

УДК 631.445.24:631.8

*На правах рукописи*

**Бортник Татьяна Юрьевна**

**АГРОХИМИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ВОСПРОИЗВОДСТВА  
ПЛОДОРОДИЯ ДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТЫХ ПОЧВ  
И ПОВЫШЕНИЯ ПРОДУКТИВНОСТИ АГРОЦЕНОЗОВ  
В ВЯТСКО-КАМСКОЙ ЗЕМЛЕДЕЛЬЧЕСКОЙ ПРОВИНЦИИ**

Специальность 06.01.04 – Агрохимия

**Автореферат  
диссертации на соискание учёной степени  
доктора сельскохозяйственных наук**

**Москва - 2019**

Работа выполнена на кафедре агрохимии и почвоведения ФГБОУ ВО «Ижевская государственная сельскохозяйственная академия» в 2005-2018 гг.

**Научный консультант:** Доктор сельскохозяйственных наук,  
профессор  
**Башков Александр Степанович**

**Официальные оппоненты:** **Титова Вера Ивановна**  
доктор сельскохозяйственных наук,  
профессор, ФГБОУ ВО «Нижегородская  
государственная сельскохозяйственная  
академия», кафедра агрохимии  
и агроэкологии, заведующая кафедрой  
**Конончук Вадим Витальевич**  
доктор сельскохозяйственных наук,  
ФГБНУ Федеральный Исследовательский  
Центр «Немчиновка», лаборатория сортовых  
технологий зернобобовых культур,  
заведующий лабораторией  
**Налиухин Алексей Николаевич**  
доктор сельскохозяйственных наук,  
доцент, ФГБОУ ВО «Вологодская  
государственная молочнохозяйственная  
академия имени Н.В. Верещагина», кафедра  
растениеводства, земледелия и агрохимии,  
профессор кафедры

**Ведущая организация:** Пермский Федеральный исследовательский  
центр УрО РАН, «Пермский научно-  
исследовательский институт сельского  
хозяйства»

Защита диссертации состоится «\_\_» \_\_\_\_\_ 2019 года в 14.00 час. на заседании диссертационного совета Д006.029.01 при ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт агрохимии имени Д.Н. Прянишникова»: 127550, Москва, ул. Прянишникова, 31а.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт агрохимии имени Д.Н. Прянишникова» и на сайте: <http://www.vniia-pr.ru/diss/diss-bortnik-12-02-2019.pdf>

Автореферат разослан «\_\_» \_\_\_\_\_ 2019 г.

Приглашаем Вас принять участие в обсуждении диссертации на заседании диссертационного совета. Отзывы на автореферат в 2-х экземплярах, заверенные гербовой печатью учреждения, просим направлять по адресу: 127550, г. Москва, ул. Прянишникова, 31 а, учёному секретарю диссертационного совета, e-mail: [dissovet\\_vniia@mail.ru](mailto:dissovet_vniia@mail.ru)

**Учёный секретарь  
диссертационного совета**

Никитина Любовь Васильевна

## ВВЕДЕНИЕ

**Актуальность темы исследований.** В девяностых годах прошлого столетия в России резко снизилось количество применяемых минеральных удобрений. В последние годы ситуация начала меняться в лучшую сторону, однако количество вносимых удобрений значительно уступает уровню семидесятых-восьмидесятых годов прошлого века. Это привело к возникновению отрицательного баланса всех элементов питания в почвах почти во всех регионах страны (Иванов, Завалин, 2011). Чтобы противостоять существенному снижению содержания доступных растениям форм макро- и микроэлементов, необходима реализация комплекса мер по систематическому воспроизводству плодородия почв, которое тесно связано с разумным использованием всех видов удобрений и химических мелиорантов (Минеев, Бычкова, 2003; Башков, 2013; Сычёв, Кирпичников, 2016; Аканова, Шильников, 2017; Завалин, 2018). В современных условиях приобретает важное значение использование альтернативных источников элементов питания – разнообразных местных сырьевых ресурсов (Кулаковская, 1990; Титова, 2016).

Результаты исследований в длительных опытах представляют большую научную ценность, так как позволяют выявить направленность изменения плодородия почв под влиянием систематического применения удобрений в севооборотах. Многолетние данные в конкретных почвенно-климатических условиях дают научную основу для разработки такой системы минерального питания сельскохозяйственных культур, которая не только обеспечивала бы стабильную и высокую урожайность сельскохозяйственных культур, но и отвечала бы требованиям сохранения и воспроизводства плодородия почв и охраны окружающей среды.

В настоящее время актуальным является также использование нетрадиционных удобрений, в частности продуктов анаэробной переработки, золы органосодержащих отходов и т.п.; применение этих веществ в качестве удобрений перспективно с агрономической, экономической и экологической точек зрения (Варламова, 2007; Дабахова, Титова, 2014; Тарасов, 2015; Мёрзлая, 2015).

**Степень разработанности.** Изучение эффективности систем удобрения на базе длительных полевых опытов Геосети достаточно широко проведено в разных почвенно-климатических условиях России. В Вятско-Камской земледельческой провинции на дерново-подзолистых почвах подобные исследования проведены И.П. Дерюгиным и др. (1987), Г.П. Дзюиным, А.Г. Дзюиным (2010), Л.А. Михайловой (2008), А.И. Косолаповой и др. (2016) и другими учёными. Изучение эффективности нетрадиционных источников элементов питания, в частности золы и продуктов анаэробной переработки органосодержащих отходов проводили М.Г. Субботина и др. (2017), Л.Д. Варламова (2007), Г.Е. Мёрзлая (2015); в условиях Вятско-Камской земледельческой провинции подобные исследования не проводились.

**Цель работы** – научное обоснование эффективного использования систем удобрения, в том числе с использованием нетрадиционных форм для расширенного воспроизводства плодородия дерново-подзолистых почв, получения

высокой продуктивности сельскохозяйственных культур и экологически безопасной продукции растениеводства.

**Задачи исследований включали:**

1. Выявить действие систем удобрения при их длительном использовании на изменение агрохимических и биологических свойств дерново-подзолистых почв.
2. Изучить влияние систем удобрения при их длительном использовании на продуктивность культур зернопаропропашного севооборота.
3. Установить влияние сульфата магния на продуктивность сельскохозяйственных культур на фонах различных систем удобрения.
4. Уточнить показатели выноса элементов питания с урожаями сельскохозяйственных культур и коэффициенты их использования из органических и минеральных удобрений.
5. Рассчитать баланс органического вещества и элементов питания в почве за три ротации севооборота.
6. Обосновать возможность использования золы органосодержащих отходов как альтернативного источника элементов питания при возделывании сельскохозяйственных культур на дерново-подзолистых почвах.
7. Исследовать эффективность применения продукта анаэробной переработки навоза КРС в органической системе удобрения овощных культур.
8. Рассчитать баланс органического вещества и элементов питания в почве при использовании современных систем удобрения в сельскохозяйственном производстве.
9. Выявить связь продуктивности сельскохозяйственных культур с агрохимическими и биологическими свойствами дерново-подзолистых почв.
10. Дать экономическую и энергетическую оценку эффективности использования систем удобрения.

**Объект исследования.** Классические и современные системы удобрения сельскохозяйственных культур на дерново-подзолистых почвах.

**Научная новизна.** Выполнены комплексные исследования, на основе которых расширены и углублены представления о роли удобрений в воспроизводстве плодородия дерново-подзолистых почв и формировании продуктивности агроценозов. Применение органических и минеральных удобрений, химических мелиорантов является мощным фактором изменения плодородия почв, в том числе и его важнейшей составляющей – биологических свойств. Для условий Удмуртской Республики и в целом Вятско-Камской земледельческой провинции полученные данные по изменению биологических свойств дерново-подзолистых почв под влиянием удобрений являются новыми.

Впервые в регионе дано научное обоснование использованию золы органосодержащих отходов и продукта анаэробной переработки навоза в качестве удобрения сельскохозяйственных культур; обоснована экологическая безопасность их применения.

Для оценки качественного уровня плодородия почв по комплексу показателей предложено использование метода визуализации многомерных структур.

**Практическая и теоретическая значимость.** В результате обобщения данных длительного полевого опыта показана зависимость продуктивности полевых культур (однолетних трав, озимых зерновых, пропашных культур, яровых зерновых) от агрохимических и биологических свойств дерново-среднеподзолистой среднесуглинистой почвы. Изменение кислотных свойств почвы и накопление подвижного алюминия следует учитывать при использовании минеральных систем удобрения и в соответствии с этими показателями планировать известкование. Уточнённые показатели выноса элементов питания с урожаями и коэффициенты их использования возможно учитывать при расчётах доз удобрений и планировании систем удобрения.

Разработаны и даны рекомендации по использованию золы органосодержащих отходов в качестве удобрения сельскохозяйственных культур и продукта анаэробной переработки навоза крупного рогатого скота в органических системах удобрения овощного севооборота.

Расчёты баланса органического вещества и элементов питания, проведённые на примере СХПК имени Мичурина Вавожского района Удмуртской Республики, и комплексный анализ почв на ключевых площадках пахотных земель этого предприятия показали значимость использования соломы и биологического азота и необходимость изменения существующей системы удобрения в отношении дополнительного поступления фосфора и калия. Результаты этой работы внедрены в СХПК имени Мичурина.

Для оценки связи продуктивности пахотных земель с показателями почвенного плодородия предложено использование методов эконометрики, в частности метода визуализации многомерных структур.

Результаты научных исследований используются в учебном процессе на агрономическом факультете ФГБОУ ВО Ижевская ГСХА при преподавании таких дисциплин как агрохимия, агропочвоведение, система удобрения, сельскохозяйственная экология, методы агрохимических исследований и других.

**Методология и методы исследования.** Учёты, наблюдения и анализы проводили в соответствии с общепринятыми методиками. Математическая обработка результатов проведена на ПЭВМ с помощью прикладных программ *Microsoft Excel*. Существенность разницы в показаниях между вариантами в опытах установлена методом дисперсионного анализа, наличие тесноты связи – с помощью корреляционно-регрессионного анализа (Доспехов, 1985). Вариационный анализ проведён с использованием онлайн-сервиса (Показатели вариации..., 2018). Для оценки связи параметров почвенного плодородия использован специальный пакет расчётов в эконометрической среде GRETL (Артамонов и др., 2010).

### **Основные положения, выносимые на защиту:**

1. Изменение агрохимических и биологических свойств дерново-среднеподзолистой среднесуглинистой почвы при использовании систем удобрения в длительном стационарном полевым опыте.

2. Накопление подвижного алюминия в почве при отсутствии известкования и его связь с физико-химическими показателями дерново-подзолистых почв.

3. Продуктивность полевых культур зернопаропропашного севооборота при длительном использовании систем удобрения.

4. Баланс органического вещества и элементов питания в дерново-среднеподзолистой среднесуглинистой почве при различных системах удобрения культур за три ротации зернопаропропашного севооборота.

5. Обоснование эффективного использования золы органосодержащих отходов в качестве удобрения сельскохозяйственных культур.

6. Оценка эффективности применения продукта анаэробной переработки навоза КРС в органических системах удобрения овощных культур.

7. Баланс органического вещества и элементов питания в условиях сельскохозяйственного производства на примере СХПК имени Мичурина Вавожского района Удмуртской Республики.

8. Возможность использования эконометрических методов при оценке плодородия дерново-подзолистых почв.

9. Экономическая и энергетическая оценка использования систем удобрения в зернопаропропашном севообороте.

**Степень достоверности и апробация работы.** Степень достоверности результатов проведённых исследований подтверждается соблюдением необходимого количества повторностей в полевых опытах, ежегодной приёмкой полевых опытов, использованием современных методик лабораторных анализов в соответствии с ГОСТ, публикацией основных положений диссертации.

Основные результаты исследовательской работы доложены на республиканских, региональных, Всероссийских и Международных научно-практических конференциях: ФГБОУ ВО Ижевская ГСХА (Ижевск, 2006, 2007, 2008, 2009, 2012, 2013, 2014, 2015, 2016, 2017, 2018); ГНУ ВНИИА им. Д.Н. Прянишникова (Москва, 2006, 2010, 2018); ФГБОУ ВО Нижегородская ГСХА (Нижний Новгород, 2008, 2014, 2017); ГОУ ВО Удмуртский госуниверситет (Ижевск, 2010); ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева (Москва, 2012); ФГБНУ Удмуртский НИИСХ (Ижевск, 2012, 2014); ГНУ Пермский НИИСХ (Пермь, 2013); ФГБОУ ВПО РУДН (Москва, 2014); Белорусская государственная сельскохозяйственная академия (Горки, 2018).

**Организация исследований и личный вклад соискателя.** Автору принадлежит формулировка темы работы, разработка программы исследований, анализ литературных источников. Планирование и проведение полевых и лабораторных исследований в 2005-2017 гг. осуществлены лично автором при участии студентов и сотрудников агрономического факультета ФГБОУ ВО Ижевская ГСХА. Анализ и обобщение полученных результатов, в том числе в условиях сельскохозяйственного производства, формулировка заключения и выводов, а также публикации осуществлены лично автором. Основные полученные результаты отражены в публикациях.

Автор работает в должности доцента кафедры агрохимии и почвоведения, исполняет обязанности заведующего кафедрой агрохимии и почвоведения ФГБОУ ВО Ижевская ГСХА и проводит исследования по теме: «Изучение эффективности систем удобрений на продуктивность сельскохозяйственных культур и плодородие дерново-подзолистых почв»; номер государственного учёта НИОКТР: АААА-А17-1171220400 13-6.

**Публикации по теме диссертации.** По материалам исследований опубликовано 55 печатных работ, в том числе 13 – в изданиях, рекомендованных ВАК Минобрнауки России.

**Структура и объём диссертации.** Диссертационная работа изложена на 329 страницах компьютерного текста, состоит из введения и 9 глав, заключения, выводов и предложений производству, включает 140 таблиц, 49 рисунков и 44 приложения. Список литературы включает 396 авторов, в том числе 43 иностранных.

**Благодарности.** Автор выражает глубокую признательность и благодарность за ценные советы и постоянную поддержку научному консультанту, доктору сельскохозяйственных наук, профессору Александру Степановичу Башкову. Автор благодарит за помощь в проведении исследований сотрудников кафедры агрохимии и почвоведения, студентов агрономического факультета, особую благодарность за консультации, помощь и поддержку выражает профессору А. В. Леднёву, профессору С. И. Коконову, искреннюю признательность доценту А. Ю. Карповой, доценту В. Ф. Артюшкину, а также руководителю СХПК имени Мичурина Вавожского района Удмуртской Республики В. А. Капееву и главному агроному хозяйства Б. Б. Борисову за возможность проведения исследований на базе предприятия.

## СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

### 1. Обзор литературы

В первой главе рассматривается состояние изученности вопроса влияния удобрений на показатели плодородия дерново-подзолистых почв. На основании анализа современных источников отечественной и зарубежной литературы сделано заключение, что наиболее ярко проявляется эффективность удобрений при их системном использовании. Выявлено и негативное влияние минеральных систем удобрений, особенно при использовании физиологически кислых форм и высоких доз, на свойства почвы: повышается кислотность, снижается сумма обменных оснований, увеличивается содержание подвижных форм алюминия. Известкование и применение органических удобрений сглаживает этот негативный эффект. В большинстве исследований органоминеральные системы удобрений имеют существенное преимущество перед минеральными и органическими, как по их влиянию на свойства почвы, так и по действию на урожайность сельскохозяйственных культур и качество продукции.

Отмечено, что для более объективной оценки почвенного плодородия необходимо рассматривать не только агрохимические свойства почв, но и показа-

тели, характеризующие почвенные режимы, а также биологическую активность почв, связанную с деятельностью микроорганизмов.

