

*На правах рукописи*

**Несмеянова Марина Анатольевна**

**НАУЧНЫЕ ОСНОВЫ БИОЛОГИЗАЦИИ ЗЕМЛЕДЕЛИЯ  
В ЦЕНТРАЛЬНОМ ЧЕРНОЗЕМЬЕ**

Специальность 4.1.1. Общее земледелие и растениеводство

**АВТОРЕФЕРАТ**

диссертации на соискание ученой степени  
доктора сельскохозяйственных наук

Саратов – 2023

Работа выполнена в Федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I»

**Научный консультант:** доктор сельскохозяйственных наук, профессор  
**Дедов Анатолий Владимирович**

**Официальные оппоненты:** **Гармашов Владимир Михайлович**, доктор сельскохозяйственных наук, Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Воронежский федеральный аграрный научный центр им. В.В. Докучаева», заведующий отделом адаптивно-ландшафтного земледелия

**Горянин Олег Иванович**, доктор сельскохозяйственных наук, Самарский научно-исследовательский институт сельского хозяйства имени Н.М. Тулайкова – филиал Федерального государственного бюджетного учреждения науки Самарского федерального исследовательского центра Российской академии наук, главный научный сотрудник отдела земледелия и новых технологий

**Зеленев Александр Васильевич**, доктор сельскохозяйственных наук, доцент, Федеральное государственное бюджетное научное учреждение Федеральный исследовательский центр «Немчиновка», главный научный сотрудник лаборатории сортовых технологий зерновых культур и систем применения удобрений

**Ведущая организация:** Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Белгородский федеральный аграрный научный центр Российской академии наук (ФГБНУ Белгородский ФАНЦ РАН)

Защита состоится « \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2023 года в \_\_\_\_\_ часов на заседании диссертационного совета 35.2.035.05, созданного на базе федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Саратовский государственный университет генетики, биотехнологии и инженерии имени Н.И. Вавилова» по адресу: 410012, г. Саратов, пр-кт им. Петра Столыпина, зд. 4, стр. 3. E-mail: [dissovet01@sgau.ru](mailto:dissovet01@sgau.ru).

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ФГБОУ ВО Вавиловский университет и на сайте [www.vavilovsar.ru](http://www.vavilovsar.ru).

Автореферат разослан « \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2023 г.

Ученый секретарь  
диссертационного совета

Илья Сергеевич Полетаев

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность темы исследований.** Современное земледелие – это совокупность наукоемких и высокотехнологичных процессов, направленных на увеличение объемов растениеводческой продукции, но, к сожалению, в большинстве случаев сопровождающихся полным или частичным игнорированием элементарных экологических принципов, результатом которого становятся прогрессирующая деградация почв, снижение качества и биологической привлекательности получаемой продукции, отсутствие экономического роста в сфере растениеводства.

Показателем, имеющим важное экологическое значение и определяющим ценность земель сельскохозяйственного назначения как объектов производственной деятельности и компонентов биосферы, является почвенное плодородие. Именно с ним напрямую связана экологическая и продовольственная безопасность страны, именно оно является существенным фактором социальной стабильности. Почва – основное средство производства в сельскохозяйственном секторе экономики, поэтому проблема сохранения и повышения ее плодородия должна находиться в центре внимания как ученых-аграрников, так и государственных структур.

Сегодня все чаще звучат призывы к переходу к органическому земледелию. Но это длительный путь, требующий не только коренной перестройки системы земледелия конкретного хозяйства и достаточно серьезных финансовых вложений, но и морального настроя землепользователя, его готовности к преодолению трудностей на первых этапах, умению терпеливо ждать отдачи от внедренных технологий. Поэтому сегодня наиболее реальным является освоение компромиссного земледелия, основанного на принципах биологизации, экологизации и ресурсосбережения, т.е. на применении методов, не представляющих высокой степени риска для производства, не требующих больших вложений, сопровождающихся небольшим объемом дополнительных трудовых затрат, оказывающих существенное влияние на сохранение плодородия почвы и повышение продуктивности севооборотов. Речь идет о биологизированном земледелии!

Таким образом, в современных условиях развития сельского хозяйства научно-практическое обоснование приемов биологизации в системе земледелия является актуальным направлением научных исследований.

**Степень ее разработанности.** Вопросами изучения воспроизводства плодородия черноземных почв за счет введения биологизированных севооборотов, рационального применения органических и минеральных удобрений и широкого использования в системе земледелия приемов биологизации занимались многие ученые [В.А. Воронков, 1983; Л.В. Пешков, 1991; Н.И. Зезюков, 1993; В.И. Лезарев, 1996; А.В. Дедов, 2000; Е.В. Морозова, 2001; А.П. Пичугин, 2002; Н.И. Придворев, 2002; В.В. Верзилин, 2004; Б.А. Сотников, 2004; О.Г. Котлярова, 2004; С.И. Коржов, 2006; Н.А. Зеленский, 2008; А.П. Авдеев, 2009; Е.В. Недоцук, 2010; Д.А. Болучевский, 2014; А.А. Дедов, 2016;

А.Л. Тойгильдин, 2018; Н.И. Клостер, 2022 и др.]. Проводились широкие исследования по изучению эффективности и рациональности различных приемов основной обработки почвы, по их влиянию на основные показатели почвенного плодородия, урожайность культур и продуктивность севооборотов [А.Ф. Витер, 1975; А.В. Евсеев, 1985; П.Г. Аленин, 1997; С.Д. Ильин, 1998; Б.А. Рыбалкин, 2002; Н.В. Беседин, 2006; Е.А. Родионов, 2006; О.С. Харалгина, 2007; А.Г. Гришичкин, 2013; Т.А. Трофимова, 2014; В.В. Рзаева, 2014; З.Р. Султангазин, 2015; А.Н. Воронин, 2016; О.И. Горянин, 2016; В.М. Гармашов, 2018; Р.Х. Якупов, 2020; А.В. Гостев, 2021; А.О. Дубовченко, 2021; С.Ю. Плотников, 2021 и др.].

В работах отмечены наиболее актуальные теоретические, методологические и практические аспекты повышения плодородия черноземов, но при этом слабо изучена роль бинарных посевов культур с бобовыми травами. Поэтому исследования по разработке приемов сохранения и повышения плодородия черноземов в биологизированных севооборотах с бинарными посевами культур имеют важное научное и практическое значение.

**Цели и задачи.** Цель исследования: научное обоснование биологизированной системы земледелия Центрального Черноземья.

Задачи исследования:

1. Определить влияние приемов биологизации и основной обработки почвы на агрофизические, агрохимические и биологические свойства почвы.
2. Выявить влияние приемов биологизации на численность и групповой состав почвенных микроорганизмов, их биологическую активность.
3. Оценить показатели почвенного плодородия и урожайность подсолнечника при органической и органо-минеральной системе удобрений.
4. Установить зависимость урожайности сельскохозяйственных культур, продуктивности и почвозащитной способности севооборотов, их экономической и биоэнергетической эффективности от приемов биологизации и основной обработки почвы.
5. Разработать модель зависимости продуктивности севооборота от показателей почвенного плодородия.

**Научная новизна** исследования заключается в научном обосновании биологизации земледелия и регулирования плодородия почв в условиях Центрального Черноземья:

- впервые в условиях недостаточного увлажнения Центрально-Черноземного региона получены экспериментальные данные по влиянию биологизированных севооборотов с бинарными посевами культур на агрофизические, агрохимические и биологические свойства почвы;
- теоретически обоснована целесообразность возделывания бинарных посевов подсолнечника с применением органо-минеральной системы удобрений (пожнивно-корневые остатки и солома ячменя + пожнивной сидерат редька масличная + припосевное удобрение  $N_{24}P_{24}K_{24}$ ), обеспечивающей существенную прибавку урожайности (0,31 т/га, или 10,9%) и воспроизводство плодородия почвы;

- доказана эффективность проведения в биологизированных севооборотах разноглубинной комбинированной основной обработки почвы с проведением отвальной вспашки под пропашные культуры: под подсолнечник – на глубину 20-22 см, под сахарную свеклу – на глубину 23-25 см;

- впервые даны рекомендации сельскохозяйственному производству в зоне недостаточного увлажнения по внедрению биологизированных севооборотов с бинарными посевами культур с учетом специализации хозяйства;

- получена модель формирования продуктивности севооборота в зависимости от основных показателей плодородия чернозема типичного в условиях ЦЧР.

**Теоретическая и практическая значимость работы.** Разработанное для Центрального Черноземья направление биологизации системы земледелия на основе севооборотов с бинарными посевами культур с бобовыми травами, применения сидерации и растительных остатков способствует оптимизации агрофизических и агрохимических свойств почвы, активизации микробиологической деятельности, повышению содержания в почве органического вещества, увеличению урожайности культур и продуктивности севооборота в целом (на 3,10-3,24 т к.ед./га). Комплекс приемов биологизации обеспечивает увеличение коэффициента энергетической (в 1,8-6,4 раза) и экономической (на 28-38%) эффективности возделывания культур.

Проведение на черноземе типичном в условиях Центрального Черноземья разноглубинной комбинированной основной обработки почвы в севообороте, предусматривающей отвальную обработку почвы под пропашные культуры (подсолнечник и сахарную свеклу) и мелкие безотвальные – под культуры сплошного сева, обеспечивает ресурсо- и энергосбережение при сохранении плодородия почвы.

Результаты изучения темпов разложения растительных остатков позволяют рационально использовать биологический ресурс плодородия почвы за счет сочетания высокоуглеродистого растительного материала с богатой азотом биомассой.

Установленная зависимость урожайности подсолнечника от системы удобрений способствует рациональному использованию минеральных удобрений при возделывании культуры на черноземе типичном в условиях Центрального Черноземья.

Бинарные посевы подсолнечника с многолетними бобовыми травами определяют возможность возделывания культуры на эрозионно-опасных склонах: эрозионная почвозащитная способность севооборотов возрастает в 1,9-2,2, дефляционная – в 1,2-2 раза.

Разработанные модели позволяют регулировать уровень продуктивности севооборотов путем оптимизации основных показателей почвенного плодородия за счет увеличения массы поступающих в почву растительных остатков.

Результаты исследований рекомендуется использовать при проектировании современных адаптивно-ландшафтных систем земледелия и разработке технологий возделывания полевых культур.

Внедрение результатов научного исследования было осуществлено:

1) в ООО «Макс-Агро» Хохольского района Воронежской области (2018-2021 гг.): наличие в севообороте бинарных посевов подсолнечника и сидерального донникового пара обеспечило увеличение чистого дохода с 1 га до 15,0 тыс.руб.;

2) в ООО «Агро фирма-Импульс-2» Хохольского района Воронежской области (2020-2021 гг.): при совместном посеве подсолнечника и донника желтого чистый доход с 1 га превысил 17 тыс.руб.;

3) в КФХ ИП «Палихов А.А.» Хохольского района Воронежской области (2013-2016 гг.): внедрение бинарных посевов подсолнечника обеспечило получение чистого дохода с 1 га более 28 тыс. руб.;

4) в ОАО «Электросигнал» ПСХ Цех803 Рамонского района Воронежской области (2015-2016 гг.): совершенствование основной обработки почвы в севообороте обеспечило увеличение чистого дохода с 1 га до 25 тыс.руб.;

4) внедрение современной биологизированной системы земледелия в КФХ ИП «Палихов А.А.» Хохольского района Воронежской области на площади 100 га с 2018 по 2022 год позволило увеличить урожайность возделываемых зерновых культур в среднем на 0,28 т/га, подсолнечника – на 0,20 т/га, содержание гумуса в почве – на 0,29%. Чистый доход с 1 га составил в 2021 году 14,2 тыс.руб., рентабельность производства превысила 139%.

**Методология и методы исследований.** Экспериментальные исследования проводились с использованием общепринятых методик и современного сертифицированного оборудования. Применялись эмпирические и теоретические методы-операции и методы-действия: выявление и разрешение противоречий, постановка проблемы, постановка гипотезы, доказательство, анализ, сравнение, обобщение, моделирование, а также изучение и обобщение опыта, опытная работа, наблюдение, измерение, ретроспекция и др. При статистической обработке применялись методы дисперсионного, корреляционного и регрессионного анализов с применением современных компьютерных программ.

**Положения, выносимые на защиту:**

1. Закономерности формирования показателей почвенного плодородия в биологизированных севооборотах с использованием бинарных посевов.

2. Обоснование роли приемов биологизации в увеличении численности почвенной биоты и формировании ее устойчивой активности.

3. Особенности формирования показателей почвенного плодородия при органической и органо-минеральной системе удобрений и различных способах основной обработки почвы под бинарные посевы подсолнечника.

4. Характер формирования почвозащитной способности, продуктивности, экономической и биоэнергетической эффективности биологизированных севооборотов.

5. Научное обоснование модели зависимости продуктивности севооборота от основных показателей плодородия чернозема типичного в условиях Центрального Черноземья.

**Степень достоверности и апробация результатов исследований** подтверждаются значительным объемом экспериментальных данных, использованием современных методик проведения лабораторных и полевых опытов, сбора и обработки исходной информации, математической обработки цифрового материала, а также положительными результатами апробаций, проведенных в условиях Хохольского (КФХ ИП «Палихов А.А.», ООО «Макс-Агро», ООО «Агро фирма-Импульс-2») и Рамонского (ОАО «Электросигнал» ПСХ Цех 803) районов Воронежской области.

Теория биологизированного земледелия с бинарными посевами культур согласуется с опубликованными экспериментальными данными по теме диссертационного исследования. Устная апробация результатов научных исследований, получивших высокую положительную оценку, протекала в рамках проведения международных, национальных, всероссийских научно-практических конференций: Белгород, 2014, 2015; Воронеж, 2014, 2016, 2017, 2018, 2020, 2021, 2022; Азербайджан, Гянджа, 2015; Пенза, 2015; Москва, 2015; Каменная Степь, 2015, 2017, 2022; Санкт-Петербург, 2016; Волгоград, 2016-2017; Ульяновск, 2017; Рязань, 2017; Барнаул, 2017; Краснодар, 2017, 2019; Владикавказ, 2017; Красноярск, 2017; Макеевка, 2018-2019; Курган, 2018; Ставрополь, 2018; Уссурийск, 2019; Правдинский, 2019, а также на ежегодных научно-практических конференциях Воронежского ГАУ и многих других научных мероприятиях российских организаций и учреждений.

В 2015 году проект «Бинарные посевы культур с многолетними травами» был отмечен золотой медалью выставки «Агросезон-2015».

В 2020 году за научно-техническую разработку «Формирование плодородия почвы при внедрении севооборотов с экологической направленностью» автор награждена дипломом лауреата премии Правительства Воронежской области.

**Публикации.** По материалам диссертации опубликовано 80 работ, в том числе 37 – в изданиях, рекомендованных ВАК Минобрнауки РФ, 3 – в изданиях, индексируемых в Web of Science, Scopus, 2 монографии, 1 рекомендация.

**Личный вклад автора:** анализ литературы, разработка схем и закладка полевых стационаров, проведение полевых и лабораторных исследований, анализ и обобщение полученных экспериментальных данных, математическая обработка цифрового материала, внедрение результатов в сельскохозяйственное производство, устная и письменная апробация результатов исследований.

**Структура и объем диссертации.** Диссертация состоит из введения, 7 глав, заключения и предложений производству, списка литературы. Список литературы включает 477 источников, из них 36 – иностранных авторов.

Диссертация изложена на 386 страницах компьютерного текста, содержит 69 таблиц, 70 рисунков, 94 приложения.

Автор выражает глубокую благодарность научному консультанту, доктору сельскохозяйственных наук, профессору Анатолию Владимировичу Дедову и профессору кафедры земледелия, растениеводства и защиты растений Воронежского ГАУ, доктору сельскохозяйственных наук Сергею Ивановичу Коржову за оказанную помощь и поддержку при выполнении работы.

## СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во **введении** раскрыто состояние проблемы, обоснована актуальность темы исследования, поставлены цели и задачи, представлены выносимые на защиту положения, отражена научная новизна, теоретическая и практическая значимость исследования, изложена методология и методы исследований, раскрыта степень достоверности и апробации работы, а также указан личный вклад автора, количество публикаций по теме исследования, структура и объем диссертации.

В **первой главе** приведен анализ результатов исследований отечественных и зарубежных авторов по изучению влияния на основные показатели плодородия почвы и урожайность культур различных приемов биологизации (многолетних трав, соломы, сидерации) и обработки почвы. Выявлены основные противоречия и неоднозначность мнений по формированию почвенного плодородия под влиянием различных факторов, что обозначило актуальность проведения дальнейших исследований.

Во **второй главе** рассмотрены почвенно-климатические условия района проведения исследований, приведены объекты, методика и техника научного исследования.

Опыты 1, 2, 3 и 7 заложены в Хохольском районе Воронежской области. Почва – чернозем типичный, среднемошный, глинистый, уклон до 1<sup>0</sup>. В год закладки опыта 1 (2010) слой почвы 0-30 см характеризовался следующими агрохимическими показателями: содержание гумуса – 5,3%, сумма обменных оснований – 34,1 мг.экв./100 г почвы, содержание подвижного фосфора (по Чирикову) – 113 мг/кг почвы, обменного калия (по Чирикову) – 184 мг/кг почвы, гидролизуемого азота – 62,9 мг/кг почвы.

Опыты 4, 5 и 6 заложены в Эртильском районе Воронежской области. Почва опытного участка – чернозем типичный, глинистый. В год закладки опытов (2009) слой почвы 0-30 см характеризовался следующими агрохимическими показателями: содержание гумуса – 6,7%, сумма обменных оснований – 24 мг.экв./100 г почвы, рН<sub>сол</sub> – 5,5, содержание подвижного фосфора и обменного калия (по Чирикову) – соответственно 141 и 127 мг/кг почвы, содержание гидролизуемого азота – 62,9 мг/кг почвы.

Климат зоны – умеренно континентальный с неустойчивым увлажнением. Согласно значениям ГТК в Хохольском районе 2011, 2014 и 2015 гг. были слабозасушливыми, 2012, 2013 и 2016 гг. – избыточно влажными; в Эртильском районе: 2010 г. – был засушливым, 2011 г. – оптимально увлажненным, 2012 г. – влажным.

Резкие различия лет исследования по агроклиматическим характеристикам позволили всесторонне изучить влияние приемов биологизации и основной обработки на основные показатели плодородия почвы и урожайность культур.

Исследования по теме диссертации проводили в 7 опытах.

**Многофакторный стационарный опыт 1.** *Плодородие чернозема типичного и урожайность культур при различных приемах биологизации и основной обработки почвы в лесостепи ЦЧР.*

Фактор А – вид севооборота:

1. Зернопаропропашной севооборот (ЗПП): чистый пар – озимая пшеница – ячмень –  $\frac{1}{2}$  подсолнечник (ОП) /  $\frac{1}{2}$  кукуруза (контроль).

2. Сидеральный севооборот (Сид): сидеральный пар (донник желтый 2-го г.ж.) – озимая пшеница – ячмень + пожнивной сидерат редька масличная –  $\frac{1}{2}$  бинарный посев подсолнечника с донником желтым (БП+Дж) /  $\frac{1}{2}$  бинарный посев кукурузы с донником желтым.

