

**Министерство сельского хозяйства Российской Федерации  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования**

**«Воронежский государственный аграрный университет  
имени императора Петра I»**

На правах рукописи

**Несмеянова Марина Анатольевна**

**НАУЧНЫЕ ОСНОВЫ БИОЛОГИЗАЦИИ ЗЕМЛЕДЕЛИЯ  
В ЦЕНТРАЛЬНОМ ЧЕРНОЗЕМЬЕ**

Специальность 4.1.1. Общее земледелие и растениеводство

Диссертация  
на соискание ученой степени  
доктора сельскохозяйственных наук

Том 1

Научный консультант:  
доктор сельскохозяйственных  
наук, профессор  
Дедов Анатолий Владимирович

Воронеж – 2023

**ОГЛАВЛЕНИЕ**

Введение	5
1. Биологизированное земледелие – путь к сохранению и повышению плодородия почвы (обзор литературы)	15
1.1. Влияние приемов биологизации на показатели почвенного плодородия	16
1.2. Основная обработка почвы как фактор регулирования почвенного плодородия	26
1.3. Влияние приемов биологизации и основной обработки почвы на урожайность культур, экономическую и энергетическую эффективность	34
2. Объекты и методы исследований	41
2.1. Характеристика почвенно-климатических условий места проведения исследований	41
2.2. Особенности агрометеорологических условий периода исследований	45
2.3. Объекты, методика и техника проведения исследований	59
3. Показатели плодородия почвы в зависимости от приемов биологизации и основной обработки почвы	73
3.1. Агрофизические свойства почвы и динамика доступной влаги в севообороте	73
3.1.1. Доступная влага и рациональность ее использования	73
3.1.2. Структура почвы и ее водопрочность	99
3.1.3. Плотность почвы	114
3.2. Содержание в почве доступных форм основных макроэлементов	118
3.2.1. Динамика подвижного фосфора	118
3.2.2. Динамика обменного калия	130

3.2.3.	Содержание в почве аммонийного и нитратного азота	138
3.3.	Органическое вещество и биологические свойства почвы в условиях биологизации земледелия	153
3.3.1.	Закономерности формирования в почве запасов биогенных источников органического вещества	153
3.3.2.	Темпы деструкции растительных остатков	167
3.3.3.	Численность, динамика и структура почвенных микроорганизмов	180
3.3.4.	Микробиологическая активность почвы	203
3.3.5.	Содержание и динамика органического вещества	212
4.	Научное обоснование приемов повышения плодородия почвы и ее обработки при возделывании подсолнечника в Центральном Черноземье	227
4.1.	Влажность почвы и ее динамика в течение вегетационного периода	228
4.2.	Плотность и твердость почвы	236
4.3.	Содержание в почве основных элементов питания	246
4.4.	Содержание в почве растительных остатков, детрита и гумуса	257
4.5.	Токсичность почвы	275
5.	Урожайность культур и продуктивность севооборотов в зависимости от приемов повышения плодородия и основной обработки почвы	282
6.	Оценка эффективности биологизации севооборотов и минимизации обработки почвы	300
6.1.	Экономическая эффективность возделывания культур в севооборотах	300
6.2.	Биоэнергетическая оценка севооборотов	305

6.3. Оценка почвозащитной способности севооборотов	311
7. Моделирование продуктивности севооборота	317
Заключение	323
Предложения производству	331
Перспективы дальнейшей разработки темы	333
Список литературы	334
Приложения	Том 2

## ВВЕДЕНИЕ

**Актуальность темы исследования.** 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 становится прогрессирующая деградация почв, снижение качества и биологической привлекательности получаемой продукции, отсутствие роста экономических показателей в сфере растениеводства [16, 28, 65, 169, 178, 292].

Наряду с физической (эрозия, дефляция, переуплотнение и т.д.) и физико-химической (засоление, осолонцевание, снижение поглотительной способности, подкисление, подщелачивание и др.) деградацией почв особо остро стоит сегодня вопрос о биологической деградации – уменьшении содержания в почве органического вещества, сокращении численности почвообитающих организмов, обеднении их видового состава, снижении биологической активности почвы и т.п.

Анализ динамики содержания гумуса в черноземах Русской равнины показал практически двукратное его снижение по сравнению с данными В.В. Докучаева 1883 года и сокращение запасов на 25-30% за 30-летний период [371]. Согласно данным агрохимического обследования среди черноземов практически отсутствуют почвы с содержанием гумуса более 9%; 47,1% почв пашни характеризуется как малогумусные. В ряде областей содержание гумуса достигло сегодня предельно минимальных значений: 1,3-1,5% – в Нечерноземной зоне, 3,5-5,0% – в Центрально-Черноземном регионе. Состояние агроландшафтов в России преимущественно неудовлетворительное, а в ряде регионов – критическое [169, 319, 390, 396].

В настоящее время одним из направлений повышения эффективности сельскохозяйственного производства является поиск новых путей его развития. Необходимость решения этой задачи диктуется многочисленными факторами, среди которых наиболее серьезными являются ухудшение экологической ситуации, возрастающая

химико-техногенная нагрузка на сельскохозяйственные угодья, систематическое и резкое снижение плодородия пахотных почв.

Почвенное плодородие – это показатель, имеющий не только важное экологическое значение, но и определяющий ценность земель сельскохозяйственного назначения как объектов производственной деятельности, как компонентов биосферы. Именно с ним напрямую связана экологическая и продовольственная безопасность, именно оно является существенным фактором социальной стабильности в стране [67, 470].

Почва является основным средством производства в сельскохозяйственном секторе экономики, поэтому проблема сохранения и повышения ее плодородия должна находиться в центре внимания как ученых-аграрников, так и государственных структур.

Новой ступенью в развитии сельского хозяйства в мире является его модернизация, ориентация на инновационный путь развития, основанный на управлении агроценозом через систему севооборотов, обработки почвы, удобрений и защиты растений. На современном этапе производство продукции растениеводства нельзя рассматривать как процесс формирования упрощенных по биоразнообразию систем с поддержанием их продуктивности за счет высоких энергетических затрат. Это должно быть земледелие, основанное на новой методологии, на принципах биологизации, экологизации и ресурсосбережения, на принципах использования энергии и накопления вещества за счет естественных природных ресурсов [165, 167, 178, 233, 281, 291, 292, 305, 312, 389, 396, 397, 420, 421, 442, 443, 461, 464].

Воронежская область – один из наиболее динамично развивающихся регионов России, входящий в пятерку крупнейших регионов-производителей, обеспечивающий до 4,0% общероссийского объема сельскохозяйственной продукции. Это один из лидеров страны по развитию органического производства. Поэтому сегодня в области пристальное внимание уделяется разработке и организации новых для региона производственных процессов, способных обеспечить повышение и сохранение плодородия почвы, улучшение товарного вида продукции, рост урожайности культур и рентабельности производства [97].

Выступающее сегодня как альтернатива интенсивному типу органическое земледелие базируется на агроэкологических принципах, на максимальном использовании биологических факторов, поддержании плодородия почвы и здоровья культурных растений без искусственных средств интенсификации. Его организация предусматривает замедление или полное прекращение деграционных процессов за счет применения биологических приемов, обеспечивающих увеличение содержания в почве органического вещества.

Переходный период от классической системы земледелия к органической предусматривает постепенное применение органических методов в соответствии с установленным планом. Важное место в данной переходной системе отводится севооборотам, введению в севообороты промежуточных культур и многолетних трав, применению системы совмещения культур в посевах, оставлению в поле всех растительных остатков и принятию мер по ускорению процессов их разложения, проведению мероприятий по защите почв от эрозии.

Переход к органическому сельскому хозяйству – дело непростое, требующее времени, средств, перестройки мышления и тщательного подхода к организации переходного периода, основанного на усовершенствовании производства сельскохозяйственной продукции с использованием меньшего количества минеральных удобрений и химических средств защиты растений. Идея переходного периода основана на применении методов, не представляющих высокой степени риска для производства, не требующих больших вложений, сопровождающихся небольшим объемом дополнительных трудозатрат, а также оказывающих существенное воздействие на плодородие почвы и продуктивность севооборотов. В качестве таких методов могут выступать введение в севообороты многолетних бобовых трав, использование на удобрение соломы и растительных остатков культурных растений, сидерация, бинарные посевы культур с бобовыми травами, а на переходном этапе – их сочетание с некоторыми факторами интенсификации [123, 243, 292, 305, 389, 420].

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

**Степень разработанности темы.** 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. Авдеенко, 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 урожайность культур, плодородие почвы, 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.

**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:

1) впервые в условиях недостаточного увлажнения Центрального Черноземья получены экспериментальные данные по влиянию биологизированных севооборотов с бинарными посевами культур на агрофизические, агрохимические и биологические свойства почвы;

2) 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;

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

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

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

**Теоретическая и практическая значимость.** 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 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 обработки почвы в севообороте, предусматривающей отвальную обработку почвы под пропашные культуры (подсолнечник и сахарную свеклу) и мелкие безотвальные обработки почвы 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 посева 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, при разработке технологий возделывания полевых культур, а также в учебном процессе при чтении курса лекций по дисциплинам «Земледелие», «Биологизация земледелия», «Органическое земледелие», «Инновационные технологии в земледелии».

Внедрение результатов научного исследования была 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.;

5) 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 как эмпирические, так 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 посева 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 работы.** Степень достоверности проведенных исследований подтверждается значительным объемом экспериментальных данных, использованием современных методик проведения лабораторных, полевых и производственных 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 научно-практических конференций: «Инновационное развитие аграрной науки и образования: мировая практика и современные приоритеты» (Азербайджан, Гянджа, 2015), «Инновационные технологии производства зерновых, зернобобовых, технических и кормовых культур» (Воронеж, 2016), «Научно обоснованные системы сухого земледелия в современных условиях» (Волгоград, 2016), «Аграрная наука и образование на современном этапе развития: опыт, проблемы и пути их решения» (Ульяновск, 2017), «Роль аграрной науки в развитии АПК РФ» (Воронеж, 2017), «Принципы и технологии экологизации производства в сельском, лесном и рыбном хозяйстве» (Рязань, 2017), «Экологические аспекты использования земель в современных экономических формациях» (Волгоград, 2017), «Инновационные технологии в растениеводстве и экологии» (Владикавказ, 2017), «Проблемы рекультивации отходов быта, промышленного и сельскохозяйственного производства» (Краснодар, 2017), «Коняевские чтения» (Екатеринбург, 2017), «Биотехнологии и инновации в агробизнесе» (Белгород, 2018), «Теоретические и технологические основы биогеохимических потоков веществ в агроландшафтах» (Ставрополь, 2018), «Агроэкологические аспекты устойчивого развития АПК» (Брянск, 2018-2019), «Биологизация земледелия: перспективы и реальные возможности» (Воронеж, 2019), «Актуальные вопросы развития идей В.В. Докучаева в XXI веке» (Москва, 2022), «Теория и практика инновационных технологий в АПК» (Воронеж, 2022); во всероссийских: «Проблемы экологизации и биологизации земледелия и пути их решения в современном сельскохозяйственном производстве России» (Орел, 2013), «Аграрная наука в XXI веке: проблемы и перспективы» (Саратов, 2014), «Биологизация земель в адаптивно-ландшафтной системе земледелия» (Белгород, 2015), «Состояние почв Центрального Черноземья России и проблемы воспроизводства их плодородия» (Каменная Степь, 2015), 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.

**Публикация результатов исследований.** По материалам диссертации опубликовано 80 работ, в том числе 37 – в изданиях, рекомендованных ВАК, 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 исследований 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 источника, 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.

# 1. БИОЛОГИЗИРОВАННОЕ ЗЕМЛЕДЕЛИЕ – ПУТЬ К СОХРАНЕНИЮ И ПОВЫШЕНИЮ ПЛОДОРОДИЯ ПОЧВЫ (обзор литературы)

В течение последних нескольких десятков лет земледелие в России претерпело существенные изменения, коснувшиеся не только системы землепользования, но и уровня интенсификации и специализации, защиты почв от эрозии, охраны окружающей среды. При стремлении к получению максимальной прибыли деятельность многих сельскохозяйственных предприятий характеризуется низкой культурой земледелия, результатами которой становится снижение плодородия почвы и урожайности сельскохозяйственных культур, ухудшение качества получаемой продукции, загрязнение окружающей среды. К числу основных причин следует отнести недостаточное для формирования положительного баланса гумуса внесение органических удобрений, несовершенство технологий обработки почвы и возделывания культур в целом. Согласно приведенным в литературных источниках данным за период с 1990 по 2011 год в ЦЧР доля многолетних трав в структуре посевных площадей сократилась с 17,7 до 2,3%, на фоне чего риск ускорения темпов дегумификации черноземов, разрушения агрономически ценной структуры многократно возрос [169].

Особую роль в формировании и поддержании потенциального плодородия почвы играют такие факторы, как тип и вид севооборота, способ основной обработки почвы, удобрения, что и определило широкий круг направлений научных исследований по всей территории России [71, 125, 126, 136, 145, 172, 195, 244, 258, 259, 274, 286, 296, 311, 327, 343, 344, 348, 352, 358, 359, 373, 398, 408, 410, 415, 417-419, 422, 426, 428, 434, 439].

Важное значение в сохранении и повышении плодородия почвы имеет севооборот, основная агробиологическая роль которого заключается в соответствии адаптивного потенциала возделываемых культур и сортов почвенно-климатическим особенностям, погодным условиям, микроклимату, что и определяет величину формируемого урожая и его качество [233, 305].

На фоне высоких цен на минеральные удобрения и практическом дефиците традиционных органических удобрений все большее значение приобретают приемы биологизации, среди которых в приоритете остаются использование в севооборотах многолетних трав, промежуточных и парозанимающих сидеральных культур, применение растительных остатков в качестве органических удобрений [333, 413, 450, 454, 455, 457, 459, 460, 463, 467, 477].

Важность введения в севообороты многолетних трав и сидеральных культур отмечали многие ученые. Д. Н. Прянишников [330] и П. А. Костычев [210], например, в своих произведениях писали, что многолетние травы и сидераты являются важным резервом органического вещества почв. Именно многолетние травы способны поддерживать плодородие почвы на уровне, позволяющем культурным растениям формировать высокие и стабильные урожаи [260].

Сложные условия ведения сельского хозяйства в реалиях современного времени (многоукладность землепользования, большая дифференциация хозяйств) требуют тщательного анализа и научно обоснованных решений в вопросах перестройки системы земледелия с учетом сложившейся в сельском хозяйстве ситуации.

Одной из важных задач современного земледелия является управление почвенным плодородием, т.е. оптимизация его основных свойств и режимов, основанная на переходе от их простого улучшения к направленному регулированию с целью полного удовлетворения потребностей растений и проявления ими максимальной продуктивности [207].

### **1.1. Влияние приемов биологизации на показатели почвенного плодородия**

Одним из важнейших показателей плодородия почвы является содержание в ней гумуса, в котором аккумулировано до 96% запасов почвенного азота, 60% фосфора, 80% серы, большое количество других макро- и микроэлементов, находящихся в связанной форме и надежно сохраненных от вымывания, служащих важнейшим источником питательных веществ для растений. Это один из важнейших

естественных энергетических источников, определяющих развитие почвы и формирование ее главного свойства – плодородия, а также основной фактор биогенности почвы, ее устойчивости, основа стабильной продуктивности сельскохозяйственных культур [165, 319].

Основные причины потерь гумуса: усиление его минерализации под влиянием интенсивных обработок (биологические потери), недостаточное поступление в почву послеуборочных растительных остатков, органических удобрений и потери, связанные с развитием эрозионных процессов (механические потери) [165]. Потери гумуса при возделывании зерновых культур и однолетних трав в зависимости от уровня урожайности могут достигать 0,3-0,7 и 0,4-1,0 т/га в год, под пропашными культурами – быть в 2-3 раза больше и составлять 1,5-2,5 т/га. При этом увеличение в севообороте доли пропашных культур на 10% приводит к увеличению потерь гумуса на 0,2-0,4 т/га [169, 319]. Ежегодные потери гумуса из пахотного слоя почвы отмечали и другие авторы [9, 23, 110]. Так, например, в четырехпольных севооборотах потери гумуса из 30-сантиметрового слоя почвы на выщелоченных черноземах составляли 0,69-1,04 т/га в год [161], а на обыкновенных черноземах в слое 0-40 см достигали 0,97-1,8 т/га в год [23].

Дегумификация почв приводит не только к ухудшению показателей основных свойств почвы (агрофизических, агрохимических, биологических), но и к снижению способности почвы инактивировать попадающие в почву токсические вещества и тяжелые металлы, к снижению устойчивости почв к внешним неблагоприятным факторам, к снижению противозэрозионной устойчивости и т.д. [319].

Органическое вещество почвы – объект изучения многих ученых, наиболее известными из которых являются В. В. Докучаев, П. А. Костычев, Н. М. Сибирцев, В. Р. Вильямс, М. М. Кононова, В. А. Ковда, И. В. Тюрин, Л. Н. Александрова, В. В. Пономарева и другие. В течение длительного времени научное сообщество занималось вопросами определения основных направлений в формировании гумуса:

- исследованиями по изучению изменения химизма растительных остатков занимались И. В. Тюрин [395], С. А. Ваксман [59], М. М. Кононова [197], А. Д. Фокин [407], Л. Н. Александрова [13];

- исследованиям по определению организмов, принимающих активное участие в разложении растительных остатков, и изучению их сукцессии посвятили свою деятельность П. А. Костычев, Т. Г. Мирчинк, Н. М. Чернова, Б. Р. Стриганова и многие другие [118, 210, 263].

Основные понятия о ведущих к гумификации и гумусоообразованию процессах превращения органических остатков в почве были сформулированы И. В. Тюриним, М. М. Кононовой и Л. Н. Александровой [13, 118, 197, 395]. Ими было установлено, что скорость и характер гумификации зависят от таких факторов, как количество и характер поступления в почву растительных остатков, их химический состав, групповой состав почвенных микроорганизмов, интенсивность микробиологической деятельности, режим влажности и аэрация почвы, реакция почвенной среды, окислительно-восстановительные условия, а также состав минеральной части почвы [13, 118].

Важное значение в пополнении запасов органического вещества имеют поступающие в почву растительные остатки, их качественный состав, а также скорость разложения растительных остатков и детрита. Изучением данных вопросов занимались многие исследователи [24, 33, 43, 64, 70, 72, 78, 117, 120, 138, 143, 153, 159, 206, 208, 212, 218, 229, 251, 254, 284, 285, 302, 351, 354, 357, 365, 380, 411, 433, 474]. Ими было установлено, что количество растительных остатков и скорость их разложения зависели от гидротермических условий года, культуры, технологии ее возделывания, химического состава биомассы.

Основными источниками органического вещества почвы являются органические удобрения, например навоз. Учитывая, что ежегодные потери гумуса в агроценозах составляют в среднем 0,85 т/га, для восполнения баланса органического вещества необходимо внесение в почву не менее 10 т/га навоза в год (новообразование гумуса составляет 90 кг из 1 т полуперепревшего навоза) [47]. Но на данном этапе развития животноводческой отрасли в России это практически невыполнимо,

отсюда вытекает острая необходимость применения других источников органического вещества: растительных остатков, сидеральных культур, многолетних трав.

Высокой экологичностью характеризуется и такой прием биологизации, как сидерация, обеспечивающий оптимизацию режима органического вещества, рациональность использования природных ресурсов, выполнение фитосанитарных и почвозащитных функций.

Идея применения зеленых растений в качестве удобрений возникла еще в далекой древности: многие философы и мыслители Древнего Рима и Древней Греции поднимали в своих произведениях вопрос о важности зеленого удобрения, который и в настоящее время не потерял своей актуальности. В течение многих десятилетий проводились и проводятся исследования по изучению возможности использования различных культурных растений в качестве сидеральных, по их влиянию на определяющие плодородие почвы показатели и на урожайность возделываемых культур: это и бобовые (люпин многолетний и однолетний, сераделла, донник белый и желтый, вика озимая мохнатая и яровая посевная, пелюшка, люцерна, клевер, эспарцет и др.), злаковые (озимая рожь, суданская трава и др.), капустные (рапс озимый и яровой, сурепица озимая и яровая, редька масличная, горчица белая и др.), различные бобово-злаковые смеси [14, 52, 84, 107, 131, 132, 133, 149, 161, 182, 185, 204, 205, 230, 237, 239, 240, 241, 248, 341, 387, 425 и др.].

Органическое вещество сидератов – это своеобразный почвенный резерв всех необходимых растениям питательных веществ, который не вымывается из почвы и не загрязняет окружающую среду. Наиболее интенсивно разложение сидеральной массы, высвобождение элементов питания и их переход в усвояемую для растений форму протекает в весенне-летний период – в период наиболее активного роста большинства сельскохозяйственных культур, что определяет высокую эффективность и большое экологическое значение сидерации [47, 238, 243].

Сидеральные промежуточные культуры в летний период предохраняют почву от перегрева, а в зимний – от чрезмерного промерзания, защищают ее от размывающего воздействия талых вод и разрушительного влияния осадков ливневого

характера. Промежуточные культуры способствуют угнетению сорной растительности, снижая тем самым засоренность полей, нарушают обычные биологические циклы развития вредителей и возбудителей болезней сельскохозяйственных культур в севообороте [243].

Отмечено положительное влияние сидерального пара на массу поступающих в почву растительных остатков [43, 225, 346, 369] и содержание в почве органического вещества [112, 163, 225, 290, 303]. Например, применение горчицы белой в качестве сидеральной парозанимающей культуры по фону комбинированной обработки почвы позволило увеличить поступление растительных остатков за ротацию севооборота на 4,76-7,67 т [346]. При замене чистого пара на донниковый сидеральный увеличение массы поступающих после озимой пшеницы растительных остатков составило 4,2 т/га [43]. Согласно исследованиям Б. Сотникова использование в севообороте сидерального пара имело преимущество и перед занятым паром: количество поступивших в почву растительных остатков было на 2,4 т/га больше [369]. Введение в севооборот вместо чистого пара сидерального и занятого положительно повлияло на накопление азота в растительных остатках [120, 163]. Отмечено, что длительное нахождение пахотного участка в состоянии черного пара приводит к существенным потерям гумуса [39].

При насыщении севооборотов пожнивными сидератами до 50% площади пашни поступление органического вещества в почву увеличивается на 44,6-46,5%. Запашка соломы зерновых культур совместно с биомассой пожнивного сидерата способствует снижению темпов минерализацию гумуса, что обеспечивает как стабилизацию, так и увеличение его запасов [120, 163, 242, 401]. В то же время некоторые авторы при проведении данного приема отмечают увеличение скорости минерализации органического вещества за счет более быстрого освоения его почвенными микроорганизмами: по сравнению с соломой в чистом виде разложение смеси соломы и сидерата протекает в 2 раза быстрее [200].

Не обеспечивает стабилизации гумусового состояния и запашка соломы зерновых культур в чистом виде – отмечаются ежегодные потери органического ве-

щества почвы [142]. Н. И. Клостер в своих исследованиях заметила, что и сидеральные промежуточные культуры не приводят к существенному увеличению содержания гумуса в почве [191]. Другим автором было установлено, что органические удобрения оказывают положительное влияние на содержание гумуса по всему пахотному профилю почвы при различных приемах ее обработки, хотя и отмечается преимущество мелкой обработки [86]. Таким образом, единого мнения о влиянии приемов биологизации на содержание в почве гумуса нет.

Важным источником органического вещества почвы являются многолетние травы – основные почвообразователи, обеспечивающие накопление в почве большого количества пожнивно-корневых остатков [48, 73], под которыми не только не происходит сокращение запасов гумуса, но и отмечается их увеличение [165, 169, 242, 282]. Ценность многолетних бобовых трав в севооборотах определяется, прежде всего, их способностью обогащать почву биологическим азотом (люцерна способна вовлекать в круговорот до 200, а эспарцет – до 180 кг/га симбиотически связанного азота), что высокоэффективно не только в экономическом плане, но и с экологической точки зрения, т.к. известно, что азот растительных остатков, впрочем, как и другие элементы питания, не вымывается из почвы и не представляет опасности для окружающей среды [65, 165, 242, 324]. Накопление основных элементов питания в севооборотах с многолетними травами характерно для верхних слоев почвы [86]. Биологический азот может быть использован для частичной замены технического азота, на производство которого затрачивается до 1/3 всей используемой в земледелии энергии [169, 302].

Применение многолетних бобовых трав в качестве бинарных компонентов подсолнечника способствовало увеличению содержания в почве лабильного органического вещества (на 36-74; 45-59%) и гумуса (на 0,2-0,3 абс.%) [114].

Исследованиями Н. Т. Чеботарева и О. В. Броваровой установлено, что формированию положительного баланса гумуса на дерново-подзолистой почве способствует не только внесение органических удобрений (в различных дозах: 0,51-1,44 т/га), но и их совместное применение с минеральными удобрениями (0,35-0,39 и 1,52-1,68 т/га). При этом внесение минеральных удобрений в возрастающих дозах

приводило к отрицательному балансу гумуса (-0,74...-0,82 т/га в среднем за год) [176, 282, 412].

Основным фактором гумусообразования является севооборот. Исследованиями установлено, что количество гумуса в почве уменьшается в направлении от зернотравянопропашного севооборота к зернопаропропашному [75]. При этом в зернотравянопропашном севообороте прирост гумуса отмечается при различных комбинациях изучаемых факторов, в зернопропашном и зернопаропропашном – только при условии применения органических удобрений, а в сидеральном севообороте формируется бездефицитный баланс гумуса [112, 305]. Формирование бездефицитного баланса гумуса характерно и для зернотравяного севооборота с насыщением многолетними травами до 33,3% и использованием соломы [382].

Важное значение в формировании основных показателей почвенного плодородия играют почвенные микроорганизмы, выполняющие все основные функции экосистемы, начиная от минерализации органического вещества до сохранения образовавшихся ресурсов в пределах экосистемы [178]. Тем не менее мероприятия, проводимые в рамках современных интенсивных систем земледелия (применение высоких доз удобрений, ежегодная отвальная вспашка), приводят к снижению активности почвенной биоты, к сокращению их биоразнообразия, к увеличению численности в почве нежелательных форм микроорганизмов, что усиливает риски нежелательных последствий [178].

В связи с этим сельскохозяйственное производство должно быть нацелено на максимальное использование источников органического вещества локальной агроэкосистемы (сидератов, растительных остатков, мульчирования, компостов и т.д.) с минимизацией вовлечения дополнительных ресурсов извне [178]. Возделывание сельскохозяйственных культур должно быть основано на применении таких технологий, которые в первую очередь обеспечивали бы мощь физиологической активности почвенной биоты: усиление процессов азотфиксации, синтеза биологически активных и полезных веществ микроорганизмами, ускорение обменных процессов между растениями и почвой [178, 315, 421].

Основными факторами, определяющими активность почвенного микробного ценоза, являются растительные остатки и продукты их распада [203, 220].

Богатая белками и углеводами свежая растительная масса сидерата в 1,5-2 раза повышает биологическую активность почвы. В несколько раз возрастает активность почвенных сапрофитов – антагонистов почвенных грибов, являющихся возбудителями многих болезней культурных растений, в результате чего отмечалось в 1,5-2 раза снижение поражаемости ячменя корневыми гнилями, в 2-2,4 раза – картофеля паршой обыкновенной и в 1,7-5,3 раза – ризоктониозом [242, 243]. Использование сидеральных культур существенно увеличивает в слое почвы 0-20 см численность микромицетов [225].

Применение сидеральных культур в паровом поле и в качестве промежуточных культур обеспечивает увеличение численности и обогащение качественного состава почвенных микроорганизмов, повышение биологической активности почвы [33, 195, 196, 201, 255, 290, 303, 366, 423]. Однако некоторые авторы в процессе проведения исследования не смогли установить значимости влияния приемов биологизации на биологическую активность почвы [37]. Так, например, достоверно не установлено влияние многолетних трав на активность почвенной микробиоты: одни авторы в зернотравяных севооборотах отмечают наименьшую степень активности [151, 152], а другие – довольно высокий ее уровень [382].

Значительному увеличению общей численности микроорганизмов способствовало введение в севооборот совместных посевов различных культур и бобовых трав [33, 290].

Оптимизация содержания в почве лабильных форм органического вещества, гумусового состояния почв, поддержание бездефицитного баланса гумуса обеспечивают улучшение физических свойств почвы, повышают устойчивость почв к переуплотнению [198, 223, 414, 441]. Установлено, что увеличению содержания гумуса в почве способствует органо-минеральная система земледелия, применение органических удобрений в чистом виде обеспечивает сохранение содержания гумуса в почве на уровне исходного, а использование минеральной системы удобрений приводит к его снижению [231].

Одним из неутешительных результатов почвенных обследований в ЦЧР является увеличение доли площадей, для которых характерно снижение обеспеченности почвы подвижным фосфором: за 40 лет площади черноземов, перешедших с высокого класса обеспеченности в повышенный увеличились почти в 5 раз [390]. На фоне низкой доступности почвенного фосфора для растений и аридизации климата возрастает опасность формирования в пахотных почвах отрицательного баланса данного элемента, нарастания проблемы доступности фосфора, что говорит о необходимости проведения мероприятий по обогащению почв подвижным фосфором [390].

Важное значение в регулировании агрофизических и агрохимических свойств почвы имеет введение в севооборот многолетних бобовых трав и сидерации. При возделывании многолетних трав в севообороте отмечается увеличение в пахотном слое почвы агрономически ценных и водопрочных агрегатов (в среднем на 19-21%), происходит снижение показателя плотности почвы [73]. Применение сидеральных культур в паровом поле и в качестве промежуточных культур обеспечивает обогащение почвы обменным калием, подвижным фосфором, азотом [255, 290, 365], повышение содержания структурных агрегатов и их водопрочности, снижение плотности почвы [21, 43, 191, 225, 308, 401], способствует накоплению влаги в почве и экономному ее расходованию [21, 43, 163, 300, 423].

Исследованиями А. В. Гостева и А. В. Лянденбургской было доказано, что оптимальные условия для накопления продуктивной влаги в метровом слое почвы имеет севооборот с чистым паром – зернопаропропашной [101, 247]. Преимущественное положение чистого пара, т.е. преимущество зернопарового севооборота перед зернотравяным, по накоплению продуктивной влаги отмечает в своих исследованиях и А. Л. Тойгильдин [382]. Формирование более высоких запасов влаги перед посевом озимой пшеницы при ее размещении по чистому пару зафиксировали и другие авторы [345].

Совместное использование пожнивной сидерации и минерального удобрения обеспечивает повышение коэффициента использования азота минеральных удобрений и, как следствие, снижение непроизводительных потерь азота (на 35-43%),

что и составляет сущность экологической функции сидерации по уменьшению загрязнения окружающей среды остатками минеральных удобрений [242]. Но этот прием не оказывает существенного влияния на содержание в почве структурных агрегатов и их водопрочность, на изменение плотности пахотного слоя почвы.

При заправке пожнивной горчицы совместно с соломой (5-6 т/га) в течение двух шестилетних ротаций зернового севооборота было отмечено уменьшение показателя плотности почвы на  $0,09 \text{ г/см}^3$ , увеличение (на 5,7 абс.%) количества водопрочных агрегатов, повышение в 1,7 раза водопроницаемости почвы [242]. Отсутствие отрицательного влияния сидерации на обеспеченность основной культуры доступной влагой и водопрочность почвы отмечают и другие авторы [165], высокая эффективность данного приема доказана различными исследованиями [51, 200].

Исследования по изучению влияния соломы как органического удобрения на основные показатели плодородия почвы проводятся в нашей стране длительный период времени [41, 96, 115, 148, 235, 271, 402], но в силу большого разнообразия почвенно-климатических условий и других факторов нельзя сделать окончательный вывод о ее роли в регулировании почвенного плодородия.

Применение соломы в ресурсосберегающих технологиях положительно влияет на накопление влаги в почве, обеспечивает улучшение условий влагообеспеченности зерновых культур по сравнению с традиционной технологией [26, 65, 99, 309]. Процессы накопления и сохранения влаги при заправке соломы подтверждают и другие авторы, отмечая повышение водоудерживающей и поглощательной способности почвы [103, 158]. Отмечается увеличение содержания в почве структурных агрегатов, повышение водопрочности почвы, снижение плотности пахотного слоя, увеличение содержания в почве негумифицированного органического вещества [98, 120].

Одна из отрицательных сторон использования соломы как удобрения – медленные темпы разложения. Исследованиями установлено, что на начальных этапах разложения соломы происходит иммобилизация минерального азота, в результате чего большая его часть закрепляется в почве в органической форме и становится

доступной растениям после его минерализации [160, 364]. Некоторые исследователи считают это причиной снижения потерь азота из почвы [11].

В сохранении и повышении плодородия почвы особая роль отводится совместным посевам культур с бобовыми травами. Широко известны исследования гетерогенных посевов злаковых культур и люпина, проводимые во ВНИИ люпина [361, 376], совместных посевов пропашных и зерновых культур с бобовыми травами Донского ГАУ и Воронежского ГАУ [3, 32, 43, 114, 164, 199, 224, 306]. Было установлено, что бинарные посева культур с многолетними бобовыми травами обеспечивают более рациональный расход доступной влаги в метровом слое почвы, более высокое содержание основных элементов питания, разуплотнение почвы, сохранение структуры почвы, улучшение ее водопрочности и водопроницаемости [43, 199, 355]. Например, озимая вика как бинарный компонент обеспечивала уменьшение плотности и твердости почвы [173], стимулировала процессы роста и развития, способствовала лучшему (на 10-40%) усвоению питательных веществ из почвы, что на фоне снижения объемов применяемых минеральных удобрений обеспечило формирование более высокой урожайности зерновой культуры [199, 306].

## **1.2. Основная обработка почвы как фактор регулирования почвенного плодородия**

Одним из дискуссионных вопросов научного сообщества в рамках как теоретических, так и практических исследований в земледелии является обработка почвы – важнейшее средство регулирования почвенного плодородия, создания оптимальных условий для роста и развития сельскохозяйственных растений, определяющее почвенные режимы, влагообеспеченность растений, фитосанитарное состояние и т.д. [2, 20, 65, 108, 172, 244, 250, 277, 338, 403, 465], фактор, являющийся важным объектом изучения как в нашей стране, так и в других странах мира [444, 445, 449, 451, 458, 462, 468, 469, 471, 473, 475, 476].

Вопросы и проблемы обработки почвы в истории земледелия всегда были актуальными. Многие ученые нашей страны в различные периоды развития агрономии (Комов И.М., Болотов А.Т., Измаильский А.А., Менделеев Д.Н., Костычев П.А., Стебут И.А., Вильямс В.Р. и др.) отстаивали необходимость применения того или иного приема, способа, системы обработки почвы, вступали в дискуссии, приводили научное обоснование, отстаивая свои взгляды и научные убеждения. В результате сельскохозяйственное производство то массово переходило на отвальные способы обработки почвы, то принималось за безотвальные технологии, активными пропагандистами которых были Е.И. Овсинский [289], Т.С. Мальцев [253], Н.М. Тулайков [388], А.И. Бараев [27] и др.

Бесспорно, каждая технология имеет свои достоинства и недостатки, но эффективность каждой определяется не нашими предпочтениями, а конкретными почвенно-климатическими условиями, наличием неблагоприятных природных факторов, особенностями рельефа, требованиями возделываемых культур и т.д. Еще в конце XIX век А.А. Измаильский написал: «Если нельзя сшить сапога, годного на ногу каждого человека, то, тем более, нельзя выдумать такого общего правила для обработки почвы, которое оказалось бы одинаково пригодным во всякое время и на всех почвах». Аналогичного мнения придерживался и А.Т. Болотов, утверждая, что не существует единых универсальных правил для обработки почвы, пригодных для всего разнообразия ее типов и подтипов [42].

Актуальность данных научных взглядов характерна и для нашего времени. Но к научному обоснованию адаптированного подхода к системе обработки почвы, основанному на ее задачах по оптимизации основных свойств и режимов почвы, защите почв от эрозии, гумусо- и влагосбережению, добавилось новое, но довольно существенное: энергосбережение. По мнению А.М. Зайцева, В.И. Солодуна, Е.С. Имеева [367], В.И. Кирюшина [189], Л.Н. Вислобоковой, Ю.П. Скорочкина, В.А. Воронцова [65], общемировая тенденция в развитии обработки почвы сегодня заключается в ее минимизации, основными, но не единственными, научно обосно-

ванными направлениями которой являются: сокращение числа и глубины обработок почвы в севооборотах и замена глубоких основных обработок под культуры севооборота поверхностными и мелкими [384].

Ежегодное перемешивание слоев черноземных почв при вспашке и многократных культивациях приводит к разрушению почвенной структуры, дегумификации почвы, эрозии и другим деградационным явлениям [39, 383]. Об опасности ежегодной отвальной обработки почвы в короткоротационных севооборотах говорят и другие авторы, поднимая вопрос о необходимости адаптированного подхода к методам и технологиям возделывания сельскохозяйственных культур, основанных на сохранении плодородного потенциала почв [150].

Важное значение в непрерывном функционировании агроэкосистемы имеет сохранение оптимальной почвенной структуры. Многочисленные научные исследования по определению влияния различных приемов обработки почвы на ее структурное состояние, проведенные в различных почвенно-климатических условиях нашей страны, показали ярко выраженную неоднозначность.

Результаты исследований сотрудников Тамбовского НИИСХ, а также других авторов показали, что замена отвальной системы основной обработки почвы ресурсосберегающими (поверхностной, безотвальной) и комбинированной отвально-безотвальной не приводит к ухудшению структурного состояния пахотного горизонта [129, 222, 260, 294]. Некоторые авторы утверждают, что улучшению структурного состояния почвы и ее водопрочности способствует минимизация обработки почвы, переход на безотвальные приемы [5, 109, 191, 267, 337, 374, 453], а также система no-till [53, 81, 89, 174, 334, 337].

Об отсутствии существенности отклонений в содержании макроструктуры говорят и другие авторы [15, 54, 99, 130, 177, 340, 363]. Например, 40-летние исследования различных систем основной обработки почвы в зернопропашном севообороте с масличными культурами показали, что агрегатный состав пахотного слоя почвы существенно не изменился. Тем не менее, были отмечены следующие закономерности: длительное применение в севообороте мелких обработок приводило к уменьшению доли пылевой фракции в слое почвы 20-30 см и к увеличению –

агрономически ценной; при поверхностной обработке почвы отмечалось увеличение содержания макроагрегатов в верхней части пахотного слоя; применение минимальной и поверхностной обработок приводило к увеличению глыбистой фракции; при глубокой (на 30-32см) отвальной вспашке увеличивалась доля комковато-зернистых отдельностей размером 1-3мм и уменьшалось содержание пылеватых частиц, но данное наблюдение характерно было только до начала весенних обработок, к концу вегетации пропашных культур оно утрачивалось [54].

Вместе с тем проведенные в условиях Белгородской, Воронежской, Московской и Волгоградской областей исследования показали, что наиболее высокий коэффициент структурности почвы и процент водопрочных агрегатов были сформированы именно при проведении традиционной отвальной обработки почвы [213, 215, 249, 278, 287]. Снижение интенсивности обработки почвы (мелкая, мелкая мульчирующая, прямой посев) привело к снижению коэффициента структурности [102], к резкому увеличению глыбистой фракции в слоях почвы 10-20 и 20-30 см [278, 384], к распылению поверхностного слоя [27, 176]. Однако некоторыми авторами получены результаты, подтверждающие наличие тенденции увеличения содержания в почве агрономически ценных агрегатов и формирование более высокого коэффициента структурности именно при поверхностной и нулевой обработках почвы [77].

По влиянию основной обработки почвы на водопрочность почвенных агрегатов мнения ученых противоречивы. Одни [340] отмечают увеличение количества водопрочных агрегатов при применении вспашки, другие [93, 129, 222, 260, 363] утверждают, что содержание данных агрегатов в почве практически не зависит от способа основной обработки.

Неоднозначны и довольно противоречивы результаты исследований по характеру воздействия обработки почвы на ее плотность. Так, многие авторы утверждают, что замена отвальной системы обработки почвы в севообороте на минимальные, безотвальные и комбинированные не приводит к переуплотнению почвы и даже не оказывает на данный показатель существенного влияния. Плотность

почвы в течение вегетации находится в пределах оптимальных значений для возделывания сельскохозяйственных культур ( $1,0-1,3 \text{ г/см}^3$ ) [17, 30, 35, 53, 81, 99, 104, 190, 211, 213, 222, 236, 260, 276, 294, 313, 320, 337, 350, 409, 423]. При этом отмечается, что при отвальной обработке почвы формируется плотность, соответствующая нижней границе оптимума, а при безотвальных и нулевых – средней и верхней [440]. Применение мульчирующей минимальной и нулевой систем обработок почвы при использовании возобновляемых биоресурсов обеспечивает даже снижение показателя плотности почвы [89, 323] на  $0,03-0,07 \text{ г/см}^3$ ; на  $0,01-0,05 \text{ г/см}^3$  [30, 299]. Отмечена зависимость изменения плотности почвы под влиянием прямого посева от уровня увлажненности: уменьшение показателя (на  $0,03 \text{ г/см}^3$ ) в засушливых условиях и в зоне неустойчивого увлажнения и его увеличение (на  $0,1 \text{ г/см}^3$ ) в условиях умеренного увлажнения [437].

Тем не менее, исследованиями, проведенными в различных областях нашей страны было доказано, что основная обработка почвы безотвальными орудиями, а также проведение мелкой, поверхностной и нулевой обработок вызывают существенное увеличение плотности почвы [5, 69, 77, 83, 94, 102, 130, 176, 215, 245, 278, 385, 386, 404]. На ухудшение основных агрофизических свойств почвы при переходе на безотвальные обработки указывали и авторы из Воронежского СХИ [272], из НИИ им. В.В. Докучаева [68, 392], из Белгородской ГСХА [171, 427].

Научные споры возникают в научном сообществе и по поводу существенности влияния приемов и способов основной обработки почвы на запасы доступной влаги под сельскохозяйственными культурами. Результатами исследований ряда ученых было подтверждено снижение интенсивности накопления влаги в почве и продуктивности ее расхода при переходе на мелкие, поверхностные, плоскорезные приемы обработки почвы [5, 63, 109, 175, 176, 177, 183, 294, 325, 337, 340, 384, 385], снижение запасов влаги при переходе от глубоких безотвальных к мелким и прямому посеву [400], а также отсутствие существенных отклонений по сравнению с отвальным приемом [6, 93, 129, 154, 236, 260, 287, 313, 320]. В то же время отдельными авторами было установлено, что глубокие безотвальные, плоскорезные обработки почвы, мелкая основная обработка почвы на глубину 10-12 см совместно с

увеличением количества систематических мелких (на 8-10 см) рыхлений в осенний период под сахарную свеклу, бесплужные обработки почвы способствовали сохранению и накоплению влаги в почве [15, 104, 190, 211, 219, 278, 295, 363, 404, 423].

Отмечены противоречия и в отношении отвальной обработки почвы: авторами отмечается как накопление влаги к началу весеннего возобновления вегетации [99, 245, 249], так и потери [213, 222, 350] до 22% из пахотного слоя и до 4% из метрового слоя [440], что зачастую связано с различными регионами проведения исследований. Так, в условиях Центрального Черноземья высокие значения содержания продуктивной влаги в почве (до 203,2 мм в метровом слое почвы) характерны именно для отвальной обработки почвы на глубину 22-24 см [101], в условиях Башкирии – для нулевой, поверхностной и безотвальных обработок [77], в условиях Ставропольского края – для прямого посева [437].

Значительное улучшение влагообеспеченности посевов отмечалось при переходе на комбинированную [294, 374] и на мелкую мульчирующую обработку почвы в севообороте [30]. Благоприятная динамика влаги в почве наблюдалась при нулевой технологии возделывания культур [83, 276, 334].

Результаты многочисленных исследований по зависимости содержания в пахотном слое почвы основных элементов питания не позволили сформировать однозначный вывод, что объясняется как различиями почвенно-климатических и погодных условий конкретных лет исследования, так и особенностями возделываемых культур. Так, например, при недостаточном количестве осадков вневегетационного периода более высокое содержание в почве нитратного азота (на 8,3-33,0%) отмечается при отвальной обработке почвы, а при избыточном увлажнении данное преимущество теряется и содержание нитратов в почве по вариантам обработки почвы выравнивается [15, 99, 287]. Одни авторы отмечают увеличение нитрифицирующей способности при минимальной, безотвальной обработках почвы [86, 226, 307], другие – ее снижение [46, 94, 129, 287, 313, 384].

Что касается содержания в почве обменного фосфора и калия, то было установлено как отсутствие его зависимости от приема обработки почвы [30, 92, 93, 94, 99, 155, 170, 175, 222, 337, 340, 342, 374, 384, 394, 440], так и увеличение данного

показателя при отвальной [63, 75, 79, 86, 88, 219, 226, 287], плоскорезной [307], безотвальных обработках почвы [79, 176] и no-till [79].

Некоторые авторы утверждают, что использование в севообороте комбинированной обработки почвы не оказывало существенного влияния на агрохимическую характеристику почвы к концу его ротации [346], другие говорят о существенном увеличении валовых запасов фосфора и азота [304].

Спорным является вопрос и по распределению основных элементов питания в почве в зависимости от характера воздействия на нее почвообрабатывающих орудий. Практически все авторы сошлись во мнении, что длительные безотвальные обработки почвы, а также поверхностные, мелкие, мульчирующие приводят к ее дифференциации: основное количество элементов питания сосредотачивается в верхнем слое почвы [86, 94, 98, 226, 294, 440, 447, 456]. Что касается отвальной обработки почвы, то одни авторы утверждают о сосредоточении основных элементов питания в подпахотном слое [86], другие говорят о выравнивании слоев почвы по содержанию в них элементов питания [278, 294, 440].

Более равномерное распределение элементов питания по профилю пахотного слоя почвы характерно для комбинированной обработки почвы [294], при периодическом (раз в 3-5 лет) проведении отвальной обработки почвы в севообороте [472].

Одним из главных показателей, зависящим от интенсивности проведения обработки почвы, является содержание гумуса. Опытами НИИ им. Докучаева (Таловский район Воронежская область) установлено, что проведение как глубоких отвальных, так и безотвальных приемов обработок почвы сопровождается снижением содержания гумуса в почве [94, 287, 384]. Отмечено, что при отвальной обработке почвы гумус депонируется в основном в глубоких слоях пахотного горизонта, а при мелких и поверхностных – в верхних [76, 86, 396], что не в полном объеме согласуется с результатами исследований, по которым при отвальной обработке почвы отмечает равномерное распределение гумуса по почвенному профилю [112], и с выводами других авторов, утверждающих, что минимальная обработка почвы не влияет на содержание гумуса в различных слоях почвы [80, 186].

Отдельные авторы говорят о формировании бездефицитного баланса гумуса именно при проведении безотвальной обработки почвы [176], а также об увеличении его запасов при минимальной, безотвальной обработке почвы в севообороте [10, 30, 80, 212, 374, 453], о росте [89] и стабилизации [428] при no-till, а также о снижении содержания гумуса в почве при проведении вспашки [170]. При этом было установлено, что более интенсивное снижение содержания гумуса при отвальной обработке было характерно только для зернопаропропашного севооборота [112].

Одним из важнейших показателей почвенного плодородия является биологическая активность почвы. Деятельность почвенных микроорганизмов лежит в основе интенсивности протекания процессов разложения растительных остатков, синтеза и минерализации гумуса, превращении труднодоступных форм элементов питания в усвояемые для растений формы, хода аммонификации, нитрификации, фиксации свободного азота воздуха [287], поэтому многие исследователи при изучении вопросов обработки почвы уделяют большое внимание интенсивности и направленности микробиологических процессов.

Для сельскохозяйственного производства наибольший интерес представляют почвы с высокой биологической активностью, однако прийти к единому выводу о способе и глубине обработки почвы для формирования оптимального уровня микробиологической деятельности научному сообществу пока не удалось.

Результаты исследований ряда авторов показали, что активизацию микробного сообщества почвы обеспечивает глубокая отвальная обработка почвы (более 27 см) [139, 227]. Результаты же других исследований показали, что биогенность почвы (общее количество микроорганизмов и их групповой состав) действительно была выше по вспашке, но на меньшую глубину (от 22 до 27 см) [53, 211, 320]. Дальнейшее увеличение или уменьшение глубины обработки, переход к поверхностной, плоскорезной, мелкой или нулевой системам приводило к заметному снижению микробиологической активности в почве [36, 38, 46, 69, 91, 94, 244, 278, 287, 307, 313]. Существуют доказанные выводы о том, что наиболее благоприятные условия для протекания биологической активности складываются при мелкой

мульчирующей обработке [29, 30], при минимальной мульчирующей и нулевой системах обработки почвы с использованием возобновляемых ресурсов [276, 299, 409], при поверхностной [285] и плоскорезной обработках почвы [104, 350, 404]. Некоторые авторы говорят о незначительности влияния почвообрабатывающих приемов на ее биологическую активность [252, 260, 313, 423].

Исследованиями С.Ю. Плотникова доказано, что в наибольшей степени (в 3-3,5 раза) активизации групп микробиологических сообществ способствует комбинированная обработка почвы. При этом отмечается снижение коэффициента минерализации (в 1,5-5,7 раз), увеличение показателя микробиологической трансформации органического вещества (в 4,7-5,7 раз) и условного коэффициента гумификации (в 1,5-2,0 раза) [314].

Этим же автором было установлено, что развитие биологических процессов в почве в первую ротацию севооборота убывало в порядке: разноглубинная отвальная – комбинированная – безотвальная обработка, а в четвертую ротацию: комбинированная – разноглубинная отвальная – безотвальная обработка.

Обработка почвы оказывает существенное влияние не только на численность микроорганизмов в почве, но и на структуру микробного ценоза. Наибольшее количество целлюлозоразлагающих микроорганизмов, актиномицетов и азотобактера характерно для отвальной обработки почвы на глубину 20-22 см. По мере увеличения глубины обработки, а также при переходе к безотвальным приемам их численность снижается [176, 278, 287]. Также установлено, что систематическое применение безотвальных, мелких, поверхностных приемов обработки почвы приводят к дифференциации почвенного профиля как по распределению основных элементов питания, так и по биологической активности [447, 456].

### **1.3. Влияние приемов биологизации и основной обработки почвы на урожайность культур, экономическую и энергетическую эффективность**

Отмечающееся во многих регионах страны снижение продуктивности сельскохозяйственных культур, прежде всего, связано с отмечающимся уменьшением

содержания гумуса в почвах, основными причинами которого является усиление темпов его минерализации, обусловленное интенсивной обработкой почвы, а также недостаточным поступлением в нее свежего органического вещества [319].

Для решения стоящих перед сельскохозяйственным производством проблем актуальным является разработка и внедрение современных, основанных на минимизации агротехнических приемов возделывания культур, включающих в себя как рациональные приемы обработки почвы, так и введение в севообороты средоулучшающих культур.

Сохранение природного потенциала черноземных почв требует изучения влияния на формирующие почвенное плодородие показатели различных способов и приемов основной обработки почвы, видов посева, включения в севообороты промежуточных посевов, способов увеличения массы поступающего в почву свежего органического вещества. Это позволит стабилизировать производство сельскохозяйственной продукции, до минимума снизить или даже исключить развитие деградиционных процессов, повысить рентабельность производства на фоне снижения материальных и трудовых затрат.

При применении сидеральных культур в севообороте отмечается тенденция к повышению урожайности возделываемых культур и продуктивности севооборота в целом [21, 162, 163, 195, 225, 242, 255, 300, 366]. Исследованиями установлено, что запахка зеленой массы пожнивной горчицы обеспечила рост урожайности картофеля на 49,8% в условиях Нечерноземья и на 86% – в условиях Брянской области, тогда как применение равноценного количества минеральных удобрений способствовало увеличению урожайности только на 36...46%. Совместное применение пожнивной сидерации и соломы способствовало повышению урожайности картофеля на 58,6% [242]. Применение донника желтого в качестве сидеральной почвопокровной культуры обеспечивает увеличение урожайности зерновой кукурузы как при ее прямом посеве, так и при поверхностной системе обработки почвы [166]. Сочетание сидерации с минеральными удобрениями дает существенную прибавку (2,6 т/га) урожайности сахарной свеклы, озимой пшеницы (на 65%) [366], в целом зерновых культур (на 0,34-0,42 т/га) [222], общей продуктивности севооборота [231].

Хотя стоит отметить, что в некоторых опытах замена чистого пара на сидеральный (занятый) привела к недобору урожая зерна озимой пшеницы [33, 247, 303, 345, 353, 382]. Снижение урожайности озимой культуры также отмечалось при ее посевах по занятому пару (клевер 1-го укоса) по сравнению с посевами по чистому и сидеральному парам [168].

Довольно противоречивы результаты изучения зависимости величины урожайности культур от заделанной в почву соломы: отмечается как ее повышение в течение 2-3 последующих лет [103], так и снижение, причиной которого авторы называют депрессивное действие соломы [191]. Повышение токсичности почвы при внесении в нее солоmistых остатков отмечают и другие авторы [34, 147, 158, 270, 424].

Влияние бинарных посевов на урожайность основной культуры также неоднозначно: отмечено как ее повышение [33, 355] и отсутствие существенности отклонений [43], так и снижение [399].

Нет единого мнения и о продуктивности севооборотов в зависимости от их вида. Одни авторы наибольшую продуктивность отмечают в севообороте с чистым паром (в зернопаропропашном севообороте), а минимальную – в севооборотах с многолетними травами (зернотравянопропашном и зернотравяном) [86, 168, 282], тогда как другие утверждают обратное: продуктивность севооборотов снижается в направлении зернотравянопропашной (зернотравяной) – сидеральный – зернопаропропашной [112, 382]. Об отсутствии различий в урожайности озимой пшеницы при возделывании в зернопаропропашном и зернотравянопропашном севооборотах говорит С.И. Тютюнов с коллегами [75]. Преимущественное положение зернопаропропашного севооборота по отношению к зернотравянопропашному и зернопропашному при формировании урожайности сахарной свеклы отмечают в Белгородском аграрном научном центре [283].

Использование сидеральных паров и пожнивной сидерации оказало положительное влияние на качество зерна: отмечалось повышение содержания в зерне белка и сырой клейковины [21, 43, 174, 247, 300]. Некоторые авторы отмечали, что

более высокое содержание клейковины в зерне озимой пшеницы было при возделывании культуры не после сидерального, а после занятого пара [33, 43, 369] и чистого пара [173].

Лучшие экономические показатели были в севообороте с чистым паром, на втором месте – зернопропашной севооборот, на третьем – зернотравянопропашной [86]. В такой же последовательности возрастает и энергия чистой продуктивности [282]. Как и в случае с продуктивностью, исследования А.А. Дедова показали снижение энергетической и экономической эффективности севооборотов в направлении зернотравянопропашной – сидеральный – зернопаропропашной севооборот [112]. Аналогичную тенденцию отмечает и А.Л. Тойгильдин: экономическая и энергетическая эффективность севооборотов снижается в направлении от зернотравяного севооборота к зернопаровому [382]. В то же время другие исследования показали экономическое и энергетическое преимущество возделывания озимой пшеницы по фону сидерального пара [21, 33, 43, 225, 300] и в совместных посевах с многолетней бобовой травой [33, 43].

Неоднозначное влияние оказывает на урожайность возделываемых культур и обработка почвы. Одни авторы не отмечают изменений в урожайности культур и продуктивности севооборота при переходе от традиционной системы обработки почвы к ресурсосберегающим технологиям [30, 63, 99, 129, 219, 260, 320, 363, 396], тогда как другие говорят о снижении продуктивности севооборота при переходе от вспашки к минимальным обработкам, при бессменной поверхностной и бессменной безотвальной обработках почвы, о снижении урожайности при переходе на безотвальные, дифференцированные и нулевые технологии [1, 12, 36, 53, 83, 94, 102, 109, 128, 137, 190, 194, 211, 213, 236, 246, 249, 267, 278, 282, 294, 313, 329, 337, 347, 384, 391, 396, 436, 448], третьи же – напротив, о значительном увеличении урожайности культур [29, 46, 104, 176, 212, 222, 244, 310, 334, 350, 374, 399, 404, 452].

Например, при переходе на глубокую безотвальную обработку почвы прибавка урожайности подсолнечника в условиях Саратовского Заволжья составила 3,1-7,5% [295]. Существенную прибавку зерновых культур в Башкирии отмечают

при замене вспашки на поверхностную обработку, переход к безотвальной обработке почвы и прямому посеву не имел существенных отличий [77], а в условиях Нижнего Поволжья увеличение урожайности озимой пшеницы отмечалось при переходе к глубокой чизельной обработке, проведенной под чистый пар [140]. В то же время тридцатилетние исследования Белгородского аграрного научного центра [283] доказали: минимальные обработки почвы приводят к достоверному снижению урожайности сахарной свеклы по сравнению как с отвальными, так и с безотвальными приемами. Результаты исследований ВНИИ сахарной свеклы и сахара им. А.Л. Мазлумова говорят о формировании более низкой урожайности сахарной свеклы именно при безотвальных приемах обработках почвы [49].

Неоднозначны и результаты изучения влияния комбинированной обработки почвы на величину формирующейся урожайности сельскохозяйственных культур. Одни авторы отмечают увеличение урожайности сахарной свеклы [49, 74], формирование наиболее высокой продуктивности севооборота [66, 294, 374], другие говорят о значительном снижении урожайности сои [81], ячменя [436].

Исследования, проведенные в Белгородской области на черноземе типичном, показали отсутствие существенного влияния способов основной обработки почвы на урожайность культур зернопропашного севооборота [82]. В условиях Ставропольского края урожайность озимой пшеницы при прямом посеве зависела от зоны увлажнения и подтипа почвы: при засушливых условиях (чернозем южный) – увеличивалась, при неустойчивом увлажнении (чернозем обыкновенный) – не имела существенных отклонений от традиционной технологии и при умеренном увлажнении (чернозем выщелоченный) – снижалась [437]. Наиболее же высокую продуктивность севооборота отмечают при комбинированной системе обработки почвы (в среднем за 12 лет – 3,41 т/га з.е.) [294, 374].

Неоднозначно и влияние перехода от отвальной обработки почвы к ресурсосберегающим на качество растениеводческой продукции: отмечается как отсутствие ухудшения основных физических и технологических свойств зерна [99, 194, 320, 466], так и преимущество отвальной обработки почвы в формировании более

высоких показателей качества [53, 81, 190, 211, 371], а также увеличение сбора сахара при проведении комбинированной системы обработки почвы при возделывании сахарной свеклы [74] и увеличение количества белка в зерне ячменя при его прямом посеве [436].

Относительно экономических показателей: по чистому доходу с единицы площади и рентабельности на пропашных культурах доминировала вспашка [194], по культурам сплошного сева – минимальная обработка, глубокое безотвальное рыхление занимало промежуточное положение [86]. В то же время другие авторы утверждают, что рентабельность возделывания зернобобовых культур существенно выше именно при отвальной обработке почвы (на 13,6-28,8%) [190], зерновых колосовых – по ресурсосберегающим приемам [170, 176, 196, 211, 222] и нулевой обработке [399], а пропашных – при минимальной обработке почвы [212].

Биоэнергетическая оценка систем земледелия показала, что преимущество по чистой энергии и коэффициенту энергетической эффективности для пропашных культур остается за вспашкой [194], по зерновым и многолетним травам – за неглубоким рыхлением.

При этом другие авторы утверждают обратное: как экономическая, так и энергетическая эффективность возделывания культур убывала в направлении нулевая – минимальная – отвальная обработка почвы [5, 53, 337, 423]. Преимущество безотвальной обработки, в т.ч. мелкой мульчирующей и плоскорезной, в формировании более высоких коэффициентов экономической и энергетической эффективности отмечено и другими авторами [30, 104, 350]. С.Ю. Плотников в своих исследованиях как по продуктивности звена севооборота черный пар – озимая пшеница – сахарная свекла, так и по экономической и энергетической эффективности выделяет комбинированную обработку почвы [314].

Таким образом, в условиях современного развития земледелия необходим индивидуальный подход к выбору приемов биологизации и системы обработки почвы в севообороте, основанный на строгом учете конкретных почвенно-климатических условий, особенностей агроландшафта, биологических потребностей

культур и т.д. По-прежнему остаются актуальными научные исследования в данном направлении, теоретическое и экономическое обоснование биологизированных и ресурсосберегающих технологий возделывания культурных растений в условиях ЦЧР.

Представленная в обзоре ярко выраженная противоречивость научных данных по влиянию различных приемов биологизации и основной обработки почвы на плодородие почвы, на урожайность культур, продуктивность севооборотов, экономическую и энергетическую эффективность не вызывает сомнений в необходимости проведения дальнейших научных исследований по данному направлению.

## 2. ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

### 2.1. Характеристика почвенно-климатических условий места проведения исследований

Центрально-Черноземный регион включает в себя Белгородскую, Воронежскую, Курскую, Липецкую, Орловскую и Тамбовскую области. Занимаемая регионом площадь составляет 19250,8 тыс. га, в том числе 15394,9 тыс. га, или 80% территории, – это земли сельскохозяйственного назначения. Доля сельскохозяйственных угодий в структуре земельного фонда ЦЧР составляет 15461,2 тыс. га.

Основными почвами ЦЧР являются черноземы, среди которых преобладают выщелоченные (37%) и типичные (35,8%) черноземы. Наибольшие площади пашни выщелоченные черноземы занимают в Липецкой (75,7%), Курской и Тамбовской областях (48-49,6%). В Воронежской области пашня представлена в основном черноземами типичными (51,5%) и обыкновенными (33,3%) [114, 116].

Центрально-Черноземный регион представлен двумя природными зонами: лесостепной и степной, границей между которыми является изолиния, соединяющая места с показателем увлажнения 0,9 (Валуйки – Лиски – Борисоглебск) [209], и разделен на пять климатических районов: северо-западный, северо-восточный, западный, восточный, южный [7].

Лесостепная зона полностью охватывает территорию Липецкой, Курской и Тамбовской областей, большую часть Белгородской области, а также северную и центральную часть Воронежской области. В степной зоне расположена только юго-восточная и крайне-южная части Воронежской и Белгородской областей [416].

По влагообеспеченности основная часть Центрально-Черноземного региона относится к зоне умеренного увлажнения. Это Курская, Липецкая, Орловская, Тамбовская, северные районы Белгородской и Воронежской областей. Южная же часть Белгородской и Воронежской областей характеризуется как зона недостаточного

увлажнения. Гидротермический коэффициент в среднем по Центрально-Черноземному региону составляет 0,9-1,1 [114]. Неравномерность в распределении осадков по территории региона объясняется особенностями рельефа местности [114, 362].

Из всех пяти областей ЦЧР Воронежская область является наименее увлажненной: при продвижении с северо-запада на юго-восток коэффициент увлажнения снижается с 0,85 до 0,65-0,67. При этом на около 75% территории области величина коэффициента увлажнения не превышает значения 0,8, а в некоторых районах – 0,7 [114, 214].

Из годового количества осадков примерно 60-70% приходится на теплый период – с мая по сентябрь. При господстве западно-восточного переноса для Воронежской области отмечается аномально влажный год, когда показатель осадков достигает 800 мм, однако осадки эти выпадают чаще в виде ливней, не успевают просачиваться в почвенные горизонты и стекают, многократно повышая скорость эрозийных процессов [114, 318].

Исследования проводились в Хохольском и Эртильском районах Воронежской области.

Хохольский район расположен в северо-западной микроне северной (лесостепной) природно-сельскохозяйственной зоны Воронежской области.

Рельеф – волнистое плато, расчлененное оврагами и балками, наиболее крупными из которых являются лог Петров, Вязовый, Кореевский, Калевский, Большой и Платовский. Расчлененность территории увеличивается к реке Россошка. Ширина балок от 40 до 300 м, глубина 15-25 м. Крутизна склонов 12-25°. Речная сеть слаборазвита.

Пахотные земли в основном расположены на черноземах типичных среднетощих и мощных глинистого гранулометрического состава, а также на черноземах выщелоченных среднетощих. По степени эродированности пашня представлена следующим образом: слабосмытые земли – 8%, среднесмытые – 3 и сильносмытые – около 1%.

Пойменные земли представлены слоистыми, слоисто-зернистыми и иловато-болотными и карбонатными почвами. Слоисто-зернистые почвы характеризуются

чередованием белесоватых прослоек супесчаного механического состава с темными зернистыми перегнойными слоями глинистого и тяжелосуглинистого механического состава.

Климат Хохольского района можно охарактеризовать как умеренно континентальный средних широт.

Район проведения исследований расположен в слабозасушливой зоне (ГТК – 1,1). Слабо-засушливыми месяцами обычно были май, июнь и июль, засушливыми – август, а сентябрь чаще всего был влажным.

Среднегодовое количество осадков (средне многолетние данные) достигает 585 мм. За вегетационный период, т.е. за период со среднесуточной температурой выше +10 °С, выпадает 333 мм осадков. За последние несколько лет максимальное количество выпавших за год осадков составило 840 мм, а минимальное – 405 мм.

По многолетним данным высота снежного покрова составляет 19 см, хотя в конце февраля она часто бывает более 30 см; продолжительность безморозного периода – 153 дня; дата последних весенних заморозков – 30 апреля; дата первых осенних заморозков – 10 октября; сумма активных температур – 2324 °С.

Распределение температур по месяцам в общем благоприятное, однако случаются значительные отклонения от средних данных и резкие колебания температур по годам, сезонам, месяцам и декадам.

Резкие колебания температуры, сухость воздуха, потоки сильных восточных ветров временами приводят к почвенной и атмосферной засухе. При этом относительная влажность воздуха в отдельные дни может падать до 10-12%.

Эртильский район расположен в северо-восточной части Воронежской области, в Окско-Донской равнине, на юге лесостепной зоны, имеет северную границу с Липецкой и Тамбовской областями. Относится к провинции слабозасушливой зоны агроклиматической области неустойчивого увлажнения. Местность без больших перепадов, со слабо развитыми оврагами и балками.

Климат Эртильского района умеренно-континентальный, характеризующийся отличительными от других районов Воронежской области особенностями: пониженным количеством годовых осадков и самыми низкими в области зимними

и летними температурами. Например, согласно среднегодовым данным среднемесячная температура января составляет  $-10,5$  °С. Абсолютные минимумы температуры могут достигать до  $-38$  °С, а максимумы до  $+40$  °С. Первые морозы наблюдаются в конце сентября, а последние весенние заморозки – в первой декаде мая. Продолжительность безморозного периода составляет 144 дня. Дата перехода среднесуточных температур через  $+5$  °С наблюдается весной примерно 16 апреля, осенью – примерно 18 октября. Вегетационный период составляет 184 дня. Сумма активных температур – 2789 °С. Продолжительность периода активных температур на 5-10 дней короче, чем в западном районе.

Годовая сумма осадков составляет 450-486 мм, из которых на период активных температур приходится 275 мм, испаряемость в этот период – 530 мм. Наибольшее количество осадков выпадает в июле, наименьшее – в марте.

В зимние месяцы осадки выпадают чаще, чем в летние, но интенсивность их невелика. Снежный покров устойчив в январе и декабре, общая продолжительность 130 дней.

Осадки теплого периода интенсивные, часто выпадают в виде ливней, что вызывает развитие эрозионных процессов.

В отдельные годы наблюдаются засухи и суховеи. В среднем на два влажных года приходится один засушливый. Гидротермический коэффициент – 1,0. Среднее годовое количество дней с суховейными ветрами составляет 67 дней.

Направление ветра в Эртильском районе неустойчиво: зимой и осенью преобладают ветры юго-западного, юго-восточного направления, летом – западного направления.

Наиболее распространенными почвами Эртильского района являются черноземы обыкновенные и типичные средне- и малогумусовые, среднеспелые, глинистые и тяжелосуглинистые, занимающие около 96% площади территории. Незначительный удельный вес (4%) имеют черноземы солонцеватые.

## 2.2. Особенности агрометеорологических условий периода исследований

Период научных исследований, проводимых в 2010-2016 гг. (опыты 1 и 3), характеризовался неоднородностью агроклиматических условий: слабозасушливые вегетационные периоды сменялись засушливыми и избыточно влажными, что бесспорно оказывало существенное влияние как на протекающие в почве процессы, так и на процессы роста и развития возделываемых культур.

Сравнительный анализ показал, что в период активной вегетации (IV-IX месяцы) все годы исследований характеризовались высокой среднемесячной температурой воздуха (рисунок 1). Наиболее высокий показатель был отмечен в 2010 году, когда превышение нормы составило 22,1%. Аналогичные температурные условия сложились и в 2012 году: среднемесячная температура воздуха была на 11,3% выше среднегодовой нормы. Остальные годы исследований (2011, 2013-2016) характеризовались примерно одинаковыми значениями, превышающими сложившуюся в данном районе норму на 8,2-9,5%.



Рисунок 1 – Сумма осадков и среднемесячная температура воздуха в периоды активной вегетации различных лет исследования (опыты 1 и 3) [316]

На фоне сравнительно высоких среднемесячных температур воздуха сумма выпавших в рассматриваемые периоды осадков была различна, причем в отдельные годы эти различия были очень контрастными. Так, в 2010 году, несмотря на критически высокие температуры, сумма выпавших с апреля по сентябрь осадков не имела существенных отклонений от среднееголетней нормы. В 2011 и 2015 годах данный показатель был ниже нормы на 15,9-18,0%. Критически низким было количество выпавших за вегетационный период осадков в 2014 году – 227 мм, что на 31,8% меньше среднееголетней нормы.

В 2013 и 2016 годах осадков выпало в 1,3-1,5 раза больше нормы. Рекордно высокая сумма выпавших за рассматриваемый период осадков отмечена в 2012 году – 556 мм, что в 1,7 раза превысило среднееголетние значения.

Сформированные на территории проведения исследований температурные условия в совокупности с количеством выпавших осадков сформировали различные режимы увлажненности вегетационного периода. Согласно рассчитанному на основании данных таблиц 1 и 2 гидротермическому коэффициенту (ГТК по Г.Т. Селянинову) было установлено, что 2010 и 2011 годы были слабозасушливыми (ГТК – 1,0), 2014 и 2015 годы – засушливыми (ГТК – 0,7), а 2012, 2013 и 2016 годы – избыточно влажными (соответственно ГТК=1,6; ГТК=2,3 и ГТК=2,6) (таблица 3).

Таблица 1 – Сумма осадков в различные годы исследований, мм  
(опыты 1 и 3) [316]

Годы	Месяцы прошлого года			Месяцы текущего года									Сумма осадков за ...		
	X	XI	XII	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X-III	IV-IX	с.-х. год
Ср.мн.*	50	46	45	41	37	33	38	46	74	62	52	61	252	333	585
2010	49	47	48	57	34	34	38	60	37	38	90	75	269	338	607
2011	59	58	102	46	21	15	27	27	66	48	96	16	301	280	581
2012	18	34	93	45	47	47	72	19	216	27	179	43	284	556	840
2013	138	26	15	36	10	75	12	41	18	83	86	266	300	506	806
2014	51	15	0	62	26	24	32	42	99	2	47	5	178	227	405
2015	18	7	69	24	62	4	62	24	73	69	30	15	184	273	457
2016	20	99	67	88	42	67	168	76	45	39	63	33	383	424	807

Примечание: \*Ср.мн. – здесь и далее: среднееголетние значения

Таблица 2 – Температура воздуха в различные годы исследований, °С  
(опыты 1 и 3) [316]

Годы	Месяцы прошлого года			Месяцы текущего года									Сумма осадков за ...		
	X	XI	XII	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X-III	IV-IX	с-х. год
Ср. мн.	6,9	-0,3	-5,0	-6,1	-6,5	-1,0	8,2	14,9	18,5	20,5	19,2	13,3	-2,0	15,8	6,9
2010	6,1	-0,8	-5,1	-14,8	-6,4	-1,2	9,4	17,3	22,5	26,4	25,4	15,0	-3,7	19,3	7,8
2011	5,1	5,9	-3,3	-8,7	-11,9	-3,3	7,3	17,2	20,6	23,7	20,2	14,0	-2,7	17,2	7,2
2012	7,0	0,4	0,2	-6,9	-12,1	-2,5	11,9	18,4	20,2	22,1	20,3	14,3	-2,3	17,9	7,8
2013	9,8	2,7	-5,9	-5,6	-3,3	-3,3	9,7	19,5	21,2	20,1	20,4	11,6	-0,9	17,1	8,1
2014	7,3	8,4	-2,5	-8,6	-4,1	2,9	8,8	18,5	18,0	22,3	21,8	14,4	0,6	17,3	8,9
2015	5,9	-0,8	-3,4	-4,7	-3,4	1,7	8,1	16,3	20,7	21,1	19,8	17,6	-0,8	17,3	8,2
2016	5,7	2,4	0,0	-8,0	0,5	2,6	10,3	15,1	19,6	22,6	22,0	13,0	0,5	17,1	8,8

Таблица 3 – Гидротермический коэффициент по месяцам теплого периода  
(опыты 1 и 3)

Годы	Месяцы					
	IV	V	VI	VII	VIII	IX
Ср. мн.	-	1,0	1,3	1,0	0,9	1,5
2010	-	1,1	0,6	0,5	1,1	1,7
2011	-	0,5	1,1	0,7	2,5	0,4
2012	-	0,3	3,6	0,4	2,9	1,0
2013	-	0,7	0,3	1,3	1,4	7,6
2014	-	0,7	1,8	0,03	0,7	0,1
2015	-	0,5	1,2	1,1	0,5	0,3
2016	10,8	1,6	0,7	0,6	0,9	1,3

На основании представленной на графике рисунка 2 сравнительной характеристики фактических ГТК и характерных для района проводимых исследований среднееголетних значений, сделан вывод, что наиболее оптимальные условия по увлажненности вегетационного периода были сформированы в 2010 и 2011 годах. Остальные годы исследований отличались критическими условиями для роста и развития большинства культурных растений.

