, рекомендованных ВАК РФ:

1. Ускова (Бовина), Н.В. Влияние систем удобрения на гумусовое состояние и свойства дерново-подзолистой почвы при бессменном возделывании культур в длительном стационарном опыте / Н.В. Ускова // Агрохимический вестник. – 2017. – № 5. – С. 48-52;
2. Ускова (Бовина), Н.В. Агроэкологическая оценка гумусового состояния дерново-подзолистой почвы при помощи дериватографического метода анализа / Н.В. Ускова, В.А. Черников, С.Л. Белопухов // Агроэкоинфо. Электронный научно-производственный журнал. – 2018. – № 2. – http://agroecoinfo.narod.ru/journal/STATUI/2018/2/st_218.doc;

Публикации в изданиях, входящих в международные реферативные базы данных и системы цитирования:

3. Ускова (Бовина), Н.В. Агроэкологическая оценка влияния длительного применения удобрений на гумусовое состояние дерново-подзолистой почвы / Н.В. Ускова, В.А. Черников, С.Л. Белопухов // Известия ТСХА. – 2018. – № 2. – С. 18-33 (WoS(BIOSIS));

в других изданиях:

4. Ускова (Бовина), Н.В. Экологическая оценка влияния применения различных систем удобрения на содержание активных компонентов гумуса и физико-химические свойства дерново-подзолистой легкосуглинистой почвы / Н.В. Ускова // Сборник трудов международной молодежной научной конференции «Почва и бобовые – симбиоз для жизни». – 2016. – С. 140-143;
5. Ускова (Бовина), Н.В. Экологическая оценка влияния применения различных систем удобрения на содержание активных компонентов гумуса и физико-химические свойства дерново-подзолистой легкосуглинистой почвы / Н.В. Ускова // Сборник трудов XI Московской научно-практической конференции «Студенческая наука». – 2016. – С.102-104;
6. Ускова (Бовина), Н.В. Агроэкологическая оценка гумусового состояния почвы в длительном опыте / Н.В. Ускова // Lambert Academic Publishing. – 2017. – 57 с.;
7. Ускова (Бовина), Н.В. Оценка влияния применения различных систем удобрения на содержание активных компонентов гумуса и физико-химические свойства дерново-подзолистой легкосуглинистой почвы / Н.В. Ускова // Сборник трудов международной научной конференции «Ломоносов - 2017». – 2017. – С.188-189;

8. Ускова (Бовина), Н.В. Агроэкологическая оценка влияния длительного применения различных систем удобрения на содержание активных компонентов гумуса и физико-химические свойства дерново-подзолистой легкосуглинистой почвы / Н.В. Ускова // Материалы международной научной конференции молодых учёных и специалистов, посвящённой 100-летию И.С. Шатилова: Сборник статей. – М.: 1 электрон. опт. диск (CD-ROM); Adobe Acrobat Reader. – 100 экз. 4,0 Мб. – 2017. – С. 108-110;
9. Ускова (Бовина), Н.В. Влияние длительного применения удобрений и бессменного возделывания культур на плодородие дерново-подзолистой легкосуглинистой почвы / Н.В. Ускова // Сборник трудов международной молодежной научной конференции «Проблемы деградации и охраны почв / Российский государственный аграрный университет – МСХА им. К.А. Тимирязева. – Москва: РГАУ-МСХА им. К.А. Тимирязева. – 2017. – С.87-89;
10. Ускова (Бовина), Н.В. Экологическая оценка влияния применения различных систем удобрения на содержание активных компонентов гумуса и физико-химические свойства дерново-подзолистой легкосуглинистой почвы / Н.В. Ускова // Материалы международной научной конференции XX Докучаевские молодежные чтения «Почва и устойчивое развитие государств» / Под ред. Б.Ф. Апарина. – СПб. – 2017. – С.139-140;
11. Ускова (Бовина), Н.В. Экологическая оценка влияния применения различных систем удобрения на содержание активных компонентов гумуса и физико-химические свойства дерново-подзолистой легкосуглинистой почвы / Н.В. Ускова // Материалы по изучению русских почв. Вып. 10 (37): Сб. науч. докл. / Под ред. Б.Ф. Апарина. – СПб. – 2017. – С. 149-153;
12. Ускова (Бовина), Н.В. Агроэкологическая оценка качественного и количественного состава органического вещества дерново-подзолистой почвы / Н.В. Ускова // Актуальные проблемы и механизмы развития АПК: труды Всероссийского совета молодых ученых и специалистов аграрных образовательных и научных учреждений. – М.: ФГБНУ «Росинформагротех». – 2018. – С. 108-113;
13. Ускова (Бовина), Н.В. Агроэкологическая оценка гумусового состояния почв в длительном полевом опыте РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева / Н.В. Ускова, В.А. Черников // Доклады ТСХА: Сборник статей. Вып. 290. Часть IV / М.: Изд-во РГАУ-МСХА. – 2018. – С. 405-407;
14. Ускова (Бовина), Н.В. Влияние длительного применения удобрений на гумусовое состояние дерново-подзолистой легкосуглинистой почвы / Н.В. Ускова // Сборник трудов международной научной конференции «Ломоносов - 2018». – 2018. – С. 233-234;
15. Ускова (Бовина), Н.В. Применение дериватографического метода исследования для агроэкологической оценки органического вещества дерново-подзолистой легкосуглинистой почвы / Н.В. Ускова // «Агроэкологические и экономические аспекты применения средств химизации в условиях биологизации и экологизации сельскохозяйственного производства».