3. Зернотравянопропашной севооборот (ЗТП): занятый пар (люцерна синяя 2-го г.ж.) – бинарный посев озимой пшеницы с люцерной синей 3-го г.ж. – ячмень + пожнивной сидерат редька масличная –  $\frac{1}{2}$  бинарный посев подсолнечника с люцерной синей (БП+Лс) /  $\frac{1}{2}$  бинарный посев кукурузы с люцерной синей.

Фактор В – прием основной обработки почвы под подсолнечник:

1. Вспашка на глубину 20-22 см (В) – контроль.

2. Дисковая обработка на глубину 10-12 см (Д).

3. Плоскорезная обработка на глубину 20-22 см (П).

Приемам основной обработки почвы предшествовало проведение двух дисковых обработок на глубину 8-10 и 10-12 см.

Фактор С – слой почвы:

1. Слой почвы 0-10 см.

2. Слой почвы 10-20 см.

3. Слой почвы 20-30 см.

Стационарный опыт заложен в 2010 году. Исследования проводились в 2011-2016 гг. Общее количество делянок в опыте – 54. Форма делянки – прямоугольная, размер – 37,9x17,4 м. Общая площадь делянки 659 м<sup>2</sup>, площадь учетной делянки – 525 м<sup>2</sup>.

**Многофакторный стационарный опыт 2.** *Влияние приемов повышения плодородия почвы и основной обработки на основные показатели почвенного плодородия, урожай и качество маслосемян подсолнечника.*

Фактор А – вид посева подсолнечника:

1. Одновидовой посев (ОП) – контроль.

2. Бинарный посев с викой яровой (БП+Вя).

3. Бинарный посев с эспарцетом песчаным (БП+Эп).

4. Бинарный посев с люцерной синей (БП+Лс).

Фактор В – прием повышения плодородия почвы:

1. Фон: пожнивно-корневые остатки ячменя (Ф) – контроль.

2. Фон + солома ячменя (Ф+С).

3. Фон + пожнивной сидерат редька масличная (Ф+ПС).

4. Фон + припосевное удобрение N<sub>24</sub>P<sub>24</sub>K<sub>24</sub> (Ф+У).

5. Фон + солома ячменя + припосевное удобрение N<sub>24</sub>P<sub>24</sub>K<sub>24</sub> (Ф+С+У).

6. Фон + солома ячменя + пожнивной сидерат редька масличная (Ф+С+ПС).

7. Фон + пожнивной сидерат редька масличная + припосевное удобрение  $N_{24}P_{24}K_{24}$  (Ф+ПС+У).

8. Фон + солома ячменя + пожнивной сидерат редька масличная + припосевное удобрение  $N_{24}P_{24}K_{24}$  (Ф+С+ПС+У).

Фактор С – способ основной обработки почвы:

1. Отвальный способ: вспашка на глубину 20-22 см – контроль (ОС).

2. Безотвальный способ: глубокое рыхление на глубину 20-22 см (БС).

Приемам основной обработки почвы предшествовало проведение двух дисковых обработок на глубину 8-10 и 10-12 см.

Стационарный опыт заложен в 2015 году. Исследования проводились в 2016-2019 гг. Возделывание подсолнечника осуществлялось в звене севооборота: пар – озимая пшеница – ячмень – подсолнечник. Общее количество делянок в опыте – 192. Форма делянки – прямоугольная, размер – 5,6x20 м. Общая площадь делянки 112 м<sup>2</sup>, площадь учетной делянки – 70 м<sup>2</sup>.

**Микроделяночный полевой опыт 3.** *Разложение растительных остатков культур севооборотов в зависимости от приемов биологизации.*

Схема опыта:

1. Растительные остатки ячменя (контроль).

2. Растительные остатки озимой пшеницы (контроль).

3. Растительные остатки подсолнечника (контроль).

4. Растительные остатки редьки масличной (контроль).

5. Растительные остатки донника желтого 1-го г.ж. (контроль).

6. Растительные остатки донника желтого 2-го г.ж. (контроль).

7. Растительные остатки люцерны синей 1-го г.ж. (контроль).

8. Растительные остатки люцерны синей 2-го г.ж. (контроль).

9. Растительные остатки люцерны синей 3-го г.ж. (контроль).

10. Смесь растительных остатков культур: ячмень + редька масличная.

11. Смесь растительных остатков культур: озимая пшеница + люцерна синяя 3-го г.ж.

12. Смесь растительных остатков культур: озимая пшеница + донник желтый 2-го г.ж.

12. Смесь растительных остатков культур: подсолнечник + донник желтый 1-го г.ж.

13. Смесь растительных остатков культур: подсолнечник + люцерна синяя 1-го г.ж.

14. Растительные остатки культур с ежегодным добавлением (моделирование зернопаропропашного севооборота): ячмень + подсолнечник + 0 + озимая пшеница.

15. Растительные остатки культур с ежегодным добавлением (моделирование сидерального севооборота): (ячмень + редька масличная) + (подсолнечник + донник желтый 1 г.ж.) + донник желтый 2 г.ж. + озимая пшеница.

16. Растительные остатки культур с ежегодным добавлением (моделирование зернотравянопропашного севооборота): (ячмень + редька масличная) + (подсолнечник + люцерна синяя 1 г.ж.) + люцерна синяя 2 г.ж. + (озимая пшеница + люцерна синяя 3 г.ж.).

Микроделяночный полевой опыт заложен в 2012 году в условиях стационарного опыта 1. Исследования проводились в 2012-2016 гг. Повторность трехкратная. Метод размещения вариантов – рендомизированный, повторений – организованный сплошной.

Общее количество делянок в опыте – 54 (по четыре образца на каждой делянке). Форма делянки – квадратная, размер – 2х2 м. Общая площадь делянки 4 м<sup>2</sup>.

**Многофакторный стационарный полевой опыт 4.** *Плодородие чернозема типичного и продуктивность короткоротационных севооборотов с сахарной свеклой.*

Фактор А – вид севооборота:

1. Зернопаропропашной севооборот (ЗПП): чистый пар – озимая пшеница – сахарная свекла – ячмень (контроль).

2. Сидеральный севооборот с донником (Сд): сидеральный пар (донник желтый 2-го г.ж.) – озимая пшеница – сахарная свекла – ячмень + донник желтый.

3. Сидеральный севооборот с эспарцетом (Сэ): сидеральный пар (эспарцет песчаный 2-го г.ж.) – озимая пшеница – сахарная свекла – ячмень + эспарцет песчаный.

4. Зернотравянопропашной севооборот (ЗТП): занятый пар (люцерна синяя 2-го г.ж.) – бинарный посев озимой пшеницы с люцерной синей 3-го г.ж. – сахарная свекла – ячмень + люцерна синяя.

Фактор В – прием основной обработки почвы под сахарную свеклу:

1. Вспашка на глубину 23-25 см – контроль (В).

2. Плоскорезная обработка на глубину 23-25 см (П).

3. Дисковая мелкая обработка на глубину 12-14 см (Дм).

4. Дисковая поверхностная обработка на глубину 5-6 см (Дп).

Вспашке, плоскорезной и дисковой мелкой обработке предшествовало проведение дискования на глубину 8-10 см, а проведению поверхностной обработки – на глубину 5-6 см.

Фактор С – слой почвы:

1. Слой почвы 0-10 см.

2. Слой почвы 10-20 см.

3. Слой почвы 20-30 см.

Полевой опыт заложен в 2009 году. Исследования проводились в 2010-2012 гг. Общее количество делянок в опыте – 84. Форма делянки – прямоугольная, размер – 9,6х21 м. Общая площадь делянки 202 м<sup>2</sup>, площадь учетной делянки – 144 м<sup>2</sup>.

**Многофакторный стационарный полевой опыт 5.** *Влияние приемов биологизации и основной обработки почвы на показатели плодородия почвы и продуктивность севооборотов с насыщением пропашными культурами до 40%.*

Фактор А – вид севооборота:

1. Зернопаропропашной севооборот (ЗПП): чистый пар – озимая пшеница – сахарная свекла – ячмень – подсолнечник (контроль).

2. Сидеральный севооборот с донником (Сд): сидеральный пар (донник желтый 2-го г.ж.) – озимая пшеница – сахарная свекла – ячмень – подсолнечник + донник желтый.

3. Сидеральный севооборот с эспарцетом (Сэ): сидеральный пар (эспарцет песчаный 2-го г.ж.) – озимая пшеница – сахарная свекла – ячмень – подсолнечник + эспарцет песчаный.

4. Зернотравянопропашной севооборот (ЗТП): занятый пар (люцерна синяя 2-го г.ж.) – бинарный посев озимой пшеницы с люцерной синей 3-го г.ж. – сахарная свекла – ячмень – подсолнечник + люцерна синяя.

Фактор В – прием основной обработки почвы под сахарную свеклу:

1. Вспашка на глубину 23-25 см – контроль (В).

2. Плоскорезная обработка на глубину 23-25 см (П).

Приемам основной обработки почвы предшествовало проведение дисковой обработки на глубину 8-10 см.

Полевой опыт заложен в 2009 году. Исследования проводились в 2010-2012 гг. Общее количество делянок в опыте – 72. Форма делянки – прямоугольная, размер – 9,6x21 м. Общая площадь делянки 202 м<sup>2</sup>, площадь учетной делянки – 144 м<sup>2</sup>.

**Микроделяночный полевой опыт 6.** *Разложение растительных остатков в зависимости от культуры и вида севооборота.*

Схема опыта:

1. Растительные остатки ячменя (контроль).

2. Растительные остатки озимой пшеницы (контроль).

3. Растительные остатки подсолнечника (контроль).

4. Растительные остатки сахарной свеклы (контроль).

5. Растительные остатки донника желтого 1-го г.ж. (контроль).

6. Растительные остатки донника желтого 2-го г.ж. (контроль).

7. Растительные остатки эспарцета песчаного 1-го г.ж. (контроль).

8. Растительные остатки эспарцета песчаного 2-го г.ж. (контроль).

9. Растительные остатки люцерны синей 1-го г.ж. (контроль).

10. Растительные остатки люцерны синей 2-го г.ж. (контроль).

11. Растительные остатки люцерны синей 3-го г.ж. (контроль).

12. Смесь растительных остатков культур: озимая пшеница + люцерна синяя 3-го г.ж.

13. Смесь растительных остатков культур: подсолнечник + донник желтый 1-го г.ж.

14. Смесь растительных остатков культур: подсолнечник + эспарцет песчаный 1-го г.ж.

15. Смесь растительных остатков культур: подсолнечник + люцерна синяя 1-го г.ж.

16. Растительные остатки культур с ежегодным добавлением: моделирование 4-польного зернопаропропашного севооборота (схема опыта 4).

17. Растительные остатки культур с ежегодным добавлением: моделирование 4-польного сидерального севооборота с донником желтым (схема опыта 4).

18. Растительные остатки культур с ежегодным добавлением: моделирование 4-польного сидерального севооборота с эспарцетом песчаным (схема опыта 4).

19. Растительные остатки культур с ежегодным добавлением: моделирование 4-польного зернотравянопропашного севооборота (схема опыта 4).

20. Растительные остатки культур с ежегодным добавлением: моделирование 5-польного сидерального севооборота с донником желтым (схема опыта 5).

21. Растительные остатки культур с ежегодным добавлением: моделирование 5-польного сидерального севооборота с эспарцетом песчаным (схема опыта 5).

22. Растительные остатки культур с ежегодным добавлением: моделирование 5-польного зернотравянопропашного севооборота (схема опыта 5).

Микроделяночный полевой опыт. Повторность трехкратная. Метод размещения вариантов – рендомизированный, повторений – организованный сплошной. Общее количество делянок в опыте – 66 (по пять образцов на каждой делянке). Форма делянки – квадратная, размер – 2x2 м. Общая площадь делянки 4 м<sup>2</sup>.

**Микроделяночный полевой опыт 7. Разложение растительных остатков культур севооборотов в чистом и смешанном виде.**

Схема опыта:

1. Растительные остатки ячменя (контроль).
2. Растительные остатки подсолнечника (контроль).
3. Растительные остатки вики яровой (контроль).
4. Растительные остатки эспарцета песчаного 1-го г.ж. (контроль).
5. Растительные остатки редьки масличной (контроль).
6. Смесь растительных остатков культур: ячмень + редька масличная.
7. Смесь растительных остатков культур: подсолнечник + вика яровая.
8. Смесь растительных остатков культур: подсолнечник + эспарцет песчаный 1-го г.ж.

Микроделяночный полевой опыт заложен в 2016 году в условиях стационарного опыта 2. Исследования проводились в 2016-2020 гг. Повторность трехкратная. Метод размещения вариантов – рендомизированный, повторений – организованный сплошной. Общее количество делянок в опыте – 24 (по пять образцов на каждой делянке). Форма делянки – квадратная, размер – 2x2 м. Общая площадь делянки 4 м<sup>2</sup>.

Все опыты заложены согласно методике опытного дела (Б.А. Доспехов, 1985). Исследования проводились согласно общепринятым методикам: влажность почвы – термостатно-весовым методом (ГОСТ 26268-89); плотность

почвы – объемно-весовым методом по Н.А. Качинскому (Качинский Н.А., 1965); структурно-агрегатный состав почвы – методом сухого просеивания по Н.И. Саввинову (Вадюнина А. Ф., 1986); водопрочность почвенных агрегатов – методом мокрого просеивания по Н.И. Саввинову (Вадюнина А. Ф., 1986); содержание в почве нитратного азота – колориметрическим методом (ГОСТ 26488-85), аммонийного азота – колориметрическим методом с применением реактива Неслера в мод. ЦИНАО, подвижного фосфора и обменного калия – по Чирикову (ГОСТ 26204-91); содержание в почве общего гумуса – по методу Тюрина; модификация Симакова: окисление по Никитину (Ганжара Н. Ф., 2002); содержание детрита – по методике Н.Ф. Ганжары (Ганжара Н. Ф., 2002); масса растительных остатков в почве – по Н.З. Станкову (Станков Н.З., 1964).

Физиологические группы почвенных микроорганизмов определялись по методике ВНИИ сельскохозяйственной микробиологии путем высева определенных разведений почвенной суспензии на селективные питательные среды (ГОСТ Р 54653-2011): целлюлозоразлагающие микроорганизмы – на агаризированной среде Гетченсона с фильтрами; аммонификаторы – на мясопептонном агаре (МПА); бактерии, ассимилирующие минеральные формы азота и актиномицеты – на крахмало-аммиачном агаре (КАА); аэробные фиксаторы азота – на среде Эшби; почвенные микромицеты – на среде Чапека, подкисленной молочной кислотой; азотобактер – на почвенных пластинах.

Интенсивность разложения клетчатки определяли по методике Е.Н. Мишустина и А.Н. Петровой (Ганжара Н. Ф., 2002); темпы разложения растительных остатков – в капроновых мешочках (Ганжара Н. Ф., 2002); химический состав растительных остатков; токсичность почвы – по методике А.М. Гродзинского (Гродзинский А.М., 1976).

Урожайность культур определяли методом сплошной уборки учетной делянки с последующим пересчетом на 100% чистоту и стандартную влажность; качество зерна пшеницы – по ГОСТ 10846-91, Р54478-2011, 27676-88; лужистость семян подсолнечника – путем обрушивания ручным способом (ГОСТ 10855-64); масличность семян подсолнечника – экстракционным методом (ГОСТ 10857-64).

Энергетическая эффективность была рассчитана по «Методике биоэнергетической оценки технологий производства продукции растениеводства» (Базаров Е.И., 1983); экономическая эффективность – по технологическим картам с использованием типовых норм по ценам 2021 г.; статистическая обработка и дисперсионный анализ – по методике Б.А. Доспехова (1986) с использованием современной компьютерной программы Пакет Данных MS Excel.

В рамках исследовательской работы в севооборотах были использованы следующие сорта и гибриды культур: ячмень яровой – Вакула, озимая пшеница – Алая Заря, подсолнечник – Посейдон 625 (опыт 1) и Брио (опыт 2 и 5), сахарная свекла – Федерика, люцерна синяя – Диана, донник желтый – Сибирский 2, вика яровая – Никольская, эспарцет песчаный – Павловский, редька масличная – Тамбовчанка.

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

В **третьей** главе рассмотрены вопросы влияния изучаемых приемов биологизации и основной обработки почвы на агрофизические, агрохимические и биологические свойства почвы.

Важную роль в регулировании запасов доступной влаги в почве играет пожнивная сидерация, обеспечившая к посеву подсолнечника формирование более высоких запасов доступной влаги в слоях почвы 0-30 и 0-50 см (прибавка варьировала от 0,8 до 4,8 мм). Наиболее высокий запас был сформирован при проведении безотвальных приемов обработки почвы. Возделывание подсолнечника в совместных посевах с бобовыми травами, замена чистого пара на сидеральный и занятый, размещение озимой пшеницы и ячменя в биологизированных севооборотах (сидеральном и зернотравянопропашном) обеспечивали рациональный расход доступной влаги в течение вегетационных периодов.

Биологизированные севообороты характеризуются меньшим расходом влаги на формирование 1 т урожая: на 3-10% – у ячменя, на 5-13 – у подсолнечника, на 1-3% – у озимой пшеницы. Расход влаги в занятых парах был связан с формированием биомассы бобовых трав, используемой в дальнейшем на кормовые цели или в качестве удобрения, а в чистом пару – только с непродуктивными потерями.

Замена отвальной обработки на безотвальные приемы привела к увеличению коэффициента водопотребления подсолнечника на 7% – под одновидовыми и на 4,0-7,0% – под бинарными посевами.

Наиболее рациональный расход влаги на формирование 1 т урожая маслосемян обеспечивает бинарный посев подсолнечника с люцерной синей по фону отвальной обработки почвы.

Приемы биологизации обеспечивают сохранение и существенное улучшение структуры слоя почвы 0-30 см. Так, под зернотравянопропашным севооборотом коэффициент структурности увеличился на 0,55 единиц, под сидеральным севооборотом отмечено сохранение существующей структуры почвы, а под зернопаропропашным – ее разрушение: снижение коэффициента на 0,96 единиц (рисунок 1).

Замена вспашки на плоскорезную обработку сопровождалась существенным снижением доли агрономически ценных агрегатов и увеличением доли глыбистой фракции. Доля пылеватой фракции изменялась несущественно. Коэффициент структурности по фону вспашки составил 2,67-3,24. Наименьшие значения отмечены при плоскорезной обработке – 1,82-2,41.

Приемы биологизации оказали положительное влияние на улучшение водопрочности почвы в зернотравянопропашном севообороте (на 4,1%) и сохранение показателей на уровне исходных значений в сидеральном. В зернопаропропашном севообороте количество водопрочных агрегатов на 5,6% сократилось, что было связано с недостаточным содержанием в почве растительных остатков, что подтверждает рассчитанный коэффициент корреляции  $r = 0,764 \pm 0,137$  ( $t_r = 5,58 > t_{05}$ ). В процессе трансформации свежего органического

вещества в лабильное сила данной зависимости ослабевает ( $r = 0,593 \pm 0,172$  ( $t_r = 3,45 > t_{05}$ )).