Рассмотрим метеорологические условия отдельных лет исследования более подробно.

Вегетационный период 2010 года характеризовался аномально жарким летом: среднемесячная температура воздуха была максимальной за все годы исследований и превысила норму на 3,5 °С. В результате этого, несмотря на сравнительно большую массу выпавших осадков, вегетационный период был слабозасушливым. При этом стоит отметить, осадки выпадали неравномерно: 26,6% общей суммы выпало в августе, 22,2 – в сентябре, 17,7% – в мае (см. таблицу 1). Очень засушливыми были июнь и июль, май и август – слабозасушливыми, а сентябрь – избыточно влажным.

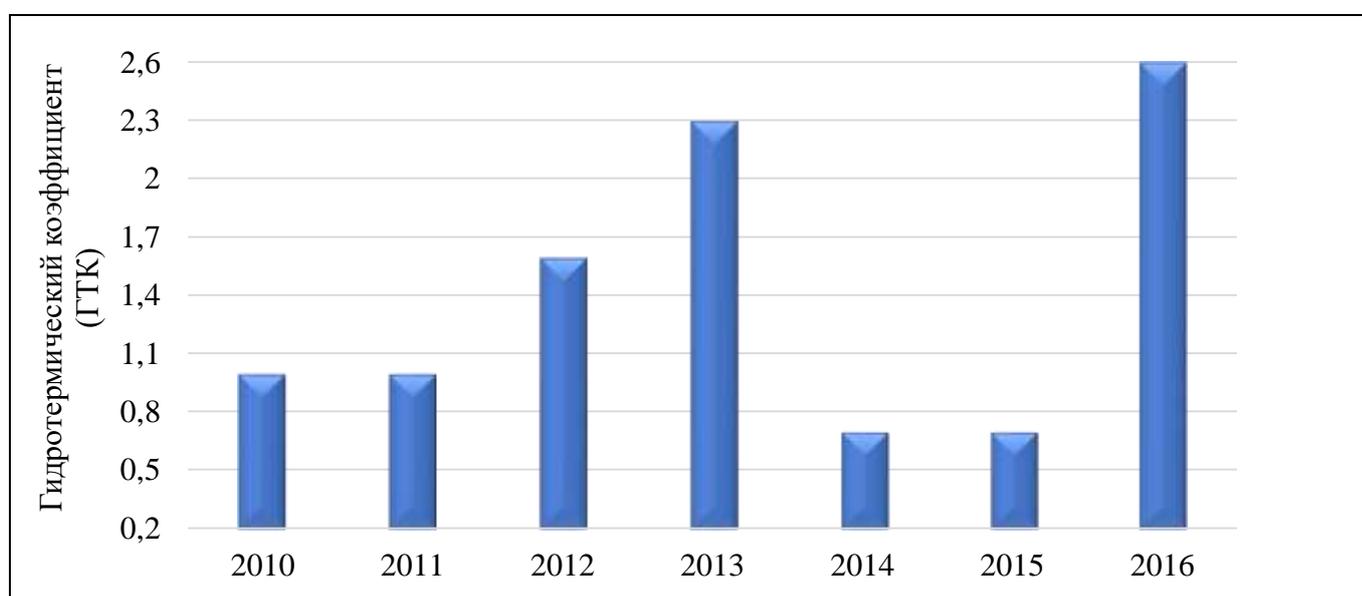


Рисунок 2 – Гидротермический коэффициент вегетационных периодов различных лет исследования (опыты 1и 3)

В 2011 году очень засушливыми были май и сентябрь, июнь был слабозасушливым, июль – засушливым, а август – избыточно влажным.

Среднемесячная температура воздуха с января по апрель включительно была ниже нормы на 2,6; 5,4; 2,3 и 0,9 °С. Все остальные месяцы характеризовались превышением показателей температуры над нормой (см. таблицу 2). Наибольшее превышение нормы отмечено в июле – на 3,2 °С. В мае и июне этот показатель составил 2,3 и 2,1 °С, в августе – 1,0, в сентябре – 0,7 °С. Также существенно выше нормы была температура в октябре, ноябре и декабре.

Количество выпавших в 2011 году осадков превышало норму только в январе (на 5 мм), августе (на 44 мм) и декабре (на 48 мм). Все остальные месяцы характеризовались недостаточным количеством выпавших осадков (см. таблицу 1).

Анализ метеорологических данных 2012 года показал, что с апреля по ноябрь среднемесячная температура воздуха была выше нормы. В апреле, мае, октябре и ноябре среднемесячная температура воздуха превышала норму на 2,9-3,7 °С, в летние месяцы – на 1,1-1,7 °С.

Общее количество выпавших за сельскохозяйственный год осадков составило 840 мм, что было больше нормы на 255 мм и являлось максимальным за все годы исследований. За период активной вегетации выпало осадков больше, чем за весь 2011 год. При этом наибольшее их количество выпало в июне и августе: превышение нормы составило 192 и 244%. Также превышение нормы в сумме выпавших осадков зарегистрировано в феврале (на 27%), марте (на 42,4%) и апреле (на 89,5%). В мае выпало осадков только 41,3% от нормы, в июле – 43,5, в сентябре – 70,5%.

В 2012 году май был сухим, июль – очень засушливым, сентябрь – засушливым, а июнь и август – избыточно влажными.

В 2013 году в течение вегетационного периода среднемесячная температура воздуха превышала норму на 1,2-4,6% в апреле, мае, июне и августе. Рекордное превышение нормы отмечено в мае – 4,6%. Июль и сентябрь характеризовались более низкими по сравнению со среднемноголетними значениями среднемесячными температурами.

За сельскохозяйственный 2013 год выпало 806 мм осадков, что больше среднемноголетних данных на 221 мм (или на 27,4%). Как и в 2012 году, осадки выпадали неравномерно. Основное их количество выпало в марте (75мм), июле (83 мм), августе (86 мм) и сентябре (266 мм – рекордное значение за все годы). В остальные месяцы суммы выпавших осадков были низкими: в апреле выпало 31,6% от нормы, в мае – 89,1, в июне – 24,3%.

Согласно значениям ГТК, май и июнь были очень засушливыми, июль и август – влажными, а сентябрь – избыточно влажным.

Год 2014 являлся засушливым: ГТК – 0,7. Общее количество осадков в 2014 году составило 433 мм, среднемесячная температура воздуха – +7,8 °С. Избыточно влажным месяцем был только июнь: количество выпавших осадков было в 1,3 раза выше, а среднемесячная температура воздуха на 0,5 °С ниже нормы. Май и август были очень засушливыми, а июль и сентябрь – сухими: сумма выпавших в эти месяцы осадков составила 3,2 и 8,2% от нормы.

В 2015 году в течение вегетационного периода культур среднемесячная температура воздуха превышала норму на 0,6-4,3 °С. Рекордное превышение нормы отмечено в сентябре – 4,3 °С. По сравнению со среднемноголетними данными за сельскохозяйственный 2015 год выпало на 128 мм осадков меньше – 457 мм, что на фоне высоких температур и неравномерного распределения осадков по месяцам привело к формированию засушливых условий в мае, августе и сентябре. Влажный режим в июне и июле был сформирован благодаря более высокому количеству выпавших осадков в эти месяцы – соответственно 73 и 69 мм.

В 2016 г. среднемесячная температура воздуха в среднем за год была на 1,9 °С выше, чем среднемноголетний показатель. При этом существенно теплее было во все месяцы вегетационного периода культур: с апреля по август – особенно в апреле (на 2,1 °С), июле (на 2,1 °С) и августе (на 2,8 °С).

В противоположность 2015 году 2016 год являлся избыточно влажным: ГТК за период апрель-сентябрь составил 2,6. На формирование такого показателя повлияли катастрофически высокая сумма осадков, выпавшая в апреле, – 168 мм (442% от среднемноголетних значений), и высокая сумма осадков, выпавшая в мае, – 76 мм (165% от нормы). При этом июнь, июль и август были сухими.

Таким образом, в течение вегетационного периода основных сельскохозяйственных культур происходило чередование избыточно влажных и сухих месяцев, что неблагоприятно сказывалось на росте и развитии культурных растений. Тем не менее все это позволило нам более полно изучить влияние приемов биологизации и основной обработки почвы на плодородие чернозема типичного и урожайность культур.

Опыты 2 и 7 проводились в 2016-2020 гг., которые также характеризовались резкими климатическими отклонениями как от среднеголетних норм, так и друг от друга (рисунок 3).



Рисунок 3 – Сумма осадков и среднемесячная температура воздуха в периоды активной вегетации различных лет исследования (опыты 2 и 7)

По сумме выпадающих за период активной вегетации осадков все годы исследований, за исключением 2016 года, характеризовались сравнительно невысокими значениями. Так, в 2018 году по сравнению со среднеголевыми показателями осадков выпало меньше на 10,2%, в 2019 – на 17,4, в 2017 году – на 17,7 и в 2020 году – на 42%. И только в 2016 году сумма осадков за май-сентябрь превысила среднеголетние значения на 27,3%.

На фоне дефицита осадков отмечалось существенное превышение средней за месяц температуры воздуха над среднеголетней нормой. Максимальное, практически рекордное превышение отмечалось в 2018 году – 12,6%. Несколько ниже было превышение температурных значений в 2016 и в 2019 годах (+8,2%), а также

в 2020 году (+6,3%). Максимально приближенной к среднегодовым показателям была температура воздуха в 2017 году – 16,1 °С (+1,9%).

В целом за период исследований год с высокой обеспеченностью осадками (2016 год – 424 мм) резко сменился тремя годами с 1,5-разово меньшим количеством выпавших осадков (2017-2019 гг.), на смену которым пришел еще более дефицитный по влагообеспеченности вегетационного периода 2020 год (193 мм, что в 2,2 раза меньше, чем в 2016 году и в 1,5 раза меньше, чем в 2017-2019 годы). Также огромные скачки испытывала и среднемесячная температура воздуха за период активной вегетации растений: установившаяся в 2016 году температура в 17,1 °С в 2017 году уменьшилась на 5,8%, затем в 2018 году произошел резкий ее скачок до рекордных 17,8 °С и постепенное ее снижение в последующие два года.

Несмотря на такие различия в агроклиматических показателях, заключение об увлажненности вегетационных периодов, основанное на величине гидротермического коэффициента, однотипно: все годы, за исключением 2016 (избыточно влажный), являются засушливыми (рисунок 4), что говорит о недостаточно оптимальных погодных условиях для культурных растений.

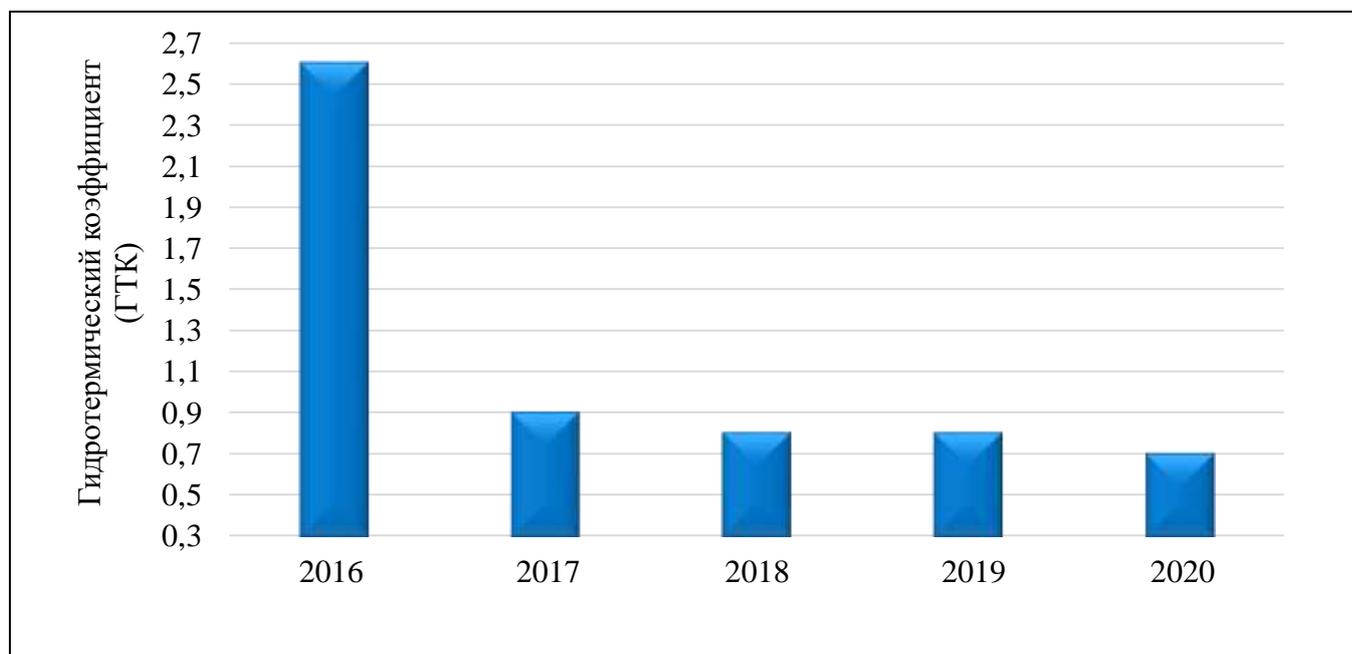


Рисунок 4 – Гидротермический коэффициент вегетационных периодов различных лет исследования (опыты 2 и 7)

Но оценка вегетационного периода в целом не в полной мере отражает фактически сложившуюся картину, более конкретное представление об условиях проведения исследований дает его характеристика в отдельные месяцы, представленная в таблицах 4-6.

Таблица 4 – Сумма осадков в различные годы исследований, мм  
(опыты 2 и 7) [316]

Годы	Месяцы прошлого года			Месяцы текущего года									Сумма осадков за ...		
	X	XI	XII	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X-III	IV-IX	с-х. год
Ср.мн.	50	46	45	41	37	33	38	46	74	62	52	61	252	333	585
2016	20	99	67	88	42	67	168	76	45	39	63	33	383	424	807
2017	28	86	49	58	29	34	45	24	64	62	45	34	284	274	558
2018	58	78	90	70	42	85	69	52	35	80	18	45	423	299	722
2019	38	4	74	46	19	46	32	92	12	100	25	14	227	275	502
2020	70	39	26	31	78	20	17	75	63	29	7	2	264	193	457

Таблица 5 – Температура воздуха в различные годы исследований, °С  
(опыты 2 и 7) [316]

Годы	Месяцы прошлого года			Месяцы текущего года									Сумма осадков за ...		
	X	XI	XII	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X-III	IV-IX	с-х. год
Ср.мн.	6,9	-0,3	-5,0	-6,1	-6,5	-1,0	8,2	14,9	18,5	20,5	19,2	13,3	-2,0	15,8	6,9
2016	5,7	2,4	0,0	-8,0	0,5	2,6	10,3	15,1	19,6	22,6	22,0	13,0	0,5	17,1	8,8
2017	6,1	-1,2	-5,9	-6,4	-5,4	3,7	8,5	13,9	17,2	20,3	21,6	15,1	-1,5	16,1	7,3
2018	6,6	0,6	1,5	-5,1	-7,6	-5,9	8,8	18,3	19,0	22,0	21,4	17,6	-1,6	17,8	8,1
2019	9,4	-1,5	-5,1	-6,1	-2,5	1,3	10,2	17,1	22,2	19,2	19,4	14,4	-0,7	17,1	8,2
2020	10,5	1,9	0,3	-0,4	-0,6	5,7	7,5	13,4	21,3	21,9	20,1	16,9	2,9	16,8	9,9

Таблица 6 – Гидротермический коэффициент по месяцам теплого периода  
(опыты 2 и 7)

Годы	Месяцы						
	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X
Ср.мн.	-	1,0	1,3	1,0	0,9	1,5	-
2016	10,8	1,6	0,7	0,6	0,9	1,3	-
2017	-	0,6	1,2	1,0	0,7	0,8	-
2018	-	0,9	0,6	1,2	0,3	0,8	-
2019	1,0	1,7	0,2	1,7	0,4	0,3	0,2
2020	-	1,8	1,0	0,4	0,1	0,04	1,0

Согласно значению ГТК в течение периода активных положительных температур увлажненность вегетационного периода сильно варьировала. В апреле 2016 года на фоне высоких температур воздуха (среднемесячная составила 10,3 °С, что на 2,1 °С превысило среднемноголетние значения) выпало рекордное количество осадков – 168 мм, что составило 39,6% общей суммы осадков за вегетационный период и определило данный месяц как критически избыточно увлажненный. Влажным был и последующий месяц – май: сумма осадков составила 76 мм, или 17,9% от суммы за вегетацию. Все это отрицательно сказалось на сроках проведения основных агротехнических мероприятий и как результат – на величине формирующейся урожайности культур.

Последующие летние месяцы были полной противоположностью весенним: увлажненность июня варьировала на границе между засушливым и очень засушливым, июль был устойчиво очень засушливым, август – засушливым, а сентябрь – слабозасушливым.

В 2017 году увлажненность отдельных месяцев вегетационного периода не имела таких скачкообразных различий: все месяцы были или слабозасушливыми (июнь и июль), или засушливыми (август и сентябрь), и только май характеризовался недостаточной увлажненностью, что также является негативным моментом на первых этапах развития растений.

Вегетационный период 2018 года может похвастаться только одним слабозасушливым месяцем (июль), все остальные имели еще меньшую увлажненность: май и сентябрь были засушливыми, июнь – очень засушливым, август – сухим.

Погодные условия, сложившиеся в 2019 году, обеспечили существенное увеличение периода с активной вегетацией: апрель и октябрь имели среднемесячную температуру более 10 °С. Согласно рассчитанному гидротермическому коэффициенту засушливый апрель сменился избыточно увлажненным маем, а тот – сухим июнем. В июле увлажненность вновь была избыточной, на смену которой пришли очень засушливые и сухие месяцы: август, сентябрь и октябрь.

Аналогично предшествующим годам вегетационный период 2020 года характеризовался резкой сменой увлажненности: избыточно влажный май – слабо-засушливый июнь – три сухих месяца подряд (июль, август, сентябрь) – слабо засушливый октябрь.

Опыты 4-6 проводились в 2010-2012 годах в условиях Эртильского района Воронежской области. По данным метеорологической станции совхоза им. Ленина Тамбовской области Мордовского района, удаленной на 39 км севернее стационарного опыта, за период исследования метеорологические условия были различными (таблицы 7-9).

Таблица 7 – Температура воздуха в различные годы исследований, °С  
(опыты 4-6)

Годы	Месяцы прошлого года			Месяцы текущего года									Сумма осадков за ...		
	X	XI	XII	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X-III	IV-IX	с.-х. год
Ср.мн.	5,1	-1,6	-7,7	-10,5	-10,4	-5,7	5,1	13,5	17,5	20,0	18,2	11,9	-5,1	14,4	4,6
2010	4,3	5,5	-4,2	-18,5	-8,7	-3,5	8,1	17,4	22,6	26,4	24,8	14,2	-4,2	18,9	8,8
2011	6,2	-2,4	-1,5	-10,7	-13,7	-5,6	5,9	16,4	19,7	22,9	19,4	13,1	-4,6	16,2	6,6
2012	8,8	1,9	-6,8	-8,6	-13,3	-4,3	11,2	17,9	19,4	21,2	19,7	13,5	-3,7	17,2	6,7

Таблица 8 – Сумма осадков в различные годы исследований, мм  
(опыты 4-6)

Годы	Месяцы прошлого года			Месяцы текущего года									Сумма осадков за ...		
	X	XI	XII	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X-III	IV-IX	с.-х. год
Ср.мн.	41	36	32	24	23	22	35	44	54	59	52	35	137	320	457
2010	110	71	91	38	44	32	20	52	5	49	40	52	386	218	604
2011	38	38	68	56	61	27	31	49	50	97	84	44	356	355	711
2012	93	24	34	40	36	51	40	18	166	102	118	32	278	476	754

Таблица 9 – Гидротермический коэффициент по месяцам теплого периода (опыты 4-6)

Годы	Месяцы						В среднем
	IV	V	VI	VII	VIII	IX	
Ср.мн.	-	1,05	1,03	0,95	0,92	0,98	0,99
2010	0,21	0,96	0,07	0,60	0,52	1,24	0,67
2011	-	0,96	0,83	1,37	1,40	1,23	1,16
2012	0,56	0,33	2,85	1,54	1,94	0,83	1,50

Среднегодовая температура воздуха в 2010 году составила 8,8 °С, что практически вдвое превысило среднемноголетнюю норму. Несмотря на то, что общее количество выпавших за год осадков составило 604 мм и превысило среднемноголетнюю норму на 147 мм, 2010 год был засушливым (ГТК=0,67). Основная масса осадков припала на холодный период (386 мм), причем до 47% этих осадков выпало в октябре и ноябре, что позволили в полной мере сформировать осенний запас влаги, компенсируя засушливое лето. Сумма осадков теплого периода составила 218 мм (68% от среднемноголетней нормы).

Период активной вегетации в 2010 году, составляющий 157 дней, характеризовался значительным превышением среднемесячной температуры воздуха (на 3,0 °С – в апреле, на 3,9 °С – в мае, на 5,1 и 6,4 °С – в июне и июле) и крайне неравномерным выпадением осадков (57% от среднемноголетней нормы – в апреле, 118,2% – в мае, 9,3% – в июне, 83% – в июле). При этом в июне был всего лишь один день с осадками, а в июле все осадки выпали в первую декаду и имели ливневый характер.

В августе и сентябре превышение среднемноголетних показателей температуры воздуха составило соответственно 6,6 и 2,3 °С, количество выпавших осадков в августе было на 12 мм ниже нормы, а в сентябре – на 17 мм выше. Осенне-зимний период 2010 года отмечался прохладным октябрём и теплыми ноябрём и декабрём. В октябре сумма осадков на 168% превысила среднемноголетнюю норму, в ноябре и декабре превышение составило соответственно 97 и 184%.

Более благоприятные условия сложились в 2011 году. Среднегодовое значение температуры воздуха составило 6,6 °С, что превысило норму на 2 °С. Среднемесячная температура января, марта была в пределах нормы, в феврале – ниже нормы на 3,3 °С. С апреля по октябрь включительно превышение средней за месяц температуры воздуха над среднемноголетней колебалось в пределах от 0,8 до 2,9 °С. Верхний предел приходился на летние месяцы и составил в мае, июле – 2,9 °С, а в июне – 2,2 °С.

Сумма осадков за 2011 год была выше среднемноголетней нормы на 56%. Распределение осадков относительно теплого и холодного периодов – равное и составило 355 мм, что на 10% выше нормы за теплый период и на 160% – за холодный. Сумма осадков в апреле и июне была на 4 мм ниже среднемноголетней нормы. В остальные месяцы вегетационного периода количество осадков превысило среднемноголетнюю норму в мае на 5 мм, июле – на 38, августе – на 32 и сентябре – на 9 мм.

Период активной вегетации в 2011 году составил 157 дней. По величине гидротермического коэффициента (ГТК – 1,2) теплый период 2011 года характеризуется как оптимально увлажненный. Однако май и июнь можно охарактеризовать как недостаточно увлажненные.

Продолжительность периода вегетации в 2012 году была больше, чем в предыдущие годы исследований, и составила 169 дней. По степени увлажнения теплый период 2012 года можно характеризовать как влажный: величина гидротермического коэффициента составила 1,5. Значения ГТК по месяцам были различными, в соответствии с чем июнь и август были признаны избыточно увлажненными (ГТК соответственно 2,85 и 1,94), июнь – оптимально увлажненным (ГТК – 1,54), август – недостаточно увлажненным (ГТК – 0,83), а май – засушливым (ГТК – 0,33).

Среднегодовое значение температуры воздуха в 2012 году превысило среднемноголетнюю норму на 2,1 °С и составило 6,7 °С. Практически все месяцы за изучаемый год, кроме февраля, имели превышение среднемесячных показателей температуры воздуха, диапазон которых варьировался в пределах от 0,9 до 6,1 °С.

Максимальное превышение среднемесячной температуры относительно средне-многолетней нормы наблюдалось в апреле и мае (6,1 и 4,4 °С), а также в позднеосенний период – в октябре и ноябре (3,7 и 3,5 °С).

Количество осадков, выпавших в 2012 году, было самым большим за все годы исследований и составило 754 мм, что превысило среднемноголетнюю норму на 65%. Большая их часть (63%) приходилась на вегетационный период. Из всех месяцев теплого периода май отмечается наименьшим количеством осадков – 18 мм, что составляет 41% от среднемноголетней нормы. В остальные месяцы вегетационного периода наблюдается превышение среднемноголетней нормы в диапазоне от 5 мм в апреле до 112 мм в июне, в сентябре выпал 91% от среднемноголетней нормы. Осадки холодного периода 2012 года составили 278 мм и превысили норму на 141 мм, треть их приходилась на октябрь.

Таким образом, все годы исследований различались по тепловому и влажностному режимам. Так, 2010 год характеризуется продолжительной воздушной и почвенной летней засухой и влажной теплой осенью, считается засушливым. В 2011 году тепловой и водный режим были оптимальными для возделывания большинства сельскохозяйственных культур.

По величине гидротермического коэффициента 2012 год характеризуется как оптимальный по степени увлажнения, но его условно можно отнести к году с избыточным увлажнением, хотя и наблюдалась ранневесенняя (майская) засуха. За все три года исследований отмечалось превышение среднегодовой и средней температуры теплого периода.

Как мы видим, в годы проведения исследований сложились не совсем благоприятные условия, тем не менее существенные различия в обеспеченности отдельных месяцев вегетационного периода культур теплом и влагой позволили всесторонне изучить влияние различных факторов на основные показатели плодородия почвы и урожайность культур.

### 2.3. Объекты, методика и техника проведения исследований

В рамках диссертационного исследования было заложено и проведено семь опытов.

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

Схема опыта:

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.

Исследования проводились в Хохольском районе Воронежской области в 2010-2016 гг. на черноземе типичном, среднемощном, глинистом, на участке с

уклоном до 1<sup>0</sup>. Агрохимическая характеристика участка приведена в приложении А.

Стационарный опыт заложен в 2010 году в соответствии с общепринятой методикой полевого опыта [135]. Повторность трехкратная. Метод размещения вариантов – рендомизированный, повторений – организованный сплошной. Севообороты представлены всеми полями во времени и в пространстве.

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>.

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

Схема опыта:

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<sub>24</sub>P<sub>24</sub>K<sub>24</sub> (Ф+ПС+У).
8. Фон + солома ячменя + пожнивной сидерат редька масличная + припосевное удобрение N<sub>24</sub>P<sub>24</sub>K<sub>24</sub> (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.

Исследования проводились в 2016-2019 гг. (Воронежская область Хохольский район) на черноземе типичном, среднемощном, глинистом, на участке с уклоном до 1<sup>0</sup>. Агрохимическая характеристика участка приведена в приложении Б.

Стационарный опыт заложен в 2015 году в соответствии с общепринятой методикой полевого опыта [135]. Повторность трехкратная. Метод размещения вариантов – рендомизированный, повторений – организованный сплошной. Возделывание подсолнечника осуществлялось в звене севооборота: пар – озимая пшеница – ячмень – подсолнечник. Севообороты представлены всеми полями во времени и в пространстве.

Общее количество делянок в опыте – 192. Форма делянки – прямоугольная, размер – 5,6х20 м. Общая площадь делянки 112 м<sup>2</sup>, площадь учетной делянки – 70 м<sup>2</sup>.

*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 течение 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>.

*Опыт 4. Плодородие чернозема типичного и продуктивность короткоротационных севооборотов с сахарной свеклой.*

Схема опыта:

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 обработке – 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.

Исследования проводились в 2010-2012 гг. в условиях Эртильского района Воронежской области на черноземе типичном, глинистом.

Агрохимическая характеристика участка представлена следующими показателями: содержание гумуса в слое почвы 0-30 см – 6,7%, сумма обменных оснований – 24 мг.экв./100г почвы,  $pH_{\text{сол}}$  – 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.

Стационарный опыт заложен в 2009 году в соответствии с общепринятой методикой полевого опыта [135]. Повторность трехкратная. Метод размещения вариантов – рендомизированный, повторений – организованный сплошной. Севообороты представлены всеми полями во времени и в пространстве.

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>.

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

Схема опыта:

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.

Исследования проводились в 2010-2012 гг. в условиях Эртильского района Воронежской области. Агрохимическая характеристика опыта и методика закладки

аналогична опыту 4. Общее количество делянок в опыте – 72. Форма делянки – прямоугольная, размер – 9,6х21 м. Общая площадь делянки 202 м<sup>2</sup>, площадь учетной делянки – 144 м<sup>2</sup>.

*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 – 2х2 м. Общая площадь делянки 4 м<sup>2</sup>.

*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 течение 2016-2020 гг. Повторность трехкратная. Метод размещения вариантов – рендомизированный, повторений – ор-

ганизованный сплошной. Общее количество делянок в опыте – 24 (по пять образцов на каждой делянке). Форма делянки – квадратная, размер – 2х2 м. Общая площадь делянки 4 м<sup>2</sup>.

Исследования проводились согласно общепринятым методикам:

1. Влажность почвы – термостатно-весовым методом в метровом слое почвы через каждый 10 см (ГОСТ 26268-89) в фазы: всходы, цветение, полная спелость; в паровых полях: весеннее отрастание трав, цветение трав, перед посевом озимой пшеницы.

2. Плотность почвы – объемно-весовым методом по Н.А. Качинскому [188] в слое почвы 0-30 см через каждые 10 см в фазы: всходы, цветение, полная спелость; в паровых полях: весеннее отрастание трав, цветение трав, перед посевом озимой пшеницы.

3. Структурно-агрегатный состав почвы – методом сухого просеивания по Н.И. Саввинову в слое почвы 0-30 см через каждые 10 см в фазы: всходы, полная спелость; в паровых полях: весеннее отрастание трав, перед посевом озимой пшеницы [58].

4. Водопрочность почвенных агрегатов – методом мокрого просеивания по Н.И. Саввинову в слое почвы 0-30 см через каждые 10 см в фазы: всходы, полная спелость; в паровых полях: весеннее отрастание трав, перед посевом озимой пшеницы [58].

5. Содержание в почве основных элементов питания: нитратного азота – колориметрическим методом (ГОСТ 26488-85), аммонийного азота – колориметрическим методом с применением реактива Несслера в мод. ЦИНАО, подвижного (P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) фосфора и обменного (K<sub>2</sub>O) калия – по Чирикову (ГОСТ 26204-91) в слоях 0-10, 10-20 и 20-30 см в фазы: всходы, цветение, полная спелость; в паровых полях: весеннее отрастание трав, цветение трав, перед посевом озимой пшеницы [18].

6. Содержание в почве общего гумуса – по методу Тюрина (модификация Симанова: окисление по Никитину) по слоям почвы 0-10, 10-20 и 20-30 см в фазе полная спелость; в паровых полях – перед посевом озимой пшеницы [90].

7. Содержание детрита – по методике Н.Ф. Ганжары по слоям почвы 0-10, 10-20 и 20-30 см в фазы: всходы, полная спелость; в паровых полях: весеннее отрастание трав, перед посевом озимой пшеницы [90].

8. Масса растительных остатков – по Н.З. Станкову по слоям почвы 0-10, 10-20 и 20-30 см в фазе всходов [370].

9. Физиологические группы почвенных микроорганизмов – 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. Фазы: всходы, цветение, полная спелость; в паровых полях: весеннее отрастание трав, цветение трав, перед посевом озимой пшеницы.

10. Интенсивность разложения клетчатки определяли по методике Е.Н. Мишустина, И.С. Вострова, А.Н. Петровой [90].

11. Содержание в растительных остатках и детрите: углерода – по Анстету, азота – по методу К.Е. Гинзбург.

12. Токсичность почвы – по методике А.М. Гродзинского [105].

13. Урожайность – методом сплошной уборки учетной делянки с последующим пересчетом на 100% чистоту и стандартную влажность.

14. Качество зерна пшеницы – белок, клейковина, ИДК, число падения – по ГОСТ 10846-91, Р54478-2011, 27676-88.

15. Лузжистость семян подсолнечника – путем обрушивания ручным способом (ГОСТ 10855-64).

16. Масличность семян подсолнечника – экстракционным методом (ГОСТ 10857-64).

17. Энергетическая эффективность – по «Методике биоэнергетической оценки технологий производства продукции растениеводства» [262].

18. Статистическая обработка и дисперсионный анализ – по методике Б.А. Доспехова с использованием современной компьютерной программы MS Excel.

19. Экономическая эффективность – по технологическим картам с использованием типовых норм по ценам 2021 г.

В рамках исследовательской работы были использованы следующие культуры: подсолнечник (*Helianthus annuus*), редька масличная (*Raphanus sativus*), люцерна синяя (*Medicago sativa*), донник желтый (*Melilotus officinalis*), сахарная свекла (*Beta vulgaris*), вика яровая (*Vicia sativa*), эспарцет песчаный (*Onobrychis arenaria*), озимая пшеница (*Triticum aestivum*) и ячмень (*Hordeum vulgare*).

Для посева ярового ячменя использовали сорт Вакула. Оригинатор сорта – Национальный центр семеноведения и сортоизучения Селекционно-генетического института г. Одессы.

Сорт озимой пшеницы – Алая Заря (оригинатор – ФГБОУ ВО Воронежский ГАУ).

Подсолнечник был представлен кондитерским сортом Посейдон 625 (опыт 1) и масличным гибридом Брио (опыт 2 и опыт 5).

Оригинатором сорта Посейдон 625 является Богучарская сельскохозяйственная селекционно-семеноводческая фирма ВНИИ масличных культур им. В.С. Пустовойта. Данный сорт относится к группе очень ранних, созревает за 90-92 суток. Высота растений до 165 см, масличность абсолютно сухих семян – 48-49%, содержание лузги не более 26% [114].

Гибрид НК Брио – оригинатор Syngenta Crop Protection Ag. Это среднеранний, средnezасухоустойчивый, высокоурожайный гибрид, адаптированный к выращиванию по классической технологии. Вегетационный период – 112-116 суток. Высота растения не превышает 170 см, не полегает. Подсолнечник имеет высокую толерантность к переноспорозу, серой гнили, фомопсису, обладает иммунитетом к расам заразики от А до Е. Данный гибрид хорошо переносит засушливый период, он довольно гибок по отношению к изменяющимся климатическим условиям, хорошо произрастает на различных типах почв. К недостаткам можно отнести идеальную выравненность растений и медленное прохождение первых этапов роста.

Характеризуются высокой урожайностью (до 4 т/га) и высокой масличностью семян (до 52%).

Гибрид сахарной свеклы Федерика – оригинатор бельгийская компания «Сесвандерхаве». Сахаристо-среднепоздний. В Центрально-Черноземном регионе средняя урожайность корнеплодов 54,5 т/га, содержание сахара 17,4%, сбор сахара 9,5 т/га. Масса корнеплода 594 г.

В качестве бинарных компонентов подсолнечника применяли бобовые травы – люцерну синюю, донник желтый, вику яровую, эспарцет песчаный. В исследованиях использовали сорт люцерны синей Диана (оригинатор Ершовская опытная станция орошаемого земледелия НИИСХ Юго-Востока), сорт донника желтого Сибирский 2 (оригинатор Сибирский НИИСХ, Омская область), сорт вики яровой Никольская (оригинатор ФНЦ зернобобовых и крупяных культур, Орловская область), сорт эспарцета песчаного Павловский (оригинатор ГНУ Воронежская опытная станция по многолетним травам).

Выбор редьки масличной в качестве пожнивного сидерата был обусловлен ее способностью за короткий период вегетации формировать высокий урожай биомассы. Для посева использовали сорт Тамбовчанка (ГНУ ВНИИ масличных культур им В.С. Пустовойта).

В опыте 1 и 2, за исключением изучаемых вариантов, минеральные удобрения не применялись. Технология возделывания бинарных посевов подсолнечника и озимой пшеницы с учетом изучаемых приемов биологизации и обработки почвы была следующей.

После уборки предшественника подсолнечника пожнивно-корневые остатки ячменя и распределенная по поверхности почвы измельченная солома были заделаны в почву при помощи дискового орудия (БДМ4х4, глубина обработки 8-10 см), затем был проведен посев пожнивного сидерата редьки масличной (норма высева – 2млн шт./га (20 кг/га), глубина посева – 3-4 см) [114].

При вступлении пожнивного сидерата в фазу массового цветения провели заделку зеленой массы в почву дисковым орудием (БДМ4х4, глубина 10-12 см). Че-

рез две-три недели при массовом появлении сорной растительности проведена основная обработка почвы под подсолнечник согласно схеме опыта [114].

Весной при наступлении физической спелости почвы провели ранневесеннее боронование почвы (БЗСТ-1,0), перед посевом – предпосевную культивацию на глубину 5-6 см (КПС-5У) [114].

Посев подсолнечника осуществляли сеялкой УПС-8 с нормой высева: 50 тыс. шт. всхожих семян на 1 га для сорта Посейдон 625 и 60 тыс. шт./га – для гибрида НК Брио. Ширина междурядий – 70 см. Посев бинарного компонента проводили в день посева подсолнечника сеялкой УПС-8, укомплектованной специальными высевающими дисками, в один ряд с семенами подсолнечника [114].

При глубине заделки семян подсолнечника 5-6 см семена бобовых трав размещали на глубину 2-3 см. Норма высева: люцерна синяя – 1 млн шт./га (2 кг/га), донник желтый – 1,8 млн шт./га (5 кг/га), вика яровая – 430 тыс. шт./га (21 кг/га), эспарцет песчаный – 857 тыс. шт./га (13 кг/га) [114].

В течение вегетации подсолнечника и бобового компонента были проведены междурядная обработка (КРН-5,6 со стрельчатými лапами и бритвами) и окучивание (КРН-5,6 с окучниками) [114].

Мероприятия по подкормке подсолнечника, а также по борьбе с сорняками, болезнями и вредителями при помощи химических средств защиты растений не проводились.

Уборка подсолнечника осуществлялась в фазе его полной спелости. После уборки оставшиеся в поле стебли подсолнечника и вегетирующая масса бобовых трав оставались в поле до следующей весны [114].

Обработка почвы на паровых полях начинается с прикатывания стеблей подсолнечника (ЗККШ-6). При оптимальной сухости стебли подсолнечника очень хорошо измельчаются, образуя на поверхности почвы мульчирующий слой. Данная обработка не оказывает пагубного воздействия на бобовые травы, которые в скором времени начинают быстро расти и развиваться, усиленно наращивая вегетативную массу [114].

Уход за полем чистого пара заключался в проведении дискования почвы

(БДМ 4х4) на глубину 10-12 см и двух культиваций (КПС-5У) на глубину 8-10 и 6-8 см по мере появления сорной растительности [114].

Мероприятия по уходу за сидеральным и занятым парами начинались с проведения первой междурядной обработки при массовом появлении сорных растений (КРН-5,6 оборудованный стрельчатыми лапами и бритвами, глубина обработки 8-10 см [114]. В фазе цветения сидеральную бобовую траву (донник желтый, эспарцет песчаный) заделывали в почву на глубину 10-12 см (БДМ 4х4). В дальнейшем задача заключалась в поддержании парового поля в чистом от сорной растительности состоянии (БДМ 4х4; 8-10 и 6-8 см) [114].

В поле занятого пара зеленая масса люцерны синей была отчуждена для удовлетворения потребностей животноводства в кормах. В зависимости от влагообеспеченности посевов за вегетационный период получали 2-3 укоса, при этом последнее скашивание проводилось за день до посева озимой пшеницы. Каждое скашивание сопровождалось последующими междурядными обработками (КРН-5,6; 8-10 и 6-8 см). [114].

Перед посевом озимой пшеницы была проведена предпосевная культивация на глубину 5-6 см: в чистом и сидеральном парах – сплошным (КПС-5У), в занятом – пропашным (КРН-5,6) культиваторами. Посев осуществляли сеялкой СЗУ-3,6 на глубину 5-6 см с нормой высева 5 млн шт./га (225 кг/га), при этом направление посева в зернотравянопропашном севообороте – перпендикулярно рядам люцерны [114].

Защита растений озимой пшеницы от вредных объектов, а также с целью угнетения и подавления бинарного компонента (люцерны) заключалась в применении смеси химических препаратов: Калибр (40г/га) + Импакт (0,5 л/га) + Актара (70 г/га) + Оксанол (200 г/га (фаза развития зерновой культуры – интенсивное весеннее кущение) [114].

После уборки культур севооборотов все растительные остатки использовались в качестве источников органического вещества [114].

### **3. ПОКАЗАТЕЛИ ПЛОДОРОДИЯ ПОЧВЫ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ПРИЕМОВ БИОЛОГИЗАЦИИ И ОСНОВНОЙ ОБРАБОТКИ ПОЧВЫ**

#### **3.1. Агрофизические свойства почвы и динамика доступной влаги в севообороте**

##### **3.1.1. Доступная влага и рациональность ее использования**

Важное значение в жизни любого растения имеет влага, которая не только обеспечивает прорастание семян и входит в состав растения, поддерживая тургор в его клетках, но и регулирует температуру растительного организма при испарении, обеспечивает передвижение по растению растворенных минеральных веществ, осуществляя, таким образом, водно-минеральное питание растений, участвует в протекании физиологически важных процессов и фотосинтеза, выступает как среда, обеспечивающая возможность осуществления различного рода биохимических реакций [339].

Влага является важным элементом эффективного плодородия почвы, определяя условия обитания почвенных микроорганизмов и биогенность почвы, существенно влияя на темпы разложения растительных остатков, формирование основных свойств и режимов почвы. Влажность почвы – значимый фактор накопления питательных элементов в результате активной деятельности микроорганизмов, разлагающих сложные вещества.

В зоне неустойчивого и недостаточного увлажнения содержание влаги в почве является одним из факторов, ограничивающих величину формирующейся урожайности сельскохозяйственных культур. Другими словами, именно дефицит влаги в почве в условиях Центрально-Черноземного региона является лимитирующим урожайность фактором.

Все вышеперечисленное определяет важность установления зависимости влажности почвы от различных приемов агротехнологий и поиска путей ее накопления и рационального использования.

В результате многочисленных работ по изучению водного режима на черноземах, проведенных, в том числе, А.Ф. Большаковым [44], Е.А. Афанасьевой [19], А.М. Бялым [57], было установлено, что в почве влага содержится как в связанном, недоступном для растений состоянии, так и в свободном, подвижном состоянии. Именно свободная, доступная для растений влага является важнейшим фактором формирования почвенного плодородия и продуктивности растений.

Основными источниками влаги в почве являются атмосферные осадки, которые после выпадения претерпевают значительную трансформацию как в почве, так и на ее поверхности: часть осадков стекает по поверхности почвы, превращаясь в поверхностные воды; часть проникает в почву, но в последующем частично возвращается в атмосферу в форме водяного пара (например при испарении); часть почвенной влаги дает начало почвенному и грунтовому стоку, а часть – поступает в растения и участвует в биологическом синтезе с образованием органического вещества. По данным О.Г. Котляровой [214] лишь 21-22% влаги атмосферных осадков эффективно используется растениями, остальное же количество теряется на испарение и сток.

Почвенная влага является важнейшим и практически единственным источником влаги для растений, поэтому от ее запасов и степени доступности зависит влагообеспеченность растений.

Являясь составной частью почвы, влага характеризуется значительной подвижностью. В холодную часть года она накапливается в почве, в теплую – расходуется на физическое испарение и транспирацию растений. Изменение во времени общего и послойного содержания влаги в почве получило название режима влажности.

П.А. Костычев отмечал: «Если судить по влажности почвы, то год для черноземной области можно разделить на две половины: в течение одной из них чернозем накапливает в себе влагу, в течение второй чернозем постоянно высыхает... Зимнее накопление влаги в почвах имеет для растений огромную важность, осо-

бенно для чернозема, на котором вследствие его большой влагоемкости вода летних кратковременных дождей не может проникать глубоко, а будучи поглощена верхним слоем, быстро испаряется из него в воздух» [210].

Таким образом, важное значение в формировании благоприятных почвенных условий и высокой урожайности культур имеет прежде всего накопление влаги в почве в холодный период года, а затем ее рациональное использование в теплый сезон.

Холодный период, т.е. период накопления влаги в почве, длится с октября по март. При этом наиболее интенсивная аккумуляция атмосферных осадков наблюдается в октябре-ноябре. В период с декабря по март осадки выпадают главным образом в виде снега, который может сноситься с полей ветром или теряться весной при стекании талых вод по склонам.

В холодный период осадков выпадает больше, чем испаряется, при этом господствуют нисходящие токи влаги, идет ее накопление в почве.

К концу периода накопления, перед весенними полевыми работами, в почве накапливается основной запас влаги, который во многом определяет урожайность культур текущего года, особенно в годы с ранневесенними засухами. Чем больше влаги накопится в почве к началу вегетационного периода, тем меньше будет зависимость от осадков теплого периода. В среднем за холодный период выпадает 42,3% осадков годового количества (таблица 10). Возможности аккумуляции влаги холодного периода находятся в пределах 70-75% суммы осадков, выпадающих в холодный период.

Период формирования запасов доступной влаги к моменту посева подсолнечника начинается сразу после уборки предшественника, а заканчивается весной, непосредственно перед посевом основной культуры. За это время выпадает основная часть годовых осадков, более половины которых в течение осенне-весеннего периода может теряться. Причинами таких потерь, согласно данным А.М. Бялого [57], являются осенние потери осадков (18,4%), потери со стоком талых вод (9%) и

испарение (35%). В связи с этим накопление влаги в почве и сохранение ее от испарения в этот период являются важными условиями создания благоприятного режима для роста и развития культурного растения [378].

Таблица 10 – Сумма осадков за холодные и теплые периоды лет исследования (на основании таблицы 1, 2010-2016 гг., опыты 1 и 3)

Год	Сумма осадков, мм			Доля осадков холодного периода в сумме осадков за год, %
	Холодный период	Теплый период	С.-х. год	
2010	269	338	607	44,3
2011	301	280	581	51,8
2012	284	556	840	33,8
2013	300	506	806	37,2
2014	190	227	417	45,6
2015	184	273	457	40,3
2016	383	424	807	47,5
Среднее	273	372	645	42,3

Важную роль в регулировании запасов доступной влаги в почве играет пожнивная сидерация. В качестве поживной сидеральной культуры применялась редька масличная. Высеянная сразу после уборки предшественника подсолнечника (ячменя) эта крестоцветная культура за оставшийся вегетационный период (в среднем 70 дней) смогла сформировать хорошую биомассу, которая и была заделана в почву в фазе массового цветения путем дискования.

Определение запасов доступной влаги в почве перед посевом подсолнечника показало, что применение поживной сидерации обеспечило к посеву масличной культуры более высокое содержание доступной влаги (таблица 11), превышающее значения варианта без сидерации на 0,8...3,9 мм в 30-сантиметровом слое почвы и на 3,1...4,8 мм в слое почвы 0-50 см; в метровом же слое почвы положительное влияние поживной сидерации на запас доступной влаги к посеву подсолнечника проявилось только при плоскорезной обработке, при проведении обработки дисковым орудием и вспашке сформированный к этому времени запас доступной влаги был значительно меньше (на 2,0...9.5 мм).

Таблица 11 – Запас доступной влаги в почве перед посевом подсолнечника в зависимости от приема биологизации и основной обработки почвы (2011-2016 гг., опыт 1)

Приемы биологизации и основной обработки почвы		Запас доступной влаги (мм) по слоям почвы		
		0-30 см	0-50см	0-100см
Фон* (контроль)	вспашка	34,8	70,6	164,1
Фон + Сид		38,7	74,2	154,6
+/-		3,9	3,6	-9,5
Фон	дисковая обработка	38,2	74,2	164,6
Фон + Сид		40,3	77,3	162,6
+/-		2,1	3,1	-2,0
Фон	плоскорезная обработка	39,5	75,5	172,7
Фон + Сид		40,3	80,3	176,0
+/-		0,8	4,8	3,3

Примечание: \* здесь и далее: Фон – пожнивно-корневые остатки и солома ячменя; Сид – пожнивная сидерация; +/- - отклонение от фона

Положительное влияние пожнивной редьки масличной на формирование к посеву подсолнечника запасов доступной влаги связано, по нашему мнению, во-первых, со снижением темпов испарения влаги с поверхности почвы благодаря ее затенению быстро развивающимся пожнивным сидератом, а во-вторых, с увеличением водопроницаемости почвы благодаря хорошо развитой корневой системе сидеральной культуры, выступающей как биологический дренаж, хорошо разрыхляющий почву и обеспечивающий передвижение влаги выпадающих осадков из верхних горизонтов в нижние.

В среднем за годы исследований запас доступной влаги в 30-сантиметровом слое почвы перед посевом подсолнечника можно охарактеризовать как удовлетворительный, а в слое 0-100 см – как хороший (пожнивная сидерация – вспашка) и очень хороший (по Вадюниной А.Ф. и Корчагиной З.А. [58]).

По вариантам обработки почвы наиболее высокий запас доступной влаги был сформирован при проведении безотвальных приемов. Замена отвального приема дискованием позволила увеличить запас доступной влаги в 30-сантиметровом слое на 1,6-3,4 мм, в полуметровом – на 3,1-3,6, в метровом слое – на 0,5-8 мм.

При проведении плоскорезной обработки прибавка показателя запаса доступной влаги по сравнению со вспашкой составила 1,6-4,7 мм в 30-сантиметровом слое почвы, 4,9-6,1 – в слое 0-50 см и 8,6-21,4 мм – в слое 0-100 см.

Формирование более низкого запаса доступной влаги на момент всходов подсолнечника при отвальной обработке почвы может быть связано с состоянием поверхности обрабатываемого слоя. Сильно гребнистая поверхность почвы в условиях недостаточного увлажнения и высоких атмосферных температур в осенний и весенний периоды приводит к существенным потерям влаги из всего почвенного профиля. Некоторые авторы утверждают, что причина – в снижении фильтрационной активности, связанной с увеличением глубины промерзания почвы в результате более высокой пористости. В результате при снеготаянии в порах почвы могут образовываться ледяные пробки, а на поверхности почвы – ледяная корка, приводящие к увеличению потерь влаги на поверхностный сток [234].

Формирование более высоких значений содержания доступной влаги при безотвальных обработках почвы связано с тем, что при их проведении в верхнем слое почвы и на ее поверхности скапливается достаточное количество растительных остатков. Это способствует снижению температуры поверхности почвы, накоплению снега, уменьшению глубины промерзания почвы, в результате происходит снижение потерь влаги весной на поверхностный сток и испарение [114]. Аналогичные выводы сделаны и другими исследователями, которые установили, что содержание доступной влаги в почве при плоскорезной обработке выше, чем при вспашке, что связано с дополнительным накоплением снега зимой [179, 375].

В течение вегетационного периода подсолнечника отмечалось снижение содержания доступной влаги по всему метровому слою (таблица 12). При этом следует отметить, что бинарные посевы подсолнечника способствовали более рациональному расходу влаги. Так, например, в слое почвы 0-100 см снижение содержания доступной влаги в зависимости от обработки почвы под одновидовым посевом подсолнечника составило 46,7-47,9 мм, на варианте с донником желтым – 42,1-44,5, а на варианте с люцерной синей – 27,6-37,9 мм.

Таблица 12 – Запас доступной влаги в почве под подсолнечником в зависимости от видов посева и приемов основной обработки почвы (2011-2016 гг., опыт 1)

Виды посева и приемы основной обработки почвы		Запас доступной влаги (мм) по слоям почвы								
		0-30 см			0-50 см			0-100 см		
		1	2	+/-	1	2	+/-	1	2	+/-
ОП* (контроль)	вспашка	34,8	32,1	-2,7	70,6	56,6	-14,0	164,1	116,9	-47,2
БП + Дж		37,5	30,6	-6,9	71,9	55,3	-16,6	157,2	112,7	-44,5
БП + Лс		39,9	37,1	-2,8	76,5	68,7	-7,8	152,0	124,4	-27,6
ОП	дисковая обработка	38,2	34,4	-3,8	74,2	58,5	-15,7	164,6	116,7	-47,9
БП + Дж		37,9	33,2	-4,7	72,5	59,8	-12,7	156,9	113,5	-43,4
БП + Лс		42,6	40,9	-1,7	82,0	72,5	-9,5	168,3	132,2	-36,1
ОП	плоскорезная обработка	39,5	33,9	-5,6	75,5	60,5	-15,0	172,7	126,0	-46,7
БП + Дж		41,7	37,4	-4,3	80,3	66,5	-13,8	177,9	135,8	-42,1
БП + Лс		38,8	37,6	-1,2	80,3	68,7	-11,6	174,1	136,2	-37,9

Примечание: \* здесь и далее расшифровку сокращений смотреть в схеме опыта;

\*\* 1 – всходы; 2 – полная спелость; +/- - отклонение от фазы всходы.

Аналогичная тенденция отмечается и в слое почвы 0-50 см: снижение содержания доступной влаги в почве наиболее ярко выражено под одновидовым посевом (исключение составляет бинарный посев с донником по варианту вспашки).

В слое 0-30 см более рациональным расходом доступной влаги в течение вегетационного периода характеризуется только бинарный посев подсолнечника с люцерной: расход составил 1,2-2,8 мм. Под бинарными посевами подсолнечника с донником отмечается наиболее высокое снижение данного показателя на 4,3-6,9 мм.

Таким образом, наиболее рациональным расходом доступной влаги характеризуется бинарный посев подсолнечника с люцерной синей.

Полученные данные относительно бинарного компонента донника существенно отличаются от результатов исследований, проведенных в условиях Ростовской области [4], согласно которым именно бинарный посев с донником желтым

характеризовался наименьшим расходом доступной влаги в слоях почвы 0-30 и 0-100 см к моменту полной спелости культуры.

Рациональность расхода доступной влаги в почве в течение вегетационного периода бинарных посевов подсолнечника связана с действием бобовых трав (рисунок 5).



Рисунок 5 – Бинарные посевы подсолнечника с многолетними бобовыми травами

В первый год своего развития они формируют мощную, глубоко проникающую корневую систему. В совокупности с заделанной в почву соломой ячменя и зеленой массой пожнивных сидератов корневая система бобовых трав принимает активное участие в создании рыхлого пахотного и подпахотного слоев почвы. Кроме того, интенсивное разложение сидеральной массы способствует увеличению пористости почвы, благодаря чему улучшается ее водопроницаемость и влагоемкость. Благодаря этому влага выпадающих летних осадков хорошо впитывается в почву и проникает в более глубокие слои, что обеспечивает снижение ее потерь на поверхностный сток и непродуктивное испарение [378].

Прекрасно развиваясь под покровом подсолнечника, бобовые травы быстро формируют вегетативную массу, благодаря чему осуществляется дополнительное затенение поверхности почвы. В результате такого затенения температура поверхности почвы снижается, почва меньше прогревается, потери влаги на непродуктивное испарение уменьшаются [378].

Годы исследований резко различались по увлажненности вегетационного периода: три года (2011, 2014, 2015) были слабозасушливыми и засушливыми и три года (2012, 2013, 2016) – избыточно влажными.

Анализ динамики запасов доступной влаги в почве в различные по увлажненности годы показал, что в условиях засушливого вегетационного периода вариант с донником желтым характеризовался наибольшим расходом доступной влаги, который составил в слое почвы 0-30 см – 2,6-6,1 мм, в слое почвы 0-50 см – 7,6-12,1 мм, в метровом слое почвы – 26,4-33,3 мм. Наименьший расход отмечался под бинарным посевом с люцерной – соответственно 1,0-1,2 мм; 3,6-3,8 мм и 20,2-27,3 мм. И только на контрольном варианте (одновидовой посев подсолнечника – вспашка) в засушливые годы отмечена тенденция увеличения содержания влаги в почве на 1,1 мм (таблица 13).

В годы с избыточной увлажненностью вегетационного периода расход доступной влаги был более выражен по сравнению с засушливыми годами (таблица 14).

При этом под одновидовым посевом подсолнечника расход составил по вариантам обработки почвы 4,9-9,8 мм в 30-сантиметровом слое почвы, 21,3-26,2 – в слое почвы 0-50 см и 56,5-63,8 мм – в метровом слое почвы; на варианте с донником – соответственно 2,6-6,1; 7,6-12,1 и 26,4-33,3 мм. Как и в засушливые годы, более выраженной рациональностью расхода доступной влаги характеризовался бинарный посев подсолнечника с люцерной синей – 1,0-1,2; 3,6-4,0 и 20,2-27,3 мм.

Таким образом, бинарный посев подсолнечника с люцерной синей как в засушливых, так и в избыточно увлажненных условиях вегетационного периода, а также в среднем за годы исследований характеризуется формированием благоприятных условий для экономного расходования доступной влаги.

Таблица 13 – Запас доступной влаги в почве под подсолнечником  
в зависимости от видов посева и приемов основной обработки почвы  
(засушливые годы, опыт 1)

Виды посева и приемы основной обработки почвы		Запас доступной влаги (мм)							
		2011 г.		2014 г.		2015 г.		сред.	
		1*	2	1	2	1	2	1	2
Слой почвы 0-30 см									
ОП (контроль)	вспашка	35,7	45,9	31,6	26,1	27,9	26,3	31,7	32,8
БП + Дж		45,9	37,3	35,9	27,6	29,2	27,8	37,0	30,9
БП + Лс		29,8	36,0	35,4	28,7	32,1	29,0	32,4	31,2
ОП	дисковая обработка	44,7	40,9	33,3	28,7	28,5	28,8	35,5	32,8
БП + Дж		44,8	38,7	37,1	28,5	30,1	28,7	37,3	32,0
БП + Лс		43,3	45,5	38,2	32,9	33,5	33,2	38,3	37,2
ОП	плоско- резная обработка	41,2	39,5	38,2	35,0	34,1	35,2	37,8	36,6
БП + Дж		41,5	36,0	38,7	36,8	35,6	35,2	38,6	36,0
БП + Лс		40,0	49,3	43,6	33,2	35,4	33,7	39,7	38,7
Слой почвы 0-50 см									
ОП (контроль)	вспашка	61,2	70,0	61,3	48,8	55,3	48,9	59,3	55,9
БП + Дж		81,0	57,7	61,2	51,0	54,3	51,4	65,5	53,4
БП + Лс		57,5	61,1	64,1	53,6	58,6	54,1	60,1	56,3
ОП	дисковая обработка	78,3	61,5	64,4	53,6	56,9	53,9	66,5	56,3
БП + Дж		76,4	58,3	63,6	54,7	57,7	54,9	65,9	56,0
БП + Лс		76,5	72,8	66,5	59,3	61,1	59,9	68,0	64,0
ОП	плоско- резная обработка	78,2	67,0	67,1	63,8	60,9	64,2	68,7	65,0
БП + Дж		76,5	58,6	70,8	67,2	65,4	64,2	70,9	63,3
БП + Лс		73,6	79,4	75,8	62,1	65,7	62,8	71,7	68,1
Слой почвы 0-100 см									
ОП (контроль)	вспашка	190,0	121,2	128,0	102,3	115,1	102,4	144,4	108,6
БП + Дж		171,5	98,3	124,8	105,0	113,3	106,3	136,5	103,2
БП + Лс		114,7	75,1	135,8	108,6	125,0	109,9	125,2	97,9
ОП	дисковая обработка	210,8	127,6	133,2	109,2	120,0	109,6	154,7	115,5
БП + Дж		140,5	78,6	136,0	116,0	124,9	116,5	133,8	103,7
БП + Лс		153,4	104,8	142,0	119,9	131,3	121,0	142,2	115,2
ОП	плоско- резная обработка	198,7	136,6	148,9	128,5	135,6	129,3	161,1	131,5
БП + Дж		195,9	128,0	142,7	131,7	132,0	131,8	156,9	130,5
БП + Лс		182,9	143,2	148,9	130,1	133,4	131,3	155,1	134,9

Примечание: \* 1 – всходы; 2 – полная спелость.

По сравнению с контрольным вариантом в среднем за годы исследований лучшим является вариант совместного посева подсолнечника и люцерны синей при проведении отвальной обработки почвы, где было отмечено наиболее рациональное расходование влаги (снижение показателя по слоям почвы 0-50 и 0-100 см составило соответственно 7,8 и 27,6 мм при значениях контроля 14,0 и 47,2 мм). Данная тенденция характерна и для вегетационных периодов, характеризующихся избыточной увлажненностью. В засушливые же годы преимущество в рациональности расходования доступной влаги за вегетационный период совместного посева подсолнечника с люцерной отмечается только в слое 0-100 см по фону плоскорезной обработки: -20,2 мм при значениях контроля -35,8 мм; в 30-сантиметровом слое почвы и в слое 0-50 см бинарный посев преимущества не имел.

В засушливые годы безотвальные приемы обработки почвы обеспечивали более рациональный расход доступной влаги в течение вегетационного периода подсолнечника.

Таблица 14 – Запас доступной влаги в почве под подсолнечником в зависимости от видов посева и приемов основной обработки почвы (избыточно влажные годы, опыт 1)

Виды посева и приемы основной обработки почвы		Запас доступной влаги (мм)							
		2012 г.		2013 г.		2016 г.		сред.	
		1*	2	1	2	1	2	1	2
Слой почвы 0-30 см									
ОП (контроль)	вспашка	46,4	25,6	36,4	40,7	30,6	27,8	37,8	31,4
БП + Дж		48,2	30,7	32,7	36,0	32,8	24,4	37,9	30,4
БП + Лс		48,1	34,9	58,0	64,3	36,1	29,7	47,4	43,0
ОП	дисковая обработка	42,9	25,1	48,5	52,4	31,2	30,6	40,9	36,0
БП + Дж		44,6	28,8	40,7	45,9	30,3	28,7	38,5	34,5
БП + Лс		50,7	36,3	56,9	67,3	33,0	30,1	46,9	44,6
ОП	плоскорезная обработка	51,0	19,1	40,8	44,3	31,6	30,5	41,1	31,3
БП + Дж		49,8	33,8	49,5	51,5	34,9	31,3	44,7	38,9
БП + Лс		50,5	36,4	36,3	40,6	26,7	32,4	37,8	36,5

Продолжение таблицы 14									
Слой почвы 0-50 см									
ОП (контроль)	вспашка	93,1	35,7	71,8	81,7	80,8	54,6	81,9	57,3
БП + Дж		90,2	50,8	61,2	66,3	83,6	54,8	78,3	57,3
БП + Лс		86,9	60,4	106,4	127,8	85,2	55,3	92,8	81,2
ОП	дисковая обработка	80,1	31,4	87,5	94,2	78,0	56,2	81,9	60,6
БП + Дж		79,7	46,1	77,4	87,4	80,3	57,1	79,1	63,5
БП + Лс		97,2	58,6	104,3	125,6	86,4	58,5	96,0	80,9
ОП	плоскорезная обработка	94,3	31,8	83,0	89,0	69,2	47,3	82,2	56,0
БП + Дж		93,4	54,5	92,5	95,5	83,3	59,2	89,7	69,7
БП + Лс		99,0	56,5	80,1	89,2	87,4	62,0	88,8	69,2
Слой почвы 0-100 см									
ОП (контроль)	вспашка	212,4	58,4	181,0	208,9	158,3	108,2	183,9	125,2
БП + Дж		226,4	92,4	157,5	174,2	149,6	99,7	177,8	122,1
БП + Лс		195,9	101,2	204,1	248,6	136,2	102,9	178,7	150,9
ОП	дисковая обработка	175,0	62,0	184,5	201,1	164,0	90,8	174,5	118,0
БП + Дж		187,6	64,7	174,2	199,2	178,3	106,1	180,0	123,3
БП + Лс		225,0	108,7	188,1	230,6	170,0	108,4	191,5	149,2
ОП	плоскорезная обработка	208,1	66,3	183,1	200,2	161,5	94,8	184,2	120,4
БП + Дж		225,1	110,6	199,0	210,4	172,4	102,1	198,8	141,0
БП + Лс		216,5	96,0	189,0	216,3	173,7	100,0	193,1	137,4

Примечание: \* 1 – всходы; 2 – полная спелость.

Наименьший расход был по фону плоскорезной обработки: для слоев 0-30, 0-50 и 0-100 см соответственно 1,0...2,6 мм, 3,6-7,6 и 20,2-29,6 мм. На вариантах отвальной обработки почвы расход протекал наиболее интенсивно: до 6,1 мм – в 30-сантиметровом слое почвы, 3,4-12,1 мм – в слое 0-50 см и 27,3-35,8 мм – в метровом слое почвы (таблица 15).

Данное наблюдение могло быть связано с уменьшением потерь влаги конвекционно-диффузными токами. Заделка растительных остатков в верхний слой почвы (дискование) и формирование мульчирующего слоя на поверхности почвы (плоскорезная обработка) способствовали уменьшению непродуктивного расхода влаги как почвой, так и растениями.

В избыточно увлажненные вегетационные периоды преимущество имела отвальная обработка почвы, по фону которой запасы доступной влаги в слоях почвы 0-50 и 0-100 см снижались менее интенсивно.

Таблица 15 – Динамика запаса доступной влаги при различных приемах основной обработки почвы в зависимости от увлажненности вегетационного периода (опыт 1)

Приемы обработки почвы	Динамика запаса доступной влаги (мм) в течение вегетационного периода по слоям почвы (см)								
	Засушливые годы (2011, 2014, 2015)			Избыточно влажные годы (2012, 2013, 2016)			Среднее за 2011-2016 гг.		
	0-30	0-50	0-100	0-30	0-50	0-100	0-30	0-50	0-100
Вспашка	1,1	-3,4	-27,3	-4,4	-11,6	-27,8	-2,7	-7,8	-27,6
	...	...	...	...	...	..	...	...	...
	-6,1	-12,1	-35,8	-7,5	-24,6	-58,7	-6,9	-16,6	-47,2
Дисковая обработка	-1,1	-4,0	-27,0	-2,3	-15,1	-42,3	-1,7	-9,5	-36,1
	...	...	...	...	...	...	...	...	...
	-5,3	-10,2	-39,2	-4,9	-21,3	-56,7	-4,7	-15,7	-47,9
Плоскорезная обработка	-1,0	-3,6	-20,2	-1,3	-19,6	-55,7	-1,2	-11,6	-37,9
	...	...	...	...	...	...	...	...	...
	-2,6	-7,6	-29,6	-9,8	-26,2	-63,8	-5,6	-15,0	-46,7

В среднем за годы исследований, характеризующиеся перепадами температур и количества выпадающих осадков, резких различий между вариантами обработки почвы не проявляется. Так, например, в отношении рациональности расхода запасов доступной влаги в 30-сантиметровом слое почвы более предпочтительны безотвальные приемы обработки почвы (дисковая и плоскорезная), в слое почвы 0-50 см наименьшим снижением запасов характеризуется плоскорезная обработка почвы, а в слое почвы 0-100 см – преимущество остается за вспашкой.

Как мы видим из представленных таблиц, проведение дисковой обработки на глубину 10-12 см (мелкая обработка) в засушливые годы исследований характеризуется интенсивным снижением запасов доступной влаги в почве по всем слоям (например, в метровом слое почвы снижение запасов достигает 27,0-39,2 мм). В избыточно увлажненные годы дисковая обработка имела преимущество перед

плоскорезной, но уступала отвальной, а вот в среднем за годы исследований она занимала промежуточное положение между вспашкой и плоскорезной обработкой.

К концу вегетационного периода посевы подсолнечника с проведением безотвальной обработки почвы характеризуются более высокими по сравнению со вспашкой запасами доступной влаги, как в 30-сантиметровом слое (на 0,5-6,8 мм) и в слое почвы 0-50 см (на 0,1-11,2 мм), так и в слое 0-100 см (на 0,8-23,1 мм).

В целом провести оценку существенности влияния почвообрабатывающих приемов на запасы и динамику доступной влаги довольно затруднительно, потому что данные показатели зависят не только от проводимых агроприемов, но и от многих других факторов: от количества выпадающих осадков, температуры, скорости фильтрации, гранулометрического состава почвы, уровня грунтовых вод, вододерживающей способности почвы и т.д. Обеспечить формирование высоких запасов влаги в почве и рациональность ее расхода только основной обработкой почвы практически невозможно, поэтому и не вызывают сомнений порой абсолютно противоречивые результаты многочисленных исследований в данном направлении [5, 94, 214, 260, 287, 336, 385]. В этом случае целесообразнее искать и разрабатывать пути лучшего сохранения и рационального расходования влаги при помощи комплекса различных факторов [287].

Влияние бинарного компонента подсолнечника положительно отразилось на формировании запаса доступной влаги к полной спелости культуры. При проведении сравнительного анализа было установлено, что в среднем за период исследований не зависимо от приема почвообработки под бинарными посевами подсолнечника с люцерной синей в фазе полной спелости культуры отмечается формирование более высокого запаса доступной влаги, чем под его одновидовыми посевами:

- в слое почвы 0-30 см: на 3,7 мм – при плоскорезной обработке, на 5,0 мм – при вспашке и на 6,5 мм – при дисковании;
- в слое почвы 0-50 см: соответственно на 8,2, 12,1 и 14,0 мм;
- в метровом слое почвы: соответственно на 10,2, 7,5 и 15,5 мм.

Применение в совместном посеве донника способствовало формированию к моменту завершения периода вегетации основной культуры более высокого запаса

доступной влаги в слоях почвы 0-30 и 0-100 см только по фону плоскорезной обработки почвы (+3,5 и +9,8 мм соответственно), тогда как по фону остальных изучаемых приемов отмечалось формирование более низкого в сравнении с одновидовым посевом запаса доступной влаги. В полуметровом слое почвы более низкий запас отмечался только по вспашке (-1,3 мм).

Таким образом, совместный посев подсолнечника и люцерны синей по фону всех изучаемых приемов основной обработки почвы обеспечивает в фазе полной спелости основной культуры формирование более высокого по сравнению с контролем запаса доступной влаги: в 30-сантиметровом слое почвы превышение составило 5,0-8,8 мм, в слое 0-50 см – 12,1-15,9, в метровом слое – 7,5-19,3 мм. Кроме того, совместный посев пропашной культуры и люцерны при проведении в качестве основного приема отвальной обработки характеризуется также рациональностью расхода влаги.

На следующий год возделываемые в смешанном посеве многолетние травы формируют занятые пары – предшественники озимой пшеницы (рисунок 6).



Рисунок 6 – Паровые поля, занятые многолетними бобовыми травами

Одним из основных условий, лежащих в выборе предшественника для озимой пшеницы, является раннее освобождение поля, обеспечивающее возможность формирования оптимальных параметров почвенного плодородия.

В наших исследованиях в качестве предшественников для озимой пшеницы выступали чистый, занятый и сидеральный пары. Произрастающие на полях культуры были второго года жизни и предназначались как для получения корма для животных (люцерна синяя, размещаемая в поле занятого пара), так и для использования в качестве органического удобрения (донник желтый в сидеральном пару).

