

Филиппов Петр Александрович

**КОМПЛЕКСНАЯ ОЦЕНКА ВОСПРОИЗВОДСТВА ПЛОДОРОДИЯ
ДЕГРАДИРОВАННОЙ СУПЕСЧАНОЙ ДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТОЙ
ПОЧВЫ В СОВРЕМЕННЫХ УСЛОВИЯХ СЕВЕРО-ЗАПАДА РФ**

Специальность 06.01.03 – агрофизика

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени кандидата
сельскохозяйственных наук

Санкт-Петербург - 2021

Работа выполнена в Федеральном государственном бюджетном научном учреждении «Агрофизический научно-исследовательский институт» (ФГБНУ АФИ)

Научный руководитель:

Иванов Алексей Иванович

доктор сельскохозяйственных наук, профессор, профессор РАН, член-корреспондент РАН, главный научный сотрудник ФГБНУ АФИ

Официальные оппоненты:

Шеин Евгений Викторович

доктор биологических наук, профессор, профессор кафедры физики и мелиорации почв факультета почвоведения ФГБОУ ВО «МГУ имени М.В. Ломоносова»

Железова Софья Владиславовна

доктор сельскохозяйственных наук, научный сотрудник лаборатории химии окружающей среды ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт фитопатологии»

Ведущая организация:

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский государственный аграрный университет»

Защита диссертации состоится _____ года в _____ часов _____ минут на заседании диссертационного совета Д006.001.01 при Федеральном государственном бюджетном научном учреждении «Агрофизический научно-исследовательский институт» по адресу: 195220, Санкт-Петербург, Гражданский проспект, д. 14, Тел. +7(812)534-13-24, факс +7(812)534-19-00, e-mail: office@agrophys.ru.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Агрофизического научно-исследовательского института и на сайте <http://www.agrophys.ru>, с авторефератом - на сайте <http://vak.ed.gov.ru> и <http://www.agrophys.ru>.

Автореферат разослан _____ г.

Отзывы на автореферат в двух экземплярах, заверенных печатью, просим направлять по адресу: 195220, Санкт-Петербург, Гражданский пр., д. 14, ФГБНУ АФИ.

Ученый секретарь диссертационного совета,
доктор биологических наук

Канаш
Елена Всеволодовна

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность темы исследования. Дерново-подзолистые почвы представляют 78% площади пахотного фонда Северо-Запада России (Благовидов, 1954). На фоне интенсивной химизации земледелия в 70-80-е годы XX века площадь их хорошо окультуренного вида была доведена до 20% (Небольсин и др. 1997; Иванов, 2000). В годы кризиса последнего 25-летия в основном за счет этих почв обеспечивалось производство товарной продукции (Иванов и др., 2016). Но к настоящему времени преобладающая часть хорошо окультуренных почв деградировала (Литвинович, 2005, 2009; Архипов и др., 2016; Шафран, 2016). На фоне возросшей вероятности неблагоприятных погодно-климатических условий (Усков, Усков, 2014) – это один из главных рисков продовольственной безопасности. А в условиях финансовой нестабильности в сельском хозяйстве проблема не может решаться прежними методами – постепенным окультуриванием почв, начиная с целины. Хотя именно этот вариант окультуривания является достаточно изученным отечественной наукой (Благовидов, 1962; Сапожников, Корнилов, 1977; Никитин, 1986; Муха, 2004 и др.). Напротив, в настоящее время значительно актуальнее повторное, по возможности, ускоренное окультуривание подвергшихся деградации в прошлом хорошо окультуренных почв. Этому должно способствовать и соответствующее научное обоснование.

Степень разработанности темы. В научном обосновании технологий окультуривания дерново-подзолистых почв и их последующего использования принимали участие многие отечественные учёные, в том числе и Северо-Западного региона: М. А. Егоров (1929), В. А. Францесон (1934), А. С. Коновалова (1967), В. К. Пестряков (1977), Н. А. Сапожников, М. Ф. Корнилов (1977), А. Н. Небольсин (1997), И. А. Иванов (1998) и многие другие. Практически все предыдущие исследования рассматривали цепь преобразований по схеме «целинная → освоенная → слабоокультуренная → среднеокультуренная → хорошо окультуренная → высокоокультуренная почва». Воспроизводство же плодородия деградированных почв сегодня отличается спецификой современных условий (разнокачественностью свойств почв, ростом гумидности и аномальности климата, изменением доступности мелиорантов и органических удобрений, высокой затратностью их применения), которые пока не получили должной комплексной оценки.

Цель и задачи исследования. Целью исследования была комплексная (агрофизическая, агрохимическая и агроэкономическая) оценка спроектированных агротехнических мероприятий по повторному окультуриванию (расширенному воспроизводству плодородия) подвергшейся деградации супесчаной дерново-подзолистой почвы и последующему её использованию в севооборотах разной интенсивности. Для её достижения решался комплекс задач:

- 1) установить закономерности относительно влияния изучаемых факторов (мелиорантов, системы удобрения, типа севооборота) на морфологические, физические, физико-химические и агрохимические свойства почвы;
- 2) выявить причины и параметры деградационных процессов в почвах разной окультуренности, условия их замедления или предотвращения;

3) оценить агрономическую и экономическую эффективность спроектированных агротехнических мероприятий по воспроизводству плодородия подвергшейся деградации дерново-подзолистой почвы и по её использованию в полевом и овощекормовом севооборотах.

Научная новизна исследования состоит в получении комплексной информации по малоизученному объекту повторно окультуренной почве, ранее подвергшейся деградации и в обосновании возможности экономически эффективного ускоренного окультуривания деградированной дерново-подзолистой почвы.

Теоретическая значимость диссертационной работы состоит в установлении параметров трансформации свойств хорошо окультуренной почвы вследствие деградации в условиях экстенсивного ведения земледелия и последующего повторного ее окультуривания, а также в уточнении роли мелиорантов, севооборота и минеральных удобрений в системе агротехнических мероприятий по расширенному воспроизводству плодородия деградированной дерново-подзолистой почвы и оптимизации продукционного процесса сельскохозяйственных растений.

Практическая значимость работы заключается в разработке рекомендаций по экономически эффективному (на базе местных ресурсов мелиорантов) повторному окультуриванию деградированной почвы и совершенствованию системы удобрения на ней, включенных в коллективную монографию «Производство, изучение и применение удобрений на основе птичьего помёта» (2018).

Методология и методы исследований. Методология исследования базировалась на сочетании фундаментальных методических принципов (детерминизма, системности, динамичности) с принципами экологичности и хозяйственной целесообразности. Ее реализация осуществлялась с использованием методов полевого опыта, почвенно-генетических и лабораторных исследований.

Положения, выносимые на защиту:

- параметры изменения морфологических, физических, физико-химических и агрохимических свойств почвы определяются в большей степени дозами мелиорантов, в меньшей – степенью интенсивности минеральной системы удобрения и типом севооборота;
- отзывчивость полевых и овощных культур на окультуривание дерново-подзолистой почвы и применение удобрений определяется их биологическими особенностями, погодно-климатическими и фитосанитарными условиями;
- коэффициент использования ФАР посевами полевых и овощных культур определяется в большей степени их биологическими особенностями и уровнем окультуренности почвы, в меньшей – системой удобрения;
- агрономическая эффективность минеральной системы удобрения снижается по мере повышения степени окультуренности почвы, однако в сочетании с другими агротехническими факторами (мелиоранты, севооборот) она позволяет увеличить доходность 1 га севооборотной площади в два раза.

Степень достоверности. Необходимый уровень достоверности результатов исследования обеспечен соблюдением методических требований к постановке и проведению полевого опыта, закладке почвенных разрезов, отбору образцов и выполнению анализов при контроле научно-методического совета ФГБНУ АФИ, а также статистической обработке основных результатов эксперимента.

Апробация работы. Результаты диссертационного исследования докладывались: на научных сессиях, Всероссийских и Международных научно-практических конференциях в ФГБНУ Агрофизический научно-исследовательский институт в 2011-2021 гг.; на научной конференции профессорско-преподавательского состава СПбГАУ 26-28.01.12; на международной научной конференции: «XV Докучаевские молодёжные чтения «Почва как природная биогеомембрана» 1-3.03.12., на международной конференции «Тенденции развития агрофизики в условиях изменяющегося климата» (к 80-летию Агрофизического НИИ) 20-21.09.12; на международной научной конференции «XVI Докучаевские молодёжные чтения «Законы почвоведения: новые вызовы»» 4-6.03.13 2013; на Всероссийской школе молодых учёных и специалистов в Суздале 3-6.07.13, на международной научно-практической конференции профессорско-преподавательского состава СПбГАУ «Научное обеспечение инновационного развития АПК» в 2014 году, на Всероссийской с международным участием научной конференции: «Почвоведение – продовольственной и экологической безопасности страны» в Белгороде 15–22.08.16 2016., на международной научно-практической конференции «Мелиорация. Современные методики, инновации и опыт практического применения» в Минске 19-20.10.17, на международной научно-практической конференции «Высокопродуктивное и экологически чистое агрохозяйство на мелиорированных землях» в Твери (ФГБНУ ВНИИМЗ) 30.09.19, на международной научно-практической конференции «Современное состояние, приоритетные задачи и перспективы развития аграрной науки на мелиорированных землях» в Твери (ФГБНУ ВНИИМЗ) 30.09.20.