В современных условиях возрастает роль местных ресурсов, используемых как альтернативные источники элементов питания. В результате сжигания органосодержащих отходов получают тепловую или электрическую энергию, а также золу, которая может быть использована в качестве местного удобрения как источник фосфора, калия и микроэлементов.

За рубежом и в России более перспективным способом утилизации органосодержащих отходов (в том числе отходов животноводства) является использование установок, работающих по принципу метанового сбраживания, в результате которого получают горючий биогаз, и жидкий эффлюент (шлам). Многими исследованиями было установлено, что данный продукт можно применять в качестве удобрения. Отмечено положительное влияние подобного удобрения на свойства почвы, что определяется комплексным стимулирующим биологическим воздействием, как на растения, так и на почвы. В связи с этим продукты анаэробной переработки нуждаются в дополнительном изучении с целью оценки их эффективности при использовании в сельскохозяйственном производстве.

В современных условиях для обеспечения продовольственной безопасности страны необходимы комплексные исследования, направленные на сохранение и воспроизводство плодородия почв. Разработаны методики оценки эффективного плодородия почв, предложены модели, учитывающие параметры почвенного плодородия, изменяющиеся в динамике, для различных условий, в том числе на основе данных почвенно-географического районирования. В связи с существенным снижением плодородия почв во многих регионах Российской Федерации возникает необходимость совершенствования методических приёмов оценки эффективности использования почв, в том числе за счёт более широкого применения математического моделирования.

## **2. Условия и методика проведения исследований**

### **2.1 Почвенно-климатические условия проведения исследований**

Удмуртская Республика находится на востоке Русской равнины, в междуречье Камы и Вятки. Согласно почвенно-географическому районированию территории России основная земельная площадь Удмуртии отнесена к Вятско-Камской провинции Южно-таёжной подзоны дерново-подзолистых почв, а южные районы республики – к Предуральской провинции серых лесных почв северной лесостепи. Почвенный покров Удмуртии отличается большой пестротой как по типам, так и по гранулометрическому составу. Однако преобладают дерново-подзолистые почвы, на долю которых приходится 76,1% пахотных земель.

Климат Удмуртской Республики умеренно-континентальный с продолжительной холодной малоснежной зимой и коротким тёплым летом. В среднем за год по республике выпадает около 500 мм осадков, а за вегетационный период (май- август) – 250...300 мм. На холодное время приходится 30...35 % осадков,



на тёплое ( $c t > 5 \text{ }^\circ\text{C}$ ) – 65...70%. По характеру увлажнения территория республики относится к зоне с неустойчивым увлажнением.

Основные полевые исследования были проведены в Воткинском и Завьяловском районах Удмуртской Республики. Агрометеорологические условия по данным Ижевской ГМС в годы исследований в полевых опытах были различными по температурному режиму и влагообеспеченности. Так, вегетационные периоды 2005, 2008, 2011, 2013 гг. отличались высокими температурами и низким выпадением осадков; 2010 г. был экстремально сухим с высокими температурами июня-августа; 2006, 2007, 2009, 2012, 2014-2017 гг. сложились относительно благоприятно для возделывания сельскохозяйственных культур.

## 2.2 Объекты и методика проведения исследований

Изучение классических систем удобрения проведено в рамках длительного полевого опыта кафедры агрохимии и почвоведения ИжГСХА на тему «Влияние систематического внесения различных доз удобрений, их сочетаний и соотношений на продуктивность четырёхпольного севооборота и плодородие дерново-подзолистой почвы», заложенного на опытном поле АО «Учхоз «Июльское» Ижевской ГСХА Воткинского района Удмуртской Республики в 1979 г. Данный опыт входит в Географическую сеть опытов с удобрениями РФ (№ 067 по Реестру аттестатов длительных опытов..., 2005).

Схема опыта включает 17 вариантов различных систем удобрения: 1. Без удобрений (контроль); 2. Известь по 1 Н<sub>г</sub>; 3. Известь + N<sub>1</sub>P<sub>1</sub>; 4. Известь + N<sub>1</sub>K<sub>1</sub>; 5. Известь + P<sub>1</sub>K<sub>1</sub>; 6. Известь + N<sub>1</sub>P<sub>1</sub>K<sub>1</sub>; 7. N<sub>1</sub>P<sub>1</sub>K<sub>1</sub>; 8. Известь + навоз 40 т/га + N<sub>1</sub>P<sub>1</sub>K<sub>1</sub>; 9. Известь + навоз 40 т/га + N<sub>1,5</sub>P<sub>1,5</sub>K<sub>1,5</sub>; 10. Известь + навоз 40 т/га; 11. Известь + N<sub>1</sub>P<sub>1</sub>K<sub>1</sub> + NPK эквив. навозу; 12. Известь + навоз 20 т/га + N<sub>1</sub>P<sub>1</sub>K<sub>1</sub>; 13. Известь + навоз 40 т/га + N<sub>1</sub>P<sub>1</sub>K<sub>0,5</sub>; 14. Известь + навоз 40 т/га + N<sub>1</sub>P<sub>1,5</sub>K<sub>1</sub>; 15. Известь + навоз 40 т/га + N<sub>1,5</sub>P<sub>1</sub>K<sub>1</sub>; 16. Известь + навоз 40 т/га + N<sub>0,5</sub>P<sub>0,5</sub>K<sub>0,5</sub>; 17. Известь + N<sub>0,5</sub>P<sub>0,5</sub>K<sub>0,5</sub>.

Опыт заложен в четырехкратной повторности в 4 яруса. Размещение делянок в повторениях рендомизированное. Исследования проводятся в севообороте: викоовсяная смесь – озимые зерновые – пропашные – ячмень.

Почва опытного участка дерново-среднеподзолистая среднесуглинистая на красно-буром опесчанном суглинке. При закладке опыта почва была слабокислой ( $pH_{КС1} = 5,25$ ); гидролитическая кислотность – 2,75 ммоль/100 г почвы, сумма обменных оснований – 10,8 ммоль/100 г почвы, степень насыщенности почв основаниями повышенная – 79,7%. Содержание подвижных форм фосфора и калия по методу Кирсанова среднее – 69 и 91 мг/кг соответственно. Содержание гумуса – 2,15%, что соответствовало средней гумусированности почвы. Дозы внесения минеральных удобрений под сельскохозяйственные культуры были определены по зональным рекомендациям. Известь, в дозе, определенной по гидролитической кислотности, внесена весной поделяночно согласно схеме опыта под обработку почвы перед посевом викоовсяной смеси в 2009 г. Навоз вносили один раз в ротацию под пропашную культуру – в 2007, 2011 и 2015 гг.

в дозах 40 (соответствует насыщенности севооборота органическими удобрениями 10 т/га) и 20 т/га согласно схеме опыта.

Изучение эффективности сульфата магния проводили в рамках длительного полевого опыта методом расщеплённых делянок. На фонах различных систем удобрений (фактор А) вносили сульфат магния (фактор В) в дозе по MgO: под викоовсяную смесь – 20 кг/га; под озимую рожь, озимую тритикале и ячмень – 30; под картофель – 30; под кормовую свёклу в 2011 г. – 50 кг/га.

Зола органосодержащих отходов изучалась в полевом пятилетнем и краткосрочных опытах. Схема пятилетнего опыта: 1. Без удобрений (контроль); 2. Зола (P<sub>30</sub>); в физической массе 1,03 т/га; 3. Зола (P<sub>60</sub>) 2,06 т/га; 4. Зола (P<sub>90</sub>); 3,09 т/га; 5. N<sub>2</sub>P<sub>30</sub>K<sub>99</sub>; 6. N<sub>4</sub>P<sub>60</sub>K<sub>198</sub>; 7. N<sub>6</sub>P<sub>90</sub>K<sub>296</sub>. В обозначениях P<sub>30</sub>, P<sub>60</sub> и P<sub>90</sub> – дозы фосфора в кг действующего вещества на гектар. Исследования 2013-2017 гг. проводили в севообороте: ячмень – лён-долгунец – яровая пшеница с подсевом клевера – клевер 1 г. п. – клевер 2 г. п.. Почвы дерново-среднеподзолистые среднесуглинистые, среднекислые, с низким содержанием гумуса, низкой суммой обменных оснований, повышенной обеспеченностью подвижным фосфором и средней обеспеченностью подвижным калием.

Полевые опыты по изучению эффективности продукта анаэробной переработки бесподстилочного навоза крупного рогатого скота (удобрения «РосПочва») проведены в 2006-2009 гг. в рамках органической системы удобрения в звене овощного севооборота: лук репчатый – морковь столовая – капуста белокочанная. Продукт содержит более 90 % воды, содержание элементов питания: N – 3,59 %; P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> – 1,48 %; K<sub>2</sub>O – 1,79 % на а. с. в. В удобрении также содержались микроэлементы: Zn – 2,2 мг/л; Cu – 1,4; Mn – 17 и Fe – 114 мг/л. Внесение осуществлялось путём полива разбавленным в 20 раз удобрением перед посевом (посадкой) в дозах 40, 80, 120, 160, 200 т/га. Для сравнения в опытах были варианты с поливом водой в аналогичном количестве.

Оценка накопления содержания подвижного алюминия при отсутствии известкования в течение более 25 лет проведена по результатам агрохимического обследования в Юкаменском районе Удмуртской Республики (2012 г.)

В 2015 и 2017 гг. проведены исследования в условиях СХПК имени Мичурина Вавожского района Удмуртской Республики. Использован метод ключевых площадок; агроэкологическая оценка почв проведена в соответствии с методиками анализа почвенных проб (ГОСТ).

Расчет баланса элементов питания проведен по рекомендациям ВНИИА (Интегрированное применение..., 2005). При расчете баланса гумуса использовались рекомендации В.А. Ионаса и др. (1985), ВНИИА (Интегрированное применение..., 2005). Энергетическую и экономическую оценку эффективности систем удобрений проводили на основании технологических карт возделывания сельскохозяйственных культур (Методические указания..., 1997; Типовые нормативно-технологические карты..., 2004).

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

### 3. Влияние длительного применения систем удобрения на плодородие почвы

Под влиянием антропогенного воздействия при интенсивном сельскохозяйственном использовании свойства почв в значительной степени изменяются; одним из наиболее значимых путей воздействия является систематическое применение мелиорантов, органических и минеральных удобрений.

С течением времени под влиянием различных систем удобрения изменялись основные физико-химические и химические показатели дерново-среднеподзолистой среднесуглинистой почвы (табл. 1). Так, по сравнению с исходным состоянием во всех вариантах, даже с систематическим внесением навоза (при средней насыщенности севооборота 10 т/га) выявлено снижение содержания гумуса. К 2016 г. во всех вариантах без внесения навоза почвы следует оценить как слабогумусированные; при его внесении – среднегумусированные.

Физико-химические показатели изменились наиболее значительно при систематическом известковании; так, почва перед закладкой опыта была слабокислой, под влиянием извести в сочетании с другими удобрениями почва также имела слабокислую реакцию, но в некоторых вариантах стала близкой к нейтральной. Выражено подкисление при использовании только минеральных удобрений (вариант 7). В этом же варианте показатель гидролитической кислотности возрос до 3,22 ммоль/100 г и составляет относительно высокую величину. В других вариантах гидролитическая кислотность по сравнению с данными 1979 г. снизилась.

Таблица 1 – Влияние систем удобрения на агрохимические свойства дерново-подзолистой среднесуглинистой почвы

Варианты	Гумус, %	рН <sub>KCl</sub>	Н <sub>г</sub>	S	V, %	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O
			ммоль/100 г почвы			мг/кг почвы	
<b>Исходные данные перед закладкой (1979 г.)</b>							
	2,15	5,25	2,75	10,8	80	69	91
<b>Средние данные за IX ротацию</b>							
1. Без удобрений	1,48	4,96	2,27	10,0	82	63	46
2. Известь	1,80	5,96	1,26	12,6	91	90	58
6. Известь + N <sub>1</sub> P <sub>1</sub> K <sub>1</sub>	1,85	5,74	1,64	13,5	90	212	66
7. N <sub>1</sub> P <sub>1</sub> K <sub>1</sub>	1,96	4,52	3,22	10,4	77	159	65
8. Известь + навоз 40 т/га + N <sub>1</sub> P <sub>1</sub> K <sub>1</sub>	2,07	5,73	1,57	13,3	90	200	85
9. Известь + навоз 40 т/га + N <sub>1,5</sub> P <sub>1,5</sub> K <sub>1,5</sub>	2,05	5,49	1,86	12,7	87	241	86
10. Известь + навоз 40 т/га	2,07	5,66	1,59	12,6	89	136	56
11. Известь + N <sub>1</sub> P <sub>1</sub> K <sub>1</sub> + NPK экв. навозу 40 т/га	2,08	5,32	2,15	10,9	84	224	72
16. Известь + навоз 40 т/га + N <sub>0,5</sub> P <sub>0,5</sub> K <sub>0,5</sub>	2,08	5,79	1,88	13,2	88	166	74
17. Известь + N <sub>0,5</sub> P <sub>0,5</sub> K <sub>0,5</sub>	1,99	5,55	1,60	11,8	88	108	64

Значительные изменения произошли по содержанию доступных форм элементов питания. Без внесения удобрений в течение более чем 35 лет в почве поддерживается исходный средний уровень подвижного фосфора по Кирсанову. Систематическое известкование привело к тенденции повышения содержания этого элемента, а использование полного минерального удобрения, особенно в сочетании с известью и навозом способствовало увеличению содержания до 161-241 мг/кг, что соответствует повышенной и высокой обеспеченности. По сравнению с исходным содержанием выражена тенденция снижения содержания подвижного калия по всем основным вариантам. При систематическом внесении этого элемента в составе минеральных удобрений в полной и половинной дозе обеспеченность почвы осталась на прежнем уровне (средняя), а в большинстве вариантов даже снизилась до II группы (низкая). Вероятно, это связано с относительно высокой насыщенностью севооборота пропашными культурами, которые обладают большим выносом калия из почвы; особенно значительно на обеднение почвы калием повлияло возделывание кормовой свёклы в 2011 г., где был получен высокий уровень урожайности корнеплодов.

Наиболее благоприятно шло воспроизводство плодородия почвы при использовании органоминеральных систем удобрения на фоне систематического известкования, причём не только в пахотном, но и подпахотном слое.

Представляло интерес рассмотреть возможное накопление подвижного алюминия в почве без известкования (таблица 2). Особенно сильно подкисляют почву минеральные удобрения (вариант 7),  $pH_{KCl}$  в этом варианте ниже, чем в аналогичном варианте, но с применением извести (вариант 6) на 1,13 единиц. В связи с сильной кислотностью почвы в варианте 7 наблюдалось самое высокое содержание подвижного алюминия – 2,72 мг/100 г.

Таблица 2 – Влияние длительного использования систем удобрения на содержание подвижного алюминия и физико-химические показатели дерново-среднеподзолистой среднесуглинистой почвы (IX ротация севооборота, 2012 г.)