Парозанимающие культуры являются многолетними бобовыми травами, которые в первый год своей жизни произрастают под покровом подсолнечника и выполняют роль его бинарных компонентов. В этот период отмечается интенсивное развитие подземной фитомассы растений, формирование глубоко проникающей стержневой корневой системы, играющей важную роль в обеспечении растений доступной влагой и основными элементами питания.

Изучаемые культуры достигают соответствующей целям спелости в одинаковые сроки, что позволяет проводить их сравнение в отношении влияния на отдельные показатели почвенного плодородия.

Запасы доступной влаги к посеву озимой пшеницы определяются количеством выпавших осадков, а также их расходом на транспирацию произрастающих растений, испарение и поверхностный сток.

Как уже отмечалось, запасы влаги в почве формируются в основном за счет осадков холодного периода. Нашими исследованиями установлено, что к началу весенней вегетации бобовых трав в занятом и сидеральном парах по сравнению с чистым паром были сформированы более высокие запасы доступной влаги в слоях почвы 0-30 и 0-50 см (таблица 16), что связано, по нашему мнению, с увеличением водопроницаемости почвы в период весеннего снеготаяния в результате меньшего ее промерзания за счет дополнительного снегозадержания растениями бобовых трав.

В то же время в слое почвы 0-100 см на занятых парах содержание доступной влаги было или на уровне чистого пара (занятый пар) или меньше (сидеральный

пар), что связано, скорее всего, с потреблением растениями многолетних трав влаги именно из глубоких слоев почвы.

Таблица 16 – Запасы доступной влаги в паровых полях (2011-2016 гг., опыт 1)

Виды пара	Содержание доступной влаги (мм) в слое почвы								
	0-30 см			0-50 см			0-100 см		
	1*	2	3	1	2	3	1	2	3
Чистый пар	39,8	40,3	36,3	74,4	61,9	68,1	161,4	142,7	143,6
Сидеральный пар	40,8	27,9	30,0	76,3	50,1	56,1	154,9	114,0	121,7
Занятый пар	41,5	32,6	30,2	77,4	61,2	62,1	161,8	140,9	136,3

Примечание: \*1 – весеннее отрастание трав; 2 – цветение трав; 3 – перед посевом озимой пшеницы.

В течение вегетационного периода по всем изучаемым вариантам зафиксировано сокращение запасов доступной влаги к посеву озимой пшеницы, при этом под сидеральным и занятым паром оно было более выраженным. Если в чистом пару запас доступной влаги к посеву озимой пшеницы сократился по слоям почвы 0-30, 0-50 и 0-100 см соответственно на 3,5; 6,3 и 17,8 мм, то в сидеральном пару – на 10,8; 20,2 и 33,2 мм, а в занятом пару – на 11,3; 15,3 и 25,5 мм. Бесспорно, это было связано с повышением расхода влаги из почвы на потребление бобовыми травами.

Рассмотрим вегетационный период в два этапа: первый – до заделки в почву сидеральной культуры и скашивания люцерны, а второй – от момента проведения данных операций и до посева озимой пшеницы.

Исследования показали, что действительно, при произрастании бобовых трав на полях запасы доступной влаги снижались интенсивнее, чем на чистом пару, где основная причина – это испарение с поверхности почвы. Так, в слое почвы 0-30 см в поле чистого пара запас доступной влаги за рассматриваемый период практически не изменился, в слое почвы 0-50 см снизился на 12,5 мм, а в метровом слое почвы – уменьшился на 18,7 мм. Под бобовыми же травами снижение отмечалось по всем слоям почвы и составило 8,9-12,9 мм в слое 0-30 см, 16,2-26,2 – в слое 0-

50 см и 20,9-40,9 мм – в слое 0-100 см. При этом более выражено данное снижение было под донником желтым.

После уборки парозанимающей сидеральной культуры (заделка донника в почву) расход влаги на транспирацию растением прекращается, но увеличивается расход влаги на испарение. Второй этап приходится на самое теплое время вегетационного периода, на наиболее напряженный в отношении гидротермических условий период. Выпадающие в это время осадки часто имеют вид кратковременных ливней и на фоне высоких температур воздуха большей частью испаряются с поверхности почвы. Однако на вариантах чистого и сидерального пара отмечалось накопление доступной влаги в полуметровом и метровом слоях почвы: в поле чистого пара оно составило 6,2 и 0,9 мм, в сидеральном пару – 6,0 и 7,7 мм. При этом в сидеральном пару прибавка была отмечена и в слое 0-30 см – 2,1 мм.

Занятый же пар, в котором продолжала вегетацию люцерна синяя, характеризовался незначительным увеличением запасов доступной влаги в слое почвы 0-50 см (0,9 мм) и его снижением в слоях почвы 0-30 (на 2,4 мм) и 0-100 см (на 4,6 мм).

Рассмотрим динамику доступной влаги в почве в зависимости от сложившихся агроклиматических условий (таблица 17).

Таблица 17 – Запасы доступной влаги в паровых полях в зависимости от увлажненности вегетационного периода (опыт 1)

Виды пара	Динамика запаса доступной влаги (мм) в течение вегетационного периода по слоям почвы					
	Засушливые годы (2011, 2014, 2015)			Избыточно влажные годы (2012, 2013, 2016)		
	0-30 см	0-50 см	0-100 см	0-30 см	0-50 см	0-100 см
Чистый пар	<u>-11,6*</u>	<u>-23,3</u>	<u>-49,7</u>	<u>1,8</u>	<u>1,6</u>	<u>-5,0</u>
	4,3	13,7	33,9	-9,1	14,3	20,8
Сидеральный пар	<u>-19,8</u>	<u>-31,4</u>	<u>-53,7</u>	<u>-14,8</u>	<u>-24,6</u>	<u>-33,4</u>
	2,4	1,7	5,2	16,7	28,0	41,0
Занятый пар	<u>-15,3</u>	<u>-27,2</u>	<u>-38,7</u>	<u>-8,4</u>	<u>-7,2</u>	<u>-12,0</u>
	5,6	7,2	-10,8	8,5	18,1	39,6

Примечание: \*над чертой – динамика на первом этапе; под чертой – динамика на втором этапе.

На первом этапе (от начала весенней вегетации бобовых трав до их цветения) при засушливых условиях отмечается снижение запасов доступной влаги в почве на всех вариантах. Аналогичная, но менее выраженная тенденция, отмечается в занятом и сидеральном пару и при избыточно увлажненном вегетационном периоде; чистый пар характеризуется увеличением запасов доступной влаги в слоях почвы 0-30 см (на 1,8 мм) и 0-50 см (на 1,6 мм), в метровом же слое почвы значение рассматриваемого показателя снижается.

В течение второго условного этапа (от заделки в почву донника желтого и первого укоса люцерны синей до посева озимой пшеницы) и в засушливые, и в избыточно увлажненные годы отмечалось увеличение запасов доступной влаги в почве на всех вариантах. При этом в засушливых условиях наиболее выраженным накоплением влаги характеризовался чистый пар: прибавка составила 4,3 (слой почвы 0-30 см) – 33,9 (слой почвы 0-100 см) мм. Возделывание люцерны синей в занятом пару характеризовалось уменьшением показателя обеспеченности доступной влагой метрового слоя почвы на 10,8 мм, что связано с интенсивным потреблением влаги этой культурой из глубоких слоев почвы.

В избыточно увлажненные годы наиболее выраженное накопление доступной влаги было характерно для сидерального пара (от 16,7 мм в слое 0-30 см до 41,0 мм в слое 0-100 см): заделка в почву растительных остатков и биологическое разрыхление почвы корневой системой донника позволили увеличить водопроницаемость почвы, что снизило потери на непродуктивное испарение с поверхности почвы. Менее выраженное накопление доступной влаги в поле занятого пара (8,5-39,6 мм) связано с потреблением влаги продолжающей вегетацию люцерной синей. Чистый пар характеризовался наименьшим увеличением запасов доступной влаги в слоях почвы 0-50 и 0-100 см (соответственно 14,3 и 20,8 мм) и ее снижением в 30-сантиметровом слое (на 9,1 мм), что объясняется высокими темпами испарения с поверхности почвы.

Было установлено, что при избыточно влажных периодах вегетации независимо от предшественника озимой пшеницы запасы доступной влаги в метровом слое почвы перед посевом зерновой культуры характеризовались как хорошие, при

засушливых условиях преимущество было за чистым паром, а в среднем за годы исследований снижение запасов до удовлетворительного уровня было отмечено только по сидеральному пару (таблица 18).

Таблица 18 – Запасы доступной влаги в паровых полях  
(перед посевом озимой пшеницы, опыт 1)

Виды пара	Запас доступной влаги (мм) по слоям почвы					
	Засушливые годы (2011, 2014, 2015)			Избыточно влажные годы (2012, 2013, 2016)		
	0-30 см	0-50 см	0-100 см	0-30 см	0-50 см	0-100 см
Чистый пар	31,7	58,4	137,3	40,9	77,8	149,7
Сидеральный пар	24,2	45,7	111,7	35,8	66,7	131,7
Занятый пар	27,4	53,3	125,1	32,9	70,8	147,5

В слое почвы 0-30 см запас доступной влаги был удовлетворительным только в среднем за 2011-2016 гг. и в избыточно увлажненные годы, при засушливых условиях он был неудовлетворительным, причем по всем изучаемым вариантам.

Таким образом установлено, что формирование и динамика запаса доступной влаги под различными парами имели свои особенности. В чистом пару снижение весенних запасов доступной влаги в почве к посеву озимой пшеницы связано с непродуктивными потерями на испарение в течение всего периода парования; в сидеральном пару расход доступной влаги связан как с потреблением парозанимающей культурой, так и с последующим непродуктивным испарением (часть вегетационного периода); в занятом пару (люцерна синяя) непродуктивное испарение сведено до минимума: травостой люцерны обеспечивает снижение скорости движения приземного слоя воздуха с одновременным увеличением его влажности и понижением температуры поверхности почвы. Замена чистого пара на сидеральный и занятый позволяет формировать в почве удовлетворительный запас доступной влаги и обеспечивает рациональный ее расход в течении вегетационного пери-

ода. Установленная особенность формирования неудовлетворительного запаса доступной влаги в 30-сантиметровом слое почвы в засушливые годы не должна вызывать желания отказа от занятых паров, т.к. засушливость вегетационного периода изменчива как во времени, так и в пространстве.

Возобновление весенней вегетации озимой пшеницы в ЦЧР приходится на апрель. В этот период запасы доступной влаги в почве имеют важное значение для активизации ростовых процессов и дружного прохождения растениями основных фаз развития. Но критический период у озимой пшеницы в отношении дефицита влаги приходится на фазы выход в трубку – колошение, поэтому очень важно обеспечить рациональный расход доступной влаги под посевами озимой зерновой культуры в течение ее вегетационного периода.

Рациональностью расхода доступной влаги характеризуются посевы озимой пшеницы, идущей по сидеральному пару, а также ее бинарные посевы с люцерной. В целом за вегетационный период культуры запасы доступной влаги в слоях почвы 0-30, 0-50 и 0-100 см на этих вариантах сократились соответственно на 7,7-8,4 мм, 15,0 и 39,2-47,5 мм, в то время как по фону чистого пара – на 13,6, 23,4 и 64,1 мм (таблица 19).

Таблица 19 – Запасы доступной влаги под посевами озимой пшеницы в зависимости от видов пара (2011-2016 гг., опыт 1)

Виды пара	Запас доступной влаги (мм) по слоям почвы								
	0-30 см			0-50 см			0-100 см		
	1*	2	3	1	2	3	1	2	3
Чистый пар	36,3	37,2	22,7	66,1	68,4	42,7	160,7	131,9	96,6
Сидеральный пар	31,5	37,1	23,1	58,3	70,7	43,3	137,3	133,2	98,1
Занятый пар	32,6	36,3	24,9	61,5	67,1	46,5	145,2	132,3	97,7

Примечание: \*1 – всходы озимой пшеницы; 2 – колошение-цветение; 3 – полная спелость.

В течение вегетационного периода от начала весеннего кушения до колошения – начала цветения отмечалось повышение запасов влаги в почве по всем вариантам: по фону сидерального и занятого пара – на 3,7-5,6 мм (слой 0-30 см) и 5,6-12,4 мм (слой 0-50 см); по фону чистого пара – на 0,9 и 2,3 мм. Затем запасы доступной влаги в почве стали сокращаться и к полной спелости культуры снизились на 11,4...14,5 и 20,6...27,4 мм, при этом более интенсивное снижение было характерно для посевов, идущих по чистому пару (рисунок 7).

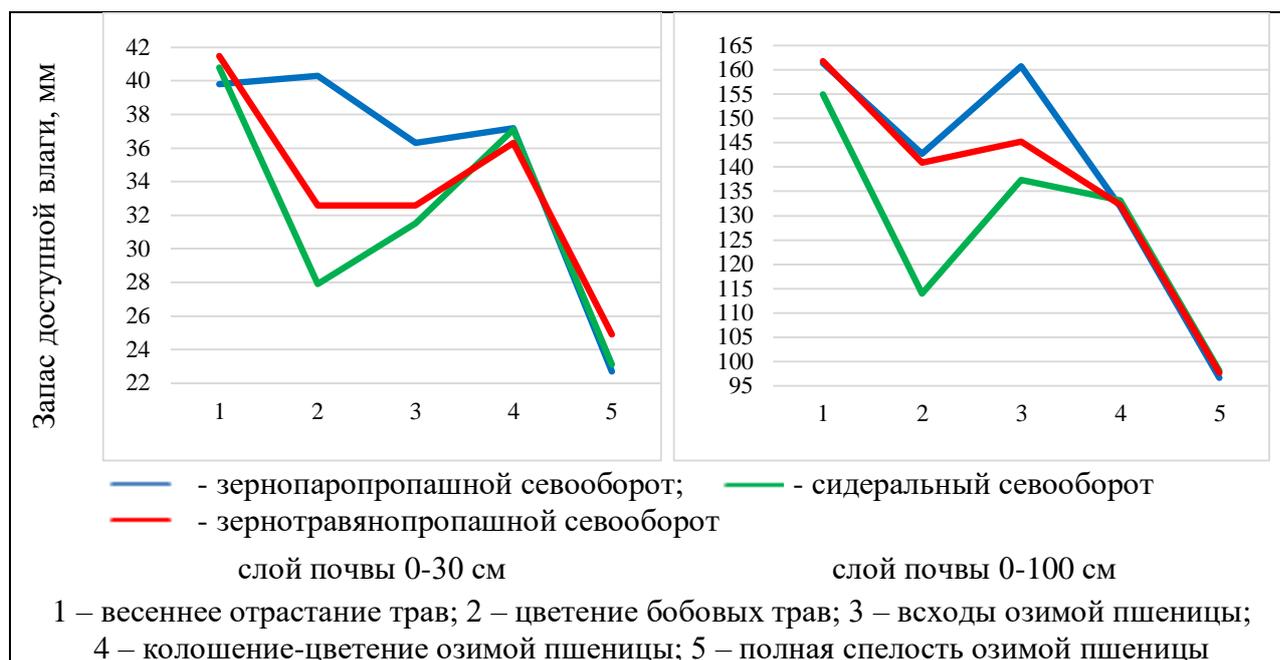


Рисунок 7 – Динамика запасов доступной влаги в звене пар – озимая пшеница в зависимости от видов севооборота (2011-2016гг., опыт 1)

В метровом слое почвы динамика запасов доступной влаги была отрицательной в течение всего вегетационного периода.

Анализ влагообеспеченности посевов озимой пшеницы показал, что сидеральный донниковый и занятый люцерной пары по накоплению доступной влаги к посеву озимой пшеницы и ее рациональному расходу в течение вегетационного периода не уступают чистому пару.

Благоприятное влияние бобовых трав на водный режим почвы проявляется и в их последствии под посевами ячменя, что прежде всего выражается в формировании более высокого запаса доступной влаги к фазе всходов яровой зерновой

культуры (таблица 20). Превышение показателя над значениями варианта без применения приемов биологизации составило 1,9-7,5 мм в слое почвы 0-30 см, 2,9-11мм – в слое почвы 0-50 см и 6,6-19 мм – в метровом слое почвы. При этом более высокое содержание доступной влаги было характерно для варианта севооборота с возделыванием люцерны синей.

Таблица 20 – Запасы доступной влаги под посевами ячменя в зависимости от видов севооборота (2011-2016 гг., опыт 1)

Виды севооборота	Содержание доступной влаги (мм) по слоям почвы								
	0-30 см			0-50 см			0-100 см		
	1*	2	3	1	2	3	1	2	3
Зернопаропропашной	38,4	28,1	20,0	74,5	30,5	41,2	165,4	32,0	97,1
Сидеральный	40,3	58,9	20,4	77,4	57,2	40,7	172,0	59,6	100,3
Зернотравянопропашной	45,9	121,6	22,3	85,5	115,8	44,0	184,4	127,0	108,0

Примечание: \*1 – всходы ячменя; 2 – колошение-цветение; 3 – полная спелость.

К концу вегетационного периода ячменя запасы доступной влаги в почве существенно снизились. Тем не менее, в критический период посева ячменя в биологизированных севооборотах были обеспечены доступной влагой в большем объеме: от всходов до колошения-цветения содержание доступной влаги под посевами зерновой культуры увеличилось на 18,6 и 75,7 мм в 30-сантиметровом слое почвы 0-30 см и на 30,3 мм в слое почвы 0-50 см (только на варианте с люцерной), тогда как на контроле динамика была отрицательной. Далее проходило интенсивное снижение содержания доступной влаги в почве, что не помешало формированию ее более высокого запаса и к концу периода вегетации культуры.

Анализ динамики запасов доступной влаги в зависимости от вида севооборота показал преимущество введения в них многолетних бобовых трав (рисунок 8 и рисунок 9).

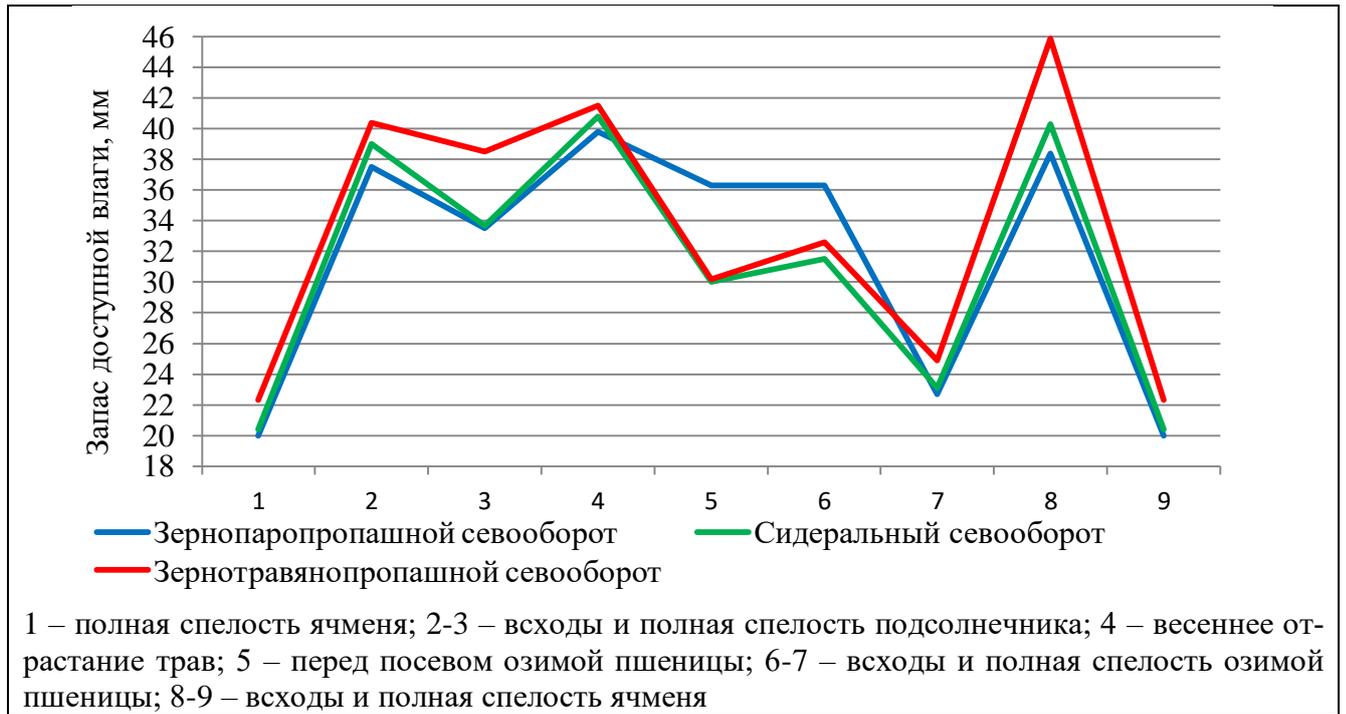


Рисунок 8 – Динамика запасов доступной влаги в слое почвы 0-30 см в течение вегетационного периода культур в зависимости от видов севооборота (2011-2016гг., опыт 1)

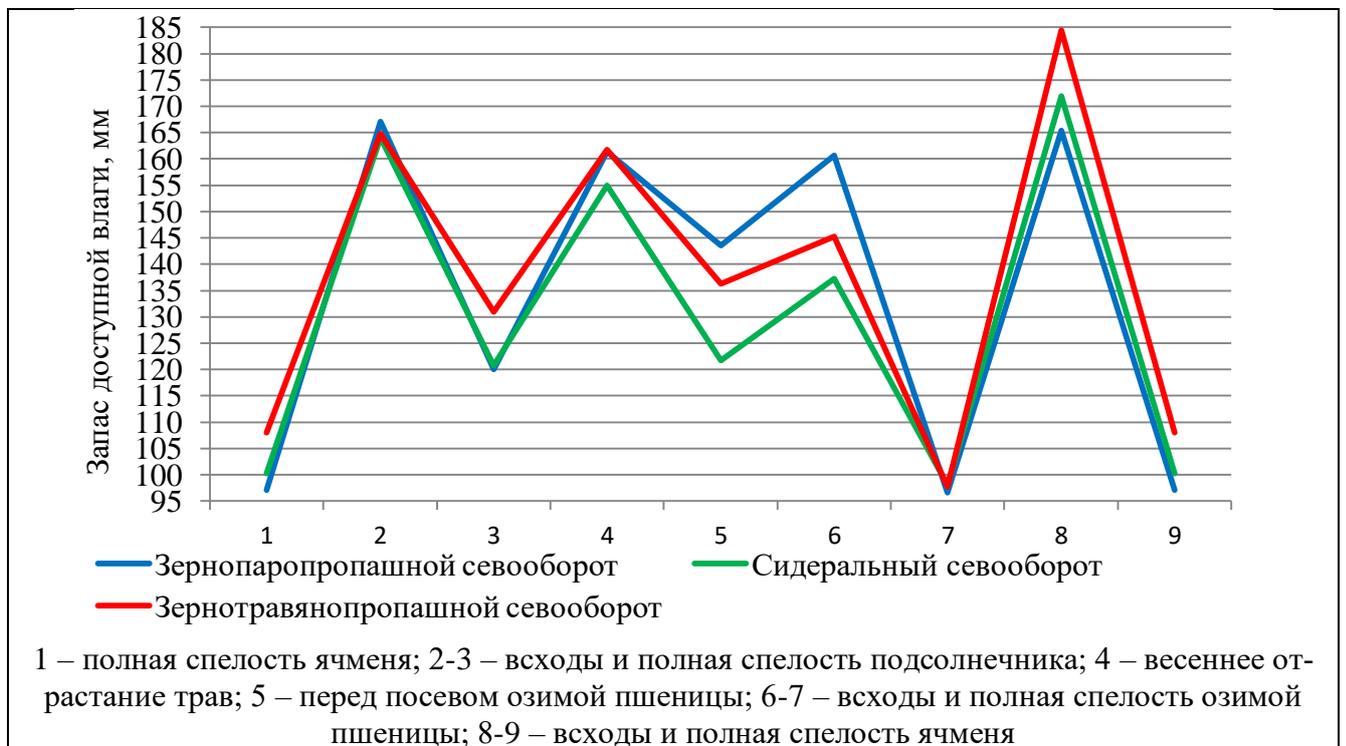


Рисунок 9 – Динамика запасов доступной влаги в слое почвы 0-100 см в течение вегетационного периода культур в зависимости от видов севооборота (2011-2016гг., опыт 1)

Формирование запасов доступной влаги в почве обеспечивается, в основном, за счет атмосферных осадков холодного периода и зависит от коэффициента их использования. Согласно представленной в таблице 21 сравнительной характеристике изучаемые виды севооборотов характеризуются одинаково низкими коэффициентами усвоения выпавших в межвегетационный период осадков – 0,13. Тем не менее, данный анализ позволяет сделать вывод, что севообороты с применением приемов биологизации обеспечивают улучшение водного режима почвы, т.к. рассчитанный коэффициент усвоения осадков почвой не содержит в себе расходы доступной влаги пожнивной сидерацией и продолжающими вегетацию после уборки подсолнечника многолетними травами.

Таблица 21 – Накопление осадков межвегетационного периода в слое почвы 0-100 см под культурами различных видов севооборотов (2011-2016 гг., опыт 1)

Культуры	Осад-ки, мм	Виды севооборота					
		зернопаропро-пашной		сидеральный		зернотравянопро-пашной	
		накопле-ние, мм	$K_{усв}$	накопле-ние, мм	$K_{усв}$	накопле-ние, мм	$K_{усв}$
Пар	311	41,4	0,13	34,2	0,11	30,9	0,10
Озимая пшеница	381	22,2	0,06	30,4	0,08	31,8	0,08
Ячмень	431	68,8	0,16	73,9	0,17	86,7	0,20
Подсолнеч-ник		56,0	0,13	61,0	0,14	73,0	0,17
в т.ч. по об-работке почвы	431	<u>67**</u> <u>67</u> <u>76</u>	<u>0,16</u> <u>0,16</u> <u>0,18</u>	<u>57</u> <u>57</u> <u>78</u>	<u>0,13</u> <u>0,13</u> <u>0,18</u>	<u>44</u> <u>60</u> <u>66</u>	<u>0,10</u> <u>0,14</u> <u>0,15</u>
В среднем	389	47,1	0,12	49,9	0,13	55,6	0,14

Примечание: \* $K_{усв}$  – коэффициент усвоения осадков почвой;

\*\* - вспашка / дисковая обработка / плоскорезная обработка.

По усвоению атмосферных осадков, выпавших в период от уборки предше-ственника до всходов подсолнечника, приемы обработки почвы расположились в следующем убывающем порядке: плоскорезная обработка – в среднем 17%, диско-

вая обработка – 14, вспашка – 13%. Данное наблюдение объясняется меньшей влагоудерживающей способностью почвы при проведении отвальной обработки, когда происходит интенсивное испарение влаги из более крупных некапиллярных пор.

Наиболее полное представление об эффективности использования влаги растениями дает коэффициент водопотребления (таблица 22).

Таблица 22 – Водопотребление культур в зависимости от видов севооборота и приемов основной обработки почвы (2011-2016 гг., опыт 1)

Вариант	Запас доступной влаги, мм		Сумма осадков за вегетацию, мм	Расход влаги за вегетацию, мм	Урожайность, т/га	Коэффициент водопотребления, м <sup>3</sup> /т
	Начало вегетации	Конец вегетации				
Пар (в занятом и сидеральном парах – до фазы массового цветения трав)						
ЗПП*	161,4	143,6	155,5	173,3	-	-
Сид	154,9	121,7		188,7	9,48	199
ЗТП	161,8	136,3		181,0	6,95	260
Озимая пшеница						
ЗПП	160,7	96,6	319,5	383,6	3,94	974
Сид	137,3	98,1		358,7	3,81	941
ЗТП	145,2	97,7		367,0	3,77	973
Ячмень						
ЗПП	165,4	97,1	200,2	268,5	3,01	892
Сид	172,0	100,3		271,9	3,14	866
ЗТП	184,4	108,0		276,6	3,45	802
Подсолнечник						
ЗПП	В*	164,1	346,7	393,9	2,77	1422
	Д	164,6		394,6	2,59	1523
	П	172,7		393,4	2,58	1525
Сид	В	157,2		391,2	2,87	1363
	Д	156,9		390,1	2,74	1424
	П	177,9		388,8	2,69	1445
ЗТП	В	152,0		374,3	3,03	1235
	Д	168,3		382,8	2,90	1320
	П	174,1		384,6	2,91	1322

Примечание: \*здесь и далее расшифровку сокращений смотреть в схеме опыта.

Замена отвальной обработки под подсолнечник на безотвальные приемы привела к увеличению коэффициента водопотребления масличной культуры на 7,1-

7,2% под одновидовыми посевами, на 4,5-6,0 – под бинарными с донником и на 6,9-7,0% – под бинарными с люцерной.

Приемы биологизации оказали положительное влияние на водопотребление культур. Так, по сравнению с контролем в биологизированных севооборотах расход влаги на формирование 1 т урожая был меньше: на 2,9-10,1% – у ячменя, на 5,5-13,3 – у подсолнечника, на 0,1-3,4% – у озимой пшеницы. При этом расход влаги в занятых парах был связан с формированием биомассы бобовых трав, используемой в дальнейшем как на кормовые цели, так и в качестве удобрения, в то время как в поле чистого пара – только с непродуктивными потерями.

Таким образом, применение комплекса приемов биологизации обеспечивает улучшение водного режима почвы как под отдельными культурами, так и в целом за ротацию севооборотов. Наиболее рациональный расход влаги на формирование 1 т урожая маслосемян обеспечивает совместный посев подсолнечника и люцерны при проведении в качестве основной обработки вспашки.

### **3.1.2. Структура почвы и ее водопрочность**

При регулировании направленности почвенных процессов и формировании оптимальных условий для активной деятельности почвенных микроорганизмов особое внимание уделяется агрофизическим свойствам почвы, одним из важнейших показателей которых является структурно-агрегатный состав. Значение данного показателя в формировании плодородия почвы трудно переоценить: от него во многом зависят воздушный, водный, температурный, пищевой и другие режимы почв, водопроницаемость и водоудерживающая способность, биологическая активность почвы и т.д. [221]. В почвах с хорошо выраженной макроструктурой устраняется антагонизм между почвенными воздухом и влагой, что благоприятно отражается на протекании микробиологических процессов.

Структура почвы довольно динамична и зависит от многих факторов, обеспечивающих как ее формирование, так и разрушение, при этом все эти факторы в полевых условиях действуют одновременно. В зависимости от преобладания той или иной группы факторов происходит улучшение или разрушение структуры почвы.

С агрономической точки зрения наиболее ценной является мелкокомковато-зернистая структура, обеспечивающая создание в почве оптимальных условий для роста и развития растений.

Важнейшее значение в формировании структуры почвы в полевых севооборотах имеет возделываемая культура, которая может оказывать на этот процесс как прямое влияние (физическое разъединение почвенных частиц корневыми системами), так и косвенное (стимулирование почвенной микробиоты) [372]. Кроме того, непосредственное влияние на структурно-агрегатный состав оказывают и приемы основной обработки почвы. Поэтому одной из задач исследования является поиск методов по регулированию и оптимизации структурно-агрегатного состава почвы, т.е. поиск методов, обеспечивающих ограничение разрушающих структуру факторов и активизацию ее улучшающих.

Одним из эффективных приемов улучшения физических свойств почвы является введение в полевые севообороты многолетних бобовых трав [405], которые, развивая мощную, глубоко проникающую корневую систему, разуплотняют подпахотный горизонт, разрыхляют почву, способствуя формированию агрегатов различного размера. Например, благодаря определенному направлению роста корневых систем растений образуются агрегаты размером более 3 мм (корневой тип структурообразования); в зоне распределения корневых волосков формируются агрегаты размером 0,5-2 мм (ризосферный тип структурообразования). Кроме того, в зоне ризосферы формируются специфические сообщества почвенных микроорганизмов, продукты метаболизма которых способствуют оструктурированию почвы [360, 393].

Одной из изучаемых культур севооборотов является подсолнечник – пропашная культура, характеризующаяся высокими темпами минерализации органического вещества в силу технологии возделывания (коэффициент минерализации 0,0108 [121]), в результате чего темпы разрушения структуры почвы под его одновидовыми посевами преобладают над ее формированием, что выражается в снижении коэффициента структурности ( $K_{стр}$ ) в среднем на 0,49 единиц (таблица 23).

Таблица 23 – Коэффициент структурности почвы под культурами севооборотов в зависимости от видов севооборота (А) и приемов основной обработки почвы (В) (слой почвы 0-30 см, 2011-2016 гг., опыт 1)

Виды севооборота	Коэффициент структурности ( $K_{стр}$ )							
	Пар		Озимая пшеница		Ячмень		Подсолнечник	
	1*	2	1	2	1	2	1	2
Зернопаропропашной	2,14	1,96	2,30	2,11	1,75	1,48	<u>2,85</u> **	<u>2,22</u>
							<u>2,66</u>	<u>2,16</u>
							1,82	1,47
Сидеральный	2,50	2,68	2,64	2,83	2,43	2,70	<u>3,24</u>	<u>2,73</u>
							<u>2,84</u>	<u>2,38</u>
							2,27	2,10
Зернотравянопропашной	2,52	2,96	2,97	3,16	2,90	3,07	<u>2,67</u>	<u>2,29</u>
							<u>2,47</u>	<u>2,27</u>
							2,41	2,12
НСР <sub>05</sub>	0,14	0,13	0,20	0,20	0,12	0,15		
	зн.***	зн.	зн.	зн.	зн.	зн.		
Подсолнечник								
	всходы				полная спелость			
	F <sub>ф</sub>		НСР <sub>05</sub>		F <sub>ф</sub>		НСР <sub>05</sub>	
фактор А	1,17 (<F <sub>05</sub> )		0,67		2,76 (<F <sub>05</sub> )		0,56	
фактор В	5,37(>F <sub>05</sub> )		0,67		3,72(>F <sub>05</sub> )		0,56	
фактор А+В	0,72 (<F <sub>05</sub> )		0,82		0,60 (<F <sub>05</sub> )		0,69	

Примечание: \*1 – всходы (весеннее отрастание); 2 – полная спелость;

\*\* вспашка / дисковая обработка / плоскорезная обработка; \*\*\* зн. – влияние значимо

Наличие в зернопаропропашном севообороте чистого пара приводит к дальнейшему разрушению структуры слоя почвы 0-30 см (снижение коэффициента структурности – 0,18 единиц), причиной которого стала не только усиленная минерализация органического вещества (коэффициент минерализации 0,0140 [121]) в результате проведения агротехнических мероприятий по борьбе с сорной растительностью, но и разрушение структуры под действием ударов дождевых капель по незащищенной растительностью поверхности почвы, а также вытеснение из почвенно-поглощающего комплекса 2-валентных катионов кальция и магния аммиаком при поступлении его с осадками. При этом стоит отметить, что при выпадении

нии ливневых осадков, когда вода очень быстро проникает в почву, происходит заземление воздуха в агрегатах и их последующий разрыв в результате повышения внутриагрегатного давления.

Разрушением структуры почвы в зернопаропропашном севообороте характеризовались и посевы зерновых культур: озимой пшеницы ( $K_{стр}$  уменьшился на 0,19 единиц) и ячменя (снижение  $K_{стр}$  составило 0,27 единиц).

В результате за шестилетний период коэффициент структурности под посевами зернопаропропашного севооборота снизился на 0,96 единиц.

Однако структура почвы в севооборотах при наличии в них пропашных культур и паровых полей может поддерживаться в оптимальном состоянии при усилении роли структурообразующих факторов на фоне устранения основных причин разрушения структуры, прежде всего за счет снижения интенсивности обработки почвы и обеспечения проективного покрытия поверхности в послеуборочный период посредством пожнивной сидерации.

В ходе проведенного исследования было установлено, что наиболее оптимальная структура почвы была сформирована в зернотравянопропашном севообороте.

Так, под занятым паром коэффициент структурности был существенно выше, чем под чистым паром – на 0,38-1 единицу, под бинарным посевом озимой пшеницы (рисунок 10) – на 0,67-1,05 единиц выше, чем под одновидовым посевом по чистому пару, под посевами ячменя – на 1,15-1,59 единиц больше, чем в контрольном севообороте.



Рисунок 10 – Бинарный посев озимой пшеницы с люцерной синей

Бинарные посеы подсолнечника с люцерной не оказали существенного влияния на изменение коэффициента структурности, т.к. структурообразующее влияние многолетней травы в первый год ее развития под покровом подсолнечника еще не проявилось.

Совместное использование на удобрение соломы ячменя и пожнивного сидерата редьки масличной обеспечило формирование в пахотном слое почвы коэффициента структурности в размере 2,41-2,67. В течение вегетационного периода совместного посева подсолнечника и бинарного компонента люцерны синей содержание агрономически ценных агрегатов в почве сократилось, что было связано в первую очередь с агротехнологией возделывания пропашной культуры (рисунок 11).

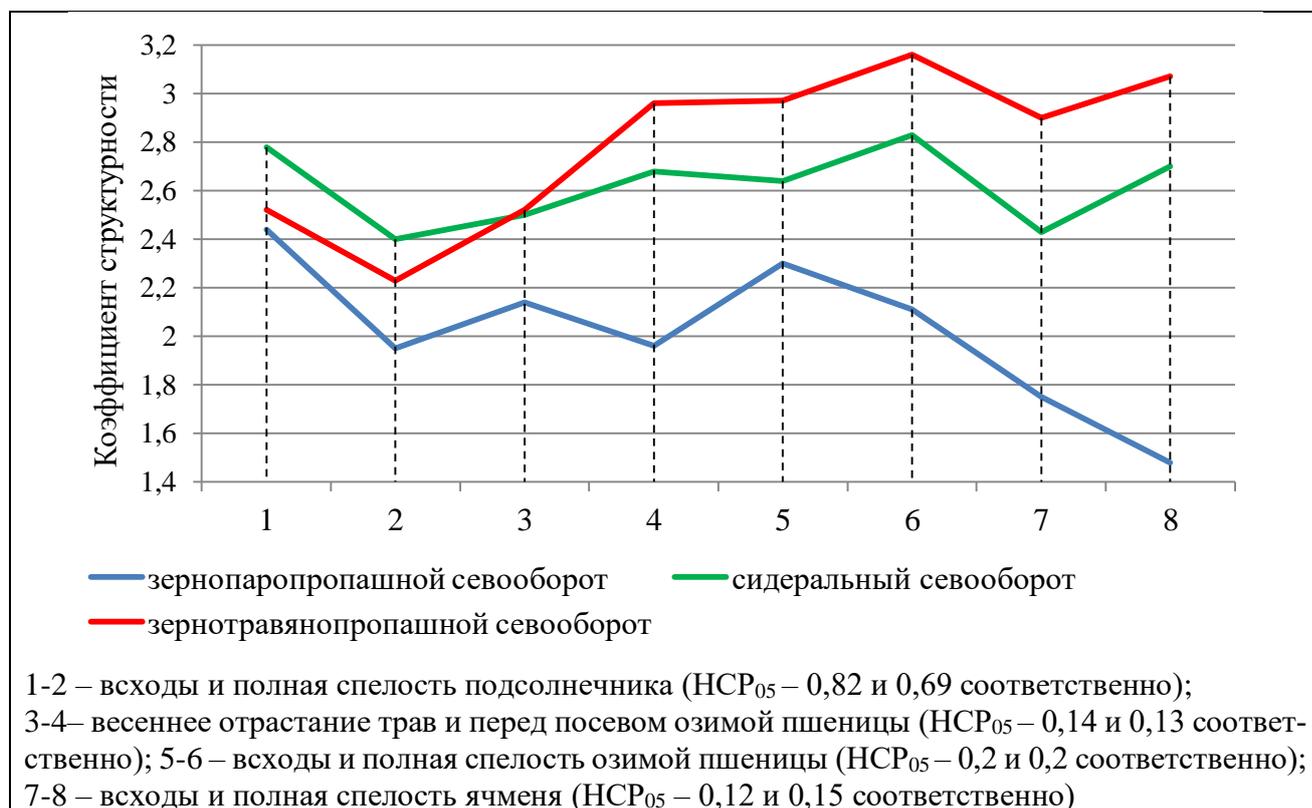


Рисунок 11 – Динамика коэффициента структурности в течение вегетационного периода культур различных видов севооборотов (слой 0-30 см, 2011-2016гг., опыт 1)

Дальнейшее произрастание бобовой травы в севообороте обеспечило улучшение структуры почвы, которое проявилось в увеличении коэффициента структурности: на 0,29 единиц к весеннему отрастанию в паровом поле, на 0,44 единицы

– к посеву озимой пшеницы, на 0,20 единиц – к полной спелости озимой культуры. Роль люцерны синей в повышении коэффициента структурности связана со способностью ее корневой системы обеспечивать расчленение почвы на отдельные небольшие агрегаты в результате разнонаправленного пронизывания почвы. При этом степень влияния напрямую определяется ее урожайностью и, соответственно, уровнем развития ее корневой системы. К фазе всходов ячменя коэффициент структурности несколько снизился (на 0,26 единиц) и вновь повысился к фазе его полной спелости (на 0,17 единиц). Таким образом, за ротацию зернотравянопропашного севооборота коэффициент структурности пахотного слоя почвы увеличился в среднем на 0,55 единиц.

Яркий оструктурирующий эффект многолетний травы, связанный главным образом с интенсивным наращиванием корневой системы, хорошо расчленяющей почву и обеспечивающей образование макроструктурных отдельностей, проявляется и в сидеральном севообороте: увеличение коэффициента структурности к весеннему отрастанию донника в паровом поле (на 0,1 единицу) и к посеву озимой пшеницы (на 0,18 единиц). Последствие заделки в почву сидеральной массы донника выразилось в дальнейшем росте количества агрономически ценных агрегатов: к полной спелости озимой пшеницы коэффициент структурности повысился на 0,15 единиц. Рост коэффициента структурности (на 0,27 единиц) к концу вегетационного периода отмечен и под посевами ячменя. Тем не менее, за ротацию сидерального севооборота коэффициент структурности почвы остался на уровне начальных значений.

В целом структурно-агрегатное состояние почвы под различными видами севооборотов можно охарактеризовать как хорошее (по Долгову С.И.), не выходящее за пределы свойственных для черноземов значений.

Большое влияние на формирование структуры пахотного слоя оказывает обработка почвы, в процессе выполнения которой происходит не только пространственное перемещение слоев, микроагрегатов и частиц почвы, но и расчленение почвенной массы на отдельности, т.е. изменение структуры почвы. При любом приеме обработки почвы происходит неминуемое разрушение одних агрегатов и

воссоздание других структурных отдельностей, и преобладание того или иного процесса над другим будет зависеть от гранулометрического состава, содержания гумуса, влажности почвы, применяемого почвообрабатывающего орудия и других условий.

Структура почвы, формирующаяся под влиянием приемов основной обработки, была представлена фракциями размером менее 0,25 мм, более 10 мм и от 0,25 до 10 мм, имеющими различное соотношение (рисунок 12).

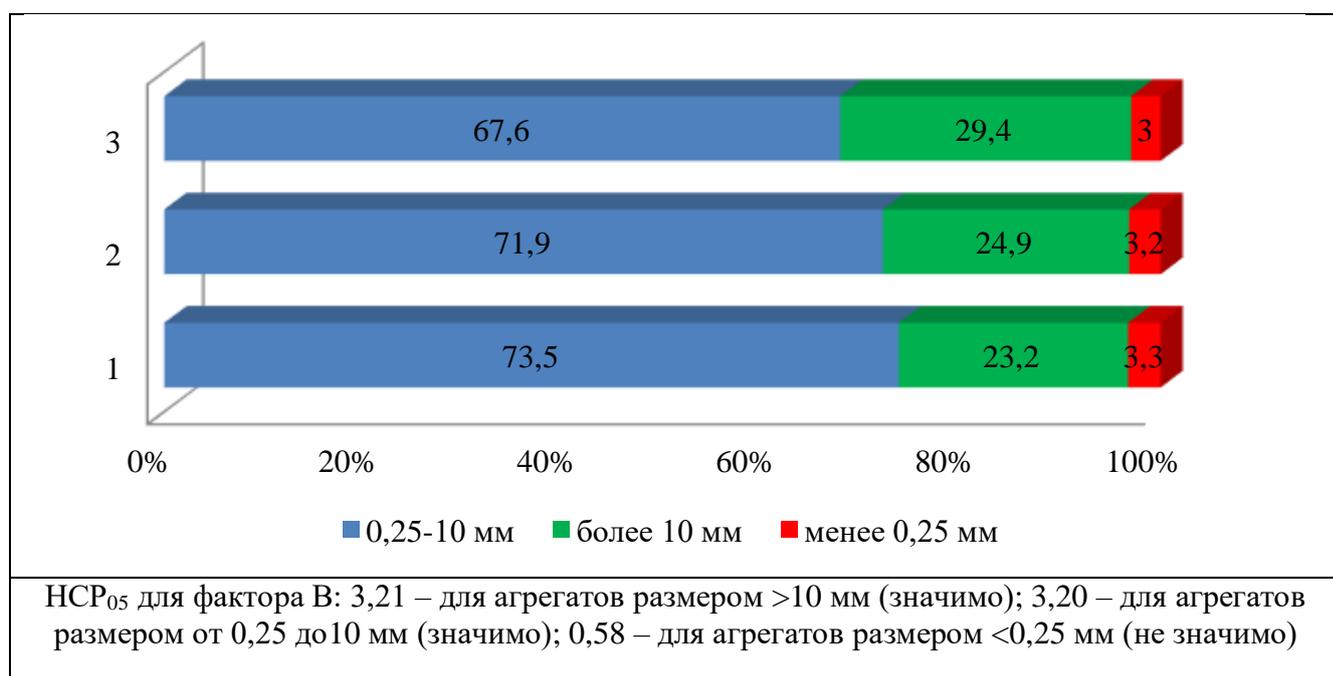


Рисунок 12 – Содержание почвенных агрегатов (%) в слое 0-30 см при различных приемах основной обработки почвы под подсолнечник:  
1 – вспашка, 2 – дисковая обработка, 3 – плоскорезная обработка (фаза всходы, 2011-2016гг., опыт 1)

Замена вспашки на безотвальные обработки сопровождалась снижением доли агрономически ценных агрегатов (0,25-10 мм) и увеличением доли агрегатов размером более 10 мм. Доля пылеватой фракции изменялась несущественно.

Таким образом, благоприятное влияние на образование агрономически ценных агрегатов оказала вспашка. При проведении данного приема на момент всходов подсолнечника отмечалось формирование более высокого коэффициента

структурности – 2,67-3,24. Наихудшие значения коэффициента структурности отмечены при проведении плоскорезной обработки – 1,82-2,41. Влияние дисковой обработки на формирование структуры почвы занимает промежуточное положение.

Тем не менее, существенное снижение коэффициента структурности при замене вспашки на плоскорезное рыхление отмечено только в зернопаропропашном севообороте, а также в сидеральном севообороте в фазе всходов подсолнечника. 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 совместным с донником (приложение В). В зерно-травянопропашном севообороте снижение коэффициента структурности при замене отвальной обработки на плоскорезное рыхление находится в пределах ошибки опыта.

Формирование более низкого коэффициента структурности в полях изучаемых севооборотов при замене вспашки дискованием является несущественным.

В течение вегетационного периода подсолнечника значение коэффициента структурности почвы уменьшалось, и величина снижения данного показателя также зависела от приема обработки почвы: максимальное снижение отмечено при отвальной обработке почвы (на 0,38-0,63 единицы), минимальное – при плоскорезной обработке (0,17-0,35 единиц). Возможно, это связано со снижением плотности и увеличением скважности почвы в течении вегетации культур при проведении безотвальных приемов [214].

Ухудшение структуры почвы независимо от увлажненности вегетационного периода происходило за счет увеличения содержания агрегатов размером более 10 мм: при отвальной обработке почвы – в среднем на 3,8%, при дисковании – на 3,0, при плоскорезной обработке – на 2,6%. К полной спелости масличной культуры коэффициент структурности по фону вспашки составил 2,22-2,73, при проведении дисковой обработки – 2,16-2,38, по фону плоскорезной обработки – 1,47-2,12, но отклонения между изучаемыми вариантами являются несущественными.

Таким образом, наиболее благоприятное влияние на формирование агрономически ценной структуры почвы под посевами подсолнечника оказывает отвальная обработка почвы.

Важное значение в формировании оптимальных показателей плодородия почвы имеют не только размеры почвенных агрегатов, но и их водопрочность, т.е. способность противостоять размывающему действию воды.

Применение таких приемов биологизации, как использование на удобрение соломы ячменя, пожнивная и парозанимающая сидерация, возделывание многолетних бобовых трав в качестве бинарных компонентов культур, обеспечивает улучшение водопрочности почвы (таблица 24).

Таблица 24 – Водопрочность структуры почвы под культурами севооборотов в зависимости от видов севооборота (А) и приемов основной обработки почвы (В) (слой 0-30 см, 2011-2016 гг., опыт 1)

Виды севооборота	Водопрочность почвы, %							
	Пар		Озимая пшеница		Ячмень		Подсолнечник	
	1*	2	1	2	1	2	1	2
Зернопаропропашной	74,9	73,4	75,2	76,5	75,4	76,0	80,9	79,1
							83,6	80,9
							80,2	78,8
Сидеральный	78,6	81,0	78,6	81,1	78,1	79,5	76,0	76,9
							81,7	81,2
							81,6	82,1
Зернотравянопропашной	78,5	81,5	81,8	85,9	82,3	83,7	77,9	78,6
							81,0	79,5
							79,9	81,5
НСР <sub>05</sub>	0,95	0,80	0,90	0,89	1,00	0,63		
	зн.	зн.	зн.	зн.	зн.	зн.		
Подсолнечник								
	всходы				полная спелость			
	F <sub>φ</sub>		НСР <sub>05</sub>		F <sub>φ</sub>		НСР <sub>05</sub>	
фактор А	5,22 (>F <sub>05</sub> )		1,96		0,23 (<F <sub>05</sub> )		2,06	
фактор В	15,92(>F <sub>05</sub> )		1,96		7,73 (>F <sub>05</sub> )		2,06	
фактор А+В	3,71 (>F <sub>05</sub> )		2,42		3,28 (>F <sub>05</sub> )		2,55	

Примечание: \*1 – всходы (весеннее отрастание); 2 – полная спелость;

\*\* вспашка / дисковая обработка / плоскорезная обработка.

Наиболее выраженный эффект отмечен в зернотравянопропашном севообороте, где по сравнению с зернопаропропашным севооборотом водопрочность почвы значительно выше под всеми культурами: например, под паровым полем – на 3,6-8,1%, под озимой пшеницей – на 6,6-9,4, под ячменем – на 6,9-7,7%. И только под бинарными посевами подсолнечника (фаза всходы) показатель водопрочности почвы был ниже, чем под одновидовым посевом – в среднем на 2%, что является несущественным отклонением. По нашему мнению, это может быть связано с недостаточно выраженным влиянием приемов биологизации в первый год их применения.

Несколько слабее, но не менее существенное по сравнению с зернотравянопропашным севооборотом, выражено влияние на водопрочность почвы сидерального севооборота.

Так, превышение контрольных значений составило: под сидеральным паром – 3,7-7,6%, под озимой пшеницей – 3,4-4,6, под ячменем – 2,7-3,5%. Водопрочность почвы под всходами бинарных посевов подсолнечника с донником желтым аналогична варианту с люцерной синей: ниже, чем под одновидовым посевом – в среднем на 1,8%, что также является несущественным отклонением.

Положительное влияние приемов биологизации на водопрочность почвы проявляется с первого года их использования (рисунок 13).

Совместное применение на удобрение соломы ячменя и пожнивной сидерации редьки масличной обеспечило к моменту совместных всходов подсолнечника и люцерны синей формирование отличной (по шкале Долгова С.И. и Бахтина П.У. [134]) водопрочности почвы – 79,6%. К полной спелости масличной культуры водопрочность почвы улучшилась незначительно – на 0,2%, но в последующем, по мере произрастания бобовой травы в севообороте отмечалось существенное улучшение данного показателя. Так, под занятым паром показатель водопрочности увеличился на 3%, под совместным посевом озимой пшеницы и люцерны – на 4,1, под ячменем – на 1,4%. В целом за ротацию зернотравянопропашного севооборота водопрочность почвы увеличилась на 4,1%.

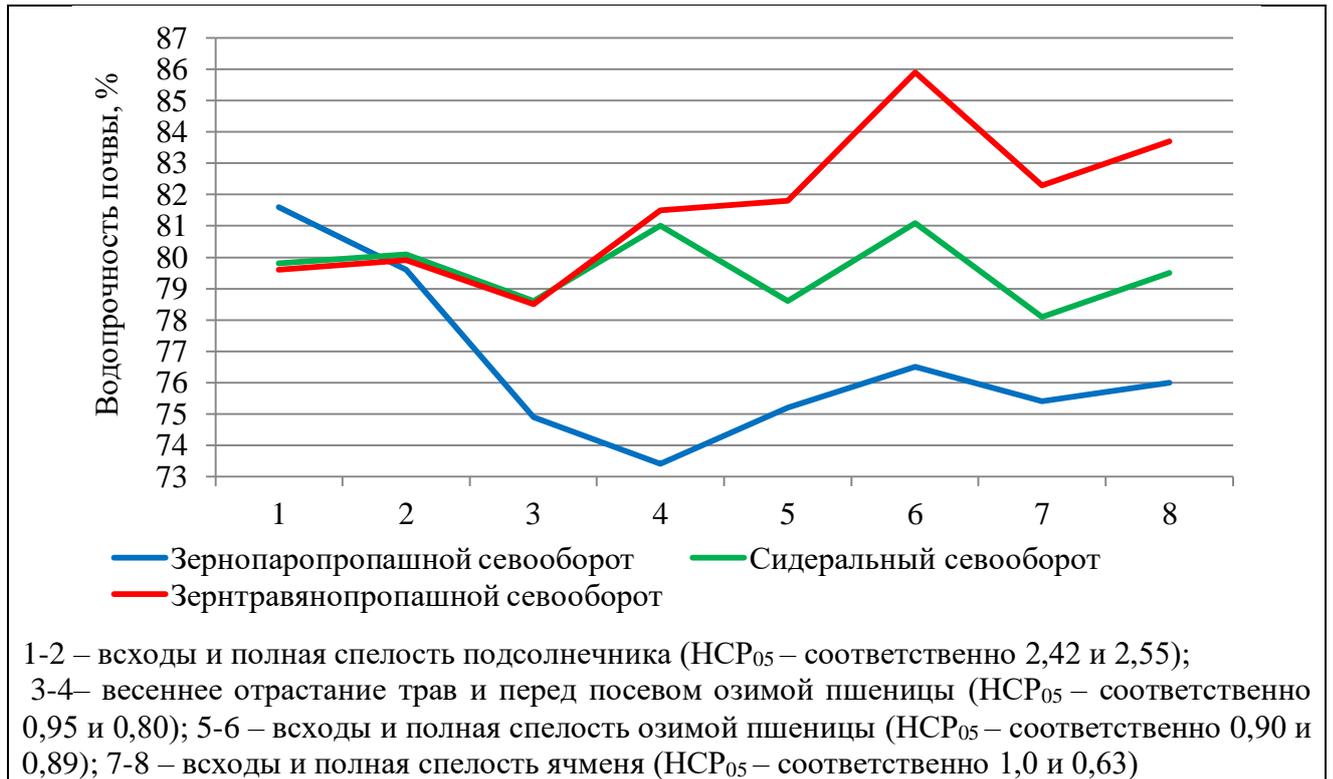


Рисунок 13 – Динамика водопрочности почвы в течение вегетационного периода культур различных видов севооборотов (слой почвы 0-30 см, 2011-2016 гг., опыт 1)

Аналогичная закономерность проявляется и в сидеральном севообороте: показатель водопрочности почвы под бинарными посевами подсолнечника с донником желтым увеличился в среднем на 0,3%, под сидеральным паром – на 2,4, под озимой пшеницей – на 2,5, под ячменем – на 1,4%. В целом за ротацию сидерального севооборота показатель водопрочности снизился на 0,3%, что является несущественным отклонением.

В первый год жизни бобовых трав в совместных посевах с подсолнечником количество водопрочных агрегатов увеличилось незначительно, а максимальный эффект от применения приемов биологизации был проявлен на третий год – под посевами озимой пшеницы. Это связано с тем, что в образовании водопрочных агрегатов большую роль играет свежее органическое вещество, в частности гуминовые кислоты, которые при взаимодействии с катионами кальция и магния коагулируют, формируя водопрочные агрегаты. А для включения продуктов гумификации

в образование водопрочной структуры необходимо время на трансформацию поступивших в почву растительных остатков или отмерших корневых систем [160].

Установленная прямая зависимость водопрочности почвы от массы содержащихся в почве растительных остатков является сильной ( $r = 0,764$ ) и описывается уравнением регрессии, представленным на рисунке 14. В процессе трансформации свежего органического вещества в лабильное сила данной зависимости ослабевает, что подтверждает коэффициент корреляции между водопрочностью почвы и содержанием детрита ( $r = 0,593$ ;  $n = 24$ ;  $Sr = 0,172$ ;  $t_r = 3,45$ ;  $t_{05} = 2,07$ ;  $r^2 = 0,3522$ ).

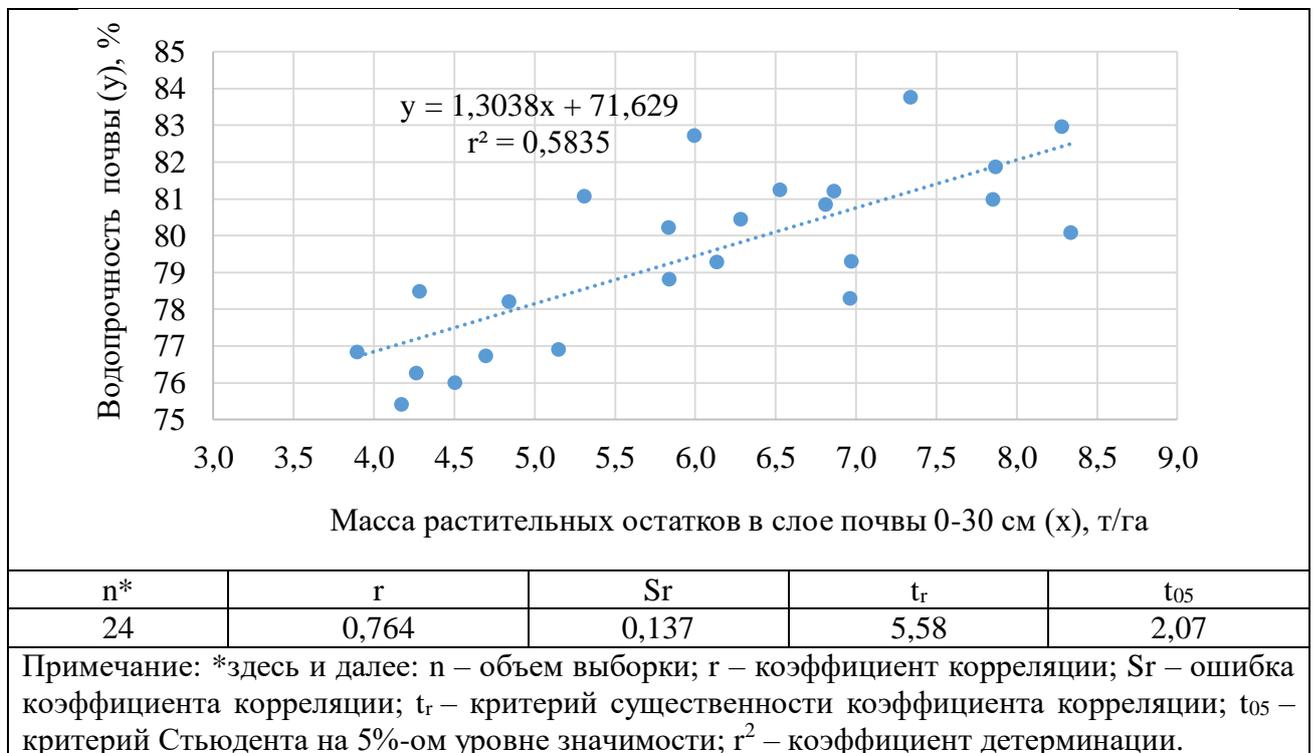


Рисунок 14 – Результаты корреляционно-регрессионного анализа зависимости водопрочности почвы от содержания растительных остатков (слой почвы 0-30 см, 2012-2016 гг., опыт 1)

Возделывание сельскохозяйственных культур в зернопаропропашном севообороте привело к существенному ухудшению водопрочности почвы: снижение показателя за ротацию составило 5,6%. Так как мы рассматриваем влияние приемов биологизации в севообороте с года их применения, т.е. с посевов подсолнечника, то и при анализе контрольного севооборота начнем рассматривать динамику водо-

прочности почвы с масличной культуры. К полной спелости подсолнечника показатель водопрочности почвы в среднем по вариантам обработки почвы уменьшился на 2%, в поле чистого пара снижение составило 1,5%, увеличение количества водопрочных агрегатов под посевами озимой пшеницы (1,3%) и ячменя (0,6%) было несущественным.

Таким образом, наиболее выраженное влияние на формирование водопрочной структуры почвы оказывает зернотравянопропашной севооборот.

На показатель водопрочности почвенных агрегатов оказывает влияние не только возделываемая культура, но и применяемые приемы основной обработки почвы, хотя их влияние неоднозначно.

Замена вспашки на безотвальное рыхление обеспечила существенное увеличение количества водопрочных агрегатов и сохранила данную тенденцию в течение вегетационного периода подсолнечника только при его совместных посевах с донником (см. таблицу 24). Показатель водопрочности увеличился на данном варианте на 5,7...4,3% при проведении дисковой обработки и на 5,6...5,2% при проведении плоскорезной обработки.

Проведение безотвальных обработок под бинарный посев подсолнечника с люцерной синей характеризуется повышением показателя водопрочности почвы по сравнению со вспашкой, но данное увеличение является существенным только в фазе всходов при дисковой обработке (3,1%) и в фазе полной спелости – при плоскорезной обработке (3,6%).

При одновидовом посеве подсолнечника только в фазе всходов культуры по фону дисковой обработки отмечается улучшение водопрочности почвы – на 2,7%, изменение показателя на других вариантах обработки почвы и в другие фазы несущественно.

Анализ зависимости показателя водопрочности почвы от приема основной обработки под различные варианты посева подсолнечника показал, что при проведении вспашки на момент всходов масличной культуры показатель водопрочности под бинарными посевами был существенно хуже, чем под одновидовым посевом. Тем не менее, к фазе полной спелости подсолнечника под его бинарными посевами

под действием применяемых приемов биологизации наблюдалось увеличение количества водопрочных агрегатов в почве, что позволило отклонения от контрольных значений свести до несущественных.

Аналогичная тенденция отмечалась и на вариантах дисковой обработки под бинарные посевы подсолнечника с люцерной синей: в течение вегетации культур количество водопрочных агрегатов в почве выросло, и отклонение от одновидового посева стало незначительным. Дисковая обработка под бинарные посевы подсолнечника с донником желтым не имела существенных отклонений от одновидового посева.

При проведении плоскорезной обработки под бинарные посевы подсолнечника отмечалась следующая закономерность: несущественные отклонения от значений одновидового посева в фазе всходов переросли в существенное превышение в фазе полной спелости культуры – 2,7-3,3%.

Следовательно, четкого вывода о существенности влияния приемов основной обработки на водопрочность почвы сделать невозможно. Большая же устойчивость структурного состояния пахотного слоя почвы наблюдается в зернотравянопашном севообороте.

Таким образом, применение приемов биологизации при возделывании полевых культур обеспечивает улучшение структуры 30-сантиметрового слоя почвы. Многолетние бобовые травы и сидеральная культура обладают не только мощной корневой системой, хорошо расчлняющей почву на макроструктурные отдельные части, но и, обеспечивая увеличение поступления в почву свежего органического вещества, усиливают тем самым биогенность почвы. В процессе трансформации органической массы образуются гуминовые кислоты, являющиеся хорошими структурообразователями, способствующими скреплению почвенных частиц и образованию агрономически ценной структуры [405].

На рисунке 15 представлено наглядное изображение роста коэффициента структурности на фоне увеличения массы растительных остатков и водопрочности почвы, что подтверждается результатами регрессионного анализа (рисунки 16, 17).

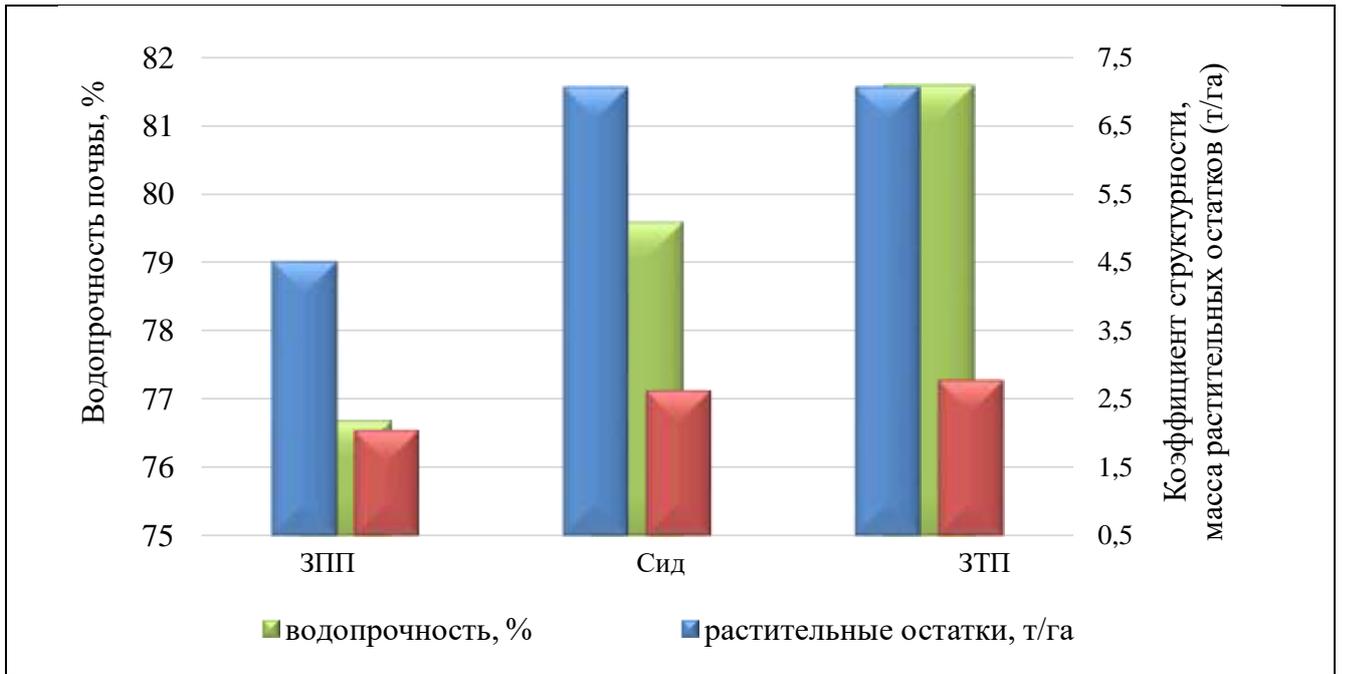


Рисунок 15 – Коэффициент структурности почвы на фоне ее водопрочности и массы растительных остатков (2012-2016 гг.)

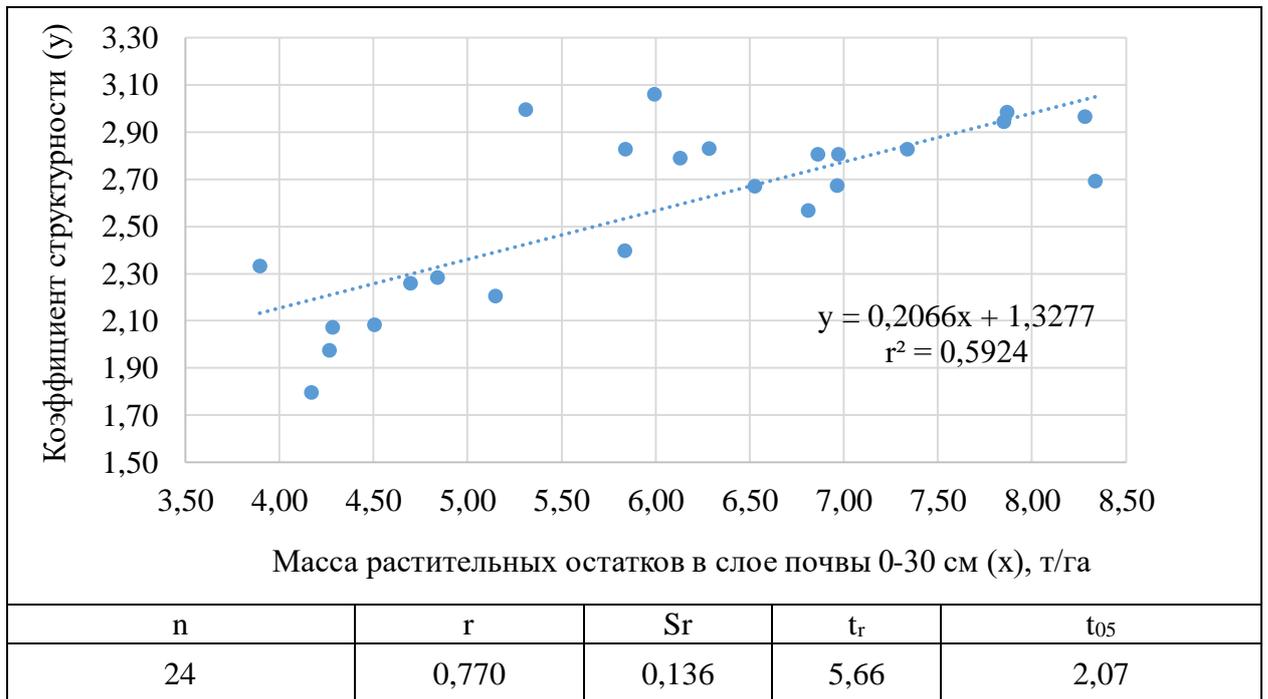


Рисунок 16 – Результаты корреляционно-регрессионного анализа зависимости коэффициента структурности от массы растительных остатков в слое почвы 0-30 см (2012-2016 гг.)

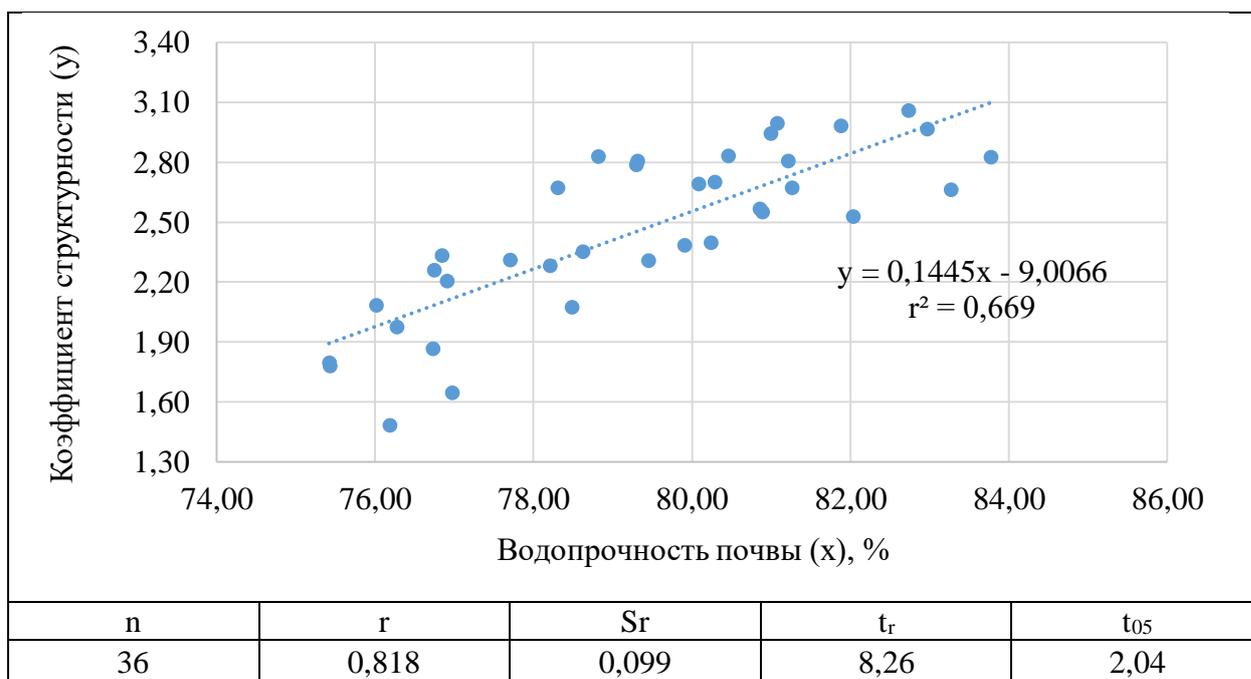


Рисунок 17 – Результаты корреляционно-регрессионного анализа зависимости коэффициента структурности от водопрочности почвы в слое 0-30 см (2012-2016 гг.)