Организация исследования и личный вклад соискателя. Работа выполнена в отделе физико-химической мелиорации и опытного дела ФГБНУ АФИ в соответствии с заданием № 0667-2014-0008 «Создать теоретические основы и усовершенствовать методы планирования и проведения многоуровневых опытов и мониторинга состояния почвенно-растительных комплексов на основе развития физико-механической базы адаптивно-ландшафтного земледелия, математического и физического моделирования агроэкосистем». На заключительном этапе исследование выполнялось при частичной финансовой поддержке в рамках крупного научного проекта Минобрнауки России (соглашение № 075-15-2020-805 от 2 октября 2020 г.) «Актуальные научные задачи стратегии адаптации потенциала землепользования России в современных условиях беспрецедентных вызовов (экономический кризис, изменения климата, кризис глобальных тенденций природопользования)».

Планирование, закладка опыта, выполнение программы наблюдений, учётов и анализов, а также обобщение результатов выполнялись соискателем лично и в качестве ответственного исполнителя исследований. Личный вклад в общий объём диссертационного исследования оценивается в 80%, доля участия в научных публикациях – 62%, в том числе в изданиях, рекомендованных ВАК Минобрнауки РФ – 40%.

Публикации. По материалам диссертационного исследования опубликовано 24 научные работы, из них 5 в рецензируемых изданиях, рекомендованных ВАК Минобрнауки РФ.

Структура и объём диссертации. Диссертационная работа включает оглавление, введение, 5 разделов основной части, заключение, рекомендации производству, перспективы дальнейшей разработки темы, список использованной литературы, приложения. Общий объём диссертации 247 страниц печатного текста, включает 14 рисунков и 38 таблиц в тексте и 21 – в приложениях. В списке литературы 324 источника, в том числе 25 на иностранных языках.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

1. ОКУЛЬТУРИВАНИЕ ДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТЫХ ПОЧВ, ВОСПРОИЗВОДСТВО ПЛОДОРОДИЯ И ЭФФЕКТИВНОСТЬ УДОБРЕНИЙ

На основе литературных данных показана решающая роль окультуренных человеком дерново-подзолистых почв в повышении эффективности земледелия Северо-Западного региона РФ, а в условиях экономического кризиса – в сохранении самого сельскохозяйственного производства. При этом формирование хорошо- и высокоокультуренных почв рассматривается как следствие трансформации почвообразовательного процесса под влиянием длительного (до 40 лет) воздействия комплекса агротехнических мероприятий. Обращено особое внимание на изменение эффективности отдельных видов удобрений по мере повышения степени окультуренности почв.

2. ОБЪЕКТЫ, УСЛОВИЯ И МЕТОДИКА ПРОВЕДЕНИЯ ИССЛЕДОВАНИЙ

Методической основой исследования стал многолетний стационарный опыт «агрофизический стационар», заложенный в 2006 году в Меньковском филиале АФИ. Главным объектом исследования (фактор А) была среднеокультуренная супесчаная дерново-слабоподзолистая почва (в прошлом хорошо окультуренная, но подвергшаяся деградационным процессам в 90-е годы XX века). В подготовительный к закладке опыта трёхлетний период она была ускоренно окультурена интенсивным и гиперинтенсивным применением органического удобрения на фоне поддерживающего известкования. Объектом сравнения служила исходная почва. На почвах трёх степеней окультуренности вводилось два развёрнутых во времени севооборота: полевой зернотравяной и овощекормовой зернопропашной. Система удобрения в них (Фактор Б) разрабатывалась индивидуально для каждой культуры с ориентацией на обеспечение элементами питания трёх уровней продуктивности фотосинтеза: КПД ФАР – 1 – 1,5% - вариант NPK 0 (без удобрений), 2-3% - вариант NPK 1 (средние дозы удобрений), 3-4% - вариант NPK 2 (повышенные дозы удобрений). Среднегодовые дозы действующего вещества в варианте NPK 1 составляли 122 кг/га в полевом и 205 – в овощекормовом севообороте, в варианте NPK 2 – 180 и 310 кг/га соответственно. Для поддержания в течение длительного периода исследований сформированного уровня окультуренности почвы за прошедшие две ротации севооборотов в хорошо окультуренную почву было внесено по 40 т/га навоза и 35 т/га птичьего помёта, в высокоокультуренную – вдвое больше. Общая площадь делянки в опыте – 200 м², учётная – 120-160 м²; повторность – трёхкратная. Учёты проводились сплошным весовым методом с использованием технологического оборудования. Статистическая обработка ре-

зультатов исследования выполнялась дисперсионным методом с использованием программного комплекса «Stat».

Трансформация почвообразовательного процесса и свойств почвы изучалась на основе сравнительно-генетического метода в серии почвенных разрезов (Никитин, 1976, 1986). Количественные характеристики свойств определялись по стандартным методикам непосредственно в поле и в испытательной лаборатории ФБНУ АФИ.

3. ВЛИЯНИЕ СРЕДСТВ ВОСПРОИЗВОДСТВА ПОЧВЕННОГО ПЛОДОРОДИЯ НА СОСТОЯНИЕ И СВОЙСТВА ПОЧВЫ

Сегодня имеется немало научных данных о возможности весьма деградации окультуренных почв (Ефимов, Иванов, 2001; Литвинович, 2011; Иванов, Воробьев, Иванова, 2015; Шафран, 2016; Сычѳв, 2019). Для возрождающегося в регионе сельскохозяйственного производства восстановление плодородия прежде хорошо окультуренных почв – одна из первоочередных задач. Но, если трансформация почвообразовательного процесса в дерново-подзолистой почве через стадии: «целинная → освоенная → слабоокультуренная → среднеокультуренная → хорошо окультуренная → высокоокультуренная почва» является вполне изученной (Францессон, 1934; Благовидов, 1954, 1962; Гаркуша, 1956; Коновалова, 1967; Левин, 1972; Сапожников, Кириллов, 1977; Караваева, Жариков, 1998; Муха, 2004 и др.), то относительно повторно окультуриваемых почв информации крайне мало. А именно к таким почвам и принадлежит объект нашего исследования.

3.1. Трансформация строения почвенного профиля и его морфологических свойств

Изучение во временной динамике морфологических свойств почвенного профиля является одним из наиболее информативных методов контроля за изменением почвообразовательного процесса. Перед закладкой опыта генетический профиль изучаемой почвы был представлен горизонтами: Апах. – 0-22 см, А₁А₂ – 22-32 см, А₂В – 32-43 см, В – 43-91 см, ВС – 91-125 см, Д – 125-160 см. Через 12 лет эта почва в условиях полевого севооборота без удобрений уже существенно отличалась строением и свойствами профиля (рис. 1).

Глубина, см	Среднеокультуренная			Хорошо окультуренная			Высоко окультуренная		
	Разрез 1 ОК	Разрез 2 ОК	Разрез 3 ОК	Разрез 4 ОК	Разрез 5 ОК	Разрез 6 ОК	Разрез 7 ОК	Разрез 8 ОК	Разрез 9 ОК
10	А _{пах}								
20	А _{пах}								
30	А ₁ А ₂								
40	А ₂ В								
50	В	В	В	В	В	В	В	В	В
60	В	В	В	В	В	В	В	В	В
70	В	В	В	В	В	В	В	В	В
80	В	В	В	В	В	В	В	В	В
90	В	В	В	В	В	В	В	В	В
100	ВС								
110	ВС								
120	Д	Д	Д	Д	Д	Д	Д	Д	Д
130	Д	Д	Д	Д	Д	Д	Д	Д	Д
140	Д	Д	Д	Д	Д	Д	Д	Д	Д
150	Д	Д	Д	Д	Д	Д	Д	Д	Д
160	Д	Д	Д	Д	Д	Д	Д	Д	Д

Рисунок 1 – Строение профиля почв в 2018 году

Вследствие малого прихода исходных гумусообразователей пахотный слой заметно осветлился, в нём появились признаки усиления элювирования в виде жёлто-палевой присыпки. Переходный горизонт A_1A_2 уже не диагностировался, нижняя граница горизонта поднялась на 5 см. В вариантах опыта с удобрениями, то есть при большем поступлении послеуборочных остатков, морфологические свойства аккумулятивно-элювиальных горизонтов не претерпели ощутимых изменений. Наиболее существенные позитивные изменения обуславливались применением органического удобрения в процессе окультуривания почвы. В обоих севооборотах пахотный горизонт ускоренно окультуренных почв приобрёл более тёмную окраску, улучшилось его структурное состояние. Нижняя граница горизонтов A_1A_2 и A_2B опустилась на 2-5 см, уменьшилась плотность их сложения. У высокоокультуренной почвы обнаруживались затёки органического вещества в горизонт A_2B . В полевом севообороте проявилось и положительное действие посевов трав. Здесь, в отсутствие интенсивной обработки почвы, у окультуренных почв на месте горизонта A_1A_2 . Сформировался гумусовый (A_1). В овощекормовом севообороте с его интенсивной обработкой почвы этого не наблюдалось. Напротив, почвенный профиль в его условиях подвергался процессам элювирования сильнее (особенно на фоне повышенных доз минеральных удобрений), вследствие чего суммарная мощность горизонтов A_1A_2 и A_2B значительно возростала.