Вариант	Al, мг/100 г	$pH_{KCl}$	Нг	S	V, %
			ммоль/100 г		
1. Без удобрений (к)	1,98	4,61	2,80	13,8	83
2.Известь по 1,0 Нг	0,43	5,21	1,50	15,8	91
6. Известь + $N_1P_1K_1$	1,10	5,14	2,10	15,3	88
7. $N_1P_1K_1$	2,72	4,08	3,40	11,9	78
8. Известь + навоз 40 т/га + $N_1P_1K_1$	0,41	6,35	2,30	16,0	87
9. Известь + навоз 40 т/га + $N_{1,5}P_{1,5}K_{1,5}$	1,67	5,15	2,30	16,5	88
10.Известь + навоз 40 т/га	0,72	5,58	1,60	13,7	90
11.Известь + $N_1P_1K_1$ + НПК экв. навозу 40 т/га	0,54	5,34	2,10	14,8	88
15.Известь + навоз 40 т/га + $N_{1,5}P_1K_1$	0,40	5,48	2,90	15,9	85
17.Известь + $N_{0,5}P_{0,5}K_{0,5}$	0,79	5,57	2,00	15,7	89
НСП <sub>05</sub>	0,57	0,40	1,00	2,1	н.опр.
г (Al)		-0,85	0,57	-0,63	-0,70

При фактическом отказе от известкования в последние десятилетия происходит выраженное подкисление почв; этот процесс активно развивается в зоне

дерново-подзолистых и серых лесных почв. При этом можно прогнозировать появление в почвенном растворе подвижного алюминия, который оказывает токсическое влияние на большинство сельскохозяйственных культур. Для подтверждения и проверки результатов исследований в полевых опытах нами было проведено определение содержания подвижного алюминия с учётом данных агрохимического обследования почв одного из северных районов Удмуртской Республики. Доля среднекислых почв в этом районе возросла с 24,5% в 2001 г. до 34,6% в 2011 г., а общая доля слабокислых, средне- и сильнокислых увеличилась на 20%.

Выявлена высокая прямая корреляционная зависимость содержания подвижного алюминия с показателем рН и средний уровень связи с содержанием подвижного фосфора при 95 % уровне вероятности (таблица 3).

Уравнение множественной регрессии по средним показателям дерново-средне- и сильноподзолистых почв, рассчитанное с помощью программы Microsoft Excel, имеет следующий вид:

$$Al = 0,159 \cdot pH + 0,390 \cdot Hg - 0,003 \cdot S - 0,034 \cdot V + 0,002 \cdot P_2O_5 + 1,023$$

Таблица 3 – Коэффициенты корреляции содержания подвижного алюминия с содержанием подвижного фосфора в почвах Юкаменского района Удмуртской Республики (выборка 81)

Группа почв по содержанию подвижного Al	Площадь, га	Al, мг/100 г	pH <sub>KCl</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> , мг/кг
II	945	0,02	5,15	96
III	2446	0,37	5,03	86
IV	417	1,27	4,40	81
V	389	6,72	4,14	51
r (Al)			-0,67	-0,37

В длительном опыте нами было изучено также влияние системы удобрения на биологические свойства дерново-подзолистой почвы. Были выявлены изменения количественного и качественного состава микрофлоры. Наибольшая численность микроорганизмов отмечена при внесении органических удобрений в сочетании с минеральными на фоне известкования. Актиномицеты (КАА) преобладали над численностью бактерий (МПА), на их долю приходилось 53,2 %, на долю бактерий – 35,2 %, грибов – 11,6 %. Нами была определена активность некоторых ферментов, а также дыхание почвы и целлюлолитическая активность. В условиях 2016 г. интенсивность разложения льняного полотна без применения удобрений (контроль) составила всего 6 %. При совместном использовании органических и минеральных удобрений и органических удобрений биологические процессы происходили наиболее интенсивно; целлюлолитическая активность почвы в этих вариантах составила 33 %, 29 % и 32 % соответственно.

#### **4. Анализ классических систем удобрения на основе длительного опыта по продуктивности агроценозов**

По обобщённым данным за три ротации севооборота в длительном опыте сельскохозяйственные культуры показали разную отзывчивость на удобрения.

Так, существенные прибавки урожайности зелёной массы викоовсяной смеси составили 5,6-13,1 т/га. Органическая система удобрения в значительной степени уступала минеральной; выражено преимущественное положительное влияние органоминеральной и минеральной систем удобрения на фоне систематического известкования.

Озимая рожь хорошо отзывалась на применение всех систем удобрения. Наиболее эффективно применение под эту культуру органоминеральных и минеральных систем удобрения на фоне извести. Положительно действует увеличение дозы азота (15 вариант), в среднем получено дополнительно зерна 0,52 т/га. Повышение доз всех элементов в 1,5 раза способствует существенно увеличению урожайности – на 0,26 т/га; уменьшение доз до половинных в среднем за два года приводит к достоверному снижению урожайности. Средние оптимальные дозы под эту культуру составили  $N_{50-75}P_{45-68}K_{40-60}$ . Озимая тритикале в относительно благоприятных условиях 2014 г. сформировала высокий уровень урожайности – 4,10 т/га. Преимущество имела органоминеральная система удобрения с повышенными дозами минеральных удобрений; достоверные прибавки урожайности зерна составили 3,75-4,21 т/га. Наиболее эффективным под озимую тритикале оказалось внесение  $N_{60}P_{60}K_{60}$  на фоне навоза и извести.

Под картофель эффективно применение навоза в прямом действии, которое способствовало получению прибавки урожайности 4,5-5,0 т/га. Наиболее благоприятными дозами следует считать применение  $N_{60}P_{50}K_{75}$  на фоне систематического известкования и 40 т/га навоза. Кормовая свёкла в благоприятных условиях 2011 г. показала высокую отзывчивость на минеральную и органоминеральную системы удобрения; прибавки урожайности составили 11,3-48,8 т/га.

При возделывании ячменя полное минеральное удобрение в одинарных дозах на фоне последствий извести и навоза способствовало существенному увеличению урожайности на 1,35-1,96 т/га. Увеличение доз NPK в 1,5 раза не эффективно. В качестве оптимальных доз под ячмень можно рекомендовать в среднем  $N_{60}P_{53}K_{40}$ .

В наших исследованиях по всем культурам севооборота выявлена чёткая закономерность возрастания выноса элементов питания с единицы площади с увеличением урожайности, которая, в свою очередь, определялась применением удобрений. Наиболее существенное влияние на показатели выноса с викоовсяной смесью оказало использование органоминеральных систем удобрения; в среднем они повышали вынос азота на 10 %; фосфора – на 43 % и калия – на 7 %. Средние показатели нормативного выноса с 1 т зелёной массы викоовсяной смеси составили 3,2 кг азота, 0,9 кг  $P_2O_5$  и 2,9 кг  $K_2O$ .

Минеральная система удобрений на фоне систематического известкования способствовала повышению показателей выноса с озимой рожью: азота – на 13 %;  $P_2O_5$  – на 43 и  $K_2O$  – на 14 %. При использовании органоминеральных систем нормативный вынос азота с продукцией озимой ржи возрос на 25,2 %; фосфора – на 35 % и калия – на 11,4 % относительно контроля без удобрений.

Длительное использование минеральных удобрений под картофель на фоне периодического известкования привело к возрастанию выноса азота и

фосфора – на 17 и 39 % соответственно относительно контроля. Органическая система удобрения способствовала ещё большему увеличению выноса азота и фосфора – на 23 и 50 % соответственно.

Систематическое известкование повысило вынос с урожаем ячменя: N – на 4,8 %;  $P_2O_5$  – на 7,6 и  $K_2O$  – на 5,0 % относительно контроля без удобрений. Использование только минеральных удобрений привело к повышению показателей выноса азота, фосфора и калия относительно контроля (варианта без удобрений) на 17; 15 и 27 % соответственно.

В целом по опыту средние коэффициенты использования азота зерновыми культурами составили 44-78 %; фосфора – 33-62 %; калия – 60-76 %. По пропашным культурам соответственно: 27-64; 10-33 и 37-45 %. При возделывании викоовсяной смеси средние за три ротации севооборота коэффициенты использования составили: N – 42;  $P_2O_5$  – 14 и  $K_2O$  – 47 %.

Наибольшую отзывчивость на органические удобрения показала кормовая свёкла; коэффициенты использования NPK этой культурой в прямом действии составили: 41; 18 и 36 %. Значительно уступал ей картофель. В последствии на второй и третий год после внесения коэффициенты использования элементов питания минимальны. В сумме за севооборот из навоза средний коэффициент использования азота составил 36 %; фосфора – 21 и калия – 35 %.

Продуктивность культур в зависимости от используемых систем удобрений по основным вариантам опыта наглядно представлена на рисунке 1. Как видно, наиболее высокую отзывчивость на удобрения показали пропашные и озимые культуры.

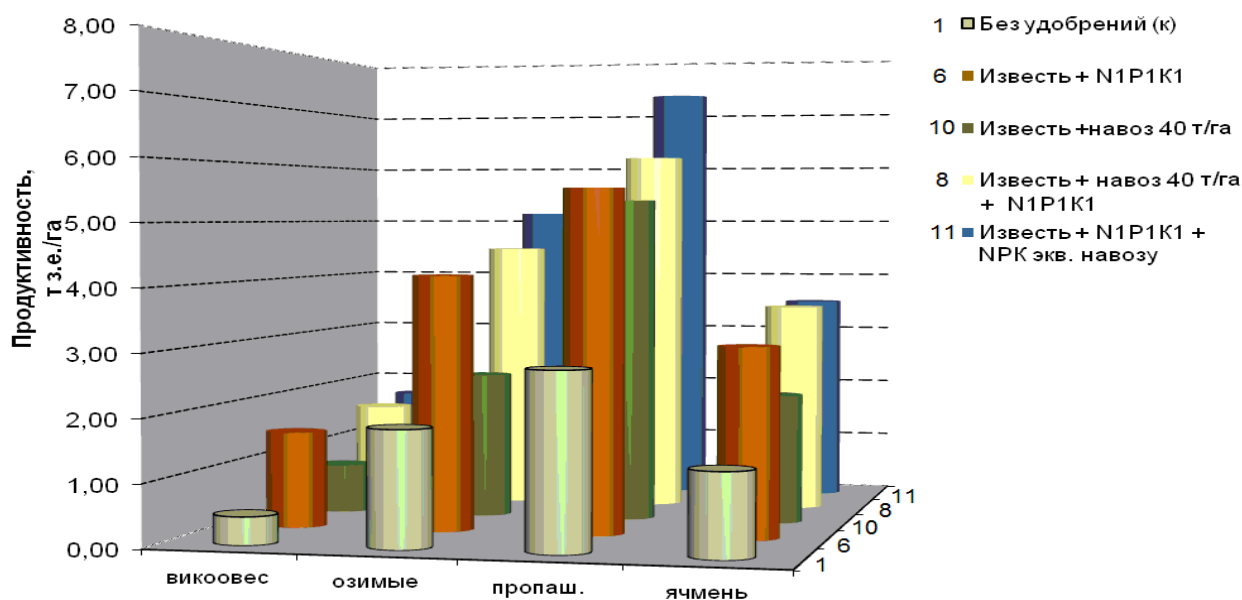


Рисунок 1 - Влияние систем удобрения на продуктивность сельскохозяйственных культур, т з.е./га (2005-2017 гг.)

По средним данным продуктивности за три ротации севооборота было выявлено также существенное положительное влияние минеральной системы удобрения на фоне известкования – вариант 11, где получена наибольшая прибавка продуктивности – 2,83 т з.е./га, однако органоминеральные системы

удобрения с полными дозами NPK и внесением навоза 40 т/га один раз в ротацию на фоне извести не уступают этому варианту.

Наиболее высокая окупаемость полного минерального удобрения получена по озимым зерновым культурам – в пределах 12,2-19,7 кг з.е./кг д.в. NPK. В среднем окупаемость 1 кг NPK по озимым культурам составила 14,9 кг з.е.

По остальным культурам севооборота получены близкие величины окупаемости минеральных удобрений, в среднем по вариантам опыта: викоовсяная смесь – 7,9 кг з.е.; пропашные культуры – 6,3 кг; ячмень – 7,0 кг з.е./кг д.в. В среднем по севообороту за 2005-2017 гг. окупаемость 1 кг NPK составила 9,0 кг з.е. Это довольно высокий показатель, так как для производственных условий по данным Агрохимслужбы Удмуртской Республики средняя оплата урожаем зерновых культур 1 кг NPK составляет 4,3 кг зерна (Безносков, 2007).

Расчёт окупаемости подстилочного навоза показал, что в прямом действии 1 т навоза способствовала получению 135 кг картофеля в 2007 г., 95 кг картофеля в 2015 г. и 368 кг кормовой свёклы в 2011 г. В среднем за севооборот окупаемость 1 т подстилочного навоза составила 43,5 кг з.е.

На всех фонах систем удобрения под влиянием сульфата магния ежегодно было сформировано дополнительно 0,47-0,65 т з.е./га; средняя прибавка составила 0,57 т з.е./га при НСР<sub>05</sub> главных эффектов по фактору В – 0,34 т/га.

Таблица 4 – Влияние сульфата магния на среднюю ежегодную продуктивность культур севооборота, т з.е./га (2005-2016 гг.)

Фактор А	Фактор В				Отклонение от фактора В	Среднее по фактору А	
	Без внесения сульфата магния		С внесением сульфата магния			т/га	±
	т/га	±	т/га	±			
1. Без удобрений (контроль)	2,00	-	2,47	-	0,47	2,24	-
2. Известь по 1 Н <sub>г</sub>	2,55	0,55	3,20	0,73	0,65	2,88	0,64
6. Известь + N <sub>1</sub> P <sub>1</sub> K <sub>1</sub>	4,31	2,31	4,95	2,48	0,64	4,63	2,39
7. N <sub>1</sub> P <sub>1</sub> K <sub>1</sub>	3,89	1,89	4,43	1,96	0,54	4,16	1,92
10. Известь + навоз 40 т/га	3,29	1,29	3,86	1,39	0,57	3,58	1,34
<b>Среднее по фактору В</b>	3,21	1,51	3,78	1,64	0,57	3,50	1,57

Окупаемость сульфата магния в расчёте на 1 кг MgO составила 14,1-19,3 кг з.е. в среднем за три ротации севооборота. Таким образом, длительное использование минеральных удобрений, систематическое известкование и внесение навоза при насыщенности севооборота 10 т/га на дерново-среднеподзолистой среднесуглинистой почве не исключает нуждемости растений в магнии и сере. Применение сульфата магния на этих фонах эффективно, так как способствует получению дополнительной продуктивности.

Системы удобрения в значительной степени определяют устойчивость агроценозов к неблагоприятным условиям. В условиях Удмуртии и в целом Вятско-Камской земледельческой провинции вегетационный период 2010 г. от-



личался экстремально высокими температурами при практически полном отсутствии выпадения осадков. В длительном опыте в этот год возделывалась озимая рожь, которая относительно хорошо перезимовала и сформировала неплохой уровень продуктивности. Нами подсчитана средняя продуктивность культур по различным системам удобрения в опыте за шесть предыдущих лет; проведено сравнение с 2010 г. (таблица 5).

Таблица 5 – Уровень продуктивности сельскохозяйственных культур при разных системах удобрения в условиях засухи 2010 г. (2004-2010 гг.)

Системы удобрения	Средняя ежегодная продуктивность (2004-2009 гг.), т з.е./га	Продуктивность в 2010 г., т з.е./га	Отклонение продуктивности 2010 г. от средней	
			т з.е./га	%
1. Без удобрений (к)	0,89	0,89	-	-
2. Известь	1,13	0,90	0,23	20
6. Известь + N <sub>1</sub> P <sub>1</sub> K <sub>1</sub>	2,11	1,84	0,27	13
7. N <sub>1</sub> P <sub>1</sub> K <sub>1</sub>	1,87	1,32	0,55	29
8. Известь + навоз 40 т/га + N <sub>1</sub> P <sub>1</sub> K <sub>1</sub>	2,39	2,08	0,31	13
10. Известь + навоз 40 т/га	1,64	1,25	0,39	24

Согласно расчётам, системы удобрения на фоне систематического известкования способствовали повышению устойчивости растений к засухе: снижение продуктивности в 2010 г. по отношению к средним данным составило 13-24 %. Однако в варианте с использованием только минеральных удобрений снижение составило 29 %. Это подчёркивает комплексное значение систематического известкования и дополняет опубликованные ранее научные данные (Сычѳв, 2016).

В длительных полевых опытах с использованием различных систем удобрения представляет интерес расчёт баланса органического вещества в почве.