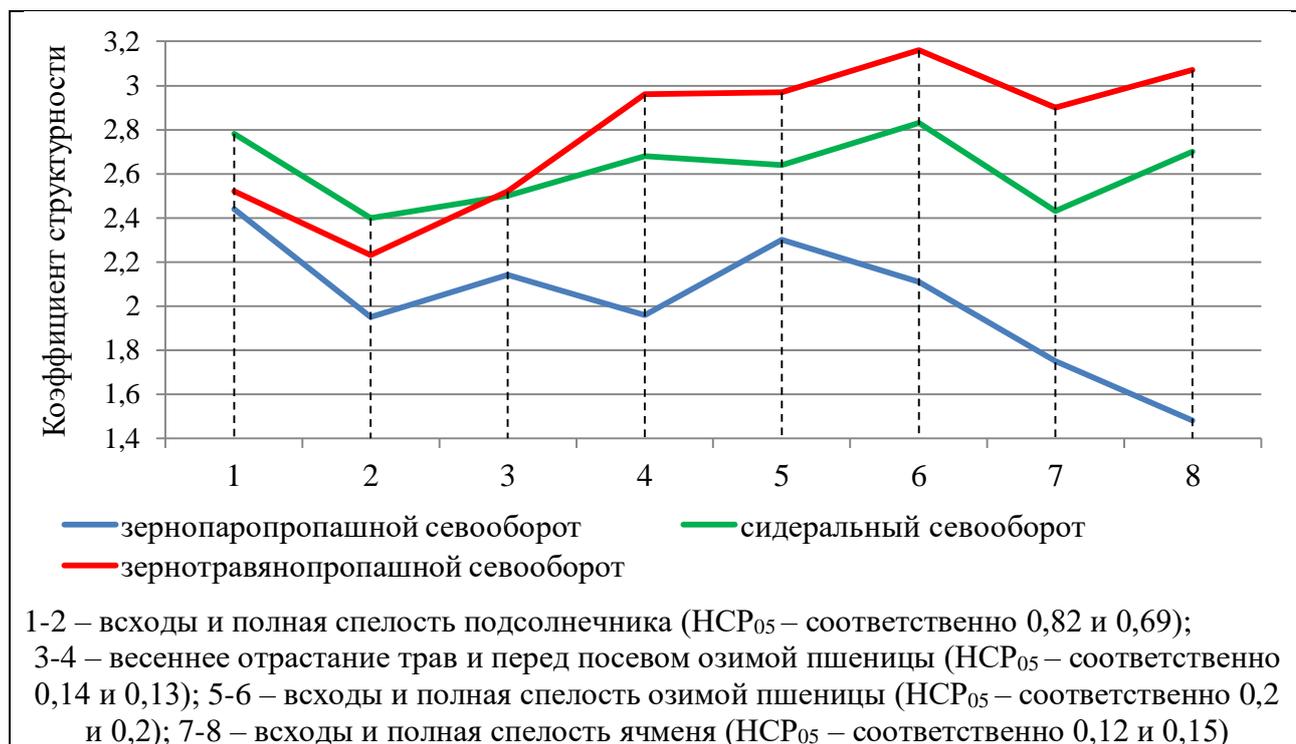


Рисунок 1 – Динамика коэффициента структурности в течение вегетационного периода культур различных видов севооборотов (слой почвы 0-30 см, 2011-2016 гг., опыт 1)

Водопрочность почвы  $x_2$  ( $r = 0,818 \pm 0,099$  ( $t_r = 8,26 > t_{05}$ )) и масса растительных остатков  $x_1$  ( $r = 0,770 \pm 0,136$  ( $t_r = 5,66 > t_{05}$ )) оказывали сильное прямое влияние на коэффициент структурности:  $y = 0,080674619x_1 + 0,096570863x_2 - 5,58956237$ .

В течение периода исследования (опыт 1) независимо от культур, приемов биологизации и основной обработки плотность почвы находилась в пределах оптимальных значений ( $1,1-1,2 \text{ г/см}^3$ ). Наиболее существенное влияние на поддержание плотности почвы в пределах оптимальных значений оказал бинарный посев подсолнечника с люцерной синей по фону вспашки. Показатель плотности почвы ( $y$ ) довольно динамичен, подвержен влиянию целого комплекса различных факторов. Четко выраженная обратная корреляционная зависимость ( $r = -0,719 \pm 0,119$ ;  $t_r = 6,04 > t_{05}$ ) установлена в отношении влажности почвы ( $x$ ):  $y = -0,0016x + 1,1916$ .

Применение приемов биологизации в среднем за вегетационный период способствует формированию в слое почвы 0-30 см более высоких запасов подвижного фосфора (91-92 мг/кг почвы), обменного калия (156-164 мг/кг) и нитратного азота по всем вариантам основной обработки почвы под подсолнечник. Зависимость аммонийного азота выражена несущественно меньшими по сравнению с контролем показателями. Применение приемов биологизации

обеспечило рациональный расход элементов питания под всеми культурами севооборотов.

Влияние приемов обработки на дифференциацию слоя почвы 0-30 см по содержанию подвижного фосфора неоднозначно: достоверные отклонения характерны только для засушливых лет. Замена отвальной обработки почвы плоскорезным рыхлением приводила к формированию гетерогенного по содержанию обменного калия и аммонийного азота слоя почвы 0-30 см. Дифференциация почвы по содержанию нитратного азота в фазе всходов подсолнечника проявилась только при плоскорезной обработке, а в фазе полной спелости – при всех изучаемых приемах.

Применение пожнивной сидерации, оставление на поле всех растительных остатков, введение в севооборот многолетних трав в качестве бинарных компонентов и замена чистого пара на сидеральный и занятый обеспечили существенное увеличение массы растительных остатков по сравнению с зернопаропропашным севооборотом – на 2,48-2,54 т/га, т.е. практически в 1,5-1,6 раза (рисунок 2). Между биологизированными севооборотами различия несущественны. Обработка почвы не оказала существенного влияния на массу растительных остатков в слое почвы 0-30 см.

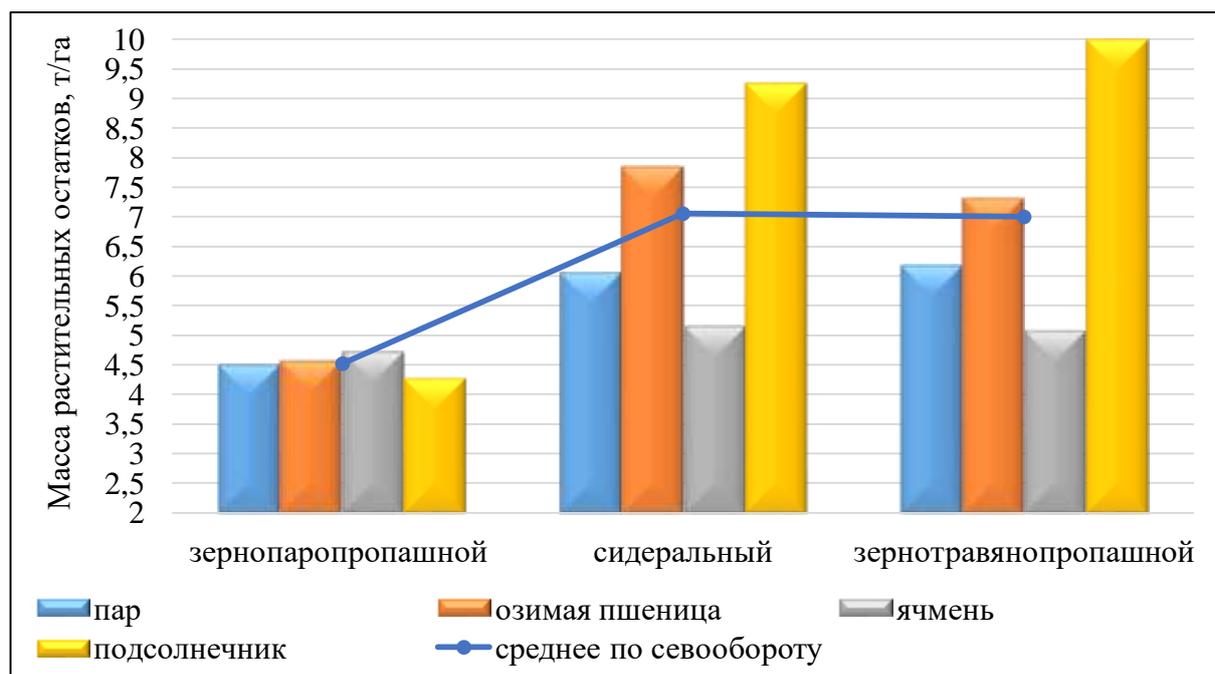


Рисунок 2 – Масса растительных остатков в слое почвы 0-30 см под культурами различных видов севооборотов (среднее за вегетацию, 2012-2016 гг., опыт 1)

Содержание растительных остатков в почве зависит от многих факторов, в том числе от количества поступающей в почву свежей растительной массы и скорости ее разложения.

Наибольшая масса поступивших в почву свежих растительных остатков была характерна для биологизированных севооборотов (58,15-58,39 т/га), что

в 1,9 раза превышало показатели зернопаропропашного севооборота (31,22 т/га). Аналогичные результаты получены в опытах с сахарной свеклой: масса поступающих в почву растительных остатков существенно зависела от культуры и приема повышения плодородия почвы. Достоверного влияния обработки почвы установлено не было. Увеличение длительности ротации севооборота с сахарной свеклой до пяти лет с введением бинарных посевов подсолнечника обеспечивало существенное увеличение массы растительных остатков в слое почвы 0-30 см.

Темпы деструкции ( $y$ ) растительных остатков имели сильную обратную связь ( $r = -0,787 \pm 0,150$  ( $t_r = 5,25 > t_{05}$ )) с соотношением в них углерода с азотом ( $y = -0,4898x + 79,892$ ), что выражается более высокими темпами разложения низкоуглеродистого растительного материала при применении в чистом виде и в смеси с легкоразлагаемыми растительными остатками.

В целом за ротацию темпы разложения в биологизированных севооборотах (84,1-85,5%) в 1,5 раза превышали показатель зернопаропропашного севооборота. Совместное применение пожнивного сидерата с соломой ячменя обеспечило увеличение темпов разложения растительных остатков на 36,1-42,6% (рисунок 3).

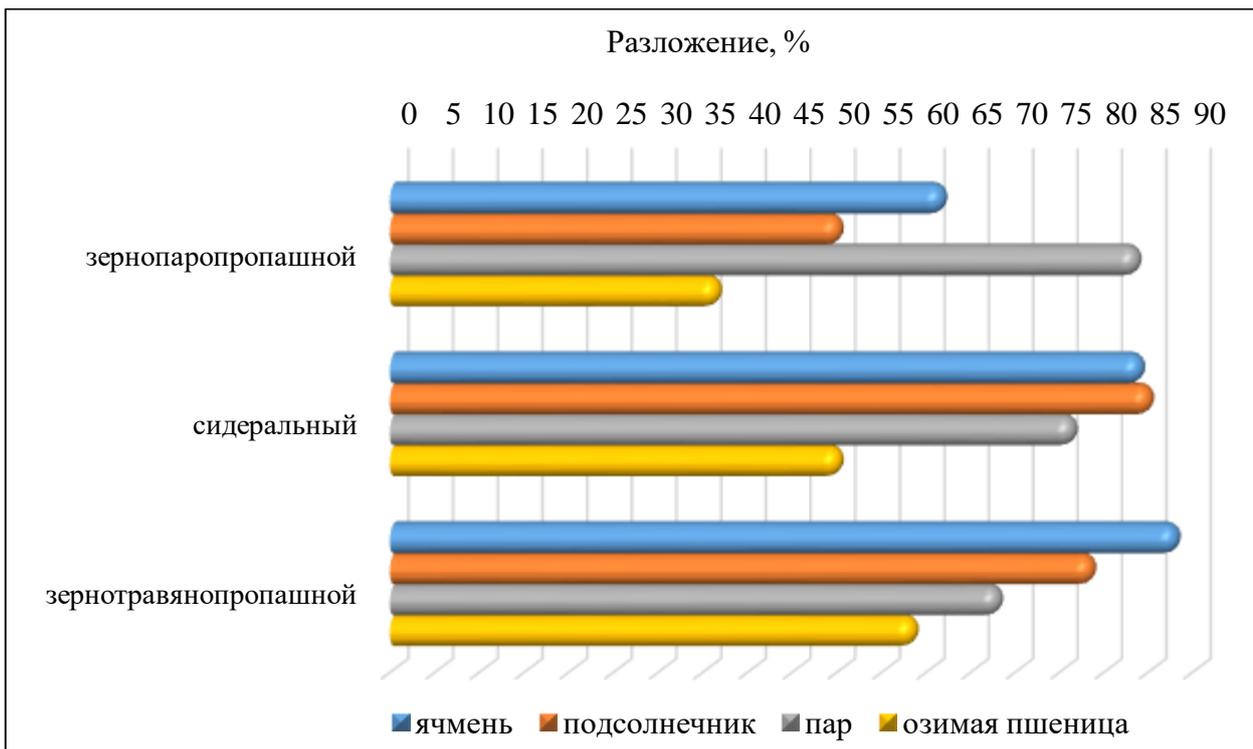


Рисунок 3 – Темпы разложения растительных остатков под культурами различных видов севооборотов (2012-2016 гг., опыт 3)

Дальнейшее возделывание бобовых трав ускорило разложение растительных остатков подсолнечника на 56,7-69,7%, а озимой пшеницы – на 37,3-60,3%. Введение в севообороты с сахарной свеклой (опыт 2) многолетних бобовых трав ускорило темпы деструкции растительных остатков на 13,5-40,5 и 17,9-41,0 отн. %.

Формирование основных показателей плодородия почвы во многом определяется интенсивностью деятельности микроорганизмов. Применение приемов биологизации в севооборотах оказало существенное влияние на общую численность почвенных микроорганизмов, которая по сравнению с зернопаропропашным севооборотом была выше на 2,8-4,7% (рисунок 4).

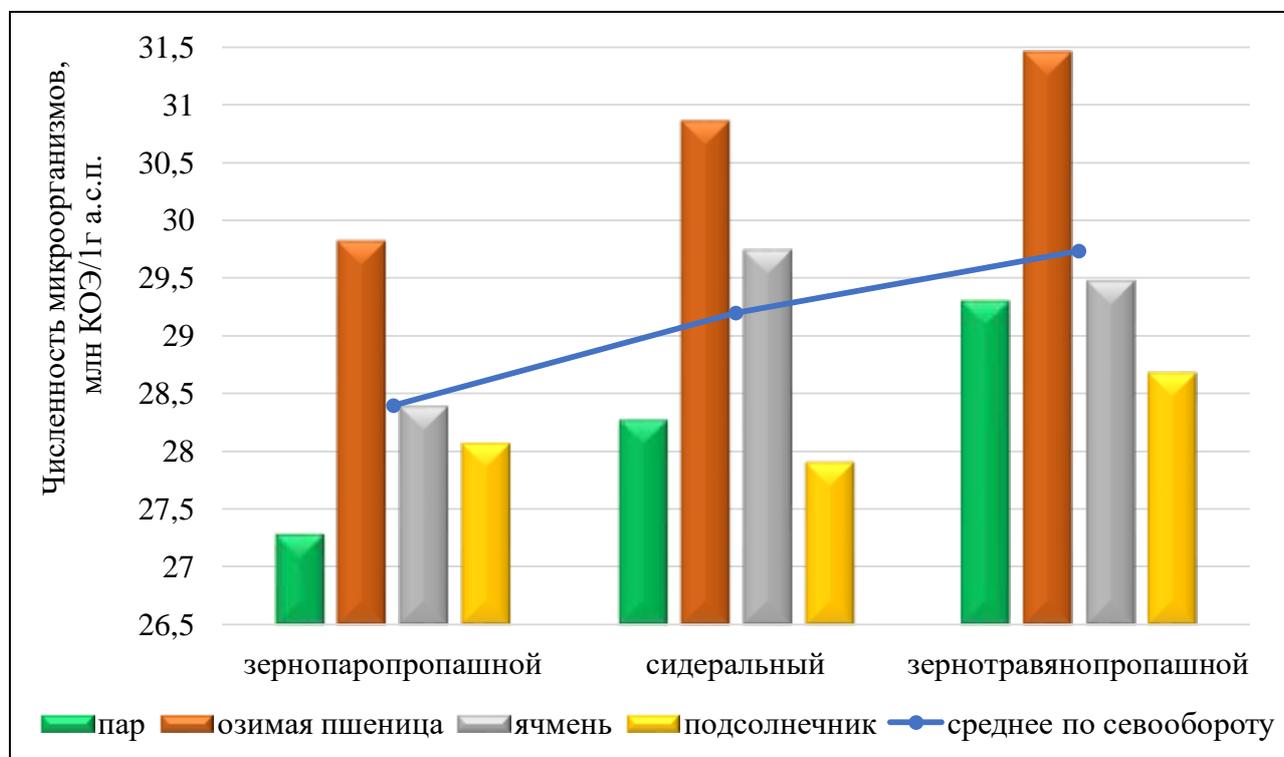


Рисунок 4 – Общая численность микроорганизмов под культурами различных видов севооборотов (2013-2016 гг., опыт 1)

Общая численность микробного сообщества почв представлена различными группами. Наибольшее распространение имели микроорганизмы, усваивающие минеральный азот, олигонитрофилы и аммонифицирующие микроорганизмы. Существенно меньший удельный вес занимали целлюлозоразлагающие микроорганизмы, актиномицеты и азотобактер. Доля микроскопических грибов не превышала 0,1%.

Наиболее высокая численность микроскопических грибов была характерна для зернопаропропашного севооборота, что связано с преобладанием в массе поступающих в почву растительных остатков высокоуглеродистого материала. Биологизированные севообороты обеспечивают устойчивость высокой численности аммонифицирующих микроорганизмов, что в значительной степени определяется массой поступающих в почву растительных остатков ( $t = 0,622 \pm 0,247$  ( $t_f = 2,52 > t_{05}$ )).

В ходе разложения органических остатков под влиянием аммонифицирующих микроорганизмов происходит накопление в почве минеральных форм

азота, что стимулирует развитие потребляющих их микроорганизмов, т.е. данные группы микроорганизмов связаны между собой продуктами жизнедеятельности ( $r = 0,598 \pm 0,200$  ( $t_r = 2,99 > t_{05}$ )).

Группа целлюлозоразлагающих микроорганизмов представлена бактериями (82,0-89,0%), актиномицетами (8,1-13,2%) и грибами (2,9-4,9%). Применение приемов биологизации сопровождается увеличением доли целлюлозоразлагающих бактерий (на 2,9-7 абс.%), что является показателем хорошей окультуренности почвы.

Важное значение имеет коэффициент минерализации ( $K_{\text{мин}}$ ), наиболее высокое значение которого было характерно для зернопаропропашного севооборота (2,07), что указывает на протекание процессов глубокой минерализации органического вещества в результате меньшего поступления в почву растительной массы.

Процессы минерализации в почве биологизированных севооборотов несколько замедленны ( $K_{\text{мин}}=1,68-1,73$ ), что связано со сравнительно большой массой растительных остатков в почве и ежегодным поступлением в нее легкоразлагаемого, низкоуглеродистого растительного материала ( $r=-0,734 \pm 0,170$  ( $t_r > t_{05}$ );  $y = -0,0336x + 2,2425$ ).