Таким образом, минеральная система удобрения в комплексе мероприятий по воспроизводству плодородия играла двоякую роль. С одной стороны, она способствовала большему накоплению исходных гумусообразователей, стимулируя дерновый процесс почвообразования, с другой, служила одним из факторов выветривания минералов и повышенной вертикальной миграции веществ.

3.2 Изменение агрофизического состояния почвы под влиянием систем воспроизводства почвенного плодородия

От агрофизического состояния почвы в значительной мере зависит способность последней удовлетворять потребности растений во всех факторах жизни. В нашем исследовании его трансформация изучалась по таким показателям как гранулометрический состав, общие физические и водно-физические свойства и структурное состояние.

Оценка трансформации гранулометрического состава изучаемой почвы выполнялась на основе данных седиментометрического анализа образцов по состоянию на конец первой и второй ротации севооборотов. Она подтвердила сохранение и в условиях эксперимента типичного для зоны аккумулятивно-элювиально-иллювиальный характера перераспределения между генетическими горизонтами илистых и мелкопылеватых частиц ($<0,005$ мм).

По окончании первой ротации отчётливо регистрировалось влияние только окультуривающих мероприятий, выразившееся разной долей фракций физической глины в составе почвы горизонтов $A_{пах.} + A_1A_2$: у среднеокультуренной почвы – 15,3%, хорошоокультуренной – 18,0%, высокоокультуренной – 18,5% (преимущество последних обеспечивалось в основном за счёт фракции мелкой пыли).

По окончании второй ротации севооборотов проявилось действие всех трёх факторов воспроизводства почвенного плодородия (рис. 2). В пределах аккумуля-

ТИВНО-ЭЛЮВИАЛЬНОЙ ТОЛЩИ ПОЛОЖИТЕЛЬНЫЕ ПОСЛЕДСТВИЯ ОКУЛЬТУРИВАНИЯ НАБЛЮЮ-

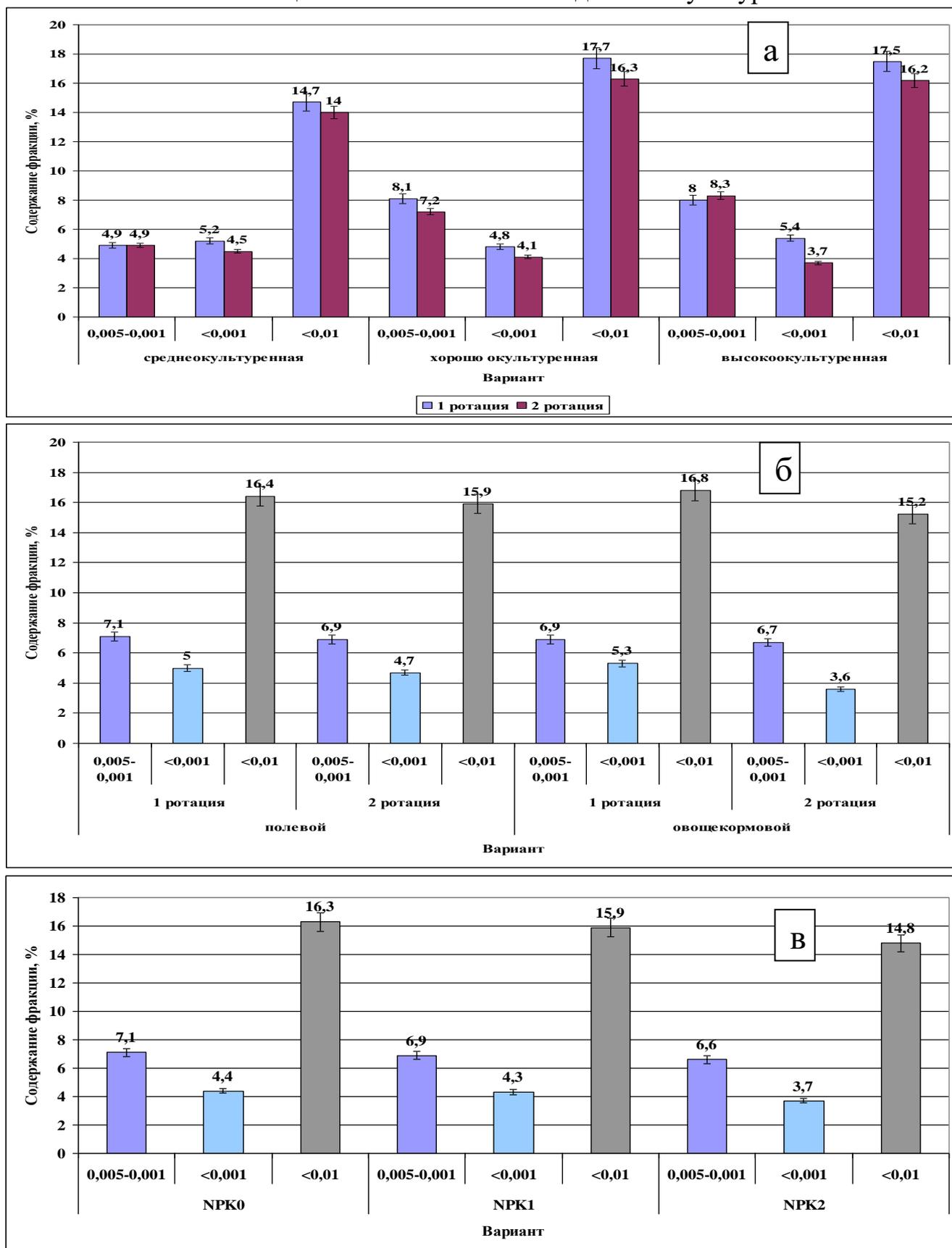


Рисунок 2 – Изменение содержания гранулометрических (мм) фракций (%) в аккумулятивно-элювиальных горизонтах (Апах + А₁А₂ + А₂В) (2018 г.) а) под влиянием окультуривания почвы; б) под влиянием севооборота; в) под влиянием системы удобрения

дались ещё отчётливо. Доля фракций физической глины в ней была на 2,2-2,3% большей, в сравнении со среднекультуренной почвой, не подвергавшейся окультуриванию. Но дополнительно применённые на хорошо- и высококультуренных почвах дозы органических удобрений (6,3 и 12,5 т/га в среднегодовом исчислении) в условиях промывного водного режима оказались всё же недостаточными для полного предотвращения процесса обезиливания верхних горизонтов. Особенно отчётливо это проявилось в овощекормовом севообороте, где на фоне интенсивной обработки почвы ускорились процессы деструкции органического вещества и минералов. Здесь только за 6 лет второй ротации аккумулятивно-элювиальные горизонты утратили 1,7% фракции ила (и всех фракций физической глины – 1,6%). Среднегодовые темпы обезиливания составили 0,05% в полевом и 0,28% - в овощекормовом севообороте. Минеральные удобрения в средних дозах на процессы элювирования и лессивирования верхних почвенных горизонтов влияли незначительно, но в повышенных дозах они увеличивали потери ила на 16% (отн.).

Будучи весьма консервативными общие и водно-физические свойства почвы способны положительно отзываться на известкование и высокие дозы органических удобрений. В условиях эксперимента главным фактором их улучшения стало окультуривание почвы (табл. 1).