- Материалы 52-й Международной научной конференции молодых ученых, специалистов-агрохимиков и экологов, посвященной 200-летию со дня рождения профессора Я.А. Линовского (ВНИИА): / Под редакцией академика РАН В.Г. Сычева. – М.: ВНИИА. – 2018. – С. 274-276;
16. Ускова (Бовина), Н.В. Агроэкологическая оценка гумусового состояния дерново-подзолистой легкосуглинистой почвы при помощи дериватографического метода исследования / Н.В. Ускова // Материалы международной научной конференции молодых учёных и специалистов, посвящённой 150-летию со дня рождения В.П. Горячкина, М.: Издательство РГАУ-МСХА. – 2018. – С. 598-603;
 17. Ускова (Бовина), Н.В. Изучение влияния различных систем удобрения на гумусовое состояние дерново-подзолистой почвы по материалам длительных полевых опытов / Н.В. Ускова // Материалы докладов второй открытой конференции молодых ученых «Почвоведение. Горизонты будущего. 2018». – М.: ГЕОС. – 2018. – С. 139-143;
 18. Ускова (Бовина), Н.В. Комплексная оценка гумусового состояния почвы, структуры и качества урожая озимой ржи в длительном полевом опыте / Н.В. Ускова // Сборник трудов Международной молодежной научной конференции «Генетическая и агрономическая оценка почв» /Российский государственный аграрный университет – МСХА им. К. А. Тимирязева. – М.: РГАУ-МСХА им. К.А. Тимирязева. – 2018. – С. 153-156;
 19. Ускова (Бовина), Н.В. Агроэкологическая оценка гумусового состояния и физико-химических свойств дерново-подзолистой почвы в длительном стационарном эксперименте / Н.В. Ускова // Материалы международной научной конференции XXI Докучаевские молодежные чтения «Почвоведение – мост между науками» / Под ред. Б.Ф. Апарина. – СПб. – 2018. – С. 268-269;
 20. Ускова (Бовина), Н.В. Агроэкологическая оценка гумусового состояния дерново-подзолистой легкосуглинистой почвы в длительном стационарном опыте / Н.В. Ускова // Материалы по изучению русских почв. Вып. 11 (38): Сб. науч. докл. / Под ред. Б.Ф. Апарина. – СПб. – 2018. – С. 171-176;
 21. Ускова (Бовина), Н.В. Агроэкологическая оценка гумусового состояния почвы, структуры и качества урожая бессменно возделываемой озимой ржи / Н.В. Ускова // Материалы международной научной конференции молодых учёных и специалистов, посвящённой 150-летию А.В. Леонтовича: Сборник статей. / М. – Издательство РГАУ-МСХА. – 2019. – С. 133-137;
 22. Ускова (Бовина), Н.В. Комплексная агроэкологическая оценка состояния органического вещества и урожая озимой ржи в длительном полевом опыте / Н.В. Ускова, В.А. Черников // Доклады ТСХА: Сборник статей. Вып. 291. Ч. IV. – М.: Изд-во РГАУ-МСХА. – 2019. – С. 695-699.
 23. Ускова (Бовина), Н.В. Комплексная экологическая оценка гумусового состояния почвы, структуры и качества урожая озимой ржи при длительном удобрении в полевом опыте / Н.В. Ускова // Сборник трудов международной научной конференции «Ломоносов - 2019». – М.: МАКС Пресс. – 2019. – С. 182-183;

24. Ускова (Бовина), Н.В. Оценка влияния длительного применения удобрений на гумусовое состояние почвы, структуру и качество урожая бессменно возделываемой озимой ржи / Н.В. Ускова // Материалы Международной научной конференции XXII Докучаевские молодежные чтения «Почва как система функциональных связей в природе» / Под ред. Б.Ф. Апарина. – СПб. – 2019. – С. 207-209;
25. Ускова (Бовина) Н.В. Агроэкологическая оценка влияния различных систем удобрения на гумусовое состояние почвы и урожай озимой ржи в длительном полевом опыте / Н.В. Ускова, А.В. Усков // Приемы повышения плодородия почв и эффективности удобрения: материалы Международной научно-практической конференции, посвященной памяти ученых: А.И. Горбылевой, Ю.П. Сиротина и В.И. Тюльпанова / редкол.: Т. Ф. Персикова (отв. ред.) [и др.]. – Горки: БГСХА. – 2019. – С. 161-163;
26. Ускова (Бовина), Н.В. Оценка влияния длительного применения удобрений на гумусовое состояние почвы, структуру и качество урожая бессменно возделываемой озимой ржи / Н.В. Ускова // Материалы по изучению русских почв. – Вып. 12 (39): Принята к печати.