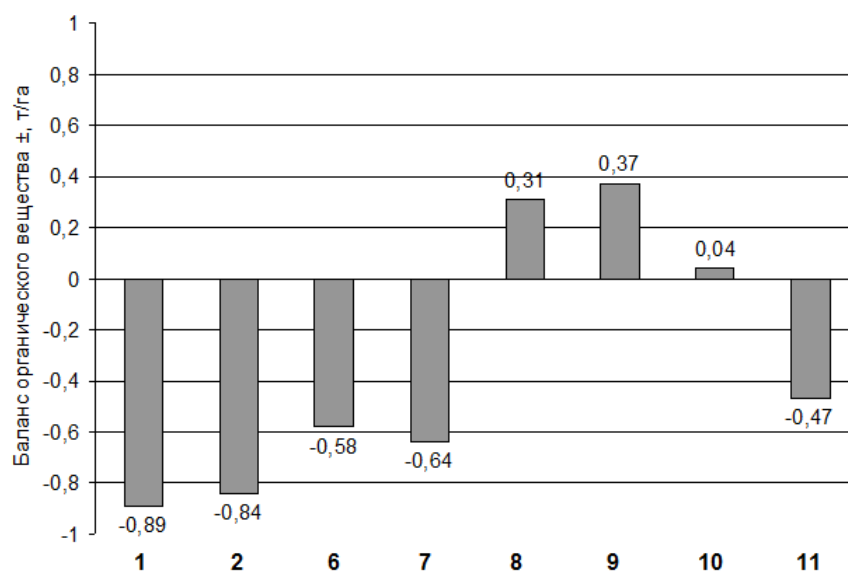


Рисунок 2 – Баланс органического вещества при длительном использовании систем удобрений в севообороте (2005-2017 гг.)

Во всех вариантах без внесения навоза поступление растительных остатков и соломы не компенсирует расход гумуса в результате минерализации, и баланс получается отрицательный, в среднем в год теряется 0,47-0,89 т гумуса с гектара. Систематическое внесение подстилочного навоза способствует воспроизводству гумуса почвы и формирует положительный баланс; накопление составляет 0,04-0,37 т гумуса в год.

При расчёте баланса элементов питания нами сделан расчёт, как с учётом соломы зерновых культур, так и без него. С учётом выноса с соломой в контрольном варианте и при периодическом внесении извести формируется отрицательный баланс азота, что способствует значительному истощению почвы. Использование только минерального удобрения или органической системы на фоне извести приводит практически к нулевому балансу; интенсивность баланса в этих вариантах составляет 96-111 %. Органоминеральные системы удобрения способствовали существенному накоплению азота – интенсивность баланса в этом случае соответственно 158 и 173 %. Если же рассмотреть баланс азота при возврате его с соломой, то по всем вариантам с использованием удобрений наблюдается существенное накопление; показатель интенсивности баланса свыше 200 %. Возможно такое накопление излишне, так как даже для почв с очень низкой обеспеченностью элементами питания рекомендуется норматив баланса по азоту 120-130 % (Дерюгин и др., 1987). На дерново-подзолистых почвах Ш.И. Литвак (1991) и В.Г. Сычёв (2000) рекомендуют поддерживать норматив баланса азота в пределах 90-115 %. Однако представленный расчёт проведён без учёта коэффициентов использования азота из удобрений, поэтому с полученными данными можно согласиться.

В расчётах получен отрицательный баланс фосфора в контрольном варианте и при систематическом известковании без внесения удобрений. Использование минеральной, органической и органоминеральной систем удобрения на фоне извести и без неё способствовало формированию положительного баланса, при этом интенсивность баланса составила 175-208 %. При учёте возврата фосфора с соломой интенсивность баланса превышает 300 %. Такое накопление фосфора может рекомендоваться только при выращивании культур на почвах с очень низким содержанием подвижного фосфора, где И.П. Дерюгин и др. (1987) рекомендуют поддерживать интенсивность баланса по фосфору в пределах 200-250 %. Однако с учётом коэффициентов использования из органических и минеральных удобрений активный баланс фосфора будет более приемлемым.

Интересен баланс калия в почве. Если учитывать вынос этого элемента с соломой зерновых культур, то отрицательный баланс формируется не только в контрольном варианте, но и при использовании минеральных систем удобрения на фоне известкования и без него. То же выявлено и при регулярном внесении навоза при поддержании насыщенности 1 га севооборотной площади 10 т в сочетании с известкованием. Лишь использование органоминеральных систем удобрения на фоне извести способствует формированию положительного баланса калия с интенсивностью 127-140 %. Такую интенсивность баланса на дерново-подзолистых почвах И.П. Дерюгин и др. (1987) рекомендуют поддерживать на

почвах с низкой и очень низкой обеспеченностью этим элементом. Однако картина изменяется, если учесть возврат калия с соломой. В этом случае отрицательный баланс формируется только в контрольном варианте и при известковании без удобрений. Органическая система удобрения, минеральные системы на фоне извести и без неё формируют баланс калия, близкий к нулевому, в пределах 98-119 %. Использование органоминеральных систем удобрения на фоне извести способствует существенному накоплению калия в почве; баланс положительный, с интенсивностью 170-178 %.

Таким образом, применение соломы в значительной степени изменяет баланс элементов питания, особенно это касается баланса гумуса и калия в почве. В современных условиях сельскохозяйственного производства это важный и вполне достижимый путь сохранения и повышения плодородия дерново-подзолистых почв, а также поддержания экологической устойчивости агроландшафтов.

### **5. Оценка возможности применения золы как отхода производства в современных системах удобрения**

В современных условиях сельскохозяйственного производства не всегда возможно использование промышленных минеральных удобрений; актуальным является применение альтернативных источников элементов питания. В наших исследованиях в качестве такого источника изучалась зола органосодержащих отходов, которая была получена в установке для сжигания, разработанной и сконструированной ООО «Энергоремонт» (г. Глазов, Удмуртская Республика).

В среднем за три года наиболее стабильное влияние на урожайность картофеля показало внесение золы в дозах  $P_{30}$  и  $P_{60}$ , где получены существенные прибавки урожайности 3,6 и 3,9 т/га. Эффективность золы не ниже эффективности смеси односторонних минеральных удобрений. Внесение золы во всех изучаемых дозах не повлияло на содержание сухого вещества в клубнях, также не обнаружено по вариантам опыта закономерных изменений в содержании крахмала. Содержание нитратов по всем вариантам не превышало предельно допустимую концентрацию (ПДК), равную 250 мг/кг, следовательно, полученная продукция безопасна.

Урожайность сельскохозяйственных культур звена севооборота в стационарном пятилетнем полевом опыте переведена в зерновые единицы (таблица 6).

Наибольшую отзывчивость на внесение золы показал лён-долгунец на фоне азотной подкормки, которая была проведена в фазу «ёлочки» в дозе  $N_{40}$  путём опрыскивания карбамидом. Последствие золы на урожайность яровой пшеницы не проявилось. Клевер проявил высокую отзывчивость на последствие удобрений; были получены существенные прибавки урожайности зелёной массы в оба года пользования. В целом внесение золы органосодержащих отходов с учётом её последствия способствовало существенному повышению продуктивности культур севооборота в среднем за год на 0,28-0,42 т з.е./га относительно контроля. Использование смеси минеральных удобрений оказало выраженное положительное влияние лишь при внесении в дозах по фосфору  $P_{60-90}$ . Эффек-

тивность золы в севообороте достоверно выше действия смеси простых удобрений, включающей суперфосфат и хлористый калий, в связи с комплексным действием ряда факторов при внесении золы и с более длительным её последствием.

Таблица 6 – Влияние золы органосодержащих отходов на продуктивность культур севооборота, т з. е. / га

Вариант	Ячмень (2013 г.)	Лён-долгунец (2014 г.)	Яровая пшеница (2015 г.)	Клевер 1 г.п. (2016 г.)	Клевер 2 г.п. (2017 г.)	Средняя продуктивность в год
1. Без удобрений (контроль)	0,85	0,75	1,31	2,71	2,29	1,58
2. Зола (P <sub>30</sub> )	1,05	0,92	1,40	2,99	2,93	1,86
3. Зола (P <sub>60</sub> )	1,18	1,14	1,40	3,21	2,91	1,97
4. Зола (P <sub>90</sub> )	1,04	1,23	1,48	3,26	3,00	2,00
5. NPK (P <sub>30</sub> )	1,04	0,77	1,41	2,92	2,48	1,72
6. NPK (P <sub>60</sub> )	1,15	1,03	1,36	3,10	2,45	1,82
7. NPK (P <sub>90</sub> )	1,29	0,78	1,36	3,15	2,70	1,86
НСР <sub>05</sub>	0,14	0,29	F <sub>ф</sub> <F <sub>т</sub>	0,28	0,41	0,21

Анализ почвы показал положительное действие золы на содержание подвижных форм калия и фосфора; выявлена тенденция накопления подвижных форм микроэлементов, содержание тяжёлых металлов не превышает ПДК. Таким образом, золу органосодержащих отходов можно считать одним из альтернативных источников элементов питания в современных системах удобрения.

## 6. Продукт анаэробной переработки навоза КРС в современных системах удобрения культур овощного севооборота

В современных условиях проявляется большой интерес к органическим системам удобрения. Использование любых органических удобрений является весьма энергоёмким и затратным процессом, поэтому данный приём экономически выгодно применять при возделывании сельскохозяйственных культур, проявляющих наиболее высокую отзывчивость на органические удобрения. Многими исследователями отмечено, что в овощеводстве существенное внимание должно быть уделено экологически безопасным системам земледелия, где важнейшая роль принадлежит использованию органических удобрений. При этом в качестве удобрения могут применяться не только навоз и компосты, но и нетрадиционные формы. В настоящее время одним из наиболее экологических способов переработки отходов животноводства является анаэробное сбраживание. При этом выделяется горючий газ, который можно использовать на нужды предприятия, а отход от переработки – эффлюент, шлам – является перспективным удобрением сельскохозяйственных культур.

Нами было предпринято изучение эффективности продукта анаэробной переработки навоза крупного рогатого скота (КРС) в качестве удобрения овощных культур. Данный продукт под названием «РосПочва» производится в

установке, работающей в д. Гуртлуд Сюмсинского района Удмуртской Республики. Проведены трёхлетние полевые опыты в звене овощного севооборота: репчатый лук – столовая морковь – белокочанная капуста. Эффективность применения продукта изучалась в органической системе удобрения.

Таблица 7 – Влияние удобрения «РосПочва» на урожайность овощных культур, т/га (среднее 2006-2008 гг.)

Полив (В)	Доза полива, т/га (А)	Лук репчатый	Морковь столовая
1. Вода	1. Без воды	19,6	53,4
	2. 40	22,0	57,8
	3. 80	24,0	61,0
	4. 120	22,5	52,7
	Среднее	22,1	56,2
2. «РосПочва»	1а. Без удобрений	19,9	53,5
	2а. 40	24,0	59,5
	3а. 80	27,9	65,6
	4а. 120	23,8	55,3
	Среднее	23,9	58,5

В среднем за три года прибавки урожайности репчатого лука составили под влиянием удобрения – 3,9-8,2 т/га при НСР<sub>05</sub> частных различий по фактору А – 1,9 т/га. Во все годы исследований наиболее благоприятным оказалось использование удобрения «РосПочва» в дозе 80 т/га в разбавленном виде, где получена прибавка 3,9 т/га при НСР<sub>05</sub> частных различий по фактору В – 1,1 т/га. Такие же закономерности выявлены и при учёте урожайности моркови. В среднем за три года при сравнении эффективности удобрения «РосПочва» с аналогичным количеством воды получена прибавка 2,3 т/га при НСР<sub>05</sub> главных эффектов по фактору В – 0,7 т/га. Наиболее эффективным вариантом оказалось внесение удобрения в дозе 80 т/га, где получена достоверная прибавка 4,6 т/га по отношению к варианту с поливом водой.

В 2008 г. исследования проводились также и в условиях производства – в крестьянском хозяйстве «Коробейников А.С.» Воткинского района Удмуртской Республики. Достоверное увеличение урожайности белокочанной капусты составило 10,9 т/га, что весьма существенно для производственных условий. Изменения показателей структуры урожайности находятся в пределах ошибки опыта, однако выражена тенденция к улучшению товарности.

Применение продукта анаэробной переработки навоза КРС способствует получению свежей овощной продукции с высокими качественными показателями; под влиянием удобрения выявлено достоверное увеличение содержания сухого вещества в луке репчатом на 0,8 % и капусте белокочанной на 0,5 %, аскорбиновой кислоты в луке – на 2,6 мг/100 г. Выражена также тенденция увеличения содержания водорастворимых сахаров в луке и каротина в столовой моркови. Содержание нитратов во всех видах продукции не превышает ПДК, следовательно, полученная продукция безопасна для использования.

Внесение удобрения «РосПочва» не оказало заметного влияния на агрохимические показатели дерново-подзолистой супесчаной почвы. Представляло

интерес выявить влияние данного удобрения на биологические свойства. При возделывании всех культур нами было проведено определение целлюлолитической активности. В качестве примера на рисунке 3 представлено изменение этого показателя в опыте с луком репчатым.

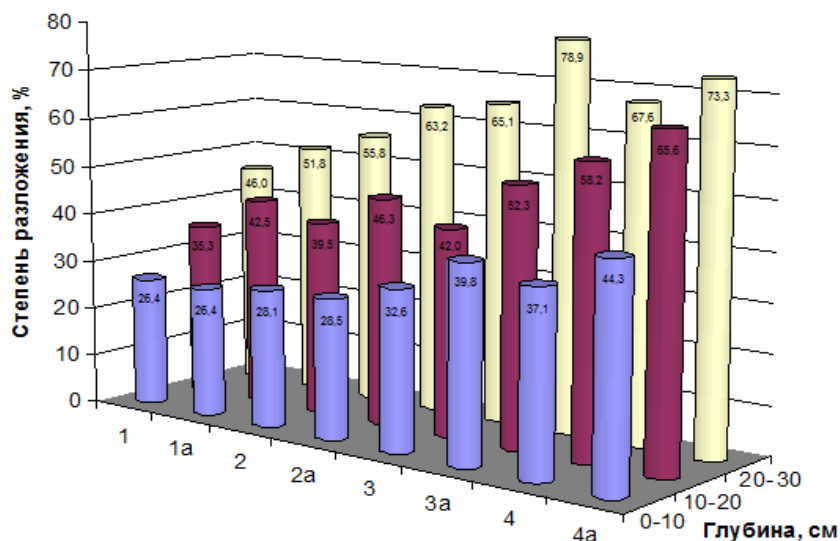


Рисунок 3 – Влияние удобрения «РосПочва» на степень разложения льняных полотен в дерново-подзолистой почве под луком репчатым, % (2008 г.)

Было выявлено достоверное влияние, как доз (фактор А), так и вида жидкости (фактор В), и глубины закладки полотен (фактор С). Степень разложения полотен возрастала с глубиной их закладки. В слое 0-10 см этот показатель составил 26,4-44,3 %, что соответствует слабой и средней степени разложения по Д.С. Звягинцеву (Справочное..., 2005); в слое 10-20 см – 35,3-65,6 % – степень разложения средняя и сильная; а в слое почвы 20-30 см полотна практически разложились – 46,0-78,9 %. Степень разложения полотен достоверно зависела от полива удобрением «РосПочва» по сравнению с водой. В среднем этот показатель возрастал на 6,6 % под влиянием удобрения при  $НСР_{05}$  по фактору В – 3,6%. Аналогичные закономерности выявлены в опытах с морковью и капустой.

Как известно, биологическую активность почвы характеризует также интенсивность выделения  $CO_2$ , так как решающая роль в продуцировании диоксида углерода принадлежит биологическим факторам. Нами были проведены учёты данного показателя под всеми культурами по Штатнову в модификации Макарова. На рисунке 4 приведены результаты в опыте с луком репчатым.