Таблица 1 – Изменение общих физических и водно-физических свойств почвы вследствие её окультуривания

Горизонт почвы	Свойство почвы по ротациям севооборота, ед.изм.													
	m _{об.} , г/см ³		m _{уд.} , г/см ³		V _{общ.} , %		МГ, %		ВУЗ, %		НВ, %		ДАВ, %	
	1 рот.	2 рот.	1рот.	2рот.	1рот.	2рот.	1рот.	2рот.	1рот.	2рот.	1рот.	2рот.	1рот.	2рот.
Среднекультуренная почва														
Апах.	1,35	1,36	2,63	2,65	48,6	48,7	4,1	4,1	6,2	6,1	21,2	21,7	15,1	15,6
A ₁ A ₂	1,57	1,58	2,67	2,67	41,1	41,0	3,8	3,7	5,7	5,6	17,8	18,0	12,1	12,4
A ₂ B	1,52	1,54	2,71	2,69	44,1	42,9	2,8	2,7	4,2	4,1	14,9	14,8	10,7	10,7
B	1,63	1,68	2,57	2,54	36,7	33,9	5,9	6,0	8,9	9,0	29,7	31,5	20,8	22,5
Хорошо окультуренная почва														
Апах.	1,27	1,26	2,56	2,60	50,3	51,7	4,7	4,6	7,0	7,0	25,1	25,5	18,1	18,5
A ₁ A ₂	1,46	1,40	2,62	2,64	44,3	46,9	4,2	4,1	6,4	6,2	23,1	22,4	16,7	16,2
A ₂ B	1,54	1,53	2,68	2,69	42,6	43,3	3,1	3,1	4,7	4,7	16,9	15,9	12,2	11,2
B	1,66	1,70	2,58	2,51	35,5	32,4	5,9	6,4	8,9	9,6	32,2	33,7	23,3	24,1
Высококультуренная почва														
Апах.	1,22	1,23	2,52	2,57	51,8	52,0	5,4	5,3	8,2	7,9	29,7	27,6	21,5	19,7
A ₁ A ₂	1,39	1,36	2,56	2,60	45,7	47,9	4,7	4,5	7,1	6,7	24,7	23,2	17,6	16,5
A ₂ B	1,54	1,53	2,64	2,67	41,7	42,6	3,2	3,3	4,8	4,9	17,4	17,2	12,6	12,3
B	1,66	1,72	2,55	2,49	34,8	30,8	6,5	6,6	9,8	9,9	33,1	36,8	23,3	25,9

По окончании первой ротации севооборотов положительные последствия окультуривания наблюдались в верхних горизонтах. Поступление большого количества органического вещества и обусловленное этим улучшение структурного состояния сопровождалось уменьшением плотности пахотного слоя почвы на 0,08 г/см³ у хорошокультуренного и на 0,13 г/см³ – у высококультуренного вида при увеличении общей пористости на 1,4 и 3,2%, полевой влагоёмкости – на 3,9 и 7,5 % соответственно. Аналогичные изменения регистрировались и в подпахотном го-

ризонте А₁А₂. Вследствие применения органических удобрений в конце второй ротации севооборотов преимущество хорошо- и высококультуренной почв над среднекультуренной продолжало сохраняться. Но обогащение илом иллювиального горизонта этих почв стало причиной снижения его общей пористости на 1,5 и 2,1%, что неизбежно приведёт к уменьшению водопроницаемости.

В пределах Апах. под действием этого фактора оптимизировалось и исходно неблагоприятное непрочное комковато-порошистое состояние деградированной почвы опыта. По завершении первой ротации оно выразилось в относительном увеличении доли агрономически ценных агрегатов в сравнении со среднекультуренной почвой на 44-61 %, коэффициента структурности – на 144-267 %, водопрочности – на 61 и 84 %, критерия водопрочности – на 111 и 271 %. Это позволило сформировать хороший уровень оструктуренности комковато-зернистой формы при удовлетворительной водопрочности.

Несмотря на применение 35-70 т/га птичьего помёта сохранить достигнутые параметры оструктуренности к концу второй ротации не удалось (табл. 2). Сред-

Таблица 2 - Структурное состояние почвы в 2018 г.

Горизонт почвы	Массовая доля (%) агрегатов по фракциям (мм)			Кстр.	Водопрочность, %	Квп
	>10	<0,25	0,25-10			
Полевой севооборот						
Апах.	11,0±0,4	25,7±0,8	63,2±1,4	1,7	40,8±0,7	0,69
А ₁ А ₂	12,9±0,5	18,1±0,6	57,8±1,0	1,4	38,7±0,7	0,63
Овощекормовой севооборот						
Апах.	5,5±0,3	34,0±1,0	60,8±1,1	1,5	32,7±0,7	0,49
А ₁ А ₂	15,9±0,6	24,4±0,7	59,7±1,0	1,5	34,7±0,6	0,53
Среднекультуренная почва						
Апах.	8,1±0,4	43,5±1,1	48,4±0,9	0,9	23,8±0,5	0,31
А ₁ А ₂	17,5±0,7	30,1±0,9	52,4±1,1	1,1	19,4±0,5	0,24
Хорошо окультуренная почва						
Апах.	6,0±0,3	32,1±1,0	61,9±1,2	1,6	39,5±0,8	0,65
А ₁ А ₂	15,0±0,5	23,3±0,8	61,7±1,0	1,6	42,6±0,8	0,74
Высококультуренная почва						
Апах.	2,5±0,2	26,5±1,0	72,0±1,0	2,5	47,1±0,8	0,89
А ₁ А ₂	15,3±0,5	19,7±0,7	65,0±1,3	1,9	48,1±0,9	0,93
Без NPK						
Апах.	8,6±0,4	31,1±1,1	60,3±1,2	1,7	36,7±0,7	0,58
А ₁ А ₂	15,8±0,6	21,5±0,7	62,8±0,9	1,8	33,2±0,6	0,50
NPK1						
Апах.	8,7±0,5	29,0±0,9	62,8±1,2	1,8	36,8±0,8	0,58
А ₁ А ₂	15,1±0,7	23,3±0,7	61,6±1,0	1,7	38,2±0,7	0,62
NPK2						
Апах.	7,8±0,4	29,4±0,9	62,9±1,3	1,9	36,8±0,8	0,58
А ₁ А ₂	15,0±0,6	22,4±0,7	62,6±1,1	1,8	38,7±0,9	0,63

негодовые темпы снижения оструктуренности и водопрочности составили 0,8-1,0 % и 0,6-0,8 % соответственно. И всё же превосходство хорошо- и высококультуренной почв перед среднекультуренной по показателю доли агрономически ценных агрегатов составило 28 и 49 %, по коэффициенту структурности – 78 и 178 %, по водопрочности агрегатов – 66 и 98 %, по критерию водопрочности – 110 и 187

% соответственно.

Разрыв в показателях структурного состояния почвы, насыщенного травами полевого и овощекормового севооборотов к этому времени, увеличился и в относительном выражении достиг по коэффициенту структурности – 13 %, водопрочности агрегатов – 25 % и критерию их водопрочности – 41 %. Минеральная система удобрения, стимулируя рост корней и приход пожнивно-корневых составов, способствовала некоторому росту оструктуренности почвы в Апах. и водопрочности – в подпахотном слое.

3.3 Изменение в условиях опыта физико-химических свойств почвы

Физико-химические свойства целинных дерново-подзолистых почв чаще неудовлетворительное, что связано с зональной спецификой факторов почвообразования. Поэтому их улучшение – одна из основных задач окультуривания (Благовидов, 1954; Сапожников, Корнилов, 1977; Никитин, 1986). Однако в природно-климатических условиях региона их постепенное ухудшение практически неизбежно (Небольсин и др., 1997; Ефимов, Иванов, 2001; Литвинович, 2011), что предполагает использование приёмов химической мелиорации.

Как и другие свойства почвы, физико-химические трансформировались, преимущественно, под влиянием высоких доз навоза и поддерживающего известкования (табл. 3). К моменту закладки полевого опыта (2006 г.) на фоне внесения на 1 га 220 и 540 т навоза, 1 и 3 т извести pH_{KCl} пахотного слоя хорошо окультуренной почвы увеличился до 6,22, а степень насыщенности основаниями – до 82 %, высокоокультуренной – до 6,37 и 88 % соответственно. В составе обменно поглощенных катионов не стало подвижного алюминия. Положительные изменения затронули и подпахотный горизонт.

В течение первой ротации севооборотов, вследствие естественного течения почвообразовательного процесса и продуктивных потерь оснований, ухудшение физико-химических свойств регистрировалось у всех видов почв. Среднегодовые темпы изменения составляли: уменьшение показателей pH_{KCl} – 0,048 ед., суммы обменных оснований – 0,091 сМоль/кг; увеличение гидролитической кислотности – 0,073 сМоль/кг. И в течение второй ротации севооборотов ухудшение этих свойств у среднеокультуренной почвы продолжилось - pH_{KCl} пахотного слоя почвы уменьшился ещё на 0,22 ед., содержание обменных оснований – на 0,64 сМоль/кг; показатель N_T увеличился на 0,34 сМоль/кг. Аналогично изменялись и свойства нижележащих аккумулятивно-элювиальных горизонтов. У хорошо- и высокоокультуренных почв ситуация была намного лучше. Вследствие применения высоких доз обогащенного основаниями птичьего помёта, дальнейшее их подкисление приостановилось. Хотя и они, относительно исходных показателей, в конце опыта имели pH_{KCl} на 0,18 ед., а степень насыщенности основаниями – на 4% ниже.

Тип севооборота и минеральная система удобрения на характер трансформации физико-химических свойств почвы существенного влияния не оказывали.