Также для зернопаропропашного севооборота характерен более высокий индекс олиготрофности: 1,51 – в среднем за вегетационный период культур, 1,77...1,45...1,30 – в различные фазы их развития. Высокие значения данного показателя на фоне быстрых темпов минерализации и недостаточного количества поступающих в почву растительных остатков говорят о включении в процесс разложения не только свежего растительного материала, но и органического вещества почвы, т.е. об активном процессе утилизации гумуса и гумусо-содержащих веществ.

Биологизированные севообороты характеризуются увеличением (в 1,3 раза) темпов трансформации растительных остатков в органическое вещество почвы (коэффициент трансформации – 10,13-10,58) и формированием высокой биологической активности (рисунок 5), которая находилась в сильной прямой зависимости от массы поступающих в почву растительных остатков:  $r = 0,728 \pm 0,217$  ( $t_r > t_{05}$ ) для первых 45 суток и  $r = 0,803 \pm 0,188$  ( $t_r > t_{05}$ ) – для 90 суток.

Интенсивность распада льняного полотна повышалась при увеличении численности целлюлозоразлагающих микроорганизмов ( $r = 0,444 \pm 0,154$  ( $t_r = 2,88 > t_{05}$ )), аммонифицирующих микроорганизмов ( $r = 0,721 \pm 0,173$  ( $t_r = 4,17 > t_{05}$ )) и микроорганизмов, усваивающих минеральный азот ( $r = 0,844 \pm 0,134$  ( $t_r = 6,30 > t_{05}$ )).

Замена вспашки плоскорезным рыхлением обеспечила существенное увеличение (в 1,28 ... 1,26 раза) распада льняного полотна. Высокая биологическая активность слоя почвы 0-10 см (39,2-39,6% от общего объема) характерна для безотвальных приемов обработки почвы, что связано с размещением в нем основной массы энергетического материала. Сравнительно более активное разложение льняного полотна в слое почвы 20-30 см (28,3% от общего

объема) характерно для вспашки, что связано с улучшением его аэрации и поступлением растительных остатков при проведении приема.

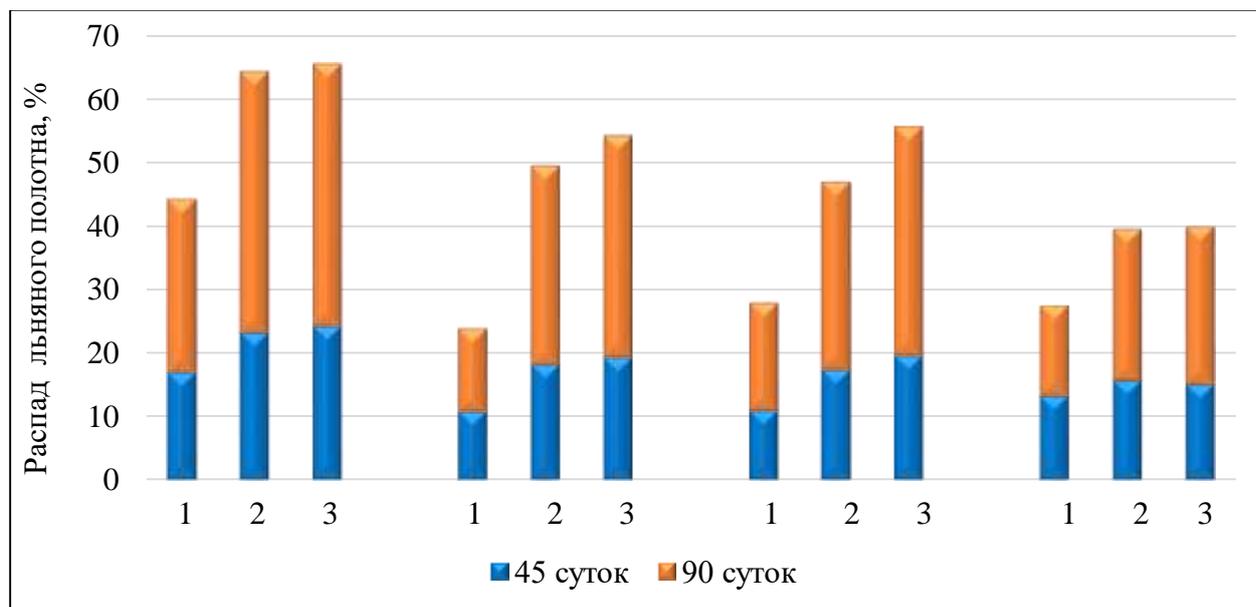


Рисунок 5 – Биологическая активность в слое почвы 0-30 см под культурами различных видов севооборотов: 1 – зернопаропропашной, 2 – сидеральный, 3 – зернотравянопропашной ( $НСР_{05} = 2,40$  (значимо) для срока 45 суток, 6,35 (значимо) – для срока 90 суток; опыт 1)

Содержание детрита ( $y$ ) в почве находилось в сильной прямой зависимости от массы растительных остатков в почве ( $x_1$ ,  $r = 0,888 \pm 0,115$  ( $t_r = 7,72 > t_{05}$ )), биологической активности ( $x_2$ ,  $r = 0,660 \pm 0,188$  ( $t_r = 3,51 > t_{05}$ )) и массы поступающих в почву растительных остатков ( $r = 0,552 \pm 0,241$  ( $t_r = 2,29 > t_{05}$ )), которая описывается уравнением  $y = 0,000541099x_1 + 0,002988081x_2 + 0,009160874$ . Действительно, применение пожнивной сидерации совместно с соломой ячменя и введение в севообороты многолетних бобовых трав способствовало увеличению содержания детрита в слое почвы 0-30 см. Наиболее выраженный положительный эффект наблюдался в зернотравянопропашном севообороте (+0,095 абс. %).

Ценность детрита в биологизированных севооборотах выражалась не только его массой, но и более узким (в 2,2-2,4 раза) соотношением углерода с азотом (16,4-17,7).

Содержание гумуса в почве находится в сильной прямой зависимости от величины поступающей в почву биомассы ( $r = 0,692 \pm 0,228$  ( $t_r = 3,04 > t_{05}$ )), от биологической активности почвы ( $r = 0,770 \pm 0,202$  ( $t_r = 3,81 > t_{05}$ )), от содержания в почве детрита ( $r = 0,768 \pm 0,202$  ( $t_r = 3,80 > t_{05}$ )) и растительных остатков ( $r = 0,657 \pm 0,238$  ( $t_r = 2,76 > t_{05}$ )), от структуры почвы, обеспечивающей оптимальные условия для протекания биологических процессов ( $r = 0,840 \pm 0,171$  ( $t_r = 4,91 > t_{05}$ )). Увеличению содержания гумуса в почве способствует рост коэффициента трансформации ( $r = 0,757 \pm 0,207$  ( $t_r = 3,66 > t_{05}$ )) и снижение коэффициента минерализации ( $r = -0,752 \pm 0,208$  ( $t_r = 3,61 > t_{05}$ )).

На момент закладки опыта 1 (2010 г.) содержание гумуса в слое почвы 0-30 см составляло 5,6-5,7% и не имело существенных отклонений. В течение периода исследования под биологизированными севооборотами отмечалась положительная динамика гумуса в почве, обеспечившая существенную прибавку показателя по отношению к исходному значению – 0,1-0,2 абс.% (опыты 1 и 5) и 0,2-0,4 абс.% (опыт 4). За этот же период содержание гумуса в почве зернопаропропашного севооборота существенно сократилось – на 0,4 абс.% (опыт 1, рисунок 6) и на 0,2-0,4 абс.% (опыты 4 и 5).

Зависимости содержания гумуса в почве от изучаемых приемов основной обработки почвы установлено не было.

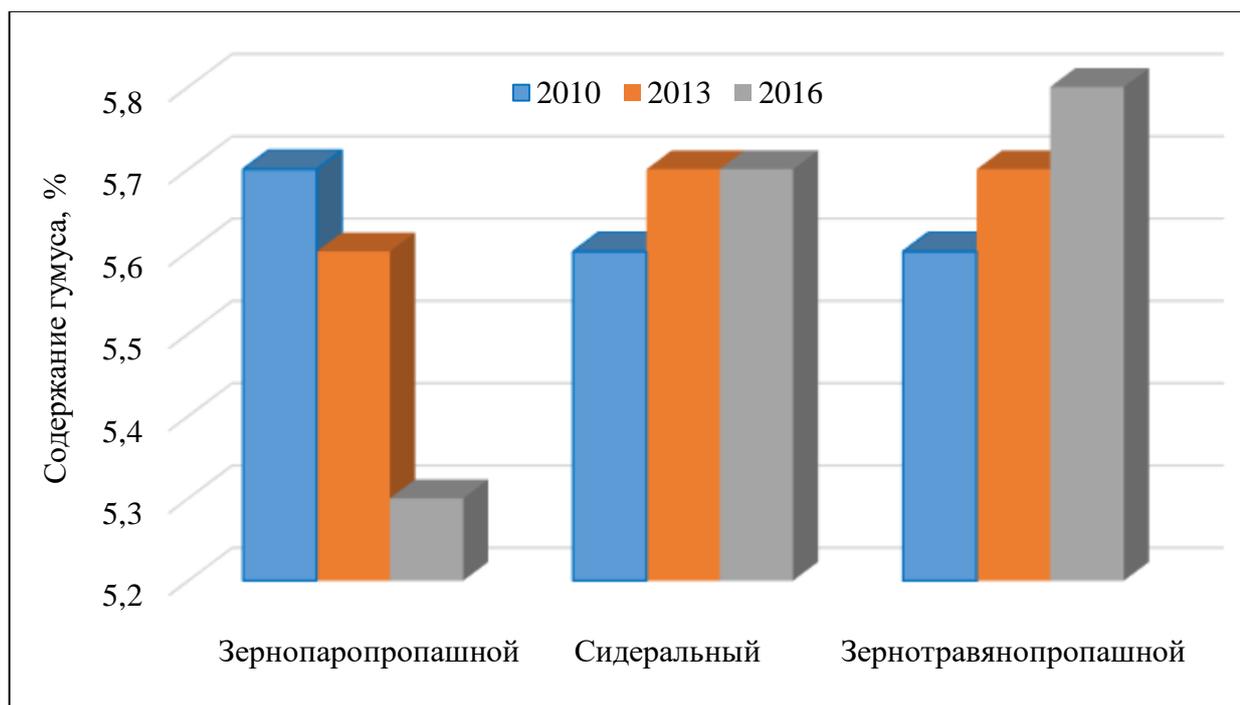


Рисунок 6 – Содержание гумуса в слое почвы 0-30 см в зависимости от вида севооборота (НСР<sub>05</sub> для 2010 г. – 0,33 ( $F_{\phi}=0,36 < F_{05}$ ), для 2013 г. – 0,22 ( $F_{\phi}=0,86 < F_{05}$ ), для 2016 г. – 0,10 ( $F_{\phi}=85,72 > F_{05}$ ), опыт 1)

Согласно 3D-модели (рисунок 7) условный переход состояния почвы от среднегумусного к высокогумусному возможен при массе растительных остатков в слое почвы 0-30 см в среднем по севообороту не менее 8,5 т/га и коэффициенте трансформации не менее 12 ( $y=0,105496x_1+0,061958x_2+4,223917$ ;  $R^2=0,8$ ;  $y$  – содержание гумуса,  $x_1$  – коэффициент трансформации,  $x_2$  – масса растительных остатков).

Таким образом, биологизированные севообороты с бинарными посевами культур по фону комбинированной обработки почвы обеспечивают улучшение агрофизических и агрохимических свойств почвы, увеличение численности почвенной биоты и формирование ее устойчивой активности, выражающуюся в ускорении процессов трансформации органического вещества.

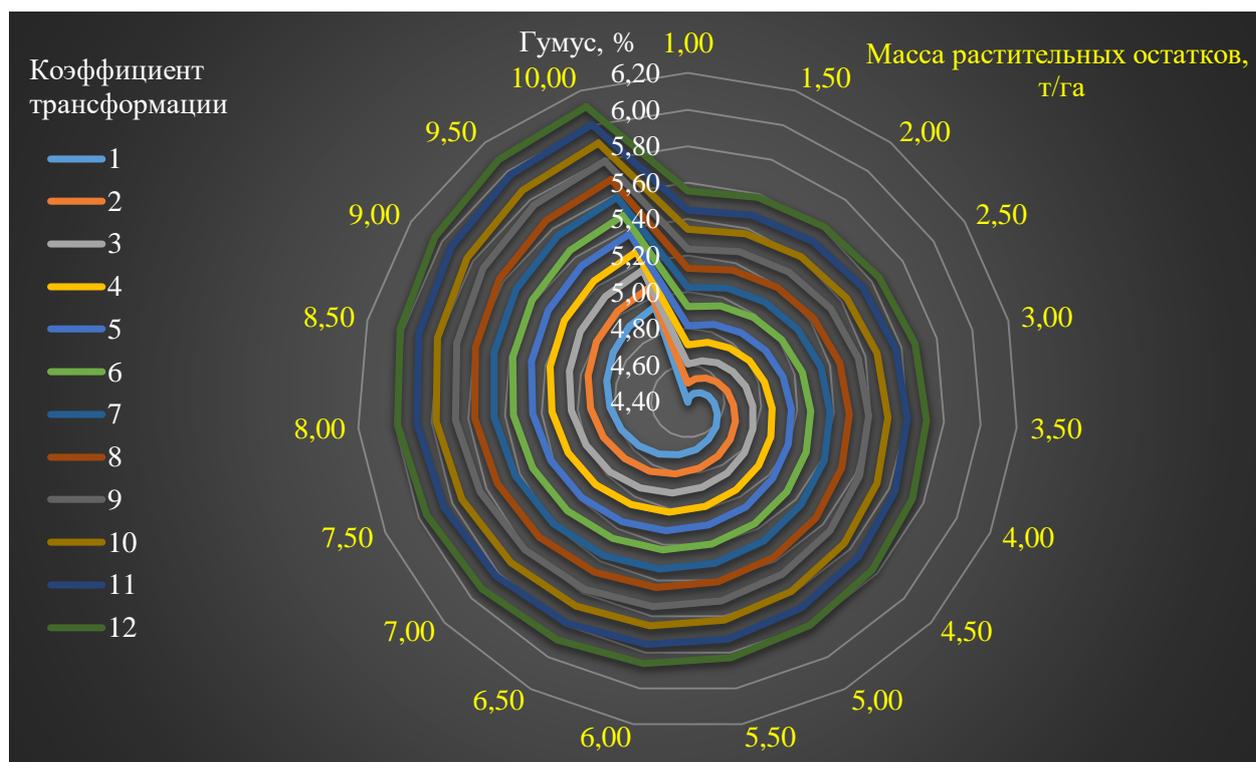


Рисунок 7 – 3D-модель зависимости содержания в почве гумуса от массы растительных остатков и коэффициента трансформации

В **четвертой главе** показано, что органо-минеральная система удобрений и отвальная обработка почвы под бинарные посевы подсолнечника обеспечивают формирование более высоких показателей почвенного плодородия и повышение урожайности культуры.

В среднем за годы исследований сравнительно более высокие запасы доступной влаги характерны для вариантов с применением пожнивной сидерации при отвальной обработке почвы. Запасы доступной влаги находились в тесной обратной зависимости от плотности почвы ( $-0,692 \leq r \leq -0,882$ ), при этом более высокая зависимость отмечена при безотвальной обработке ( $-0,810 \leq r \leq -0,882$ ).

Существенному снижению показателя плотности почвы способствовало применение пожнивной сидерации как в чистом виде, так и совместно с соломой, с минеральным удобрением и с соломой и минеральным удобрением.

Применение пожнивной сидерации под бинарные посевы подсолнечника с викой яровой или эспарцетом обеспечивает существенное снижение твёрдости почвы и поддержание ее в пределах оптимальных значений в течение всего вегетационного периода культуры. Переход на безотвальный способ основной обработки почвы сопровождался увеличением твёрдости почвы на  $0,3-1,3 \text{ кг/см}^2$ .

Формирование запасов обменного калия и подвижного фосфора в слое почвы 0-30 см протекало под влиянием приемов повышения плодородия почвы: прибавка по сравнению с фоном пожнивно-корневых остатков (Ф) составляла 5-11 мг/кг почвы для обменного калия ( $\text{НСР}_{05} - 6,40$ , значимо) и 8-26

мг/кг почвы для подвижного фосфора ( $НСР_{05} - 3,79$ , значимо). Отмечено существенное влияние вспашки на формирование более высокого (на 9 мг/кг почвы,  $НСР_{05} - 2,68$ , значимо) содержания в почве подвижного фосфора в фазе всходов подсолнечника и отсутствие достоверности отклонений в отношении обменного калия.

Возделывание подсолнечника с применением приемов биологизации при отвальной и безотвальной обработках почвы обеспечивает существенное увеличение массы растительных остатков в слое почвы 0-30 см – на 0,36...0,33 т/га (на 8,6...7,6%) при  $НСР_{05}=0,13$  (значимо,  $F_{\phi}=2,20 > F_{05}$ ) Установленную зависимость ( $y = -0,14593x_1 + 0,022617x_2 + 0,36456$ ;  $R^2=0,6$ ) содержания детрита (y) от плотности почвы ( $x_1$ ) и массы растительных остатков в слое 0-30 см ( $x_2$ ) отражает построенная 3D-модель (рисунок 8).

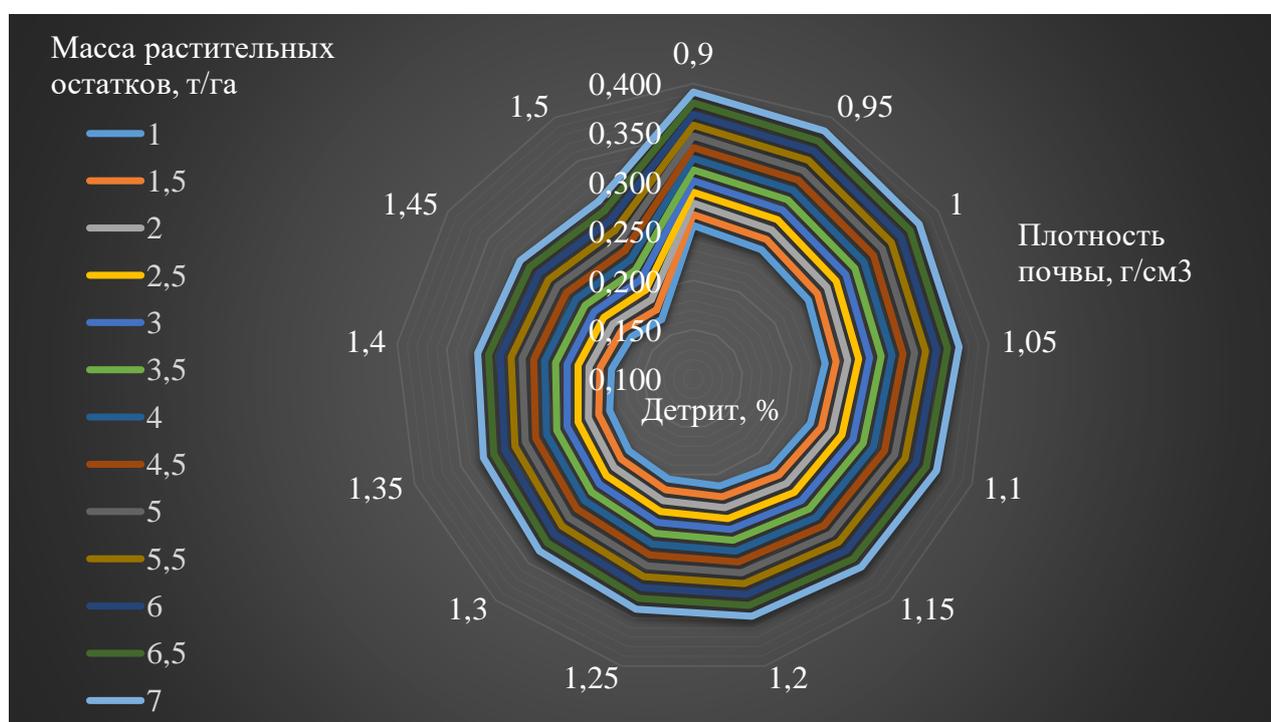


Рисунок 8 – 3D-модель зависимости содержания детрита в слое почвы 0-30 см от массы растительных остатков и плотности почвы

Поступающие в почву растительные остатки культур наиболее богаты калием: содержание варьирует от 0,57 (вика яровая) до 1,10% (ячмень). Содержание азота колеблется от 0,41% (подсолнечник) до 1,46 (эспарцет), фосфора – от 0,20 (редька масличная) до 0,31% (подсолнечник). Смешивание растительных остатков не обеспечивает существенного увеличения содержания элементов. Применение приемов биологизации под бинарные посева подсолнечника обеспечивает увеличение содержания в детрите азота (на 0,04-0,16 абс.%) и калия (на 0,1-0,23 абс.%).