Установлена сильная прямая корреляционная зависимость коэффициента структурности почвы (y) от ее водопрочности  $x_2$  ( $r = 0,818$ ) и массы растительных остатков в почве  $x_1$  ( $r = 0,770$ ), а также средняя – от содержания в почве детрита ( $r = 0,603$ ;  $n = 24$ ;  $Sr = 0,170$ ;  $t_r = 3,55$ ;  $t_{05} = 2,06$ ;  $r^2 = 0,3641$ ). Уравнение множественной регрессии для этих показателей имеет следующий вид:  $y = 0,080674619x_1 + 0,096570863x_2 - 5,58956237$ .

Таким образом, установленный в процессе исследования высокий структурообразующий потенциал бобовых трав и сидератов в полевых севооборотах подтверждает необходимость их использования для воспроизводства плодородия почвы.

### 3.1.3. Плотность почвы

Значительную роль в формировании условий жизни растительных и животных организмов играет плотность почвы, выступающая важным показателем эффективности проводимых агротехнических приемов. Различные культуры предъявляют определенные требования к величине данного показателя, в связи с чем для

них установлены оптимальные, определяющие наиболее благоприятные для роста и развития условия параметры, отклонения от которых сопровождаются рядом негативных последствий. Например, при повышении плотности почвы выше оптимальных параметров уменьшается общая пористость и объем пор аэрации, снижается скорость фильтрации, доступность влаги и воздуха, затрудняется рост и развитие корневых систем растений. При чрезмерно рыхлом состоянии почва быстро иссушается, нарушается контакт семян с почвой, снижается полевая всхожесть семян и т.д. [114, 332].

Поэтому одной из основных задач при разработке отдельных элементов агротехнологий является создание и поддержание оптимальных параметров плотности почвы, оказывающих существенное влияние на формирование водного, воздушного и теплового режимов, трансформацию питательных и гумусовых веществ, что в результате обеспечивает хорошие условия роста и развития культурных растений, сохранение и воспроизводство плодородия черноземов. Еще в 1960 году И.Б. Ревут писал: «Плотность следует рассматривать как первичный элемент не только всей физики почв, но и жизни растений» [335].

Для большинства сельскохозяйственных культур оптимальная плотность почвы находится в пределах  $1,1-1,2 \text{ г/см}^3$ : в частности для зерновых культур –  $1,1-1,2$ , для подсолнечника –  $1,0-1,1$ ; для многолетних трав –  $1,2 \text{ г/см}^3$  [119, 356].

В ходе определения изменения плотности почвы под влиянием приемов биологизации было установлено, что под всеми изучаемыми культурами величина плотности почвы не выходила за пределы оптимальных значений как в начале вегетационного периода (рисунок 18), так и в его конце (приложение Г).

Как упоминалось ранее, наиболее важное значение плотность почвы имеет в фазе всходов культур. Но ни на посевах подсолнечника, ни в паровых полях, ни на посевах озимой пшеницы, идущей по сидеральному пару, изучаемые приемы биологизации не обеспечили существенного влияния на показатель плотности почвы. Исключение составляют бинарные посева подсолнечника с люцерной 3-го года жизни, где отмечалось естественное разуплотнение почвы под влиянием корневой системы бобовой травы, и посева ячменя, под которыми благодаря

последствием изучаемых приемов биологизации плотность почвы на момент всходов яровой зерновой культуры была на 0,01-0,02 г/см<sup>3</sup> меньше, чем на контроле.

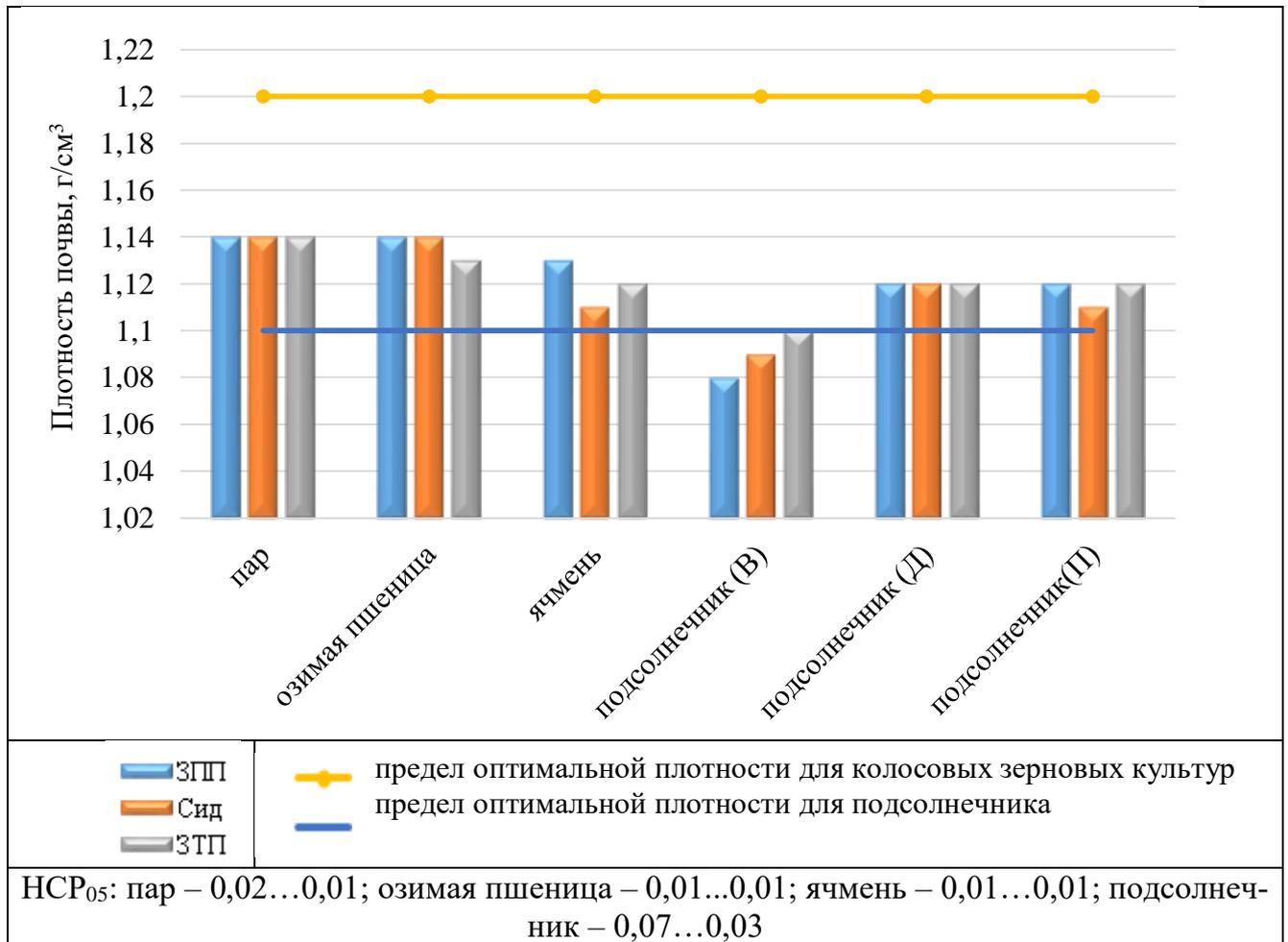


Рисунок 18 – Плотность почвы под культурами севооборотов в зависимости от видов севооборота и приемов основной обработки (слой почвы 0-30 см, 2011-2016 гг., опыт 1)

В течение вегетационного периода культур плотность почвы увеличивалась, но вновь отмечается равнозначное влияние видов севооборотов и агротехнических приемов: на момент полной спелости культур, а в паровых полях – на момент посева озимой пшеницы, плотность почвы практически не имела существенных различий и оставалась в пределах оптимальных значений. Исключение составляет только ячмень, под посевами которого данный показатель по-прежнему был существенно меньше контрольного значения.

Таким образом, изучаемые приемы биологизации обеспечивали поддержание плотности почвы в пределах оптимальных значений для конкретных культур.

Показатель плотности почвы довольно динамичен, поэтому многочисленные работы по определению его зависимости от различных факторов, в том числе и от обработки почвы, характеризуются неоднозначными результатами, что в первую очередь обусловлено различиями почвенно-климатических условий района проведения исследований, используемых орудий, особенностями конкретных вегетационных периодов и т.д. [43, 278, 287, 374]. В наших исследованиях из изучаемых приемов только вспашка обеспечивала формирование плотности почвы, не выходящей за пределы оптимальных значений (см. рисунок 18). Замена отвальной обработки почвы плоскорезной привела к увеличению плотности почвы, причем если в фазе всходов культуры данное увеличение носило тенденциозный характер, то в фазе полной спелости отмечалась существенность его отклонений (приложение Г). При проведении дисковой обработки под подсолнечник существенных отклонений в плотности почвы не выявлено, но тенденция повышения плотности почвы в 30-сантиметровом слое зафиксирована.

Совокупное действие обработки почвы и изучаемых в севообороте приемов повышения плодородия почвы выражается в меньшем уплотнении почвы в течение вегетационного периода подсолнечника. Так, если под одновидовым посевом подсолнечника плотность почвы к концу вегетационного периода культуры увеличилась на  $0,06 \text{ г/см}^3$  по фону вспашки и плоскорезной обработки и на  $0,04 \text{ г/см}^3$  при проведении дискования, то под бинарными посевами подсолнечника, размещенными по пожнивной сидерации редьки масличной, уплотнение почвы к полной спелости культуры было менее выраженным и составило  $0,02-0,04 \text{ г/см}^3$  по фону вспашки,  $0-0,03$  – по фону дискования и  $0,03-0,05 \text{ г/см}^3$  – по фону плоскорезной обработки.

Таким образом, наиболее существенное значение в поддержании плотности почвы в пределах оптимальных значений в течение всего вегетационного периода имеет бинарный посев подсолнечника с люцерной синей по фону вспашки: плотность слоя почвы 0-30 см – оптимальна ( $1,1 \text{ г/см}^3$ ).

Как мы отмечали ранее, показатель плотности почвы ( $y$ ) довольно динамичен, подвержен влиянию целого комплекса различных факторов. Четко выраженная обратная корреляционная зависимость ( $r = -0,719$ ;  $n = 36$ ;  $Sr = 0,119$ ;  $t_r = 6,04$ ;  $t_{05} = 2,04$ ;  $r^2 = 0,5173$ ) устлана в отношении влажности почвы ( $x$ ):  $y = -0,0016x + 1,1916$ .

### **3.2. Содержание в почве доступных форм основных макроэлементов**

К числу важнейших показателей почвенного плодородия относятся агрохимические свойства почвы, особенно содержание в ней основных элементов питания в доступном для растений состоянии. Минеральное питание наряду с фотосинтезом лежит в основе автотрофности растительного организма, в основе его способности формировать органическую массу из неорганических веществ. К числу основных элементов питания, выполняющих важную роль в жизни растения, относятся азот, фосфор и калий, каждый из которых выполняет определенную физиологическую функцию [438]. Анализ содержания и динамики доступных форм макроэлементов в зависимости от приемов биологизации и основной обработки почвы может быть положен в основу разработки наиболее эффективных способов воспроизводства запасов подвижных элементов питания в почве [307].

#### **3.2.1. Динамика подвижного фосфора**

Фосфор – один из важнейших элементов питания растений. В растительной клетке он играет исключительно важную роль в энергетическом обмене, участвует в разнообразных процессах обмена веществ, деления и размножения. Особенно велика роль этого элемента в углеводном обмене, в процессах фотосинтеза, дыхания и брожения. Большое значение имеет достаточное обеспечение растений фосфором и в период формирования репродуктивных органов – ускоряется их образование и созревание, повышаются урожай и его качество [114].

Фосфор ускоряет образование и развитие корневой системы, поэтому интенсивное потребление этого элемента отмечается на первых этапах роста и развития растения [438]. Хорошая обеспеченность растений фосфором улучшает углеводный обмен, приводит к накоплению сахаров, что способствует повышению морозоустойчивости и зимостойкости, экономному расходованию влаги и связанной с ней засухоустойчивости. Поэтому оптимальное обеспечение растений фосфором на начальных этапах развития имеет определяющее значение для формирования высокой урожайности.

Фосфор в основном находится в верхних слоях почвы, где аккумулируется в результате микробиологических процессов и является невозобновляемым ресурсом. Он обладает способностью переходить в фиксированное состояние, имеющее постоянную стабильность. Основная его масса находится в почве в форме минеральных и органических соединений, недоступных для растений. Примерно половина фосфора в черноземных почвах связана с органическим веществом [114, 119].

Недоступные для растений минеральные и органические соединения фосфора переходят в усвояемые очень медленно. Несмотря на большие общие запасы фосфора, его усвояемых соединений в почве содержится мало, и чтобы получить высокий урожай, необходимо обеспечить регулирование расходной части этого элемента питания, то есть сокращение его потерь. Кроме того, необходимо создание оптимальных условий для расширенного воспроизводства почвы, что может быть достигнуто путем введения в севообороты бобовых трав и сидеральных культур [114].

Важное значение в регулировании питательного режима почвы принадлежит увеличению поступления в почву растительных остатков, т.к. известно, что основная масса фосфора аккумулируется в растении в его генеративных органах, которые всегда отчуждаются, поэтому восполнение потерь этого элемента возможно только за счет внесения удобрений как минеральных, так и органических.

Для нормального роста и развития растений необходимо, чтобы в почве был создан такой уровень содержания фосфатов, который мог бы обеспечить высокую

интенсивность высвобождения фосфат-ионов из твердой фазы в почвенный раствор [226]. Особенно важно создать оптимальный запас подвижного фосфора в ранние фазы развития культурных растений.

Совместное использование в качестве удобрения соломы ячменя и пожнив-ной сидерации редьки масличной по сравнению с вариантом применения только соломы обеспечило формирование в почве сравнительно более высокого запаса фосфора подвижного, но только по фону отвальной обработки почвы в сидераль-ном севообороте – 126 мг/кг почвы (таблица 25).

Таблица 25 – Содержание подвижного фосфора в почве в фазу всходов подсолнечника в зависимости от видов севооборота и приемов основной обработки почвы (слой 0-30 см, опыт 1)

Виды сево-оборота (А) и приемы основной обработки (В)		Содержание подвижного фосфора (мг/кг почвы) в различные годы исследований								
		Засушливые годы				Избыточно влажные годы				
		2011	2014	2015	ср.	2012	2013	2016	ср.	
ЗПП	В	90	87	85	87	184	163	74	140	114
Сид		95	98	103	99	222	151	83	152	126
ЗТП		78	86	93	86	192	116	88	132	109
ЗПП	Д	82	84	85	84	205	198	78	160	122
Сид		87	94	89	90	153	119	80	117	104
ЗТП		77	86	91	85	202	114	83	133	109
ЗПП	П	90	97	88	92	216	151	71	146	119
Сид		93	99	101	98	190	108	79	126	112
ЗТП		73	84	93	83	228	104	72	135	109
		11,73	9,89	13,53	НСР <sub>05</sub>	42,09	12,73	11,99	НСР <sub>05</sub>	
Фактор А		$F_{\phi} = 9,00 (>F_{05})$			5,57	$F_{\phi} = 0,20 (<F_{05})$			63,3	
Фактор В		$F_{\phi} = 2,02 (<F_{05})$			5,57	$F_{\phi} = 0,02 (<F_{05})$			63,3	
Фактор А+В		$F_{\phi} = 0,88 (<F_{05})$			9,64	$F_{\phi} = 0,15 (<F_{05})$			109,6	

При этом положительное влияние данного приема биологизации отмечалось как в целом за период исследования (прибавка 10,5%), так и в различные по увлажненности вегетационного периода годы: в засушливые годы содержание фосфора

было выше на 13,8%, в избыточно влажные – на 8,6%.

Положительное влияние на формирование запасов подвижного фосфора к посеву подсолнечника оказал прием совместного применения соломы и пожнивного сидерата в сидеральном севообороте и по фону дисковой обработки, но только в условиях засушливого вегетационного периода – прибавка составила 7,1%.

В целом за годы с засушливым вегетационным периодом влияние вида севооборота как фактора проявилось следующим образом: возделывание подсолнечника в сидеральном севообороте (донник желтый) характеризуется формированием существенно более высоких запасов фосфора подвижного в фазе всходов подсолнечника (приложение Е).

Что касается прямого действия приемов почвообработки на запасы доступного фосфора в 30-сантиметровом слое при полных всходах масличной культуры, то отмечено, что замена отвальной обработки на дисковую обработку сопровождается снижением содержания данного элемента в почве. Полученное отклонение является статистически недостоверным (5 мг/кг почвы), тем не менее тенденциозная закономерность просматривается очень четко.

В избыточно увлажненные периоды существенного влияния вида севооборота и приема обработки почвы не установлено.

Влияние приемов основной обработки на дифференциацию 30-сантиметрового слоя почвы по содержанию подвижного фосфора неоднозначно, т.к. достоверные отклонения характерны только для засушливых лет, для избыточно влажных и в среднем за период исследования они несущественны. Данное наблюдение характерно не только для фазы всходов подсолнечника, но и для фазы его полной спелости (приложение Д, рисунок 19). При этом на всех изучаемых вариантах содержание подвижного фосфора с увеличением глубины уменьшается.

Наиболее равномерное распределение по слоям почвы подвижного фосфора отмечено при проведении отвальной обработки почвы на глубину 20-22 см: между слоем 0-10 и 10-20 см нет существенных различий, что объясняется равномерным распределением по слоям растительных остатков при их заделке в почву. Частичное затрагивание при обработке почвы слоя 20-30 см обеспечило несущественное

расхождение в содержании подвижного фосфора между слоями 10-20 и 20-30 см – 3,4 мг/кг почвы. В то же время по сравнению со слоем 0-10 см слой почвы 20-30 см характеризуется существенно более низкими запасами данного элемента.

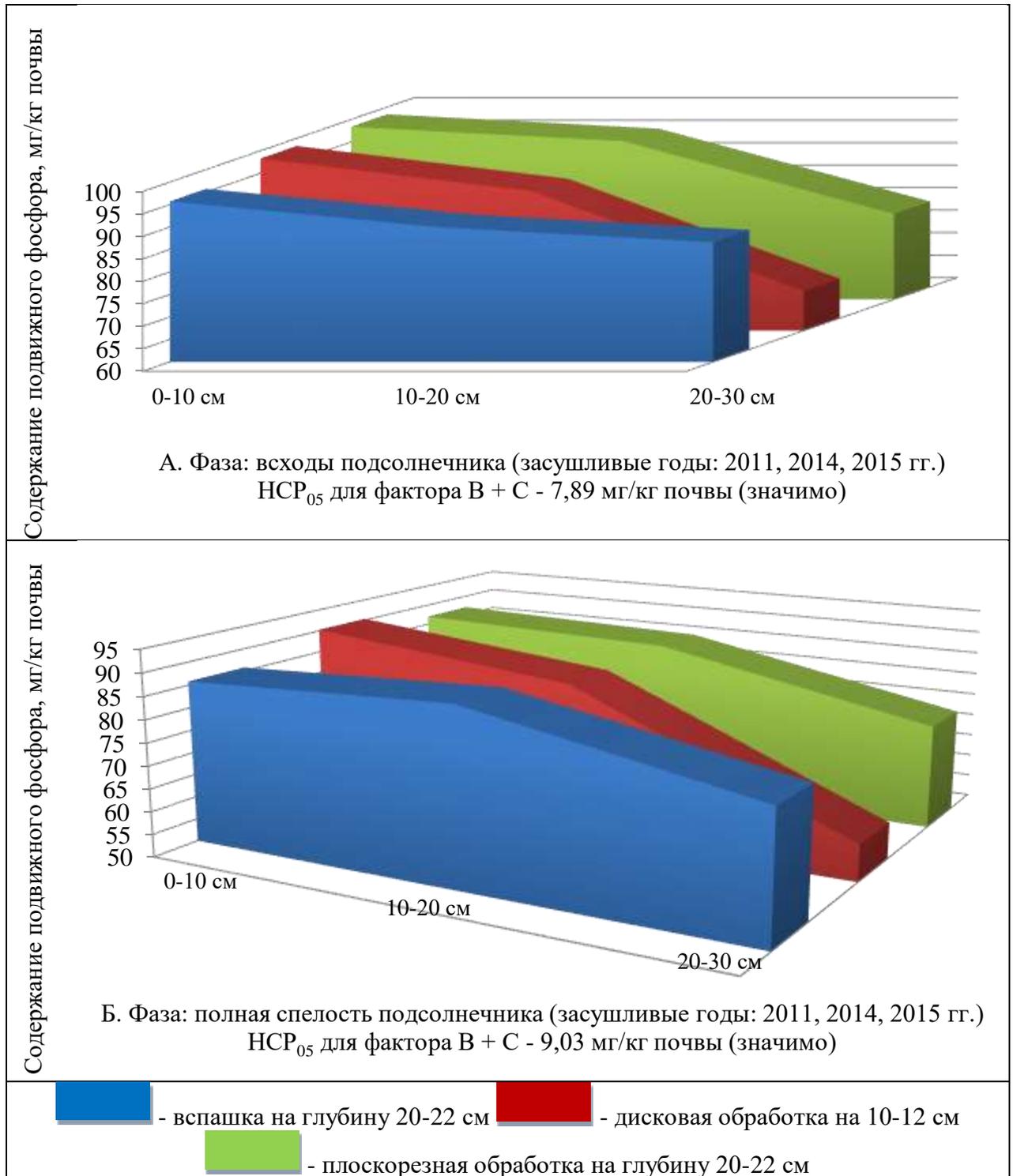


Рисунок 19 – Содержание подвижного фосфора в различных слоях почвы (С) в зависимости от приемов основной обработки почвы (В) под подсолнечник (опыт 1)

Проведение дисковой обработки почвы (10-12 см) также характеризуется равномерностью распределения подвижного фосфора в слоях почвы до глубины 20 см. В то же время на данном варианте прослеживается четкая дифференциация между верхними слоями почвы (до 20 см) и слоем 20-30 см: содержание данного элемента резко снизилось – на 22,5 мг/кг почвы по сравнению со слоем 10-20 см и на 29,5 мг/кг почвы – по сравнению со слоем 0-10 см.

Аналогичная тенденция отмечается и при обработке почвы на глубину 20-22 см при помощи плоскореза: слой почвы 20-30 см существенно беднее по обеспеченности подвижным фосфором по сравнению со слоями 10-20 см (на 16,2 мг/кг) и 0-10 см (на 19,4 мг/кг почвы). Это связано со сосредоточением основной массы растительных остатков в верхних слоях почвы ввиду полного отсутствия их перемешивания.

К полной спелости подсолнечника зависимость распределения подвижного фосфора по слоям почвы от приемов основной обработки почвы аналогична таковой в фазе всходов. При безотвальных обработках почвы отмечается резкое и существенное расхождение между слоем почвы 20-30 см и выше расположенными слоями.

Таким образом, в годы с достаточным количеством влаги приемы обработки почвы не оказывают существенного влияния на концентрацию подвижного фосфора в различных слоях почвы. При засушливых условиях по всем изучаемым вариантам обработки почвы под подсолнечник отмечается равномерное распределение подвижного фосфора в слое 0-20 см. Отвальная обработка почвы исключает скачкообразный переход в содержании подвижного фосфора между слоями 10-20 и 20-30 см.

Повышение обеспеченности почвы подвижным фосфором, основанное на переводе его из валовых трудноусвояемых форм в легкодоступные, возможно не только путем применения удобрений, но и за счет агротехнических приемов, оказывающих существенное влияние на биохимическую активность почвы [332]. Применение многолетних бобовых трав в качестве бинарных компонентов подсолнечника и их дальнейшее произрастание в севообороте оказали значимое влияние на

содержание подвижного фосфора в почве и его динамику в течение вегетационных периодов культур (рисунок 20).

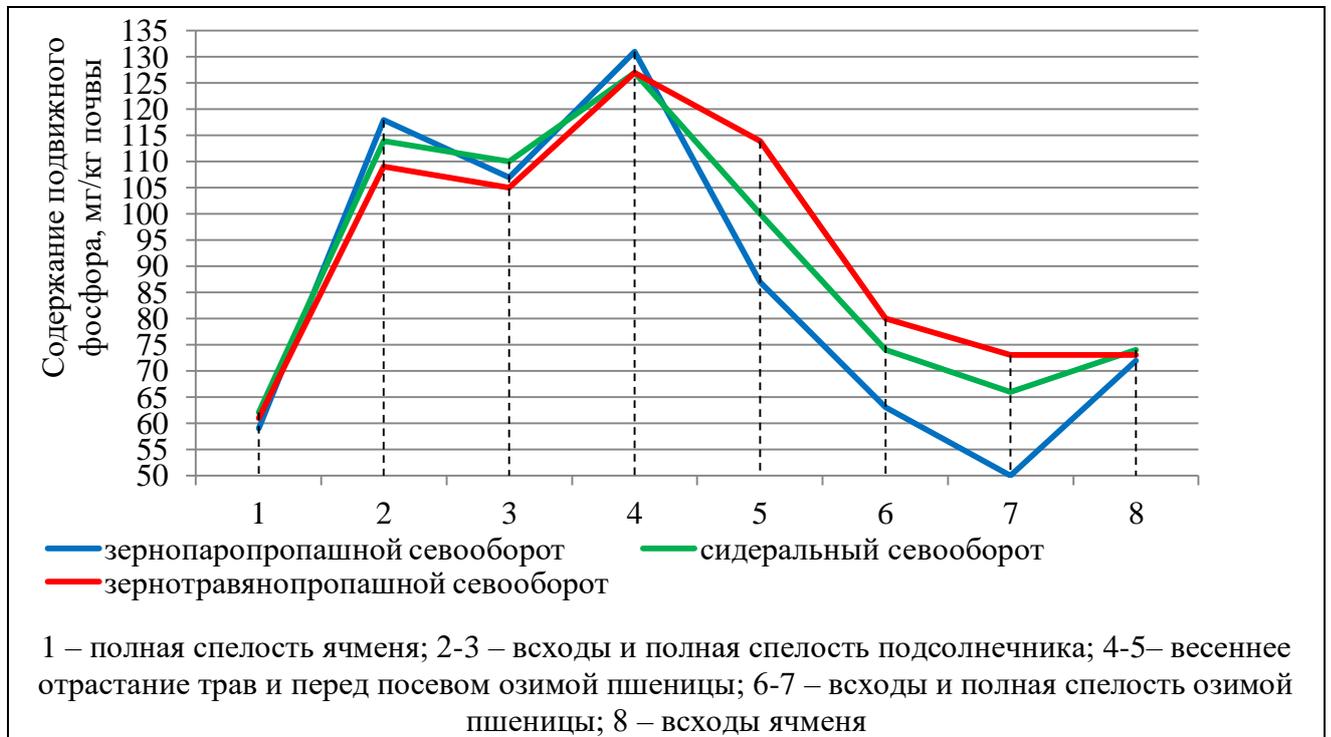


Рисунок 20 – Динамика подвижного фосфора в течение вегетационного периода культур различных видов севооборотов (слой почвы 0-30 см, 2011-2016 гг., опыт 1)

На момент уборки ячменя изучаемые севообороты характеризовались практически одинаковыми запасами доступного фосфора – 59-62 мг/кг почвы (таблица 26).

Заделка в почву соломы зерновой культуры обеспечила к фазе всходов подсолнечника увеличение содержания подвижного фосфора в среднем по вариантам обработки почвы на 100% (варьирование от 93,2 до 106,8%). Дополнительное применение сидеральной массы позволило увеличить запасы доступного фосфора в почве в среднем на 78,7-83,9%. Это меньше, чем на варианте зернопаропропашного севооборота, но благоприятное влияние данного приема биологизации проявлялось

и далее, на варианте бинарных посевов подсолнечника: несмотря на снижение показателя содержания подвижного фосфора к концу вегетационного периода расход был более рациональным и составил 3,2-3,4%, тогда как на контроле – 9,8%.

Таблица 26 – Содержание подвижного фосфора под культурами севооборотов в зависимости от видов севооборота и приемов основной обработки почвы (слой 0-30 см, 2011-2016 гг., опыт 1)

Виды севооборота	Содержание подвижного фосфора (мг/кг почвы)											
	Пар			Озимая пшеница			Ячмень			Подсолнечник		
	1*	2	ср.	1	2	ср.	1	2	ср.	1	2	ср.
Зернопаро-пропашной	131	87	109	63	50	56	72	59	65	<u>114**</u>	<u>101</u>	<u>107</u>
										<u>122</u>	<u>111</u>	<u>116</u>
										<u>119</u>	<u>108</u>	<u>113</u>
Сидеральный	127	100	113	74	66	70	74	62	68	<u>125</u>	<u>117</u>	<u>121</u>
										<u>104</u>	<u>101</u>	<u>102</u>
										<u>112</u>	<u>112</u>	<u>112</u>
Зернотравянопропашной	127	114	120	80	73	76	73	61	67	<u>109</u>	<u>107</u>	<u>108</u>
										<u>109</u>	<u>101</u>	<u>105</u>
										<u>109</u>	<u>108</u>	<u>108</u>
НСР <sub>05</sub> :	всходы						полная спелость					
пар	3,93...38,41 (сред. 13,36)						4,85...9,74 (сред. 5,31)					
оз. пшеница	5,23...10,08 (сред. 8,06)						2,86...18,05 (сред. 7,05)					
ячмень	5,23...19,23 (сред. 8,61)						2,67...17,13 (сред. 10,62)					
подсол-ник	9,89...42,09 (сред. 23,24)						14,02...19,6 (сред. 15,64)					

Примечание: \*1 – фаза всходов (весеннего отрастания трав); 2 – фаза полной спелости (перед посевом озимой пшеницы); ср. – среднее за вегетацию;

\*\* - вспашка / дисковая обработка / плоскорезная обработка.

Дальнейшее произрастание бобовых трав в паровых полях, произрастание люцерны в бинарном посеве с озимой пшеницей, а также последствие трав не привело к накоплению подвижного фосфора в почве, но обеспечило его рациональный расход под всеми культурами. В период от весеннего отрастания донника желтого в паровом поле до полной спелости озимой пшеницы содержание подвижного фосфора в почве сократилось на 48%, на варианте с люцерной синей – на 42,5, а на варианте зернопаропропашного севооборота – на 61,8%, достигнув минимального

значения – 50 мг/кг почвы. Аналогичная тенденция отмечается и под посевами ячменя: в зернопаропропашном севообороте снижение содержания рассматриваемого показателя к концу вегетации культуры составило 18%, а в биологизированных севооборотах – 16,2-16,4%. Уменьшение показателя запасов доступного фосфора в почвах в течение вегетации культур ожидаемо, т.к. его содержание в почве зависит от деятельности микроорганизмов, активность которых постепенно снижается и микробиологические процессы в почве замедляются.

Таким образом, применение биологических приемов повышения плодородия почвы обеспечило рациональный расход подвижного фосфора под всеми культурами севооборотов.

Важную роль в формировании запасов доступного фосфора сыграли не только поступающие в почву растительные остатки, биологические особенности культур и сформированные свойства почвы, но и увлажненность вегетационного периода (таблица 27). Установлена сильная прямая корреляционная связь ( $r = 0,754$ ;  $n = 18$ ;  $Sr = 0,164$ ;  $t_r = 4,6$ ;  $t_{05} = 2,12$ ;  $r^2 = 0,5691$ ) между содержанием в почве данного элемента ( $y$ ) и гидротермическим коэффициентом вегетационного периода ( $x$ ), описываемая уравнением регрессии  $y = 32,167x + 51,482$ .

Влияние изучаемого комплекса приемов биологизации (бобовые травы, солома ячменя + пожнивная сидерация крестоцветной культурой) на содержание в почве подвижного фосфора в различные по увлажненности вегетационные периоды было неоднозначным (таблицы 27, приложение Е, Ж).

В засушливые годы на момент полной спелости масличной культуры содержание подвижного фосфора в 30-сантиметровом слое почвы были существенно выше контрольных значений только под совместными посевами подсолнечника и донника по фону отвальной (на 23,4-26,8%) и плоскорезной обработок (на 23-26%). В избыточно увлажненные годы положительное влияние приемов биологизации проявилось только в 2012 году: запасы подвижного фосфора превысили контрольные значения на 27,6-42,9% на вариантах с донником и на 19,9-47,4% – на варианте с люцерной.

Таблица 27 – Содержание подвижного фосфора в почве под культурами в зависимости от видов севооборота и приемов основной обработки почвы (опыт 1)

Виды севооборота и приемы основной обработки почвы		Содержание подвижного фосфора (мг/кг почвы) в слое почвы 0-30 см в различные годы исследований							
		Засушливые годы				Избыточно влажные годы			
		2011	2014	2015	Ср.	2012	2013	2016	Ср.
Подсолнечник (полная спелость)									
Зернопаропропашной	В	77	87	71	78,3	156	153	64	124,3
	Д	73	84	72	76,3	192	178	66	145,3
	П	77	86	69	77,3	223	136	56	138,3
Сидеральный	В	95	98	90	94,3	223	124	72	139,7
	Д	82	91	79	84	148	129	75	117,3
	П	97	107	84	96	199	118	65	127,3
Зернотравянопропашной	В	82	93	62	79	201	127	78	135,3
	Д	67	79	70	72	187	128	74	129,7
	П	72	83	62	72,3	230	131	68	143
НСР <sub>05</sub>		14,02	14,77	14,67		19,60	16,17	16,30	
Пар									
Зернопаропропашной		<u>72</u>	<u>140</u>	<u>63</u>	<u>91,7</u>	<u>263</u>	<u>145</u>	<u>105</u>	<u>171</u>
		38	127	85	83,3	82	96	96	91,3
Сидеральный		<u>53</u>	<u>147</u>	<u>65</u>	<u>88,3</u>	<u>220</u>	<u>146</u>	<u>131</u>	<u>165,7</u>
		33	147	105	95	103	101	110	104,7
Зернотравянопропашной		<u>56</u>	<u>153</u>	<u>75</u>	<u>94,7</u>	<u>199</u>	<u>137</u>	<u>143</u>	<u>159,7</u>
		56	157	121	111,3	118	103	130	117
НСР <sub>05</sub>		<u>8,37</u>	<u>9,15</u>	<u>3,93</u>		<u>38,41</u>	<u>34,55</u>	<u>6,01</u>	
		5,67	4,85	8,88		5,23	9,74	7,63	
Озимая пшеница									
Зернопаропропашной		-	<u>69</u>	<u>71</u>	<u>70</u>	<u>38</u>	<u>82</u>	<u>51</u>	<u>57</u>
			45	41	43	59	76	36	57
Сидеральный		-	<u>77</u>	<u>81</u>	<u>79</u>	<u>33</u>	<u>103</u>	<u>70</u>	<u>68,7</u>
			60	50	55	64	125	42	77
Зернотравянопропашной		-	<u>75</u>	<u>80</u>	<u>77</u>	<u>56</u>	<u>118</u>	<u>76</u>	<u>83,3</u>
			67	51	59	90	109	60	86,3
НСР <sub>05</sub>		-	<u>6,11</u>	<u>8,98</u>		<u>5,67</u>	<u>5,23</u>	<u>10,08</u>	
			2,86	6,07		8,16	18,05	7,98	
Ячмень									
Зернопаропропашной		-	<u>50</u>	<u>60</u>	<u>55</u>	-	<u>133</u>	<u>45</u>	<u>89</u>
			51	50	50,5		93	42	67,5
Сидеральный		-	<u>53</u>	<u>65</u>	<u>59</u>	-	<u>127</u>	<u>52</u>	<u>89,5</u>
			48	56	52		89	54	71,5
Зернотравянопропашной		-	<u>52</u>	<u>62</u>	<u>57</u>	-	<u>120</u>	<u>58</u>	<u>89</u>
			53	63	58		77	50	63,5
НСР <sub>05</sub>		-	<u>8,10</u>	<u>5,75</u>		-	<u>19,23</u>	<u>5,23</u>	
			7,09	2,67			17,13	8,15	

Примечание: \* над чертой – фаза всходов (весеннего отрастания трав); под чертой – фаза полной спелости (перед посевом озимой пшеницы).

По сравнению с контрольным посевом озимая пшеница, размещаемая в севооборотах после парозанимающих бобовых культур, практически во все годы исследований характеризовалась к моменту посева более высокой обеспеченностью подвижным фосфором. В засушливые вегетационные периоды прибавка составила 15,7-23,5% в сидеральном пару и 23,6-42,3% в занятом пару, а в избыточно увлажненные – соответственно 14,6-25,6 и 35,4-43,9%. Установленное преимущество занятого и сидерального пара было связано с мобилизацией элемента корневой системой многолетних бобовых трав из нижних горизонтов в верхние и с его мобилизацией из растительных остатков прошлых лет.

Аналогичная тенденция просматривается и под посевами озимой пшеницы на фоне действия бинарного компонента люцерны синей и последействия сидеральной парозанимающей культуры донника желтого: независимо от увлажненности вегетационного периода запасы подвижного фосфора в почве были выше, чем под контрольными посевами озимой пшеницы как в фазе всходов зерновой культуры, так и при ее полной спелости. Например, в засушливые годы запасы доступного фосфора в фазе всходов озимой пшеницы, размещенной по предшественнику сидеральному пару, превысили показатели по чистому пару на 11,6-14,1%, а во влажные годы – на 25,6-37,2%; в фазе полной спелости превышение составило соответственно 21,9-33,3 и 64,5%. Под бинарными посевами озимой пшеницы запасы доступного фосфора были выше контрольных значений на 12,7 и 24,4-48,9% в засушливые годы и 43,9-49,0 и 43,4-66,7% – в избыточно увлажненные.

Полученные результаты говорят о том, что в течение вегетации озимой пшеницы, возделываемой с применением приемов биологизации, на фоне выноса элемента питания зерновой культурой происходит его мобилизация из надземной и подземной биомассы бобовых трав и растительных остатков прошлых лет. Заделанная в почву сидеральная масса донника желтого является важным источником фосфора, представленного легкоусвояемыми соединениями, в результате чего на этом варианте темпы образования подвижных форм фосфора превышали темпы их потребления растениями озимой пшеницы. При возделывании озимой пшеницы по

чистому пару отмечается вынос подвижного фосфора из почвы и мобилизация фосфора только из растительных остатков предшествующих культур.

Под посевами ячменя последствие применяемых приемов биологизации проявлялось слабо и в большей части было несущественным.

В общей сложности обеспеченность посевов подсолнечника и паровых полей подвижным фосфором является повышенной (по Чирикову В.Ф.), а озимой пшеницы и ячменя – средней, что характерно для черноземных почв.

В среднем за ротацию севооборотов наиболее высокий показатель обеспеченности почвы подвижным фосфором был характерен для зернотравянопропашного (92 мг/кг почвы) и сидерального (91 мг/кг почвы) севооборотов. Наиболее низкое значение показателя свойственно для зернопаропропашного севооборота – 85 мг/кг почвы.

Таким образом, наиболее выраженное существенное влияние изучаемых приемов биологизации на содержание в почве подвижного фосфора в различные по увлажненности годы отмечается в зернотравянопропашном севообороте.

Установлено, что увеличение содержания подвижного фосфора в почве и его рациональный расход под культурами севооборотов не зависели от величины поступающих в почву свежих растительных остатков, но в средней степени зависели от влажности ( $r = 0,335$ ;  $n = 36$ ;  $Sr = 0,162$ ;  $t_r = 2,07$ ;  $t_{05} = 2,04$ ;  $r^2 = 0,1120$ ) и плотности почвы ( $r = -0,536$ ;  $n = 36$ ;  $Sr = 0,145$ ;  $t_r = 3,70$ ;  $t_{05} = 2,04$ ;  $r^2 = 0,287$ ), в отношении которых уравнения регрессии имеют вид:  $y = 0,9543x + 58,895$  и  $y = -704,99x + 894,18$  соответственно (совместное влияние влажности ( $x_1$ ) и плотности ( $x_2$ ) слоя почвы 0-30 см может быть описано уравнением зависимости:  $y = -0,299200549x_1 - 804,2996638x_2 + 1017,317068$ ).

В большей степени формирование в севообороте с применением приемов биологизации существенно более высокого запаса подвижного фосфора и рациональный его расход в течение вегетации связаны, по нашему мнению, со способностью возделываемых культур к мобилизации фосфора, т.е. к увеличению подвижности его соединений за счет превращения труднорастворимых соединений в более

растворимые. Например, применяемая в качестве пожнивного сидерата крестоцветная культура редька масличная обладает способностью использовать для питания труднодоступные фосфаты почвы, увеличивая обеспеченность почвы доступными формами фосфора. Формированию наиболее благоприятных условий для мобилизации фосфора способствовало проведение отвальной обработки почвы.

Таким образом, возделывание сельскохозяйственных культур с применением приемов биологизации обеспечивает улучшение фосфорного режима почвы, что связано не только с дополнительным поступлением в почву источников органического вещества (соломы и сидерата), но и с активностью корневой системы бобовых трав, обеспечивающей перевод недоступных для растений форм фосфора в доступные и мобилизацию их из нижележащих горизонтов в верхние.

### **3.2.2. Динамика обменного калия**

Калий – один из важных для растений элементов питания. Он стимулирует поступление воды в клетки, повышает осмотическое давление и тургор, понижает интенсивность процесса испарения, чем обеспечивает повышение засухоустойчивости. Калий участвует в углеводном и белковом обменах, способствует передвижению питательных веществ в растениях, улучшает обмен веществ, повышает жизнеспособность организма, устойчивость его к морозам, поражаемости патогенными организмами [114, 438].

В почвах калий находится преимущественно в недоступной или труднодоступной растениям форме. Под влиянием химического и биологического выветривания калий, содержащийся в таких минералах, как мусковит, биотит, нефелин, может постепенно, хотя и очень медленно, переходить в растворимое состояние. Такой процесс поступления калия в почву из труднодоступных минеральных соединений может удовлетворить потребность растений в этом элементе питания только при низких урожаях. При высокой же урожайности культур, сопровождаемой большим выносом калия из почвы, доступных его форм в почве для питания растений оказывается недостаточно [114, 119].

Основной формой доступного растениям калия служит обменный калий, который адсорбируется на поверхности почвенных коллоидов. Его количество напрямую связано с механическим составом почвы: чем больше в почве мелкодисперсных частиц, тем больше в ней калия. На содержание калия в почве оказывают существенное влияние наличие негумифицированных растительных остатков и микробиологическая активность почвы, способствующие переводу калия из недоступных форм в доступные [43, 114].

Способность почвы высвобождать калий из труднодоступных форм минеральных соединений или фиксировать его зависит как от основных свойств и режимов почвы, так и от биологических особенностей возделываемых культур. Положительное влияние на динамику калия в почве оказывают посевы многолетних трав, обладающие способностью к мобилизации этого элемента из нижележащих слоев в вышележащие. Поэтому одной из задач земледелия является создание оптимальных условий для формирования в почве оптимальных запасов калия в доступной для растений форме [114].

Наши исследования (опыт 1) показали, что пожнивная сидерация как первый этап биологизации системы севооборотов не обеспечила преимущество в содержании обменного калия в почве под подсолнечником в фазе его всходов над применением соломы в чистом виде (таблица 28). Данное наблюдение отмечалось как в различные по увлажненности годы исследования, так и в целом за весь период. При этом формирование более низких запасов обменного калия при применении приемов биологизации было достоверным только в засушливые годы, в избыточно увлажненные годы просматривалась только тенденция. Влияние приемов обработки почвы неоднозначно: в засушливые годы отмечается существенное снижение содержания обменного калия при безотвальных обработках почвы, а в избыточно влажные годы – тенденция к превышению показателя над отвальным приемом.

Аналогичное наблюдаем и в фазе полной спелости культуры: сформированные под бинарными посевами запасы обменного калия не имеют существенных отклонений от значений показателя контрольного варианта (таблица 29, приложение Е, Ж).

Таблица 28 – Содержание обменного калия в слое почвы 0-30 см под подсолнечником в зависимости от видов севооборота и приемов основной обработки почвы (фаза всходы, опыт 1)

Виды севооборота (А) и приемы основной обработки (В)		Содержание обменного калия (мг/кг почвы) в слое почвы 0-30 см в различные годы исследований								
		Засушливые годы				Избыточно влажные годы				2011-2016 гг.
		2011	2014	2015	ср.	2012	2013	2016	ср.	
ЗПП	В	154	156	153	154	223	194	135	184	169
Сид		151	154	155	153	191	149	141	160	157
ЗТП		130	131	157	139	183	161	150	165	152
ЗПП	Д	132	133	145	137	214	222	149	195	166
Сид		123	125	138	129	219	164	136	173	151
ЗТП		143	145	141	143	208	152	140	167	155
ЗПП	П	148	162	138	149	202	199	140	180	165
Сид		132	124	132	129	214	181	130	175	152
ЗТП		138	137	139	138	213	163	142	173	156
		29,36	11,49	22,09	НСР <sub>05</sub>	23,89	30,66	20,44	НСР <sub>05</sub>	
Фактор А		$F_{\phi} = 3,73 (>F_{05})$			7,61	$F_{\phi} = 0,71 (<F_{05})$			36,24	
Фактор В		$F_{\phi} = 7,01 (>F_{05})$			7,61	$F_{\phi} = 0,13 (<F_{05})$			36,24	
Фактор А+В		$F_{\phi} = 3,79 (>F_{05})$			13,17	$F_{\phi} = 0,09 (<F_{05})$			62,77	

Последующее возделывание многолетних трав как парозанимающих культур обеспечило к посеву озимой пшеницы более высокое по сравнению с чистым паром содержание обменного калия в 30-сантиметровом слое почвы. В сидеральном пару запасы данного элемента питания были выше показаний контрольного варианта на 10,2-17,3% в засушливые годы и на 18,1-33,1% – во влажные годы.

На варианте занятого пара данное превышение составило соответственно 15,6-30,1 и 26,4-77,1%. Все отклонения являются достоверными.

Существенно более высокими запасами обменного калия на момент полной спелости культуры характеризовались и посевы озимой пшеницы в зернотравяно-пропашном севообороте: превышение составило в засушливые вегетационные периоды 15,4-15,6% и 19,8-26,5% – в избыточно влажные.

Таблица 29 – Содержание обменного калия в почве под культурами в зависимости от видов севооборота и приемов основной обработки почвы (опыт 1)

Виды севооборота и приемы основной обработки почвы		Содержание обменного калия (мг/кг почвы) в слое почвы 0-30 см в различные годы исследований							
		Засушливые годы				Избыточно влажные годы			
		2011	2014	2015	Ср.	2012	2013	2016	Ср.
Подсолнечник (только полная спелость)									
Зернопаропропашной	В	148	153	150	150,3	216	181	130	175,7
	Д	134	137	140	137	212	202	151	188,3
	П	160	162	105	142,3	161	182	129	157,3
Сидеральный	В	142	154	158	151,3	196	183	150	176,3
	Д	312	314	136	254	208	159	144	170,3
	П	421	162	129	237,3	224	197	146	189
Зернотравянопропашной	В	176	176	181	177,7	198	174	189	187
	Д	172	174	141	162,3	199	161	138	166
	П	173	174	140	162,7	247	198	153	199,3
НСР <sub>05</sub>		37,32	15,80	14,00		26,79	32,48	24,38	
Пар									
Зернопаропропашной		<u>293*</u>	<u>183</u>	<u>190</u>	<u>222</u>	<u>228</u>	<u>199</u>	<u>168</u>	<u>198,3</u>
		89	156	186	143,7	205	155	151	170,3
Сидеральный		<u>222</u>	<u>184</u>	<u>202</u>	<u>202,7</u>	<u>219</u>	<u>212</u>	<u>178</u>	<u>203</u>
		81	183	205	156,3	246	183	201	210
Зернотравянопропашной		<u>305</u>	<u>206</u>	<u>211</u>	<u>240,7</u>	<u>240</u>	<u>243</u>	<u>187</u>	<u>223,3</u>
		90	203	215	169,3	363	196	217	258,7
НСР <sub>05</sub>		<u>131,25</u>	<u>10,82</u>	<u>6,72</u>		<u>11,15</u>	<u>14,03</u>	<u>3,53</u>	
		17,68	5,62	10,14		111,48	10,53	5,17	
Озимая пшеница									
Зернопаропропашной		-	<u>84</u>	<u>81</u>	<u>82,5</u>	<u>89</u>	<u>205</u>	<u>73</u>	<u>122,3</u>
			109	104	106,5	111	132	101	114,7
Сидеральный		-	<u>75</u>	<u>80</u>	<u>77,5</u>	<u>81</u>	<u>246</u>	<u>77</u>	<u>134,7</u>
			109	111	110	113	165	108	128,7
Зернотравянопропашной		-	<u>86</u>	<u>87</u>	<u>86,5</u>	<u>90</u>	<u>363</u>	<u>82</u>	<u>178,3</u>
			126	120	123	138	167	121	142
НСР <sub>05</sub>		-	<u>5,24</u>	<u>5,06</u>		<u>17,68</u>	<u>111,51</u>	<u>7,45</u>	
			5,11	3,10		22,01	31,34	9,15	
Ячмень									
Зернопаропропашной		-	<u>152</u>	<u>151</u>	<u>151,5</u>	-	<u>157</u>	<u>132</u>	<u>144,5</u>
			114	137	125,5		115	113	114
Сидеральный		-	<u>163</u>	<u>165</u>	<u>164</u>	-	<u>178</u>	<u>143</u>	<u>160,5</u>
			114	138	126		121	135	128
Зернотравянопропашной		-	<u>130</u>	<u>162</u>	<u>146</u>	-	<u>134</u>	<u>153</u>	<u>143,5</u>
			114	135	124,5		118	143	130,5
НСР <sub>05</sub>		-	<u>10,06</u>	<u>11,67</u>		-	<u>16,40</u>	<u>6,71</u>	
			5,64	13,84			18,89	11,84	

Примечание: \* над чертой – фаза всходов (весеннего отрастания трав); под чертой – фаза полной спелости (перед посевом озимой пшеницы).

Посевы ячменя характеризовались достоверно более высоким содержанием обменного калия только в фазе всходов и только в сидеральном севообороте. Прибавка обменного калия под влиянием приемов биологизации составила 7,2-9,3 и 8,3-13,4% в различные по увлажненности вегетационные периоды.

Таким образом, наиболее ярко влияние приемов биологизации на формирование в почве запасов обменного калия, как и в случае с подвижным фосфором, проявилось в зернотравянопропашном севообороте.

Кроме формирования хороших запасов обменного калия в почве, зернотравянопропашной севооборот характеризуется и более рациональным расходом данного элемента в течение вегетационного периода культур (рисунок 21).

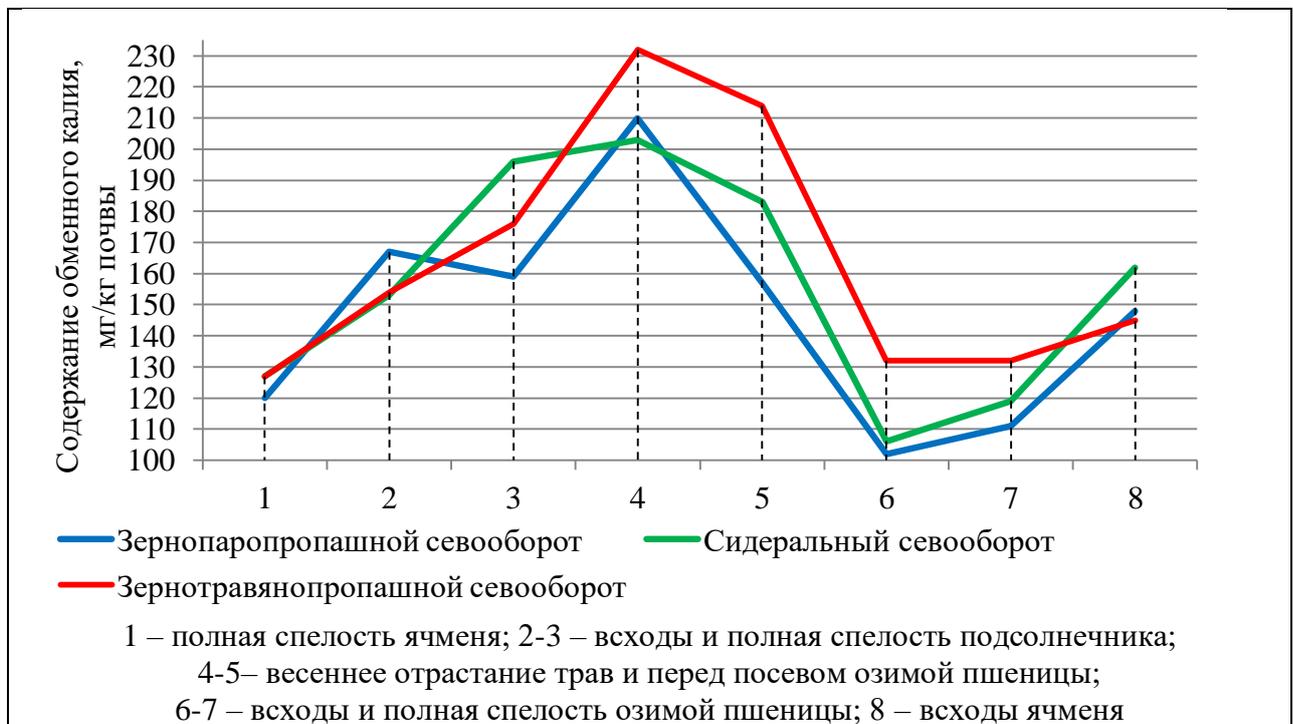


Рисунок 21 – Динамика обменного калия в течение вегетационного периода культур различных видов севооборотов (слой 0-30 см, 2011-2016 гг., опыт 1)

Применение соломы ячменя в чистом виде (зернопаропропашной севооборот) обеспечило к посеву подсолнечника повышение содержания обменного калия в почве в среднем на 39,2%. На варианте совместного использования пожнивного сидерата и соломы прибавка была несколько ниже и составила 20,5%, что связано с выносом калия редькой масличной.

В дальнейшем разложение массы соломы и пожнивного сидерата и действие произрастающих в совместных посевах с подсолнечником бобовых трав обеспечили мобилизацию калия из растительных остатков и нижележащих слоев почвы, в результате чего содержание обменного калия к полной спелости культуры увеличилось: прибавка составила 28,1% на варианте с донником желтым и 14,3% на варианте с люцерной синей. Под одновидовыми посевами подсолнечника без применения пожвливной сидерации содержание данного элемента в почве на 4,8% сократилось, что связано с интенсивным потреблением калия данной культурой: значительный вынос элементов питания пропашными культурами приводит к существенному снижению запасов обменного калия в почве к концу вегетационного периода [307].

После уборки масличной культуры бобовые травы продолжили свою вегетацию, осуществляя мобилизацию калия из нижележащих горизонтов почвы в вышерасположенные, что на фоне дополнительного высвобождения калия из растительных остатков прошлых лет обеспечило рост показателя обеспеченности почвы обменным калием на 3,6-31,8%.

Разложение органического вещества под одновидовыми посевами подсолнечника также обеспечило увеличение содержания обменного калия к началу нового вегетационного периода (на 32,1%), но в течение периода парования чистого пара содержание этого элемента в почве резко снизилось, составив на момент всходов озимой культуры 48,5% от весенних запасов.

Снижение показателя обеспеченности почвы обменным калием к всходам озимой пшеницы отмечается и в сидеральном и занятом пару – соответственно на 52,2 и 43,1%.

Под посевами озимой пшеницы запасы обменного калия в почве увеличились: на 8,8% при размещении культуры по чистому пару, на 12,3% – по сидеральному пару и остались на уровне фазы всходов под бинарными посевами озимой культуры.

В течение вегетационного периода ячменя содержание обменного калия также снижалось: на 18,9% – в контрольном севообороте, на 21,6 – по фону последствия донника и на 12,4% – по фону последствия люцерны синей.

Наиболее высоким показателем обеспеченности почвы обменным калием характеризуется зернотравянопропашной севооборот: в среднем за ротацию содержание обменного калия составило на данном варианте 164 мг/кг почвы. Несколько ниже значения показателя на варианте сидерального севооборота – 156 мг/кг почвы. Содержание обменного калия в почве под зернопаропропашным севооборотом составило 146 мг/кг почвы.

Формирование более высоких запасов обменного калия при биологизации земледелия и рациональность его расхода в течение вегетационных периодов культур не зависели ни от массы поступающих в почву растительных остатков ( $r = 0,369$ ;  $n = 12$ ;  $Sr = 0,294$ ;  $t_r = 1,25$ ;  $t_{05} = 2,23$ ;  $r^2 = 0,1362$ ), ни от влажности почвы ( $r = 0,252$ ;  $n = 18$ ;  $Sr = 0,242$ ;  $t_r = 1,04$ ;  $t_{05} = 2,12$ ;  $r^2 = 0,0639$ ). Важное значение в формировании обеспеченности почвы обменным калием оказала биологическая активность почвы – коэффициент корреляции составил 0,616 ( $n = 18$ ;  $Sr = 0,197$ ;  $t_r = 3,13$ ;  $t_{05} = 2,12$ ;  $r^2 = 0,3791$ ). Также установлена сильная связь ( $r = 0,798$ ;  $n = 18$ ;  $Sr = 0,151$ ;  $t_r = 5,28$ ;  $t_{05} = 2,12$ ;  $r^2 = 0,6374$ ), описываемая уравнением регрессии  $y = 26,355x + 126,49$ , между содержанием в почве обменного калия ( $y$ ) и показателем ГТК ( $x$ ).

Для перехода калия из валовых труднодоступных форм в обменные необходимо сочетание биологических и химических процессов, в значительной мере регулируемых приемами обработки почвы. Но влияние основной обработки почвы под подсолнечник на содержание обменного калия неоднозначно и в большинстве лет исследования недостоверно. В среднем за годы исследования отмечается следующая тенденция: весной в фазе всходов подсолнечника при проведении безотвальных обработок почвы (как дисковой, так и плоскорезной) содержание обменного калия несколько ниже, чем при отвальной (на 1,2%), а в фазе полной спелости – выше (на 50%). Считаем, что более низкое содержание обменного калия в почве по фону безотвальных обработок связано с недостаточной активностью почвенных микроорганизмов в начале вегетации культуры, а увеличение его мобилизации – со снижением влажности почвы к концу вегетационного периода, что и привело к высвобождению катионов калия из почвенного поглощающего комплекса.

Замена отвальной обработки почвы плоскорезным рыхлением способствует формированию к фазе всходов подсолнечника гетерогенного по содержанию обменного калия 30-сантиметрового слоя почвы. Содержание данного элемента в слое почвы 10-20 см составило 88,9%, а в слое 20-30 см – 85,5% по отношению к показателю слоя 0-10 см. При отвальной и дисковой обработках 30-сантиметровый слой почвы по содержанию обменного калия характеризовался равномерностью его распределения (приложение И, рисунок 22А).

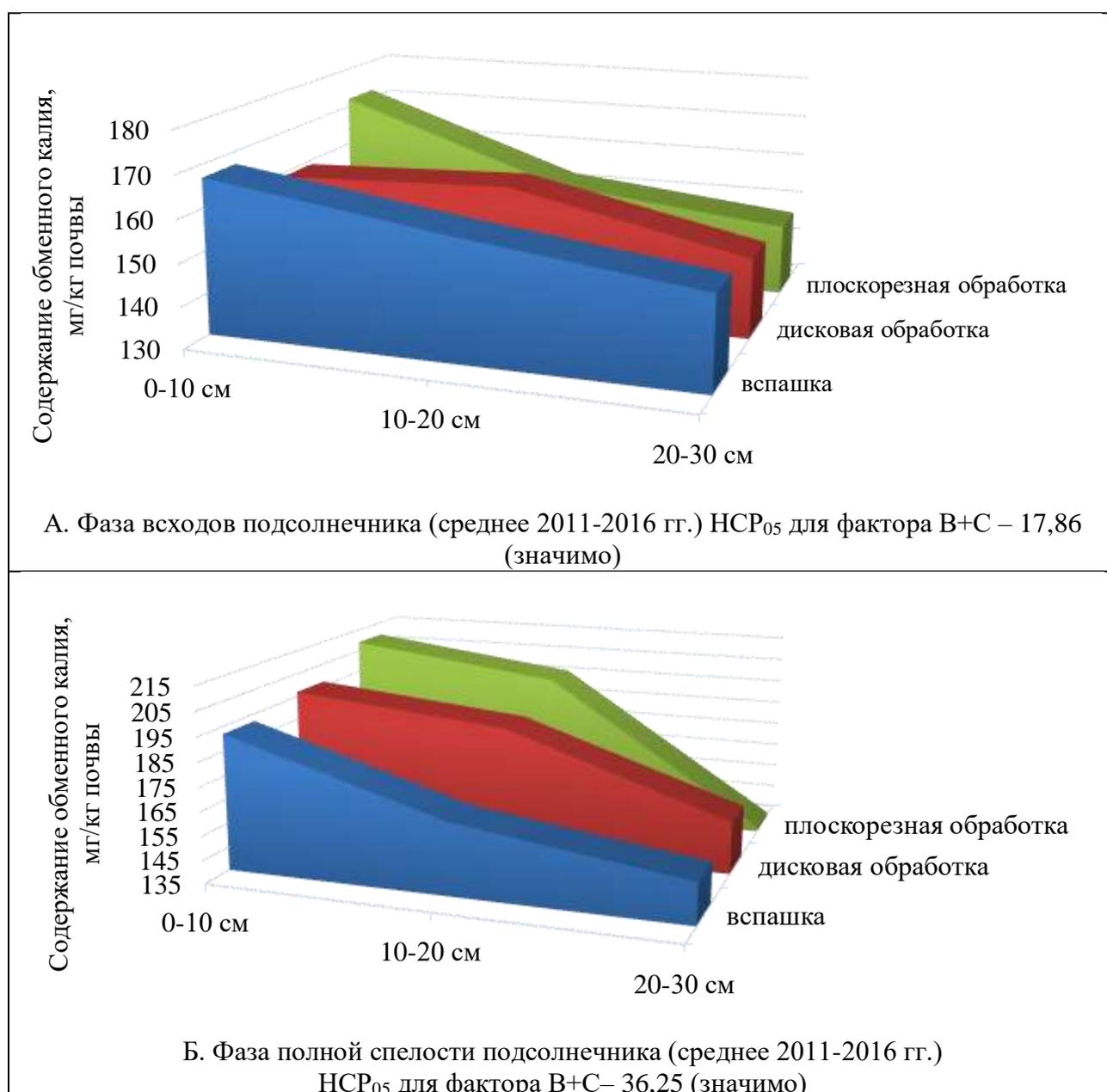


Рисунок 22 – Дифференциация содержания обменного калия в слое почвы 0-30 см под подсолнечником в зависимости от приемов основной обработки (2011-2016 гг., опыт 1)

Дифференциация пахотного слоя по содержанию обменного калия под всеми изучаемыми приемами основной обработки почвы проявилась в фазе полной спелости культуры: 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). Но резкий переход в обеспеченности обменным калием между слоями 10-20 и 20-30 см (60 мг/кг почвы) отмечен только по фону плоскорезной обработки (рисунок 22Б).

Зависимости дифференциации почвы по содержанию обменного калия под влиянием увлажненности вегетационного периода не выявлено (приложение И).

Таким образом, возделывание культур в зернотравянопропашном севообороте по фону отвальной обработки почвы под подсолнечник способствует улучшению калийного режима почвы.

### **3.2.3. Содержание в почве аммонийного и нитратного азота**

Азот является основным элементом питания всех растений. Он входит в состав ферментов-катализаторов, нуклеиновых кислот, белков, витаминов, гормонов, фотосинтетических пигментов и других жизненно важных соединений. Вместе с фосфором, углеродом, серой, водородом он является важным элементом для образования органических веществ. При оптимальной обеспеченности растений азотом повышается синтез белковых веществ, растения формируют хорошо развитый ассимиляционный аппарат, способствующий усилению фотосинтетической деятельности, повышению урожайности и улучшению качества продукции. Недостаток азота вызывает нарушение энергетического обмена, снижение водоудерживающей способности растительных тканей, интенсивности фотосинтеза, эффективности использования воды, что приводит к снижению урожайности [438].

Содержание азота в почве обуславливает процессы трансформации подвижных компонентов гумуса, их вовлечение в биологический круговорот, развитие и

направленность реакций минерализационно-иммобилизационного цикла и связанного с ними формирования эффективного плодородия [87].

Вопросам состояния, форм и природе почвенного азота посвящено много исследований [273, 293, 431, 432 и др.]. Основная масса почвенного азота сконцентрирована в органическом веществе и недоступна для растений, т.к. входит в структуру сложных молекул белка и представлена в основном аминогруппами ( $-\text{NH}_2$ ). В процессе протекающего под действием микроорганизмов разложения органического вещества происходит высвобождение аммония, т.е. аммонификация.

Высвобождение аммония может протекать двумя путями:

1) при разрыве связи углерода с азотом аминогруппа, получив положительный заряд при абсорбировании третьего атома водорода, абсорбирует четвертый атом водорода и становится ионом аммония ( $\text{NH}_4$ ), который поступает в почвенный раствор;

2) в случае отсутствия у аминогруппы положительного заряда высвобождается молекула аммиака ( $\text{NH}_3$ ), которая абсорбирует ион водорода и становится ионом аммония [438].

Процесс окисления аммиака получил название нитрификации. Образующиеся нитриты сразу же окисляются в нитраты – основную форму азота, потребляемую растениями.

Оптимальными температурами для протекания процессов аммонификации и нитрификации являются 10-30 °С. При температуре ниже 10 °С процессы замедляются, а при отрицательных – прекращаются.

Таким образом, доступными для растений формами азота в почве являются главным образом ионы аммония и нитрат-ионы, которые образуются при разложении азотсодержащих органических веществ.

Ион  $\text{NH}_4^+$  легко поглощается почвой, часть его при этом переходит в фиксированное состояние и представляет собой необменную форму. Ион  $\text{NO}_3^-$  не поглощается почвой, легко вымывается в более глубокие ее слои, находится преимущественно в почвенном растворе и легко используется растениями [60, 114].

Между двумя формами азота существует сильная прямая корреляционная связь ( $r = 0,730$ ): чем больше в почве содержание аммонийного азота ( $x$ ), тем больше объем образованной нитратной формы ( $y$ ), зависимость величины которого описывается уравнением регрессии, представленном на рисунке 23.

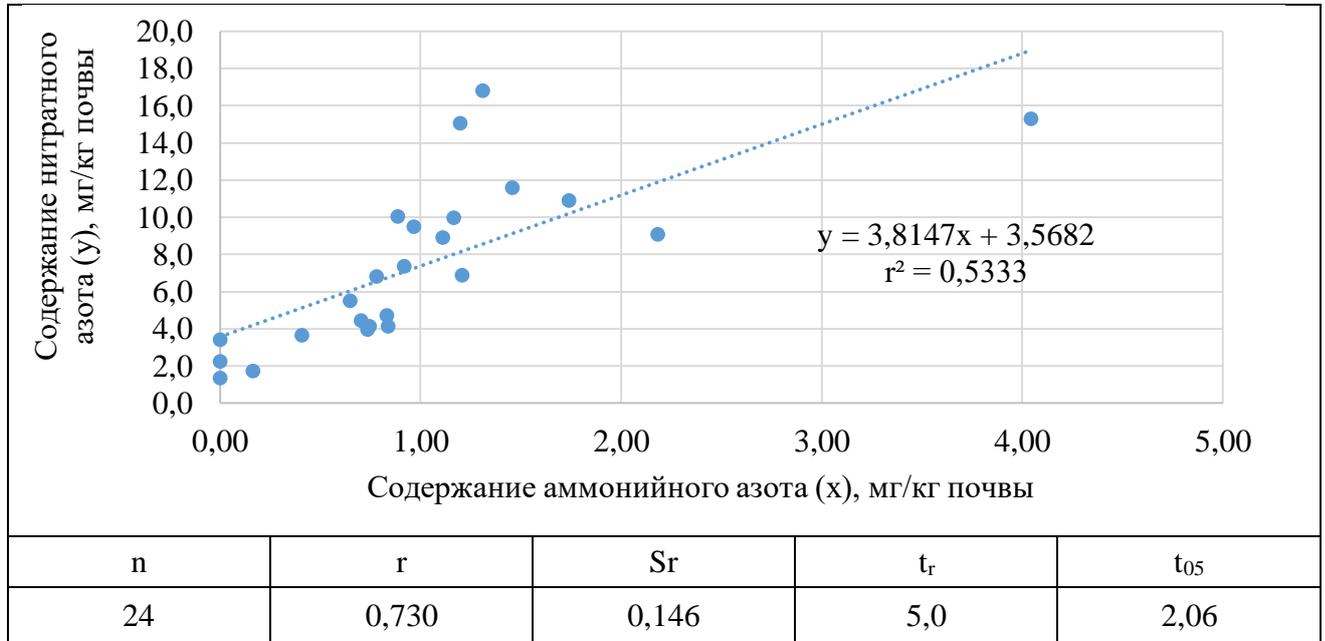


Рисунок 23 – Результаты корреляционно-регрессионного анализа зависимости массы нитратного азота в слое почвы 0-30 см от содержания аммонийного азота (2011-2014 гг.)

Аммонийный азот, как и нитратный, образуется при разложении азотсодержащих органических веществ. Аммонийная форма азота, в отличие от нитратной, хорошо поглощается почвой, меньше вымывается осадками и обладает более длительным действием.

На момент всходов подсолнечника в сидеральном и зернотравянопропашном севооборотах содержание аммонийного азота в 30-сантиметровом слое почвы было меньше, чем в зернопаропропашном, причем по всем изучаемым вариантам обработки почвы (таблица 30).

Наибольшее отклонение характерно для отвальной обработки: 1,66-1,79 мг/кг почвы в засушливые вегетационные периоды и 0,53-0,79 мг/кг – в избыточно влажные (в среднем за период исследования – 1,09-1,28 мг/кг почвы).

Таблица 30 – Содержание аммонийного азота в слое почвы 0-30 см под подсолнечником в зависимости от видов севооборота и приемов основной обработки почвы (фаза всходы, опыт 1)

Виды севооборота (А) и приемы основной обработки почвы (В)		Содержание аммонийного азота (мг/кг почвы) в слое почвы 0-30 см в различные годы исследований						
		Засушливые годы			Избыточно влажные годы			2011-2014 гг.
		2011	2014	Ср.	2012	2013	Ср.	
ЗПП	В	2,77	2,63	2,70	2,10	1,80	1,95	2,32
Сид		1,00	1,08	1,04	1,32	1,52	1,42	1,23
ЗТП		0,78	1,04	0,91	1,29	1,03	1,16	1,04
ЗПП	Д	2,21	2,30	2,25	1,89	1,39	1,64	1,94
Сид		2,95	2,18	2,56	2,97	1,55	2,26	2,41
ЗТП		1,69	1,73	1,71	1,29	0,75	1,02	1,36
ЗПП	П	1,13	1,23	1,18	3,00	1,09	2,04	1,61
Сид		1,13	0,65	0,89	1,52	0,80	1,16	1,03
ЗТП		1,30	1,60	1,45	1,40	0,69	1,04	1,25
		1,03	0,70	НСР <sub>05</sub>	0,34	1,33	НСР <sub>05</sub>	
Фактор А		F <sub>φ</sub> = 13,90 (>F <sub>05</sub> )		0,31	F <sub>φ</sub> = 2,44 (<F <sub>05</sub> )		0,84	
Фактор В		F <sub>φ</sub> = 27,02 (>F <sub>05</sub> )		0,31	F <sub>φ</sub> = 0,18 (<F <sub>05</sub> )		0,84	
Фактор А+В		F <sub>φ</sub> = 15,18 (>F <sub>05</sub> )		0,54	F <sub>φ</sub> = 0,83 (<F <sub>05</sub> )		1,45	

Различные приемы основной обработки почвы оказали существенное влияние на содержание аммонийного азота в различных слоях почвы и равномерность его распределения в них.