3.4 Изменение основных агрохимических свойств почвы

У среднеокультуренной почвы обоих севооборотов на фоне отрицательного

Таблица 3 – Изменение физико-химических свойств почвы вследствие её окультуривания (среднее по вариантам опыта)

Горизонт почвы	Свойства почвы, ед. изм.							Vосн., %
	рН		Н _{обм.}	Al _{подв.}	Н _{г.}	Сосн.	ЕКО	
	H ₂ O	KCl						
Среднеокультуренная почва - при закладке опыта (2006 г)								
A _{пах.}	6,43±0,10	5,61±0,07	0,11±0,01	0,08±0,01	2,40±0,11	5,41±0,27	7,81±0,33	69
Среднеокультуренная почва – конец первой ротации севооборота (2011 г)								
A _{пах.}	6,19±0,12	5,34±0,07	0,13±0,01	0,10±0,01	2,59±0,13	4,93±0,22	7,52±0,29	66
A ₁ A ₂	6,35±0,12	5,53±0,08	0,14±0,01	0,11±0,01	2,59±0,11	5,78±0,25	8,37±0,31	69
A ₂ B	5,92±0,09	5,09±0,06	0,08±0,01	0,05±0,01	1,42±0,08	3,26±0,20	4,68±0,23	70
B	4,73±0,09	3,85±0,07	1,19±0,05	0,86±0,06	3,04±0,22	3,47±0,21	6,51±0,28	53
Среднеокультуренная почва – конец второй ротации севооборота (2018 г)								
A _{пах.}	5,79±0,08	5,12±0,09	0,24±0,02	0,15±0,01	2,93±0,12	3,95±0,24	6,88±0,28	57
A ₁ A ₂	5,94±0,11	5,24±0,08	0,21±0,01	0,13±0,01	2,40±0,13	3,42±0,22	5,82±0,26	59
A ₂ B	5,69±0,09	5,03±0,05	0,27±0,02	0,20±0,02	1,77±0,09	2,51±0,17	4,28±0,23	59
B	5,21±0,13	4,46±0,11	0,76±0,04	0,48±0,02	2,56±0,15	3,33±0,20	5,89±0,28	57
Хорошо окультуренная почва - при закладке опыта (2006 г)								
A _{пах.}	7,10±0,14	6,22±0,12	0,01±0	0	1,57±0,08	6,98±0,26	8,55±0,31	82
Хорошо окультуренная почва – конец первой ротации севооборота (2011 г)								
A _{пах.}	6,75±0,12	5,84±0,09	0,07±0,01	0,02±0	2,10±0,12	6,43±0,21	8,53±0,32	75
A ₁ A ₂	6,77±0,14	5,97±0,10	0,05±0,01	0,01±0	2,04±0,10	6,52±0,15	8,56±0,25	76
A ₂ B	6,02±0,10	5,18±0,08	0,07±0,01	0,02±0	1,62±0,15	3,54±0,11	5,16±0,22	69
B	4,93±0,15	4,08±0,11	0,63±0,05	0,48±0,03	2,58±0,13	3,64±0,15	6,22±0,24	59
Хорошо окультуренная почва – конец второй ротации севооборота (2018 г.)								
A _{пах.}	6,77±0,13	5,99±0,07	0,05±0,01	0	1,85±0,09	6,70±0,29	8,55±0,31	78
A ₁ A ₂	6,64±0,12	5,97±0,11	0,06±0,01	0,01±0	2,02±0,11	6,06±0,22	8,08±0,28	75
A ₂ B	5,96±0,12	5,21±0,12	0,14±0,01	0,08±0,01	1,23±0,11	2,52±0,14	3,75±0,25	67
B	5,37±0,16	4,80±0,14	0,45±0,06	0,24±0,03	2,21±0,14	3,24±0,16	5,45±0,25	59
Высокоокультуренная почва – при закладке опыта (2006 г.)								
A _{пах.}	7,28±0,15	6,37±0,12	0	0	1,06±0,07	8,00±0,31	9,06±0,33	88
Высокоокультуренная почва – конец первой ротации севооборота (2011 г.)								
A _{пах.}	6,97±0,12	6,15±0,12	0,03±0	0	1,66±0,09	7,39±0,27	9,05±0,30	82
A ₁ A ₂	7,01±0,13	6,15±0,10	0,04±0	0	1,58±0,11	7,66±0,27	9,24±0,30	83
A ₂ B	6,42±0,11	5,64±0,08	0,12±0,01	0,03±0	0,89±0,05	3,87±0,19	4,76±0,22	81
B	5,89±0,13	5,05±0,13	0,36±0,04	0,18±0,03	2,35±0,14	3,33±0,20	5,68±0,26	59
Высокоокультуренная почва – конец второй ротации севооборота (2018 г.)								
A _{пах.}	7,06±0,13	6,25±0,07	0,01±0	0	1,44±0,07	7,25±0,29	8,69±0,31	83
A ₁ A ₂	7,03±0,11	6,23±0,11	0	0	1,40±0,09	6,65±0,22	8,05±0,27	83
A ₂ B	6,57±0,09	5,78±0,10	0,06±0	0	1,00±0,08	3,80±0,13	4,80±0,17	79
B	5,69±0,14	4,92±0,08	0,15±0,02	0,09±0,01	1,34±0,13	3,92±0,15	5,26±0,20	75

значительно ухудшились. В частности, содержание органического вещества в пахотном слое уменьшилось за 12 лет в среднем на 0,57%, подвижного фосфора – на 115, калия – на 150 мг/кг. Среднегодовые темпы снижения составили 0,048, 9,6 и 12,5 мг/кг соответственно. Минеральная система удобрения не обеспечивала полной компенсации дефицита, но замедляла деградацию фосфатно-калийного состояния почвы.

Трансформация агрохимических свойств хорошо- и высокоокультуренных почв не была столь односторонне направленной. Существенные коррективы вносило применение в течение двух ротаций 75 и 150 т/га органических удобрений, в результате чего содержание в пахотном слое органического вещества (в среднем по трём вариантам системы удобрения) даже повысилось (с 3,80 до 3,91%), а подвижного фосфора – с 391 до 400 мг/кг. Баланс же калия оставался остродефицитным во всех вариантах (среднегодовой дефицит составил 127 кг K_2O /га). Следствием этого стало снижение содержания подвижного калия в хорошо окультуренной почве с 482 до 198, в высокоокультуренной – с 720 до 322 мг/кг.

Отсюда можно сделать заключение, что поддержание искусственно сформированного в супесчаной почве очень высокого содержания органического вещества (3,33-4,09%) и подвижных фосфатов (330-447 мг/кг) ещё обеспечивалось применением реальных для земледельцев среднегодовых доз органических (6,3-12,5 т/га) и фосфорных (48 кг/га P_2O_5) удобрений. Но исходные показатели калийного состояния хорошо- и высокоокультуренной почв (450-810 мг/кг K_2O) применением указанных доз органических и 80 кг K_2O калийных удобрений сохранить не удалось. Да и целесообразность этого сомнительна.

4. АГРОНОМИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ ОКУЛЬТУРИВАНИЯ СУПЕСЧАНОЙ ДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТОЙ ПОЧВЫ И ПОСЛЕДУЮЩЕГО ВОСПРОИЗВОДСТВА ЕЁ ПЛОДОРОДИЯ

Высокая агрономическая эффективность любого агротехнического мероприятия – одна из основных предпосылок его экономической окупаемости. В нашем исследовании к таким мероприятиям относились ускоренное повторное окультуривание почвы, минеральная система удобрения и тип севооборота. Поскольку севооборот служит основой почти любого агротехнического мероприятия, полученные в 2006-2011 гг данные анализируются индивидуально по полевому и овощекормовому севооборотам.

4.1 Агрономическая эффективность использования окультуренных почв в системе полевого севооборота

Полевой севооборот стационарного опыта относится к зернотравяному виду – в его структуре 50% площади отведено под травы, 33% - под зерновые культуры (то есть под культуры с повышенным и умеренным потреблением элементов питания и соответствующим ему потенциалом продуктивности).

В этом севообороте один из основных показателей агрономической эффективности – продуктивность 1 га севооборотной площади, находился в прямой зависимости от степени окультуренности почвы (табл. 4). В отсутствие удобрений его среднегодовая величина возрастала с 3,9 т зерновых единиц (з. ед.) на среднеокультуренной почве до 5,2 т – на хорошо окультуренной и 5,8 т – на высокоокультуренной. Полевые культуры неодинаково реагировали на окультуривание среднеокультуренной почвы. Убывающий ряд отзывчивости на окультуривание (по показателю прироста продуктивности в т/га з.ед.) выглядит следующим образом: озимая рожь (1,91) > однолетние травы (1,75) > картофель (1,63) > ячмень (1,14) > многолетние травы (1,13). На дальнейшее повышение степени окульту-

ренности до высокой этой культуры реагировали слабее, а многолетние травы 2-го года хозяйственного пользования и картофель вообще не обеспечивали статистически значимых прибавок урожайности.