Более высокие запасы гумуса сформированы под бинарными посевами подсолнечника с бобовыми травами (на 0,04-0,06 абс.%,  $НСР_{05} - 0,03$ , зна-

чимо), при совместном использовании соломы ячменя и припосевного удобрения (на 0,05 абс.%, НСР<sub>05</sub> – 0,04, значимо). Способ обработки почвы не оказал значимого влияния на содержание в почве гумуса, однако именно по фону вспашки были получены более высокие показатели.

По сравнению с фоном пожнивно-корневых остатков (Ф) заделка в почву соломы ячменя вызывает увеличение токсичности почвы на 2,2 и 2,4 абс.% (рисунок 9). Применение зеленого удобрения в чистом виде снижает токсичность почвы в 2,3...2,4 раза, совместно с припосевным удобрением – в 2,6...2,8 раза, в случае совместного применения всех изучаемых удобрений – в 1,9...2 раза. Установленная тенденция сохраняется и к фазе полной спелости культуры. Бинарные компоненты подсолнечника и способы обработки почвы не оказали существенного влияния на ее токсичность.

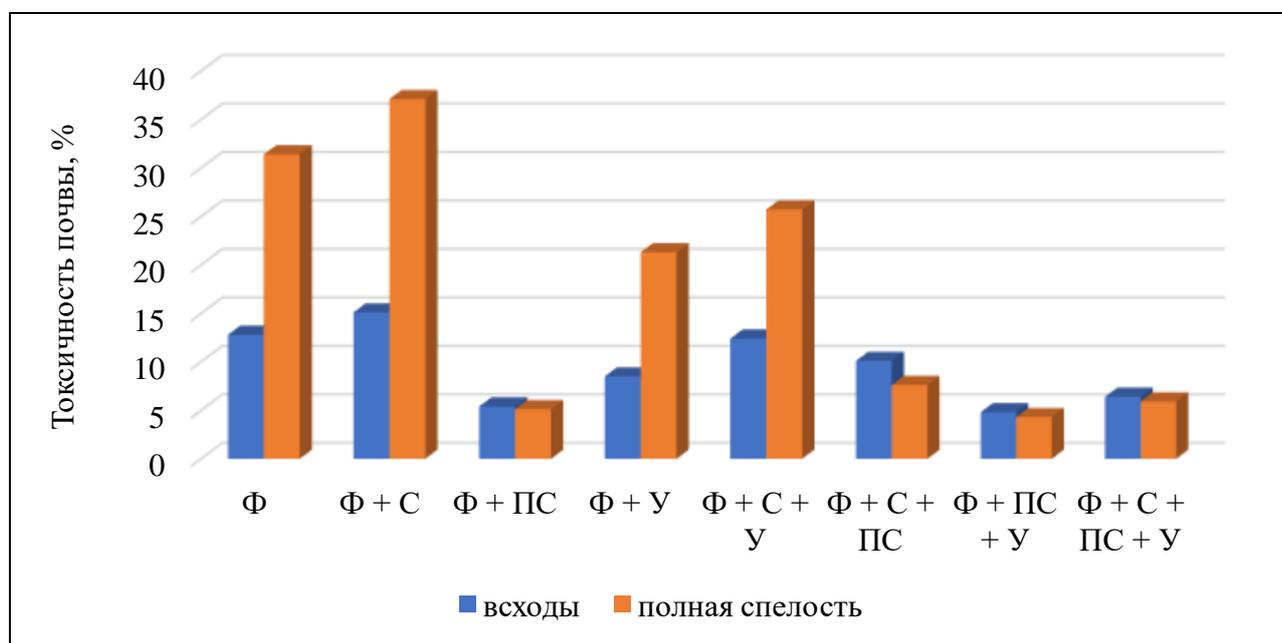


Рисунок 9 – Токсичность почвы (%) в зависимости от приема повышения плодородия почвы (фактор В) под посевами подсолнечника (НСР<sub>05</sub>: 3,85 – фаза всходы (значимо) и 1,95 – фаза полная спелость (значимо); 2016-2019 гг., опыт 2)

Уравнение зависимости ( $y = -18,1492x_1 + 0,210282x_2 + 89,29906$ ) токсичности почвы ( $y$ ) от массы  $x_1$  ( $r = -0,705 \pm 0,090$  ( $t_r = 7,83 > t_{05}$ )) и качественного состава ( $x_2$ ) растительных остатков ( $r = 0,427 \pm 0,115$  ( $t_r = 3,71 > t_{05}$ )) позволило построить 3D-модель (рисунок 10), согласно которой снижение токсичности почвы до нулевых значений (в УКЕ) возможно при содержании в почве не менее 5,5 т/га растительных остатков с соотношением в них С:N не шире 52:1.

Таким образом, органо-минеральная система удобрений и отвальная обработка почвы под бинарные посева подсолнечника обеспечивают формирование более высоких показателей почвенного плодородия.

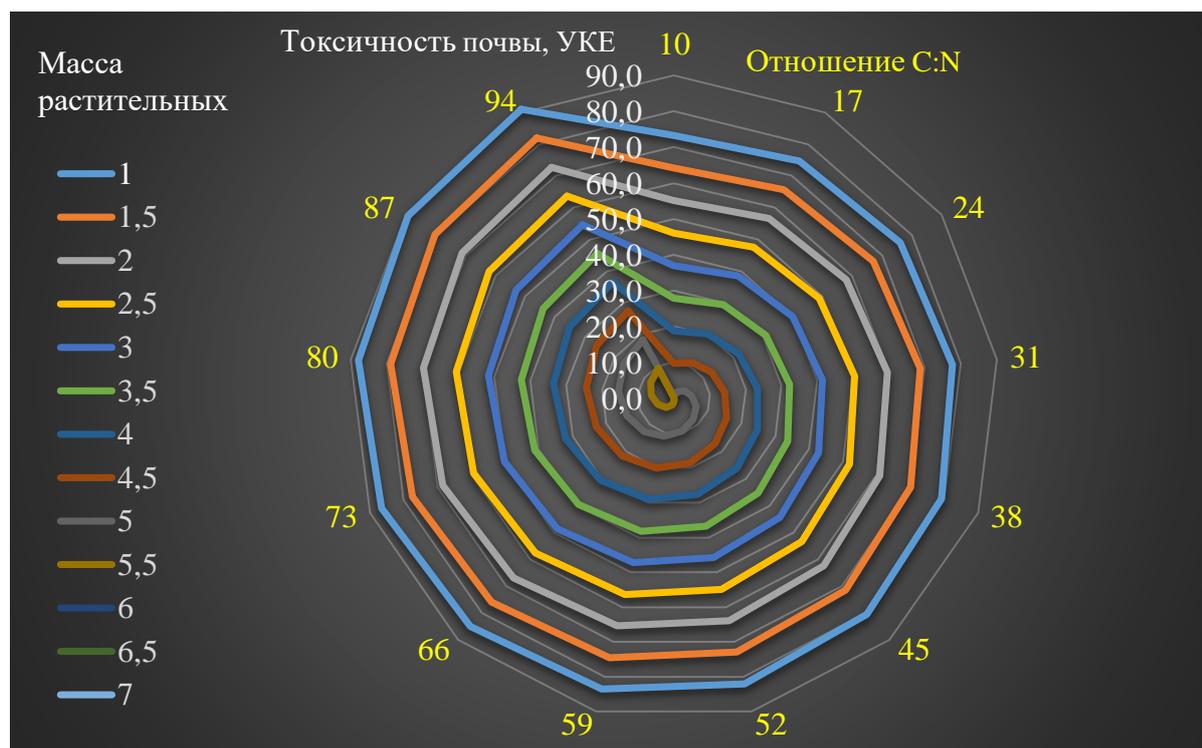


Рисунок 10 – 3D-модель зависимости токсичности почвы от массы и качественного состава растительных остатков в слое почвы 0-30 см

В пятой главе приведены результаты исследований, согласно которым в засушливые вегетационные периоды применение приемов биологизации способствовало формированию более высокой урожайности подсолнечника: наиболее выраженная прибавка отмечалась в совместных посевах культуры с люцерной синей (зернотравянопропашной севооборот): 0,4 т/га (16,5%) при  $НСР_{05} = 0,17$  ( $F_{\phi} = 12,35 > F_{05}$ ). В избыточно увлажненные годы, а также в среднем за период исследований прослеживается четкая тенденция повышения урожайности масличной культуры при ее возделывании с применением приемов биологизации (таблица 1).

Таблица 1 – Средние значения урожайности подсолнечника в засушливые годы (т/га, опыт 1)

Фактор А – вид севооборота	Фактор В – прием основной обработки			Среднее по фактору А
	вспашка	дисковая обработка	плоскорезная обработка	
ЗПП	2,51	2,38	2,40	2,43
Сид	2,58	2,59	2,54	2,57
ЗТП	2,84	2,80	2,84	2,83
Среднее по фактору В	2,64	2,59	2,59	
Фактор А	$F_{\phi} = 12,35 (> F_{05})$		$НСР_{05} = 0,17$	
Фактор В	$F_{\phi} = 0,26 (< F_{05})$		$НСР_{05} = 0,17$	
Фактор А+В	$F_{\phi} = 0,16 (< F_{05})$		$НСР_{05} = 0,30$	

Замена вспашки на безотвальные приемы характеризуется тенденцией снижения урожайности масличной культуры – на 0,15-0,16 т/га.

Урожайность подсолнечника сильно зависела от структурного состояния почвы ( $r = 0,731 \pm 0,171$  ( $t_r = 4,27 > t_{05}$ )) и гидротермического коэффициента ( $r = 0,869 \pm 0,124$  ( $t_r = 7,01 > t_{05}$ )), в средней степени – от содержания в почве доступной влаги ( $r = 0,630 \pm 0,194$  ( $t_r = 3,25 > t_{05}$ )).

Возделывание зерновых культур в биологизированных севооборотах сопровождалось существенным снижением урожайности озимой пшеницы (в сидеральном севообороте – только в засушливые годы) и получением стабильно высоких урожаев зерна ячменя: прибавка 0,13-0,44 т/га (таблица 2). Тем не менее, зерно озимой пшеницы в биологизированных севооборотах имеет более высокое качество по сравнению с зернопаропропашным севооборотом: содержание белка выше на 7,1-12,4%, клейковины – на 4,6-9,5, число падения – на 5,3-12,3, натура – на 0,5-1,1%, ИДК – на 4,8-9,6% ниже.

Таблица 2 – Урожайность культур в зависимости от вида севооборота и приема основной обработки почвы под подсолнечник

Культура и приемы основной обработки почвы (В)	Вид севооборота (А)	Урожайность культур (т/га) в различные годы						
		2011	2012	2013	2014	2015	2016	среднее
Озимая пшеница	ЗПП	-	4,29	4,88	3,12	4,00	3,40	3,94
	Сид	-	4,19	4,81	3,00	3,54	3,50	3,81
	ЗТП	-	4,08	4,63	2,91	3,55	3,70	3,77
Ячмень	ЗПП	-	-	4,23	3,02	1,95	2,86	3,01
	Сид	-	-	4,29	3,12	2,08	3,08	3,14
	ЗТП	-	-	4,36	3,21	3,15	3,08	3,45
НСР <sub>05</sub> озимая пшеница	-	0,08 F <sub>φ</sub> = 8,21 (>F <sub>05</sub> )	0,11 F <sub>φ</sub> = 8,01 (>F <sub>05</sub> )	0,10 F <sub>φ</sub> = 8,01 (<F <sub>05</sub> )	0,06 F <sub>φ</sub> = 111,49 (>F <sub>05</sub> )	0,11 F <sub>φ</sub> = 10,22 (>F <sub>05</sub> )	0,09	
ячмень	-	-	0,04 F <sub>φ</sub> = 16,47 (>F <sub>05</sub> )	0,01 F <sub>φ</sub> = 325,0 (>F <sub>05</sub> )	0,04 F <sub>φ</sub> = 1211,14 (>F <sub>05</sub> )	0,05 F <sub>φ</sub> = 29,0 (>F <sub>05</sub> )	0,04	

Наименьшей лужистостью (24,8%) и наиболее высоким содержанием жира (48,1%) характеризуются маслосемена подсолнечника, возделываемого в бинарных посевах с эспарцетом песчаным.

Существенное преимущество приемов биологизации в формировании высокой урожайности отмечается и в севооборотах с сахарной свеклой (таблица 3).

Таблица 3 – Средние значения урожайности сахарной свеклы (т/га, опыт 4)

Фактор А – вид севооборота	Фактор В – прием основной обработки				Среднее по фактору А
	В	П	Дм	Дп	
2010 г.					
ЗПП	20,5	30,2	26,8	16,3	23,5
Сд	24,5	27,8	28,2	18,5	24,8
Сэ	21,7	28,3	25,0	16,8	23,0
ЗПП	27,2	29,3	22,9	20,5	25,0
Среднее по фактору В	23,5	28,9	25,7	18,0	
	$F_{\phi}$			$HCP_{05}$	
Фактор А	27,82 ( $>F_{05}$ )			0,26	
Фактор В	612,29 ( $>F_{05}$ )			0,26	
Фактор А+В	36,03 ( $>F_{05}$ )			1,07	
2011 г.					
ЗПП	70,7	75,7	58,3	55,3	65,0
Сд	69,0	73,3	57,0	53,0	63,1
Сэ	70,7	74,0	57,7	54,7	64,3
ЗПП	69,0	77,7	62,0	54,0	65,7
Среднее по фактору В	69,9	75,2	58,8	54,3	
	$F_{\phi}$			$HCP_{05}$	
Фактор А	14,82 ( $>F_{05}$ )			0,41	
Фактор В	1116,51 ( $>F_{05}$ )			0,41	
Фактор А+В	5,74 ( $>F_{05}$ )			1,67	
2012 г.					
ЗПП	73,1	76,1	72,3	70,7	73,1
Сд	74,3	78,2	75,3	70,5	74,6
Сэ	78,7	80,5	75,8	70,1	76,3
ЗПП	76,8	78,1	73,2	70,0	74,5
Среднее по фактору В	75,7	78,2	74,2	70,3	
	$F_{\phi}$			$HCP_{05}$	
Фактор А	23,78 ( $>F_{05}$ )			0,38	
Фактор В	150,16 ( $>F_{05}$ )			0,38	
Фактор А+В	6,27 ( $>F_{05}$ )			1,55	

Замена вспашки на дисковое рыхление (мелкое и поверхностное) привела к существенному снижению урожайности сахарной свеклы.

Наиболее высокой продуктивностью характеризуется зернотравянопропашной севооборот – 14,66 т к.ед./га (в среднем по вариантам обработки почвы). Несколько ниже продуктивность сидерального севооборота – в среднем 11,56 т к.ед./га.

Замена вспашки на безотвальные приемы сопровождалась снижением продуктивности севооборота: на 1,1-1,4% при проведении дисковой обработки и на 1,1-2,0% – при проведении плоскорезной.

В общей сложности наиболее высокой продуктивностью характеризовался зернотравянопропашной севооборот с отвальной обработкой почвы под подсолнечник – 14,77 т к.ед./га.

Аналогично и в севооборотах с сахарной свеклой (опыт 2): наиболее высокой продуктивностью характеризуется севооборот с проведением вспашки на глубину 23-25 см.

Формирование урожайности подсолнечника (опыт 2) протекало под влиянием всех изучаемых факторов.

Совместное применение нескольких приемов повышения плодородия почвы обеспечивает увеличение прибавки урожайности по сравнению с их использованием в чистом виде. По фону заделки в почву пожнивного сидерата (Ф+ПС) прибавка урожайности подсолнечника составила 0,10 т/га (3,5%), применение пожнивной сидерации совместно с соломой ячменя (Ф+С+ПС) повысило прибавку до 0,17 т/га (6,0%), комбинация пожнивной сидерации с припосевным удобрением (Ф+ПС+У) увеличила урожайность на 0,22 т/га (7,8%), а совместное использование всех трех удобрений – на 0,31 т/га (10,9%). НСР<sub>05</sub> для фактора «прием основной обработки почвы» – 0,08 т/га ( $F_{\phi} = 12,36 > F_{05}$ ).

Значимое влияние на формирование урожайности масличной культуры оказали и ее бинарные компоненты – бобовые травы, обеспечившие прибавку урожайности от 0,21 до 0,30 т/га (НСР<sub>05</sub> для фактора «вид посева» – 0,05 т/га ( $F_{\phi} = 48,47 > F_{05}$ ), или 7,5-9,7%).

Формирование урожайности подсолнечника в зависимости от способа основной обработки почвы более оптимально протекало по фону вспашки. Замена вспашки на безотвальный прием сопровождалась существенным снижением величины урожайности – на 0,15 т/га (на 4,9%) при НСР<sub>05</sub> для фактора С – 0,04 т/га ( $F_{\phi} = 67,80 > F_{05}$ ).

Таким образом, приемы биологизации и отвальная обработка почвы под пропашные культуры обеспечивают увеличение урожайности культур и продуктивности севооборотов.

В **шестой главе** приведена оценка экономической и энергетической эффективности севооборотов и их почвозащитной способности. Установлено: биологизация земледелия сопровождается дополнительными производственными расходами (+23,7-36,6%), связанными с возделыванием пожнивного сидерата, посевом бобовых трав, мероприятиями, проводимыми в сидеральном и занятом пару. В результате биологизированные севообороты характеризуются более низким по сравнению с зернопаропропашным севооборотом (167,6%) уровнем рентабельности – 122,4 и 132,3%. Но получение сравнительно высоких экономических показателей в зернопаропропашном севообороте протекало на фоне снижения содержания в почве гумуса на 0,4 абс.%, в то время как под биологизированными севооборотами данный показатель вырос на 0,1-0,2 абс.%.