Наибольшее количество аммонийного азота в верхнем слое почвы (0-10 см) образуется при проведении вспашки – 1,99 мг/кг почвы. Незначительно уступает ему вариант с проведением обработки почвы дисковым орудием. Значительно меньшее количество данного элемента (на 67,8%) характерно для плоскорезной обработки. На этом преимущество отвальной обработки заканчивается, т.к. в слоях почвы 10-20 и 20-30 см существенно более высокие запасы аммонийного азота формируются при дисковой и плоскорезной (только для слоя 10-20 см) обработках (приложение К, рисунок 24).

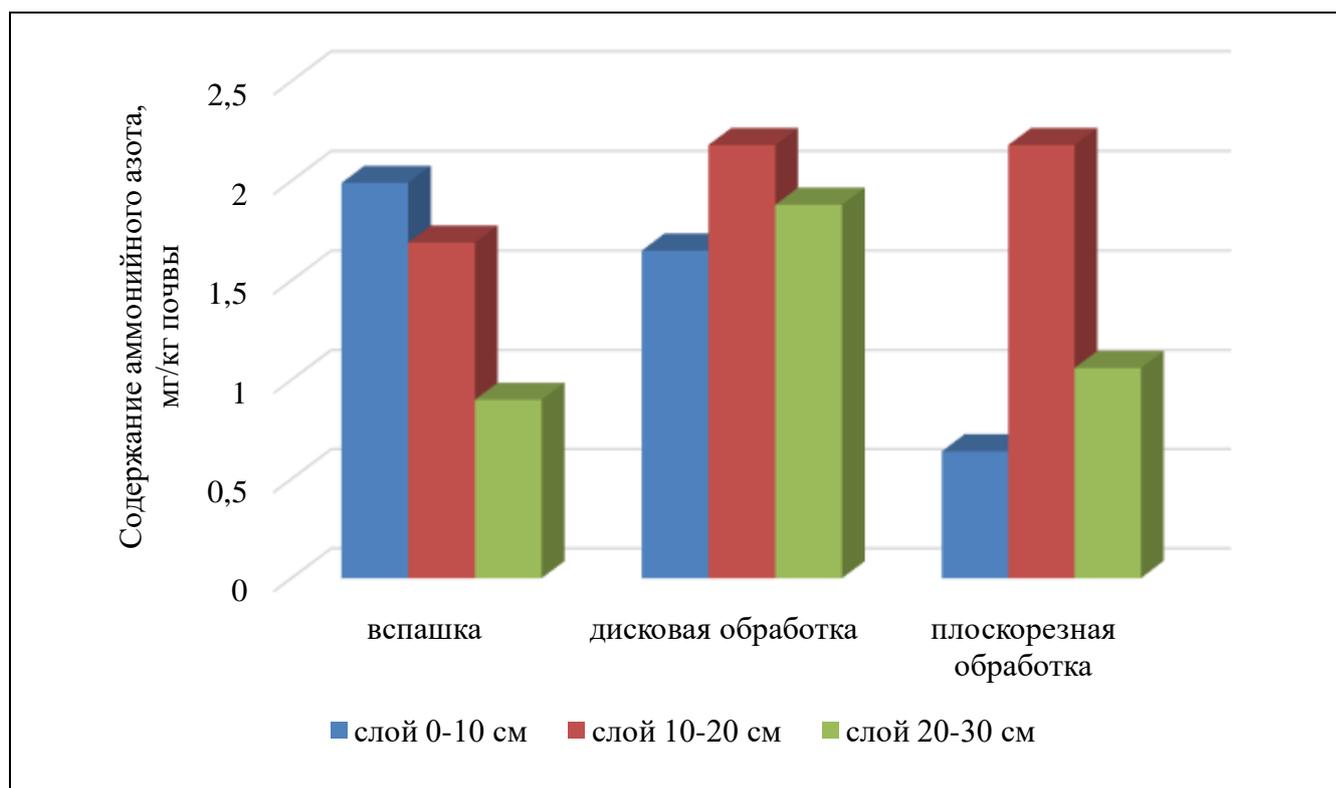


Рисунок 24 – Дифференциация содержания аммонийного азота в слое почвы (С) 0-30 см в зависимости от приемов основной обработки почвы (В) (фаза всходов подсолнечника, НСР<sub>05</sub>: фактор В – 0,49 (значимо); фактор В+С – 0,85 (значимо), 2011-2014 гг., опыт 1)

Гетерогенность в распределении аммонийного азота в 30-сантиметровом слое почвы характерна как для вспашки, так и для плоскорезной обработки, но имеет свои особенности. При вспашке она отмечается только между слоями 0-10 и 20-30 см, а при плоскорезной обработке – между слоями 0-10...10-20 см и 10-20...20-30 см. При дисковой обработке 30-сантиметровый слой почвы по обеспеченности аммонийным азотом однороден.

В течение вегетации культур однозначных выводов о существенности влияния изучаемых приемов биологизации на содержание аммонийного азота в почве сделать нельзя. Так, к полной спелости подсолнечника применение приемов биологизации привело к формированию существенно более низких запасов аммонийного азота в почве в засушливые годы и к существенно более высокому – в один из избыточно влажных (таблица 31, приложение Е, Ж).

Таблица 31 – Содержание аммонийного азота в почве под культурами в зависимости от видов севооборота и приемов основной обработки почвы (опыт 1)

Виды севооборота и приемы основной обработки почвы	Содержание аммонийного азота (мг/кг почвы) в слое почвы 0-30 см в различные годы исследований						
	Засушливые годы			Избыточно влажные годы			
	2011	2014	Ср.	2012	2013	Ср.	
Подсолнечник (только полная спелость)							
Зернопаропропашной	В	1,26	1,88	1,57	следы	следы	следы
	Д	0,61	0,90	0,75	следы	следы	следы
	П	0,67	1,01	0,84	следы	следы	следы
Сидеральный	В	1,15	1,41	1,28	0,02	следы	0,01
	Д	1,34	1,62	1,48	1,15	следы	0,57
	П	1,28	1,62	1,45	0,89	следы	0,44
Зернотравянопропашной	В	0,70	0,98	0,84	0,35	следы	0,17
	Д	0,46	0,78	0,62	следы	следы	следы
	П	0,56	0,88	0,72	0,13	следы	0,06
НСР <sub>05</sub>		0,51	0,09		0,49	0,00	
Пар							
Зернопаропропашной		<u>0,35</u>	<u>1,13</u>	<u>0,74</u>	<u>следы</u>	<u>0,56</u>	<u>0,28</u>
		1,96	0,37	1,16	0,66	следы	0,33
Сидеральный		<u>следы</u>	<u>2,21</u>	<u>1,10</u>	<u>следы</u>	<u>0,90</u>	<u>0,45</u>
		1,17	0,95	1,06	1,14	следы	0,57
Зернотравянопропашной		<u>следы</u>	<u>3,17</u>	<u>1,58</u>	<u>0,37</u>	<u>1,13</u>	<u>0,75</u>
		2,28	1,19	1,73	2,06	следы	1,03
НСР <sub>05</sub>		<u>0,23</u>	<u>0,51</u>		<u>0,09</u>	<u>0,68</u>	
		0,17	0,20		0,65	0,00	
Озимая пшеница							
Зернопаропропашной		-	<u>0,65</u>	<u>0,65</u>	<u>1,96</u>	<u>0,66</u>	<u>1,31</u>
			следы	следы	следы	следы	следы
Сидеральный		-	<u>0,80</u>	<u>0,80</u>	<u>1,05</u>	<u>1,14</u>	<u>1,09</u>
			0,85	0,85	0,95	следы	0,47
Зернотравянопропашной		-	<u>0,97</u>	<u>0,97</u>	<u>2,28</u>	<u>2,06</u>	<u>2,17</u>
			0,87	0,87	0,86	следы	0,43
НСР <sub>05</sub>		-	<u>0,40</u>		<u>0,17</u>	<u>0,65</u>	
			0,27		0,35	0,00	
Ячмень							
Зернопаропропашной		-	<u>4,90</u>	<u>4,90</u>	-	<u>0,56</u>	<u>0,56</u>
			следы	следы		следы	следы
Сидеральный		-	<u>1,52</u>	<u>1,52</u>	-	<u>0,54</u>	<u>0,54</u>
			следы	следы		следы	следы
Зернотравянопропашной		-	<u>1,36</u>	<u>1,36</u>	-	<u>0,44</u>	<u>0,44</u>
			следы	следы		следы	следы
НСР <sub>05</sub>		-	<u>4,53</u>		-	<u>0,23</u>	
			0,00			0,00	

Примечание: \* над чертой – фаза всходов (весеннего отрастания трав); под чертой – фаза полной спелости (перед посевом озимой пшеницы).

Аналогичная картина наблюдалась и под посевами других культур: каждый год результаты влияния изучаемых приемов на содержание аммонийного азота в почве различны и не поддаются систематизации и анализу. Исключение составляет только посев ячменя: во все годы исследований влияние изучаемых факторов на рассматриваемый показатель несущественно.

Анализ динамики аммонийного азота выявил следующие особенности: под культурами севооборотов она была отрицательной, а под паровыми полями – положительная. При этом севообороты с приемами биологизации характеризовались более рациональным расходом аммонийного азота, т.е. расход аммонийного азота был меньше, чем в зернопаропропашном севообороте на 6-22,6 абс.% под посевами подсолнечника и на 32,8-60 абс.% – под посевами озимой пшеницы; под посевами ячменя расход был 100% по всем вариантам. Положительная динамика содержания аммонийного азота в почве паровых полей выразилась в увеличении на 47% показателя по чистому пару, на 5,1 – по сидеральному и на 17,9% – по занятому пару.

Довольно высокий прирост в содержании аммонийного азота в чистом пару связан с увеличением темпов минерализации органического вещества в результате проведения сплошных культиваций при уходе за паром, что нельзя считать положительным явлением, т.к. в дальнейшем под озимой пшеницей его запасы в почве резко снижались и к фазе полной спелости достигли нулевых значений.

Важным условием активности нитрификационных процессов является обеспеченность почвы достаточным количеством свежего органического вещества, что подтверждается установленной средней силы зависимостью ( $r = 0,580$ ;  $n = 24$ ;  $Sr = 0,174$ ;  $t_r = 3,33$ ;  $t_{05} = 2,06$ ) между содержанием в почве нитратного азота и массой поступающих в почву растительных остатков. Наиболее выраженная зависимость определена в отношении корневых остатков культур:  $r = 0,444$  ( $n = 24$ ;  $Sr = 0,197$ ;  $t_r = 2,25$ ;  $t_{05} = 2,06$ ); взаимосвязь с пожнивными остатками и нетоварной частью урожая – слабая.

Применяемые приемы биологизации оказали существенное влияние на развитие процессов нитрификации: совместное применение поживной сидерации и соломы ячменя в качестве удобрений по сравнению с вариантом использования

только соломы обеспечило к всходам подсолнечника более высокое содержание нитратного азота (таблица 32).

Таблица 32 – Содержание нитратного азота в слое почвы 0-30 см под подсолнечником в зависимости от видов севооборота и приемов основной обработки почвы (фаза всходы, опыт 1)

Виды севооборота (А) и приемы основной обработки почвы (В)		Содержание нитратного азота (мг/кг почвы) в слое почвы 0-30 см в различные годы исследований						
		Засушливые годы			Избыточно влажные годы			2011-2014 гг.
		2011	2014	ср.	2012	2013	ср.	
ЗПП	В	11,6	10,3	10,9	8,9	11,4	10,1	10,5
Сид		11,1	10,9	11,0	6,8	13,3	10,1	10,6
ЗТП		16,8	10,2	13,5	9,2	11,8	10,5	12,0
ЗПП	Д	10,1	9,4	9,7	8,8	7,9	8,3	9,0
Сид		15,7	15,9	15,8	6,6	15,8	11,2	13,5
ЗТП		18,3	12,8	15,6	8,2	13,7	11,0	13,3
ЗПП	П	11,5	11,4	11,4	9,0	12,5	10,7	11,0
Сид		16,2	14,9	15,6	6,6	14,9	10,8	13,2
ЗТП		11,1	11,2	11,2	7,6	12,0	9,8	10,5
		2,62	2,27	НСР <sub>05</sub>	1,16	2,73	НСР <sub>05</sub>	6,74
Фактор А		F <sub>φ</sub> = 4,46 (>F <sub>05</sub> )		2,71	F <sub>φ</sub> = 0,09 (<F <sub>05</sub> )		5,07	
Фактор В		F <sub>φ</sub> = 1,23 (<F <sub>05</sub> )		2,71	F <sub>φ</sub> = 0,01 (<F <sub>05</sub> )		5,07	
Фактор А+В		F <sub>φ</sub> = 2,37 (<F <sub>05</sub> )		4,70	F <sub>φ</sub> = 0,14 (<F <sub>05</sub> )		8,78	

При этом действие приема биологизации более выраженным было в годы с засушливым вегетационным периодом.

Более низкое формирование запасов нитратного азота в почве на варианте применения только соломы ячменя, по нашему мнению, может быть связано со снижением потерь на иммобилизацию азота, т.е. потребление его почвенными микроорганизмами. Солома характеризуется низким содержанием азота, в результате чего при ее разложении микроорганизмы для своего развития потребляют азот не только из органических веществ, но и из почвы.

Обработка почвы не оказала существенного влияния на содержание нитратного азота в слое почвы 0-30 см, но проявила значимость в распределении элемента

по рассматриваемому слою. Выраженная дифференциация почвы к концу вегетационного периода подсолнечника отмечена по фону всех рассматриваемых приемов основной обработки почвы (приложение Л, рисунок 25).

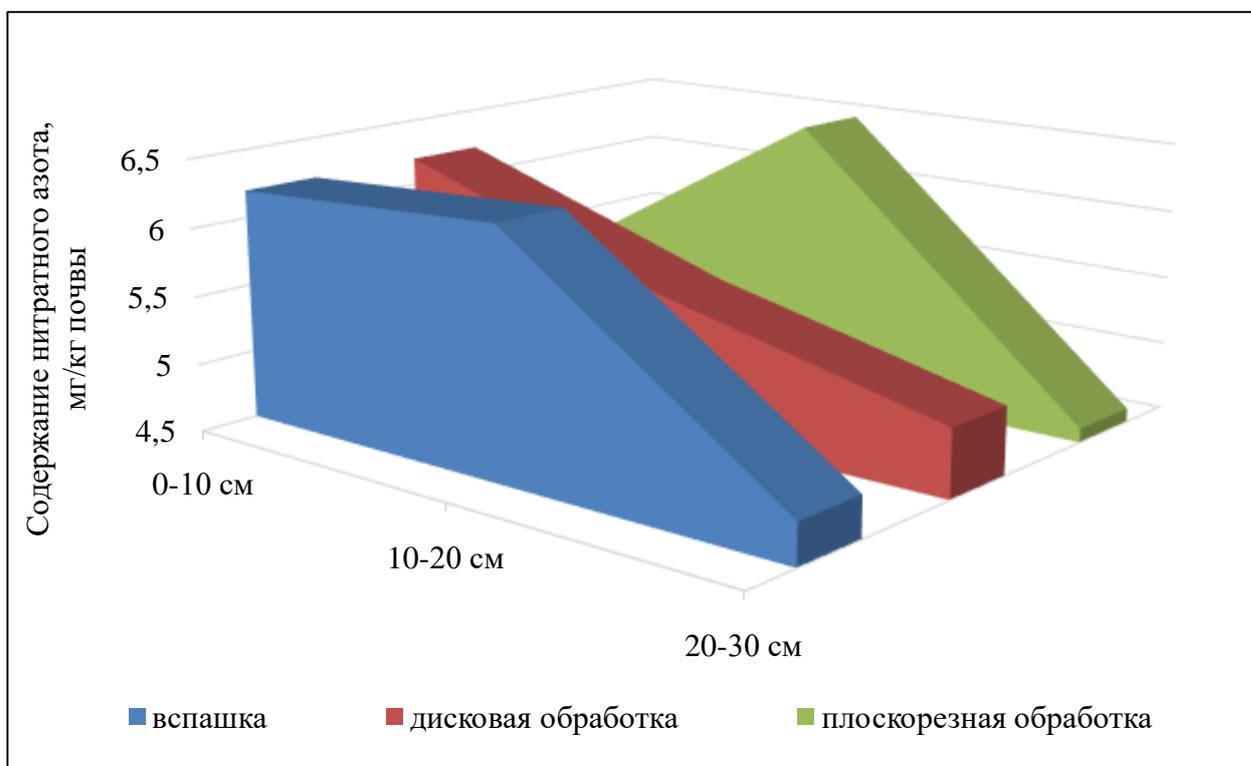


Рисунок 25 – Дифференциация содержания нитратного азота в слое почвы (С) 0-30 см в зависимости от приемов основной обработки почвы (В) (фаза полной спелости подсолнечника, НСР<sub>05</sub> для фактора В+С – 0,95 (значимо), 2011-2014 гг., опыт 1)

По фону отвальной обработки почвы на глубину 20-22 см и дискования на глубину 10-12 см гомогенным являлся только слой 0-20 см, тогда как слой 0-30 см по содержанию нитратного азота был гетерогенным. При этом гетерогенность была более выраженной при вспашке: слой почвы 20-30 см по обеспеченности нитратным азотом был беднее слоя 0-10 см на 22,6%, а слоя 10-20 см – на 23,8%. По фону дисковой обработки почвы существенные отклонения в обеспеченности нитратным азотом отмечаются только между слоями 0-10 и 20-30 см: нижний слой беднее верхнего на 19,3%.

Проведение плоскорезной обработки почвы сопровождалось ярко выраженной дифференциацией почвы по обеспеченности нитратным азотом. Наиболее высоким содержанием характеризовался слой 10-20 см (6,5 мг/кг почвы), несколько беднее (на 1,3 мг/кг почвы) был слой 0-10 см; содержание нитратного азота в слое почвы 20-30 см было наименьшим – 4,6 мг/кг почвы.

В конце вегетационного периода подсолнечника, возделываемого в совместных посевах с бобовыми травами, содержание нитратного азота в почве не имело статистически значимых отклонений от контрольных значений (таблица 33). Существенность влияния приемов биологизации проявилась только на парах и под посевами озимой пшеницы.

Так, в фазу начала весеннего отрастания бобовых трав в паровых полях содержание нитратного азота в слое почвы 0-30 см было существенно выше, чем на варианте чистого пара, причем, как в засушливые, так и в избыточно увлажненные годы исследований: на варианте сидерального пара превышение варьировало от 1,6 до 2,6 мг/кг почвы (от 29,6 до 33,3%), на варианте занятого пара – от 2,2 до 2,6 мг/кг почвы (от 28,2 до 48,1%).

Также и к посеву озимой пшеницы содержание нитратного азота на этих вариантах существенно превышало контрольные значения: соответственно на 0,8-10,4 мг/кг почвы (на 61,5-216,7%) и на 2,8-10,2 мг/кг почвы (на 212,5-215,4%).

Аналогичная тенденция отмечается и под посевами озимой пшеницы, возделываемой в биологизированных севооборотах: и на момент всходов культуры, и при ее полной спелости запасы нитратного азота в почве были выше, чем при размещении ее посевов по чистому пару.

При использовании в качестве предшественника сидерального пара сформированные к фазе всходов запасы нитратного азота превышали значения контрольного варианта в 3,2-5,2 раза (но только в избыточно увлажненные годы), в то время как под бинарными посевами зерновой культуры содержание этого элемента было выше в 1,2 раза при засушливых условиях и в 3,1-5,4 раза – при избыточно увлажненных.

Таблица 33 – Содержание нитратного азота в почве под культурами в зависимости от видов севооборота и приемов основной обработки почвы (опыт 1)

Виды севооборота и приемы основной обработки почвы	Содержание нитратного азота (мг/кг почвы) в слое почвы 0-30см в различные годы исследований						
	Засушливые годы			Избыточно влажные годы			
	2011	2014	Ср.	2012	2013	Ср.	
Подсолнечник (только полная спелость)							
Зернопаропропашной	В	9,7	9,2	9,4	1,9	1,2	1,5
	Д	10,0	9,4	9,7	1,5	0,3	0,9
	П	10,5	10,0	10,2	2,0	0,2	1,1
Сидеральный	В	9,6	9,0	9,3	2,2	1,8	2,0
	Д	9,5	9,1	9,3	2,0	2,3	2,1
	П	7,9	7,6	7,7	2,1	1,6	1,8
Зернотравянопропашной	В	10,4	9,9	10,1	3,1	1,4	2,2
	Д	9,4	8,6	9,0	2,9	1,7	2,3
	П	10,0	9,5	9,7	2,0	2,0	2,0
НСР <sub>05</sub>		2,26	0,85		0,79	0,75	
Пар							
Зернопаропропашной		<u>14,1</u>	<u>7,8</u>	<u>10,9</u>	<u>8,6</u>	<u>5,4</u>	<u>7,0</u>
		4,8	1,5	3,1	1,9	1,3	1,6
Сидеральный		<u>12,1</u>	<u>10,4</u>	<u>11,2</u>	<u>10,5</u>	<u>7,0</u>	<u>8,7</u>
		15,2	3,3	9,2	9,8	2,1	5,9
Зернотравянопропашной		<u>7,7</u>	<u>10,0</u>	<u>8,8</u>	<u>8,6</u>	<u>8,0</u>	<u>8,3</u>
		15,0	0,9	7,9	10,2	4,1	7,1
НСР <sub>05</sub>		<u>2,95</u>	<u>1,12</u>		<u>0,59</u>	<u>1,00</u>	
		4,33	0,43		2,30	0,37	
Озимая пшеница							
Зернопаропропашной		-	<u>8,0</u>	<u>8,0</u>	<u>4,8</u>	<u>1,9</u>	<u>3,3</u>
			1,3	1,3	1,3	1,5	1,4
Сидеральный		-	<u>8,2</u>	<u>8,2</u>	<u>15,2</u>	<u>9,8</u>	<u>12,5</u>
			3,3	3,3	2,9	2,8	2,8
Зернотравянопропашной		-	<u>9,5</u>	<u>9,5</u>	<u>15,0</u>	<u>10,2</u>	<u>12,6</u>
			4,0	4,0	4,1	4,9	4,5
НСР <sub>05</sub>		-	<u>0,59</u>		<u>4,33</u>	<u>2,30</u>	
			0,46		0,92	0,83	
Ячмень							
Зернопаропропашной		-	<u>10,1</u>	<u>10,1</u>	-	<u>4,1</u>	<u>4,1</u>
			2,3	2,3		2,0	2,0
Сидеральный		-	<u>13,8</u>	<u>13,8</u>	-	<u>6,5</u>	<u>6,5</u>
			1,29	1,3		2,2	2,2
Зернотравянопропашной		-	<u>12,7</u>	<u>12,7</u>	-	<u>4,9</u>	<u>4,9</u>
			1,6	1,6		2,9	2,9
НСР <sub>05</sub>		-	<u>1,47</u>		-	<u>1,12</u>	
			1,00			0,49	

Примечание: \* над чертой – фаза всходов (весеннего отрастания трав); под чертой – фаза полной спелости (перед посевом озимой пшеницы).

Преимущество приемов биологизации в формировании более высоких запасов нитратного азота в почве сохранилось и к фазе полной спелости озимой пшеницы: по сравнению с контролем превышение составило 1,9-2,5 раза в сидеральном севообороте и 3,1-3,3 раза – в зернотравянопропашном.

В течение вегетации ячменя отмечается снижение влияния приемов биологизации на обеспеченность почвы нитратным азотом. Если в фазе всходов этот показатель в севооборотах с применением приемов биологизации еще превышал контрольные значения (на 25,7-58,5%), то к полной спелости культуры данное влияние стало несущественным.

На содержание нитратного азота в почве оказала влияние и увлажненность вегетационного периода. Согласно представленным в таблице 33 данным при избыточно увлажненных условиях содержание нитратного азота в почве было меньше, чем в засушливые периоды, что может быть связано с протеканием процессов денитрификации, когда микроорганизмы для своего дыхания вынуждены использовать кислород нитратов, восстанавливая при этом азот до свободной молекулярной формы  $N_2$ , которая улетучивается. Также одной из причин может быть активная миграция нитратного азота за пределы корнеобитаемого слоя.

Сильная прямая корреляционная зависимость между содержанием в почве нитратного азота ( $y$ ) и показателем ГТК ( $x$ ) отмечена при слабозасушливых и засушливых условиях ( $r = 0,932$ ;  $n = 12$ ;  $S_r = 0,114$ ;  $t_r = 8,17$ ;  $t_{05} = 2,23$ ;  $r^2 = 0,8687$ ). Данная связь описывается уравнением регрессии:  $y = 12,492x - 1,5317$ .

В течение ротаций севооборотов содержание нитратного азота в почве имело тенденцию к снижению к концу вегетаций культур и к повышению в межвегетационный период (рисунок 26).

Увеличение содержание нитратного азота в почве к фазе всходов культур связано с наступлением заключительной стадии минерализации – образованию нитратов. Уменьшение же показателя к концу вегетационного периода связано не только с потреблением элемента культурными растениями, но и с замедлением процессов синтеза нитратных форм азота, причины которого заключаются в снижении интенсивности микробиологической деятельности в результате уменьшения

влажности почвы. Это подтверждает установленная корреляционно-регрессионная зависимость содержания в почве нитратного азота (y) от влажности почвы (x):  $y = 0,2507x - 1,7762$ ;  $r = 0,523$  ( $n = 24$ ;  $Sr = 0,182$ ;  $t_r = 2,87$ ;  $t_{05} = 2,06$ ;  $r^2 = 0,2731$ ).

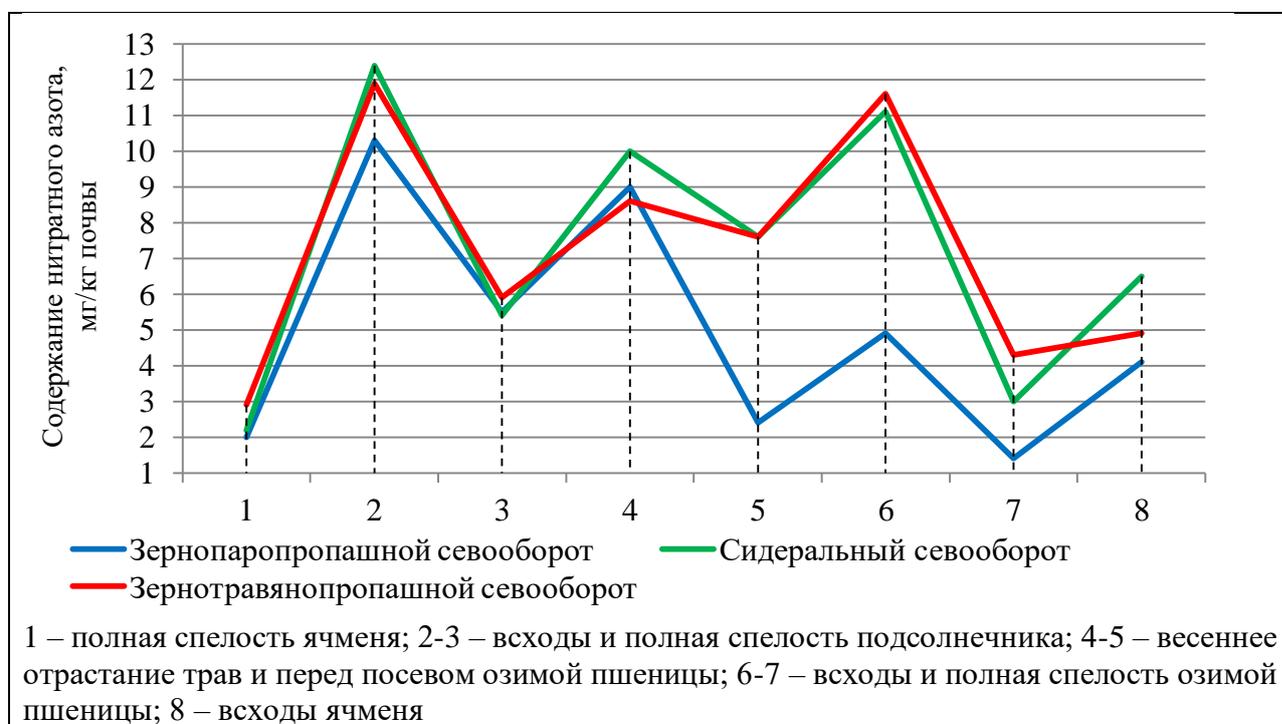


Рисунок 26 – Динамика нитратного азота в течение вегетационного периода культур различных видов севооборотов (2011-2014 гг., опыт 1)

Исследования показали, что наименее выраженная отрицательная динамика нитратного азота в почве в течение вегетационных периодов была отмечена под зернотравянопропашным севооборотом: 50,4% – под посевами подсолнечника, 11,6 – под занятым паром, 62,9 – под бинарными посевами озимой пшеницы и 40,8% – под посевами ячменя.

В зернопаропропашном севообороте также отмечалось снижение содержания нитратного азота в почве к полной спелости культур, которое было выражено несколько сильнее по сравнению с зернотравянопропашным севооборотом и составило: 46,6% – под посевами подсолнечника, 73,3 – в поле чистого пара, 71,4 – под посевами озимой пшеницы и 51,2% – под посевами ячменя.

Наиболее выраженный расход нитратного азота под возделываемыми культурами отмечался в сидеральном севообороте: 56,4% – под бинарными посевами подсолнечника с донником, 24 – под сидеральным паром, 73 – под озимой пшеницей и 66,1% – под посевами ячменя.

В общей сложности от момента начала применения приемов биологизации (после уборки ячменя) и до всходов ячменя благодаря накоплению нитратного азота в межвегетационный период его содержание в почве зернопаропропашного севооборота повысилось на 105%, сидерального – на 195,5, зернотравянопропашного – на 69%.

Таким образом, возделывание полевых культур в биологизированных севооборотах обеспечивает наиболее высокое содержание нитратного азота в 30-сантиметровом слое почвы и наиболее рациональный его расход в течение вегетационного периода культур. Проведение отвальной обработки почвы на глубину 20-22 см под подсолнечник обеспечивает формирование наиболее благоприятных условий для активной деятельности почвенных микроорганизмов, характеризующейся стабильностью в течение всего вегетационного периода.

Применение приемов биологизации способствует формированию в почве более высоких запасов подвижного фосфора, обменного калия и нитратного азота в среднем за вегетацию, причем по всем вариантам обработки почвы (таблица 34). Зависимость аммонийного азота выражена более низкими по сравнению с контролем показателями.

Таким образом, применение в севооборотах бобовых многолетних трав и пожнивной сидерации оказало положительное влияние на питательный режим чернозема типичного.

Увеличение поступающей в почву свежей органической массы и улучшение агрофизических свойств почвы способствовало увеличению активности почвенной микрофлоры, интенсивному разложению органических остатков и, несмотря на использование основных макроэлементов культурными растениями, обогащению основными элементами питания слоя почвы 0-30 см [114].

Таблица 34 – Содержание основных элементов питания под культурами севооборотов в зависимости от видов севооборота и приемов основной обработки почвы (среднее за вегетацию, 2011-2016 гг., опыт 1)

Виды севооборота	Содержание (мг/кг почвы) в слое почвы 0-30 см					% от контроля
	Пар	Озимая пшеница	Ячмень	Подсолнечник В / Д / П	Среднее	
Подвижный фосфор						
ЗПП	109	56	65	107/116/113	84/86/86	-/102/102
Сид	113	70	68	121/102/112	93/88/91	111/105/108
ЗТП	120	76	67	108/105/108	93/92/93	111/109/111
Обменный калий						
ЗПП	183	106	134	166/164/157	147/147/145	-/100/99
Сид	193	113	145	160/181/182	153/158/158	104/107/107
ЗТП	223	132	136	167/159/168	164/162/165	111/110/112
Нитратный азот						
ЗПП	5,6	3,5	4,6	8,0/7,2/8,4	5,4/5,2/5,5	-/96/102
Сид	8,7	6,7	5,9	8,1/9,6/9,0	7,3/7,7/7,6	135/142/141
ЗТП	8,0	7,6	5,5	9,1/9,5/8,2	7,5/7,6/7,3	139/141/135

### **3.3. ОРГАНИЧЕСКОЕ ВЕЩЕСТВО И БИОЛОГИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ПОЧВЫ В УСЛОВИЯХ БИОЛОГИЗАЦИИ ЗЕМЛЕДЕЛИЯ**

#### **3.3.1. Закономерности формирования в почве запасов биогенных источников органического вещества**

Важное значение в формировании почвенного плодородия имеет органическое вещество почвы. Практиковавшееся в течение нескольких десятилетий ежегодное отчуждение с полей растительных остатков привело к существенному сокращению запасов гумуса в почвах, которое произошло не только из-за уменьшения массы поступающих в почву источников органического вещества, но и из-за снижения активности и деструктивной способности микроорганизмов почвы [377].

В настоящее время важным направлением формирования высокоплодородных почв является разработка приемов, обеспечивающих обогащение почвы свежим органическим веществом и активизацию протекающих в почве биологических процессов.

В агроценозах, характеризующихся ежегодным отчуждением большей части урожая, источником органического вещества служат надземные и корневые остатки растений, а также вносимые в почву органические удобрения.

Большое агрономическое значение имеют растительные остатки. Во-первых, они поступают в почву ежегодно после уборки урожая, тогда как остальные виды органических удобрений вносятся в почву периодически. Во-вторых, поступление растительных остатков в почву не требует дополнительных затрат. В-третьих, по сравнению с вносимыми органическими удобрениями растительные остатки наиболее равномерно распределяются по профилю почвы. В-четвертых, в растительных остатках содержатся все необходимые растениям макро- и микроэлементы [118].

Растительные остатки при разложении обогащают почву органическим веществом и элементами минерального питания, улучшают свойства и режимы почвы, усиливают ее микробиологическую активность [279].

Таким образом, поступающая в почву нетоварная часть урожая является быстровозобновляемым и практически неисчерпаемым ресурсом сохранения и воспроизводства плодородия почв [379].

Входящие в состав биогенных веществ растительных остатков элементы питания характеризуются более высоким коэффициентом усвоения растениями по сравнению с их потреблением из минеральных удобрений, что связано в первую очередь с более интенсивным развитием корневых систем в обогащенной свежим органическим веществом зоне. Данное наблюдение объясняется наличием в таких зонах полного набора макро- и микроэлементов минерального питания, характеризующегося благоприятным соотношением, повышенной микробиологической активностью, а также отсутствием критически высоких концентраций в зонах размещения гранул минеральных удобрений [379].

Растительные остатки полевых культур представляют собой органическое вещество, оставшееся в почве после уборки урожая и поступающее в нее за период вегетации. Они представлены различными формами. Это могут быть пожнивные остатки, к которым относятся стерня злаковых культур и оставшаяся в поле после уборки надземная часть растений: части стеблей, листья и другие надземные части; листостебельные остатки (например, корневые шейки трав); корневые остатки: живые и отмершие корни растений; растительные остатки предшествующих культур.

В агроценозах масса растительных остатков существенно зависит от возделываемой культуры, ее биологических особенностей, урожайности, климатических условий и основных элементов технологии возделывания. Важную роль при этом играет севооборот, применяемые приемы биологизации и обработка почвы.

Нашими исследованиями установлено, что в процессе возделывания культур в севооборотах наименьшей среднегодовой массой растительных остатков в почве характеризовался зернопаропропашной севооборот – 4,52 т/га (рисунок 27). Применение поживной 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 показателя – на 2,48-2,54 т/га, т.е. практически в 1,5-1,6 раза.

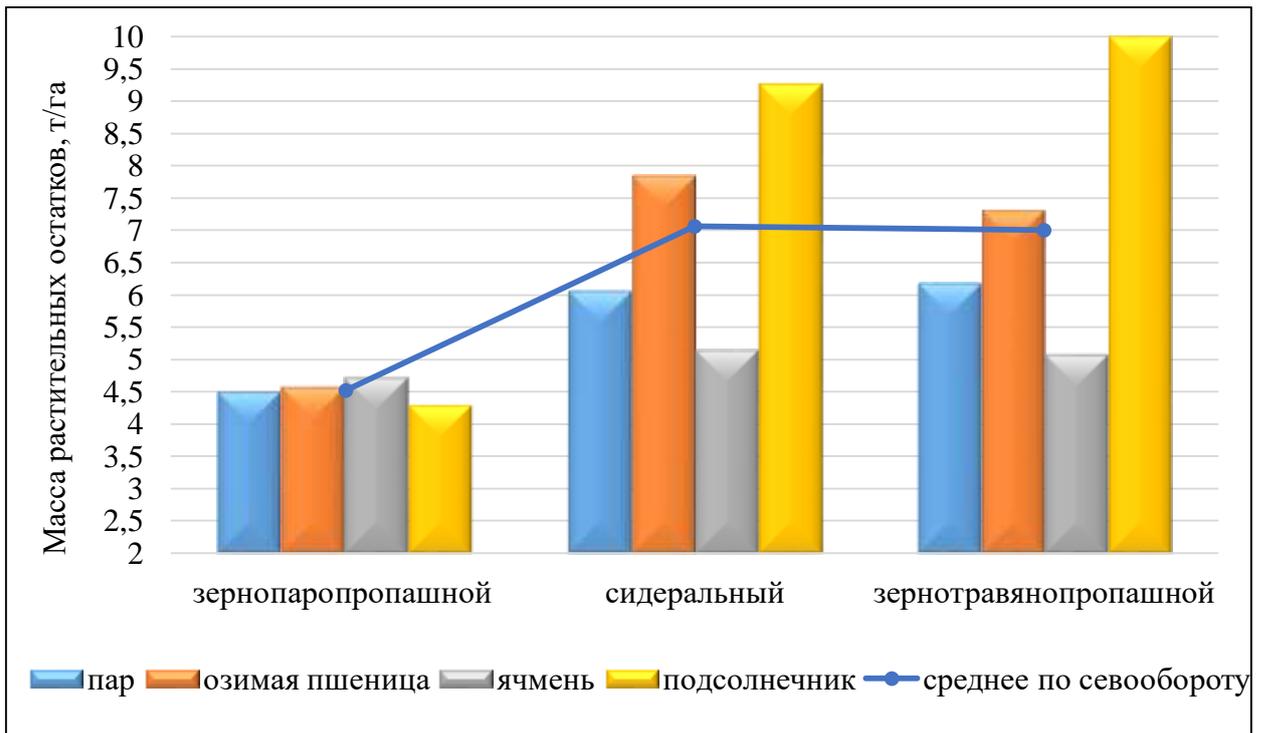


Рисунок 27 – Масса растительных остатков в слое почвы 0-30 см под культурами различных видов севооборотов (среднее за вегетацию, 2012-2016 гг., опыт 1)

Положительное влияние приемов биологизации просматривается под всеми полями севооборотов и проявляется не только в среднем за вегетацию, но и в различные фазы развития культур. Более низкое содержание растительных остатков в зернопаропропашном севообороте связано как с недостаточным поступлением в почву растительных остатков, так и с интенсивным протеканием процессов минерализации в чистом пару и под посевами подсолнечника, а также с их высокой биохимической активностью, результаты которых проявляются и под последующими культурами севооборота, выражаясь в активном протекании процессов разложения органического вещества. Так, к концу периода парования масса растительных остатков в 30-сантиметровом слое почвы уменьшилась на 13,4%, под ячменем – на 12,1, под подсолнечником – на 20,7-32,8% (таблица 35).

Обработка почвы не оказала существенного влияния на массу растительных остатков в слое почвы 0-30 см.

Таблица 35 – Масса растительных остатков в слое почвы 0-30 см под культурами севооборотов в зависимости от видов севооборота и приемов основной обработки почвы (слой почвы 0-30 см, 2012-2016 гг., опыт 1)

Виды севооборота	Масса растительных остатков, т/га						среднее по севообороту
	пар	озимая пшеница	Ячмень	Подсолнечник			
				В	Д	П	
ЗПП	<u>4,83*</u>	<u>4,25</u>	<u>5,02</u>	<u>4,63</u>	<u>5,06</u>	<u>4,98</u>	<u>4,68**/4,79/4,77</u>
	4,18	4,89	4,41	3,11	4,00	3,95	4,15/4,37/4,36
Сид	<u>5,51</u>	<u>7,22</u>	<u>5,36</u>	<u>7,06</u>	<u>8,36</u>	<u>8,91</u>	<u>6,29/6,61/6,75</u>
	6,59	8,45	4,91	9,55	10,72	10,90	7,37/7,67/7,71
ЗТП	<u>5,71</u>	<u>6,45</u>	<u>5,40</u>	<u>7,48</u>	<u>8,84</u>	<u>8,71</u>	<u>6,26/6,60/6,57</u>
	6,63	8,16	4,73	10,4	11,63	11,28	7,48/7,79/7,70
НСР <sub>05</sub>	<u>0,49</u>	<u>0,77</u>	<u>0,20</u>	<u>4,74</u>			
	0,93	1,08	0,21	3,99			
Подсолнечник							
				НСР <sub>05</sub>		F <sub>ф</sub>	
Фактор А (виды севооборота)				<u>2,74</u>		F <sub>ф</sub> = 4,39 (>F <sub>05</sub> )	
				2,31		F <sub>ф</sub> = 27,76 (>F <sub>05</sub> )	
Фактор В (приемы основной обработки почвы)				<u>2,74</u>		F <sub>ф</sub> = 0,47 (<F <sub>05</sub> )	
				2,31		F <sub>ф</sub> = 0,62 (<F <sub>05</sub> )	
Фактор А+В				<u>4,74</u>		F <sub>ф</sub> = 0,06 (<F <sub>05</sub> )	
				3,99		F <sub>ф</sub> = 0,02 (<F <sub>05</sub> )	

Примечание: \* над чертой – всходы (весеннее отрастание трав); под чертой – полная спелость (перед посевом озимой пшеницы);

\*\* вспашка / дисковая обработка / плоскорезная обработка.

Независимо от приема основной обработки почвы и вида севооборота каждый последующий слой под посевами подсолнечника был не только существенно беднее верхнего (0-10 см), но и существенно беднее предыдущего, что говорит о неоднородности 30-сантиметрового слоя почвы по распределению в нем растительных остатков (приложение М). В фазе полной спелости культуры отмечена гетерогенность слоя почвы 0-30 см и в зависимости от приемов биологизации (таблица 36).

Применение пожнивной сидерации после уборки ячменя с заделкой зеленой массы на глубину 10-12 см привели к обогащению растительными остатками верхнего слоя почвы (0-10см) и резкому снижению данного показателя в слоях 10-20 и

20-30 см. Данное явление было характерно и в начальные фазы развития подсолнечника, и в конце его вегетационного периода. Заделка же солоmistых остатков в зернопаропропашном севообороте на фоне их незначительного количества и размещения корневой системы ячменя преимущественно в слое 0-20 см обеспечили формирование гомогенного слоя почвы 0-20 см и существенно более бедного слоя 20-30 см.

Таблица 36 – Масса растительных остатков в различных слоях почвы под подсолнечником в зависимости от видов севооборота (2014-2016 гг., опыт 1)

Виды севооборота (А)	Слой почвы, см (С)	Масса растительных остатков, т/га	
		всходы	полная спелость
Зернопаропропашной	0-10	2,20	1,61
	10-20	1,72	1,40
	20-30	0,97	0,67
Сидеральный	0-10	3,44	4,68
	10-20	2,78	3,55
	20-30	1,88	2,14
Зернотравянопропашной	0-10	3,32	5,07
	10-20	2,70	3,49
	20-30	2,32	2,55
НСР <sub>05</sub> для фактора А+С		0,60 (значимо)	0,69 (значимо)

В результате в среднем за вегетационный период под одновидовым посевом подсолнечника было сосредоточено в слое 0-10 см – 44,4%, в слое 10-20 см – 36,4, в слое 20-30 см – 19,2% растительных остатков. Под посевами подсолнечника в сидеральном севообороте – соответственно 44,0, 34,2 и 21,8%; в зернотравянопропашном севообороте – 43,1, 31,8 и 25,1%.

Важную роль в увеличении содержания органического вещества в почве выполняют солоmistые остатки. Их использование после уборки ячменя позволило увеличить массу растительных остатков в почве на 10,9%. Дополнительное введение в севооборот промежуточных посевов пожнивного сидерата увеличило массу поступающих в почву растительных остатков, обеспечив ко всходам подсолнечника более высокий их запас (в среднем в 1,7 раза).

Введение в севооборот бобовых трав и использование их в первый год в качестве бинарного компонента подсолнечника обеспечило увеличение массы растительных остатков к концу вегетации основной культуры на 22,3-35,3 и 29,5-39%, и это несмотря на то, что данная масличная культура является пропашной, характеризующейся, в силу проводимых агромероприятий, ускоренной минерализацией органического вещества. Здесь и под всеми посевами многолетних трав (как бинарных компонентов, так и парозанимающих культур) важную роль в протекании почвенных процессов, в формировании запасов органического вещества в почвах играют их корневые системы. В течение всего периода роста и развития растений, особенно активно в фазе цветения, происходит непрерывный процесс отмирания различных частей корневой системы, что обуславливает поступление органических остатков в почву не только после окончания вегетационного периода растения, но и в течение его жизни. Разветвляясь в процессе роста и развития, корневая система способствует равномерному распределению органического вещества в почве. При этом, несмотря на недостоверность влияния обработки почвы, отмечается тенденция наибольшего прироста массы растительных остатков по фону отвального приема.

Положительное влияние замены чистого пара сидеральным с донником желтым второго года жизни проявилось уже в начале вегетационного периода: масса растительных остатков на данном варианте была существенно выше, чем в чистом пару (на 14,1%), где они были представлены только остатками прошлых лет. Последующая заделка в почву сидеральной массы донника существенно повысила содержание растительных остатков в почве (на 19,6%), превысив к посеву озимой пшеницы показатели чистого пара в 1,6 раза. В результате отмечалось не только более высокая масса растительных остатков в почве во все фазы развития культуры, но и увеличение общей массы к концу вегетационного периода. Последствие приемов биологизации проявилось и под ячменем: масса растительных остатков во все фазы развития существенно превышало контрольные значения.

Введение в севооборот люцерны синей и использование ее в течение трех лет в качестве бинарного компонента и парозанимающей культуры также способствовало существенному увеличению количества растительных остатков в почве, но по

сравнению с сидеральным севооборотом прибавка была более выраженная. Так, к концу вегетации подсолнечника данный показатель увеличился на 33,1%, к посеву озимой пшеницы – на 16,1, к полной спелости озимой культуры – на 26,5%.

Таким образом, по накоплению растительных остатков в слое почвы 0-30 см севообороты можно разместить в следующем порядке (по убыванию): сидеральный (7,06 т/га) – зернотравянопропашной (7,0 т/га) – зернопаропропашной (4,52 т/га), при этом между биологизированными севооборотами различия незначительны.

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

Количество поверхностных и корневых остатков, поступивших в почву после уборки, зависело от урожайности культур и определялось расчетным методом по уравнениям регрессии [117]. Масса нетоварной части урожая определялась расчетным методом. Учет сидеральной массы культур и многолетних трав в бинарных посевах определялся весовым способом.

По количеству поступивших в почву после уборки растительных остатков основные культуры можно разместить в следующем порядке: люцерна 2-го года жизни – 14,96 т/га, озимая пшеница – 12,06, подсолнечник – 11,94 и ячмень – 7,78 т/га. При условии исключения из учета нетоварной части урожая преимущество в пополнении почвы свежим органическим веществом – за корневыми остатками (таблица 37).

Соотношение пожнивных остатков культур к корневым в среднем составило: 1:1,44 – у озимой пшеницы, 1:1,64 – у ячменя, 1:2,54 – у подсолнечника, 1:6,4 – у люцерны. Соотношение между надземной массой сидеральных культур и их корневыми системами составило: 1:1,43 – у редьки масличной и 1:1,07 – у донника желтого. Таким образом, на первом месте по массе поступающих в почву растительных остатков находится нетоварная часть урожая, на втором – корневые системы и на третьем – пожнивные остатки.

Таблица 37 – Масса свежих растительных остатков под культурами различных видов севооборотов (2012-2016 гг., опыт 1)

Виды севооборота	Урожайность культуры, т/га	Масса растительных остатков, т/га			
		пожнивных (поукосных)	корневых	нетоварная часть урожая	всего
Пар					
ЗПП	-	-	-	-	-
Сид	9,1	9,1	9,75	-	18,85
ЗТП	12,9	2,14	13,63	-	15,77
Озимая пшеница					
ЗПП	3,94	2,61	3,80	5,91	12,32
Сид	3,81	2,57	3,70	5,71	11,98
ЗТП	3,77 + 0,95	2,56 -	3,68 + 1,44	5,65 + 0,95	14,28
Ячмень					
ЗПП	3,01	1,55	2,55	3,31	7,41
Сид	3,14	1,59	2,62	3,45	7,66
ЗТП	3,45	1,68	2,79	3,79	8,26
Подсолнечник					
ЗПП	2,69	1,42	3,61	6,46	11,49
Сид	2,80 + 1,98	1,47 -	3,74 + 2,49	6,72 + 1,98	16,40
ЗТП	2,92 + 2,16	1,52 -	3,88 + 2,67	7,01 + 2,16	17,24
Пожнивный сидерат (редька масличная)					
ЗПП	-	-	-	-	-
Сид	1,45	1,45	2,05	-	3,50
ЗТП	1,39	1,39	2,02	-	3,41

Согласно полученным данным масса поступающих в почву растительных остатков (у) в сильной степени зависела от урожайности (х) культур ( $r = 0,701$ ;  $n = 12$ ;  $S_r = 0,226$ ;  $t_r = 3,10$ ;  $t_{05} = 2,23$ ;  $r^2 = 0,4921$ ): с ее повышением выход как пожнивно-корневых остатков, так и нетоварной части урожая увеличивался. Данная закономерность описывается уравнением регрессии  $y = 1,1041x + 7,1681$ , согласно которому увеличение урожайности культур на 1 т/га обеспечивает увеличение массы

поступающих в почву растительных остатков на 1,1041 т/га. Наиболее сильная зависимость прослеживается между урожайностью (x) и массой корневых остатков (y):  $r = 0,968$ ;  $y = 1,0376x + 0,3532$  ( $n = 12$ ;  $S_r = 0,063$ ;  $t_r = 15,36$ ;  $t_{05} = 2,23$ ;  $r^2 = 0,9364$ ).

В результате наибольшая масса поступивших в течение ротации (2012-2016) в почву свежих растительных остатков была характерно для сидерального (58,39 т/га) и зернотравянопропашного (58,15 т/га) севооборотов (рисунок 28), что практически в 1,9 раза превышало массу растительных остатков зернопаропропашного севооборота (31,22 т/га).

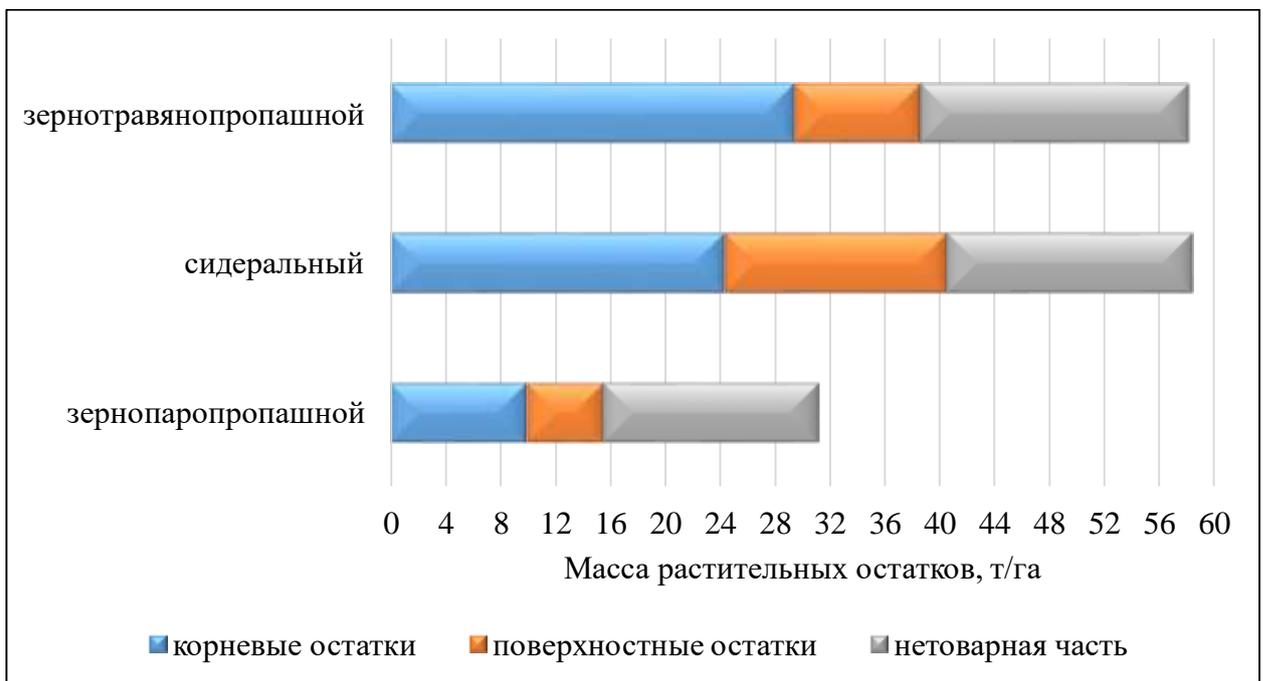


Рисунок 28 – Масса растительных остатков, поступившая в почву в течение ротации различных видов севооборотов (2012-2016 гг., опыт 1)

Существенное увеличение данного показателя связано как с повышением урожайности основных культур, так и с применяемыми приемами биологизации: пожнивная сидерация, сидеральный пар, многолетние травы в совместных посевах с подсолнечником и озимой пшеницей (см. таблицу 37).

Общая масса поступающих в почву растительных остатков зернопаропропашного севооборота представлена корневыми и поверхностными (пожнивными)

остатками культур, а также злаковой соломой (ячменя, озимой пшеницы) и послеуборочными остатками подсолнечника. В сидеральном севообороте дополнительно в почву поступила зеленая масса пожнивного сидерата (вместе с корневой системой), корневые и поверхностные остатки донника желтого первого года жизни, а также корневая система и зеленая масса парозанимающего сидерата (донника желтого второго года жизни). В зернотравянопропашном севообороте, аналогично сидеральному, дополнительным источником свежего органического вещества стала пожнивная сидерация, корневые и поверхностные остатки люцерны синей первого и второго года жизни, а также корневые остатки и надземная биомасса люцерны 3-го года жизни.

Все это позволило обеспечить в 30-сантиметровом слое почвы под посевами культур в биологизированных севооборотах более высокий запас растительных остатков, являющихся основными источниками элементов питания для возделываемых растений.

В настоящее время в условиях интенсивного стремления к увеличению выхода продукции с единицы площади и сокращению затрат все большее распространение набирают короткоротационные севообороты, что объяснимо: при условии их рационального построения, основанного на специфике ведения сельского хозяйства, особенностях технологии возделывания сельскохозяйственных культур, их действию и последствию на почву и последующие культурные растения, отмечается повышение эффективности использования земельных ресурсов и удобрений, обеспечивается лучшая реализация потенциальных возможностей сортов и гибридов, снижается негативное влияние факторов окружающей среды [216].

Одной из важнейших технических культур Центрально-Черноземного региона является сахарная свекла. Урожайность сахарной свеклы и качество ее корнеплодов определяются различными факторами, степень влияния которых можно выразить следующими средними значениями: сорт – 14-16%, почва, рельеф и другие особенности места возделывания – 17-19, технология возделывания – 35-38 и погодные условия (неуправляемый фактор) – 34-44% [50, 228].

Процесс производства сахарной свеклы, впрочем, как и других сельскохозяйственных культур, должен базироваться на строгом учете и регулировании всех возможных факторов и показателей, каждое агротехническое мероприятие должно быть направлено на сохранение и повышение плодородия почвы, при этом абсолютно неприемлемым является шаблонный или формальный подход к агротехнологии.

На фоне высоких требований сахарной свеклы к плодородию почвы, стремления к ресурсо- и энергосбережению, ориентирования сельскохозяйственного производства на биологизацию и экологизацию большое значение приобретает разработка основных элементов технологии возделывания технической культуры в условиях короткоротационных севооборотов, направленная в первую очередь на повышение содержания в почве органического вещества.

Проведенные в севооборотах с сахарной свеклой исследования (опыт 4) подтвердили полученные в опыте 1 результаты: масса поступающих в почву растительных остатков зависит от возделываемых культур и приемов повышения плодородия почвы. По массе растительных остатков, остающихся в поле после уборки, изучаемые культуры можно расположить в следующей убывающей последовательности: бобовые многолетние травы (люцерна – эспарцет – донник) – озимая пшеница – ячмень – сахарная свекла. Сахарная свекла, несмотря на то, что является одной из высокопродуктивных культур, по поступлению органического вещества в почву занимает последнее место, так как большую часть накопленной биомассы отчуждает с урожаем.

Масса растительных остатков в почве под посевами сахарной свеклы зависит от ее предшественника, технологии возделывания и увлажненности вегетационного периода [120, 138, 157, 187], что подтверждается результатами наших исследований в различные годы (приложение Н). В среднем за период исследований существенного влияния вида севооборота и приема основной обработки почвы на массу растительных остатков в слое почвы 0-30 см под сахарной свеклой установлено не было (таблица 38).

Установлено существенное влияние изучаемых приемов на распределение растительных остатков по слоям почвы. Согласно полученным данным при возделывании сахарной свеклы в зернопаропропашном и зернотравянопропашном севооборотах в фазе всходов культуры было отмечено существенное, резко выраженное снижение массы растительных остатков при продвижении вглубь почвы, которое варьировало от 0,27 до 0,56 т/га ( $НСР_{05}$  для фактора В+С = 0,21), что вызвано отсутствием поступления в почву растительных остатков в чистом пару и сосредоточением основной массы растительных остатков люцерны синей в поверхностном слое почвы. Наличие же в севообороте сидеральных паров (донникового и эспарцетового) благодаря заделке сидеральной массы в почву дисковыми орудиями обеспечило равномерное распределение растительных остатков в слое почвы 0-20 см и существенное снижение их содержания в слое почвы 20-30 см (на 0,40-0,47 т/га).

Таблица 38 – Масса растительных остатков под посевами сахарной свеклы в зависимости от видов севооборота и приемов основной обработки почвы (2010-2012 гг., опыт 4)

Приемы основной обработки почвы (В)	Фаза развития	Масса растительных остатков (т/га) в слое почвы 0-30 см в зависимости от видов севооборота (А)			
		ЗПП	ЗТП	Сд	Сэ
Вспашка	всходы	10,53	10,21	11,14	8,90
	полная спелость	7,59	6,68	8,17	6,48
Плоскорезная обработка	всходы	9,86	10,1	9,98	10,16
	полная спелость	7,25	6,75	7,12	7,43
Дисковая мелкая обработка	всходы	9,26	9,79	10,08	9,05
	полная спелость	5,96	6,68	6,47	6,07
Дисковая поверхностная обработка	всходы	9,26	8,89	9,27	8,95
	полная спелость	6,39	5,82	6,42	6,33
	всходы		полная спелость		
	$НСР_{05}$	$F_{\phi}$	$НСР_{05}$	$F_{\phi}$	
Фактор А	0,99	$F_{\phi} = 1,04 (<F_{05})$	0,62	$F_{\phi} = 1,33 (<F_{05})$	
Фактор В	0,99	$F_{\phi} = 2,07 (<F_{05})$	0,62	$F_{\phi} = 6,02 (>F_{05})$	
Фактор А+В	1,99	$F_{\phi} = 0,48 (<F_{05})$	1,24	$F_{\phi} = 1,15 (<F_{05})$	

При анализе распределения растительных остатков в зависимости от приема основной обработки почвы под сахарную свеклу была установлена следующая закономерность: при отвальной обработке масса растительных остатков по слоям почвы постепенно увеличивалась, а при безотвальных приемах – уменьшалась.

Так, при вспашке наиболее высокая масса растительных остатков была характерна для слоя 20-30 см (3,59 т/га), что объясняется заделкой пожнивно-корневых и солоmistых остатков предшествующей культуры на глубину 23-25 см. При проведении таких безотвальных приемов, как плоскорезная обработка на глубину 23-25 см и дискование на глубину 12-14 см, основная масса растительных остатков равномерно распределилась по слою 0-20 см, переход к слою 20-30 см был ярко выраженным и заключался в существенном снижении показателя – на 0,76-0,78 т/га по сравнению со слоем 10-20 см ( $НСР_{05}$  для фактора В+С = 0,21).

Проведение поверхностной дисковой обработки почвы на глубину 5-6 см сопровождалось наиболее дифференцированным распределением растительных остатков по слоям почвы: варьирование составляло -0,87 и -0,45 т/га.

Определение зависимости величины массы растительных остатков в десятисантиметровом слое почвы от проводимого приема основной обработки показало, что в среднем наиболее высокое значение данный показатель имел при проведении вспашки – 3,4 т/га. По нашему мнению, это связано с тем, что основная масса растительных остатков заделана на глубину более 20 см, что замедляет процесс их разложения.

На уровне контрольных значений было содержание растительных остатков при проведении плоскорезной обработки – 3,34 т/га ( $НСР_{05}$  для фактора В – 0,12), что также объясняется замедлением темпов их разложения в связи со сосредоточением в пересыхающем верхнем слое почвы и на ее поверхности.

Сравнительно существенно меньшей массой растительных остатков характеризуются слои почвы при проведении дисковой мелкой и поверхностной обработок – соответственно 3,18 и 3,03 т/га, что говорит о формировании на данных вариантах наиболее оптимальных условий для их разложения.

В целом по севообороту более высокая масса растительных остатков в почве характерна для зернотравянопропашного севооборота: отклонение от контроля по фону отвальной и безотвальной обработок почвы составило соответственно 43,3 и 39,4%. Несколько меньшая масса растительных остатков в почве сидеральных севооборотов, но и она существенно превышала контрольные значения: на 37,1...30,3 (донник) и 23,8...21,8% (эспарцет).

Возделывание сахарной свеклы в пятипольных севооборотах с подсолнечником обеспечило формирование в слое почвы 0-30 см более высокого запаса растительных остатков по сравнению с четырехпольным севооборотом без подсолнечника, причем как по фону отвальной, так и безотвальной обработок почвы (рисунок 29).

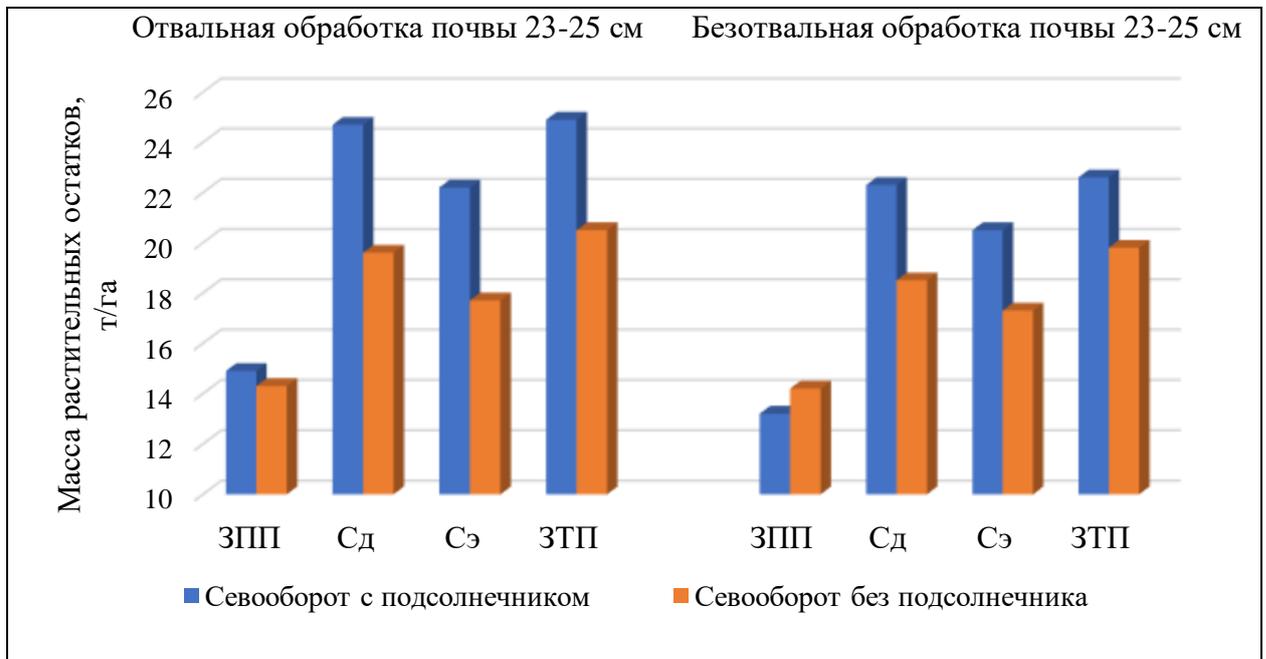


Рисунок 29 – Масса растительных остатков в слое почвы 0-30 см в зависимости от видов севооборота и приемов основной обработки почвы ( $НСР_{05} = 0,25$ , для севооборота с подсолнечником – 0,3 (значимо), для севооборота без подсолнечника – 0,2 (значимо), 2010-2012 гг., опыты 4 и 5) [411]

Прибавка составила 0,6 т/га (4,2%) в зернопаропропашном севообороте по фону вспашки, 5,1 (26,0%) и 3,8 (20,5%) т/га – в сидеральном севообороте с донником желтым, 4,5 (25,4%) и 3,2 (18,5%) т/га – в сидеральном с эспарцетом, 4,4 (21,5%) и 2,8 (14,1%) т/га – в зернотравянопропашном севообороте.

Таким образом, увеличение длительности ротации севооборота с сахарной свеклой до пяти лет с введением бинарных посевов подсолнечника обеспечит существенное увеличение массы растительных остатков в почве.

### 3.3.2. Темпы деструкции растительных остатков

Важное значение в формировании почвенного плодородия имеет не только количество поступающих в почву растительных остатков, но и скорость их разложения, обуславливающая обеспеченность растений необходимыми элементами питания. Управление процессами деструкции позволяет не только рационально использовать ассимилированную солнечную энергию, но и экономить собственные энергетические ресурсы. Кроме того, максимально полное разложение растительных остатков предшественников к посеву культур позволит не только улучшить ее питательный режим, но и исключить иммобилизацию азота почвы и отрицательное аллелопатическое влияние на растения продуктов разложения [118].

Разложение органического вещества представляет собой процесс частичного или полного превращения сложноорганизованных структур и молекул в более простые, в том числе в продукты полной минерализации ( $\text{CO}_2$ ,  $\text{NH}_3$ ,  $\text{H}_2\text{O}$  и др.). В результате происходит сравнительно быстрый переход закрепленных в органических остатках элементов (азота, фосфора, серы, кальция, магния, калия, железа и др.) в минеральные формы и потребление их живыми организмами следующих поколений. Это довольно сложный и длительный процесс, включающий в себя механическое или физическое разрушение почвенной фауной, биологическую или биохимическую трансформацию и химические процессы, носящие экзотермический характер: при разложении 1 г сухого вещества освобождается 4-5 калорий энергии, которая участвует в дальнейшем обмене веществ и энергии в почве.

Трудами многих отечественных и зарубежных ученых были установлены основные закономерности разложения и гумификации растительных остатков в почве,

характер и зависимость разложения от климатических условий, от состава поступающих в почву растительных остатков и биологической активности почв, но при этом полной ясности по данному вопросу нет и сейчас.

Нами было проведено изучение зависимости темпов разложения растительных остатков от вида культурного растения, от приемов биологизации, от биологической активности почвы и численности отдельных групп почвенных микроорганизмов.

Исследования по определению зависимости темпов деструкции растительных остатков от культуры проводились в микроделяночном полевом опыте 3, позволяющем более точно оценить скорости разложения растительных остатков различных культур (или их смесей) без учета влияния на данный процесс агротехнологий возделывания и исключая влияние на показатель растительных остатков прошлых лет. В результате были установлены существенные различия в скорости разложения растительных остатков культур.

По результатам первого периода разложения, от момента поступления растительных остатков в почву до посева, изучаемые в севооборотах культуры условно можно разделить на четыре группы: 1) культуры с низкой скоростью разложения (условно 2,7-2,8% в месяц) – озимая пшеница и ячмень; 2) культуры со средней скоростью разложения (6,4% в месяц) – подсолнечник; 3) культуры со скоростью разложения выше средней (12,2% в месяц) – редька масличная; 4) культуры с высокой скоростью разложения (19,6-22,0% в месяц) – многолетние травы различных лет жизни.

Интенсивность разложения растительных остатков, прежде всего, зависела от их химического состава, а точнее, от соотношения в них содержания углерода к азоту (C: N), согласно которому растительные остатки можно отнести к высоко- (C: N = 60-100: 1) или низкоуглеродистым (C: N = 25-35: 1) [380]. Согласно приведенным в литературных источниках сведениям наиболее широким соотношением углерода к азоту характеризуются растительные остатки злаковых культур (40-92:1), несколько уже соотношение у подсолнечника (60-64:1) [146, 212, 217].

Наиболее благоприятным соотношением характеризуются растительные остатки бобовых трав – 12-25:1 и редьки масличной – 35-40:1 [146]. Варьирование соотношения связано с неоднородностью химического состава различных частей растения: корневых, пожнивных и нетоварных.

В рамках проведенного исследования нами была установлена сильная обратная связь ( $r = -0,787$ ) между темпами деструкции ( $y$ ) поступивших в почву растительных остатков и соотношением в них углерода к азоту ( $x$ ), которую можно описать уравнением регрессии  $y = -0,4898x + 79,892$ . Степень влияния показателя C:N составляет 61,9% (рисунок 30).

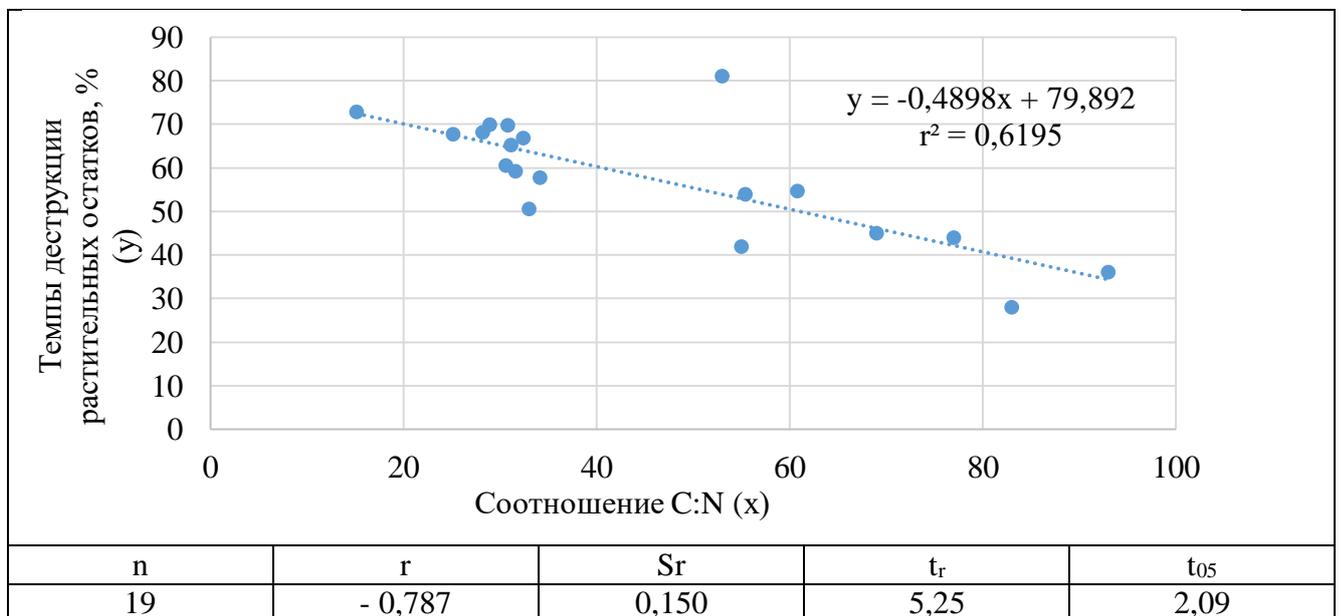


Рисунок 30 – Результаты корреляционно-регрессионного анализа зависимости темпов деструкции растительных остатков от соотношения в них C:N

Разложение растительных остатков осуществляется почвенными микроорганизмами, использующими углерод растений для питания и азот для синтеза белка. При широком соотношении углерода к азоту микроорганизмы испытывают недостаток азота, начинается иммобилизация его почвенных запасов, деструкция растительных остатков замедляется, что мы и наблюдали при разложении растительных остатков озимой пшеницы и ячменя (таблица 39).