Выделение углекислого газа из почвы находилось в зависимости от доз поливов. Ярко выражено положительное влияние на данный показатель изучаемого удобрения «РосПочва». Так, в среднем от внесения удобрения интенсивность выделения углекислого газа составила  $82,9 \text{ мг } CO_2/m^2 \cdot \text{час}$ , а от поливов водой –  $70,3 \text{ мг } CO_2/m^2 \cdot \text{час}$  при  $НСР_{05}$  по фактору В –  $3,6 \text{ мг } CO_2/m^2 \cdot \text{час}$ .

Аналогичные закономерности выявлены и в опытах с морковью. Следовательно, использование удобрения «РосПочва» способствовало возрастанию биологической активности дерново-подзолистой супесчаной почвы.

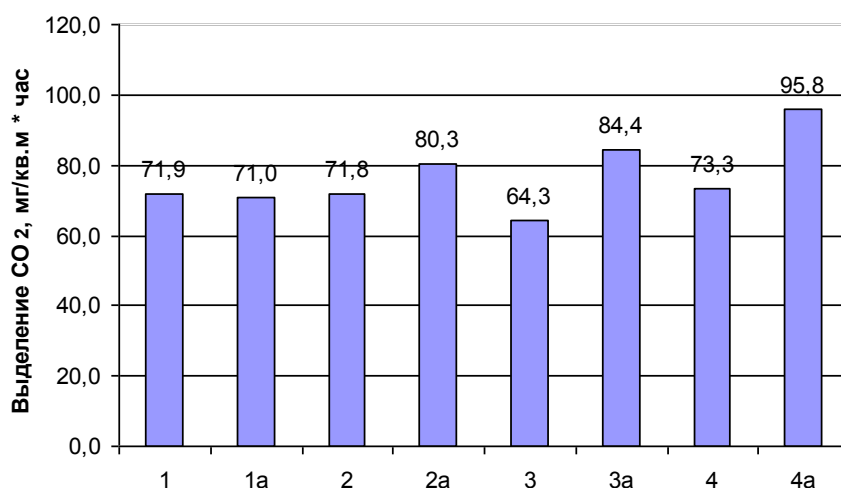


Рисунок 4 – Влияние органического удобрения «РосПочва» на дыхание дерново-подзолистой супесчаной почвы под луком репчатым, в среднем за 2007-2008 гг., мг CO<sub>2</sub>/м<sup>2</sup> · час

Таким образом, в органических системах удобрения овощных севооборотов возможно применение продукта анаэробной переработки навоза КРС с целью повышения урожайности культур и получения качественной и безопасной продукции, а также для сохранения и воспроизводства плодородия дерново-подзолистых почв.

## 7. Роль и место удобрений в современной системе земледелия в условиях производства

В настоящее время в условиях производства получать высокие и стабильные урожаи и в то же время поддерживать уровень плодородия почв на достаточном уровне для большинства сельскохозяйственных предприятий довольно проблематично. Основной причиной является диспаритет цен на сельскохозяйственную продукцию и минеральные удобрения, а также горючее. В этих условиях использование классических систем удобрения не является экономически эффективным, что отрицательно сказывается не только на уровне урожайности, но и проявляется в снижении плодородия почв.

Лишь некоторые хозяйства способны поддерживать системный и комплексный подход к применению всех технологических приёмов возделывания сельскохозяйственных культур, в том числе использования всех видов удобрений, и на этой основе получать высокую и устойчивую продуктивность пахотных угодий. В Удмуртской Республике таким предприятием является СХПК имени Мичурина Вавожского района. В этом хозяйстве внедрена адаптивно-ландшафтная система земледелия, широко используются приёмы энерго- и ресурсосберегающей технологии обработки почв с учётом почвенно-климатических и хозяйственных условий. Данное предприятие более 30 лет работает в тесном контакте с учёными ФГБОУ ВО Ижевская ГСХА; издан ряд

совместных публикаций; на базе хозяйства проводятся научно-практические конференции и семинары с участием специалистов и учёных Удмуртской Республики и в целом Приволжского региона России.

Многолетнее систематическое внесение извести и органических удобрений, соблюдение севооборотов, использование продуктивных сортов, расширение посевов бобовых культур, рациональное использование макро- и микроудобрений позволили осуществить расширенное воспроизводство плодородия дерново-сильнопodzolistых почв. В настоящее время наибольшую площадь посевов занимают многолетние травы, доля которых в структуре посевных площадей составляет 51,4 %. Дозы удобрений устанавливаются ориентировочно с учётом планируемой урожайности и обеспеченности почвы элементами питания по рекомендациям для Удмуртской Республики и Среднего Предуралья.

На примере данного предприятия нами рассчитан баланс гумуса за пять календарных лет (таблица 8). За контроль взят 1990 г., как год максимального использования удобрений в Удмуртской Республике.

Таблица 8 – Баланс гумуса в почвах СХПК им. Мичурина

Показатель	Годы				
	1990	1995	2000	2005	2015
Образовалось гумуса из ПКО, т	1168	1123	1616	1826	2792
Образовалось гумуса из навоза, т	2399	2938	2655	3318	2065
Образовалось гумуса из соломы, т	0,0	424	520	857	278
Образовалось гумуса из сидератов, т	0,0	78	81	84	5
<b>Итого образовалось гумуса, т</b>	<b>3567</b>	<b>4562</b>	<b>4872</b>	<b>6085</b>	<b>5140</b>
<b>Всего минерализовалось, т</b>	<b>2846</b>	<b>2864</b>	<b>3065</b>	<b>3248</b>	<b>3892</b>
<b>Баланс ±, т</b>	<b>721</b>	<b>1698</b>	<b>1807</b>	<b>2837</b>	<b>1248</b>
<b>Баланс ±, т/га</b>	<b>0,24</b>	<b>0,57</b>	<b>0,56</b>	<b>0,88</b>	<b>0,34</b>

В 1990 г. в СХПК имени Мичурина ещё не практиковали внесение соломы. А с 1995 г. доля этого источника органического вещества планомерно возрастала и к 2005 г. составила 14 % от общего поступления гумуса. К 2015 г. объёмы внесения соломы несколько снизились, однако этот источник также является существенным пополнением гумуса; в 2015 г. на его долю пришлось 5,4 % от общего поступления. Расчёт возможного поступления гумуса с пожнивными остатками (ПКО) в почву нами сделан по уравнениям регрессии, предложенным А.М. Лыковым (1982). Результаты показали, что доля ПКО с течением времени колебалась в пределах 24,6-54,3 % от всей массы образовавшегося гумуса.

Для объективной оценки состояния баланса элементов питания в качестве приходной статьи нами было включено поступление биологического азота в почву с растительными остатками бобовых культур в зависимости от урожайности, показателей выноса азота и коэффициентов азотфиксации (Интегрированное применение..., 2005). Учет этого источника азота увеличил приход и, соответственно, интенсивность его баланса (табл.9).

К 2015 г. доля поступления азота за счёт азотфиксации возросла до 16,9 %. Минеральные удобрения остались одним из важнейших источников



этого элемента. Однако поступление азота сверх выноса по сравнению с 1990 г. снижается и достигает практически нулевого баланса. В то же время дефицит азота небольшой и для современных условий вполне приемлемый. Можно предположить, что каждый килограмм поступившего азота «работает на урожайность», а потери его минимальны.

Таблица 9 – Баланс азота в почвах СХПК им. Мичурина, 1990-2015 гг.

Показатели	Ед. изм.	Годы				
		1990	1995	2000	2005	2015
<b>Поступление:</b>						
С мин. удобреньями	т	124,7	106,4	88,1	67,2	130
С орг. удобреньями: - с компостами (навозом)	т	133,3	163,2	147,5	184,3	115
Биологический азот	т	21,9	15,4	37,2	39,2	54,9
<b>Всего поступило</b>	<b>т</b>	<b>279,8</b>	<b>285,1</b>	<b>272,9</b>	<b>290,8</b>	<b>294,6</b>
<b>Общий вынос</b>	<b>т</b>	<b>178,5</b>	<b>134,4</b>	<b>202,2</b>	<b>255,0</b>	<b>317</b>
<b>Баланс ±</b>	<b>т</b>	<b>101,3</b>	<b>150,7</b>	<b>70,7</b>	<b>35,9</b>	<b>-22,5</b>
<b>Баланс ±</b>	<b>кг/га</b>	<b>33,8</b>	<b>50,3</b>	<b>22,0</b>	<b>11,2</b>	<b>-5,1</b>
<b>Интенсивность баланса</b>	<b>%</b>	<b>157</b>	<b>212</b>	<b>135</b>	<b>114</b>	<b>93</b>

В 1990 г. интенсивность баланса фосфора составляла 124 %, что связано с невысоким выносом с урожаем (табл. 10). В последующие годы поступление фосфора в почву также превышало вынос. Основным источником фосфора было внесение навоза и компостов, на долю которых приходилось 60-70 % от общего количества внесённого фосфора. Однако уже в 2005 г. баланс фосфора был отрицательным; к 2015 г. интенсивность баланса составила 79 %. Как известно, фосфор, внесённый в почву, закрепляется в ней, в том числе и в труднодоступной для растений форме, поэтому ряд исследователей рекомендуют показатели интенсивности баланса 150-200 %, особенно для почв, низкообеспеченных этим элементом (Овчаренко, Темников, 2008).

Таблица 10 – Баланс фосфора ( $P_2O_5$ ) в почвах СХПК им. Мичурина 1990-2015 гг.

Показатели	Ед. изм.	Годы				
		1990	1995	2000	2005	2015
<b>Поступление:</b>						
С мин. удобреньями	т	38,4	40,2	41,9	6,7	44,0
С орг. удобреньями (компостами, навозом)	т	53,3	65,3	59,0	73,7	45,9
<b>Всего поступило</b>	<b>т</b>	<b>91,7</b>	<b>105,5</b>	<b>100,9</b>	<b>80,4</b>	<b>89,9</b>
<b>Общий вынос</b>	<b>т</b>	<b>73,9</b>	<b>54,5</b>	<b>79,9</b>	<b>94,8</b>	<b>114,2</b>
<b>Баланс ±</b>	<b>т</b>	<b>17,8</b>	<b>51,0</b>	<b>21,0</b>	<b>-14,4</b>	<b>-24,3</b>
<b>Баланс ±</b>	<b>кг/га</b>	<b>5,9</b>	<b>17,0</b>	<b>6,5</b>	<b>-4,5</b>	<b>-5,5</b>
<b>Интенсивность баланса</b>	<b>%</b>	<b>124</b>	<b>194</b>	<b>126</b>	<b>85</b>	<b>79</b>

Для СХПК имени Мичурина в последующие годы можно рекомендовать повысить долю внесения фосфора с минеральными удобрениями, в основном за счёт использования комплексных фосфорсодержащих форм. Следует также рас-

смотреть вопрос использования фосфоритования, которое не потеряло значение и в современных условиях, как это отмечают многие исследователи (Гаврилова и др., 2018).

Несмотря на постоянное внесение соломы озимых культур в почву, баланс калия в СХПК им. Мичурина (табл. 11) во все годы наблюдений получен отрицательный, за исключением 1995 г., когда интенсивность баланса калия составила 105 %. В поступлении калия главная роль принадлежала органическим удобрениям (навоза, компостов), на долю которых в 1990-2005 гг. приходилось от 66 до 77 %. Лишь к 2015 г. доля внесения калия с минеральными удобрениями возросла до 53 %. По данным этого года интенсивность баланса составила всего 48 %. В хозяйстве на больших площадях возделывают культуры с высоким выносом калия – многолетние и однолетние травы, кукурузу, картофель, кормовые корнеплоды. Даже с учётом того, что солому зерновых культур в СХПК им. Мичурина ежегодно вносят как органическое удобрение, и вынесенный с соломой калий возвращается при этом в почву, показатели интенсивности баланса по этому элементу неудовлетворительны.

Таблица 11 – Баланс калия (K<sub>2</sub>O) в почвах СХПК им. Мичурина 1990-2015 гг.

Показатели	Ед. изм.	Годы				
		1990	1995	2000	2005	2015
<b>Поступление:</b>						
С мин. удобрениями	т	40,7	40,0	39,4	32,5	77,0
С орг. удобрениями (компостами, навозом)	т	80,0	97,9	88,5	110,6	68,8
<b>Всего поступило</b>	<b>т</b>	<b>120,7</b>	<b>137,9</b>	<b>127,9</b>	<b>143,1</b>	<b>145,8</b>
<b>Общий вынос</b>	<b>т</b>	<b>181,3</b>	<b>131,8</b>	<b>195,4</b>	<b>244,0</b>	<b>304,8</b>
<b>Баланс ±</b>	<b>т</b>	<b>-60,7</b>	<b>6,1</b>	<b>-67,5</b>	<b>-100,9</b>	<b>-159,0</b>
<b>Баланс ±</b>	<b>кг/га</b>	<b>-20,3</b>	<b>2,0</b>	<b>-21,1</b>	<b>-31,5</b>	<b>-36,2</b>
<b>Интенсивность баланса</b>	<b>%</b>	<b>67</b>	<b>105</b>	<b>65</b>	<b>59</b>	<b>48</b>

Проблема отрицательного баланса калия характерна для всей России. Для сохранения достаточного уровня содержания подвижного калия в почвах СХПК имени Мичурина можно рекомендовать повысить долю его внесения с органическими удобрениями, а также предпочтительнее использовать минеральные комплексные удобрения, включающие калий.

Представляло интерес оценить в условиях производства связь продуктивности зерновых культур с основными агрохимическими показателями дерново-подзолистых почв. В 2015 г. был проведён анализ почвы и учёт урожайности зерновых культур на 30 ключевых площадках (таблица 12).

Был проведён множественный корреляционно-регрессионный анализ. Корреляционная связь урожайности зерна и указанных показателей выражена следующим уравнением регрессии:

$$y = 0,7278 + 0,7532 * x_1 - 0,1949 * x_2 + 0,0998 * x_3 + 0,0126 * x_4 + 0,0017 * x_5 - 0,00014 * x_6$$

Коэффициент множественной корреляции  $R = 0,8484$ .

Таблица 12 - Статистические характеристики урожайности и агрохимических показателей почвы (2015 г.)

Показатели	Lim	$X \pm \delta_x$	V, %
Урожайность, т/га (y)	2,12-3,64	2,69±0,09	19,1
Гумус, % ( $x_1$ )	2,70-3,40	3,07±0,04	6,11
pH <sub>KCl</sub> ( $x_2$ )	5,55-7,07	5,95±0,06	5,34
H <sub>г</sub> , ммоль/100 г ( $x_3$ )	1,13-2,92	2,17±0,08	19,2
S, ммоль/100 г ( $x_4$ )	11,8-24,7	17,3±0,67	21,0
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> , мг/кг ( $x_5$ )	64-758	235±35	79,4
K <sub>2</sub> O, мг/кг ( $x_6$ )	60-812	217±38	95,6

Таким образом, выявлена тесная связь урожайности зерна с агрохимическими показателями дерново-среднеподзолистой среднесуглинистой почвы.

Нами был рассчитан относительный индекс окультуренности почв на ключевых площадках СХПК имени Мичурина по Т.Н. Кулаковской (1990). Анализ почв проб и расчёты показали, что на обследуемых полях содержание гумуса и кислотность довольно стабильны, а содержание подвижных фосфора и калия изменяется от средней и низкой обеспеченности до очень высокой, в связи с чем индексы окультуренности по этим показателям также колеблются довольно в широких пределах и в некоторых случаях составляют больше единицы (сделана корректировка до 1,00). Коэффициент корреляции урожайности зерна с  $I_{отн}$  составил 0,81; таким образом, урожайность в значительной степени определяется уровнем плодородия почвы.