Совместное применение различных видов удобрений способствует увеличению уровня рентабельности возделывания подсолнечника. Если при пожнивной сидерации уровень рентабельности составил 121%, то при ее совместном использовании с удобрением он увеличился до 123,7%, с соломой – до 132,5, а при дополнительном применении минерального удобрения – до 147,4%.

Увеличение уровня рентабельности при возделывании подсолнечника и сахарной свеклы обеспечивает замена вспашки на плоскорезную обработку – прибавка 22,1 и 39,9 абс.%.

Проведение дисковой обработки под подсолнечник сопровождалось увеличением показателя на 43,3 абс.%, а замена вспашки безотвальным рыхлением (опыт 2) – на 13,5 абс.%.

Севообороты с применением приемов биологизации характеризуются более высокой энергетической эффективностью (6,44-7,76). Наибольший выход чистой энергии характерен для зернотравянопропашного севооборота (109,3ГДж/га), а из изучаемых приемов основной обработки почвы – для вспашки (69,3ГДж/га).

Применение пожнивной сидерации и многолетних трав в севообороте обеспечивает рост его почвозащитной способности. При уровне насыщенности севооборота многолетними бобовыми травами до 37% теоретическое увеличение почвозащитной способности составит 90,9 и 25%, а при насыщенности до 62% – 118,2 и 96,4%.

Таким образом, биологизированные севообороты при комбинированной обработке почвы характеризуются высокими экономической и энергетической эффективностью и почвозащитной способностью.

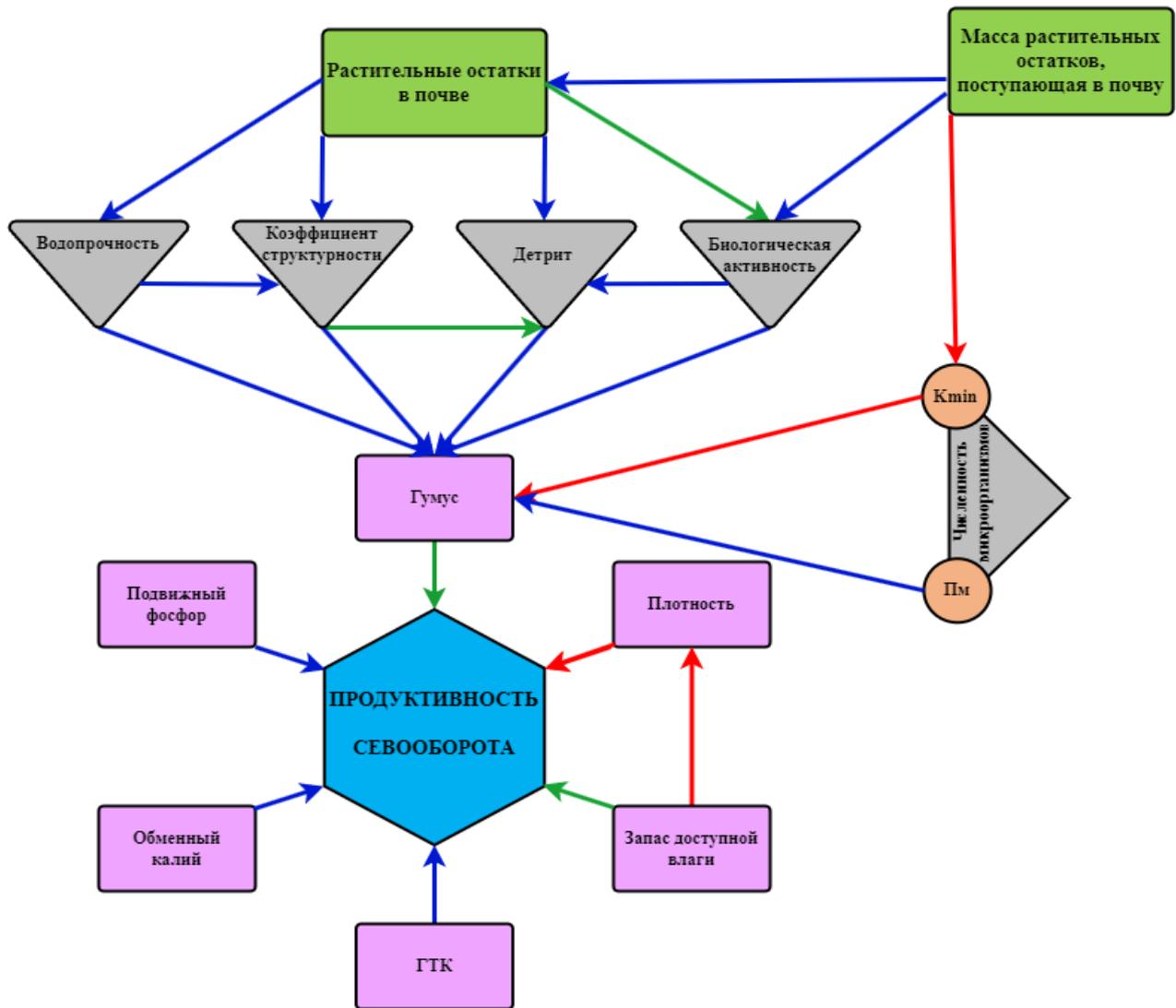
В **седьмой главе** приведена структурная модель зависимости продуктивности севооборота от основных показателей плодородия чернозема типичного в условиях Центрального Черноземья (рисунок 11).

Важным показателем почвенного плодородия является содержание в ней органического вещества. Источником органического вещества являются растительные остатки.

Увеличение поступления в почву свежей биомассы ( $x_3$ ) обеспечивает увеличение массы растительных остатков в почве, рост биологической активности  $x_4$  ( $r=0,728\pm 0,217$  ( $t_r > t_{05}$ )... $0,803\pm 0,188$  ( $t_r > t_{05}$ )) и снижение коэффициента минерализации  $K_{\text{мин}}$  ( $r=-0,734\pm 0,170$  ( $t_r > t_{05}$ )).

Растительные остатки ( $x_1$ ) в почве оказывают сильное прямое влияние на структурное состояние почвы ( $r=0,770\pm 0,136$  ( $t_r > t_{05}$ )), ее водопрочность ( $r=0,764\pm 0,137$  ( $t_r > t_{05}$ )), на содержание в почве детрита ( $r=0,888\pm 0,115$  ( $t_r > t_{05}$ )), а также средней силы прямое влияние – на биологическую активность почвы ( $r=0,624\pm 0,195$  ( $t_r > t_{05}$ )). В свою очередь, улучшение водопрочности почвы обеспечивает увеличение ее коэффициента структурности ( $r=0,818\pm 0,099$  ( $t_r > t_{05}$ )); усиление биологической активности почвы  $x_4$ , а также улучшение струк-

турного состояния ( $x_5$ ) способствуют формированию более высоких показателей содержания лабильного ( $x_2$ ) органического вещества (соответственно  $r=0,660\pm 0,188$  ( $t_r > t_{05}$ ) и  $r=0,603\pm 0,170$  ( $t_r > t_{05}$ )).



- > сильная прямая связь ( $|r| > 0,7$ ,  $r > 0$ )
- > сильная обратная связь ( $|r| > 0,7$ ,  $r < 0$ )
- > средней силы прямая связь ( $|r| = 0,3-0,7$ ,  $r > 0$ )

Рисунок 11 – Модель продуктивности севооборота в условиях Центрального Черноземья на черноземе типичном, глинистом

Все рассматриваемые показатели оказывают сильное прямое влияние на содержание в почве гумуса ( $r=0,657\pm 0,238$  ( $t_r > t_{05}$ )... $0,840\pm 0,171$  ( $t_r > t_{05}$ )):  $y = 0,040311414x_1 + 1,098083228x_2 + 0,007554385x_3 + 0,010089128x_4 + 0,099430513x_5 + 4,536528893$  (таблица 4). Установлена сильная прямая связь содержания гумуса с коэффициентом трансформации  $\Pi_m$  ( $r=0,757\pm 0,207$  ( $t_r > t_{05}$ )) и сильная обратная связь – с коэффициентом минерализации  $K_{мин}$  ( $r=-0,752\pm 0,208$  ( $t_r > t_{05}$ )).

Таблица 4 – Корреляционные связи содержания гумуса (%) в слое почвы 0-30 см с показателями почвенного плодородия

Показатель	Уравнение регрессии
Содержание растительных остатков, т/га ( $x_1$ )	$y = 0,0835x + 5,1024$
Содержание детрита, % ( $x_2$ )	$y = 3,3802x + 4,9766$
Масса поступающих в почву растительных остатков, т/га ( $x_3$ )	$y = 0,0359x + 5,2082$
Биологическая активность, % ( $x_4$ )	$y = 0,0191x + 5,088$
Коэффициент структурности ( $x_5$ )	$y = 0,5002x + 4,3311$
$y = 0,040311414x_1 + 1,098083228x_2 + 0,007554385x_3 + 0,010089128x_4 + 0,099430513x_5 + 4,536528893$	
Коэффициент трансформации	$y = 0,1278x + 4,3941$
Коэффициент минерализации	$y = -0,7917x + 7,0675$
Индекс олиготрофности	$y = -0,8098x + 6,7503$

В условиях юго-востока Центрального Черноземья продуктивность севооборота на черноземе типичном, глинистом находится в сильной прямой зависимости от содержания в почве элементов питания ( $r=0,741\pm 0,186$  ( $t_r > t_{05}$ )... $0,879\pm 0,132$  ( $t_r > t_{05}$ )) и гидротермического коэффициента ( $r=0,787\pm 0,171$  ( $t_r > t_{05}$ )), в средней обратной зависимости – от плотности почвы ( $r=-0,539\pm 0,233$  ( $t_r > t_{05}$ )) и в средней прямой зависимости – от содержания в почве гумуса ( $r=0,454\pm 0,153$  ( $t_r > t_{05}$ )) и доступной влаги ( $r=0,491\pm 0,218$  ( $t_r > t_{05}$ )).

Построенная модель продуктивности севооборота имеет возможность постепенного ввода в нее новых знаний, что отвечает одному из важных требований к модели – возможности расширения.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На основании результатов проведенных исследований сформулированы следующие выводы:

1. Применение пожнивной сидерации обеспечивает к посеву подсолнечника формирование более высокого запаса доступной влаги: на 0,8-2,1 мм в слое почвы 0-30 см и 3,1-4,8 мм – в слое почвы 0-50 см. По накоплению доступной влаги к посеву озимой пшеницы и ее рациональному расходу в течение вегетационного периода сидеральный (донник желтый) и занятый (люцерна синяя) пары не уступают чистому пару, формируя в условиях ЦЧР ее удовлетворительный запас (40,8-41,5 и 76,3-77,4 мм в слоях почвы 0-30 и 0-50 см).

2. Замена отвального приема обработки почвы дисковой и плоскорезной обработками увеличила запас доступной влаги к наступлению фазы всходов подсолнечника на 1,6...4,7 мм (слой почвы 0-30 см), 3,1...6,1 мм (слой почвы 0-50 см) и 0,5...21,4 мм (слой почвы 0-100 см). При засушливых условиях замена вспашки на глубокое безотвальное рыхление сопровождается снижением

запаса доступной влаги в слоях почвы 0-30 и 0-100 см. (на 2 и 3 мм) к фазе всходов подсолнечника.

При переходе к безотвальным приемам основной обработки почвы наблюдается увеличение коэффициента водопотребления подсолнечника: на 7,1-7,2% – под одновидовыми посевами, на 4,5-6,0% – под бинарными посевами с донником и на 6,9-7,0% – под бинарными посевами с люцерной.

По интенсивности усвоения атмосферных осадков приемы основной обработки почвы расположились в следующей убывающей последовательности: плоскорезная обработка – 17%, дисковая обработка – 14, вспашка – 13%.

3. Сидеральные культуры в пару и пожнивно и многолетние бобовые травы улучшают структуру почвы, что выражается в увеличении коэффициента структурности на 0,55 единиц в зернотравянопропашном севообороте и сохранении существующей структуры слоя почвы 0-30 см в сидеральном. В зернопаропропашном севообороте коэффициент структурности уменьшился на 0,96 единиц.

Замена вспашки на плоскорезное рыхление сопровождалась снижением величины коэффициента структурности. Уменьшение доли агрономически ценных агрегатов произошло из-за увеличения удельного веса глыбистой фракции: на 10,2 абс.% под одновидовым посевом подсолнечника и на 7,1 абс.% под бинарным с донником; в зернотравянопропашном севообороте отклонение недостоверно. Влияние дисковой обработки на структуру почвы несущественно.

4. Зернотравянопропашной севооборот обеспечивает существенное улучшение (на 4,1%) водопрочности почвы по сравнению с зернопаропропашным. Четкой зависимости водопрочности почвы от приемов основной обработки почвы не установлено.

5. Формированию и поддержанию плотности почвы в пределах оптимальных значений (1,1-1,12 г/см<sup>3</sup>) в течение вегетационного периода культур способствовала сидерация, применяемая как в чистом виде, так и в комплексе с другими приемами повышения плодородия почвы.

Замена вспашки на безотвальные приемы сопровождалась несущественным увеличением плотности почвы в слое 0-30 см к фазе всходов подсолнечника. В среднем за вегетационный период плотность почвы при всех приемах основной обработки почвы не выходила за пределы оптимальных значений.

6. Применение пожнивной сидерации после ячменя под бинарные посева подсолнечника с викой яровой или эспарцетом существенно снижало твердость почвы и поддерживало ее в пределах оптимальных значений в течение вегетации культуры. Переход на безотвальный способ основной обработки почвы сопровождался увеличением твердости почвы на 0,3-1,3 кг/см<sup>2</sup>.

7. Биологизированные севообороты характеризуются более высоким содержанием в слое почвы 0-3 см подвижного фосфора (91-92 мг/кг почвы). По сравнению с фоном пожнивно-корневых остатков органические и органоминеральные удобрения обеспечивают увеличение содержания в почве подвиж-

ного фосфора на 0,8-25,7% при бинарных посевах и на 4,4-23,7% при одновидовых. В среднем за вегетацию наиболее высокое содержание элемента зафиксировано по фону совместного использования соломы, пожнивного сидерата и припосевного минерального удобрения. Достоверно более высокое содержание подвижного фосфора в почве было характерно для отвальной обработки почвы.

8. Наиболее высокая обеспеченность слоя почвы 0-30 см обменным калием характерна для зернотравянопропашного и сидерального севооборотов – 164 и 156 мг/кг почвы. Применение при возделывании подсолнечника приемов повышения плодородия почвы по сравнению с фоном пожнивно-корневых остатков обеспечивает увеличение содержания в почве обменного калия, но при этом прибавка при бинарных посевах составляла 6-22 мг/кг почвы, а при одновидовых – не превышала 12 мг/кг почвы.

В фазе полной спелости подсолнечника отмечена дифференциации пахотного слоя почвы по содержанию обменного калия в зависимости от приема основной обработки: слой почвы 20-30 см был существенно беднее слоя почвы 0-10 см (на 20,8% – по фону вспашки, на 20,3% – по фону дискования и на 34,5% – по фону плоскорезной обработки).

Зависимости содержания в почве обменного калия от обработки почвы не установлено.

9. Возделывание культур в биологизированных севооборотах обеспечивало более высокое содержание в почве аммонийного и нитратного азота и рациональный его расход в течение вегетационного периода. Формированию оптимальных условий способствует проведение вспашки.

10. По убыванию массы растительных остатков в слое почвы 0-30 см севообороты можно разместить в следующем порядке: сидеральный (7,06 т/га) – зернотравянопропашной (7,0 т/га) – зернопаропропашной (4,52 т/га); между биологизированными севооборотами различия незначительны. В севооборотах с сахарной свеклой: зернотравянопропашной (отклонение от зернопаропропашного 43,3...39,4%) – сидеральный с донником (отклонение 37,1...30,3%) – сидеральный с эспарцетом (отклонение 23,8...21,8%) – зернопаропропашной.

Увеличение длительности ротации севооборота с сахарной свеклой с четырех до пяти лет с введением бинарных посевов подсолнечника с многолетними бобовыми травами обеспечивает существенное увеличение массы растительных остатков в почве при различных приемах основной обработки.

Увеличению массы растительных остатков в почве под посевами подсолнечника способствовало дополнительное внесение соломы ячменя (прибавка 8,6...7,6%), заделка пожнивного сидерата (+12,9...10,8%), совместное использование соломы и сидерата (+23,9...23,4%).

При безотвальной глубокой рыхлени под подсолнечник масса растительных остатков в 30-сантиметровом слое почвы больше, чем при отвальной обработке, на 0,08-0,33 т/га, что связано с замедлением процессов их разложения.

11. Темпы разложения растительных остатков за ротацию биологизированных севооборотов (84,1 и 85,5%) в 1,5 раза превышали показатель зернопаропропашного севооборота.

Увеличение длительности короткоротационного севооборота с сахарной свеклой до пяти лет характеризовалось ускорением темпов разложения растительных остатков: на 5,4% – в зернопаропропашном севообороте, на 9,5 – в сидеральном с донником, на 4,4 – в сидеральном с эспарцетом и на 5,8% – в зернотравянопропашном.

12. Общая численность почвенных микроорганизмов в почве биологизированных севооборотов на 2,8-4,7% выше, чем в зернопаропропашном севообороте. Наиболее высокая численность микроскопических грибов и микроорганизмов, усваивающих минеральный азот, характерна для зернопаропропашного севооборота – соответственно 37,4 тыс. и 11,4 млн КОЕ/1г почвы. Применение приемов биологизации приводит к снижению численности этой группы микроорганизмов до 30,1-31,6 тыс. КОЕ/1г почвы.

Биологизированные севообороты обеспечивают устойчивость высокой численности аммонифицирующих микроорганизмов в течение всего вегетационного периода: отклонение от зернопаропропашного севооборота – 10,2-30,2 и 11,9-25,6%.

Группа целлюлозоразлагающих микроорганизмов имеет следующую структуру: 82,0-89,0% – бактерии, 8,1-13,2 – актиномицеты и 2,9-4,9% – грибы. Применение приемов биологизации сопровождается увеличением доли целлюлозоразлагающих бактерий: на 2,9 абс.% – в сидеральном севообороте и на 7 абс.% – в зернотравянопропашном.

Наиболее высокий коэффициент минерализации ( $K_{\text{мин}}$ ) характерен для зернопаропропашного севооборота – 2,07, что говорит о глубокой минерализации органического вещества в результате меньшего поступления растительных масс в почву. В зернотравянопропашном и сидеральном севооборотах процессы минерализации протекают медленнее:  $K_{\text{мин}}$  соответственно равен 1,73 и 1,68.

Коэффициент трансформации органического вещества составил 10,13 – в зернотравянопропашном и 10,58 – в сидеральном севооборотах, что в среднем в 1,3 раза превысило показатели зернопаропропашного севооборота.

В почве под биологизированными севооборотами процессы разложения гумуса замедлены: индекс олиготрофности меньше контрольных значений на 6,2-12,3%.