Таблица 39 – Скорость разложения растительных остатков полевых культур (опыт 3) [111]

Растительные остатки	Разложилось по годам, %			
	2013	2014	2015	2016
В чистом виде				
Ячмень	26,0	78,8	83,8	94,2
Озимая пшеница	25,0	71,9	86,5	93,6
Подсолнечник	45,1	72,5	89,6	92,7
Редька масличная	85,4	90,8	97,6	98,2
Люцерна синяя 1-го г.ж.	66,0	88,4	97,9	98,5
Люцерна синяя 2-го г.ж.	62,4	83,1	92,7	96,8
Люцерна синяя 3-го г.ж.	59,4	80,3	92,5	94,6
Донник желтый 1-го г.ж.	60,0	80,0	95,6	97,3
Донник желтый 2-го г.ж.	58,9	77,8	92,5	95,8
Смесь растительных остатков				
Ячмень + редька масличная	40,6	78,8	98,5	98,5
Озимая пшеница + люцерна синяя 3-го г.ж.	53,8	76,8	92,1	97,5
Озимая пшеница + донник желтый 2-го г.ж.	50,4	70,8	93,5	96,7
Подсолнечник + люцерна синяя 1-го г.ж.	49,0	82,7	94,6	96,8
Подсолнечник + донник желтый 1-го г.ж.	47,3	76,2	91,5	95,3
НСР <sub>05</sub>	1,02	1,45	1,09	1,28
F <sub>05</sub> = 2,13		F <sub>φ</sub> =	924,83	62,32
			57,78	8,30

Медленное разложение солоmistых остатков обусловлено не только широким соотношением углерода к азоту, но и строением клетчатки – многочленного полимера глюкозы, скрученного в фибриллу, которая покрыта воском и пектином, снижающими скорость разложения соломы в сотни раз [118].

При снижении содержания в растительной массе углерода активность почвенных микроорганизмов увеличивается, это положительно отражается на темпах разложения растительных остатков, что в нашем опыте отмечается на подсолнечнике.

Оптимальным для наиболее полного протекания процессов разложения является соотношение, равное 15-25:1 [146], а для активного функционирования почвенных микроорганизмов – 20-30:1 [380].

Микроорганизмы начинают активно размножаться, процессы разложения и минерализации ускоряются, происходит более интенсивное высвобождение питательных веществ. Поэтому применение редьки масличной в качестве пожнивной сидеральной культуры с благоприятным соотношением C:N обеспечивает улучшение питательного режима последующей культуры. На существенно более полную деструкцию растительных остатков сидерата за рассматриваемый период оказали также влияние еще два фактора: высокая обеспеченность влагой поступающей в почву зеленой фитомассы (75-80%) и меньшее содержание в ней труднорастворимых соединений (лигнина, целлюлозы) по сравнению с вызревшими растениями [326], что даже в условиях более низких запасов доступной влаги в почве в осенний период обеспечивает интенсивное разложение.

Большую ценность представляют растительные остатки многолетних бобовых трав – люцерны и донника, характеризующиеся благоприятным химическим составом. В течение первого периода после поступления в почву растительные остатки люцерны синей разложились на 66,0%, а донника желтого – на 60,0%. Высокие темпы деструкции биомассы донника желтого за период июнь-сентябрь позволяют использовать данную культуру в качестве сидеральной парозанимающей, т.к. на фоне вышеизложенных преимуществ поступления в почву зеленой массы сидерата срок ее заделки придется на период, когда в почве еще содержатся значительные запасы влаги осенне-зимних осадков [326]. С увеличением возраста растения скорость деструкции растительных остатков существенно снижается.

Дальнейшее сокращение соотношения между углеродом растительных остатков и содержащимся в них азотом (менее 15:1) нежелательно, т.к. минерализация органического вещества растительных остатков будет чрезмерно интенсивной, что негативно отразится на количестве новообразованного гумуса.

Разложение растительных остатков в почве условно можно разделить на два периода: первый – короткий, длительностью около 2-3 месяцев, характеризующийся высокими темпами разложения; второй – длительный, охватывает 1,5-2 года с постепенно убывающей интенсивностью распада [218]. Первый период обычно приходится на конец лета – начало осени, т.е. когда проводится уборка основных

сельскохозяйственных культур и посредством основной обработки растительные остатки заделываются в почву. Поступление свежего органического вещества стимулирует развитие почвенных микроорганизмов, и при оптимальных для них в этот период температурных и влажностных условиях идет ускоренное разложение растительных остатков. С понижением температуры деятельность почвенных микроорганизмов-деструкторов замедляется, процессы разложения затухают до наступления благоприятных условий весной следующего года [218].

Относительно скорости разложения растительных остатков в последующие годы исследований отмечалась следующая тенденция: ускоренное разложение в год поступления сменялось его замедлением, и наоборот. Так, разложение растительных остатков зерновых культур на второй год ускорилось практически в 1,9-2,0 раза. Это можно объяснить тем, что на первом этапе благодаря деятельности микроорганизмов произошла подготовка растительного материала к дальнейшему разложению: объем трудноразлагаемых соединений значительно сократился.

Разложение растительных остатков, богатых белками, напротив, замедлилось: люцерны – в 2,9-3 раза, донника – в 2,8-3,1, редьки масличной – в 15,8 раз. Также отмечается снижение темпов разложения растительных остатков подсолнечника – в 1,6 раза. Данное явление объясняется тем, что в первый год микроорганизмами были усвоены практически все растворимые углеводы, аминокислоты и другие легкоразлагаемые вещества, и преобладающими стали трудно поддающиеся микробиологическому разложению лигнин и клетчатка. В случае с редькой масличной резкое снижение интенсивности разложения связано также с небольшим остаточным количеством растительных остатков в почве ввиду его основного разложения в первый год.

Но даже на четвертый год после поступления в почву растительные остатки культур разложились не полностью: их остаточное содержание колебалось от 1,5 до 2,8% и представлены они были в основном трудноразлагаемыми корневыми остатками.

Как мы уже отмечали, внесение в почву таких высокоуглеродистых соединений, как зерновая солома сопровождается активным потреблением и закреплением

подвижных форм азота целлюлозоразлагающими микроорганизмами, что, несмотря на достаточно высокий уровень обеспеченности органическим веществом, приводит к снижению уровня азотного питания. Поэтому при заделке в почву соломы важное значение имеют мероприятия по формированию в почве способствующих ее интенсивному разложению условий. Одним из таких способов является совместное использование на удобрение соломы с зеленой массой пожнивного сидерата.

Проведенные исследования показали, что богатая легкоразлагаемыми соединениями зеленая масса сидеральной культуры редьки масличной обеспечивает существенное увеличение темпов разложения растительных остатков. Так, от момента уборки ячменя до посева подсолнечника благодаря применению приема биологизации растительных остатков разложилось в 1,6 раза больше, что бесспорно улучшило питательный режим масличной культуры.

Аналогичное благоприятное влияние на темпы деструкции высокоуглеродистых растительных остатков оказывает совместное возделывание озимой пшеницы и подсолнечника в бинарных посевах с бобовыми травами. Заделка в почву соломы озимой пшеницы с растительной массой люцерны синей 3-го года жизни обеспечила ускорение разложения растительных остатков к посеву ячменя в 2,1 раза. Измельченные после уборки растительные остатки подсолнечника и бинарного компонента обеспечивали мульчирование поверхности почвы. В результате процессу разложения в почве были подвержены прежде всего корневые остатки возделываемых культур, что и отразилось в виде существенного, но не ярко выраженного ускорения разложения – на 2,2-3,9%.

Тенденция изменения скорости разложения смеси растительных остатков в последующие годы аналогична таковой у растительных остатков в чистом виде (приложение П-Т).

Если проанализировать скорость разложения растительных остатков за первые два года (как наиболее актуальный период), то по снижению интенсивности темпов деструкции культуры расположились в следующем порядке: редька масличная – 90,8%, люцерна синяя – 83,9, донник желтый – 78,9, ячмень – 78,8, подсолнечник – 72,5 и озимая пшеница – 71,9%. При совместной заделке в почву

трудно- и легкоразлагаемых растительных остатков наибольшими темпами разложения характеризуется смесь подсолнечника с люцерной синей (82,7%), существенно ниже скорость деструкции смеси растительных остатков ячменя и редьки масличной (78,8%), наименьшими темпами разложения из изучаемых вариантов характеризуются смеси растительных остатков озимой пшеницы и люцерны 3-го года жизни (76,8%) и смеси подсолнечника и донника желтого 1-го года жизни (76,2%).

При формировании оптимальных показателей плодородия почвы необходимо знать не только темпы разложения растительных остатков различных культур, но и механизм протекания деструкционных процессов в севообороте. Изучение данного вопроса проводилось в микроделяночном полевом опыте 3. Согласно полученным результатам, применяемые в севооборотах приемы биологизации существенно ускоряли процессы разложения (приложение У). Использование зеленой массы пожнивной сидеральной культуры редьки масличной совместно с соломой ячменя обеспечило увеличение темпов разложения общей массы растительных остатков на 36,1-42,6% (рисунок 31).

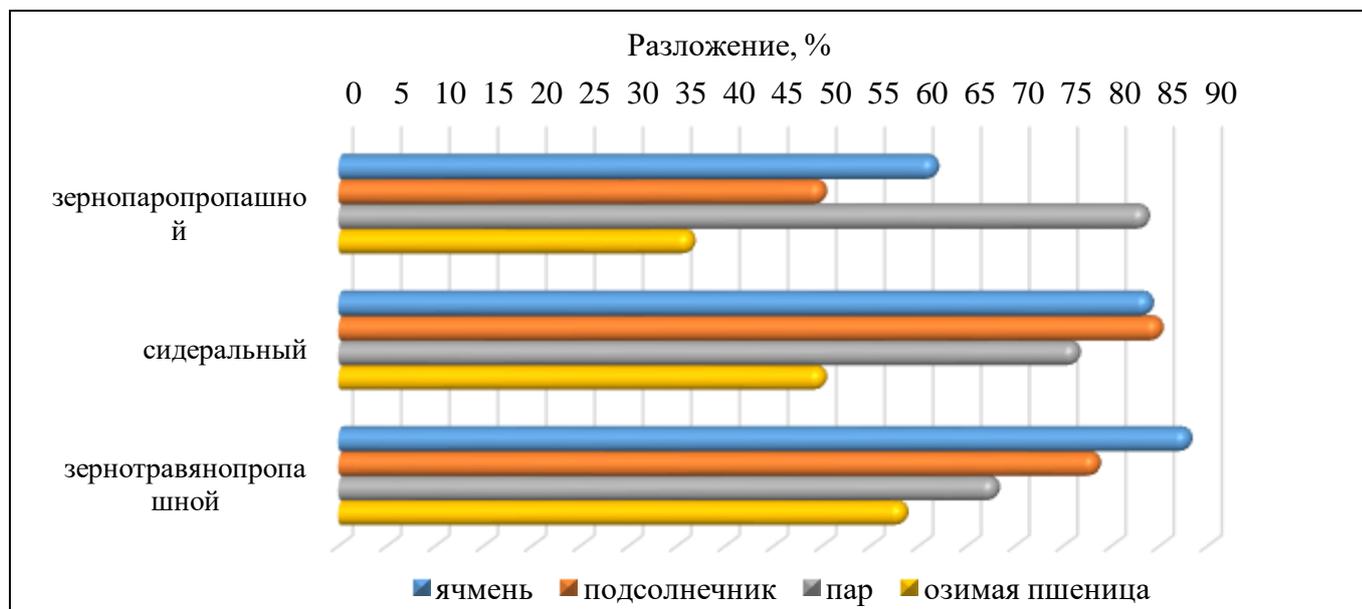


Рисунок 31 – Темпы разложения растительных остатков под культурами различных видов севооборотов (2012-2016 гг., опыт 3)

Дальнейшее возделывание бобовых трав, являющихся ценным источником легкоразлагаемого растительного материала, ускорило разложение растительных остатков подсолнечника на 56,7-69,7%, а озимой пшеницы – на 37,3-60,3%.

Таким образом, в целом за ротацию разложение составило 84,1% в сидеральном севообороте и 85,5% – в зернотравянопропашном, что в 1,5 раза превышало показатель зернопаропропашного севооборота.

Рассмотрим процесс разложения растительных остатков в разрезе отдельных севооборотов.

С момента заделки соломы ячменя в зернопаропропашном севообороте до поступления в почву растительных остатков подсолнечника проходит в среднем 14 месяцев, в течение которых растительные остатки зерновой культуры подвергаются процессам деструкции, в результате чего их общая масса сокращается на 61,7% (условно на 4,4% в месяц). Дополнительное поступление к оставшейся массе высокоуглеродистых остатков подсолнечника несущественно увеличило общие темпы разложения: за 9 месяцев разложилось только 50,1% остатков, что условно составило 5,6% в месяц. Существенный скачок в разложении оставшихся в поле чистого пара растительных остатков отмечен за последующие 11 месяцев (до уборки озимой пшеницы): 83,6%, или 7,6% в месяц, что связано с ускоренным процессом разложения растительных остатков под влиянием интенсивных обработок почвы при уходе за паровым полем. К уборке озимой пшеницы в почве остались только наиболее трудноразлагаемые части растений предшествующих лет, в результате чего дополнительное поступление к ним высокоуглеродистой массы зерновой культуры привело к резкому снижению темпов деструкции, которая составила 36,5% (условно 3,0% в месяц).

Характер протекания процессов разложения растительных остатков в биологизированных севооборотах иной. Как мы уже отмечали, совместное использование соломы ячменя и сидерата редьки масличной, возделываемой пожнивно, обеспечили высокое разложение растительной массы – 84,0-88,0% (6,0-6,3% в месяц). Добавление к неразложившимся остаткам соломы и сидерата смеси растительных

остатков подсолнечника и бобовых трав (донника и люцерны), возделываемых в бинарных посевах, обеспечило ускорение деструкционных процессов, интенсивность которых за 9 месяцев составила 78,5-85,0%, т.е. 8,7-9,4% в месяц.

В сидеральном севообороте растения донника желтого были использованы как сидерат, т.е. в фазе массового цветения заделаны в почву. Свежие, богатые азотом и влагой растительные остатки характеризуются быстрыми темпами разложения, в результате чего ко времени поступления в почву растительных остатков последующей культуры (озимой пшеницы) их содержание в почве сократилось на 76,4%, что составило условно 6,9% в месяц. Оставшиеся в почве 23,6% растительных остатков были представлены в основном частями растений, богатыми трудно разлагаемыми для микроорганизмов соединениями, в результате дополнительное поступление к ним высокоуглеродистых растительных остатков соломы озимой пшеницы замедлило темпы разложения: убыль растительной массы в почве составила 50,1% за год, или 4,2% в месяц.

Люцерна синяя в паровом поле используется как парозанимающая культура. В течение рассматриваемого периода (11 месяцев) поступающие в почву растительные остатки люцерны (в основном корневая масса) разлагались медленнее, чем биомасса донника желтого, т.к. в корневой части растения по сравнению с надземной содержание углерода существенно выше [124]. В результате к уборке озимой пшеницы разложение составило 68,0%, что условно соответствует 6,2% в месяц. Произрастание люцерны в бинарном посеве с озимой пшеницей обеспечило поступление в почву смеси растительных остатков двух культур, резко различающихся по химическому составу, что способствовало ускорению темпов разложения растительной массы в почве. В результате через год на данном варианте была отмечена наибольшая убыль растительных остатков: 58,5% (4,9% в месяц), что в 1,6 раза превышало темпы разложения в зернопаропропашном севообороте и в 1,2 раза — в сидеральном.

Различия в темпах разложения растительных остатков между севооборотами в зависимости от приемов биологизации были отмечены и в опыте 6. На фоне

наименьших темпов деструкции растительных остатков культур зернопаропропашного севооборота (37 и 39%) применение бобовых трав в совместных посевах и паровых полях позволило ускорить разложение поступившей в почву растительной массы на 13,5-40,5 и 17,9-41,0 отн.% (таблица 40).

Таблица 40 – Темпы разложения растительных остатков культур в зависимости от видов севооборота (опыт 6) [411]

Культуры севооборота	Темпы разложения (%) растительных остатков в зависимости от видов севооборота			
	ЗПП	Сд	Сэ	ЗТП
Пар	<u>48</u>	<u>53</u>	<u>64</u>	<u>58</u>
	46	63	66	64
Озимая пшеница	<u>23</u>	<u>28</u>	<u>34</u>	<u>39</u>
	26	29	33	51
Сахарная свекла	<u>35</u>	<u>43</u>	<u>46</u>	<u>50</u>
	42	46	45	53
Ячмень	<u>39</u>	<u>52</u>	<u>57</u>	<u>53</u>
	38	46	45	50
Подсолнечник	<u>-</u>	<u>-</u>	<u>-</u>	<u>-</u>
	42	44	46	55
По севообороту в целом	<u>37</u>	<u>42</u>	<u>45</u>	<u>52</u>
	39	46	47	55

Примечание: над чертой – опыт 4 (4-полный севооборот), под чертой – опыт 5 (5-типольный севооборот).

Установлено, что в пятипольном севообороте с подсолнечником и сахарной свеклой темпы разложения растительных остатков были выше, чем в севообороте с одной пропашной культурой – сахарной свеклой, что объяснимо: с увеличением доли пропашных культур в силу технологии их возделывания скорость минерализации органического вещества увеличивается. Действительно, в целом по севообороту ускорение процессов разложения при возделывании в севообороте двух пропашных культур в относительном исчислении составило 5,4% – в зернопаропропашном севообороте, 9,5 – в сидеральном с донником, 4,4 – в сидеральном с эспарцетом, 5,8% – в зернотравянопропашном.

Значимое влияние на темпы деструкции растительных остатков оказала непосредственно средоулучшающая культура. По эффективности этого влияния введенные в севообороты бобовые травы можно разместить в следующей убывающей последовательности: люцерна синяя (+15-16 абс.%) – эспарцет песчаный (+8 абс.%) – донник желтый (+5-7 абс.%).

Наиболее интенсивно процессы деструкции протекают в слое 10-20 см (таблица 41), что говорит о более высокой здесь микробиологической активности. Сравнительно более низкая степень разложения растительных остатков в слоях почвы 0-10 и 20-30 см связана в первом случае с недостаточной численностью и активностью почвенных микроорганизмов в связи с низкой влажностью поверхностного слоя, а во втором случае – с недостаточным количеством растительных остатков, основного источника питания почвенных микроорганизмов.

Различия в темпах разложения растительных остатков в зависимости от введенных в севооборот бобовых трав определялись их качественным составом, и в первую очередь – содержанием в них углерода и азота и их соотношением. Наиболее широким соотношением углерода к азоту характеризуются пожнивные и солоmistые остатки зерновых культур (соотношение превышает 55:1), в среднем в 1,7 раза уже соотношение C:N у подсолнечника (33,0:1). Растительные остатки бобовых трав характеризуются примерно одинаковым качественным составом (соотношение углерода к азоту колеблется в пределах 25,1...28,9:1) и занимают по данному показателю промежуточное положение между подсолнечником и сахарной свеклой, у которой соотношение C:N из изучаемых культур является наименьшим – 15,1:1.

Применение в севооборотах бобовых трав позволило существенно ускорить темпы разложения высокоуглеродистых, трудноразлагаемых растительных остатков. При заделке в почву смеси солоmistых остатков и биомассы люцерны (бинарный посев) отмечается увеличение степени разложения общей биомассы в 30-сантиметровом слое почвы на 6,5 абс.% , или на 12 отн.% (приложение Ф).

Таблица 41 – Химический состав и темпы разложения растительных остатков культурных растений в различных слоях почвы (2010-2012 гг., опыт 6)

Культура	Содержание в растительных остатках, %		C:N	Темпы разложения (%) по слоям почвы		
	C	N		0-10 см	10-20 см	20-30 см
Растительные остатки в чистом виде						
Озимая пшеница	47,1	0,85	55,4:1	49,3	62,2	50,5
Ячмень	44,4	0,73	60,8:1	52,7	60,0	51,3
Сахарная свекла	35,6	2,36	15,1:1	68,1	81,2	69,0
Подсолнечник	42,6	1,29	33,0:1	46,9	56,2	48,8
Донник жел. 1 г.ж.	46,3	1,64	28,2:1	67,9	70,6	66,0
Эспарцет пес. 1 г.ж.	45,4	1,57	28,9:1	68,2	71,1	70,3
Люцерна син. 1 г.ж.	43,5	1,73	25,1:1	64,4	67,0	71,8
Смесь растительных остатков						
Подсолнечник + донник жел. 1 г.ж.	40,8	1,31	31,1:1	66,3	67,9	61,4
Подсолнечник + эспарцет пес. 1 г.ж.	41,5	1,28	32,4:1	66,5	70,1	64,1
Подсолнечник + люцерна син. 1 г.ж.	42,2	1,37	30,8:1	68,4	73,0	67,8
Озимая пшеница + донник жел. 2 г.ж.	44,5	1,41	31,6:1	62,3	62,1	53,3
Озимая пшеница+ эспарцет пес. 2 г.ж.	41,6	1,22	34,1:1	56,8	64,3	52,4
Озимая пшеница+ люцерна син. 2 г.ж.	42,2	1,38	30,6:1	58,3	66,9	56,2
НСР <sub>05</sub>	1,2	0,10	-	1,1...2,3	1,2...2,1	1,0-1,5

Аналогичное ускорение деструкционных процессов наблюдается при заделке растительных остатков озимой пшеницы по фону сидеральных культур. Благодаря опыту с моделированием севооборота нам удалось установить, что разложение биомассы в 30-сантиметровом слое почвы ускорилось на 3,8-5,2 абс.%. Несколько меньшие показатели по сравнению с люцерной синей связаны с тем, что при поступлении в почву растительных остатков пшеницы растительные остатки бобовых трав, используемых в качестве сидеральных культур, уже прошли первый этап разложения, в течение которого процессам деструкции были подвержены в первую очередь лег-

коразлагаемые части растений, соответственно к моменту поступления в почву солоmistых остатков зерновой культуры содержащаяся в почве органическая масса была представлена преимущественно углеродистым материалом.

Важную роль в степени разложения растительных остатков оказали погодные условия вегетационных периодов: ухудшение гидротермических показателей сопровождалось снижением интенсивности деструкционных процессов, что подтверждает установленная сильная прямая корреляционная связь ( $r=0,803$ ;  $n = 39$ ;  $Sr = 0,098$ ;  $t_r = 8,19$ ;  $t_{05} = 2,04$ ;  $r^2 = 0,6444$ ) между темпами разложения растительных остатков ( $y$ ) и увлажненностью вегетационного периода, описываемой показателем ГТК ( $x$ ). Зависимость между этими двумя показателями выражается уравнением  $y = 34,971x + 24,043$ .

Таким образом, применение в севообороте таких приемов биологизации, как пожнивная сидерация, многолетние травы как бинарные компоненты, парозанимающие и сидеральные культуры, обеспечивает увеличение темпов разложения растительных остатков в почве, результаты которого выражаются улучшением питательного режима и увеличением запасов органического вещества.

### **3.3.3. Численность, динамика и структура почвенных микроорганизмов**

Формирование основных показателей плодородия почвы во многом определяется интенсивностью и направленностью биохимической деятельности микроорганизмов, от которой существенно зависят темпы трансформации различных соединений, скорость разложения растительных остатков, накопление в почве элементов питания, синтез и минерализация гумуса, создание водопрочной структуры и т.д. [157, 202, 299].

Почвенные микроорганизмы как биологические катализаторы формируют основные свойства почвы. Являясь составной частью экосистемы, они обеспечивают ее нормальное функционирование, поддерживая на оптимальном уровне обмен веществ и энергии между ее компонентами [160].

Микробное население почвы довольно многообразно. Его численность и структура подвержены влиянию многих факторов, как биотических (например, содержание в почве остатков различного происхождения), так и абиотических (температура, влажность почвы, реакция почвенного раствора и т.д.).

Проводимые при возделывании культурных растений агротехнические мероприятия, нацеленные на интенсификацию процессов обмена веществ и энергии с целью повышения урожайности, сопровождаются изменением направленности функционирования микробиологических процессов. Поэтому для регулирования почвообразования и повышения плодородия почв очень важно знать характер влияния на эти процессы различных культур, видов севооборотов, применяемых приемов повышения плодородия почвы и ее обработки [160].

Важную роль в формировании состава почвенной биоты выполняет трансформация органического вещества. После поступления в почву растительные остатки подвергаются процессу разложения, который протекает под влиянием различных физиологических групп микроорганизмов.

Большое разнообразие входящих в состав растительных остатков органических соединений, обладающих различной устойчивостью к микробному разложению, обуславливает поэтапность их распада [203]. Доступность органического вещества в порядке возрастающей устойчивости к расщеплению следующая: сахара – крахмал – гемицеллюлоза – пектин – белки – целлюлоза – лигнины – суберины – кутины [31, 69, 203, 326]. Последовательное разложение растительных остатков сопровождается последовательностью развития различных физиологических групп почвенных микроорганизмов.

Четкое представление об эффективности и направленности деятельности почвенного микробного сообщества дает анализ активности физиологических групп микроорганизмов и их количественного соотношения в почве. Установлено, виды севооборотов и применяемые в них приемы биологизации обеспечили существенное изменение численности и состава почвенных микроорганизмов, что положительно отразилось на интенсивности биологических процессов.

### Микроскопические грибы

Важную роль в разложении растительных остатков в почве играют микроскопические грибы, представленные большой группой гетеротрофных микроорганизмов, отличающихся высокой потребностью в кислороде и имеющих наибольшее распространение в поверхностных слоях почвы. В почвах агроценозов обитает три вида почвенных грибов: сапрофитные (редуценты) – принимают активное участие в почвообразовательном процессе, в минерализации органического вещества, в процессах гумусообразования; патогенные – оказывают негативное влияние на растения, выражающееся в замедлении их роста и развития; микоризные – формируют симбиотические отношения с растениями.

Из микроскопических грибов наибольший интерес вызывает группа редуцентов, представленная большим количеством видов и способная расщеплять практически все углеродосодержащие соединения, в том числе и сложные по химическому строению вещества (лигнин, клетчатку), с трудом подвергающиеся разложению другими микроорганизмами (бактериями, актиномицетами). Кроме того, представители данной группы способны синтезировать различные физиологически активные вещества (витамины, ферменты), стимулирующие физиологические процессы в растениях.

По сравнению с другими группами почвенных микроорганизмов микроскопические грибы характеризуются невысокой численностью. На фоне выполнения основной функции по разложению органических остатков и благодаря мощному ферментативному аппарату они создают в почве богатую продуктами обмена среду, что способствует развитию многочисленных групп микроорганизмов. Таким образом, микроскопические грибы представляют собой неотъемлемую часть микробного сообщества почвы [160, 203, 326].

Наши исследования показали, что наиболее высокая численность грибов была характерна для зернопаропропашного севооборота, что мы связываем в первую очередь с преобладанием в массе поступающих растительных остатков высокоуглеродистого материала. В целом по севообороту общая численность данной группы микроорганизмов составила 37,4 тыс. колониобразующих единиц

(КОЕ)/1г почвы (рисунок 32). При этом численность находилась в прямой, хотя и слабой степени зависимости от химического состава растительных остатков, чем шире соотношение углерода к азоту, тем больше в почве содержалось микромицетов. Так, под посевами зерновых культур (озимой пшеницы и ячменя), растительные остатки которых характеризуются наиболее широким соотношением C:N, численность грибов была наибольшей – 38,2-38,6 тыс. КОЕ/1г почвы; под подсолнечником, у которого соотношение уже – несколько меньше (37,9 тыс. КОЕ/1г почвы); минимальная численность (35,0 тыс. КОЕ/1г почвы) – в поле чистого пара, где происходило разложение остатков подсолнечника.

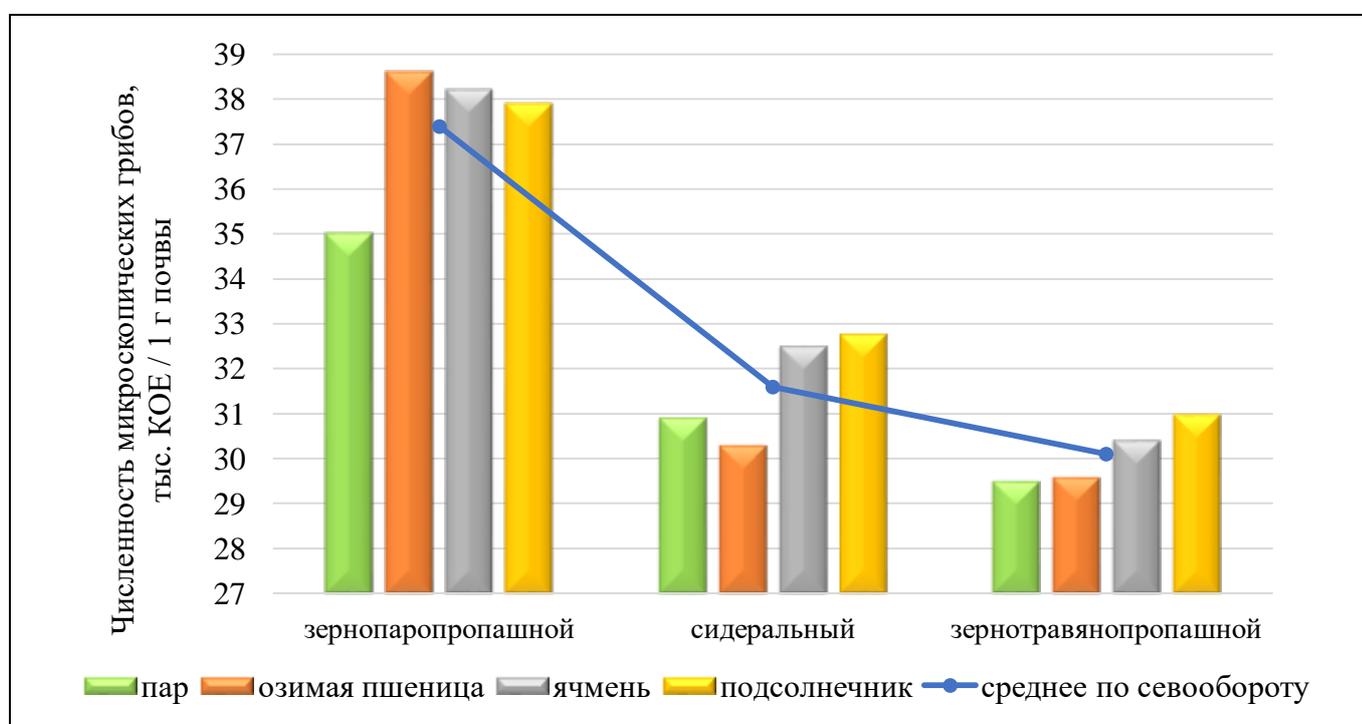


Рисунок 32 – Численность микроскопических грибов под культурами различных видов севооборотов (среднее за вегетацию, слой почвы 0-20 см, 2013-2016 гг., опыт 1)

Применение приемов биологизации в рассматриваемых севооборотах характеризуется существенно более низкой численностью микроскопических грибов – 31,6 тыс. КОЕ/1г почвы в сидеральном севообороте и 30,1 тыс. КОЕ/1г почвы – в зернотравянопропашном, что также связано с характером поступающих в почву

растительных остатков. Совместное поступление в почву трудноразлагаемого материала зерновых культур и подсолнечника с зеленой массой сидерата редьки масличной и растительными остатками бобовых трав, обладающими более благоприятным химическим составом, приводит к существенному снижению численности микроскопических грибов.

Данную зависимость мы отмечаем не только при сравнении севооборотов, но и в разрезе культур (таблица 42).

После уборки подсолнечника поступившая в почву растительная масса представляла из себя смесь послеуборочных остатков масличной культуры и отмерших остатков бобовой травы, что сформировало в почве определенную численность грибов.

После заделки в почву сидеральной массы донника численность данной группы микроорганизмов сократилась, т.к. в почву поступило большое количество низкоуглеродистого материала, а под бинарными посевами озимой пшеницы практически не изменилась, что связано с преобладающим поступлением в этот период отмерших частей корневых систем зерновой культуры и люцерны синей, характеризующихся более высоким содержанием углерода. С увеличением в почве доли трудно разлагаемого растительного материала после поступления соломы озимой пшеницы численность микроскопических грибов увеличилась, при этом в сидеральном севообороте прибавка была более выраженная, т.к. к этому времени растительная масса донника в почве практически разложилась.

В целом по культурам наибольшая численность микроскопических грибов была под посевами подсолнечника, где в почве находились растительные остатки не только предшествующей культуры (ячменя), но и неразложившиеся остатки культур предыдущих лет.

Кроме того, грибы – облигатные аэробы, поэтому посеvy пропашных культур являются благоприятными для их размножения.

Таблица 42 – Численность микроорганизмов под культурами различных видов севооборотов (среднее за вегетацию, слой почвы 0-20 см, 2013-2016 гг., опыт 1) [446]

Севооборот	Культура	Аммонификаторы	Микроорганизмы, усваивающие минеральный азот	Актиномицеты	Олигонитрофилы	Микроскопические грибы	Азотобактер	Целлюлозолитические микроорганизмы		
								бактерии	грибы	актиномицеты
								млн КОЭ/1 г а.с.п.		
млн КОЭ/1 г а.с.п.						тыс. КОЭ/1 г а.с.п.	млн КОЭ/1 г а.с.п.			
ЗПП	пар	5,1	10,6	1,0	8,0	35,0	0,6	1,574	0,129	0,247
	оз. пш.	5,5	12,9	1,0	8,2	38,6	0,6	1,434	0,014	0,143
	ячмень	5,7	11,2	1,1	7,4	38,2	0,7	1,763	0,150	0,344
	подсол-к	5,2	10,9	1,1	8,0	37,9	0,8	1,646	0,084	0,303
	в сред.	5,4	11,4	1,1	7,9	37,4	0,7	1,604	0,094	0,259
Сид	пар	5,9	9,9	1,1	8,4	30,9	0,6	1,990	0,116	0,239
	оз. пш.	6,7	12,5	1,1	8,0	30,3	0,6	1,620	0,113	0,203
	ячмень	6,7	10,7	1,1	8,1	32,5	0,7	2,081	0,110	0,220
	подсол-к	5,8	10,1	1,0	7,9	32,8	0,8	1,924	0,097	0,253
	в сред.	6,3	10,8	1,1	8,1	31,6	0,7	1,904	0,109	0,229
ЗТП	пар	5,7	11,3	1,0	8,5	29,5	0,5	2,047	0,092	0,139
	оз. пш.	6,7	12,5	0,9	8,8	29,6	0,6	1,794	0,000	0,141
	ячмень	6,6	10,7	1,1	8,1	30,4	0,6	2,096	0,076	0,175
	подсол-к	5,8	11,2	1,0	8,4	31,0	0,7	1,283	0,065	0,203
	в сред.	6,2	11,4	1,0	8,5	30,1	0,6	1,805	0,058	0,165

Установленную в ходе исследований более высокую численность микроскопических грибов в почве зернопаропропашного севооборота мы не можем рассматривать как преимущество этого вида севооборота, так как, во-первых, наличие данной группы микроорганизмов говорит о преобладании в почве труднорастворимых соединений, что негативно отражается на формировании питательного режима почвы; во-вторых, очень часто продуктом синтеза грибов являются токсичные для высших растений вещества, что является ингибирующим фактором; в-третьих, общую численность грибов в почве представляют не только сапрофиты-редуценты, но и патогенные грибы, грибы-паразиты, что также является негативным явлением.

Сезонная динамика почвенных грибов независимо от вида возделываемой культуры характеризовалась увеличением их общей численности от начала вегетации к фазе цветения и снижением к концу вегетационного периода. Но в целом за вегетационный период под культурами зернопаропропашного севооборота численность микроскопических грибов увеличилась, составив в среднем по севообороту 126,9% по отношению к весенним значениям. Обычно высокая численность микромицетов характерна для начальных стадий разложения растительных остатков, но чем медленнее протекает этот процесс в связи с особенностями химического состава, тем продолжительнее в нем участие грибов (приложение X).

Несущественное увеличение показателя (2,1%) отмечено в почве зерноотравнопропашного севооборота. Сидеральный севооборот характеризовался снижением численности микроскопических грибов (на 2,7%) к полной спелости культур, что связано с большим объемом поступления в почву богатых азотом растительных остатков с высоким содержанием влаги (зеленая масса сидеральных культур донника и редьки масличной).

Стоит отметить, что численность микроскопических грибов находилась в прямой, средней силы зависимости от ГТК вегетационного периода ( $r = 0,658$ ;  $n = 12$ ;  $S_r = 0,238$ ;  $t_r = 2,77$ ;  $t_{05} = 2,37$ ;  $r^2 = 0,4333$ ).

### Аммонифицирующие микроорганизмы (МПА)

Аммонифицирующие микроорганизмы (аммонификаторы) относятся к зимогенной микрофлоре, усваивающей углерод готовых органических (белковых) соединений, размножающейся за счет органического азота.

Данная группа охватывает большое количество видов, отличающихся специфическим отношением к источнику углерода, что позволяет вовлекать в круговорот все доступные его соединения. Деятельность аммонификаторов возможна в широком диапазоне значений влажности почвы, ее аэрации, температуры, кислотности и других показателей. Обладая высокой ферментативной активностью, эти микроорганизмы в значительной степени определяют скорость разложения растительных остатков, накопление в почве элементов минерального питания, трансформацию гумусовых веществ [203, 326]. Нами установлена сильная прямолинейная корреляционная связь между численностью аммонифицирующих микроорганизмов ( $x$ ) и интенсивностью разложения льняного полотна ( $y$ ) в почве ( $r = 0,721$ ;  $n = 18$ ;  $S_r = 0,173$ ;  $t_r = 4,17$ ;  $t_{05} = 2,12$ ;  $r^2 = 0,5199$ ). Данная зависимость описывается уравнением регрессии  $y = 10,34x - 29,045$ .

Важную роль в формировании численности аммонифицирующих микроорганизмов в почве играют растительные остатки: дополнительное поступление в почву богатых легкоразлагаемыми соединениями масс бобовых трав обеспечило в среднем по севообороту существенное превышение (на 14,8-16,7%) численности аммонификаторов в слое почвы 0-20 см по сравнению с контрольным, зернопаропропашным севооборотом. При этом преимущество биологизированных севооборотов проявляется под всеми культурами (рисунок 33).

Многолетние травы в изучаемых севооборотах начинают свое развитие в бинарных посевах с подсолнечником, размещенных по фону совместного использования на удобрение соломы ячменя и пожнивной сидерации редьки масличной, поступление которой в почву обеспечило превышение численности аммонификаторов по сравнению с фоном соломы в чистом виде на 11,5%. Данное наблюдение объясняется тем, что по сравнению с высокоуглеродистым составом

остатков зерновой культуры зеленая масса сидерата характеризуется более узким соотношением C:N (доля белка составляет 25,9%), что улучшает условия жизнедеятельности данной группы микроорганизмов.

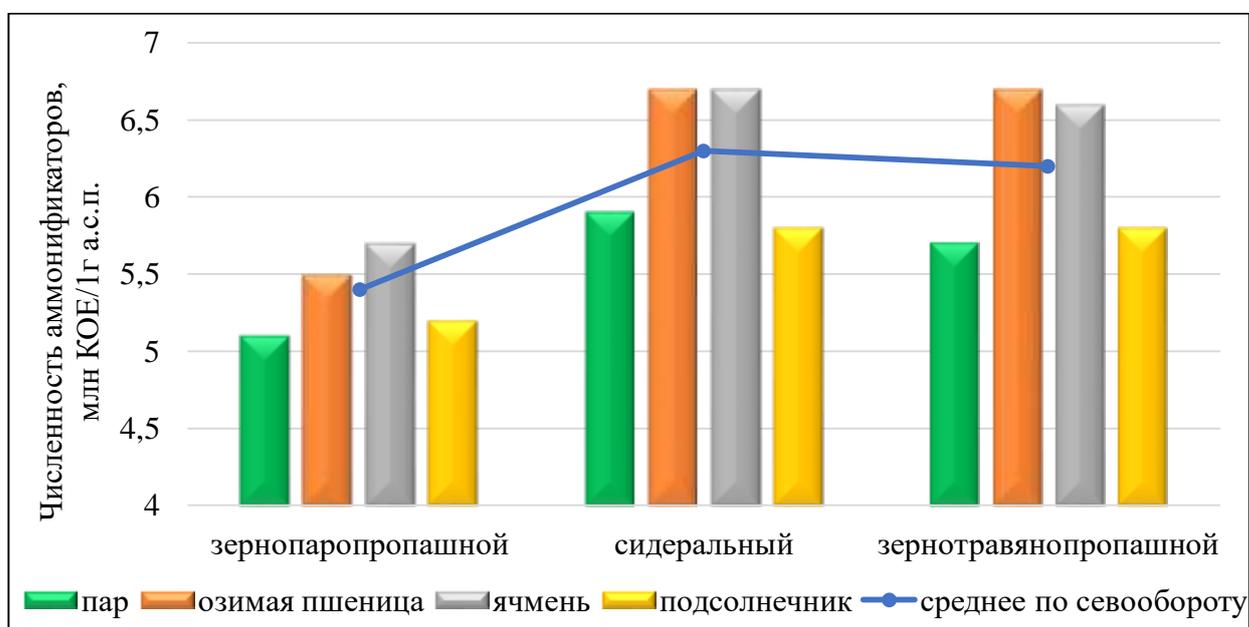


Рисунок 33 – Численность аммонификаторов под культурами различных видов севооборотов (среднее за вегетацию, слой почвы 0-20 см, 2013-2016 гг., опыт 1)

В процессе произрастания парозанимающих бобовых трав в почву дополнительно к растительным остаткам прошлых лет поступают отмершие части надземной вегетативной массы и корневых систем бобовых растений, что стимулирует развитие аммонифицирующих микроорганизмов: их численность превышает показатели чистого пара на 11,8-15,7%. Действие продолжающей вегетацию люцерны синей и последствие сидерального донника желтого проявляются как под посевами озимой пшеницы, так и под посевами ячменя: численность аммонификаторов в почве оставалась существенно более высокой (на 21,8 и 15,8-17,5%).

В течение вегетации культурных растений наблюдается положительная динамика численности аммонифицирующих микроорганизмов, интенсивность которой определялась характером поступающих в почву растительных остатков

и применяемыми приемами биологизации. Свойственные для ранневесеннего периода минимальные значения численности аммонификаторов, обусловленные сравнительно низкими температурами, постепенно повышаются, достигая наибольших значений в фазе цветения (это фаза наиболее активного роста и развития растений). В течение второй половины вегетационного периода (от фазы цветения до полной спелости, а на паровых полях – от фазы цветения трав до посева озимой пшеницы) интенсивность размножения аммонификаторов снижается, что связано с периодически возникающими засухами (отмечена сильная прямая корреляционная зависимость численности аммонификаторов от ГТК:  $r = 0,781$  ( $n = 9$ ;  $Sr = 0,236$ ;  $t_r = 3,31$ ;  $t_{05} = 2,37$ ).

Минимальными значениями показателя численности аммонифицирующих микроорганизмов в начальные фазы развития культур характеризуется зернопаропропашной севооборот (4,3 млн КОЕ/1г почвы). Несмотря на существенное увеличение показателя к фазе цветения, численность аммонификаторов по-прежнему оставалась существенно меньше (на 10,2-11,9%), чем в биологизированных севооборотах, и не характеризовалась значимостью изменений к полной спелости культур.

В почве зернотравянопропашного севооборота благодаря возделыванию в течение трех лет люцерны синей и приемам, обеспечивающим увеличение поступления в почву растительных остатков с более высоким содержанием азота, группа аммонифицирующих микроорганизмов смогла сформировать более высокую, чем под зернопаропропашным севооборотом, численность. Так, уже в фазе всходов данный показатель превышал контрольные значения на 25,6%, в фазе цветения – на 11,9 и в конце вегетационного периода – на 13,5%. Наиболее интенсивная прибавка в численности отмечена была в поле занятого пара люцерной второго года жизни: 38,6% к фазе цветения травы и 6,5% – во второй период. В полях, где люцерна выступала бинарным компонентом (первый и третий год жизни), интенсивность размножения аммонификаторов была несколько ниже и составила на первом этапе наблюдений 20,0%. Под посевами ячменя, благодаря

совместному поступлению в почву соломы озимой пшеницы с растительной массой люцерны синей численность аммонификаторов продолжала оставаться на довольно высоком уровне: 6,2-6,8 млн КОЕ/1г почвы.

Аналогичное, но более выраженное влияние возделываемых в севообороте культур и приемов биологизации отмечается в сидеральном севообороте: численность аммонифицирующих микроорганизмов в слое почвы 0-20 см была существенно выше, чем в зернопаропропашном севообороте, на всех этапах наблюдений: на 30,2% – в фазе всходов, на 10,2 – в фазе цветения, на 15,2% – в конце периода наблюдений. Более оптимальные условия для формирования высокой численности аммонификаторов были созданы под озимой пшеницей, размещенной по фону заделки в почву высокобелковой зеленой массы донника желтого – 6,3 млн КОЕ/1г почвы. В течение вегетационного периода практически под всеми культурами динамика размножения аммонифицирующих микроорганизмов была положительной.

Таким образом, биологизированные севообороты обеспечивают устойчивость высокой численности аммонифицирующих микроорганизмов в течение всего вегетационного периода, что в значительной степени определяется массой поступающих в почву растительных остатков ( $r = 0,622$ ;  $n = 12$ ;  $Sr = 0,247$ ;  $t_r = 2,52$ ;  $t_{05} = 2,23$ ;  $r^2 = 0,3873$ ).

#### Микроорганизмы, усваивающие минеральный азот, и олигонитрофилы

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 ( $r = 0,598$ ;  $n = 18$ ;  $Sr = 0,200$ ;  $t_r = 2,99$ ;  $t_{05} = 2,12$ ;  $r^2 = 0,3575$ ).

Динамика численности группы микроорганизмов, усваивающих минеральный азот, существенно зависела не только от возделываемых в севооборотах культур, но и от этапов их вегетационного развития. По всем изучаемым вариантам наибольшая за вегетацию численность этой группы микроорганизмов была

свойственна для фазы цветения растений, что связано с формированием в данный период наиболее оптимальных для развития микроорганизмов условий (в том числе интенсивное протекание процессов разложения органических остатков). К концу вегетационного периода отмечается снижение численности микроорганизмов, усваивающих минеральный азот, что объясняется не только ухудшением общих условий их обитания, но и снижением в почве источника питания в результате интенсивного его потребления культурными растениями (приложение X).

В среднем по севообороту наибольшая численность группы микроорганизмов, усваивающих минеральный азот, была характерна для зернопаропропашного и зернотравянопропашного севооборотов – 11,4млн КОЕ/1г почвы.

Высокую численность данной группы микроорганизмов в почве зернопаропропашного севооборота мы не можем рассматривать как положительное явление, т.к. на фоне минимального по сравнению с другими видами севооборотов содержания в почве растительных остатков (и минимальных объемов их поступления) интенсивное протекание процессов минерализации продолжается за счет гумуса, т.е. источником используемого микроорганизмами минерального азота служит органическое вещество почвы, что крайне негативно отражается на плодородии.

Высокая же численность усваивающих минеральный азот микроорганизмов на варианте зернотравянопропашного севооборота свидетельствует о повышении его содержания в почве, а это значит, что процесс минерализации идет активно, и прежде всего за счет аммонификации. Интенсивность минерализационных процессов на фоне высокого содержания растительных остатков в почве, активной деятельности аммонифицирующих микроорганизмов благоприятно отражается на питательном режиме растений.

Важное значение в оценке интенсивности трансформации органического вещества имеет коэффициент минерализации, представляющий собой отношение микроорганизмов, усваивающих минеральный азот, и аммонифицирующих микроорганизмов (КАА:МПА).

Наиболее высокий коэффициент минерализации ( $K_{\text{мин}}$ ) характерен для зернопаропропашного севооборота – 2,07, что говорит о том, что здесь протекает наиболее глубокая минерализация органических остатков в результате меньшего поступления растительных масс в почву (таблица 43). Соответственно, на данном варианте может проявляться процесс распада гумусовых веществ, что приведет к обеднению слоя почвы 0-20 см гумусом.

Таблица 43 – Коэффициент минерализации под культурами различных видов севооборотов (2013-2016 гг., опыт 1)

Культура	Виды севооборота	Фаза развития культуры			Среднее за вегетацию
		всходы	цветение	полная спелость	
Пар	ЗПП	1,53	2,67	1,86	2,02
	Сид	0,89	2,31	1,66	1,62
	ЗТП	1,34	1,70	1,83	1,62
Озимая пшеница	ЗПП	1,96	3,03	1,98	2,32
	Сид	1,73	2,27	1,56	1,85
	ЗТП	1,90	2,15	1,52	1,86
Ячмень	ЗПП	1,38	2,53	1,78	1,90
	Сид	0,79	2,51	1,37	1,56
	ЗТП	0,77	2,38	1,59	1,58
Подсолнечник	ЗПП	1,42	2,88	1,81	2,04
	Сид	0,78	2,61	1,69	1,69
	ЗТП	1,12	2,82	1,69	1,88
Среднее по севообороту	ЗПП	1,57	2,78	1,86	2,07
	Сид	1,05	2,42	1,57	1,68
	ЗТП	1,28	2,26	1,66	1,73

В почве зернотравянопропашного и сидерального севооборотов процессы минерализации протекают несколько медленнее ( $K_{\text{мин}}$  соответственно равен 1,73 и 1,68), что связано с более высоким содержанием в почве растительных остатков и сравнительно более высоким ежегодным поступлением легкоразлагаемых, низкоуглеродистых растительных масс.

Данные выводы подтверждаются результатами корреляционного и регрессионного анализов – увеличение массы поступающих в почву растительных

остатков (x) сопровождается снижением коэффициента минерализации (y):  $r = -0,734$  ( $n = 18$ ;  $Sr = 0,170$ ;  $t_r = 4,34$ ;  $t_{05} = 2,12$ ;  $r^2 = 0,5393$ ). Установленная сильная связь между этими показателями описывается уравнением регрессии  $y = -0,0336x + 2,2425$ .

В течение вегетации культурных растений коэффициент минерализации заметно варьировал. Наименьшие его значения были характерны для фазы всходов (или фазы весеннего отрастания), далее, к фазе цветения, коэффициент минерализации увеличивался, достигнув максимальных значений, затем к полной спелости культуры вновь снижался. Отмеченная нами динамика  $K_{\text{мин}}$  отражает характер направленности микробиологических процессов: в течение первого этапа вегетационного периода (от фазы всходов до фазы цветения) происходит интенсивная минерализация органического вещества и высвобождение минерального азота, которая к концу вегетации культур постепенно замедляется. Данная тенденция характерна для всех изучаемых культурных растений независимо от вида севооборота, в котором проходило их возделывание.

Показателем, характеризующим интенсивность протекающих в почве микробиологических процессов, является коэффициент микробиологической трансформации органического вещества ( $\Pi_m$ ), рассчитываемый по формуле  $\Pi_m = (M_{\text{ПА}} + K_{\text{АА}}) \times (M_{\text{ПА}} / K_{\text{АА}})$  [261, 290]. Согласно представленным данным (таблица 44) наиболее высокие темпы трансформации растительных остатков в органическое вещество наблюдаются в севооборотах с применением приемов биологизации: коэффициент трансформации составил 10,13 (зернотравянопропашной) и 10,58 (сидеральный), что в среднем в 1,3 раза превысило показатели зернопаропропашного севооборота.

При этом данное наблюдение характерно не только для всего севооборота в целом, но и в отдельности для возделываемых культурных растений. Увеличение рассматриваемого показателя объяснимо: растительные остатки введенных в эти севообороты культур (бобовых трав и редьки масличной), обладая хорошим качественным составом, под действием почвенных микроорганизмов интенсивно трансформируются в органическое вещество.

Таблица 44 – Коэффициент микробиологической трансформации органического вещества под культурами различных видов севооборотов (2013-2016 гг., опыт 1)

Культура	Виды севооборота	Фаза развития культуры			Среднее за вегетацию
		всходы	цветение	полная спелость	
Пар	ЗПП	6,29	7,97	8,61	7,62
	Сид	9,96	8,89	10,89	9,91
	ЗТП	7,68	9,68	10,05	9,14
Озимая пшеница	ЗПП	7,55	7,58	8,72	7,95
	Сид	9,94	10,08	11,31	10,44
	ЗТП	9,16	10,54	11,43	10,38
Ячмень	ЗПП	7,77	8,93	9,84	8,85
	Сид	13,85	9,65	12,44	11,98
	ЗТП	14,21	9,80	11,08	11,70
Подсолнечник	ЗПП	6,81	7,68	9,00	7,83
	Сид	11,6	8,16	10,19	9,98
	ЗТП	9,46	8,13	10,34	9,31
Среднее по севообороту	ЗПП	7,10	8,04	9,04	8,06
	Сид	11,34	9,19	11,21	10,58
	ЗТП	10,13	9,54	10,72	10,13

В целом наиболее высокой интенсивностью протекания микробиологических процессов характеризуются посевы ячменя ( $P_m = 8,85-11,98$ ), несколько ниже интенсивность трансформации органического вещества под посевами озимой пшеницы ( $P_m = 7,95-10,44$ ) и подсолнечника ( $P_m = 7,83-9,98$ ); самая низкая скорость трансформации органического вещества почвы – в паровых полях ( $P_m = 7,62-9,94$ ).

Таким образом, возделывание культур в биологизированных севооборотах обеспечивает ускорение темпов минерализации органического вещества и увеличение содержания в почве минерального азота за счет процессов аммонификации, а также ускорение трансформации растительных остатков в органическое вещество почвы.

Значимым показателем в определении соотношения различных групп микроорганизмов по их пищевым потокам в среде, а также показателем интенсивности процессов утилизации гумуса и гумусосодержащих соединений в почве является индекс олиготрофности, определяемый как соотношение численности бактерий-олигонитрофилов (на среде Эшби) к численности микроорганизмов, выросших на МПА [33].

Олигонитрофилы способны развиваться на очень низком уровне азотсодержащих веществ в почве, т.е. в условиях, неблагоприятных для других видов почвенных микроорганизмов, и фактически завершают минерализацию органических соединений [203].

Согласно представленным в таблице 45 данным наиболее высокий индекс олиготрофности характерен для зернопаропропашного севооборота, причем как в среднем за вегетационный период культур (1,51), так и во все фазы развития культур (1,77...1,45...1,30).

Высокие значения данного показателя на фоне быстрых темпов минерализации и недостаточной величины поступающей в почву биомассы растений говорят о том, что в процесс разложения включены не только поступившие растительные остатки, но и органическое вещество почвы, идет активный процесс утилизации гумуса и гумусосодержащих веществ.

В почве под севооборотами с применением приемов биологизации процессы разложения гумуса замедлены: индекс олиготрофности меньше контрольных значений на 6,2-12,3%. Это обусловлено поступлением в почву сравнительного более высокого количества растительных остатков, способствующих развитию сапрофитных микроорганизмов, что снижает риск глубокого разложения гумуса с разрушением структуры молекул гумусовых веществ.

Таблица 45 – Индекс олиготрофности под культурами различных видов севооборотов (2013-2016 гг., опыт 1)

Культура	Виды севооборота	Фаза развития культуры			Среднее за вегетацию
		всходы	цветение	полная спелость	
Пар	ЗПП	1,92	1,53	1,39	1,61
	Сид	1,62	1,52	1,20	1,45
	ЗТП	1,79	1,49	1,32	1,53
Озимая пшеница	ЗПП	1,54	1,47	1,48	1,50
	Сид	1,22	1,20	1,16	1,19
	ЗТП	1,33	1,36	1,23	1,31
Ячмень	ЗПП	1,69	1,30	1,01	1,33
	Сид	1,20	1,26	1,15	1,20
	ЗТП	1,21	1,27	1,18	1,22
Подсолнечник	ЗПП	1,92	1,51	1,31	1,58
	Сид	1,49	1,37	1,26	1,37
	ЗТП	1,58	1,47	1,32	1,46
Среднее по севообороту	ЗПП	1,77	1,45	1,30	1,51
	Сид	1,38	1,34	1,19	1,30
	ЗТП	1,48	1,40	1,26	1,38

#### Целлюлозоразлагающие микроорганизмы

Основным компонентом растительных тканей является целлюлоза, имеющая определенную ценность как источник не только углерода, но и промежуточных продуктов ее распада (сахаров, органических кислот и т.д.), используемых другими физиологическими группами почвенных микроорганизмов, в том числе и азотфиксирующими [40, 203, 326]. Кроме того, разлагающие целлюлозу микроорганизмы в процессе своей деятельности выделяют в почву много специфических веществ (слизи), участвующих в процессах оструктурирования почвы и гумусообразования [40]. Таким образом, от активности целлюлозоразлагающих микроорганизмов зависит интенсивность процессов минерализации и гумификации растительных остатков в почве, высвобождение биогенных элементов, улучшение обеспеченности элементами питания растений.

В процессе разложения целлюлозы принимают участие различные группы микроорганизмов – грибы, бактерии, актиномицеты, численность которых и со-

отношение зависят, прежде всего, от почвенных условий. Например, установлено, что в карбонатных черноземах из целлюлозоразлагающих микроорганизмов преобладают бактерии и актиномицеты, в темно-серых лесных и оподзоленных почвах – бактерии, в серых лесных – миксобактерии и грибы и т.д. [40]. Установлена прямая, средней силы корреляционная связь целлюлозоразлагающих грибов с увлажненностью вегетационного периода (ГТК):  $r = 0,656$  ( $n = 12$ ;  $Sr = 0,239$ ;  $t_r = 2,74$ ;  $t_{05} = 2,37$ ;  $r^2 = 0,4304$ ).

Нашими исследованиями установлено, что в черноземе типичном Воронежской области из целлюлозоразлагающих микроорганизмов наибольший удельный вес имеют бактерии, на долю которых приходится от 82,0 до 89,0% (в зависимости от вида севооборота). Практические в 6,2-11 раз меньше удельный вес целлюлозоразлагающих актиномицетов (рисунок 34).

Процентная доля целлюлозоразлагающих грибов очень мала и не превышает 4,9% от общей численности целлюлозоразлагающих микроорганизмов. При этом стоит отметить, что наличие в почве целлюлозоразлагающих грибов было характерно в основном для начала вегетационного периода; в середине и конце вегетационного периода данной группы микроорганизмов фактически не было.

Если рассматривать зависимость процентного соотношения различных групп целлюлозаразлагающих микроорганизмов от вида севооборота, то применение при возделывании культурных растений приемов биологизации сопровождается увеличением доли целлюлозоразлагающих бактерий: на 2,9 абс.% в сидеральном севообороте и на 7 абс.% в зернотравянопропашном.

При этом в севообороте с донником увеличение удельного веса бактерий произошло только за счет сокращения доли актиномицетов, а в севообороте с люцерной – за счет сокращения доли и актиномицетов (в 1,6 раза, или на 38,6%), и грибов (в 1,6 раза, или на 39,6%). Данное наблюдение характерно не только для севооборота в целом, но и для отдельных культур севооборота (рисунок 35).

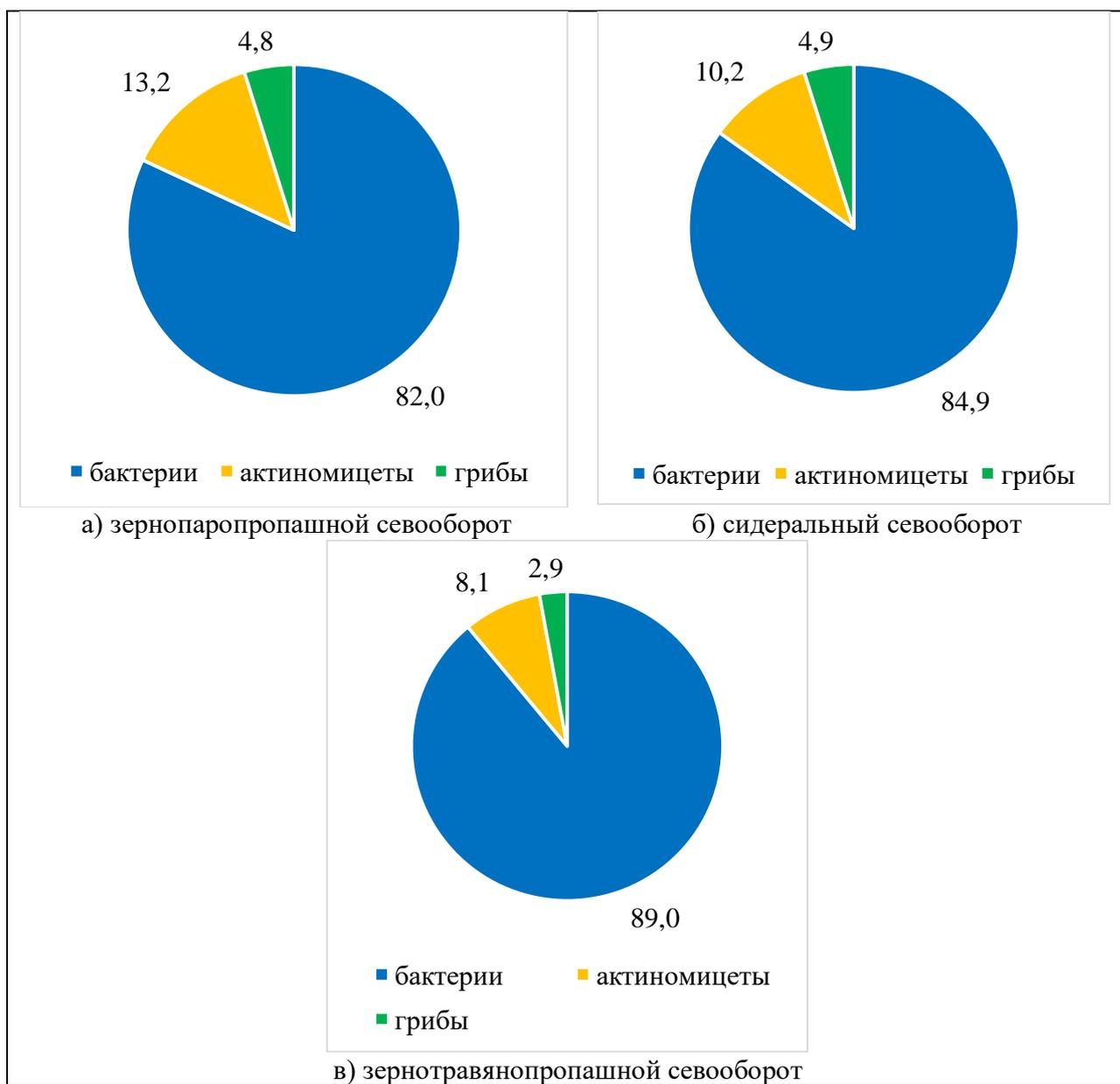


Рисунок 34 – Соотношение групп целлюлозоразлагающих микроорганизмов (%) в почве различных видов севооборотов (среднее за вегетацию, 2013-2016 гг., опыт 1)

Более высокое по сравнению с контролем содержание в почве биологизированных севооборотов целлюлозоразлагающих бактерий связано с лучшей обеспеченностью почвы минеральным азотом, т.к. данная группа микроорганизмов, по сравнению с грибами и актиномицетами, предъявляет к его наличию наиболее высокие требования. Преобладание целлюлозоразлагающих бактерий и рост их численности является показателем хорошей окультуренности почвы.

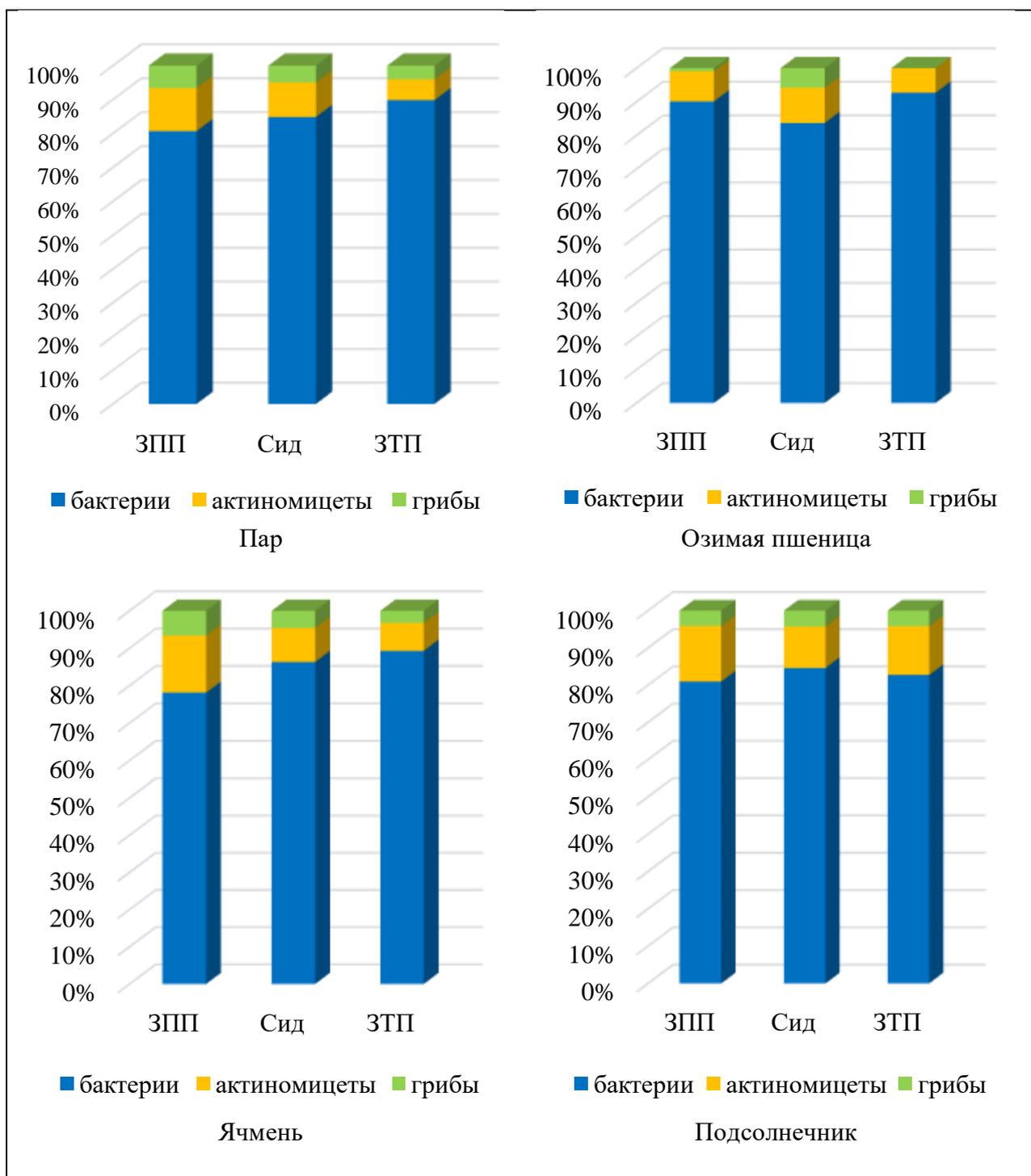


Рисунок 35 – Соотношение различных групп целлюлозоразлагающих микроорганизмов (%) под культурами различных видов севооборотов (2013-2016 гг., опыт 1)

Существенно превышает показатели контрольных посевов (на 3,6-14,5%) и общая численность целлюлозоразлагающих микроорганизмов в почвах биологизированных севооборотов, что рассматривается как положительное явление,

т.к. способствует более активному образованию гуминовой кислоты в почве, усилению азотфиксирующей, нитрификационной и целлюлозоразлагающей способности почвы [203].

Действительно, расчет коэффициента корреляции показал, что с ростом численности целлюлозоразлагающих микроорганизмов интенсивность распада льняного полотна увеличивается (связь прямая, средней силы:  $r = 0,444$ ;  $n = 36$ ;  $Sr = 0,154$ ;  $t_r = 2,88$ ;  $t_{05} = 2,04$ ;  $r^2 = 0,1970$ ).

В разрезе зернопаропропашного севооборота наиболее высокая численность целлюлозоразлагающих микроорганизмов в почве характерна для посевов ячменя, размещаемых по озимой пшенице (см. таблицу 42), что и неудивительно, так как в почву два года подряд поступают богатые целлюлозой растительные остатки зерновых культур.

По мере разложения соломы количество целлюлозоразлагающих микроорганизмов сокращается, достигая минимального по севообороту значения в поле озимой пшеницы (до поступления в почву растительных остатков культуры) – 1,591 млн КОЕ/1г почвы.

Аналогично и на варианте сидерального севооборота минимальная численность целлюлозоразлагающих микроорганизмов была характерна для озимой пшеницы – 1,936 млн КОЕ/1г почвы. Поступление в почву растительных остатков озимой и яровой зерновых привели к росту численности рассматриваемой группы микроорганизмов с постепенным ее снижением к концу вегетации подсолнечника.

В дальнейшем, если в почве чистого пара отмечалось снижение численности целлюлозоразлагающих микроорганизмов, то под сидеральным паром наблюдался ее рост, что связано с увеличением поступивших в почву растительных остатков за счет заделки в почву сидеральной массы.

На варианте зернотравянопропашного севооборота отмечаются более выраженные различия в численности целлюлозоразлагающих микроорганизмов. Наименьшая численность характерна для подсолнечника, т.к. к этому времени благодаря совместному поступлению в почву растительных остатков зерновых

культур и люцерны наибольшая их часть уже разложилась. После уборки подсолнечника, когда процессам разложения подверглись пожнивно-корневые и надземные части подсолнечника, численность целлюлозоразлагающих микроорганизмов увеличилась.

Ранее проведенными исследованиями [62] установлено, что на богатых клетчаткой растительных остатках в значительном количестве накапливаются аминокислоты, сохраняющиеся практически до полного разложения растительного материала, а после полной его утилизации подвергающиеся постепенному распаду и обеспечивающие растения азотом в аммиачной форме. В почвах севооборотов находятся растительные остатки различных лет поступления и различной степени разложения, что на фоне ежегодного поступления свежего растительного материала обеспечивает упорядочивание азотного питания растений [203].

#### Динамика и структура общей численности микроорганизмов

В ходе проведенного исследования было установлено: изучаемые приемы биологизации обеспечили увеличение численности как отдельных групп микроорганизмов, так и общей их численности, которая по сравнению с зернопаропропашным севооборотом (28,395 млн КОЕ/1г почвы) была выше на 2,8-4,7% (рисунок 36).

Численность микроорганизмов под отдельными культурами севооборотов имела характерные особенности. В зернопаропропашном севообороте по численности почвенных микроорганизмов культуры можно условно разместить в следующем убывающем порядке: озимая пшеница – ячмень – подсолнечник – чистый пар. В севооборотах же с приемами биологизации наименьшая численность микроорганизмов была характерна для посевов подсолнечника: озимая пшеница – ячмень – пар (сидеральный, занятый) – подсолнечник.