Эффективность удобрений обусловлена разнообразными факторами и процессами, проходящими в почве, многие из которых определяются деятельностью почвенной микрофлоры. В связи с этим в почвенных пробах, отобранных с 30 ключевых площадок на двух полях СХПК имени Мичурина, были определены не только агрохимические показатели, но и биологические свойства. Целлюлолитическая активность колеблется в пределах 23,3-42,0 %, что по шкале Звягинцева соответствует слабой и средней степени интенсивности разрушения клетчатки. Выделение углекислого газа колеблется в пределах 24,0-56,6 мг/10 г, что можно оценить как высокую и очень высокую биологическую активность. Нитрификационная способность почвы изменяется в пределах 14,9-26,1 мг/кг; преобладает повышенная степень интенсивности накопления нитратов. Нами определена также активность некоторых ферментов. Уреазную активность по полученным данным следует оценить как слабую. Обычно такие показатели характеризуют почвы слабой степени окультуренности. По полученным данным можно судить о низкой степени активности инвертазы в почве.

Таким образом, некоторые показатели биологической активности почв на ключевых площадках также подтверждают низкую степень окультуренности почв. При относительно высокой урожайности сельскохозяйственных культур в СХПК имени Мичурина возможно прогнозировать истощение почв хозяйства, особенно по калию и фосфору.

## 8. Эконометрические и математические модели оценки связи продуктивности сельскохозяйственных культур, агрохимических и биологических свойств почв

Рядом исследователей предложены модели оценки связи продуктивности с параметрами почвенного плодородия, изменяющимися в динамике, для различных условий на основе данных почвенно-географического районирования ГИС (Мюллер и др., 2010; Рухович и др., 2012; Романенков, 2015; Рухович и др., 2014; Мюллер и др., 2016). Авторами отмечено сильное варьирование показателей почвенного плодородия, динамика структуры использования земель, параметры экологического состояния почв, которые возможно учесть, в частности, при использовании Мюнхебергской системы рейтинга качества почв.

В современных условиях в связи с существенным снижением плодородия почв во многих регионах Российской Федерации возникает необходимость совершенствования методических приёмов оценки эффективности использования почв, в том числе за счёт более широкого применения математического моделирования (Непоклонов и др., 2018). В качестве исходных данных возможно использование результатов почвенного мониторинга. Ниже изложены наши результаты моделирования на основе данных, полученных в длительном опыте и в условиях сельскохозяйственного производства.

В длительном полевом опыте за более чем 35 лет использования систем удобрения на разных делянках сформировался определённый уровень показателей плодородия почв. Представляло интерес рассмотреть связь урожайности культур севооборота с основными агрохимическими показателями. Был проведен корреляционно-регрессионный анализ. Можно отметить, что содержание подвижного фосфора по Кирсанову является одним из показателей, наиболее стабильно определяющих уровень урожайности; в большинстве случаев выявлена прямая средняя и тесная корреляционная связь (табл. 13).

Таблица 13 – Коэффициенты корреляции урожайности сельскохозяйственных культур с агрохимическими показателями плодородия дерново-среднеподзолистой среднесуглинистой почвы (при 5 % уровне значимости) (2005-2017 гг.)

Показатели	Культуры					
	Викоовсяная смесь	Озимая рожь	Озимая тритикале	Картофель	Кормовая свекла	Ячмень
Гумус	0,53	0,46	0,72	0,73	0,71	0,44
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,58	0,61	0,50	0,86	0,76	0,59
K <sub>2</sub> O	0,65	0,38	0,38	0,59	0,65	0,58

Многообразие свойств почв, их сочетание и относительная нестабильность в связи с постоянным течением разнообразных процессов не всегда можно оценить конкретным индексом окультуренности или урожайностью как единственным критерием оценки продуктивности почв. Особенно трудно оценить показатели биологической активности почв, которые являются неотъемлемой составляющей плодородия. Представляло интерес оценить возможную связь агрохимических и биологических свойств почв ключевых площадок в

СХПК имени Мичурина между собой и их влияние на уровень продуктивности зерновых культур в комплексе.

Для этого были проведены расчёты в эконометрической среде GRETЛ. Комплексный анализ агрохимических свойств образцов может быть формализован как задача по выявлению структур их расположения в многомерном пространстве, определяемом множеством параметров. Одним из методов, помогающих в решении подобных задач, является метод визуализации многомерных структур (ВМС) (Sergeev et al., 1995; Беляев и др., 1999; Артющкин, 2010). На рисунке 5 можно рассмотреть, какие результаты дает применение метода ВМС в случае анализа выборки (использовано 18 параметров почвенного плодородия, характеризующих 30 ключевых площадок).

Рядом с точками образцами членов нашей выборки стоят цифры, соответствующие величинам урожайности. Следует учесть, что показатель урожайности не включался во множество параметров, описывающих объекты. Урожайность использовалась здесь в качестве маркировки, имени членов выборки. И то, что, несмотря на исключение урожайности, точки разложились в структуру с очевидной группировкой именно по этому показателю, указывает на обусловленность таких значений комплексом значений факторов.

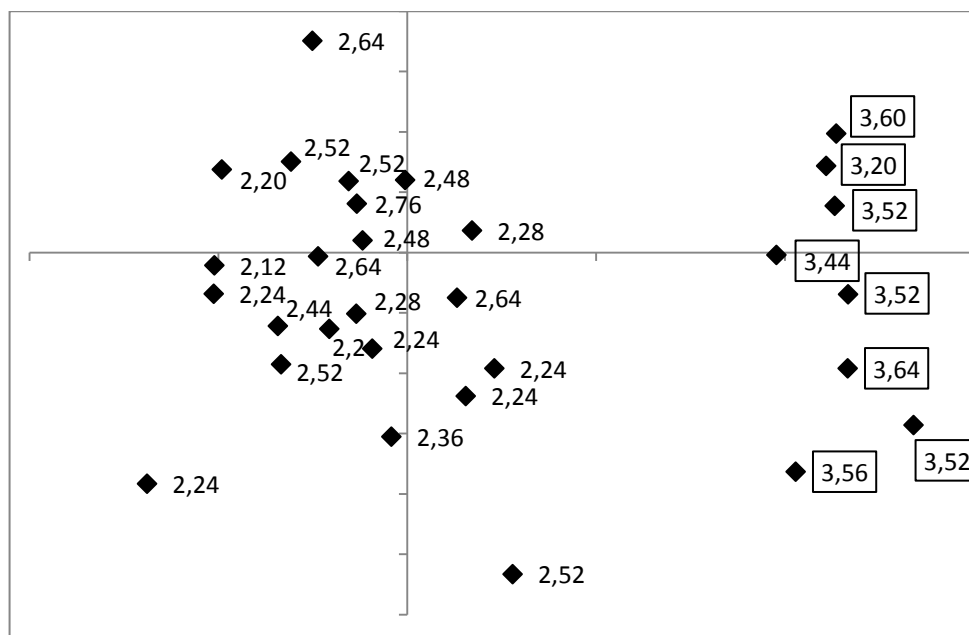


Рисунок 5 – Модель структуры выборки 18-ти мерного пространства на плоскости

Судя по модели, высокая урожайность нелинейно определяется через значения факторов. Требуется дополнительные исследования для оценки функциональной формы этой зависимости, роли отдельных факторов в ней и других вопросов. Можно отметить, что планомерная работа СХПК имени Мичурина по воспроизводству плодородия почв позволила перевести почвы определённого участка на качественно новый, более высокий уровень, что подтверждается составленной моделью.

## 9. Экономическая и энергетическая оценка систем удобрения

Обоснование целесообразности применения различных систем удобрения в условиях хозяйствующего субъекта должно базироваться на их экономической оценке. Для расчёта взяты основные варианты систем удобрения в длительном опыте, агрономическая эффективность которых рассматривалась в главах 3 и 4. Используются средние данные по урожайности культур и средние дозы минеральных удобрений под эти культуры за 2005-2017 гг. Расчёт производственных затрат осуществлялся на основе технологических карт.

С экономической точки зрения возделывание викоовсяной смеси убыточно как без удобрений, так и практически при всех системах удобрения. Это связано с относительно невысокой стоимостью полученной продукции и большими затратами на возделывание данной культуры.

Возделывание озимой ржи рентабельно даже без применения удобрений, хотя уровень урожайности на контрольном варианте относительно низкий. Органическая система удобрения озимой ржи неэффективна с экономической точки зрения; уровень рентабельности низкий – 21 %. Наиболее эффективным оказалось использование минеральных систем удобрения, как по фону извести, так и без него; в этих вариантах получен дополнительный чистый доход по отношению к контролю без удобрений в пределах 5,03-8,7 тыс. руб./га. Возделывание картофеля без применения удобрений приводит к невозможности окупить производственные затраты производимой продукцией. Наиболее затратной является органоминеральная система удобрения на фоне извести. Использование органической системы удобрения не способствует получению высокого уровня рентабельности. Ячмень во все годы возделывания стабильно отзывался на удобрения; системы удобрения способствовали получению существенных прибавок урожайности зерна. По всем вариантам возделывание данной культуры экономически выгодно.

Энергетическая оценка систем удобрения викоовсяной смеси показала, что использование минеральных систем удобрения в сочетании с известью и без неё способствует повышению количества производимой энергии; коэффициент энергетической эффективности выше на 0,67-0,86 по отношению к варианту без удобрений. Органоминеральные системы удобрения на фоне извести также способствуют повышению коэффициента энергетической эффективности на 0,28-0,31 единицы. При возделывании озимой ржи лишь органическая система удобрения на фоне извести не является выгодной; в остальных вариантах, включая контроль, возделывание озимой ржи энергетически выгодно. Следует отметить минеральные системы удобрения на фоне извести и без неё, которые способствовали повышению урожайности и накоплению энергии в продукции; коэффициент энергетической эффективности превышает контроль на 0,64-0,85 единицы. Возделывание картофеля энергетически выгодно во всех рассматриваемых вариантах, включая контроль без удобрений. Коэффициент энергетической эффективности при использовании органической системы удобрения на фоне извести выше на 0,23 единицы, а при использовании минеральных систем удобрения – на 0,34-0,51; органоминеральных систем – на 0,16-0,26. При возделывании ячменя

наиболее энергетически выгодно использование минеральных систем удобрения на фоне извести и без неё, где коэффициенты энергетической эффективности выше на 0,54-0,74 единицы по отношению к варианту без удобрений.

### Заключение

На основании проведенных в 2005-2017 гг. исследований в длительном полевом опыте выявлено существенное влияние систем удобрения на изменение показателей плодородия дерново-среднеподзолистой среднесуглинистой почвы. Особенно значительное влияние на кислотные свойства почвы оказало систематическое известкование (один раз в восемь лет в четырёхпольном зернопаропропашном полевом севообороте); снизились показатели гидролитической кислотности и содержание подвижного алюминия, повысились показатели  $pH_{KCl}$ , суммы обменных оснований и степени насыщенности почв основаниями. При использовании минеральных систем удобрения без известкования выражено подкисление почвы. Следует отметить накопление подвижного алюминия в опасных для культурных растений количествах; на этот факт необходимо обратить внимание в условиях сельскохозяйственного производства, так как содержание подвижного алюминия в условиях Вятско-Камской земледельческой провинции на дерново-подзолистых почвах при отказе от известкования может стать лимитирующим фактором для формирования урожайности сельскохозяйственных культур.

При систематическом использовании минеральных и органоминеральных систем удобрения за более чем 35 лет произошло существенное накопление подвижного фосфора в почве. По сравнению с исходным средним содержанием обеспеченность почвы этим элементом возросла до повышенного и высокого уровня. В то же время содержание подвижного калия изменялось незначительно, что, вероятно, связано с перемещением этого элемента по профилю почвы и высоким выносом с урожайностью культур севооборота.

Получены новые данные для условий Вятско-Камской земледельческой провинции по изменению биологических свойств дерново-подзолистых почв под влиянием систем удобрения при длительном их использовании. Так, наибольшая численность микроорганизмов в почве отмечается по фону органоминеральных систем удобрения, применение органической и минеральной системы удобрения на фоне извести стимулирует целлюлолитическую и ферментативную активность почвы.

Выявлено положительное влияние систем удобрения на урожайность культур севооборота (викоовсяную смеси, озимой ржи и озимой тритикале, картофеля и кормовой свёклы, ячменя) и их общую продуктивность. Следует отметить, что органическая система удобрения на фоне извести (насыщенность севооборота 10 т/га) во все годы исследований уступала органоминеральным и минеральным системам на фоне извести по уровню продуктивности. В то же время баланс органического вещества в почве без применения навоза складывается отрицательный. Баланс азота и фосфора в почве складывается положительный при использовании всех систем удобрения, а по калию – только при

органоминеральных системах на фоне извести, включающих полное минеральное удобрение в сочетании с навозом (насыщенность севооборота 10 т/га). При этом внесение соломы является существенным источником, как органического вещества, так и поступления калия в почву.

В современных условиях в качестве источников элементов питания могут использоваться нетрадиционные формы удобрений, в том числе отходы производства. В результате изучения эффективности внесения золы органосодержащих отходов в качестве удобрения на дерново-подзолистых почвах выявлено положительное её влияние в прямом действии и в последствии на урожайность картофеля и культур звена севооборота (ячменя, льна-долгунца, яровой пшеницы и клевера лугового). Зола органосодержащих отходов можно рассматривать как источник поступления в почву фосфора и калия, а также микроэлементов. Выражен также подщелачивающий эффект золы на кислотные свойства почвы.

Органические системы удобрения могут быть использованы в малых формах хозяйствования – фермерских предприятиях, особенно при возделывании овощных культур. В рамках органической системы изучена эффективность использования продукта анаэробной переработки навоза КРС – удобрения «РосПочва» в звене овощного севооборота на окультуренных дерново-среднеподзолистых супесчаных почвах. Выявлено положительное действие данного удобрения при внесении путём полива разбавленным в 20 раз перед посевом или посадкой на урожайность и качество продукции (содержание сухого вещества, аскорбиновой кислоты, водорастворимых сахаров, каротина) столовой моркови, репчатого лука и белокочанной капусты. Установлено также повышение показателей биологической активности почвы – интенсивности дыхания и целлюлолитической активности под влиянием продукта анаэробной переработки навоза КРС – удобрения «РосПочва».

В современных условиях сельскохозяйственного производства Вятско-Камской земледельческой провинции на примере СХПК имени Мичурина Вавожского района при насыщенности пашни органическими удобрениями в пределах 5,5-5,7 т/га и минеральными удобрениями 48-65 кг д.в./га баланс органического вещества и элементов питания складывается близко к нулевому или отрицательный. В этих условиях возрастает роль дополнительных источников органического вещества (например, соломы), а также роль биологического азота за счёт увеличения доли бобовых многолетних трав в структуре посевных площадей до 50 % и более. Анализ почв хозяйства на ключевых площадках показал, что индекс окультуренности по содержанию подвижного калия низкий; биологическая активность также показала низкую степень окультуренности почв. В связи с этим при получении относительно высокого уровня урожайности сельскохозяйственных культур в СХПК имени Мичурина возможно прогнозировать истощение почв, особенно по калию.

Почва является сложнейшей многофазной системой, которую характеризуют различные показатели, в том числе агрохимические и биологические свойства. Методы интегральной оценки уровня плодородия почв должны отве-



чать современным требованиям и базироваться на постоянно возобновляемой информации. Как один из возможных путей оценки качественного уровня плодородия почв можно предложить метод визуализации многомерных структур. В связи с этим требуется согласованная работа научных сотрудников и специалистов сельскохозяйственного производства на региональном и государственном уровне.

### Выводы

1. Под влиянием длительного использования систем удобрения выявлено изменение агрохимических показателей дерново-среднеподзолистой среднесуглинистой почвы. Применение только минеральной системы удобрения способствовало существенному подкислению: показатель  $pH_{KCl}$  соответствует сильнокислой реакции, гидролитическая кислотность превышает 3,0 ммоль/100 г, степень насыщенности почв основаниями снизилась до 74-77 %. Систематическое известкование снижало негативное воздействие минеральных удобрений на эти показатели.