13. Введение в севооборот бобовых трав и сидерации обеспечивает поддержку высокой целлюлозной активности почвы в течение 90-та суток. Убыльвание целлюлозной активности отмечается в следующей последовательности: занятые пары бобовыми травами 2-го года жизни – 64,9%, чистый пар – 44,3, ячмень – 43,5, озимая пшеница – 42,5, подсолнечник – 35,6%.

Замена вспашки плоскорезным рыхлением сопровождалась существенным увеличением распада льняного полотна в слоях почвы 0-10 см (на 4,6...8,6

абс.%), 10-20 см (на 3,6 ... 9,5 абс.%) и 0-30 см (в 1,28 ... 1,26 раза). Существенной зависимости биологической активности почвы от дисковой обработки не установлено.

Устойчивая активность микробного сообщества и отсутствие гетерогенности слоя почвы 0-30 см характерно только для отвальной обработки почвы на глубину 20-22 см.

14. Увеличению массы детрита в 30-сантиметровом слое почвы способствовали: дополнительная к фону пожнивно-корневых остатков заделка пожнивного сидерата (+0,020 абс.%), совместное использование сидерации и соломы (+0,019 абс.%), совместное использование сидерации и припосевного минерального удобрения (+0,018 абс.%), совместное использование соломы, сидерации и припосевного минерального удобрения (+0,032 абс.%). Применение соломы в чистом виде и в комплексе с припосевным минеральным удобрением не оказало достоверного влияния на содержание детрита.

Формирование наиболее высоких запасов детрита по сравнению с зернопаропропашным севооборотом характерно для зернотравянопропашного (0,219%) и сидерального (0,199%) севооборотов. Применение приемов биологизации обеспечивает накопление детрита со сравнительно более узким соотношением C:N (16,4-17,7:1 по сравнению с 39,3:1).

Замена вспашки на плоскорезную обработку не оказала достоверного влияния на массу детрита в 30-сантиметровом слое почвы, при проведении дискования содержание детрита в 30-сантиметровом слое почвы было существенно меньше. При отвальной обработке почвы отмечается тенденция формирования гомогенного по содержанию детрита слоя почвы 0-30 см.

15. Применение приемов биологизации обеспечивает существенное увеличение содержания гумуса в почве по сравнению с зернопаропропашным севооборотом: на 0,5 абс.% – в зернотравянопропашном севообороте и на 0,1 абс.% – в сидеральном.

Введение в зернотравянопропашной севооборот с сахарной свеклой люцерны синей обеспечило увеличение содержания гумуса в почве на 0,1-0,2 абс.% в 5-польном севообороте и на 0,3-0,4 абс.% – в 4-польном.

Применение органической системы удобрений при возделывании подсолнечника обеспечивает увеличение содержания гумуса в пахотном слое почвы по сравнению с фоном пожнивно-корневых остатков на 0,01-0,04 абс.%, а применение органо-минеральной – на 0,01-0,05 абс.%.

Влияние обработки почвы на содержание гумуса в 30-сантиметровом слое недостоверно.

16. Применение пожнивного сидерата в чистом виде по сравнению с фоном пожнивно-корневых остатков снижает токсичность почвы в 2,3...2,4 раза, совместно с припосевным минеральным удобрением – в 2,8...2,6 раза, при совместном применении всех изучаемых удобрений – в 1,9...2 раза.

Приемы основной обработки почвы под подсолнечник не оказали существенного влияния на токсичность почвы.

17. Наиболее высокая продуктивность севооборота характерна для зернотравянопропашного – 14,66 т к.ед./га в среднем по вариантам обработки почвы. Продуктивность сидерального севооборота несколько меньше – 11,56 т к.ед./га. Из севооборотов с сахарной свеклой наиболее высокой продуктивностью характеризовались 5-типольные севообороты – 5,98-6,48 т к.ед./га.

При замене вспашки на дисковую и плоскорезную обработки продуктивность севооборотов снижается на 1,1-1,4 и 1,1-2,0%. Наибольшие потери продуктивности севооборотов от минимизации обработки почвы проявлялись в зернопаропропашном севообороте.

Наиболее высокую урожайность подсолнечника обеспечивает посев с внесением припосевного минерального удобрения по фону совместного применения соломы и пожнивной сидерации – 3,14 т/га. Замена вспашки на безотвальные приемы сопровождалась существенным снижением урожайности подсолнечника – на 0,15-0,16 т/га.

Мелкие (12-14 см) и поверхностные (5-6 см) приемы дискового рыхления привели к снижению урожайности сахарной свеклы соответственно на 3,4 (на 6,4%) и на 8,8 т/га (на 18,5%).

18. Возделывание сельскохозяйственных культур в биологизированных севооборотах обеспечило получение продукции более высокого качества. Зерно озимой пшеницы биологизированных севооборотов характеризовалось более высокими значениями содержания белка (на 7,1-12,4%), клейковины (на 4,6-9,5%), числа падения (на 5,3-12,3%), натуры (на 0,5-1,1%), более низким ИДК (на 4,8-9,6%) по сравнению с зернопаропропашным севооборотом.

Совместное использование соломы ячменя, пожнивного сидерата редьки масличной и припосевного удобрения обеспечило существенное снижение показателя лузжистости маслосемян. Значительному увеличению масличности способствовали бинарные посевы подсолнечника с эспарцетом песчаным – прибавка составила 0,9 абс.%, и применение пожнивной сидерации в чистом виде: прибавка 0,7 абс.%.

Маслосемена, полученные на варианте проведения безотвальной обработки почвы, характеризуются более высоким содержанием жира (+1,5 абс.%).

19. Возделывание культур в зернопаропропашном севообороте характеризуется средней (3,49-3,56), в сидеральном и зернотравянопропашном севооборотах – высокой (6,44-6,49 и 7,73-7,76) энергетической эффективностью.

Энергетическая эффективность культур: низкая – подсолнечник; высокая – озимая пшеница и ячмень; очень высокая – сидеральный (донник) и занятый (люцерна) пары; отсутствие энергетической эффективности – чистый пар.

Приемы обработки почвы под подсолнечник по увеличению энергетической эффективности распределились следующим образом: плоскорезная обработка (1,59) – дисковая обработка (1,60) – вспашка (1,67).

20. При уровне насыщенности севооборота многолетними бобовыми травами до 37% теоретическое увеличение эрозионной и дефляционной почвозащитной способности составит 90,9 и 25%, а при насыщенности до 62% – соответственно 118,2 и 96,4%.

21. Разработанная структурная модель обеспечивает возможность регулирования уровня продуктивности севооборотов путем оптимизации основных показателей почвенного плодородия за счет увеличения массы поступающих в почву растительных остатков.

## ПРЕДЛОЖЕНИЯ ПРОИЗВОДСТВУ

Предложения производству основаны на специализации хозяйства и уровне биологизации принятой системы земледелия.

*1. Специализация: растениеводство с развитым животноводством. Биологизация земледелия.*

Зернотравянопропашной севооборот:

1. Занятый пар (люцерна синяя 2-го г.ж.).
2. Бинарный посев озимой пшеницы с люцерной синей 3-го г.ж.
3. Ячмень + пожнивной сидерат редька масличная.
4. ½ бинарный посев подсолнечника с люцерной синей / ½ бинарный посев кукурузы с люцерной синей.

Освоение зернотравянопропашного севооборота позволит одновременно получать хорошую урожайность культур и корма для КРС: сено, сенаж, зеленый корм в поле занятого пара. После уборки озимой пшеницы возможно использование отрастающей надземной массы люцерны синей в зеленом конвейере.

*2. Специализация: растениеводство. Органическое и биологическое земледелие.*

Сидеральный севооборот:

1. Сидеральный пар (донник желтый 2-го г.ж.).
2. Озимая пшеница.
3. Ячмень + пожнивной сидерат редька масличная.
4. ½ бинарный посев подсолнечника с донником желтым / ½ бинарный посев кукурузы с донником желтым.

Для хозяйств, специализирующихся на производстве маслосемян подсолнечника по технологии органического земледелия рекомендуется возделывание культуры в звене севооборота:

Первый вариант – зернопропашное звено:

1. Ячмень + пожнивной сидерат редька масличная.
2. Бинарный посев подсолнечника с викой яровой.

Второй вариант – сидеральное звено:

1. Ячмень + пожнивной сидерат редька масличная.
2. Бинарный посев подсолнечника с эспарцетом песчаным.
3. Сидеральный пар (эспарцет песчаный 2г.ж.).

*3. Специализация: растениеводство. Переходный период к биологическому земледелию.*

Вариант 1. Сидеральный севооборот №1:

1. Сидеральный пар (донник желтый 2-го г.ж.).

2. Озимая пшеница.
3. Сахарная свекла.
4. Ячмень + донник желтый.

Вариант 2. Сидеральный севооборот №2:

1. Сидеральный пар (эспарцет песчаный 2-го г.ж.).
2. Озимая пшеница.
3. Сахарная свекла.
4. Ячмень + эспарцет песчаный.

Для хозяйств, находящихся в стадии переходного периода к органическому земледелию, рекомендуем возделывание подсолнечника в бинарном посеве с викой яровой (или эспарцетом песчаным) при применении органической системы удобрения: совместное использование соломы ячменя с зеленой массой пожнивного сидерата редьки масличной.

При биологизации земледелия возможно дополнительное внесение припосевного минерального удобрения ( $N_{24}P_{24}K_{24}$ ).

Наиболее рациональной обработкой почвы в севооборотах с бинарными посевами подсолнечника является комбинированная разноглубинная:

- 1) отвальная обработка почвы под подсолнечник (20-22 см) и мелкая безотвальная (10-12 см) – под зерновые культуры;
- 2) вспашка под сахарную свеклу (23-25 см), мелкая безотвальная – под ячмень (12-14 см) и озимую пшеницу (10-12 см).

## ПЕРСПЕКТИВЫ ДАЛЬНЕЙШЕЙ РАЗРАБОТКИ ТЕМЫ

С целью увеличения устойчивости биологизированных севооборотов с бинарными посевами культур запланировано на перспективу:

- разработка и оценка системы биологизированной защиты полевых культур от сорных растений;
- осуществление поиска и научного обоснования мероприятий по улучшению качества растениеводческой продукции.

## СПИСОК РАБОТ, ОПУБЛИКОВАННЫХ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

### Статьи в изданиях, рекомендованных ВАК Минобрнауки РФ

1. Дедов, А. В. Биологизация земледелия: современное состояние и перспективы / А. В. Дедов, Н. В. Слаук, **М. А. Несмеянова** // Вестник Воронежского государственного аграрного университета. – 2012. – № 3(34). – С. 57-65.
2. Дедов, А. В. Приемы биологизации и воспроизводство плодородия черноземов / А. В. Дедов, **М. А. Несмеянова**, Н. Н. Хрюкин // Земледелие. – 2012. – № 6. – С. 4-7.
3. Дедов, А. В. Влияние многолетних трав на плодородие почв / А. В. Дедов, **М. А. Несмеянова** // Агрехимический вестник. – 2012. – № 4. – С. 7-9.

4. Дедов, А. В. Бинарные посе́вы – перспективное энергосберегающее направление технологии возделывания культур / А. В. Дедов, **М. А. Несмеянова**, Т. Г. Кузнецова // Вестник Воронежского государственного аграрного университета. – 2013. – № 2(37). – С. 219-222.

5. Дедов, А. В. Бинарные посе́вы с бобовыми травами / А. В. Дедов, Т. Г. Кузнецова, **М. А. Несмеянова** // Пермский аграрный вестник. – 2014. – № 2(6). – С. 10-18.

6. **Несмеянова, М. А.** Ресурсо-и энергосберегающие технологии возделывания культур в севооборотах с бобовыми травами / М. А. Несмеянова, А. В. Дедов // Вестник АПК Верхневолжья. – 2015. – № 2(30). – С. 74-79.

7. **Несмеянова, М. А.** Занятый пар как предшественник озимой пшеницы в условиях юго-востока ЦЧР / М. А. Несмеянова, А. В. Дедов, А. А. Дедов // Вестник НГАУ (Новосибирский государственный аграрный университет). – 2015. – № 3(36). – С. 31-37.

8. Влияние приемов биологизации на скорость разложения растительных остатков сельскохозяйственных культур / А. А. Дедов, В. И. Воронин, А. В. Дедов, **М. А. Несмеянова** // Вестник Воронежского государственного аграрного университета. – 2015. – № 4-2(47). – С. 42-47.

9. Дедов, А. В. Роль бинарных посе́вов в увеличении содержания В ПОЧВЕ гумуса и детрита / А. В. Дедов, **М. А. Несмеянова**, А. А. Дедов // Плодородие. – 2015. – № 4(85). – С. 32-34.

10. Технология возделывания подсолнечника с элементами биологизации / **М. А. Несмеянова**, А. В. Дедов, А. А. Панов, Е. Ю. Панова // Масличные культуры. Научно-технический бюллетень Всероссийского научно-исследовательского института масличных культур. – 2015. – № 2(162). – С. 63-67.

11. **Несмеянова, М. А.** Защита посевов подсолнечника от сорной растительности / М. А. Несмеянова, А. В. Дедов // Защита и карантин растений. – 2015. – № 9. – С. 45-46.

12. Влияние приемов биологизации и различных способов обработки почвы на показатели плодородия и урожайности культур севооборотов / А. А. Дедов, **М. А. Несмеянова**, А. В. Дедов, В. И. Воронин // Вестник Воронежского государственного аграрного университета. – 2016. – № 3(50). – С. 47-56.

13. Панов, А. А. Динамика детрита под культурами севооборота при различных способах повышения плодородия почв в ЦЧР / А. А. Панов, Е. В. Коротких, **М. А. Несмеянова** // Вестник Орловского государственного аграрного университета. – 2016. – № 1(58). – С. 62-69.

14. Дедов, А. А. Технология возделывания люцерны синей на кормовые цели / А. А. Дедов, А. В. Дедов, **М. А. Несмеянова** // Кормопроизводство. – 2016. – № 12. – С. 24-28.

15. Дедов, А. А. Динамика разложения растительных остатков в черноземе типичном и продуктивность культур севооборота / А. А. Дедов, А. В. Дедов, **М. А. Несмеянова** // Агрехимия. – 2016. – № 6. – С. 3-8.

16. Дедов, А. В. Урожайность сахарной свеклы при различных приемах биологизации и основной обработки почвы / А. В. Дедов, **М. А. Несмеянова**, Н. Н. Хрюкин // Вестник ИрГСХА. – 2017. – № 81-2. – С. 15-21.

17. Дедов, А. В. Лабильное органическое вещество почв и приемы его регулирования / А. В. Дедов, **М. А. Несмеянова** // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. – 2017. – № 5(67). – С. 8-10.

18. **Несмеянова, М. А.** Формирование основных показателей плодородия чернозема типичного под влиянием совместных посевов подсолнечника с многолетними бобовыми травами / М. А. Несмеянова, А. В. Дедов // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. – 2017. – № 4(66). – С. 85-88.

19. Хрюкин, Н. Н. Влияние приемов биологизации на скорость разложения растительных остатков и продуктивность севооборотов / Н. Н. Хрюкин, А. В. Дедов, **М. А. Несмеянова** // Плодородие. – 2017. – № 4(97). – С. 52-56.

20. Дедов, А. А. Влияние темпов разложения растительных остатков на лабильное органическое вещество почвы и урожайность культур севооборота / А. А. Дедов, **М. А. Несмеянова**, А. В. Дедов // Земледелие. – 2017. – № 4. – С. 6-9.

21. Дедов, А. В. Органическое вещество почвы и продуктивность севооборотов при использовании различных приемов биологизации и обработки почвы / А. В. Дедов, **М. А. Несмеянова**, А. А. Дедов // Аграрная наука. – 2017. – № 9-10. – С. 9-10.

22. Дедов, А. А. Влияние приемов биологизации земледелия и способов обработки почвы на содержание органического вещества в черноземе типичном и продуктивность севооборотов / А. А. Дедов, **М. А. Несмеянова**, А. В. Дедов // Агрохимия. – 2017. – № 9. – С. 25-32.

23. **Несмеянова, М. А.** Агрофизические свойства почвы под бинарными посевами подсолнечника / М. А. Несмеянова, А. В. Дедов // Агрофизика. – 2018. – № 4. – С. 44-49.

24. Дедов, А. В. Плодородие почвы и продуктивность короткоротационных севооборотов с сахарной свеклой / А. В. Дедов, **М. А. Несмеянова**, Н. Н. Хрюкин // Вестник Курской государственной сельскохозяйственной академии. – 2018. – № 9. – С. 15-20.

25. Дедов, А. А. Содержание лабильного органического вещества в севооборотах с бинарными посевами / А. А. Дедов, А. В. Дедов, **М. А. Несмеянова** // Вестник Воронежского государственного аграрного университета. – 2018. – № 1(56). – С. 13-21.

26. Дедов, А. В. Влияние технологии возделывания озимой пшеницы на показатели плодородия чернозема типичного и продуктивность звеньев севооборотов / А. В. Дедов, **М. А. Несмеянова** // Нива Поволжья. – 2018. – № 2(47). – С. 50-56.

27. Дедов, А. В. Влияние пропашных культур и паров на показатели плодородия почвы и продуктивность севооборотов / А. В. Дедов, **М. А. Несмеянова** // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. – 2018. – № 4(72). – С. 33-36.

28. Дедов, А. В. Влияние минеральных удобрений на плодородие почвы и урожайность сахарной свеклы / А. В. Дедов, **М. А. Несмеянова** // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. – 2018. – № 3(71). – С. 96-99.

29. Хрюкин, Н. Н. Динамика разложения растительных остатков в черноземе типичном / Н. Н. Хрюкин, А. В. Дедов, **М. А. Несмеянова** // Агрохимический вестник. – 2018. – № 1. – С. 2-4.

30. Дедов, А. В. Пути регулирования плодородия чернозема типичного в условиях юго-востока ЦЧР / А. В. Дедов, Л. А. Новикова, **М. А. Несмеянова** // Вестник Воронежского государственного аграрного университета. – 2019. – Т. 12, № 3(62). – С. 71-77.

31. Дедов, А. В. Изучение влияния севооборотов на содержание органического вещества почвы и урожайность культур / А. В. Дедов, **М. А. Несмеянова** // Вестник Воронежского государственного аграрного университета. – 2020. – Т. 13, № 1(64). – С. 50-60.

32. **Несмеянова, М. А.** Приемы повышения плодородия почвы и их эффективность при возделывании подсолнечника / М. А. Несмеянова, А. В. Дедов // Вестник Курской государственной сельскохозяйственной академии. – 2022. – № 4. – С. 16-22.

33. Дедов, А. В. Влияние приемов биологизации на плодородие черноземных почв ЦЧР / А. В. Дедов, **М. А. Несмеянова** // Вестник Воронежского государственного аграрного университета. – 2022. – Т. 15, № 3(74). – С. 41-50.

34. **Несмеянова, М. А.** Влияние приемов основной обработки почвы на ее плодородие, засоренность посевов и урожайность ячменя / М. А. Несмеянова, А. В. Дедов, Е. В. Коротких // Земледелие. – 2022. – № 4. – С. 8-11.

35. Изменение видового и количественного состава сорного компонента агроценоза при нулевой технологии возделывания озимой пшеницы / **М. А. Несмеянова**, С. И. Коржов, А. В. Дедов, Е. В. Коротких // Земледелие. – 2022. – № 4. – С. 44-48.