Таблица 4 – Продуктивность полевого севооборота

Вариант системы удобрения (фактор Б)	Показатели агрономической эффективности по видам почвы (фактор А)								
	Продуктивность севооборота, т/га з. ед.	Прибавка продуктивности		Прибавка от окультуренности почвы		Прибавка от минеральных удобрений		КПД ФАР*, %	Окупаемость 1 кг NPK, з. ед.
		т/га з. ед.	%	т/га з. ед.	%	т/га з. ед.	%		
Среднеокультуренная почва									
Контроль - 0 (NPK0)	23,23	-	-	-	-	-	-	2,04	-
(NPK1)	31,27	8,04	35	-	-	8,04	35	2,84	12
(NPK2)	35,01	11,78	51	-	-	11,78	51	3,06	10,9
Хорошо окультуренная почва									
Контроль - фон**	31,21	7,98	34	7,98	34	-	-	2,74	-
Фон + (NPK1)	35,58	12,35	53	4,31	14	4,37	14	3,06	6,5
Фон + (NPK2)	39,51	16,68	72	4,5	13	8,3	27	3,32	7,7
Высокоокультуренная почва									
Контроль - фон**	34,91	11,68	50	11,68	50	-	-	3,01	-
Фон + (NPK1)	40,08	16,85	73	8,81	28	5,17	15	3,34	7,7
Фон + (NPK2)	42,9	19,67	85	7,89	23	7,99	23	3,54	7,4
НСР ₀₅ фактор А		2,22		2,22					
фактор Б		2,84				2,84			
взаимод. АБ		F _ф <F ₀₅							

*При расчете КПД ФАР учитывался урожай основной и побочной продукции.

**Фон – периодическое внесение органического удобрения

Эффективность минеральной системы удобрения была значительно выше на среднеокультуренной почве. В среднем по её вариантам прибавка продуктивности за ротацию составила 9,9 т/га з.ед. (на хорошо окультуренной – 6,3, высокоокультуренной – 6,6). Аналогична закономерность и с окупаемостью 1 кг действующего вещества удобрений. По величине этого показателя (в з. ед. на 1 кг NPK) культуры севооборота сформировали убывающий ряд: многолетние травы 2-го года хозяйственного пользования (8,7) > ячмень (7,8) > рожь озимая (7,2) > картофель (6,4) > однолетние травы (3,5). Правда, у ряда культур окупаемость минеральных удобрений снижалась из-за внесения органического удобрения с целью поддержания степени окультуренности почвы.

КПД ФАР у культур полевого севооборота имел устойчивую связь с их биологическими особенностями, а также с уровнем окультуренности почвы и системой удобрения. По его средней величине (в %) они сформировали следующий убывающий ряд: озимая рожь (4,26) > многолетние травы (3,27) > однолетние травы (2,87) > картофель (2,85) > ячмень (2,57). А на удобренных хорошо- и высокоокультуренных почвах все эти культуры преодолевали 3-процентный уровень КПД ФАР, что свидетельствует о возможности формирования урожаев порядка 7-10 т/га з.ед. При этом, величина коэффициента определялась в большей степени уровнем окультуренности почвы, и в меньшей – минеральным удобрением.

4.2. Агрономическая эффективность использования окультуренных почв в системе овощекормового севооборота

В овощекормовой севооборот были включены сельскохозяйственные культуры с более высокими требованиями к почвенным условиям и к удобрениям, что позволяло рассчитывать на повышенный уровень агрономической эффективности окультуривания почвы и системы удобрения. Но прогноз подтвердился лишь частично (табл. 5).

Таблица 5 – Продуктивность овощекормового севооборота

Вариант системы удобрения (фактор Б)	Показатели агрономической эффективности по видам почвы (фактор А)								
	Продуктивность севооборота, т/га з. ед.	Прибавка продуктивности		Прибавка от окультуренности почвы		Прибавка от минеральных удобрений		КПД ФАР, %	Окупаемость 1 кг NPK, з. ед.
		т/га з. ед.	%	т/га з. ед.	%	т/га з. ед.	%		
Среднеокультуренная почва									
Контроль - 0 (NPK0)	22,81	-	-	-	-	-	-	1,74	-
(NPK1)	29,27	6,46	28	-	-	6,46	28	2,21	5,3
(NPK2)	29,12	6,31	28	-	-	6,31	28	2,26	3,4
Хорошо окультуренная почва									
Контроль - фон	38,18	15,37	67	15,37	67	-	-	2,85	-
Фон + (NPK1)	42,85	20,04	88	13,58	46	4,67	12	3,20	3,8
Фон + (NPK2)	46,33	23,52	103	17,21	59	8,15	21	3,47	4,4
Высокоокультуренная почва									
Контроль - фон	42,52	19,71	86	19,71	86	-	-	3,19	-
Фон + (NPK1)	46,12	23,31	102	16,85	58	3,6	8	3,46	2,9
Фон + (NPK2)	47,72	24,91	109	18,60	64	5,2	12	3,57	2,8
НСР ₀₅ фактор А фактор Б взаимод. АБ		2,97 3,80 F _φ < F ₀₅		2,97		3,80			

Существенным преимуществом (на 22-23%) характеризовались показатели среднегодовой продуктивности: 6,4 т. з. ед/га на хорошо- и 7,1 т – на высокоокультуренной почве против 5,2 и 5,8 т з. ед./га в полевом севообороте. В ещё большей степени это относится к прибавкам продуктивности за счёт повышения уровня окультуренности почвы и системы удобрения. Относительно абсолютного контроля в среднем по вариантам опыта они составили 93% (в полевом севообороте – 61%).

Напротив, по ряду других показателей агрономической эффективности овощекормовой севооборот уступал полевому – по окупаемости 1 кг NPK в 2,6, по КПД ФАР – в 1,3 раза. Определённое значение здесь имело то обстоятельство, что свойства и режимы среднеокультуренной почвы не соответствовали биологическим требованиям овощных культур. Хотя и на более окультуренных почвах окупаемость удобрений в этом севообороте была вдвое ниже.

Как и в полевом, в овощекормовом севообороте не прослеживалось устойчивой связи отзывчивости культур на окультуривание почвы с уровнем потребления ими элементов питания, а убывающий ряд отзывчивости (по показателям прироста продуктивности в т. з. ед./га) выглядит следующим образом: капуста

(8,18)> картофель (2,45)> люпин (2,38)> озимая пшеница (1,99)> свёкла столовая (1,56)> ячмень (1,40). Причиной определённых противоречий стали применение органических удобрений под отдельные культуры, а также неблагоприятность погодных условий ряда вегетационных периодов.

Эти же причины вносили коррективы и в показатели окупаемости системы удобрения (в з. ед. на 1 кг NPK), но, большей частью, в противоположном направлении, поэтому убывающий ряд здесь выглядит по-другому: картофель (6,3)> свёкла столовая (5,5)> пшеница озимая (4,0)> люпин (2,8)> ячмень (2,1) = капуста (2,1).

Поскольку энергетическая эффективность посевов сельскохозяйственных культур в большей степени зависела от уровня окультуренности почвы, то и убывающий ряд показателей КПД ФАР (в %) почти повторял таковой по отзывчивости на окультуривание: капуста (3,70)> картофель (3,38)> ячмень (3,16)> люпин (2,85)> озимая пшеница (2,36)> свёкла столовая (1,85).

Таким образом, с позиций агрономической эффективности, повторное окультуривание подвергшейся деградационному процессу супесчаной дерново-подзолистой почвы до хорошей и высокой степени было оправданным в обоих типах севооборотов. Хотя, при этом и в одном, и в другом севообороте присутствовали культуры, слабо реагировавшие или вообще не реагировавшие на повышение степени окультуренности с хорошей до высокой. В целом же прибавки продуктивности от окультуривания почвы овощекормового севооборота были на 22-23 % выше. Установленное же в ходе исследования уменьшение окупаемости минеральных удобрений на повторно окультуренной почве, по нашему мнению, не следует рассматривать как неизбежность. Скорее это указывает на необходимость более обоснованной дифференциации их доз с учётом изменившихся свойств почвы, что, к сожалению, не было предусмотрено методикой исследования.

5. ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПОВТОРНОГО ОКУЛЬТУРИВАНИЯ СУПЕСЧАННОЙ ДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТОЙ ПОЧВЫ И ЕЁ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ В ПОЛЕВОМ И ОВОЩЕКОРМОВОМ СЕВООБОРОТАХ

Окультуривание почвы – весьма затратное агротехническое мероприятие. Даже при использовании в условиях эксперимента недорогих местных мелиорантов трансформация 1 га среднеокультуренной почвы в хорошо окультуренную стоила 81,6 тыс. руб, в высокоокультуренную – 197,9 тыс. руб. В расчётах экономической эффективности и окупаемости затрат мы исходили из представления об исчерпаемости ресурса окультуренности за 12 лет (2 ротации севооборотов). Поэтому к сумме технологических затрат на формирование прибавки урожайности каждой культуры добавлялась 1/12 часть затрат на окультуривание, то есть 6,8 тыс. руб./га на хорошо- и 16,5 тыс. руб./га – на высокоокультуренной почве. В результате затратность увеличивалась на 54-101% в полевом и на 15-37% в овощекормовом севообороте.

Согласно этой методики, в варианте без удобрений рентабельность окультуривания почвы до хорошей степени составляла 97% в полевом и 301% - в ово-

щекормовом севообороте, до высокой – 51 и 234% соответственно. В этом варианте использования все затраты на формирование 1 га хорошо окультуренной почвы окупаются в полевом севообороте за 4,3 года, в овощекормовом – менее чем за год, высокоокультуренной – за 6,7 и 1,6 года.