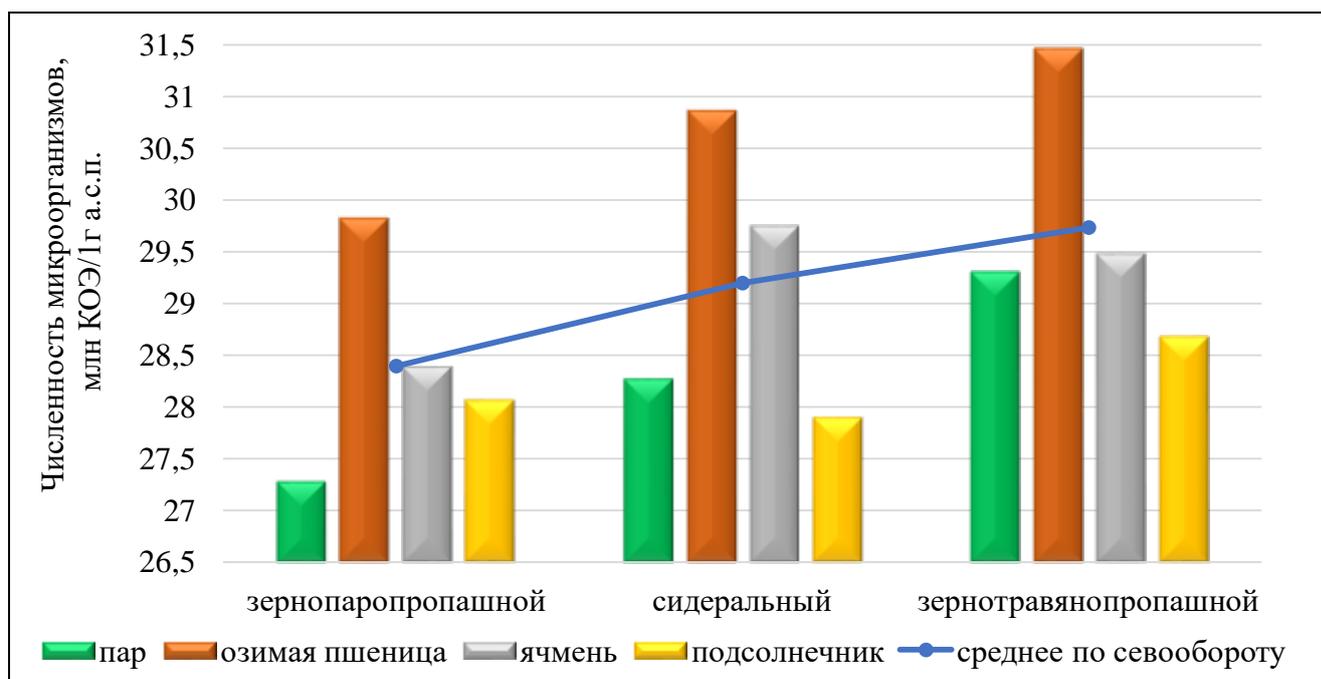


Рисунок 36 – Общая численность микроорганизмов под культурами различных видов севооборотов (2013-2016 гг., опыт 1)

Общая численность микробного сообщества почв севооборотов была представлена группами различных микроорганизмов (рисунок 37).

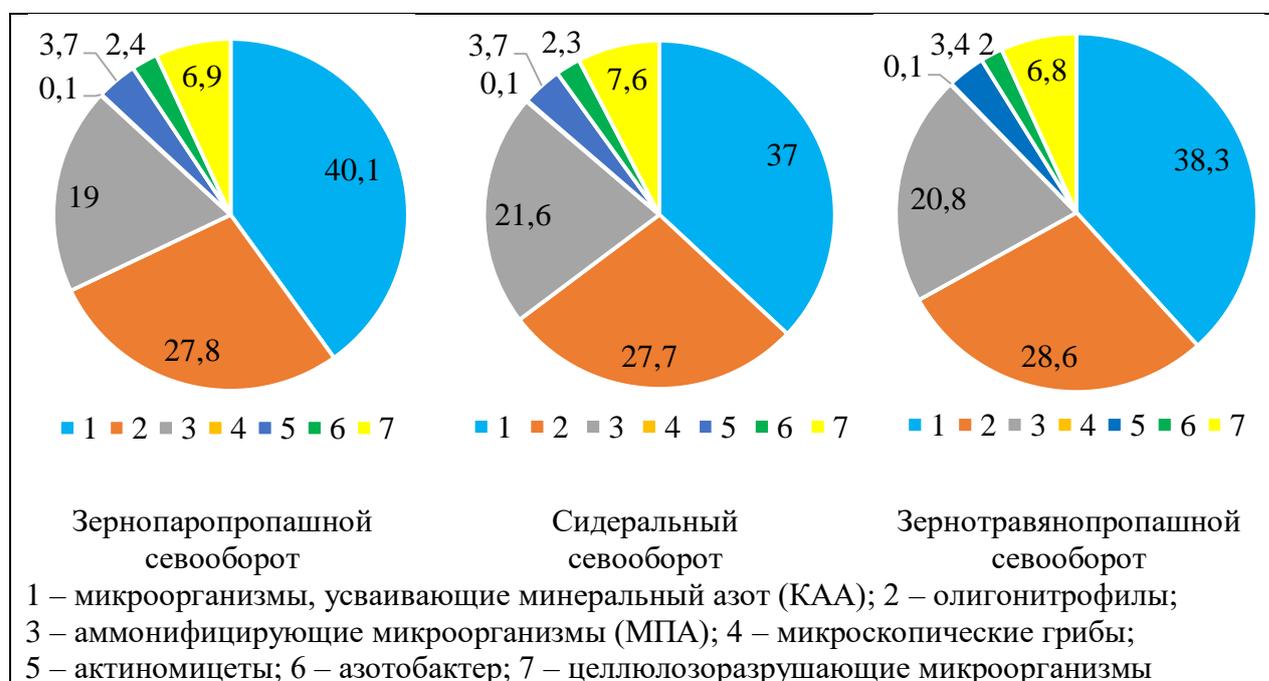


Рисунок 37 – Структура микробного сообщества почв различных видов севооборотов, в % (2013-2016 гг., опыт 1)

Наибольшее распространение имели микроорганизмы, усваивающие минеральный азот (37-40,1%), олигонитрофилы (27,8-28,6%) и аммонифицирующие микроорганизмы (19-21,6%). Существенно меньший удельный вес занимали целлюлозоразлагающие микроорганизмы (6,8-7,6%), актиномицеты (3,4-3,7%) и азотобактер (2,0-2,4%). Доля микроскопических грибов, являющихся неотъемлемой частью микробного сообщества почв, в общей массе микроорганизмов ничтожно мала и не превышала 0,1%.

Таким образом, применение приемов биологизации обеспечивает формирование благоприятных условий для роста численности и активности почвенных микроорганизмов, что благоприятно отражается на темпах разложения растительных остатков, оптимизации питательного режима почвы и сохранении запасов гумуса.

### **3.3.4. Микробиологическая активность почвы**

Направленность протекающих в почве биологических процессов, скорость разложения растительных остатков, накопление элементов питания в почве, формирование агрономически ценной структуры преимущественно определяется активностью почвенных микроорганизмов, которая зависит от климатических условий, массы и качественного состава поступающих в почву растительных остатков, проводимых агротехнических мероприятий.

Объективным показателем плодородия почвы, позволяющим достаточно точно оценить условия, в которых протекают процессы распада растительных остатков, является биологическая активность почвы, представляющая собой суммарную активность различных процессов, протекающих в почве с участием почвенной биоты. Достаточно простым способом оценки суммарной активности разлагающих растительные остатки почвенных организмов является определение эмиссии почвой углекислого газа. Однако данный показатель очень динамичен, причем для него характерна не только сезонная, но и суточная динамика, а также сильная зависимость от погодных условий [435].

По мнению ряда авторов [317, 368, 382], показателем общей биологической активности, наиболее выразительно характеризующим общую направленность микробиологических процессов, является целлюлозоразлагающая активность почвы, ведь целлюлоза – основной компонент растительных остатков, и ее деградация осуществляется большой группой почвенных микроорганизмов и грибов. Поэтому в наших исследованиях был использован аппликационный метод, позволивший определить актуальную биологическую (целлюлозную) активность почвы по интенсивности разложения клетчатки. Данный метод позволяет оценить состояние живого компонента почвы в течение определенного периода времени, что дает ценную информацию об активности целлюлозолитического комплекса, интенсивности его деятельности в различных слоях почвы, направленности процессов превращения лабильной фракции органического вещества [152].

Микроорганизмы выполняют важную роль в формировании почвенного плодородия, регулируя процессы азотфиксации и денитрификации, изменяя различные режимы почвы, контролируя процессы превращения органических и минеральных соединений, синтеза и распада и т.д., являясь при этом очень чувствительными, зависящими от многих факторов индикаторами ее окультуренности [152]. Существенное влияние на активность целлюлозоразлагающих микроорганизмов, в значительной степени определяющих интенсивность дальнейших процессов гумификации и минерализации органического вещества, изменение основных свойств почвы оказывают возделываемые в севооборотах культуры и применяемые приемы биологизации [141].

В наших исследованиях наличие в севооборотах сидерации (пожнивной и в паровом поле) и многолетних бобовых трав обеспечило увеличение интенсивности распада льняного полотна в почве под культурами, которое проявлялось как в первые 45 суток наблюдений, так и в целом за 90 дней (приложение Ц-Ш, рисунок 38).

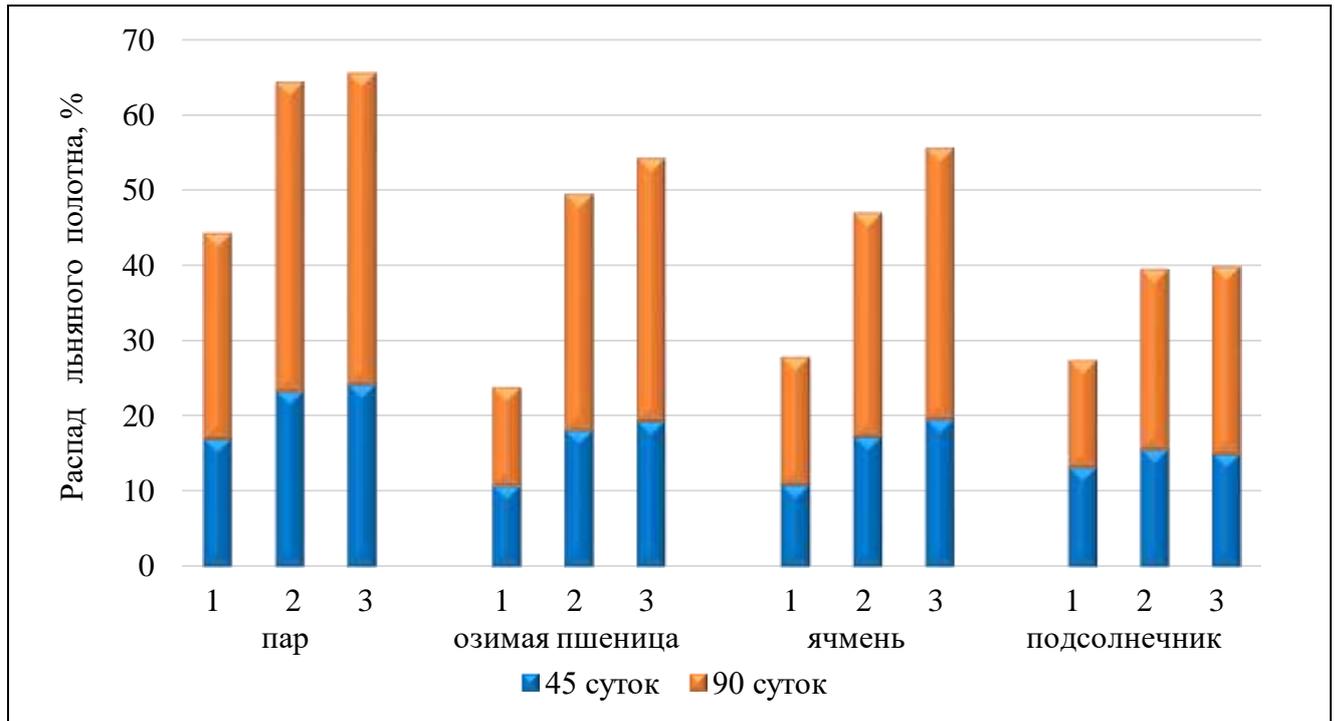


Рисунок 38 – Биологическая активность в слое почвы 0-30 см под культурами различных видов севооборотов: 1 – зернопаропропашной, 2 – сидеральный, 3 – зернотравянопропашной (НСР<sub>05</sub> – 2,40 (значимо) для срока 45 суток, 6,35 (значимо) – для срока 90 суток; опыт 1)

Увеличение целлюлозоразлагающей активности в почве отмечается с первого года применения приемов биологизации. Заделка в почву сидеральной массы редькой масличной (после уборки ячменя) в первые 45 суток после всходов подсолнечника увеличила интенсивность распада льняного полотна под действием микроорганизмов в 1,1-1,2 раза. В последующие 45 суток целлюлозоразлагающая активность повысилась, в результате за этот период процент разложения полотна был в 1,5-1,7 раза больше, чем в первый период, и в 1,7 раз больше, чем на варианте одновидового посева. Таким образом, возделывание подсолнечника по фону пожнивной сидерации в совместных посевах с многолетними бобовыми травами обеспечило существенно более высокую целлюлозную активность почвы – 39,5-39,9% (в 1,4 раза выше, чем под одновидовым посевом).

Последующее произрастание бобовых многолетних трав в паровых полях стимулировало активность почвенных микроорганизмов, что выразилось в увеличении темпов распада льняной ткани по сравнению с чистым паром в 1,4 раза

через 45 суток и в 1,5 раза через 90 суток. Аналогично первому году применения приемов биологизации, наиболее интенсивный (в 1,7-1,8 раза) распад полотна отмечается в период с 45-х до 90-е сутки. В поле занятого и сидерального пара данное время приходится на поступление в почву сидеральной массы донника и растительных остатков люцерны, что бесспорно повышает темпы их разложения.

Распад льняного полотна под посевами озимой пшеницы проходил под влиянием последействия сидерального пара (донник) и действия бинарного компонента (люцерна), положительное влияние которых проявилось в превышении распада полотна над показателями контроля в 1,7-1,8 раза в первые 45 суток и в 2,4-2,7 раза в последующие 45 суток.

Влияние изучаемых приемов биологизации на целлюлозную активность почвы проявляется и под посевами ячменя, где превышение процента распада льняного полотна над показателями контрольного посева составило 1,6-1,8 раза в первый срок и 1,7-2,1 раза – во второй. И только под посевами яровой зерновой культуры, т.е. на четвертый год применения приемов биологизации, было отмечено существенное отклонение в интенсивности распада льняной ткани между сидеральным и зернотравянопропашным севооборотом, в целом за период 90 суток последействие люцерны синей обеспечило поддержание существенно более высокой целлюлозной активности почвы (на 8,6 абс.%).

Что касается влияния культур и паров на интенсивность распада льняной ткани за период 90 суток, то их можно расположить в следующей убывающей последовательности: занятые пары бобовыми травами 2-го года жизни – в среднем 64,9%, чистый пар – 44,3, ячмень – 43,5, озимая пшеница – 42,5, подсолнечник – 35,6%.

Таким образом, использование бобовых трав в совместных посевах с культурами с последующим размещением в паровых полях, а также применение пожнивной сидерации позволяют на протяжении 90 суток поддерживать существенно более высокую целлюлозную активность почвы.

Положительную сильную связь между биологической активностью ( $y$ ) и массой поступающих в почву растительных остатков подтвердили и результаты статистической обработки:  $r = 0,728$  ( $n = 12$ ;  $Sr = 0,217$ ;  $t_r = 3,35$ ;  $t_{05} = 2,23$ ;  $r^2 = 0,5304$ ) для первых 45 суток и  $r = 0,803$  ( $n = 12$ ;  $Sr = 0,188$ ;  $t_r = 4,27$ ;  $t_{05} = 2,23$ ;  $r^2 = 0,6441$ ) – для 90 суток. Уравнения зависимости рассматриваемых показателей указаны на рисунке 39.

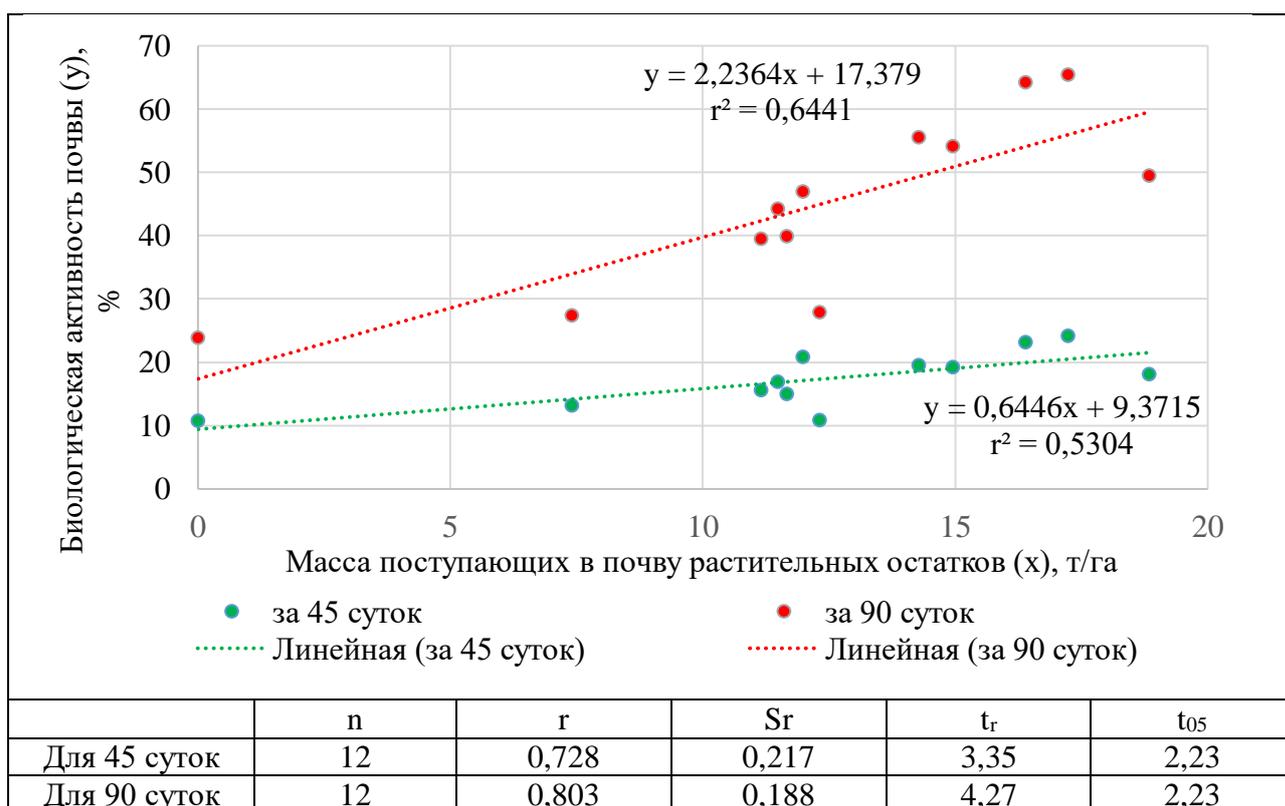


Рисунок 39 – Результаты корреляционно-регрессионного анализа зависимости биологической активности почвы от массы поступающих в почву растительных остатков

Установлена прямая средней силы зависимость биологической активности почвы ( $y$ ) и от массы растительных остатков ( $x$ ), содержащихся в слое почвы 0–30 см:  $y = 7,3227x - 15,229$  ( $r = 0,624$ ;  $n = 18$ ;  $Sr = 0,195$ ;  $t_r = 3,20$ ;  $t_{05} = 2,12$ ;  $r^2 = 0,3899$ ).

Статистически достоверна зависимость микробиологической активности почвы от численности отдельных групп микроорганизмов. Интенсивность рас-

пада льняного полотна повышалась при увеличении численности в почве целлюлозоразлагающих микроорганизмов ( $r = 0,444$ ;  $n = 36$ ;  $Sr = 0,154$ ;  $t_r = 2,88$ ;  $t_{05} = 2,04$ ;  $r^2 = 0,1970$ ), аммонифицирующих микроорганизмов ( $r = 0,721$ ;  $n = 18$ ;  $Sr = 0,173$ ;  $t_r = 4,17$ ;  $t_{05} = 2,12$ ;  $r^2 = 0,5199$ ) и микроорганизмов, усваивающих минеральный азот ( $r = 0,844$ ;  $n = 18$ ;  $Sr = 0,134$ ;  $t_r = 6,30$ ;  $t_{05} = 2,12$ ;  $r^2 = 0,7120$ ).

Существенное увеличение распада льняного полотна обеспечила замена вспашки плоскорезным рыхлением: в слоях почвы 0-10 см – на 4,6...8,6 абс.%, 10-20 см – на 3,6 ... 9,5 абс.%, что в 1,28 ... 1,26 раза ускорило разложение в слое 0-30 см (таблица 46).

Таблица 46 – Биологическая активность почвы в зависимости от приемов основной обработки (слой почвы 0-30 см, 2014-2016 гг., опыт 1)

Приемы основной обработки почвы (В)	Слой почвы (С), см	Биологическая активность (%) за...	
		45 суток	90 суток
Вспашка	0-10	14,2	34,9
	10-20	12,6	30,8
	20-30	10,6	27,0
	0-30	12,5	30,9
Дисковая обработка	0-10	18,1	41,6
	10-20	16,3	38,2
	20-30	11,3	30,8
	0-30	15,2	36,9
Плоскорезная обработка	0-10	18,8	43,5
	10-20	16,2	40,3
	20-30	12,9	33,4
	0-30	16,0	39,1
НСР <sub>05</sub>			
Фактор В		0,96 (значимо)	2,44 (значимо)
Фактор С		0,96 (значимо)	2,44 (значимо)
Факторов В+С		1,66 (значимо)	4,23 (не значимо)
Для слоя 0-30 см		3,34 (значимо)	8,14 (значимо)

Данные результаты на варианте плоскорезного рыхления мы связываем с более высокой обеспеченностью почвы доступной влагой в рассматриваемый пе-

риод. Проведение дисковой обработки под пропашную культуру не оказало достоверного влияния на рассматриваемый показатель биологической активности почвы, хотя тенденция к увеличению интенсивности распада льняного полотна просматривается четкая. Возможно, это было связано с тем, что при проведении дискования запасы доступной влаги в 30-сантиметровом слое почвы несколько превышали показатели по вспашке, но при этом были меньше, чем при плоскорезной обработке.

Влияние обработки почвы на активность почвенных микроорганизмов выражается в дифференциации слоя почвы 0-30 см. Во все сроки наблюдений по всем изучаемым приемам обработки слой почвы 20-30 см был существенно слабее по биологической активности слоя 0-10 см.

В первые 45 суток при отвальной обработке на глубину 20-22 см существенные различия в интенсивности разложения льняного полотна отмечаются между слоями 10-20 и 20-30 см, слой 0-20 см характеризуется равномерной активностью почвенной биоты. В последующие 45 суток дифференциация между слоями сглаживается.

В отличие от вспашки при безотвальных обработках весь 30-сантиметровый слой почвы по биологической активности является гетерогенным. Причем более выраженная неоднородность в интенсивности распада льняного полотна в слое 0-20 см отмечена при плоскорезной обработке, тогда как различия между слоем 0-10 (а также 10-20) и слоем 20-30 см более существенны при дисковой. Во второй период наблюдений значимость влияния безотвальных обработок почвы на актуальную биологическую активность снизилась и проявлялась только в существенно более низком показателе в слое почвы 20-30 см.

Различные приемы обработки почвы характеризуются неоднозначным влиянием на степень разложения льняного полотна по слоям почвы. Учитывая общую для слоя 0-30 см интенсивность распада, отметим следующее: слой почвы 0-10 см характеризуется наибольшей биологической активностью (39,2-39,6% от общего объема) при безотвальных обработках почвы, что связано с более высоким содержанием в этом слое энергетического материала для почвенной

биоты. Наиболее высокая активность почвенных микроорганизмов в слое 20-30 см (28,3% от общего объема) характерна для отвальной обработки, что связано с улучшением аэрации почвы и поступлением в этот слой растительных остатков при заделке их в почву.

Интересна зависимость интенсивности распада льняного полотна по слоям почвы от обработки во второй период наблюдения (с 45-х до 90-е сутки), когда отмечается уменьшение запасов влаги в верхних слоях почвы. По отношению к первому этапу произошло снижение активности почвенных микроорганизмов в слое 0-20 см и ее повышение в слое 20-30 см. При этом для дисковой обработки характерно не только наибольшее уменьшение активности в верхних слоях почвы (8,6% в слое почвы 0-10 см и 5,6% в слое 10-20 см), но и более высокое по сравнению с другими вариантами ее увеличение в слое почвы 20-30 см (на 21,5%). По фону плоскорезной обработки почвы активность почвенных микроорганизмов во второй период исследования снизилась только в слое почвы 0-10 см (на 9,2%), в слоях же 10-20 и 20-30 см она увеличилась соответственно на 2,9 и 10,0%. При отвальной обработке почвы изменения показателя более выравненные: -1,6% для слоя 0-10 см, -2,4% для слоя 10-20 см и +4,6% для слоя 20-30 см, что говорит о более устойчивой актуальной биологической активности почвы.

Таким образом, наиболее благоприятные условия для устойчивой активности микробного сообщества, отсутствие гетерогенности слоя почвы 0-30 см отмечаются при отвальной обработке почвы на глубину 20-22 см. Расширение зоны деятельности и активизация микроорганизмов по всему 30-сантиметровому слою почвы при вспашке связаны с усилением аэрации нижних слоев и поступления в них энергетического материала в виде растительных остатков.

Существенное влияние на дифференциацию 30-сантиметрового слоя почвы по актуальной биологической активности оказывают и приемы биологизации. Заделка на глубину 10-12 см соломы ячменя, а также сидеральной массы редьки масличной на первой стадии наблюдения сопровождалась существенным увеличением активности почвенных микроорганизмов в слое 0-20 см по сравнению с нижележащим слоем. По мере развития бобовых трав в паровых полях

было отмечено повышение активности верхнего, наиболее обогащенного растительными остатками слоя почвы, что привело к гетерогенности слоя 0-30 см. В поле чистого пара дифференциация отсутствовала, что, по нашему мнению, связано с недостаточным количеством растительных остатков в почве и отсутствием их сосредоточения в одном слое; аналогичную ситуацию мы наблюдали и под посевами следующей культуры – озимой пшеницы.

Зеленая масса произрастающего в паровом поле донника желтого была заделана в почву на глубину 10-12 см при помощи дисковых орудий. Данная операция обеспечила равномерное распределение растительной массы, что положительно отразилось на биологической активности слоя почвы 0-20 см: разница между слоями выровнялась. Слой 20-30 см по-прежнему характеризовался существенно меньшей активностью почвенной биоты. Аналогичная ситуация отмечалась и под бинарными посевами озимой пшеницы с люцерной синей: обогащенный растительными остатками верхний слой почвы (0-20 см) способствовал активизации деятельности почвенных микроорганизмов и резкому ее снижению в более бедном органическим веществом слое (20-30 см).

Дифференциация почвы между слоями 0-20 и 20-30 см отмечалась и под посевами ячменя, что также было связано со сосредоточением основной массы растительных остатков предшествующих культур в верхнем 20-сантиметровом слое.

Таким образом, применяемые в рассматриваемых севооборотах приемы биологизации сопровождались формированием неоднородного по интенсивности разложения льняного полотна слоя почвы 0-30 см только в паровых полях и под посевами озимой пшеницы, что на фоне общего благоприятного их влияния на активность почвенных микроорганизмов не является негативным явлением.

### 3.3.5. Содержание и динамика органического вещества

Важнейшей составной частью почвы является органическое вещество, выполняющее ключевую роль в формировании почвенного плодородия, в обеспечении энергией и питательными веществами почвенной биоты [328]. Оно регулирует питательный режим почвы, ее буферность, водно-физические свойства, поглонительную способность, оказывает большое влияние на формирование агрономически ценной, водопрочной и пористой структуры, обеспечивает снижение последствий химического загрязнения почв и повышение устойчивости земледелия при неблагоприятных погодных условиях [328, 438].

Органическое вещество почвы представляет собой сложный комплекс, основными частями которого являются соединения индивидуальной природы (детрит) и специфические гумусовые соединения [197].

Органическое вещество индивидуальной неспецифической природы образуется в результате трансформации остатков растительного и животного происхождения и поступления в почву продуктов метаболизма различных организмов, составляя 10-15% органического вещества почвы.

Детрит является лабильной и легко трансформируемой фракцией, не имеющей прочной связи с минеральной частью почвы и поэтому являющейся основным «источником элементов питания, энергетического материала и физиологически активных веществ» [114, 328]. Лабильное органическое вещество, благодаря содержанию в своем составе белков, углеводов, спиртов, эфиров, смол, органических кислот, в значительной степени обуславливает степень подвижности элементов питания, динамику биохимических и физико-химических почвенных процессов, таких, например, как направленность и интенсивность окислительно-восстановительных реакций, способствует формированию агрономически ценной структуры, обеспечивает внесение значительного вклада в формирование эффективного плодородия почвы, оказывая существенное влияние на количество сформированной стабильной части органического вещества [160, 184, 280].

Представленный на рисунке 40 графический материал наглядно демонстрирует положительное влияние пожнивной сидерации и бобовых трав на содержание в почвах изучаемых севооборотов лабильного органического вещества, которое выражается в существенном превышении его показателя над контрольными значениями. При этом положительный эффект проявляется не только в целом по севообороту, но и под его отдельными культурами (приложение Щ-Я, 1-5).

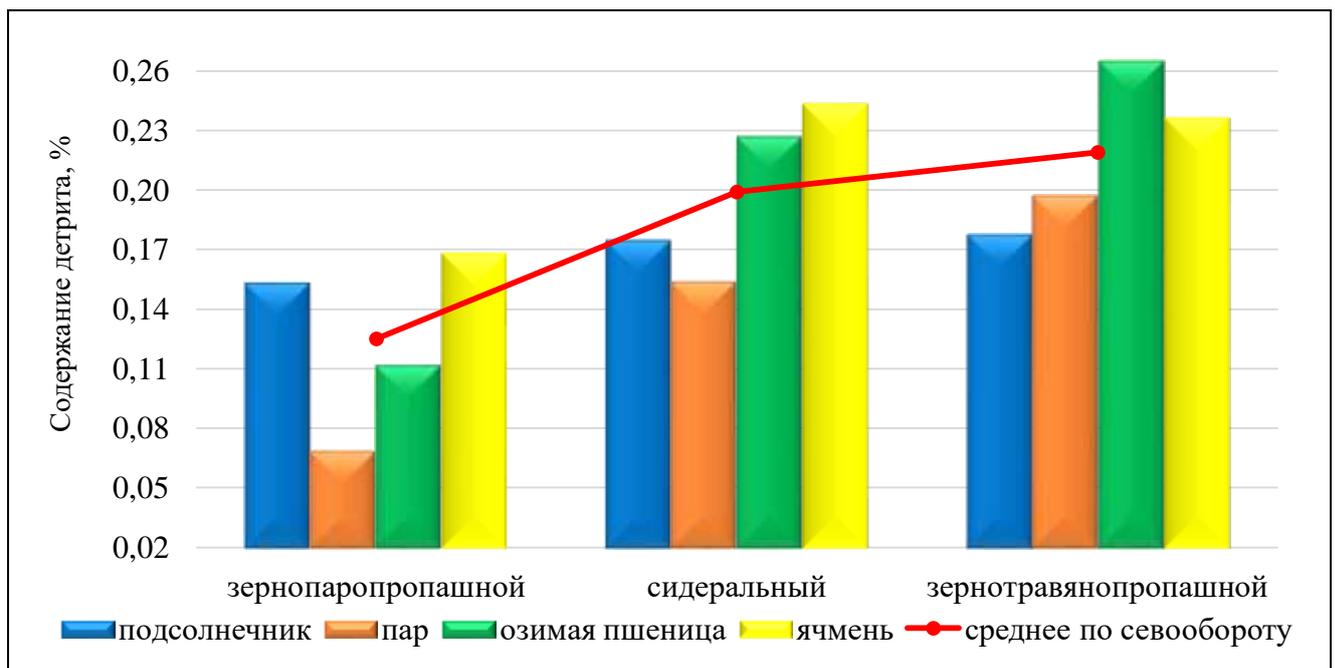


Рисунок 40 – Содержание детрита под культурами различных видов севооборотов (среднее за вегетацию, слой почвы 0-30 см, 2011-2016 гг., опыт 1)

Зависимость содержания в почве детрита от изучаемых приемов биологизации отмечается и в течение вегетационного периода возделываемых в севооборотах культур, проявляясь в его положительной динамике (рисунок 41), изучение которой является необходимым условием для эффективного управления плодородием почвы и повышения продуктивности агроэкосистем.

Уже в первый год применения приемов биологизации (пожнивная сидерация и бобовые травы в качестве бинарных компонентов) отмечается существенное увеличение содержания детрита в почве под посевами подсолнечника (на 19,5-24,7%), что обеспечило превышение среднего за вегетацию содержания детрита в почве над показателями контроля на 0,025 абс.% (или на 15,7%).

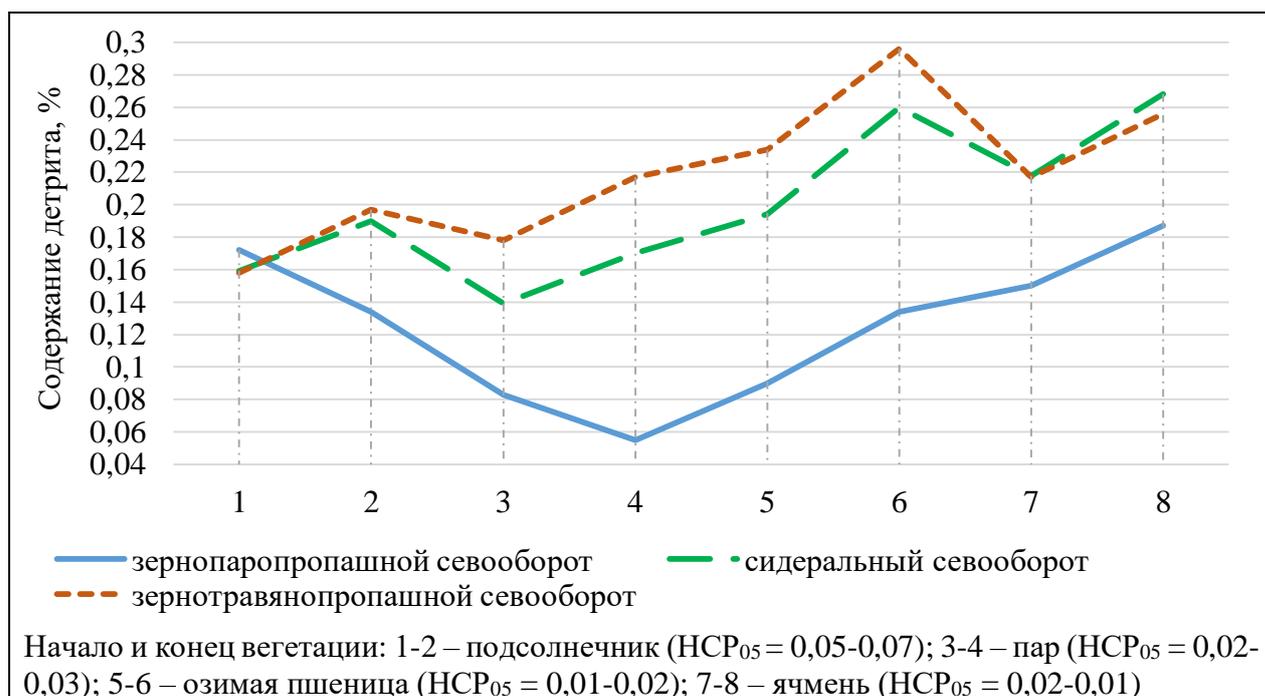


Рисунок 41 – Динамика детрита в почве под культурами различных видов севооборотов (слой почвы 0-30 см, 2011-2016 гг., опыт 1)

Дальнейшее использование донника желтого в качестве парозанимающей сидеральной культуры позволило не только восполнить сократившиеся за вневегетационный период запасы детрита в почве, но и повысить их к посеву озимой пшеницы на 22,3%. Однако среднее за вегетацию содержание лабильного органического вещества в почве сидерального пара было наименьшим в севообороте, что связано, по нашему мнению, с интенсивными процессами разложения детрита в течении вневегетационного периода.

Под посевами же занятого пара (люцерна синяя), несмотря на незначительное сокращение запасов детрита в почве в осенне-весенний период и чуть меньшую прибавку за лето (21,9%), среднее за вегетацию содержание данной фракции было выше, чем под предшествующей культурой, на 11,3%.

Действие произрастающей люцерны синей и последствие сидерального донника желтого и в дальнейшем выразилось повышением содержания детрита в почве, в результате чего в среднем за вегетационный период озимой культуры значение данного показателя существенно превышало (в 2-2,4 раза) показатели

контроля. При этом под бинарными посевами к полной спелости озимой пшеницы содержание лабильного органического вещества было на 13,8% выше, чем под посевами зерновой культуры, размещенной по сидеральному пару. Увеличение содержания детрита под культурами сплошного сева к концу вегетационного периода обусловлено поступлением прижизненного энергетического материала, представленного мелкими отмершими частями корневых систем и корневыми выделениями [280].

Тем не менее, к фазе всходов ячменя содержание детрита в почве биологизированных севооборотов выравнилось, а к его полной спелости преимущественно оказалось на стороне сидерального севооборота.

На варианте зернопаропропашного севооборота наблюдается сокращение запасов детрита в почве как под посевами подсолнечника (на 32%), так и в поле чистого пара (на 33,7%), что связано не только с недостаточным поступлением в почву растительных остатков на фоне низких темпов разложения высокоуглеродистой растительной массы, но и с интенсивно протекающими процессами минерализации органического вещества под влиянием проводимых агротехнических мероприятий (междурядные культивации подсолнечника и сплошные обработки чистого пара). В результате к посеву озимой пшеницы на данном варианте запасы детрита в почве были минимальны и составили 0,055%. В дальнейшем по мере разложения растительных остатков предшествующих лет содержание детрита в почве постепенно увеличивалось, но всегда оставалось существенно ниже, чем в биологизированных севооборотах.

Резкое снижение содержания в почве детрита, которое наблюдалось в зернопаропропашном севообороте, это не только утрата непосредственного источника образования устойчивых гумусовых веществ, но и нарушение сезонного ритма гумусообразования, а также риск развития физической деградации почв [118].

Таким образом, наиболее выраженный положительный эффект влияния приемов биологизации на содержание детрита в почве наблюдался в зернопаропропашном севообороте.

Содержание детрита ( $y$ ) в почве имеет сильную прямую зависимость (рисунок 42) от массы растительных остатков в почве ( $x_1$ ,  $r = 0,888$ ;  $n = 18$ ;  $Sr = 0,115$ ;  $t_r = 7,72$ ;  $t_{05} = 2,06$ ;  $r^2 = 0,7624$ ), от биологической активности почвы ( $x_2$ ,  $r = 0,660$ ;  $n = 18$ ;  $Sr = 0,188$ ;  $t_r = 3,51$ ;  $t_{05} = 2,12$ ;  $r^2 = 0,4356$ ), а также от массы поступающих в почву растительных остатков ( $r = 0,552$ ;  $n = 14$ ;  $Sr = 0,241$ ;  $t_r = 2,29$ ;  $t_{05} = 2,15$ ;  $r^2 = 0,3047$ ).

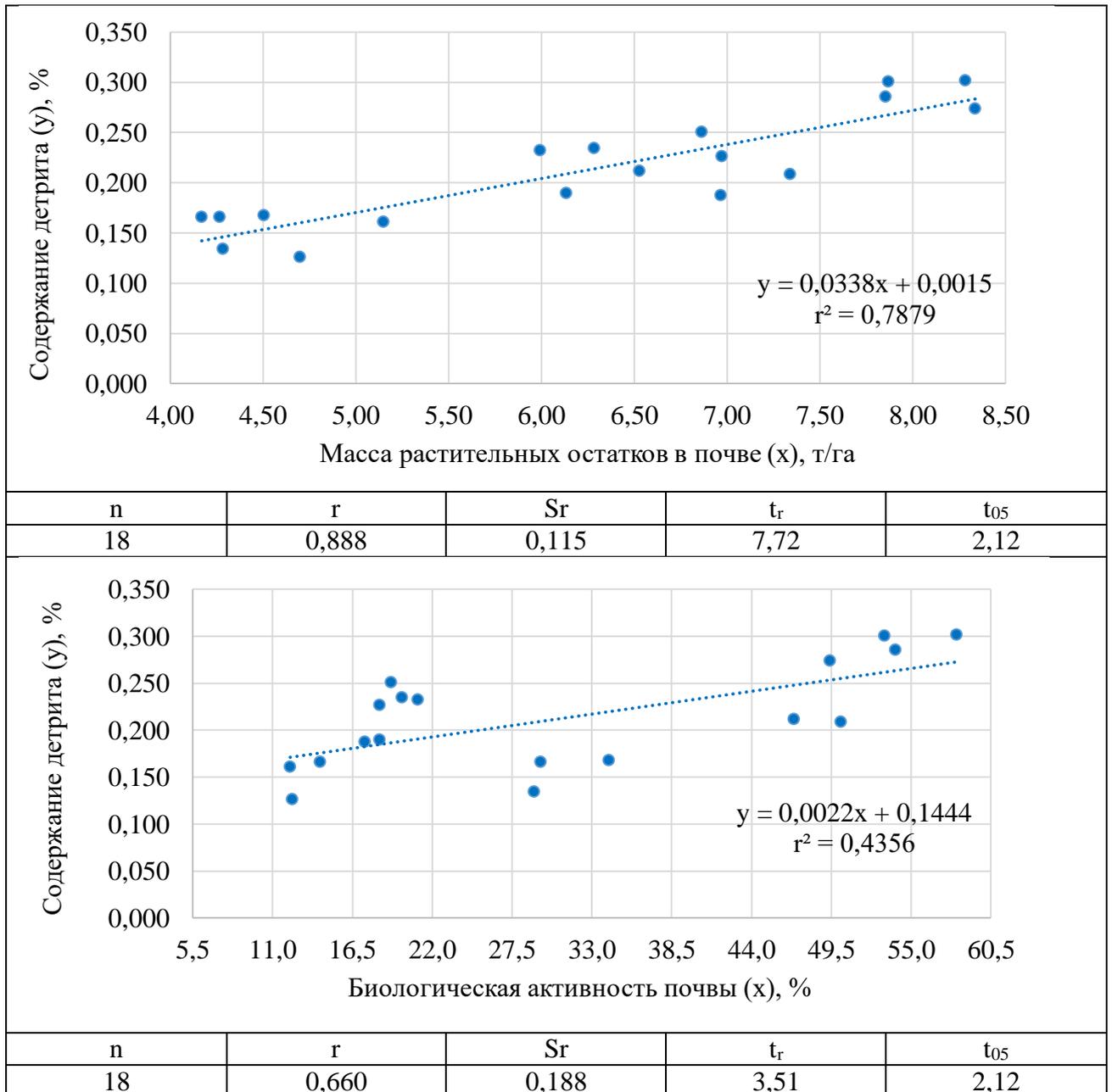


Рисунок 42 – Результаты корреляционно-регрессионного анализа зависимости содержания детрита в слое почвы 0-30 см от массы растительных остатков и биологической активности почвы

Множественная корреляционная зависимость массы детрита от массы растительных остатков в почве и биологической активности описывается уравнением  $y = 0,000541099x_1 + 0,002988081x_2 + 0,009160874$ .

Проведение в качестве основной обработки почвы плоскорезной не оказало достоверного влияния на содержание в 30-сантиметровом слое почвы лабильного органического вещества, тогда как по фону дискования (глубина 10-12 см) содержание детрита в почве было значительно меньше, чем на других вариантах (приложение 4-6).

Влияние приемов основной обработки проявилось и в дифференциации пахотного слоя почвы по содержанию детрита. На всех изучаемых вариантах слой почвы 20-30 см беднее выше расположенных, что ожидаемо, т.к. данный слой практически не подвергается воздействию рабочих органов почвообрабатывающих орудий, а значит поступление в данный слой растительных остатков минимально, и источником детрита являются в основном корневые системы растений (рисунок 43).

Существенных различий в содержании детрита в слоях 0-10 и 10-20 см не выявлено. Данное наблюдение характерно как для фазы всходов подсолнечника, так и для его полной спелости (приложения 7-10).

Окончание вегетации масличной культуры характеризовалось увеличением гетерогенности 30-сантиметрового слоя почвы. Если в фазе всходов снижение содержания детрита в слое почвы 20-30 см по сравнению со слоем 10-20 см по изучаемым приемам обработки почвы было одинаковым (27,3-27,4%), то в фазе полной спелости установлено более выраженное снижение данного показателя при проведении безотвальных приемов: на 29,1% при обработке плоскорезным орудием и на 32,5% при проведении дискования, тогда как по фону вспашки оно составило 25,0%.

Таким образом, при проведении отвальной обработки почвы под подсолнечник отмечается тенденция формирования более выравненного по содержанию детрита слоя почвы 0-30 см.

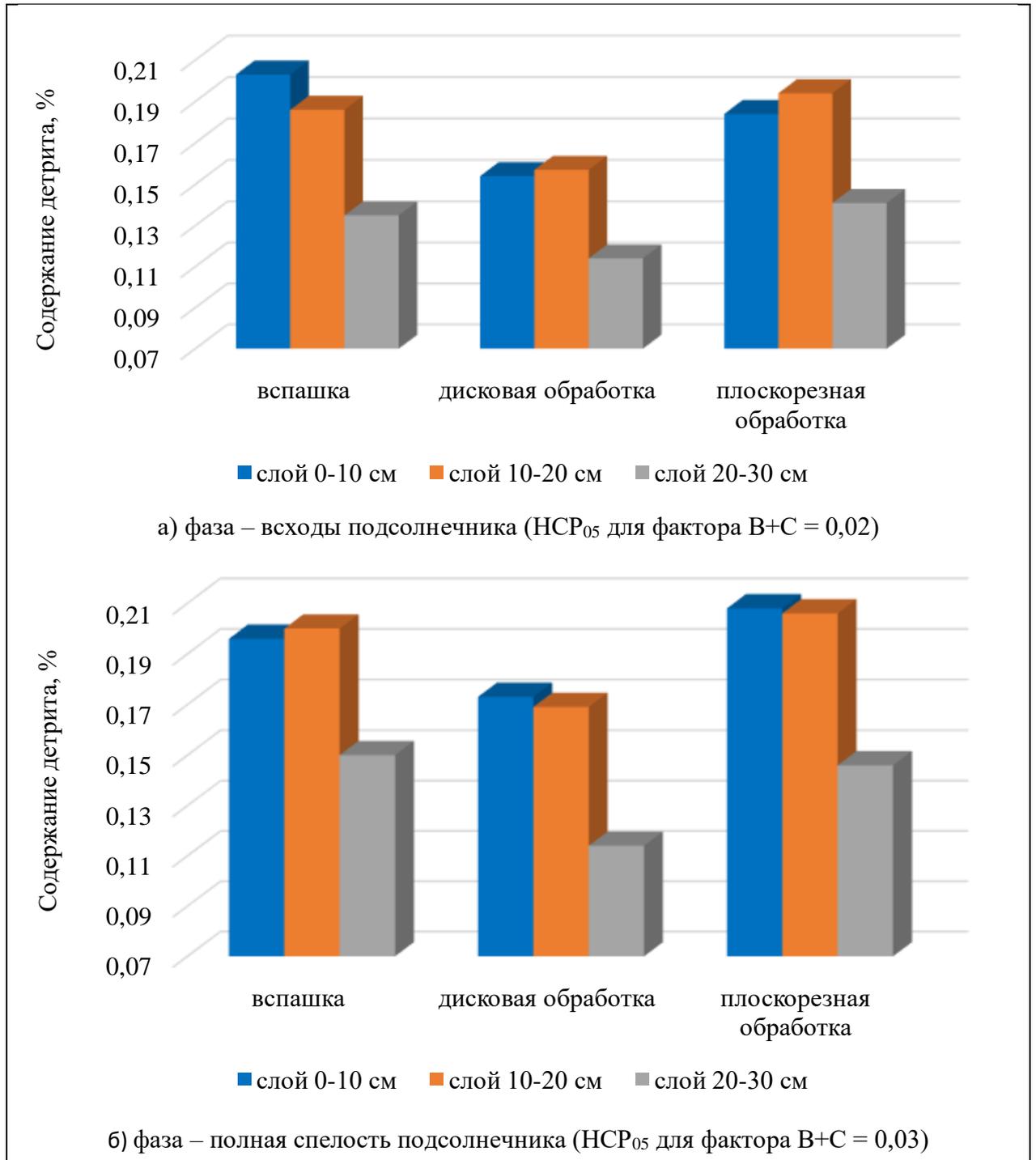


Рисунок 43 – Содержание детрита в различных слоях почвы (С) в зависимости от приемов основной обработки почвы (В) под подсолнечник (2011-2016 гг., опыт 1)

Ценность детрита определяется не только его массой, но и химическим составом, существенно влияющим на темпы дальнейшего разложения. Как в отдельные периоды вегетации, так и в среднем за вегетационный период, как под

отдельными культурами, так и в целом по севообороту детрит в почве биологизированных севооборотов характеризовался более качественным составом, выражающимся в узком соотношении углерода к азоту (приложения 9-10, таблица 47).

Таблица 47 – Химический состав детрита в почве под культурами различных видов севооборотов (среднее за вегетацию, 2014-2016 гг., опыт 1) [113]

Вид севооборота	Культура	Содержание, %		C:N
		С	N	
Зернопаропропашной	пар	26,1	0,63	41,4
	оз. пшеница	27,8	0,66	42,1
	ячмень	29,7	0,81	36,7
	подсолнечник	24,9	0,68	36,6
	в среднем	27,1	0,69	39,3
Сидеральный	пар	23,3	1,54	15,1
	оз. пшеница	24,5	1,52	16,1
	ячмень	25,8	1,44	17,9
	подсолнечник	25,6	1,57	16,3
	в среднем	24,8	1,51	16,4
Зернотравянопропашной	пар	32,1	1,68	19,1
	оз. пшеница	25,0	1,64	15,2
	ячмень	33,5	1,63	20,6
	подсолнечник	28,1	1,77	15,9
	в среднем	29,7	1,68	17,7
НСР <sub>05</sub>	пар	1,96	0,05	1,86
	оз. пшеница	2,36	0,03	1,06
	ячмень	1,67	0,09	7,13
	подсолнечник	1,11	0,10	2,95

Как мы уже отмечали (подраздел 3.3.2.), растительные остатки возделываемых в зернопаропропашном севообороте культур характеризуются как высокоуглеродосодержащие, с низкими темпами разложения, что и определило широкое соотношение углерода к азоту в составе детрита – в среднем по севообороту 39,3.

В биологизированных севооборотах качественный состав детрита, выражающийся в соотношении C:N, в разы лучше: в 2,4 раза – в сидеральном севообороте и в 2,2 раза – в зернотравянопропашном, что связано с поступлением в почву смеси растительных остатков различного состава.

В течение вегетационного периода во всех полях севооборотов отмечается увеличение доли углерода и снижение доли азота в составе детрита (приложение 10), что вызывает расширение соотношения этих двух элементов. Наиболее выраженное расширение характерно для зернопаропропашного севооборота (приложение 9).

Трансформация органического вещества почвы выражается в одновременном протекании двух противоположно направленных процессов – минерализации и гумификации. При этом процессам минерализации подвергается 70-80% поступившей в почву массы, а гумификации – оставшиеся 20-30%. Результатом разложения и гумификации органических остатков и продуктов жизнедеятельности живых организмов является образование сложного динамического комплекса органических соединений, называемого гумусом, который в общей массе органического вещества почвы составляет 85-90% [118].

Вопросам изучения трансформации органического вещества в процессе сельскохозяйственного использования почв уделяли внимание многие исследователи [22, 95, 117, 192, 193, 197, 256, 275, 328, 395]. Детальное изучение его содержания, состава и свойств показало, что гумус – основной источник плодородия почвы, уникальное, совершенное почвенное органо-минеральное новообразование, в огромной степени определяющее устойчивость земледелия.

Гумус является основным источником энергии для жизнедеятельности микроорганизмов и протекания различных реакций, потенциальным источником основных питательных веществ, важнейшим фактором образования прочной структуры почвы. От его содержания зависят влагоудерживающая и поглощательная способность почвы, ее буферность, основные режимы почвы. Рост запасов гумуса в почве обеспечивает повышение ее биологической активности, оказывает благоприятное стимулирующее воздействие на рост и развитие растений [146, 165, 322, 438].

Несмотря на то, что гумус относится к группе консервативных, устойчивых веществ, он также подвергается процессам минерализации, хотя стоит отметить, что ее темпы выражены значительно слабее [146]. Таким образом, гумус

представляет собой относительно динамичную составную часть почвы, подвергающуюся количественным и качественным изменениям под влиянием целого ряда факторов, среди которых ведущим является хозяйственная деятельность человека. При этом динамичность гумуса проявляется как в пространстве, так и во времени.

В ходе проведенных исследований было установлено, что существенное влияние на запасы гумуса в почве оказал вид севооборота и проводимые в нем агротехнические мероприятия.

На момент закладки опыта (2010 год) все поля опытного участка характеризовались содержанием гумуса 5,6-5,7% и не имели существенных отклонений друг от друга (рисунок 44, приложения 11-12). Условно их можно охарактеризовать как среднегумусные. Однако наибольший интерес представляют не столько значения содержания гумуса, сколько значения, указывающие на изменение содержания органического вещества в почве в течение определенного периода времени.

За первые три года возделывания культур в изучаемых севооборотах была отмечена положительная динамика в содержании гумуса в почве под биологизированными севооборотами (+0,1 абс.%) и отрицательная – под зернопаропропашным севооборотом (-0,1 абс.%). Но различия в содержании гумуса в почве оставались несущественными (приложения 11, 13).

Тенденция увеличения запасов гумуса в почве в последующие 3 года сохранилась под зернотравянопропашным севооборотом, в результате чего на данном варианте к концу периода исследований содержание гумуса в почве составило 5,8%, что существенно превысило значения зернопаропропашного севооборота (5,3%) (приложения 11, 14). На данном варианте отмечается наибольшая прирост запасов гумуса за 6 лет – 3,6% (или 0,2 абс.%), что связано со сравнительно большей насыщенностью севооборота многолетней бобовой травой (размещение в совместных посевах с подсолнечником и озимой пшеницей, а также в качестве парозанимающей культуры).

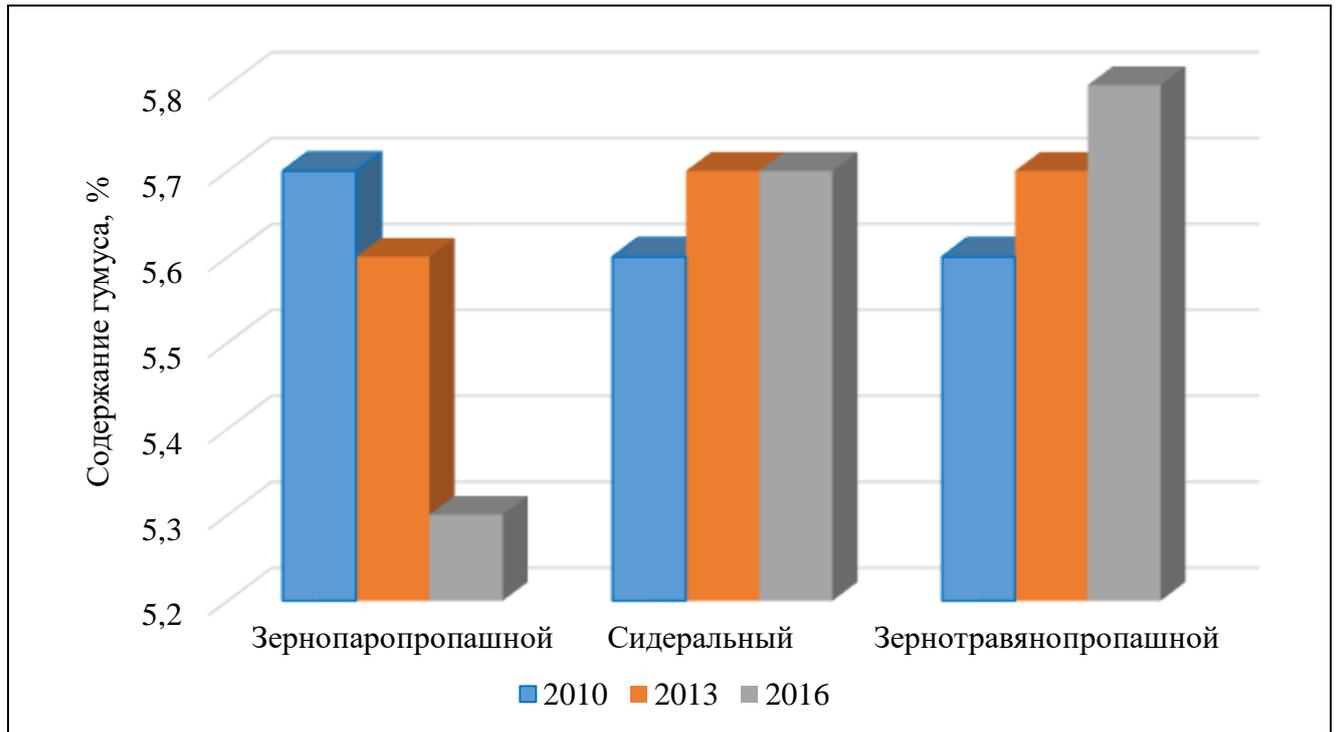


Рисунок 44 – Содержание гумуса в слое почвы 0-30 см в зависимости от вида севооборота (НСР<sub>05</sub> для 2010 г. – 0,33 (не значимо), для 2013 г. – 0,22 (не значимо), для 2016 г. – 0,10 (значимо), опыт 1)

Содержание гумуса в почве сидерального севооборота за период 2013-2016 гг. осталось без изменений и составило 5,7%, что также существенно превышало значения контроля. В целом за период исследований запасы гумуса в почве увеличились на 1,8% (или на 0,1 абс.%). При этом в биологический круговорот органического вещества была включена как корневая, так и полностью вся надземная масса сидеральных растений.

Практически двукратно меньший прирост запасов гумуса под сидеральным севооборотом по сравнению с зернотравянопропашным связан с тем, что бобовая трава (донник желтый) занимает в севообороте в два раза меньший период: в бинарном посеве с подсолнечником и половину вегетационного периода в паровом поле.

Увеличение содержания гумуса в почве биологизированных севооборотов является следствием ежегодного формирования под культурами положительного баланса гумуса, обусловленного увеличением количества поступающих в

почву растительных остатков за счет применения многолетних трав и сидеральных культур и проведением агротехнических мероприятий, направленных на снижение темпов минерализации органического вещества почвы.

За этот же период на варианте зернопаропропашного севооборота запасы гумуса продолжали сокращаться; к концу 2016 года снижение данного показателя составило 0,3% в абсолютном исчислении. Таким образом, потери гумуса за 2010-2016 гг. составили 7%. Основной причиной стало превышение темпов минерализации гумуса над процессами гумификации, что было связано с несколькими факторами: существенно меньшей поступающей в почву биомассой растений, отсутствием внесения органических удобрений, отсутствием доли многолетних трав, проведением интенсивных обработок почвы при уходе за чистым паром и связанным с этим повышением аэрации почвы. Кроме того, отрицательную роль сыграла высокая биогенность пахотного слоя почвы, в результате которой на фоне недостатка в почве энергетического материала микроорганизмы в качестве его источника использовали гумус, что привело к снижению его содержания.

Наши выводы подтверждают результаты проведенного корреляционно-регрессионного анализа (таблица 48).

Содержание гумуса в почве находится в тесной прямой зависимости от массы поступающих в почву растительных остатков ( $r = 0,692$ ;  $n = 12$ ;  $S_r = 0,228$ ;  $t_r = 3,04$ ;  $t_{05} = 2,23$ ;  $r^2 = 0,4789$ ), от их содержания в почве ( $r = 0,657$ ;  $n = 12$ ;  $S_r = 0,238$ ;  $t_r = 2,76$ ;  $t_{05} = 2,23$ ;  $r^2 = 0,4321$ ), от биологической активности почвы ( $r = 0,770$ ;  $n = 12$ ;  $S_r = 0,202$ ;  $t_r = 3,81$ ;  $t_{05} = 2,23$ ;  $r^2 = 0,5925$ ), от содержания в почве детрита ( $r = 0,768$ ;  $n = 12$ ;  $S_r = 0,202$ ;  $t_r = 3,80$ ;  $t_{05} = 2,23$ ;  $r^2 = 0,59$ ), от структуры почвы, обеспечивающей оптимальные условия для протекания биологических процессов ( $r = 0,840$ ;  $n = 12$ ;  $S_r = 0,171$ ;  $t_r = 4,91$ ;  $t_{05} = 2,23$ ;  $r^2 = 0,7058$ ). Отмечена прямая сильная связь между содержанием гумуса в почве и коэффициентом трансформации:  $r = 0,757$  ( $n = 12$ ;  $S_r = 0,207$ ;  $t_r = 3,66$ ;  $t_{05} = 2,23$ ;  $r^2 = 0,5733$ ). Установлено, что повышение коэффициента минерализации приводит к снижению содержания гумуса в почве, что подтверждает коэффициент корреляции  $r = -0,752$  ( $n = 12$ ;  $S_r = 0,208$ ;  $t_r = 3,61$ ;  $t_{05} = 2,23$ ;  $r^2 = 0,5655$ ).

Таблица 48 – 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	$y = -0,8098x + 6,7503$

Изображенная на рисунке 45 3D-модель демонстрирует зависимость содержания гумуса ( $y$ ) в 30-сантиметровом слое почвы от массы растительных остатков ( $x_2$ ) и коэффициента их трансформации ( $x_1$ ) в органическое вещество:  $y = 0,105496x_1 + 0,061958x_2 + 4,223917$  ( $R^2=0,8$ ).

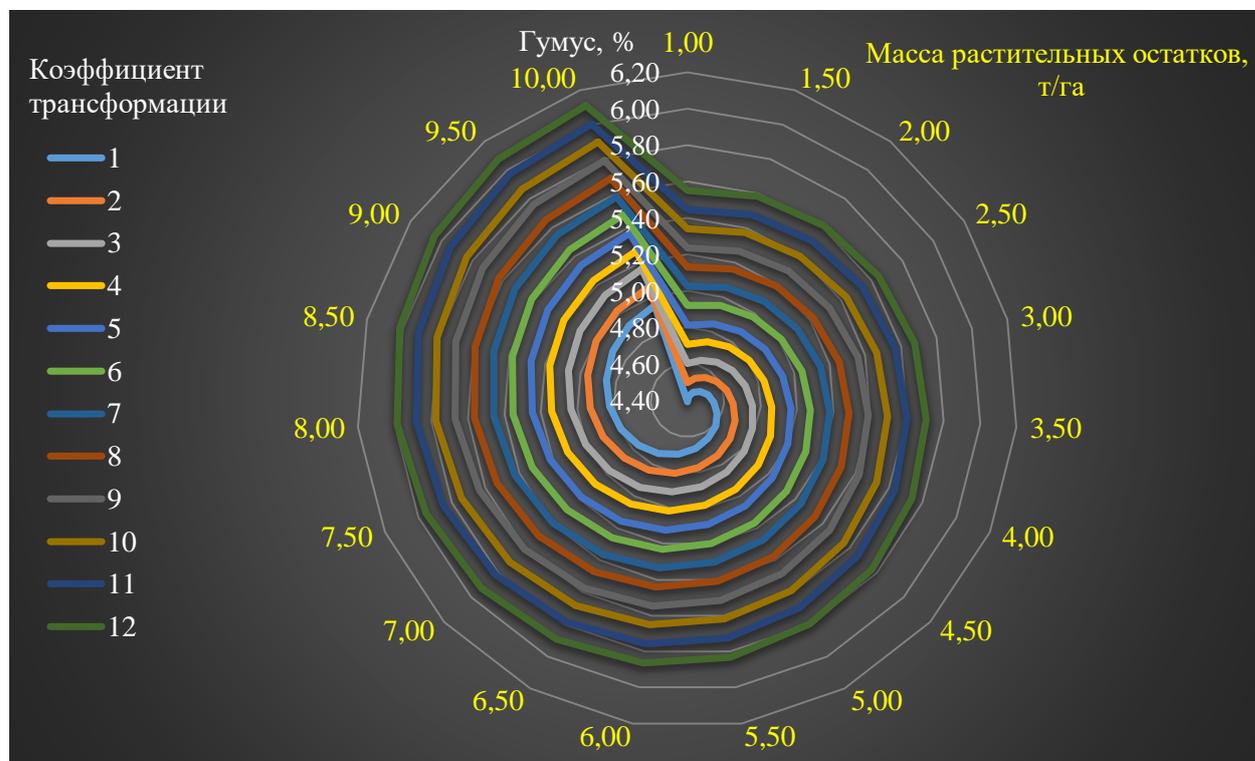


Рисунок 45 – 3D-модель зависимости содержания в почве гумуса от массы растительных остатков и коэффициента трансформации

Условный переход состояния почвы от среднегумусного к высокогумусному возможен при наличии в почве в среднем по севообороту не менее 8,5 т/га растительных остатков и коэффициенте трансформации не менее 12.

Установленные в опытах 4 и 5 различия в темпах разложения растительных остатков культур 4- и 5-польных севооборотов оказали достоверное влияние на содержание гумуса в почве: чем интенсивнее протекали процессы деструкции, тем выше были потери гумуса.

Так, на фоне более высоких темпов разложения 5-польные сидеральные севообороты через 4 года характеризовались снижением содержания гумуса в 30-сантиметровом слое почвы на 0,1 абс.%, тогда как в 4-польных сидеральных севооборотах процессы гумусообразования преобладали над процессами минерализации, что сопровождалось увеличением содержания гумуса в почве к концу рассматриваемого периода на 0,1-0,3 абс.% (таблица 49).

Сравнительно небольшое количество поступающих в почву растительных остатков на фоне интенсивной минерализации в полях чистого пара и под пропашными культурами зернопаропропашного севооборота (независимо от степени насыщенности) привело к стабильному снижению содержания гумуса в 30-сантиметровом слое почвы (на 0,2-0,4 абс.%). Введение в севооборот люцерны синей и использование ее в течение трех лет на полях зернотравянопропашного севооборота 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.

Стоит отметить, что в 4- и 5-польных севооборотах существенно более высокое (соответственно на 0,075 и 0,05 абс.% при  $НСР_{05}$  для фактора  $B = 0,04$ ) исходное содержание гумуса в 30-сантиметровом слое почвы было характерно для вариантов с проведением вспашки. Так как в течение периода с 2009 по 2012 год процессы гумусообразования по фону безотвального способа обработки почвы протекали интенсивнее, на конец исследования различия между вариантами сгладились, достигнув нулевых (4-польный севооборот) или несущественных (5-польный севооборот) отклонений.

Таблица 49 – Содержание гумуса в слое почвы 0-30 см в зависимости от видов севооборота и способов основной обработки почвы (опыты 4 и 5) [122]

Виды севооборота (А)	Способы обработки почвы (В)	Опыт 3 (4-польный севооборот)			Опыт 4 (5-польный севооборот)		
		Содержание гумуса по годам, %					
		2009	2012	+/-	2009	2012	+/-
ЗПП	отвальный	6,7	6,4	- 0,3	6,5	6,1	- 0,4
	безотвальный	6,6	6,3	- 0,3	6,4	6,2	- 0,2
Сд	отвальный	6,7	6,8	+ 0,1	6,5	6,4	- 0,1
	безотвальный	6,6	6,8	+ 0,2	6,5	6,5	0
Сэ	отвальный	6,5	6,7	+ 0,2	6,5	6,4	- 0,1
	безотвальный	6,5	6,8	+ 0,3	6,5	6,4	- 0,1
ЗТП	отвальный	6,6	6,9	+ 0,3	6,6	6,7	+ 0,1
	безотвальный	6,5	6,9	+ 0,4	6,5	6,7	+ 0,2
НСР <sub>05</sub>	частных различий	0,10	0,12		0,10	0,12	
	фактора А	0,05 (значимо)	0,06 (значимо)		0,04 (значимо)	0,05 (значимо)	
	фактора В	0,04 (значимо)	0,05 (не значимо)		0,04 (значимо)	0,06 (не значимо)	

Таким образом, возделывание культур в биологизированных севооборотах сопровождается существенным увеличением содержания в почве детрита, улучшением его качественного состава и обеспечением положительной динамики содержания гумуса в почве, что обеспечивает повышение устойчивости органического вещества черноземных почв.

#### **4. НАУЧНОЕ ОБОСНОВАНИЕ ПРИЕМОВ ПОВЫШЕНИЯ ПЛОДОРОДИЯ ПОЧВЫ И ЕЕ ОБРАБОТКИ ПРИ ВОЗДЕЛЫВАНИИ ПОДСОЛНЕЧНИКА В ЦЕНТРАЛЬНОМ ЧЕРНОЗЕМЬЕ**

По данным Росстата наибольшее распространение из возделываемых в России масличных культур (подсолнечник, соя, рапс, лен-кудряш, горчица, рыжик) имеет подсолнечник: в 2022 году посевные площади культуры в структуре посевных площадей занимали 12,3%, тогда как сои – 4,3, рапса – 2,8, льна-кудряша – 2,5, горчицы и рыжика – 0,3 и 0,1% [56].

Производство подсолнечника в нашей стране, как и других масличных культур, активно развивается. За период с 2017 по 2022 г. посевные площади подсолнечника увеличились с 7994 до 10135,3 тыс. га, т.е. на 26,8%. Средняя по стране урожайность подсолнечника за этот период заметно варьировала: от 1,31 до 1,79 т/га. В 2022 году она составила 1,42 т/га, валовой сбор – 14,486 млн т [55].

Наибольшие площади подсолнечника сосредоточены в Центральном, Южном и Приволжском федеральных округах: валовой сбор маслосемян в среднем за 2020-2022 гг. составил соответственно 3,517 млн т, 3,801 млн т и 4,795 млн т.

В 2022 году в Центральном федеральном округе возделывание подсолнечника осуществлялось на площади 1613,5 тыс.га, при этом 91% (1467,5 тыс.га) посевных площадей был сосредоточен в Центрально-Черноземном регионе, что составляло 14,5% от общей площади посевов подсолнечника в России.

Структура посевных площадей подсолнечника в ЦЧР следующая: Воронежская область – 461 тыс.га (31,4%), Тамбовская область – 402,6 тыс.га (27,4%), Липецкая область – 198,2 тыс.га (13,5%), Белгородская область – 165,3 тыс.га (11,3%), Курская область – 146 тыс.га (10%), Орловская – 94,4 тыс.га (6,4%). При этом более высокая средняя урожайность подсолнечника отмечается в Белгородской (2,97 т/га) и Воронежской (2,71 т/га) областях. Удельный вес ЦЧР в общем производстве маслосемян подсолнечника в России составляет 21,6%, при этом преимущество по объемам имеют Воронежская (7,4%) и Тамбовская (5,1%) области [55, 56].