36. **Несмеянова, М. А.** Влияние комплекса приемов биологизации на основные свойства почвы и урожайность кукурузы / М. А. Несмеянова, А. В. Дедов, Е. В. Коротких // Достижения науки и техники АПК. – 2022. – Т. 36, № 4. – С. 72-76.

37. Влияние бобовых культур на плодородие почвы и продуктивность севооборотов / С. И. Коржов, А. П. Солодовников, К. И. Пимонов, **М. А. Несмеянова** // Агрохимический вестник. – 2022. – № 3. – С. 54-59.

#### **Статьи в изданиях, входящих в международные реферативные базы данных и системы цитирования**

38. Biological activity of soil and rates of decomposition of plant residues / **М. А. Nesmeyanova**, S. I. Korzhov, A. V. Dedov [et al.] // International Transaction Journal of Engineering, Management and Applied Sciences and Technologies. – 2020. – Vol. 11. – No 14. – P. 1114.

39. **Nesmeyanova, M. A.** Role of allelopathic activity of plants in the regulation of infestation of agrophytocenoses / M. A. Nesmeyanova, T. A. Trofimova, A. V. Dedov // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science : 6th International Conference on Agriproducts Processing and Farming, Voronezh, 17–18 октября 2019 года. – Voronezh: Institute of Physics Publishing, 2020. – P. 012023.

40. Binary plantings as a factor of reducing the technogenic load of agrocenosis / **M. A. Nesmeyanova**, S. I. Korzhov, A. V. Dedov, E. V. Korotkikh // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, Yekaterinburg, 15–16 октября 2021 года. – Yekaterinburg, 2022. – P. 012151.

### Монографии, рекомендации

41. Дедов, А. В. Бинарные посеы в ЦЧР: монография / А. В. Дедов, **М. А. Несмеянова**, Т. Г. Кузнецова. – Воронеж: ФГБОУ ВПО Воронежский ГАУ, 2015. – 139 с.

42. Дедов, А. В. Рекомендации по комплексному использованию приемов биологизации на фоне различных способов обработки почвы / А. В. Дедов, **М. А. Несмеянова**. – Воронеж: ФГБОУ ВО Воронежский ГАУ, 2018. – 38 с.

43. Дедов, А. В. Органическое земледелие Воронежской области (полевые культуры) / А. В. Дедов, **М. А. Несмеянова**. – Воронеж: ФГБОУ ВО Воронежский ГАУ, 2019. – 271 с.

### Публикации в прочих издания

44. **Несмеянова, М. А.** Приемы биологизированной технологии возделывания подсолнечника и плодородие почвы / М. А. Несмеянова, А. В. Дедов // Проблемы и перспективы инновационного развития агроинженерии, энергоэффективности и IT-технологий : Матер. XVIII междунар. науч.-произ. конф. (26-27 мая 2014 г., г. Белгород). – Белгород: БелГСХА, 2014. – С. 19.

45. Дедов, А. В. Роль приемов биологизации в воспроизводстве плодородия черноземов / А. В. Дедов, **М. А. Несмеянова**, Н. Н. Хрюкин // Научно-практические аспекты ресурсосберегающих технологий производства продукции и переработки отходов АПК : Матер. междунар. науч.-практ. конф. (19-21 ноября 2014 г., г. Воронеж). – Воронеж: ВГАУ, 2014. – С. 13-27.

46. Технология возделывания подсолнечника в бинарных посевах с бобовыми травами / **М. А. Несмеянова**, А. В. Дедов, А. А. Дедов, А. А. Панов // Инновационное развитие аграрной науки и образования: мировая практика и современные приоритеты : Матер. Междунар. науч.-практ. конф. (23-24 октября 2015 г., г. Гянджа). – Том III. – Гянджа: Азербайджанский ГАУ, 2015. – С. 59-63.

47. **Несмеянова, М. А.** Плодородие чернозема типичного и урожайность подсолнечника в зависимости от основной обработки почвы / М. А. Несмея-

нова // Образование, наука, практика: инновационный аспект : Сб. матер. междунар. науч.-практ. конф., посвященной Дню российской науки (05-06 февраля 2015 г., г. Пенза). – Том I. – Пенза: Пензенская ГСХА, 2015. – С. 203-205.

48. **Несмеянова, М. А.** Бинарный посев подсолнечника как один из этапов биологизации земледелия ЦЧР / М. А. Несмеянова, А. В. Дедов, А. А. Дедов // Биологизация земель в адаптивно-ландшафтной системе земледелия : Матер. Всероссийской науч.-практ. конфер. Белгородского НИИСХ (14-17 июля 2015 г., г. Белгород). – Белгород: Отчий край, 2015. – С. 169-174.

49. Дедов, А. В. Приемы биологизации и плодородие черноземов / А. В. Дедов, **М. А. Несмеянова**, А. А. Дедов // Землеустроительная наука и образование в России и за рубежом : Матер. междунар. землеустроительного форума (26-28 мая 2015 г., г. Москва). – Москва: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования Государственный университет по землеустройству, 2015. – С. 126-130.

50. **Несмеянова, М. А.** Динамика гумуса и детрита в зависимости от приема биологизации / М. А. Несмеянова, А. В. Дедов, А. А. Дедов // Состояние почв Центрального Черноземья России и проблемы воспроизводства их плодородия: Сб. науч. докл. Всероссийской науч.-практ. конф. (23-24 июня 2015 г., Каменная степь). – Каменная степь: Издательство Истоки, 2015. – С. 107-112.

51. Дедов, А. В. Многолетние бобовые травы и биологические свойства почвы / А. В. Дедов, **М. А. Несмеянова**, А. А. Дедов // Научное обеспечение развития АПК в условиях импортозамещения : Сб. науч. тр. междунар. науч.-практ. конф. (28-30 января 2016 г., г. Санкт-Петербург-Пушкин) / Том Часть I. – Санкт-Петербург-Пушкин: Санкт-Петербургский ГАУ, 2016. – С. 51-55.

52. **Несмеянова, М. А.** Приемы биологизации и влажность почвы под подсолнечником / М. А. Несмеянова, А. В. Дедов, А. А. Панов // Инновационные технологии производства зерновых, зернобобовых, технических и кормовых культур : Юб. сб. науч. тр. (28 ноября 2016 г., г. Воронеж / Воронеж: ВГАУ, 2016. – С. 317-326.

53. Дедов, А. А. Влияние приемов биологизации и основной обработки на плодородие чернозема типичного / А. А. Дедов, **М. А. Несмеянова**, А. В. Дедов // Инновационные технологии производства зерновых, зернобобовых, технических и кормовых культур : Юб. сб. науч. тр. (28 ноября 2016 г., г. Воронеж / Воронеж: ВГАУ, 2016. – С. 297-304.

54. Дедов, А. А. Динамика органического вещества в почве под влиянием многолетних бобовых трав / А. А. Дедов, **М. А. Несмеянова**, А. В. Дедов // Современные проблемы сохранения плодородия черноземов : Матер. междунар. науч.-практ. конф., посвященной 170-летию В.В. Докучаева (21-22 апреля 2016 г., г. Воронеж). – Воронеж: ВГАУ, 2016. – С. 29-36.

55. **Несмеянова, М. А.** Регулирование влажности почвы в посевах подсолнечника / М. А. Несмеянова, А. В. Дедов, А. А. Панов // Научно обоснованные системы сухого земледелия в современных условиях : Матер. междунар.

науч.-практ. конф., посвященной 30-летию системы сухого земледелия (17 мая 2016 г., г. Волгоград). – Волгоград: Волгоградский ГАУ, 2016. – С. 219-225.

56. **Несмеянова, М. А.** Динамика основных элементов питания в черноземе типичном при введении в севооборот многолетних бобовых трав / М. А. Несмеянова, А. В. Дедов // Аграрная наука и образование на современном этапе развития: опыт, проблемы и пути их решения : Матер. VIII междунар. науч.-практ. конф. (07-08 февраля 2017 г., г. Ульяновск). – Том 2017-Часть II. – Ульяновск: Ульяновская ГСХА, 2017. – С. 307-311.

57. Дедов, А. В. Влияние приемов биологизации и обработки почвы на показатели плодородия почвы и продуктивность севооборотов / А. В. Дедов, **М. А. Несмеянова**, А. А. Дедов // Роль аграрной науки в развитии АПК РФ : Матер. междунар. науч.-практ. конф., посвящ. 105-летию ФГБОУ ВО Воронежский ГАУ (01-02 ноября 2017 г., г. Воронеж). – Том ЧАСТЬ II. – Воронеж: ВГАУ, 2017. – С. 167-173.

58. Дедов, А. В. Эффективность различных приемов биологизации и обработки на плодородие почвы севооборотов с сахарной свеклой / А. В. Дедов, **М. А. Несмеянова**, Н. Н. Хрюкин // Роль аграрной науки в развитии АПК РФ : Матер. междунар. науч.-практ. конф., посвящ. 105-летию ФГБОУ ВО Воронежский ГАУ (01-02 ноября 2017 г., г. Воронеж). – Том ЧАСТЬ II. – Воронеж: ВГАУ, 2017. – С. 135-138.

59. **Несмеянова, М. А.** Формирование основных показателей плодородия почвы и урожайности подсолнечника при его возделывании с применением приемов биологизации / М. А. Несмеянова, С. В. Касаткина, А. В. Дедов // Принципы и технологии экологизации производства в сельском, лесном и рыбном хозяйстве : Матер. 68-ой междунар. науч.-практ. конф., посвящ. Году экологии в России (26-27 апреля 2017 г., г. Рязань). – Том Часть I. – Рязань: Рязанский ГАТУ, 2017. – С. 440-446.

60. **Несмеянова, М. А.** Основные макроэлементы в почве севооборотов с многолетними бобовыми травами / М. А. Несмеянова, А. В. Дедов // Аграрная наука – сельскому хозяйству : Сб. ст.: в 3 книгах (07-08 февраля 2017 г., г. Барнаул). – Том Книга 2. – Барнаул: Алтайский ГАУ, 2017. – С. 212-214.

61. **Несмеянова, М. А.** Формирование питательного режима чернозема типичного в севооборотах с бинарными посевами / М. А. Несмеянова, А. В. Дедов // Агроэкологический Вестник : Матер. междунар. науч.-практ. конф., посвящ. году экологии в России (27-28 февраля 2017 г., г. Воронеж). – Том Выпуск 8. Часть 1. – Воронеж: ВГАУ, 2017. – С. 108-114.

62. Дедов, А. А. Приемы повышения плодородия чернозема типичного / А. А. Дедов, **М. А. Несмеянова**, А. В. Дедов // Докучаевское наследие и развитие научного земледелия в России : Сб. науч. док. всероссийской науч.-практ. конф., посвящ. 125-летию организации «Особой экспедиции лесного департамента по испытанию и учету различных способов и приемов лесного и водного хозяйства в степях южной России» (27-28 июня 2017 года, Каменная Степь). – Каменная Степь : Издательство «Истоки», 2017. – С. 96-101.

63. Дедов, А. В. Содержание гумуса в черноземе типичном в зависимости от приема биологизации и основной обработки почвы / А. В. Дедов, **М. А. Несмеянова**, Е. В. Коротких // Черноземы Центральной России: генезис, эволюция и проблемы рационального использования : Сб. матер. науч. конф., посвящ. 80-летию кафедры почвоведения и управления земельными ресурсами в 100-летней истории Воронежского государственного университета (15-19 мая 2017 г., г. Воронеж. – Воронеж: ВГУ, 2017. – С. 507-511.

64. **Несмеянова, М. А.** Динамика основных форм азота при введении в севооборот многолетних бобовых трав / М. А. Несмеянова, А. В. Дедов, Е. В. Коротких // Проблемы рекультивации отходов быта, промышленного и сельскохозяйственного производства : Сб. науч. тр. по матер. V междунар. науч. эколог. конф., посвящ. 95-летию Кубанского ГАУ (28-30 марта 2017 г., г. Краснодар). – Краснодар: Кубанский ГАУ, 2017. – С. 352-354.

65. Дедов, А. А. Приемы биологизации, динамика органического вещества и урожайность культур севооборота / А. А. Дедов, А. В. Дедов, **М. А. Несмеянова** // Агротехнологии XXI века : Матер. междунар. науч.-практ. конф., посвященной 105-летию Воронежского ГАУ (25-27 апреля 2017 г., г. Воронеж). – Воронеж: Воронежский ГАУ, 2017. – С. 23-30.

66. Дедов, А. А. Динамика органического вещества и урожайность культур севооборота в зависимости от приемов биологизации и обработки почвы / А. А. Дедов, А. В. Дедов, **М. А. Несмеянова** // Экологические аспекты использования земель в современных экономических формациях : Матер. междунар. науч.-практ. конф. (24 мая 2017 г., г. Волгоград). – Волгоград: Волгоградский ГАУ, 2017. – С. 130-137.

67. Касаткина, С. В. Урожайность подсолнечника и органическое вещество почвы при бинарных посевах / С. В. Касаткина, А. В. Дедов, **М. А. Несмеянова** // Инновационные технологии в растениеводстве и экологии : Матер. междунар. науч.-практ. конф. (21 февраля 2017 г., г. Владикавказ). – Владикавказ: Горский ГАУ, 2017. – С. 10-11.

68. **Несмеянова, М. А.** Энергосбережение при возделывании подсолнечника / М. А. Несмеянова, А. В. Дедов // Наука и образование: опыт, проблемы, перспективы развития : Матер. междунар. науч.-практ. конф. (17-19 апреля 2018 г., г. Красноярск). – Том Часть II. – Красноярск: Красноярский ГАУ, 2018. – С. 111-114.

69. Дедов, А. В. Приемы повышения плодородия почвы в севооборотах с сахарной свеклой / А. В. Дедов, **М. А. Несмеянова** // Наука, образование и инновации в современном мире : Матер. национ. науч.-практ. конф. (20-21 марта 2018 г., Воронеж). – Том Часть 2. – Воронеж: ВГАУ, 2018. – С. 32-39.

70. Дедов, А. В. Влияние минеральных удобрений на плодородие почвы и урожайность сои / А. В. Дедов, **М. А. Несмеянова** // Приоритетные векторы развития промышленности и сельского хозяйства : Матер. I междунар. науч.-практ. конф. (26 апреля 2018 г., г. Макеевка). – Том II. – Макеевка: ГОУ ВПО «Донбасская аграрная академия», 2018. – С. 43-47.

71. **Несмеянова, М. А.** Снижение засоренности посевов подсолнечника без применения гербицидов / М. А. Несмеянова, А. В. Дедов // Пути реализации Федеральной научно-технической программы развития сельского хозяйства на 2017-2025 гг. : Матер. междунар. науч.-практ. конф., посв. 75-летию Курганской области (19-20 апреля 2018 года, с. Лесниково, Кетовский район, Курганская обл.). – Курганская ГСХА, 2018. – С. 937-939.

72. Новикова, Л. А. Совершенствование технологии повышения плодородия почвы под посевами подсолнечника / Л. А. Новикова, **М. А. Несмеянова**, А. В. Дедов // Теоретические и технологические основы биогеохимических потоков веществ в агроландшафтах : Сб. науч. тр. по матер. междунар. науч.-практ. конф., приуроченной к 65-летию кафедры агрохимии и физиологии растений Ставропольского ГАУ (04-05 октября 2018 г., г. Ставрополь). – Ставрополь: ООО «СЕКВОЙЯ», 2018. – С. 207-209.

73. **Несмеянова, М. А.** Органическое земледелие - путь к повышению плодородия почвы и продуктивности агроценозов / М. А. Несмеянова, А. В. Дедов // Роль аграрной науки в развитии лесного и сельского хозяйства Дальнего Востока : Матер. III национ. (всероссийской) науч.-практ. конф. В 3-х частях (26-27 ноября 2019 г., г. Уссурийск). – Том Часть 1. – Уссурийск: Приморская ГСХА, 2019. – С. 99-103.

74. К вопросу о технологии возделывания подсолнечника / Л. А. Новикова, А. А. Пушина, **М. А. Несмеянова**, А. В. Дедов // Инновационные исследования и разработки для научного обеспечения производства и хранения экологически безопасной сельскохозяйственной и пищевой продукции : Сб. матер. III междунар. науч.-практ. конф. (08-19 апреля 2019 г., г. Краснодар). – Том Часть 1. – Краснодар: ГНУ ВНИИ табака, махорки и табачных изделий РАСХН, 2019. – С. 346-349.

75. Пожнивная сидерация в зернопропашном звене севооборота / А. В. Дедов, **М. А. Несмеянова**, Л. А. Новикова, А. А. Пушина // Приоритетные векторы развития промышленности и сельского хозяйства : Матер. II междунар. науч.-практ. конф. (11 апреля 2019 г., г. Макеевка). – Том II. – Макеевка: ГОУ ВПО «Донбасская аграрная академия», 2019. – С. 7-10.

76. Дедов, А. В. Роль севооборота в органическом земледелии / А. В. Дедов, **М. А. Несмеянова** // Научно-информационное обеспечение инновационного развития АПК : Матер. XI междунар. науч.-практ. интернет-конф. (05-07 июня 2019 г., п. Правдинский). – п. Правдинский: РНИИ ИИТЭИ по инженерно-техническому обеспечению АПК, 2019. – С. 152-156.

77. Трофимова, Т. А. Изменение биологических показателей плодородия черноземных почв при сельскохозяйственном использовании / Т. А. Трофимова, С. И. Коржов, **М. А. Несмеянова** // Келлеровские чтения : Матер. национ. (с междунар. участ.) науч.-практ. конф. (28-29 апреля 2020 г., г. Воронеж). – Воронеж: Воронежский ГАУ, 2020. – С. 83-92.

78. Дедов, А. В. Роль севооборота в органическом земледелии / А. В. Дедов, **М. А. Несмеянова** // Современные вызовы аграрной науки и практики : Матер. Круглого стола всероссийского семинара-совещания проректоров по

научной работе вузов Минсельхоза России на тему «Роль аграрных вузов в решении задач биологизации сельского хозяйства» (22-26 июня 2021 г., г. Воронеж). – Воронеж: ВГАУ, 2021. – С. 23-29.

79. Дедов, А. В. Севообороты органического земледелия / А. В. Дедов, **М. А. Несмеянова** // Теория и практика инновационных технологий в АПК : Матер. национ. науч.-практ. конф. (19-21 апреля 2022 г., г. Воронеж). – Том Часть VII. – Воронеж: ВГАУ, 2022. – С. 220-231.

80. **Несмеянова, М. А.** Приемы биологизации и обработки почвы при возделывании подсолнечника / М. А. Несмеянова, А. В. Дедов // Актуальные вопросы развития идей В.В. Докучаева в XXI веке. Развитие аграрной науки на современном этапе : Матер. междунар. науч.-практ. конф. и всероссийской школы молодых ученых и специалистов, посв. 130-летию организации «Особой экспедиции Лесного департамента по испытанию и учету различных способов и приемов лесного и водного хозяйства в степях южной России», в 2 частях (14-16 июня 2022 г., п. Каменная Степь). – Том Ч. 2. – Москва: Общество с ограниченной ответственностью «Издательство Ритм», 2022. – С. 54-60.