Но наибольший экономический эффект обеспечивался сочетанием комплекса агротехнических мероприятий (мелиорантов, севооборота, минеральных удобрений) повышавшим доходность 1 га севооборотной площади в среднем в два раза и, аналогичным образом, сокращавшим срок окупаемости затрат на окультуривание.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Повторное окультуривание подвергшейся деградационному процессу прежде хорошо окультуренной супесчаной дерново-подзолистой почвы с последующим её 12-летним использованием в системе полевого и овощекормового севооборотов сопровождалось трансформацией почвообразовательного процесса с неодинаковым (в зависимости от варианта опыта) изменением морфологических, физических и агрохимических свойств, а также продуктивности севооборотов.

2. Основным фактором изменения морфологических свойств почвенного профиля, наблюдаемого по завершению первой ротации севооборотов, стало интенсивное и гиперинтенсивное применение органических удобрений на фоне поддерживающего известкования. Оно выразилось увеличением мощности обогащённых гумусом горизонтов $A_{\text{пах}}$ и A_1A_2 на 3-5 см, потемнением окраски и улучшением структурного состояния пахотного слоя почвы, опусканием нижней границы горизонтов A_1A_2 и A_2B на 2-5 см. Влияние типа севооборота и минеральных удобрений регистрировалось позднее – в конце второй ротации. В полевом севообороте с его 50%-й долей трав в структуре посевов имело место преобразование переходного с признаками элювирования горизонта A_1A_2 в аккумулятивный A_1 . В овощекормовом севообороте на фоне интенсивной обработки почвы и более высоких доз минеральных удобрений элювиальные процессы развивались интенсивнее, что выразилось увеличением до двух раз мощности горизонтов A_1A_2 и A_2B .

3. Интенсивное окультуривание почвы существенно оптимизировало даже на весьма консервативные, агрофизические, свойства. К концу первой ротации севооборотов среднее содержание физической глины в горизонтах $A_{\text{пах}}$ + A_1A_2 увеличилось с 15,3 до 18,3 %. Но, в последующие годы, в условиях промывного водного режима и сократившегося количества применяемых органических удобрений, произошло уменьшение её доли в гранулометрическом составе указанных горизонтов до 16,3%. Аналогичной была и динамика изменений общих физических и водно-физических свойств. Пик их позитивных изменений был зарегистрирован в конце первой ротации севооборотов, хотя и через 12 лет плотность хорошо- и высокоокультуренной почв в пределах пахотного слоя была меньше на 0,1-0,13 г/см³, а полевая влагоёмкость – больше на 3,8-5,9 %.

4. Исходная супесчаная дерново-позолистая почва характеризовалась непрочной комковато-порошистой структурой с удовлетворительной оструктуренностью и неудовлетворительной водопрочностью. Положительное влияние на неё оказывало возделывание трав и снижение интенсивности обработки почвы в

полевом севообороте, применение минеральных удобрений и в большей степени – ускоренное окультуривание. Относительное превосходство хорошо- и высокоокультуренной почв перед среднеокультуренной к концу первой ротации достигло по доле агрономически ценных агрегатов 44 и 61 %, коэффициенту структурности – на 144 и 267 %, водопрочности – на 61 и 84 %, критерию водопрочности – на 111 и 271 %, соответственно. В конце опыта его уровень снизился до 28 и 49 %, 78 и 178 %, 66 и 98 %, 110 и 187 % соответственно, но оба вида почвы продолжали обладать хорошей комковато-зернистой структурой и удовлетворительной водопрочностью агрегатов.

5. Значительные положительные изменения физико-химических свойств, окультуренных до хорошей и высокой степени почв, регистрировались уже в 2006 году, то есть непосредственно после внесения навоза и извести: рН_{KCl} почвы пахотного слоя увеличился с 5,61 до 6,22 - 6,37, степень насыщенности основаниями – с 69 до 82-88%, исчезли подвижные катионы алюминия. Близкими были показатели трансформации свойств и подпахотного горизонта. В течение 12 последующих лет физико-химические свойства исходной среднеокультуренной почвы на фоне отрицательного баланса оснований сильно ухудшились, в то время как у хорошо- и высокоокультуренных почв за счёт разового применения высоких доз птичьего помёта изменились незначительно (рН_{KCl} уменьшился на 0,18 ед., степень насыщенности основаниями – на 4%). Ни средние, ни повышенные дозы минеральных удобрений на эти свойства не повлияли.

6. Следствием ускоренного окультуривания почвы стало значительное улучшение её важнейших агрохимических свойств: у хорошо окультуренной – повышение содержания органического вещества в среднем на 0,72%, подвижных соединений фосфора – на 53, калия – на 254 мг/кг; у высокоокультуренной – на 0,90%, 178 и 492 мг/кг соответственно. Но использованная в опыте система удобрения не обеспечила сохранения указанного уровня большинства показателей (за исключением содержания подвижного фосфора в хорошо окультуренной и органического вещества – в высокоокультуренных почвах). Особенно критична ситуация с подвижными соединениями калия, содержание которых уменьшилось в 2,4 и 2,2 раза. Установленные закономерности практически не зависели от типа севооборота.

7. Оптимизация водно-воздушного и питательного режимов дерново-подзолистой почвы при окультуривании до хорошего и высокого уровня сопровождалась повышением агрономической эффективности введённых на них севооборотов: продуктивности 1 га на 34 и 50 % в полевом и на 67 и 86 % - в овощекормовом севооборотах, КПД ФАР с 2,04 до 2,74 и 3,01 % и с 1,74 до 2,85 и 3,19 % соответственно. Минеральная система удобрения обеспечивала дополнительное повышение продуктивности единицы севооборотной площади на 19 и 15 % в полевом, 17 и 10 % - в овощекормовом севооборотах; КПД ФАР – до 3,19 и 3,44 %, 3,34 и 3,52 % соответственно.

8. Окупаемость минеральных удобрений прибавками урожайности на хорошо- и высокоокультуренной почвах снижалась, в сравнении со среднеокультуренной, в 1,9 и 2,1 раза в полевом и в 1,1 и 1,6 раза - в овощекормовом севообороте. Это в значительной мере обусловлено применением на первых почвах орга-

нических удобрений, но, с другой стороны, указывает на необходимость большего внимания к установлению доз минеральных удобрений с учётом этого фактора.

9. Сельскохозяйственные культуры в обоих типах севооборотов по-разному реагировали на повышение степени окультуренности почвы и доз удобрений. Причём, уровень отзывчивости не всегда коррелировал с показателями выноса элементов питания культурой, поскольку в условиях севооборота сильное влияние оказывали периодически применяемые органические удобрения, а также значительно отличающиеся по годам погодные условия вегетационного периода, во многом определяющие фитосанитарное состояние посевов.

10. Коэффициент полезного действия фотосинтетически активной радиации определялся физиологическими особенностями сельскохозяйственных растений, почвенными условиями и системой удобрения. Убывающий ряд средних по вариантам опыта показателей КПД ФАР (%), по данным второй ротации севооборотов, сформировался следующим образом: озимая рожь (4,26) > капуста белокачанная (3,70) > многолетние травы (3,27) > картофель (3,12) > однолетние травы и люпин (2,86) = ячмень (2,86) > озимая пшеница (2,36) > столовая свёкла (1,85). Среди изучаемых факторов наибольшее влияние на КПД ФАР оказывал уровень окультуренности почвы, значительно меньшее (почти в три раза) – система удобрения.

11. Затратность повторного окультуривания подвергшейся деградационным процессам супесчаной дерново-подзолистой почвы даже на базе недорогих местных мелиорантов сильно изменялась в зависимости от запланированных показателей трансформации её свойств. Преобразование одного гектара исходной среднеокультуренной почвы в хорошо окультуренную стоило 81,6 тыс. руб. и на фоне минеральной системы удобрения окупалось в полевом севообороте за 2-2,3 года, в овощекормовом – менее чем за год. Для полевых севооборотов такой уровень окультуренности почвы можно считать достаточным. Формирование высокоокультуренной почвы обеспечивалось затратами 179,9 тыс. руб./га и удлиняло срок их окупаемости в 1,7 раза.

12. Применение на повторно окультуренной почве минеральной системы удобрения повышало доходность 1 га севооборотной площади в среднем в два раза, а относительно исходной среднеокультуренной почвы – в 3,1 раза. При этом сохраняется резерв к дальнейшему увеличению показателей рентабельности удобрений за счёт дифференциации их доз с учётом изменения свойств почвы в результате окультуривания.

РЕКОМЕНДАЦИИ ПРОИЗВОДСТВУ

1. В современных условиях Северо-Запада РФ обосновано повторное ускоренное восстановление плодородия пахотных дерново-подзолистых почв легкого гранулометрического состава до хорошо окультуренного уровня и его воспроизводство за счёт поддерживающего известкования и среднегодового внесения 20-25 т/га органических удобрений. Оно позволяет повысить продуктивность полевого и овощекормового севооборотов на 34 и 67 % при рентабельности 97 и 301 % и среднегодовом условном чистом доходе в 12,1 и 97,1 тыс. руб/га. Оно является одной из реальных основ возрождения устойчивого сельскохозяйственного

производства и обеспечения региональной продовольственной безопасности. Для этого необходимо использовать местные ресурсы относительно недорогих органических удобрений и известковых мелиорантов.