2. Без внесения удобрений в течение более чем 35 лет в почве на контрольном варианте поддерживался исходный средний уровень содержания подвижного фосфора. Систематическое известкование привело к тенденции повышения его содержания, а использование полного минерального удобрения, особенно в сочетании с известью и навозом способствовало увеличению содержания до 161-241 мг/кг, что соответствует повышенной и высокой обеспеченности почвы этим элементом.

3. По сравнению с исходным выражена тенденция снижения содержания подвижного калия по всем основным вариантам. При систематическом внесении этого элемента в составе минеральных удобрений в полной и половинной дозе обеспеченность почвы осталась на прежнем уровне (средняя), а в большинстве вариантов даже снизилась до II группы (низкая).

4. Наиболее благоприятно шло воспроизводство плодородия в пахотном и подпахотном слоях почвы при использовании органоминеральных систем удобрения на фоне систематического известкования. При использовании только минеральных систем удобрения в пахотном и подпахотном слоях выражено подкисление и накопление подвижного алюминия до 2,72 и 1,17 мг/100 г соответственно.

5. Удобрения являются существенным фактором повышения продуктивности агроценозов. За три ротации длительного использования систем удобрения в зернопаропропашном севообороте получены высокие прибавки урожайности в среднем в год: зелёной массы викоовсяной смеси – 5,6-13,1 т/га; зерна озимой ржи – 0,34-2,20 т/га; клубней картофеля – 1,7-6,4 т/га; зерна ячменя – 0,4-2,96 т/га. Наиболее высокую отзывчивость на удобрения показали викоовсяная смесь и пропашные культуры – картофель и кормовая свёкла.

6. Применение сульфата магния способствовало существенному повышению урожайности культур. На всех фонах систем удобрений под влиянием

сульфата магния ежегодно было сформировано дополнительно 0,47-0,65 т з.е./га; средняя ежегодная прибавка составила 0,57 т з.е./га.

7. Под влиянием систематического применения удобрений выявлено повышение нормативного выноса элементов питания с урожаем всех культур севооборота. Средние показатели выноса азота, фосфора и калия составили соответственно: на 1 т зелёной массы викоовсяной смеси – 3,2; 0,9 и 2,9 кг; зерна озимой ржи – 24,6; 11,3 и 24,3 кг/т; зерна озимой тритикале – 21,2; 12,5 и 26,4 кг/т; клубней картофеля – 3,4; 1,05 и 5,3 кг/т; корнеплодов кормовой свёклы – 3,0; 1,4 и 4,8 кг/т; зерна ячменя – 25,0; 10,4 и 22,9 кг/т.

8. Коэффициенты использования элементов питания из удобрений в значительной степени зависели от условий возделывания и особенностей культуры. Наиболее высокие показатели получены при возделывании озимых зерновых культур и кормовой свёклы: из минеральных удобрений N – 62-78 %; P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> – 33-62% и K<sub>2</sub>O – 45-76 %. Из органических удобрений коэффициенты использования низкие; в среднем за севооборот – N – 36 %; P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> – 21 % и K<sub>2</sub>O – 35 %.

9. По обобщённым данным за три ротации севооборота наиболее высокая продуктивность агроценоза в пределах 3,7-4,4 т з.е./га получена при использовании органоминеральных систем удобрения на фоне известкования, в составе которых внесение навоза 40 т/га один раз в ротацию и N<sub>53</sub>P<sub>49</sub>K<sub>50</sub> в среднем ежегодно. Средняя окупаемость 1 кг NPK составила 9,0 кг з.е.; навоза – 43,5 кг з.е./т.

10. Насыщенность органическими удобрениями 10 т/га (внесение навоза в дозе 40 т/га один раз в четыре года) достаточна для получения положительного баланса гумуса в дерново-среднеподзолистой среднесуглинистой почве. Положительный баланс азота и фосфора складывается при использовании минеральных или органоминеральных систем удобрения на фоне известки. Формирование положительного баланса калия с интенсивностью 127-140 % возможно при использовании органоминеральных систем удобрения на фоне известки при условии внесения соломы.

11. Органоминеральные системы удобрения способствовали повышению устойчивости агроценоза к неблагоприятным условиям – в частности к засухе. По этим системам снижение продуктивности в экстремальном по температурам и влагообеспеченности 2010 г. (по сравнению со средними данными продуктивности севооборота) составило 13-14 %, в то время как при использовании только минеральных удобрений – 29 %.

12. Зола органосодержащих отходов может рассматриваться как альтернативное удобрение, содержащее фосфор, калий и другие макро- и микроэлементы питания растений на дерново-подзолистых почвах Вятско-Камской земледельческой провинции. Изучение эффективности золы в условиях Удмуртской Республики показало положительное влияние её на урожайность сельскохозяйственных культур в прямом действии и в последствии; применение золы способствовало достоверному повышению продуктивности культур севооборота в среднем за год на 0,28-0,42 т з.е./га относительно контроля без удобрений. При использовании золы выявлено накопление подвижных форм калия и фосфора в почве, а также тенденция увеличения содержания подвижных форм микроэле-

ментов; содержание тяжёлых металлов в почве не превышает ПДК. Наиболее благоприятными дозами внесения золы по ряду показателей следует считать 2,06 и 3,09 т/га (по фосфору  $P_{60-90}$ ).

13. Использование продукта анаэробной переработки навоза КРС («РосПочва») в органической системе удобрения звена овощного севооборота на окультуренных дерново-среднеподзолистых супесчаных почвах в условиях Удмуртской Республики показало высокую эффективность. Поливы разбавленным в 20 раз удобрением «РосПочва» в дозе 80 т/га способствовали получению прибавки урожайности лука репчатого 3,9 т/га и стандартных корнеплодов моркови столовой – 4,6 т/га. Оптимальная доза полива для белокочанной капусты составила 200 т/га; прибавка урожайности получена 10,9-17,8 т/га.

14. При возделывании овощных культур по органической системе удобрения с использованием продукта анаэробной переработки навоза КРС «РосПочва» получена экологически безопасная и качественная продукция. Под влиянием удобрения выявлено достоверное увеличение содержания сухого вещества в луке репчатом на 0,8 % и капусте белокочанной на 0,5 %, аскорбиновой кислоты в луке – на 2,6 мг/100 г. Выражена также тенденция увеличения содержания водорастворимых сахаров в луке и каротина в столовой моркови. Содержание нитратов во всех видах продукции не превышает ПДК.

15. Применение удобрения «РосПочва» не оказало существенного влияния на агрохимические свойства почвы. В то же время выражено положительное действие изучаемого удобрения на биологические свойства: повышается степень разложения льняных полотен в среднем на 7,05 % и интенсивность выделения углекислого газа в среднем на 9,2 мг  $C-CO_2/m^2 \cdot \text{час}$  по сравнению с вариантами с водой. Таким образом, использование продукта анаэробной переработки навоза КРС способствовало усилению биологической активности дерново-подзолистой супесчаной почвы.

16. В условиях сельскохозяйственного производства на примере СХПК имени Мичурина Вавожского района Удмуртской Республики при насыщенности 1 га пашни органическими удобрениями 2,1-5,7 т и минеральными удобрениями – 48-65 кг д.в. складывается положительный баланс гумуса, однако близкий к нулевому и отрицательный баланс азота, фосфора и калия. При этом возрастает роль использования соломы как источника дополнительного поступления органического вещества в почву и насыщения структуры посевных площадей многолетними бобовыми травами (клевер луговой) до 50%.

17. Для интегральной оценки уровня плодородия почв необходимо использование не только основных агрохимических показателей, но и биологических свойств почв; метод визуализации многомерных структур даёт возможность оценить качественный уровень плодородия.

18. Применение минеральных и органоминеральных систем удобрения на фоне известкования в полевом зернопаропропашном севообороте экономически и энергетически выгодно; уровень рентабельности составил при возделывании озимой ржи – 45-116 %; картофеля – 40-65 %; ячменя – 42-80 %. Коэффициент энергетической эффективности при этих системах получен соответ-

венно: 1,27-1,82 при возделывании викоовсяной смеси; 1,18-2,31 – озимой ржи; 1,56-1,90 – картофеля и 1,13-1,99 при возделывании ячменя.

### Рекомендации производству

1. Для получения высокой и стабильной продуктивности агроценозов в пределах 3,7-4,4 т з.е./га при сохранении плодородия почв и формировании положительного баланса органического вещества и элементов питания предпочтительно использовать органоминеральные системы, в составе которых внесение навоза (насыщенность 1 га пашни 10 т) и  $N_{50}P_{50}K_{50}$  на среднегодовом уровне.

2. Для формирования положительного баланса органического вещества и азота в почве использовать насыщенность органическими удобрениями не менее 10 т/га и не менее 50 % посевов многолетних бобовых трав (клевера лугового) в структуре посевных площадей.

3. Важнейшим показателем плодородия дерново-подзолистых почв является содержание подвижных форм фосфора и калия, поэтому следует использовать возможные приёмы сохранения и повышения его уровня; использовать альтернативные источники фосфора и калия, в том числе золу органосодержащих отходов в дозах 2,0-3,0 т/га (по фосфору  $P_{60-90}$ ). Для поддержания положительного баланса калия осуществлять его возврат в почву при внесении соломы зерновых культур.

4. В органических системах удобрения овощных севооборотов возможно использование продукта анаэробной переработки навоза КРС в качестве полива перед посевом или посадкой в дозах 80-200 т/га (разбавленного водой в 20 раз удобрения).

### Список основных опубликованных работ по теме диссертации

*Публикации в изданиях из Перечня российских рецензируемых научных журналов, в которых изложены основные научные результаты диссертации:*

1. Юскин, А.А. Влияние систем удобрения, обработки почвы и севооборотов на фракционный состав гумуса дерново-подзолистых почв / А.А. Юскин, В.И. Макаров, **Т.Ю. Бортник**, А.С. Башков, А.И. Венчиков // Аграрный вестник Урала, 2009. – № 1. – С. 85-87.

2. Башков, А.С. Влияние биологизации земледелия на плодородие дерново-подзолистых почв и продуктивность полевых культур / А.С. Башков, **Т.Ю. Бортник** // Аграрный вестник Урала, 2012. – № 1. – С.16-19.

3. Лекомцева, Е.В. Эффективность использования продукта анаэробной переработки навоза в качестве органического удобрения под овощные культуры / Е.В. Лекомцева, **Т.Ю. Бортник**, Т.Е. Иванова, Н.И. Катавалова // Гавриш. – 2009. – № 3. – С. 36-40.

4. Башков, А.С. Действие удобрений на окультуривание подпахотного слоя дерново-подзолистой суглинистой почвы и его влияние на продуктивность озимой ржи / А.С. Башков, **Т.Ю. Бортник**, М.Н. Загребина, А.Ю. Карпова // Плодородие, 2013. – № 2. – С. 22-24.

5. Башков, А.С. Зависимость продуктивности полевых культур от метеорологических условий / А.С. Башков, **Т.Ю. Бортник**, М.Н. Загребина // Земледелие, 2013. – № 3 – С.31-33.
6. Карпова, А.Ю. Влияние известкования на содержание подвижных форм алюминия в дерново-подзолистой почве и урожайность полевых культур / А.Ю. Карпова, А.Н. Исупов, А.С. Башков, **Т.Ю. Бортник** // Вестник Удмуртского университета. Серия «Биология. Науки о Земле». Вып. 3. – 2013. – С. 15-22.
7. Башков, А.С. Совершенствование системы удобрений ячменя в современных условиях / А.С. Башков, **Т.Ю. Бортник**, А.Ю. Карпова, М.Н. Загребина // Аграрный вестник Урала. – 2014. – № 10. – С. 14-18.
8. Лекомцева, Е.В. Удобрение картофеля / Е.В. Лекомцева, Т.Е. Иванова, И.Л. Иванов, **Т.Ю. Бортник** // Картофель и овощи. – 2015. – №4. – С. 34-35.
9. **Бортник, Т.Ю.** Эффективность использования золы биологических отходов в качестве удобрения картофеля на дерново-подзолистых почвах Удмуртской Республики / **Т.Ю. Бортник**, Е.В. Лекомцева, Д.В. Яковлев, О.Г. Долговых // Вестник Алтайского ГАУ, 2016. – № 9. – С. 17-20.
10. Яковлев, Д.В. Эффективность использования золы как продукта термической переработки органосодержащих отходов в качестве удобрения сельскохозяйственных культур на дерново-подзолистых почвах / Д.В. Яковлев, **Т.Ю. Бортник** // Пермский аграрный вестник, 2016. – № 4. – С. 65-70.
11. Башков, А.С. Фосфатное состояние дерново-подзолистых почв Удмуртии и проблема фосфорного питания сельскохозяйственных культур / А.С. Башков, **Т.Ю. Бортник**, А.Ю. Карпова, А.Н. Исупов, М.Н. Загребина, О.А. Страдина // Вестник Ижевской ГСХА, 2017. - № 1. – С. 11-20.
12. **Бортник, Т.Ю.** Утилизация золы органосодержащих отходов в сельскохозяйственном производстве / **Т.Ю. Бортник**, О.Г. Долговых, Е.В. Лекомцева, А.С. Башков // Агрехимический вестник (**RSCI Web of Science**), 2018. – № 2. – С. 57-61.
13. **Бортник, Т.Ю.** Применение золы органосодержащих отходов в полевом севообороте / **Т.Ю. Бортник**, О.Г. Долговых, Е.В. Лекомцева, И.М. Кудрявцев // Плодородие, 2018. – № 2. – С. 52-54.

#### **Публикации в других изданиях**

1. **Бортник, Т.Ю.** Эффективность магниевого удобрения в звене полевого зерно-травяного севооборота на дерново-подзолистой среднесуглинистой почве Удмуртской Республики / **Т.Ю. Бортник** // Устойчивому развитию АПК – научное обеспечение / Материалы Всероссийской научно-практической конференции. – Т. 1. – Ижевск: ИжГСХА, 2005. – С. 32-37.
2. **Бортник, Т.Ю.** Влияние магниевого удобрения на продуктивность полевого зернотравяного севооборота на различных фонах удобрения в условиях Удмуртской Республики / **Т.Ю. Бортник** // Совершенствование организации и методологии агрохимических исследований в Географической сети опытов с удобрениями / Материалы Всероссийской научно-методической конференции Геосети опытов с удобрениями. – М.: ВНИИА, 2006. – С.67-69.

3. Башков, А.С. Система удобрения льна-долгунца / А.С. Башков, **Т.Ю. Бортник** // Вестник ИжГСХА. – № 2 (8), 2006. – С.59-62.

4. **Бортник, Т.Ю.** Эффективность применения нового органического удобрения «Урожай-С 1» под лук на дерново-подзолистой супесчаной почве / **Т.Ю. Бортник**, Е.В. Лекомцева // Инновационное развитие АПК. Итоги и перспективы. Материалы Всероссийской научно-практической конференции. – Ижевск, РИО ФГОУ ВПО ИжГСХА, 2007. – С. 168-172.

5. **Бортник, Т.Ю.** Влияние продукта анаэробной переработки навоза на урожайность и качество овощных культур в условиях Удмуртской Республики / **Т.Ю. Бортник**, Е.В. Лекомцева // Агрохимия и экология: история и современность: Материалы Международной научно-практической конференции. – Т. II. – Нижний Новгород, 2008. – С. 66-69.

6. Лекомцева, Е.В. Влияние нового органического удобрения на урожайность и качество продукции овощных культур / Е.В. Лекомцева, **Т.Ю. Бортник**, Т.Е. Иванова // Научный потенциал – аграрному производству: Материалы Всероссийской научно-практической конференции – Ижевск: РИО ФГОУ ВПО Ижевская ГСХА, 2008. – С. 37-41.