2. Ускоренное окультуривание деградированной легкой дерново-подзолистой почвы до высокого уровня на основе поддерживающего известкования и среднегодового внесения 50-60 т/га органических удобрений, может быть экономически эффективным и экологически безопасным при наличии соответствующих ресурсов на легких дерново-подзолистых почвах в интенсивных овощных и овощекормовых севооборотах, обеспечивая среднегодовой уровень условного чистого дохода в 110,4 тыс. руб/га.

3. Для достижения максимальной агроэкономической эффективности на повторно окультуренных легких дерново-подзолистых почвах необходима минеральная (преимущественно, азотно-калийная) система удобрения, учитывающая фактические свойства почвы и биологические потребности отдельных культур. Она позволяет повысить уровень условного чистого дохода в полевом и овощекормовом севооборотах с 12,1 и 97,1 до 28,9-34,8 и 120,8-136,3 тыс. руб/га соответственно.

СПИСОК ПУБЛИКАЦИЙ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

Статьи в изданиях из перечня ВАК:

1. Витковская, С. Е. Изменение строения профиля и агрохимических параметров дерново-подзолистой почвы при окультуривании [Текст] / С.Е. Витковская, А.И. Иванов, **П.А. Филиппов** // Агрохимия. 2014. №7. С. 9-16.

2. Иванов, А.И. Агротехнические аспекты реализации биоклиматического потенциала Северо-Запада России [Текст] / А.И. Иванов, А.А. Конашенков, Ж.А. Иванова, В.А. Воробьев, М.А. Фесенко, Т.А. Данилова, **П.А. Филиппов** // Агрофизика. 2016. № 2. С. 35-44.

3. Иванов, А.И. Особенности методологии полевых исследований на современном этапе [Текст] / А.И. Иванов, Ж.А. Иванова, А.А. Конашенков, **П.А. Филиппов** // Агрофизика. 2017. № 2. С. 9-19.

4. Иванов, А.И. Отзывчивость картофеля на удобрение и потери урожая от фитофтороза в условиях Северо-Запада России [Текст] / А.И. Иванов, Ж.А. Иванова, О.И. Якушева, **П.А. Филиппов** // Картофель и овощи. 2019. № 8 С. 23-26.

5. **Филиппов, П.А.** Эффективность средств управления продуктивностью культур и плодородием почв в полевом и овощекормовом севооборотах [Текст] / П. А. Филиппов // Проблемы агрохимии и экологии. 2020. № 1. С. 14-19.

Коллективная монография

6. Производство, изучение и применение удобрений на основе птичьего помёта [Текст] / А.И. Иванов, В.В. Лапа, Н.Г. Ковалев, И.А. Иванов, Г.Ю. Рабинович, Д.А. Иванов, Ж.А. Иванова, А.А. Конашенков, И.А. Фрейдкин, М.А. Фесенко, **П.А. Филиппов**, Т.М. Серая, Е.Н. Богатырева, О.М. Бирюкова, Ю.А. Белявская, Т.В. Соколова, З.М. Алещенкова, Л.Е. Картыжова, И.А. Архипченко. Санкт-Петербург. 2018. 317 с.

Публикации в других изданиях:

7. **Филиппов П.А.** Влияние органических и минеральных удобрений на

структурное состояние окультуренной почвы [Текст] / П.А. Филиппов. Мат. Международной науч. конф. «15 Докучаевские молодёжные чтения», СПб, 2012, С. 100-102.

8. Иванов, А.И. О воспроизводстве плодородия окультуренных дерново-подзолистых почв [Текст] / А.И. Иванов, Е.А. Оленченко, **П.А. Филиппов**. Состав и свойства почв. Материалы Международной научной конференции, посвящённой 145-летию со дня рождения академика К.Д. Глинки. 2012. С. 74-75.

9. Иванов, А.И. Роль органических и минеральных удобрений в воспроизводстве агрофизических и агрохимических свойств почвы [Текст] / А.И. Иванов, Е.А. Оленченко, Е.В. Воропаева, **П.А. Филиппов**. Тенденции развития агрофизики в условиях изменяющегося климата. СПб. Любавич, 2012. С. 289-293.

10. Иванов, А.И. Влияние интенсивного применения органических и минеральных удобрений на свойства дерново-подзолистой почвы [Текст] / А.И. Иванов, С.В. Непримерова, **П. А. Филиппов**. Материалы научной сессии по итогам 2012 года Агрофизический институт С-Петербург 2-3 апреля 2013г. С - Петербург. АФИ 2013. С.

11. **Филиппов П.А.** Влияние различных по интенсивности систем органоминеральных удобрений на физические и химические свойства окультуренной почвы [Текст] / П.А. Филиппов. Материалы XVI международной научной конференции «Докучаевские молодежные чтения: Законы почвоведения, новые вызовы». СПб. 2013. С 101.

12. **Филиппов П.А.** Влияние интенсивного применения органических и минеральных удобрений на свойства дерново-подзолистой почвы [Текст] / П.А. Филиппов. Сборник докладов Всероссийской школы молодых учёных и специалистов. Суздаль. 2013. С. 10.

13. Иванов, А.И. Оценка Агроэкономической эффективности органоминеральных систем удобрения [Текст] / А.И. Иванов, Е.А. Оленченко, **П.А. Филиппов**. Сборник «Материалы научной сессии по итогам 2013 года Агрофизического института» 2014. С. 152-15.

14. Иванов, А.И. Оценка агрономической эффективности органоминеральных систем удобрения [Текст] / А.И. Иванов, Е.А. Оленченко, **П.А. Филиппов**. Мат. науч. сессии по итогам 2013 года Агрофизического института. СПб: АФИ, 2014. С. 152-155.

15. Иванов, А.И. Плодородие дерново-подзолистых почв и эффективность систем удобрения [Текст] / А.И. Иванов, **П.А. Филиппов**. Развитие земледелия в Нечерноземье: проблемы и решения. – СПб: 2016. – С. 12 – 15.

16. **Филиппов, П. А.** Интенсивность системы земледелия и воспроизводство плодородия окультуренных дерново-подзолистых почв [Текст] / П.А. Филиппов, А.И. Иванов, В.А. Воробьёв. Почвоведение - продовольственной и экологической безопасности страны. 2016. С. 132.

17. Иванова, Ж.А. Эффективность систем удобрения в полевых севооборотах разной интенсивности [Текст] / Ж.А. Иванова, **П.А. Филиппов**. Адаптивно-ландшафтные системы земледелия – основа эффективного использования мелиорированных земель. Мат. Междунар. науч.-практ. конф. Тверь: ФГБНУ ВНИИМЗ, 2017. Кн. 1. С. 129-134.

18.Иванова, Ж.А. Окультуривание дерново-подзолистой почвы и эффективность системы удобрения на полевых и овощных культурах [Текст] / Ж.А. Иванова, **П.А. Филиппов**, Н.В. Смирнова. Агроэкосистемы в естественных и регулируемых условиях: от теоретической модели к практике прецизионного управления. Мат. Всероссийской конф. с международным участием. СПб: ФГБНУ АФИ, 2017. С. 169-175.

19.Иванова, Ж.А. Эффективность управления питанием культур на автоморфных дерново-подзолистых почвах [Текст] / Ж.А. Иванова, **П.А. Филиппов**. Мелиорация, современные методики, инновации и опыт практического применения. Сб. науч. тр. Междунар. науч.-практ. конф. Минск: РУП «Институт мелиорации», 2017. С. 34-38

20.Иванова, Ж.А. К вопросу об эффективности фотосинтеза и окупаемости удобрений в полевом и овощекормовом севооборотах [Текст] / Ж.А. Иванова, **П.А. Филиппов**. Материалы международной научно-практической конференции. Тверь. 2020. С. 88-92.

21.Иванова, Ж.А. Эффективность системы удобрения полевых культур на дерново-подзолистых почвах разной окультуренности [Текст] / Ж.А. Иванова, **П.А. Филиппов**. Почвенные ресурсы Сибири: вызовы XXI века. Мат. Всеросс. науч. конф. с междунар. участием. Новосибирск, 2017. С. 26-29

22.**Филиппов, П.А.** Агрономическая эффективность систем удобрения за ротацию полевого и овощекормового севооборотов [Текст] / П.А. Филиппов. Материалы II Международной научной конференции посвященной памяти академика Е. И. Ермакова. 2019. С. 751-757

23.**Филиппов, П.А.** О роли плодородия почвы в использовании фотосинтетически активной радиации культурами севооборотов [Текст] / П.А. Филиппов. Материалы VII Международной научно-практической конференции молодых ученых, посвященной 120-летию со дня рождения Альбенского Анатолия Васильевича. 2019. С. 51-52.

24.**Филиппов П.А.**, Трансформация пахотной дерново-подзолистой почвы в современных условиях [Текст] / Тенденции развития агрофизики: от актуальных проблем земледелия и растениеводства к технологиям будущего. СПб: ФГБНУ АФИ, 2021. С. 156-160.