7. **Бортник, Т.Ю.** Изменение свойств дерново-подзолистой супесчаной почвы при внесении жидкого продукта анаэробной переработки навоза / **Т.Ю. Бортник**, Е.В. Лекомцева // Экологические и правовые проблемы водо- и землепользования: Материалы Международной научной конференции 10-13 сентября 2008 г. – Улан-Удэ, 2008. – С. 17-22.

8. Макаров, В.И. Влияние длительного применения удобрений на дерново-подзолистых почвах на фракционный состав гумуса / В.И. Макаров, А.А. Юскин, А.С. Башков, **Т.Ю. Бортник** // Материалы Всероссийской научно-практической конференции, посв. 100-летию А.Ф. Фатьянова. – Н.Новгород: Изд.-во ВВАГС.– 2008. – С. 164-168.

9. Обыдёнова, Л.А. Влияние систем удобрений на фосфатное состояние дерново-подзолистой почвы / Л.А. Обыдёнова, **Т.Ю. Бортник**, А.С. Башков // Высшему агрономическому образованию в Удмуртской республике – 55 лет. – Материалы Всероссийской научно-практической конференции, посв. 55-летию агрономического факультета (28-30 октября 2009 г.). – Ижевск: ФГОУ ВПО Ижевская ГСХА, 2009. – С. 86-92.

10. **Бортник, Т.Ю.** Применение магниевого удобрения в севообороте на дерново-подзолистых почвах Удмуртской Республики / **Т.Ю. Бортник**, М.Н. Загребина // Приёмы повышения плодородия почв и эффективности удобрений / Материалы Международной научно-практической конференции, посв. 100-летию со дня рождения А.М. Брагина, доктора с.-х. наук, профессора, Заслуженного работника высшей школы БССР. – Горки, 2009. – С. 12-14.

11. **Бортник, Т.Ю.** Окупаемость удобрений продуктивностью культур зернопропашного севооборота при многолетнем использовании различных систем удобрений / **Т.Ю. Бортник**, А.С. Башков, М.Н. Загребина // Состояние и перспективы агрохимических исследований в Географической сети опытов с удобрениями – Материалы Международной научно-методической конференции

учреждений-участников Геосети России и стран СНГ (10-11 июня 2010 г.). – М.: ВНИИА, 2010. – С. 148-150.

**12. Бортник, Т.Ю.** Использование продукта анаэробной переработки навоза в качестве удобрения на лёгких дерново-подзолистых почвах Удмуртской Республики / **Т.Ю. Бортник**, Е.В. Лекомцева, Т.Е. Иванова // Безопасность в техносфере: сб. ст. – Ижевск: Изд.-во Удмуртский университет, 2010. – С. 110-118.

**13.** Тратканова, Е.И. Изменение биологической активности дерново-подзолистой среднесуглинистой почвы под влиянием различных систем удобрений / Е.И. Тратканова, **Т.Ю. Бортник** // Вестник Ижевской ГСХА, 2010. – № 3. – С.38-40.

**14.** Червякова, И.Л. Применение сульфата магния под вико-овсяную смесь на дерново-среднеподзолистой среднесуглинистой почве / И.Л. Червякова, **Т.Ю. Бортник** // Вестник Ижевской ГСХА, 2010. – № 3. – С.40-42.

**15.** Башков, А.С. Зависимость продуктивности полевых культур от метеорологических условий / А.С. Башков, **Т.Ю. Бортник**, М.Н. Загребина // Инновационному развитию АПК и аграрному образованию – научное обеспечение /Материалы Всероссийской научно-практической конференции – Т. 1. – ФГБОУ ВПО Ижевская ГСХА, 2012. – С.21-23.

**16.** Карпова, А.Ю. Связь содержания подвижного алюминия с физико-химическими показателями дерново-подзолистой среднесуглинистой почвы / А.Ю. Карпова, Г.П. Дзюин, А.Г. Дзюин, А.С. Башков, **Т.Ю. Бортник** // Инновационному развитию АПК и аграрному образованию – научное обеспечение /Материалы Всероссийской научно-практической конференции. – Т. 1. – ФГБОУ ВПО Ижевская ГСХА, 2012. – С.78-80.

**17.** Загребина, М.Н. Влияние различных систем удобрений на урожайность и качество корнеплодов кормовой свёклы в условиях Удмуртской Республики / М.Н. Загребина, А.С. Башков, **Т.Ю. Бортник**, А.Ю. Карпова // Научные основы ведения растениеводства и кормопроизводства в условиях Северо-Востока РФ: Материалы Всероссийской научно-практической конференции ГНУ УГНИИСХ РАСХН. – Ижевск: ФГБОУ ВПО Ижевская ГСХА, 2012. – С.62-68.

**18.** Башков, А.С. Изменение плодородия дерново-подзолистой суглинистой почвы и продуктивности полевых культур при длительном применении удобрений / А.С. Башков, **Т.Ю. Бортник**, М.Н. Загребина, А.Ю. Карпова // Теоретические и технологические основы воспроизводства плодородия почв и урожайность сельскохозяйственных культур / Материалы Международной научно-практической конференции. – Москва: Изд.-во РГАУ-МСХА, 2012. – С.140-149.

**19.** Башков, А.С. К вопросу использования соломы на удобрение в современных условиях хозяйствования / А.С. Башков, **Т.Ю. Бортник**, М.Н. Загребина // Аграрная наука сельскому хозяйству /Материалы Международной научно-практической конференции – Кн.2. – Барнаул, 2012. – С. 120-121.

**20.** Червякова, И.Л. Эффективность использования сульфата магния в звене севооборота на дерново-среднеподзолистой среднесуглинистой почве /

И.Л. Червякова, М.Н. Загребина, **Т.Ю. Бортник** // Вестник ФГБОУ ВПО Ижевская ГСХА, 2011. – № 2. – С. 76-78.

**21. Бортник, Т.Ю.** Баланс магния и серы в почвах СХПК имени Мичурина Вавожского района Удмуртской Республики / **Т.Ю. Бортник**, Е.С. Слапыгина // Агрохимия в Предуралье: история и современность / Материалы Всероссийской научно-практической конференции, посв. 55-летию кафедры агрохимии и почвоведения. – Ижевск: РИО ФГБОУ ВПО Ижевская ГСХА, 2012. – С. 52-58.

**22. Загребина, М.Н.** Эффективность длительного использования систем удобрений в зернопаропропашном севообороте на дерново-среднеподзолистой среднесуглинистой почве / М.Н. Загребина, **Т.Ю. Бортник**, А.С. Башков // Развитие и внедрение современных технологий и систем ведения сельского хозяйства, обеспечивающих экологическую безопасность окружающей среды: Материалы Международной научно-практической конференции 3-5 июля 2013 г., г. Пермь. – Т.1. Агрохимия и земледелие. – Ч.1.– Пермь: ОТ и ДО, 2013. – С. 187-198.

**23. Карпова, А.Ю.** Влияние различных систем удобрения на мобилизацию подвижного алюминия в дерново-подзолистых почвах Среднего Предуралья / А.Ю. Карпова, А.С. Башков, **Т.Ю. Бортник**, А.Н. Исупов // Развитие и внедрение современных технологий и систем ведения сельского хозяйства, обеспечивающих экологическую безопасность окружающей среды: Материалы Международной научно-практической конференции 3-5 июля 2013 г., г. Пермь. – Т.1. Агрохимия и земледелие. – Ч.1.– Пермь: ОТ и ДО, 2013. – С. 249-259.

**24. Яковлев, Д.В.** Использование продуктов утилизации биологических отходов в качестве удобрения / Д.В. Яковлев, **Т.Ю. Бортник** // Инновационные процессы в АПК: сб. статей VI Международной научно-практической конференции. Москва, 16-18 апреля 2014 г. – М.: РУДН, 2014. – С. 266-269.

**25. Карпова, А.Ю.** Применение регрессионного анализа в агрохимических исследованиях / А.Ю. Карпова, **Т.Ю. Бортник** // Актуальные проблемы математики, механики, информатики / Труды Института механики УрО РАН / Материалы конференции, г. Ижевск, 3-5 марта 2014 г. – Ижевск: Изд.-во ИМ УрОРАН, 2014. – С. 66-70.

**26. Бортник, Т.Ю.** Эффективность сульфата магния при использовании под кормовую свёклу на дерново-среднеподзолистой среднесуглинистой почве / **Т.Ю. Бортник**, А.А. Боталова // Научное обеспечение АПК. Итоги и перспективы. / Материалы Международной научно-практической конференции, посв. 70-летию ФГБОУ ВПО Ижевская ГСХА. – Ижевск, 16-18 октября 2013 г. – Ижевск: ФГБОУ ВПО Ижевская ГСХА, 2013. – С. 58-63.

**27. Бортник, Т.Ю.** Влияние длительного использования систем удобрений на продуктивность сельскохозяйственных культур и плотность дерново-подзолистой среднесуглинистой почвы / **Т.Ю. Бортник**, О.А. Страдина, Н.А. Шишкина // Инновационные технологии возделывания сельскохозяйственных культур – основа ведения растениеводства в современных условиях: Материалы Всероссийской научно-практической конференции 24-25 июня 2014 г., ГНУ УГНИИСХ. – Ижевск: ФГБОУ ВПО Ижевская ГСХА. – С. 48-53.



**28.** Яковлев, Д.В. Влияние золы биологических отходов на урожайность соломы льна-долгунца / Д.В. Яковлев, **Т.Ю. Бортник**, А.А. Саламатов, Е.А. Сысоева // Агрономическому факультету Ижевской ГСХА – 60 лет. – Ижевск: РИО ФГБОУ ВПО Ижевская ГСХА, 2014. – С. 44-46.

**29.** **Бортник, Т.Ю.** Влияние систем удобрений на содержание органического вещества дерново-подзолистой почвы и урожайность озимой тритикале / **Т.Ю. Бортник**, Д.А. Кузнецов, К.С. Клековкин // Агрономическому факультету Ижевской ГСХА – 60 лет. – Ижевск: РИО ФГБОУ ВПО Ижевская ГСХА, 2014. – С. 9-12.

**30.** **Бортник, Т.Ю.** Применение золы биологических отходов в качестве удобрения сельскохозяйственных культур на дерново-подзолистых почвах Удмуртской Республики / **Т.Ю. Бортник**, Д.В. Яковлев // Перспективы и проблемы размещения отходов производства и потребления в агроэкосистемах: Материалы Международной научно-практической конференции Нижегородская ГСХА. – Нижний Новгород: Изд.-во Нижегородской ГСХА, 2014. – С. 48-51.

**31.** Яковлев, Д.В. Эффективность применения золы птичьего помёта под ячмень на дерново-подзолистой среднесуглинистой почве / Д.В. Яковлев, **Т.Ю. Бортник** // Наука, инновации и образование в современном АПК: Материалы Международной научно-практической конференции ФГБОУ ВПО Ижевская ГСХА. – Ижевск: РИО ФГБОУ ВПО Ижевская ГСХА, 2014. – С. 113-117.

**32.** Романова, С.Л. Влияние различных систем удобрений на количественные изменения основных групп микроорганизмов дерново-подзолистой почвы / С.Л. Романова, **Т.Ю. Бортник** // Теория и практика – устойчивому развитию агропромышленного комплекса: Материалы Всероссийской научно-практической конференции. – Ижевск: РИО Ижевская ГСХА, 2015. – С. 93-95.

**33.** **Бортник, Т.Ю.** Урожайность сельскохозяйственных культур в зависимости от систем удобрений и показателей плодородия дерново-среднеподзолистой среднесуглинистой почвы / **Т.Ю. Бортник**, А.С. Башков, М.Н. Загребина // Почва – национальное богатство. Пути повышения её плодородия и улучшения экологического состояния: Материалы Всероссийской научно-практической конференции. – Ижевск: РИО ФГБОУ ВО Ижевская ГСХА, 2015. – С. 43-48.

**34.** Романова, С.Л. Влияние систем удобрений на активность уреазы и численность аммонифицирующих микроорганизмов в дерново-среднеподзолистой среднесуглинистой почве / С.Л. Романова, **Т.Ю. Бортник** // Научное и кадровое обеспечение АПК для продовольственного импортозамещения: Материалы Всероссийской научно-практической конференции ФГБОУ ВО Ижевская ГСХА. – Ижевск: РИО ФГБОУ ВО Ижевская ГСХА, 2016. – С. 70-72.

**35.** **Бортник, Т.Ю.** Влияние продукта анаэробной переработки навоза на биологические свойства дерново-среднеподзолистой супесчаной почвы / **Т.Ю. Бортник**, Л.В. Лекомцева, Т.Е. Иванова // Проблемы рекультивации отходов быта, промышленного и сельскохозяйственного производства. Материалы Международной научной экологической конференции, посв. 95-летию Кубанского ГАУ. – Краснодар, 2017. – С. 606-610.

**36. Бортник, Т.Ю.** Эффективность золы органосодержащих отходов в полевом сеообороте на дерново-среднеподзолистой среднесуглинистой почве / **Т.Ю. Бортник, Д.В. Яковлев** // Агрехимикаты в XXI веке: теория и практика применения : Материалы Международной научно-практической конференции – Н.Новгород: Изд.-во Нижегородская ГСХА, 2017. – С. 164-167.

**37. Бортник, Т.Ю.** К вопросу об интегральной оценке уровня эффективного плодородия почв в современных условиях / **Т.Ю. Бортник, К.С. Клековкин** // Инновационные технологии для реализации программы научно-технического развития сельского хозяйства: Материалы Международной научно-практической конференции ФГБОУ ВО Ижевская ГСХА. – Ижевск: Изд.-во ФГБОУ ВО Ижевская ГСХА, 2018. – С. 11-12.

**38. Карпова, А.Ю.** Микробиологическая активность дерново-подзолистых почв и её связь с продуктивностью зерновых культур / **А.Ю. Карпова, Т.Ю. Бортник, А.Б. Горбушина** // Воспроизводство плодородия почв и их рациональное использование: Материалы Международной научно-практической конференции, посв. 90-летию со дня рождения профессора В.П. Ковриго. – Ижевск: ФГБОУ ВО Ижевская ГСХА, 2018. – С. 312-313.

**39. Бортник, Т.Ю.** Эффективность систем удобрений и перспективы научных исследований в длительном полевом опыте на дерново-подзолистой среднесуглинистой почве / **Т.Ю. Бортник, А.С. Башков** // Итоги выполнения программы фундаментальных научных исследований государственных академий на 2013-2020 гг.: Материалы Всероссийского координационного совещания научных учреждений-участников Геосети опытов с удобрениями / Под ред. акад. РАН В.Г. Сычёва. – М.: ВНИИА, 2018. – С. 26-31.

### Монографии

1. Капеев, В.А. Влияние адаптивной системы земледелия на продуктивность дерново-сильноподзолистых почв в условиях Среднего Предуралья: монография / **В.А. Капеев, А.С. Башков, И.Ш. Фатыхов, Т.Ю. Бортник, С.И. Коконов.** – Ижевск: ФГОУ ВПО Ижевская ГСХА, 2010. – 192 с.

2. Карпова, А.Ю. Подвижный алюминий в дерново-подзолистых почвах: монография / **А.Ю. Карпова, А.С. Башков, Т.Ю. Бортник.** – Saarbruken: Lambert, 2013. – 135 с.

3. **Бортник, Т.Ю.** Эффективность использования органического удобрения РосПочва под овощные культуры в условиях Удмуртской Республики: монография / **Т.Ю. Бортник, Е.В. Лекомцева, Т.Е. Иванова;** /под ред. **Т.Ю. Бортник.** – Ижевск: ФГБОУ ВПО Ижевская ГСХА, 2014. – 200 с.