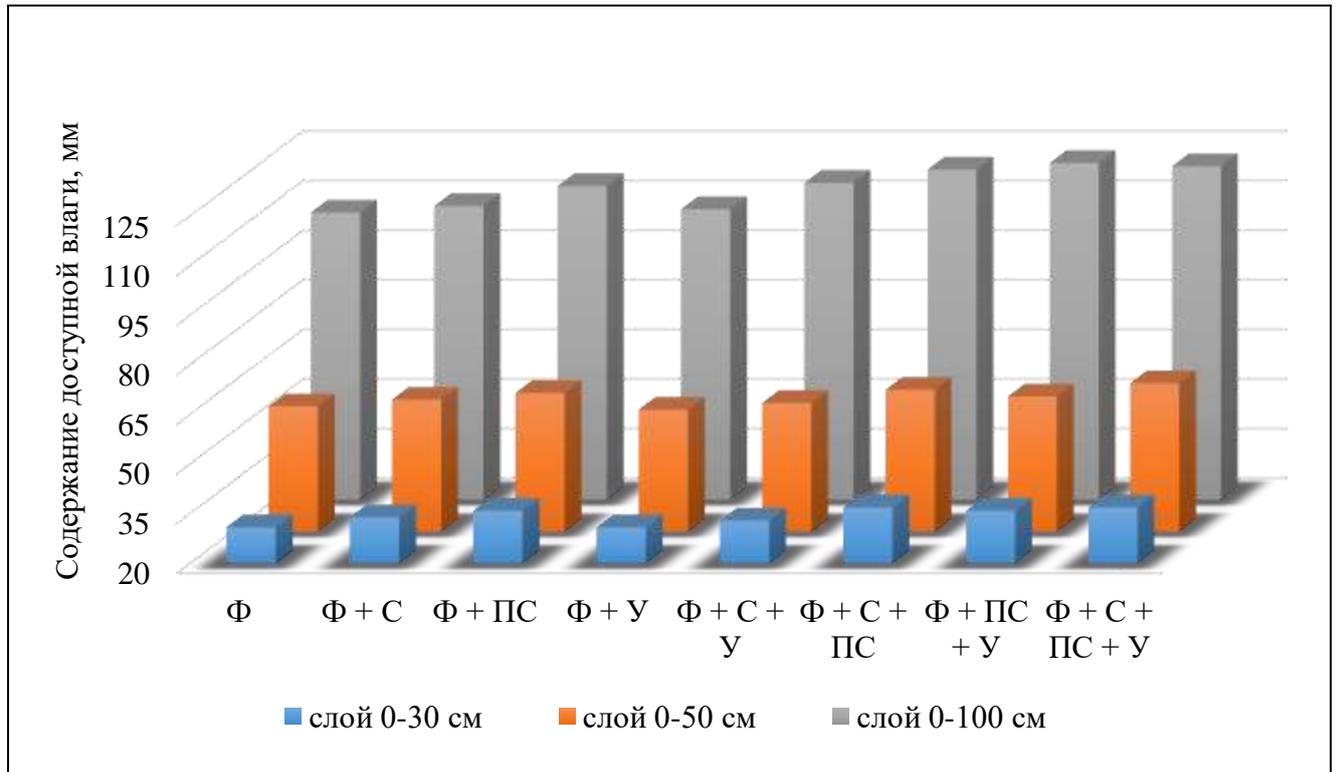
В условиях наращивания объемов производства маслосемян подсолнечника пристальное внимание должно быть уделено сохранению и повышению плодородия почвы на фоне снижения химической нагрузки на агроценоз, в связи с чем были проведены исследования по изучению различных приемов повышения плодородия почвы и ее обработки при возделывания масличной культуры.

#### **4.1. Влажность почвы и ее динамика в течение вегетационного периода**

Несмотря на то, что в силу своих биологических особенностей подсолнечник является культурой засухоустойчивой, уровень его урожайности и качество полученной продукции определяются влагообеспеченностью растений на различных этапах развития. Подсолнечник не имеет специальных приспособлений для экономного расходования влаги, поэтому характеризуется довольно большим ее расходом, затрачивая на образование 1 г сухого вещества в 1,5-2 раза выше воды, чем, например, зерновые культуры. Транспирационный коэффициент подсолнечника – 450-570 [114, 269, 298].

Проведенные в условиях ЦЧР исследования показали, что на содержание влаги в почве под подсолнечником (приложения 15-17) оказывали влияние все изучаемые приемы: и повышения плодородия, и обработки почвы.

Важное значение в формировании хорошей урожайности подсолнечника имеет обеспеченность его доступной влагой в достаточном количестве на протяжении всего периода вегетации. Установлено, что в период полных всходов подсолнечника более высокое содержание доступной влаги в 30-сантиметровом слое почвы отмечалось при применении различных видов органических удобрений: превышение по сравнению с фоном пожнивно-корневых остатков составило 2-3 мм при применении соломы и 5-6 мм – при пожнивной сидерации. Данная тенденция отмечалась и в слоях почвы 0-50 и 0-100 см (рисунок 46).



Примечание: здесь и далее расшифровку сокращений смотреть в схеме опыта 2

Рисунок 46 – Содержание доступной влаги в почве под подсолнечником в зависимости от приемов повышения плодородия почвы (2016-2020 гг., опыт 2)

Переход на безотвальные приемы обработки почвы отрицательно сказался на содержании доступной влаги: рассматриваемый показатель в фазе всходов подсолнечника был на 2 и 3 мм меньше в слоях почвы 0-30 см и 0-100 см (в слое почвы 0-50 см различия не установлены). Данное наблюдение было характерно не только для средних по вариантам значений, но и для каждой комбинации вариантов.

Таким образом, в засушливых условиях вегетационных периодов (в среднем за годы исследований) в фазе всходов подсолнечника на всех изучаемых вариантах были сформированы удовлетворительные запасы доступной влаги. Сравнительно более высокие запасы были характерны для вариантов с применением пожнивной сидерации по фону отвальной обработки почвы. Максимальная прибавка характерна для варианта Ф + С + ПС + У (см. схему опыта): 6 мм в слое 0-30 см, 7 мм – в слое 0-50 см и 14 мм – в слое 0-100 см.

В течение вегетационного периода культур содержание доступной влаги, несмотря на выпадающие осадки, снижалось, что связано с высоким потреблением влаги растениями подсолнечника. Сокращение запасов было характерно для всех изучаемых вариантов, но была установлена следующая закономерность: в фазе цветения бинарные посева подсолнечника характеризовались более высокими запасами доступной влаги во всех слоях почвы по сравнению с одновидовым посевом. Так, по запасам доступной влаги в слое почвы 0-30 см преимущество имел бинарный посев подсолнечника с викой яровой (прибавка 5 мм), в слое почвы 0-50 см все варианты совместных посевов характеризовались более высоким (на 3-6 мм) содержанием доступной влаги, в метровом слое почвы преимущество осталось за посевами с викой и эспарцетом (превышение 2 мм).

В целом в фазе цветения основной культуры наиболее высокими по сравнению с контролем (Ф – вспашка) запасами доступной влаги характеризовался вариант совместного посева подсолнечника с викой яровой по фону отвальной обработки почвы при применении соломы, пожнивного сидерата и припосевного удобрения: 32 мм в слое 0-30 см, 56 – в слое 0-50 см и 96 мм – в слое 0-100 см. Запасы доступной влаги на данном варианте являются удовлетворительными для роста и развития растений.

Аналогичная закономерность сохранилась и к полной спелости культуры: несмотря на интенсивное потребление доступной влаги как растениями подсолнечника, так и растениями бинарного компонента, более высокие ее запасы были отмечены под бинарными посевами подсолнечника с викой яровой: соответственно 26, 50 и 89 мм. Данные значения характеризуют запасы как плохие.

Расход воды растениями подсолнечника в течение вегетации неравномерен. Результаты наблюдений различных исследований показали, что в межфазный период от всходов до образования корзинки (30-40 дней) подсолнечник расходует примерно 25% влаги, от формирования корзинки до полного цветения (25-30 дней) – 45%, от полного цветения до созревания семян (35-40 дней) – 30% [61, 181, 297, 298]. Критическим периодом по отношению к воде является фазы

цветения – начало созревания: фазы, в период которых формируется выполненность семян в корзинке, их крупность. Растения подсолнечника в это время предъявляют особенно высокие требования к содержанию влаги в почве.

Наши исследования показали, что в межфазный период от всходов до полного цветения подсолнечника расход воды из слоя почвы 0-100 см варьировал от 71,1 до 80,8% от общего расхода за вегетационный период, что связано с интенсивным наращиванием надземной вегетативной массы и развитием корневой системы растений (таблица 50).

В течение периода от фазы цветения до полной спелости масличной культуры расход воды растениями существенно сократился (в 2,5-4,2 раза) и варьировал в пределах 19,2-28,9% от общего расхода.

Запасы доступной влаги в почве находились в тесной зависимости от плотности почвы и содержания в ней органического вещества.

Между влажностью и плотностью 30-сантиметрового слоя почвы установлена сильная обратная связь, четко просматриваемая во все фазы развития подсолнечника ( $-0,692 \leq r \leq -0,882$ ), т.е. чем выше была плотность почвы, тем меньше было в ней доступной влаги (рисунок 47). При этом более высокая зависимость отмечена при безотвальной обработке почвы ( $-0,810 \leq r \leq -0,882$ ).

В целом за вегетационный период зависимость влажности почвы (y) от ее плотности (x) описывается уравнением регрессии, представленном на рисунке 47.

В отношении содержания в почве органического вещества (x) отмечается противоположная тенденция: чем выше данный показатель, тем больше содержится в почве доступной влаги (y):  $r = 0,619$  ( $n = 64$ ;  $Sr = 0,1$ ;  $t_r = 6,19$ ;  $t_{05} = 2,0$ ;  $r^2 = 0,3830$ ; связь средней силы, описывается уравнение регрессии:  $y = 4,5205x + 13,013$ ).

Следовательно, для формирования в почве оптимального количества доступной влаги необходимо стремиться к поддержанию оптимальной плотности почвы и увеличению массы поступающих в почву растительных остатков.

Таблица 50 – Расход доступной влаги в зависимости от приемов повышения плодородия почвы, видов посева подсолнечника и способов основной обработки (2016-2020 гг.; опыт 2)

Приемы повышения плодородия почвы и виды посева		Запас доступной влаги в слое 0-100 см, мм			Осадки за вегетацию		Расход влаги, мм			Расход влаги, %	
		начало вегетации	цветение	конец вегетации	15.05 - 31.07	01.08 - 10.09	от всходов до цветения	от цветения до полной спелости	общий расход	от всходов до цветения	от цветения до полной спелости
1		2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Ф	ОП	<u>105*</u>	<u>77</u>	<u>56</u>	138	40	<u>166</u>	<u>61</u>	<u>227</u>	<u>73,1</u>	<u>26,9</u>
		103	76	53			165	63	228	72,4	27,6
	БП + Вя	<u>113</u>	<u>82</u>	<u>62</u>			<u>169</u>	<u>60</u>	<u>229</u>	<u>73,8</u>	<u>26,2</u>
		109	80	62			162	66	228	71,1	28,9
БП +Эп	<u>110</u>	<u>81</u>	<u>63</u>	<u>167</u>			<u>58</u>	<u>225</u>	<u>74,2</u>	<u>25,8</u>	
	104	80	64	163			66	229	71,2	28,8	
БП + Лс	<u>110</u>	<u>82</u>	<u>60</u>	<u>166</u>			<u>62</u>	<u>228</u>	<u>72,8</u>	<u>27,2</u>	
	106	79	59	164			61	225	72,9	27,1	
Ф + С	ОП	<u>106</u>	<u>81</u>	<u>55</u>			<u>163</u>	<u>66</u>	<u>229</u>	<u>71,2</u>	<u>28,8</u>
		104	80	54			168	55	223	75,3	24,7
	БП + Вя	<u>115</u>	<u>85</u>	<u>66</u>			<u>168</u>	<u>59</u>	<u>227</u>	<u>74,0</u>	<u>26,0</u>
		111	84	65			168	55	223	75,3	24,7
БП +Эп	<u>110</u>	<u>86</u>	<u>69</u>	<u>162</u>	<u>57</u>	<u>219</u>	<u>74,0</u>	<u>26,0</u>			
	110	83	67	169	54	223	75,8	24,2			
БП + Лс	<u>113</u>	<u>86</u>	<u>63</u>	<u>165</u>	<u>63</u>	<u>228</u>	<u>72,4</u>	<u>27,6</u>			
	107	83	63	169	54	223	75,8	24,2			
Ф + ПС	ОП	<u>114</u>	<u>90</u>	<u>66</u>	<u>162</u>	<u>64</u>	<u>226</u>	<u>71,7</u>	<u>28,3</u>		
		110	85	59	167	58	225	74,2	25,8		
	БП + Вя	<u>117</u>	<u>89</u>	<u>71</u>	<u>166</u>	<u>58</u>	<u>224</u>	<u>74,1</u>	<u>25,9</u>		
		118	88	75	165	59	224	73,7	26,3		

Продолжение таблицы 50

1		2	3	4	7	8	9	10	11
Ф+ПС	П + Эп	<u>121</u>	<u>88</u>	<u>67</u>	<u>171</u>	<u>61</u>	<u>232</u>	<u>73,7</u>	<u>26,3</u>
		118	87	69	168	53	221	76,0	24,0
Ф + У	П + Лс	<u>119</u>	<u>92</u>	<u>82</u>	<u>165</u>	<u>50</u>	<u>215</u>	<u>76,7</u>	<u>23,3</u>
		113	87	72	166	52	218	76,1	23,9
Ф + У	ОП	<u>112</u>	<u>84</u>	<u>68</u>	<u>166</u>	<u>56</u>	<u>222</u>	<u>74,8</u>	<u>25,2</u>
		104	78	57	168	50	218	77,1	22,9
	БП + Вя	<u>106</u>	<u>85</u>	<u>70</u>	<u>159</u>	<u>55</u>	<u>214</u>	<u>74,3</u>	<u>25,7</u>
		108	80	68	172	50	222	77,5	22,5
Ф+С+У	БП +Эп	<u>111</u>	<u>86</u>	<u>68</u>	<u>163</u>	<u>58</u>	<u>221</u>	<u>73,8</u>	<u>26,2</u>
		113	79	68	173	47	220	78,6	21,4
	БП + Лс	<u>104</u>	<u>82</u>	<u>70</u>	<u>160</u>	<u>52</u>	<u>212</u>	<u>75,5</u>	<u>24,5</u>
		106	78	69	172	41	213	80,8	19,2
Ф+С+У	ОП	<u>125</u>	<u>90</u>	<u>69</u>	<u>173</u>	<u>61</u>	<u>234</u>	<u>73,9</u>	<u>26,1</u>
		111	81	66	162	56	218	74,3	25,7
	БП + Вя	<u>119</u>	<u>88</u>	<u>77</u>	<u>169</u>	<u>51</u>	<u>220</u>	<u>76,8</u>	<u>23,2</u>
		113	83	73	165	56	221	74,7	25,3
Ф+С+ПС	БП +Эп	<u>121</u>	<u>88</u>	<u>69</u>	<u>171</u>	<u>59</u>	<u>230</u>	<u>74,3</u>	<u>25,7</u>
		117	82	71	169	58	227	74,4	25,6
	БП + Лс	<u>114</u>	<u>85</u>	<u>70</u>	<u>167</u>	<u>55</u>	<u>222</u>	<u>75,2</u>	<u>24,8</u>
		110	81	66	172	51	223	77,1	22,9
Ф+С+ПС	ОП	<u>120</u>	<u>91</u>	<u>72</u>	<u>167</u>	<u>59</u>	<u>226</u>	<u>73,9</u>	<u>26,1</u>
		116	86	71	173	51	224	77,2	22,8
	БП + Вя	<u>120</u>	<u>90</u>	<u>77</u>	<u>168</u>	<u>53</u>	<u>221</u>	<u>76,0</u>	<u>24,0</u>
		122	88	78	169	56	225	75,1	24,9
БП +Эп	<u>123</u>	<u>91</u>	<u>75</u>	<u>170</u>	<u>56</u>	<u>226</u>	<u>75,2</u>	<u>24,8</u>	
	121	90	74	170	52	222	76,6	23,4	
БП + Лс	<u>121</u>	<u>89</u>	<u>72</u>	<u>170</u>	<u>57</u>	<u>227</u>	<u>74,9</u>	<u>25,1</u>	
	117	86	79	170	49	219	77,6	22,4	

Продолжение таблицы 50

1		2	3	4	7	8	9	10	11
Ф+ПС+У	ОП	<u>123</u>	<u>88</u>	<u>67</u>	<u>173</u>	<u>61</u>	<u>234</u>	<u>73,9</u>	<u>26,1</u>
		117	86	72	165	60	225	73,3	26,7
	БП + Вя	<u>123</u>	<u>94</u>	<u>82</u>	<u>167</u>	<u>52</u>	<u>219</u>	<u>76,3</u>	<u>23,7</u>
		124	89	82	162	60	222	73,0	27,0
БП +Эп	<u>127</u>	<u>95</u>	<u>77</u>	<u>170</u>	<u>58</u>	<u>228</u>	<u>74,6</u>	<u>25,4</u>	
	123	91	79	164	55	219	74,9	25,1	
БП + Лс	<u>121</u>	<u>90</u>	<u>78</u>	<u>169</u>	<u>52</u>	<u>221</u>	<u>76,5</u>	<u>23,5</u>	
	116	84	80	166	49	215	77,2	22,8	
Ф+С+ПС+ У	ОП	<u>125</u>	<u>94</u>	<u>78</u>	<u>169</u>	<u>56</u>	<u>225</u>	<u>75,1</u>	<u>24,9</u>
		119	88	74	167	55	222	75,2	24,8
	БП + Вя	<u>123</u>	<u>96</u>	<u>95</u>	<u>165</u>	<u>41</u>	<u>206</u>	<u>80,1</u>	<u>19,9</u>
		124	90	89	169	47	216	78,2	21,8
БП +Эп	<u>121</u>	<u>95</u>	<u>89</u>	<u>164</u>	<u>46</u>	<u>210</u>	<u>78,1</u>	<u>21,9</u>	
	125	93	84	170	44	214	79,4	20,6	
БП + Лс	<u>120</u>	<u>92</u>	<u>81</u>	<u>166</u>	<u>51</u>	<u>217</u>	<u>76,5</u>	<u>23,5</u>	
	115	86	80	167	46	213	78,4	21,6	

Примечание: над чертой – отвальная обработка почвы, под чертой – безотвальная обработка почвы.

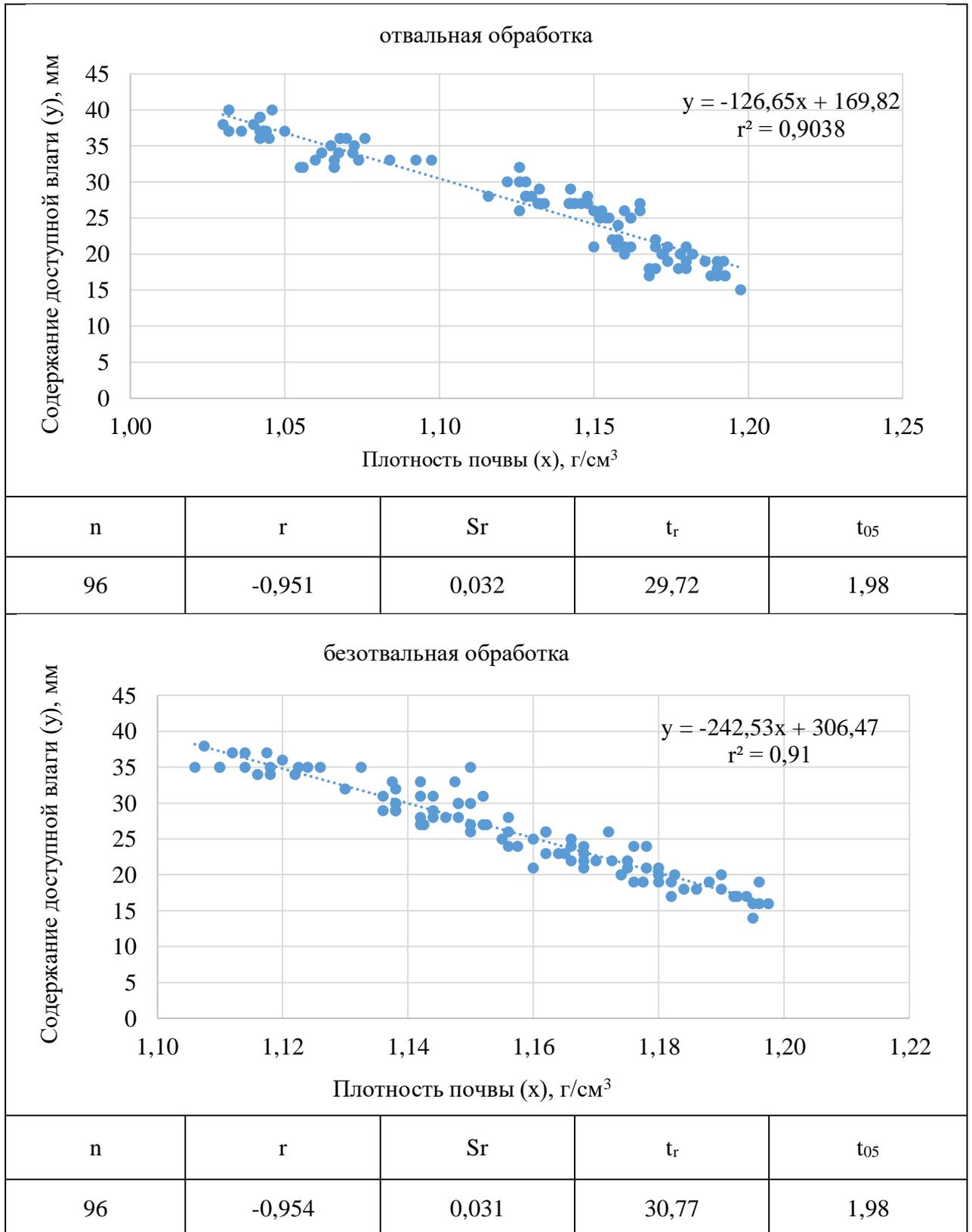


Рисунок 47 – Результаты корреляционно-регрессионного анализа зависимости содержания доступной влаги от плотности почвы (слой 0-30 см)

## 4.2. Плотность и твердость почвы

Плотность почвы является одним из интегральных показателей ее плодородия и важнейшим фактором формирования урожая, т.к. оказывает непосредственное влияние на содержание в почве воды, воздуха, питательных веществ, что в конечном итоге определяет водный, воздушный, тепловой и питательный режимы почвы, оказывает влияние на протекающие в почве биологические и физико-химические процессы.

В настоящее время в результате неграмотного перехода к минимизации обработки почвы отмечается четкая тенденция ухудшения основных агрофизических свойств почвы, что прежде всего выражается в ее переуплотнении, негативно отражающемся на продуктивности культур и качестве растениеводческой продукции [45, 430]. Установлено, что при увеличении плотности почвы на 0,5-1,0 мм/сут увеличиваются темпы испарения [429], в 2-19 раз уменьшается скорость впитывания воды [127], снижается содержание доступной влаги [265].

Большинство сельскохозяйственных культур отрицательно реагируют не только на избыточно плотное сложение почвы, но и на избыточно рыхлое, наиболее активно проявляя свой адаптивный потенциал при оптимальных для конкретной культуры значениях. Именно при оптимальной плотности почвы более продуктивно протекают процессы синтеза органического вещества, растения затрачивают меньше питательных веществ на создание единицы сухой массы [264]. Поэтому очень важно, чтобы все агротехнические мероприятия были направлены на поддержание плотности почвы в оптимальных параметрах на протяжении всего периода возделывания сельскохозяйственных культур.

Оптимальная плотность почвы существенно варьирует в зависимости от возделываемой культуры, типа почв и их гранулометрического состава. Так, величина данного показателя для подсолнечника находится в пределах 1,0-1,3 г/см<sup>3</sup> почвы при возделывании на суглинистых черноземах [331], 1,25-1,3 г/см<sup>3</sup> – на черноземах обыкновенных и южных [257], 1,0-1,2 г/см<sup>3</sup> – на суглинистых дерново-подзолистых почвах [264]. М.И. Сидоров и Н.И. Зезюков установили, что

оптимальной плотностью при возделывании подсолнечника на черноземах Воронежской области является величина 1,1-1,2 г/см<sup>3</sup> [356], аналогичные выводы сделаны и другими авторами [8].

Плотность почвы как агрофизический показатель ее плодородия характеризуется довольно динамичными параметрами, характер и интенсивность изменения которых зависят от биологических особенностей культур, типа и гранулометрического состава почв, содержания гумуса, структуры почвы, погодных условий, содержания в почве влаги, а также от проводимых агротехнических мероприятий. В течение вегетации культур наблюдается такое явление, как «самоуплотнение почвы», интенсивность которого возрастает, например, с увеличением количества выпадающих осадков.

Из агротехнических мероприятий наибольшее влияние на увеличение плотности почвы оказывают использование тяжелой сельскохозяйственной техники и высокие механические нагрузки почвообрабатывающими орудиями, приводящие к разрушению агрегатов, сближению почвенных частиц, к формированию более плотной их упаковки.

Для эффективного формирования урожая возделываемых культур и улучшения плодородия почвы необходимо применять научно обоснованные организационно-технологические приемы, к числу которых относятся подбор предшественников, мероприятия по повышению содержания в почве органического вещества, рациональная обработка почвы и система удобрений.

В ходе проведенного исследования (опыт 2) было установлено достоверное влияние на плотность почвы как способов обработки почвы, так и приемов повышения ее плодородия (таблица 51).

На момент всходов подсолнечника достоверное влияние на плотность почвы оказали изучаемые приемы повышения плодородия почвы, обработка почвы и совместное применение этих двух факторов. Существенному снижению показателя плотности почвы (на 0,02 г/см<sup>3</sup>, НСР<sub>05</sub> для фактора А – 0,01) способствовало применение пожнивной сидерации и в чистом виде, и совместно с со-

ломой (Ф+С+ПС), с минеральным удобрением (Ф+ПС+У) и с соломой и минеральным удобрением (Ф+С+ПС+У). Применение же минеральных удобрений как самостоятельно, так и по фону соломы привело к увеличению плотности почвы на 0,01 г/см<sup>3</sup>.

Таблица 51 – Плотность почвы в зависимости от приемов повышения плодородия почвы, видов посева и способов основной обработки почвы (слой почвы 0-30 см, 2016-2020 гг., опыт 2, приложение 18)

Приемы повышения плодородия почвы (В)	Способы основной обработки (С)	Плотность почвы (г/см <sup>3</sup> ) в различные фазы развития подсолнечника										
		всходы			цветение			полная спелость				
		А	В	С	А	В	С	А	В	С		
Ф	ОС		1,10	1,06		1,16	1,14		1,19	1,17		
	БС			1,13			1,16			1,18		
Ф+С	ОС		1,10				1,16				1,19	
	БС											
Ф+ПС	ОС		1,08				1,14				1,17	
	БС											
Ф+У	ОС		1,11				1,16				1,19	
	БС											
Ф+С+У	ОС		1,11				1,16				1,19	
	БС											
Ф+С+ПС	ОС		1,08				1,14				1,17	
	БС											
Ф+ПС+У	ОС		1,08				1,14				1,17	
	БС											
Ф+С+ПС+У	ОС		1,08				1,14				1,16	
	БС											
Виды посева (А)												
ОП		1,09			1,15			1,18				
БП + Вя		1,09			1,14			1,17				
БП + Эп		1,09			1,15			1,17				
БП + Лс		1,10			1,15			1,18				
НСР <sub>05</sub>		0,01	0,01	0,01	0,001	0,01	0,001	0,02	0,03	0,01		
		значимо	значимо	значимо	значимо	значимо	значимо	не значимо	значимо	не значимо		

Положительное влияние на плотность почвы высеваемой пожнивной сидеральной культуры проявилось и при совместном применении данного фактора с

обработкой почвы: как по фону отвального, так и по фону безотвального способа почва под подсолнечником была меньше уплотнена, чем под другими изучаемыми вариантами. При этом плотность почвы при безотвальной обработке была существенно выше, чем при вспашке по фону всех видов удобрений и их комбинаций (рисунок 48).

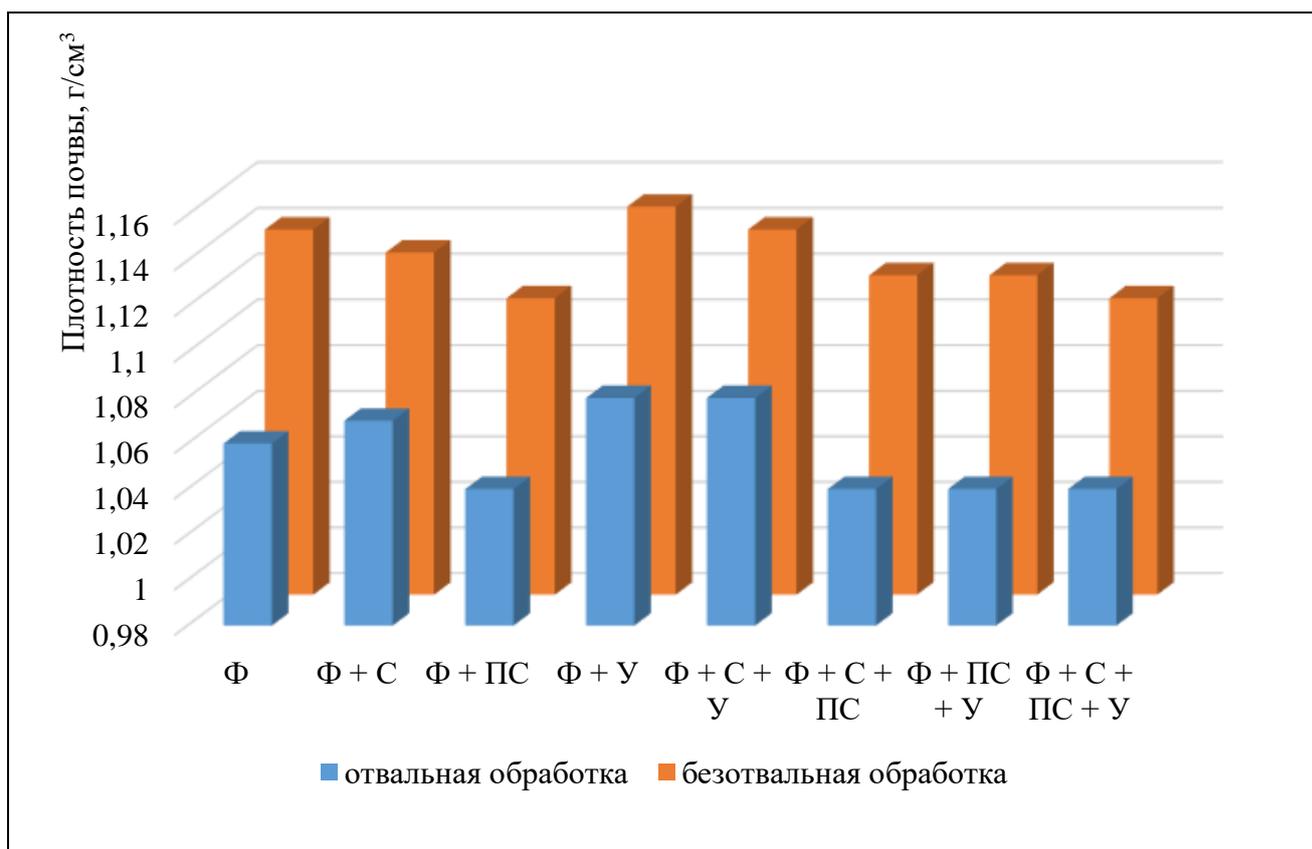


Рисунок 48 – Плотность почвы под подсолнечником в зависимости от приемов повышения плодородия и способов основной обработки почвы (фаза всходов, слой 0-30 см, НСР<sub>05</sub> – 0,01 (значимо), 2016-2020 гг., опыт 2)

Проведение безотвального рыхления характеризовалось уплотнением почвы не только при совместном рассмотрении с удобрениями, но и в чистом виде: рост показателя составил 0,07г/см<sup>3</sup> (или 6,6%) при НСР<sub>05</sub> для фактора С – 0,01. Достоверного влияния изучаемых приемов повышения плодородия почвы и ее обработки на плотность в фазе цветения подсолнечника установлено не было.

и ее обработки на плотность в фазе цветения подсолнечника установлено не было.

На фоне продолжающегося эффективного влияния на формирование оптимальных параметров плотности почвы органических удобрений интенсивность положительного влияния обработки почвы заметно сократилась.

Также существенно сократились расхождения в плотности почвы по вариантам изучаемых удобрений по различным фонам обработки почвы (до  $0,02\text{г/см}^3$ ), тогда как в фазе всходов они составляли  $0,06-0,08\text{ г/см}^3$ .

По мере развития подсолнечника происходило развитие его бинарного компонента – бобовых трав, которые, как известно, на первых этапах вегетационного периода интенсивно развивают свою корневую систему. Тем не менее, в фазе цветения подсолнечника достоверного их влияния на плотность почвы установлено не было.

К полной спелости масличной культуры изучаемые приемы обработки почвы и бинарные компоненты утратили существенность своего влияния на плотность почвы. В отношении приемов повышения плодородия почвы за счет удобрений тенденция сохранилась: при применении пожнивной сидерации обеспечивается меньшее уплотнение почвы, чем по фону остальных изучаемых удобрений.

Таким образом, во все фазы развития подсолнечника наименьшая (но в пределах оптимальных значений) плотность почвы была характерна для вариантов с применением пожнивной сидерации, при этом в фазе всходов культуры преимущественное положение занимало проведение вспашки.

В течение вегетационного периода культур, точнее, от всходов до полной спелости подсолнечника, происходило уплотнение слоя почвы 0-30 см, основной причиной которого являлось самоуплотнение (рисунок 49).

Увеличение плотности было характерно абсолютно для всех изучаемых вариантов удобрений, обработок почвы, видов посева и их совместного применения.

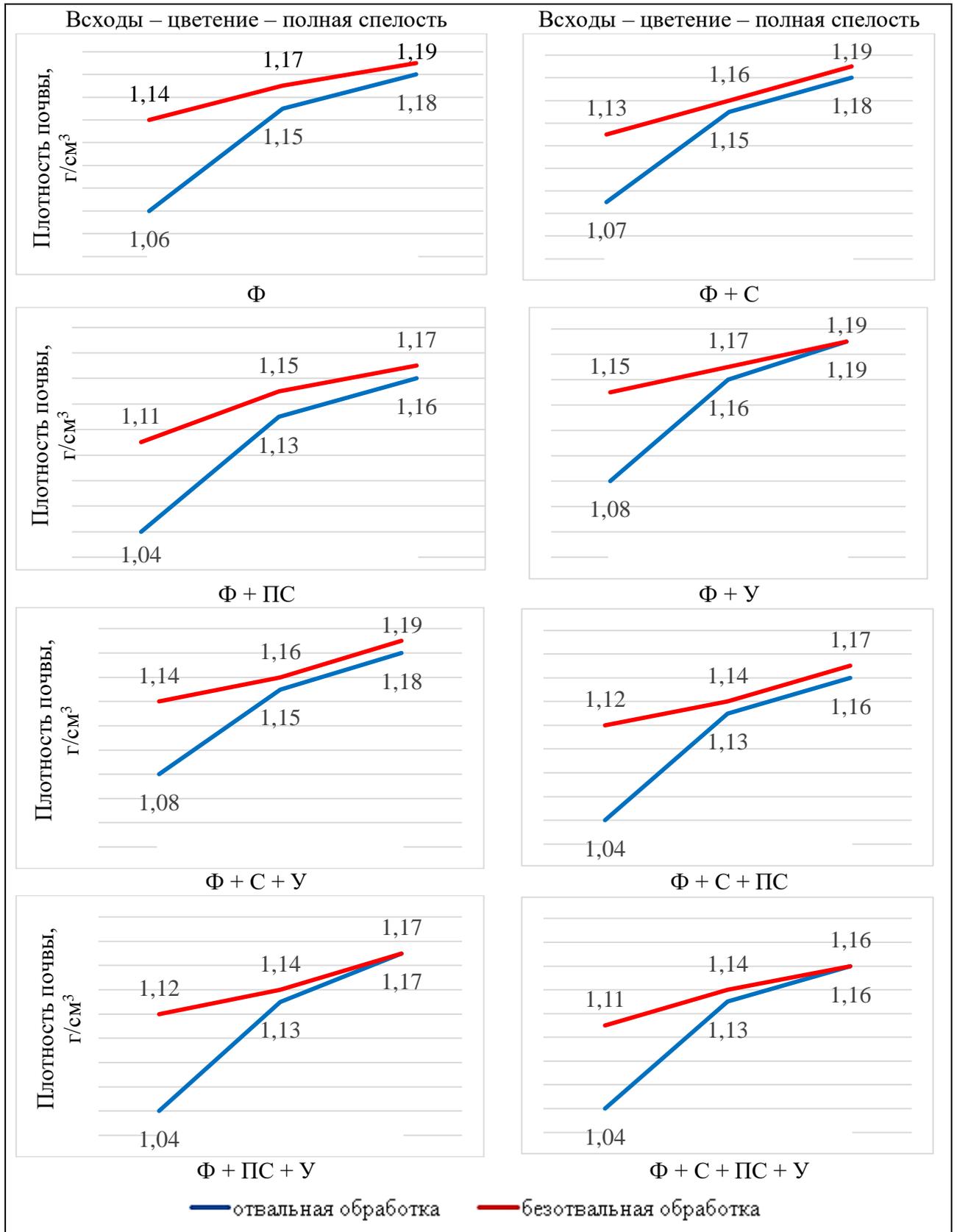


Рисунок 49 – Динамика плотности почвы в течение вегетационного периода подсолнечника в зависимости от приемов повышения плодородия и способов основной обработки почвы (2016-2020 гг., опыт 2)

Установлена следующая тенденция влияния изучаемых приемов на динамику рассматриваемого показателя: под бинарными посевами подсолнечника в среднем по всем вариантам уплотнение почвы по сравнению с одновидовым посевом было менее выраженным (на  $0,01 \text{ г/см}^3$ ) и составило  $0,08 \text{ г/см}^3$ .

Анализ влияния обработки почвы показал, что преимущественное положение отвального способа в отношении показателя плотности почвы, характерное для фазы всходов подсолнечника, в течение вегетационного периода утрачивалось, в результате чего уже к фазе цветения различия между вариантами сократились с  $0,07$  до  $0,01 \text{ г/см}^3$ , сохранившись до полной спелости культуры.

Таким образом, в целом за вегетационный период более интенсивное самоуплотнение почвы отмечалось по фону вспашки –  $0,11 \text{ г/см}^3$ , что на  $0,06 \text{ г/см}^3$  превышало показатели по фону безотвальной обработки.

Аналогичная тенденция отмечается и по фону различных видов удобрений и их комбинаций: к фазе цветения подсолнечника на  $0,06 \text{ г/см}^3$  сильнее уплотнялась более рыхлая первоначально почва, что определило практически равнозначное изменение показателя плотности в течение периода от всходов до полной спелости. Данная особенность просматривается и по фону различных способов обработки почвы.

Несмотря на особенности динамики и независимо от изучаемых факторов плотность почвы оставалась в пределах оптимальных для подсолнечника значений, что подтверждают не только ранее изложенные результаты, но и представленные на рисунках 50 и 51 средние за вегетацию значения.

Таким образом, как в отдельные фазы развития подсолнечника, так и в среднем за вегетационный период (рисунок 52) наиболее оптимальные показатели плотности 30-сантиметрового слоя почвы сформированы под подсолнечником при его размещении по фону применения пожнивной сидерации (в чистом виде и с другими удобрениями) при проведении отвальной обработки почвы.

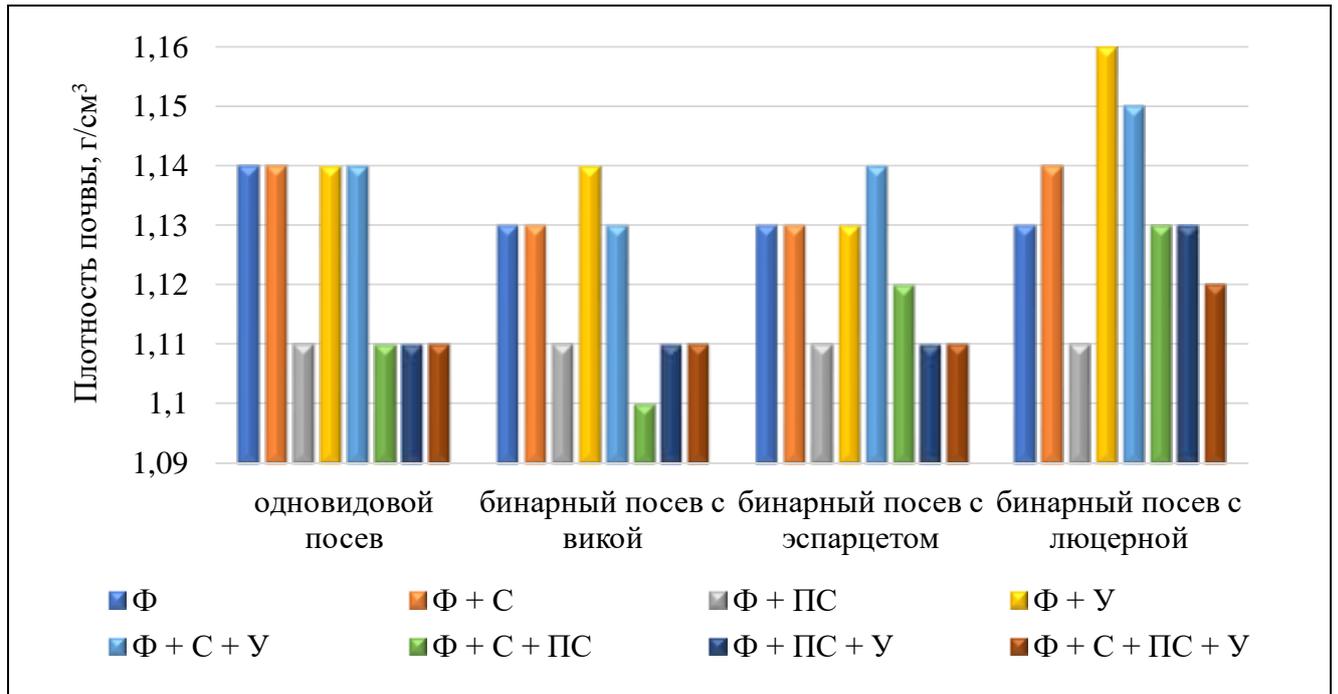


Рисунок 50 – Плотность почвы под посевами подсолнечника в зависимости от видов посева и приемов повышения плодородия при отвальном способе основной обработки почвы (среднее за вегетацию, слой 0-30 см, 2016-2020 гг., опыт 2)

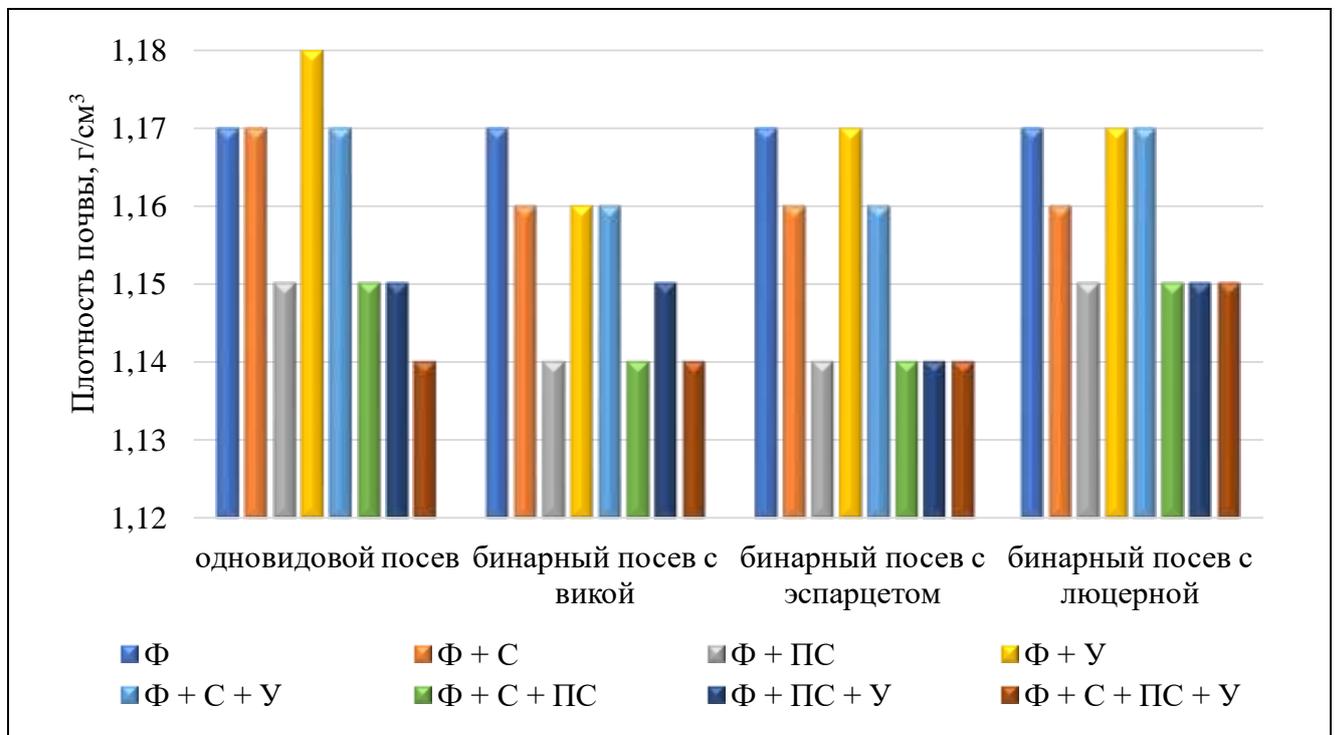


Рисунок 51 – Плотность почвы под посевами подсолнечника в зависимости от видов посева и приемов повышения плодородия при безотвальном способе основной обработки почвы (среднее за вегетацию, слой 0-30 см, 2016-2020 гг., опыт 2)

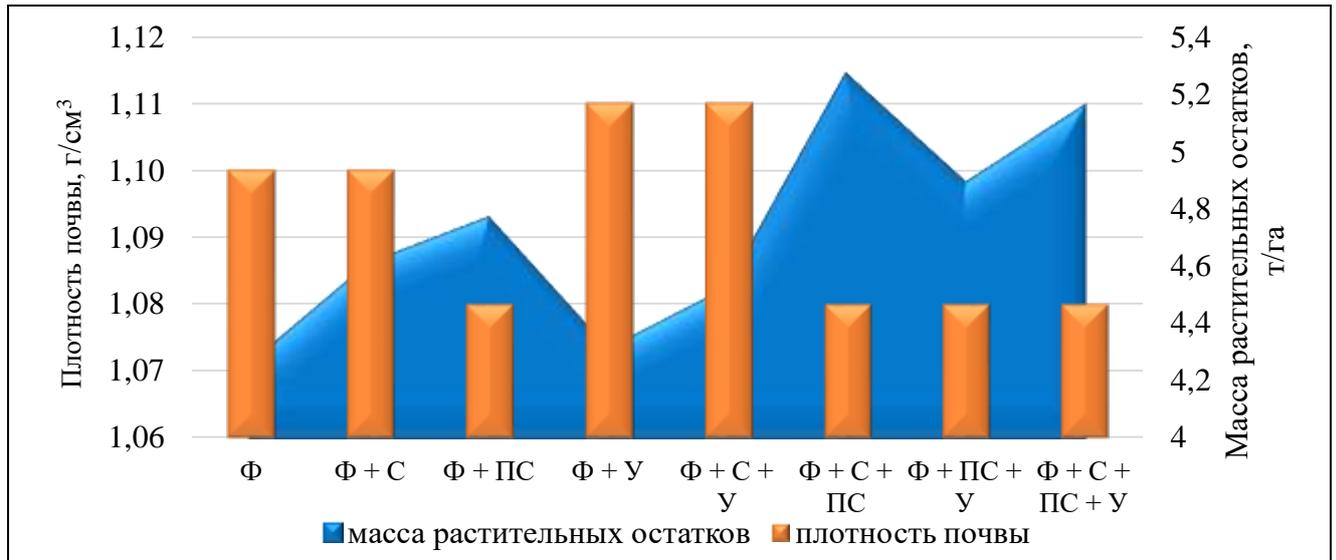


Рисунок 52 – Плотность почвы в фазе всходов подсолнечника в зависимости от приемов повышения плодородия и массы растительных остатков в почве (слой почвы 0-30 см, 2016-2020 гг., опыт 2)

Показателем, тесно связанным с плотностью почвы, является твердость – важнейший показатель, характеризующий условия прорастания семян, развитие растений на первых этапах онтогенеза, сопротивление почвы росту корневых систем, способность корневых волосков осваивать не только межагрегатное, но и внутриагрегатное пространство [381].

Оптимальная твердость черноземных почв для зерновых культур составляет от 8 до 16 кг/см<sup>2</sup> [181], для пропашных – 5-15 кг/см<sup>2</sup> [356]. При превышении оптимальных значений почва хуже пропускает воду, повышается ее сопротивление растущим корням растений, нарушается воздухообмен, в результате чего возникает недостаток кислорода в почве и избыток углекислого газа, что в конечном итоге приводит к ухудшению условий произрастания растений, снижению их урожайности [287, 381]. Твердость почвы выше 20 кг/см<sup>2</sup>, по мнению многих авторов, считается неблагоприятной для большинства сельскохозяйственных полевых культур [181, 356].

Изменение твердости почвы под подсолнечником (приложения 19-21) показало существенную зависимость от способа обработки почвы и объема поступающего органического вещества.

Так, при проведении безотвальной обработки почвы под подсолнечник 30-сантиметровый слой почвы при всходах основной культуры характеризовался более высокой твердостью по сравнению со вспашкой: на  $1,3 \text{ кг/см}^2$  (НСР<sub>05</sub> для фактора С в фазе всходов – 0,07). К фазе цветения подсолнечника влияние обработки почвы уменьшилось, но по-прежнему осталось значимым: твердость почвы при вспашке была на  $0,3 \text{ кг/см}^2$  меньше (НСР<sub>05</sub> для фактора С в фазе цветения – 0,05). В конце вегетационного периода достоверных отклонений в рассматриваемом показателе по вариантам обработки почвы отмечено не было.

В отличие от обработки почвы влияние удобрений имело более продолжительный характер и проявлялось в течение всего периода возделывания подсолнечника. В частности, применение пожнивной сидерации обеспечивало формирование более низких показателей твердости почвы как в фазе всходов культуры, так и в фазы ее цветения и полной спелости. При этом в начале вегетационного периода отклонение от контроля составляло  $(-0,4) \text{ кг/см}^2$ , в середине –  $(-0,4-0,5) \text{ кг/см}^2$ , а в конце периода вегетации подсолнечника –  $(-0,3-0,4) \text{ кг/см}^2$  (НСР<sub>05</sub> для фактора А в указанные периоды – соответственно 0,10; 0,08; 0,17).

Существенностью характеризуется и влияние на твердость почвы совместного использования удобрений и обработки почвы. В фазе всходов подсолнечника при проведении отвального приема твердость почвы независимо от вида удобрений и их комбинаций была меньше, чем при безотвальном, на  $1,1-1,2 \text{ кг/см}^2$  (НСР<sub>05</sub> для факторов А+С – 0,14).

В течение вегетационного периода культуры влияние комбинации изучаемых факторов снижалось, в результате чего в фазе массового цветения подсолнечника различия по вариантам составляли  $0,2-0,3 \text{ кг/см}^2$  в пользу отвальной обработки (НСР<sub>05</sub> – 0,11), а в фазе полной спелости утратили свою достоверность.

Влияние бинарного посева компонента подсолнечника проявилось только в фазе цветения масличной культуры и только на варианте с вижкой яровой: твердость почвы была значительно меньше по сравнению как с посевами с люцерной синей, так и с одновидовым посевом (на  $0,3$  и  $0,2 \text{ кг/см}^2$  соответственно при

НСР<sub>05</sub> для фактора В – 0,11), но не имела достоверного отличия от бинарного посева с эспарцетом.

Таким образом, возделывание подсолнечника в совместных посевах с ви- кой яровой или эспарцетом по фону отвальной обработки почвы при применении пожнивной сидерации в чистом виде или в комплексе с соломой и минеральным припосевным удобрением обеспечивает существенное снижение твердости почвы и поддерживает ее в пределах оптимальных значений в течение всего пе- риода вегетации культурных растений.

Однако существенной связи твердости почвы с содержанием в ней расти- тельных остатков установлено не было. Считаем, что данное влияние проявля- ется не напрямую, а через другие показатели, в частности через изменение плот- ности и влажности почвы. Увеличение массы растительных остатков в почве обеспечивает формирование более высокого запаса влаги ( $r = 0,619$ ), снижение плотности почвы ( $r = -0,307$  в отношении растительных остатков и  $r = -0,692\dots - 0,882$  в отношении влажности почвы) и, соответственно, снижение ее твердости, которая имеет сильную корреляционную зависимость как от плотности  $x_1$  ( $r = 0,999$ ;  $n = 96$ ;  $Sr = 0,005$ ;  $t_r = 199,8$ ;  $t_{05} = 1,98$ ;  $r^2 = 0,9998$ ), так и от влажности почвы  $x_2$  ( $r = -0,950$ ;  $n = 96$ ;  $Sr = 0,032$ ;  $t_r = 29,69$ ;  $t_{05} = 1,98$ ). Данную взаимосвязь можно выразить уравнением регрессии  $z = 16,80495x_1 + 0,000382x_2 - 0,13432$  ( $R^2 = 0,99$ ).

Таким образом, важную роль в формировании оптимальной твердости почвы под подсолнечником играет увеличение количества поступающих в почву растительных остатков и проведение мероприятий по повышению содержания в почве детрита.

### 4.3. Содержание в почве основных элементов питания

Одним из значимых факторов, играющим важную роль в формировании оптимальных условий роста и развития растений, является обеспеченность почвы основными элементами питания [292]. Подсолнечник – одна из немногих культур, которая характеризуется формированием высоких урожаев в условиях

интенсивного потребления основных элементов питания, при этом урожайность культуры ограничивается непосредственно количеством содержащихся в почве элементов. Известно, что на формирование 100 кг семян подсолнечник расходует 5-6 кг азота, 2,0-2,5 кг фосфора и 10-12 кг калия [298].

В настоящее время в науке и практике сформировались две противоположные концепции по регулированию питательного режима почвы, базирующиеся на традиционном и биологическом подходах. На фоне непрекращающихся научных споров о достоинствах и недостатках каждого из них возникло новое направление – адаптивно-компромиссное, основанное на разумном сочетании наиболее рациональных элементов каждой из этих систем. Реализация данного направления основана на максимальном включении в продукционный процесс питательных элементов и адаптацию их динамики к динамике реальных потребностей в них растений [307].

Решение основных целей и задач адаптивно-компромиссного подхода регулирования питательного режима почвы реализуется проведением различных агротехнических приемов, среди которых важное значение занимают системы удобрений и обработки почвы.

В рамках исследовательской работы была установлена зависимость содержания и динамики подвижного фосфора и обменного калия под посевами подсолнечника от вида удобрения и способа основной обработки почвы.

Одним из самых необходимых для подсолнечника элементов питания является калий. Он регулирует водоудерживающую способность цитоплазмы клеток, повышая устойчивость растений к засухе и пониженным температурам, играет важную роль в специфической активности многих ферментов, участвует в регулировании тургора клеток, ростовых и других процессах. По уровню потребления подсолнечником калий занимает первое место – 10-12 кг на создание 1 ц семян [298].

Органические и минеральные удобрения, их сочетания, а также совместное использование с приемами биологизации и обработки почвы оказали неоднозначное влияние на содержание обменного калия в почве (приложения 22-24).

Достоверно установлено, что в фазе всходов подсолнечника формирование запасов данного элемента в почве протекало под влиянием удобрений (рисунок 53), обработка почвы ни в одну из рассматриваемых фаз развития растений не имела существенного влияния.

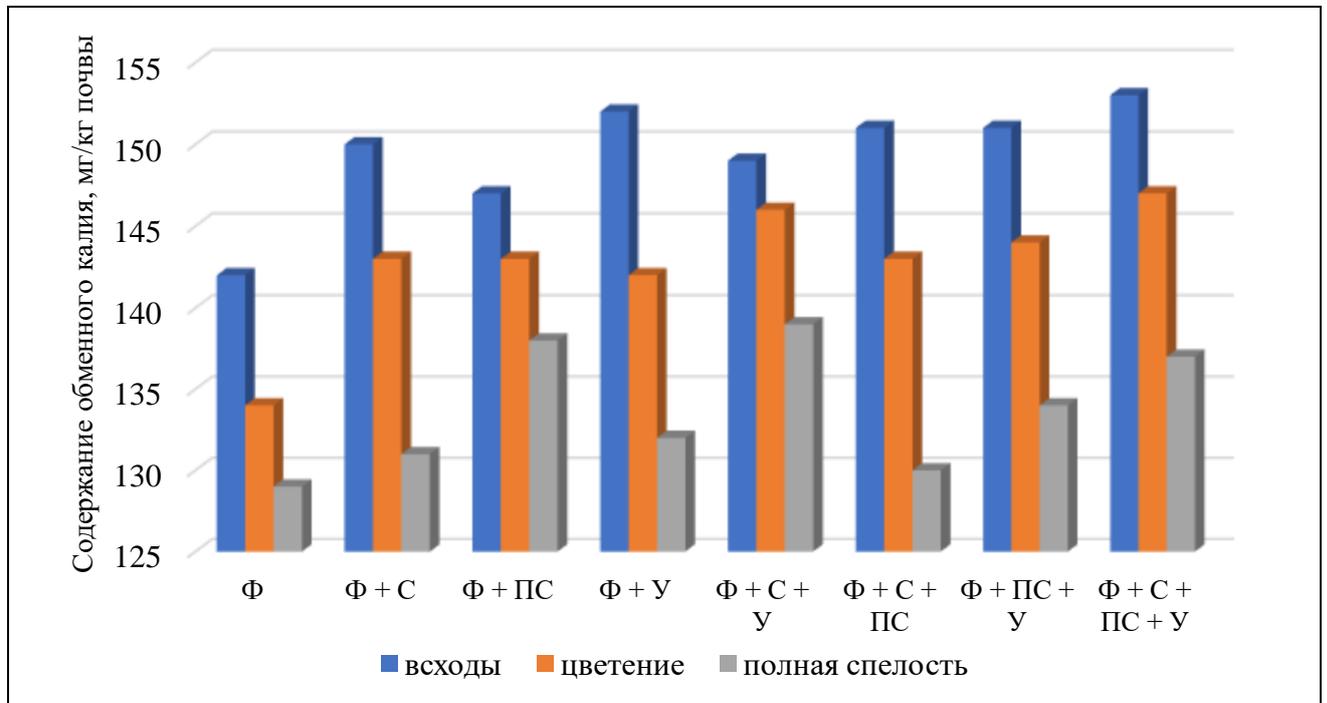


Рисунок 53 – Содержание обменного калия в почве под подсолнечником в зависимости от приемов повышения плодородия почвы (слой почвы 0-30 см, НСР<sub>05</sub> фактор В: всходы – 6,40 (значимо), цветение – 5,91 (значимо), полная спелость – 8,07(значимо), 2016-2020 гг., опыт 2)

Положительное влияние на содержание обменного калия в почве оказали все виды удобрений: прибавка по сравнению с фоном пожнивно-корневых остатков составляла от 5 (Ф+ПС) до 11 (Ф+С+ПС+У) мг/кг почвы. Использование в качестве органического удобрения соломы по сравнению с пожнивной сидерацией характеризовалось более высокой прибавкой элемента питания в почве: 8 мг/кг почвы по сравнению с 5 мг/кг, хотя стоит отметить, что различия между этими двумя вариантами статистически недостоверны.

Данный факт можно объяснить более высоким содержанием калия в соломе ячменя (1,10%) по сравнению с зеленой массой редьки масличной (0,84%).

По причине высокой обеспеченности соломы калием все варианты с ее использованием характеризовались существенной прибавкой калия в почве, которая варьировала от 7 (Ф+С+У) до 12 (Ф+С+ПС+У) мг/кг почвы.

Применение при посеве подсолнечника минерального удобрения в чистом виде обеспечило существенное увеличение содержания обменного калия – на 10 мг/кг почвы, при применении удобрения по фону сидеральной массы прибавка снизилась до 9 мг/кг, при этом данное отклонение является несущественным.

К фазе цветения содержание обменного калия под всеми вариантами сократилось (таблица 52), что естественно, т.к. калий интенсивно поглощается растениями подсолнечника именно на начальных этапах развития, в период интенсивного наращивания вегетативной массы. Наибольшее сокращение отмечалось под бинарными посевами подсолнечника с эспарцетом – в среднем 8,0 мг/кг почвы.

Существенное влияние на формирование запасов обменного калия в фазе цветения подсолнечника оказали и применяемые удобрения, что выразилось в формировании более высоких показателей по сравнению с фоном пожнивно-корневых остатков. Разложение соломы способствовало высвобождению основных элементов питания, в том числе и калия, в результате чего его содержание в почве увеличилось на 9-10 мг/кг почвы. Существенную прибавку (12 мг/кг почвы) обеспечило разложение соломы в присутствии минерального удобрения и комплексное использование соломы, пожнивного сидерата и припосевного минерального удобрения – 13 мг/кг почвы.

Несмотря на положительное влияние на формирование запасов обменного калия в почве изучаемых удобрений, наиболее высокое его содержание было отмечено под одновидовым посевом: в среднем – 152 мг/кг, что существенно (на 10-14 мг/кг) превышало значения бинарных посевов. Стоит пояснить, что сокращение массы обменного калия в почве к фазе цветения подсолнечника, несмотря на положительное влияние применяемых удобрений на его содержание, говорит не только об интенсивном потреблении элемента культурой в процессе форми-

рования своей урожайности, но и об его расходах на питание бинарного компонента – бобовой травы, также находящейся в это время в стадии интенсивного развития корневой системы и наращивания вегетативной массы.

Таблица 52 – Содержание обменного калия в почве под подсолнечником в зависимости от приемов повышения плодородия почвы, видов посева и способов основной обработки почвы (слой почвы 0-30 см, 2016-2020 гг., опыт 2)

Приемы повышения плодородия почвы (B)	Способы основной обработки (C)	Содержание обменного калия (мг/кг почвы) в различные фазы развития подсолнечника																								
		всходы			цветение			полная спелость																		
		A	B	C	A	B	C	A	B	C																
Ф	ОС		142	150		135	144		122	132																
	БС			149			142			134																
Ф+С	ОС		150			143			131		138															
	БС																									
Ф+ПС	ОС		148						143				133		139											
	БС																									
Ф+У	ОС		152										142				130		134							
	БС																									
Ф+С+У	ОС		149														144				137		148			
	БС																									
Ф+С+ПС	ОС	151			144												141						132			
	БС																									
Ф+ПС+У	ОС	151			144					129							147									
	БС																									
Ф+С+ПС+У	ОС	154				148					141					132										
	БС																									
Виды посева (A)																										
ОП		160									152							141								
БП + Вя		148									142					132										
БП +Эп		147									139					130										
БП + Лс		144						138					129													
НСР <sub>05</sub>		4,52	6,40			3,20		4,18	5,91		2,96		5,71		8,07	4,04										
		значимо	значимо	не значимо		значимо	значимо	не значимо	значимо		значимо	не значимо														

В фазе цветения подсолнечника ни один вариант по показателю содержания в почве обменного калия не имел преимуществ перед контрольным посевом, тем не менее, отмечена четкая тенденция увеличения данного показателя под влиянием применяемых приемов повышения плодородия почвы.

Четкая тенденция снижения содержания обменного калия в почве сохранилась и к полной спелости подсолнечника. При этом в среднем по варианту одновидового посева сокращение составило 11,9%, под бинарными посевами подсолнечника с эспарцетом – 11,6, с викой яровой – 10,8, с люцерной – 10,4%.

Расхождения в расходе обменного калия в бинарных посевах определялись видом бинарного компонента: возделываемые в совместных посевах с подсолнечником бобовые травы характеризовались различным выносом элементов питания с 1 т формируемой зеленой массы. Наибольшим выносом калия обладает эспарцет – 3,9 кг/т, чуть меньше расход у вики яровой – 3,7 кг, вынос калия люцерной составляет 3,6 кг/т зеленой массы.

Как и в фазе цветения, при полной спелости культуры не выявлено существенного совместного влияния изучаемых приемов на рассматриваемый показатель, но установлена его достоверная зависимость от конкретного фактора. Так, например, по сравнению с возделыванием подсолнечника в одновидовом посеве его бинарные посевы обеспечивают существенно более высокое формирование в почве содержания обменного калия, превышающее контрольное значение (141 мг/кг почвы) на 9-12 мг/кг почвы.

Несмотря на увеличение массы обменного калия под влиянием удобрений характер данной зависимости изменился: в большинстве случаев отклонения от фона пожнивно-корневых остатков стали недостоверными, что, скорее всего, связано со снижением темпов разложения растительных масс к концу вегетационного периода и сокращением высвобождающегося калия. По-прежнему достоверно повышали массу элемента питания в почве пожнивная сидерация (+9 мг/кг почвы), солома с припосевным минеральным удобрением (+10 мг/кг почвы) и совместное использование соломы, поживной сидерации и минерального удобрения (+8 мг/кг почвы) (НСР<sub>05</sub> для фактора А в фазе полной спелости – 5,71).

Таким образом, изучаемые приемы повышения плодородия почвы оказали существенное влияние на накопление обменного калия в почве, улучшив таким образом питательный режим подсолнечника. Благодаря этому при бинарных посевах масличной культуры в среднем за вегетацию обеспеченность обменным калием при применении удобрений была выше, чем по фону пожнивно-корневых остатков: при посеве с викой – на 7-22 мг/кг почвы, с эспарцетом – на 6-20 мг/кг почвы, с люцерной – на 8-18 мг/кг почвы. Под одновидовым посевом прибавка варьировала от 0 до 12 мг/кг почвы. При этом не стоит забывать, что после уборки основной культуры стебли подсолнечника (с ними в почву возвращается до 90% вынесенного калия) и масса бинарных компонентов поступят в почву и станут источниками основных элементов питания, обеспечив таким образом улучшение питательного режима последующих культур.

Фосфор – элемент питания, который участвует во всех этапах переноса энергии в клетках, в процессах фотосинтеза в листьях, биосинтеза жира в семенах, является структурным элементом нуклеиновых кислот и фосфолипидов. При хорошей обеспеченности растений подсолнечника фосфором в корзинке закладывается больше цветков, снижается количество пустых семян, растения лучше переносят недостаток влаги [298].

По уровню потребления фосфор среди элементов питания занимает третье место после калия и азота (вынос с 1 т маслосемян составляет 20-25 кг), тем не менее отзывчивость подсолнечника на внесение удобрений довольно высока.

Потребление подсолнечником фосфора начинается с появления всходов и достигает максимума в фазе цветения. Недостаток фосфора в этот период отрицательно сказывается на процессах роста и развития растений. Поэтому очень важно при возделывании данной культуры обеспечить ее достаточным количеством доступного фосфора именно на первых этапах развития.

К моменту всходов подсолнечника формирование в почве запасов подвижного фосфора определялось как применяемыми удобрениями, так и приемами обработки почвы, а также их совместным действием.

Представленная на рисунке 54 гистограмма наглядно показывает существенное преимущество вариантов с применением удобрений в формировании запасов фосфора подвижного: обеспеченность данным элементом по сравнению с фоном пожнивно-корневых остатков выше на 8-26 мг/кг почвы.

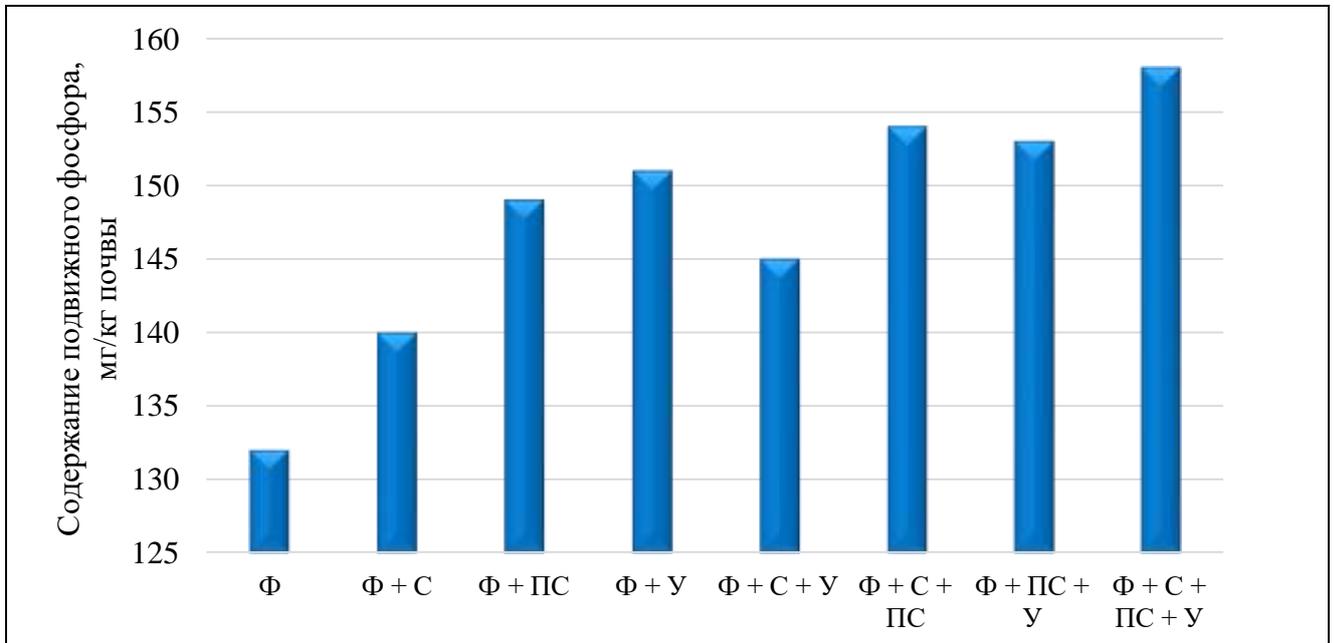


Рисунок 54 – Содержание подвижного фосфора в почве под подсолнечником в зависимости от приемов повышения плодородия почвы (фаза всходов, слой почвы 0-30 см, НСР<sub>05</sub> для фактора В – 3,79 (значимо); 2016-2020 гг., опыт 2)

Несмотря на то, что все изучаемые варианты с применением удобрений характеризуются существенными положительными отклонениями от контроля, в величине этих отклонений имеются достоверные различия между конкретными приемами. Наименьшую прибавку по содержанию в почве подвижного фосфора оказало внесение соломы – 8 мг/кг почвы, при дополнительном применении с которой припосевного минерального удобрения прибавка существенно возросла (на 5 мг/кг почвы) и составила в общей сложности 13 мг/кг почвы.

Совместное применение с соломой пожнивной сидерации характеризовалось еще более существенной прибавкой как по сравнению с применением соломы в чистом виде (на 14 мг/кг почвы), так и по сравнению с вариантом соломы и удобрения (на 9 мг/кг почвы). Кроме того, данный вариант имел достоверные

отклонения (5 мг/кг почвы) и от использования пожнивного сидерата в чистом виде.

Применение минерального удобрения при посеве подсолнечника обеспечило увеличение содержания фосфора подвижного в почве на 19 мг/кг почвы, а его использование в дополнение к органическому удобрению способствовало повышению содержания данного элемента на 4 (пожнивный сидерат) – 5 (солома) мг/кг почвы.

Наибольшая и при этом достоверная по отношению ко всем изучаемым вариантам прибавка в содержании подвижного фосфора в почве характерна для совместного использования соломы, сидерата и минерального удобрения – 26 мг/кг почвы.

Существенное влияние на содержание подвижного фосфора под всходами подсолнечника оказала обработка почвы: при отвальном приеме содержание данного элемента было на 9 мг/кг почвы выше, чем при безотвальном, что является достоверным отклонением ( $НСР_{05} = 2,68$ ).

Достоверность влияния проявило и совместное применение удобрений и обработки почвы (рисунок 55).

Установлено, что проведение вспашки обеспечивает существенно более высокое по сравнению с безотвальным приемом содержание подвижного фосфора в период всходов подсолнечника. Исключение составляют варианты с пожнивно-корневыми остатками (Ф), с соломой (Ф+С), с соломой и удобрением (Ф+С+У) и пожновым сидератом и припосевным удобрением (Ф+ПС+У), где отклонения несущественные.

Таким образом, в начальные фазы развития подсолнечника наиболее высокие запасы подвижного фосфора будут сформированы при совместном использовании соломы ячменя, пожвливной сидерации редьки масличной и припосевного минерального удобрения по фону отвальной обработки почвы – 165 мг/кг почвы.

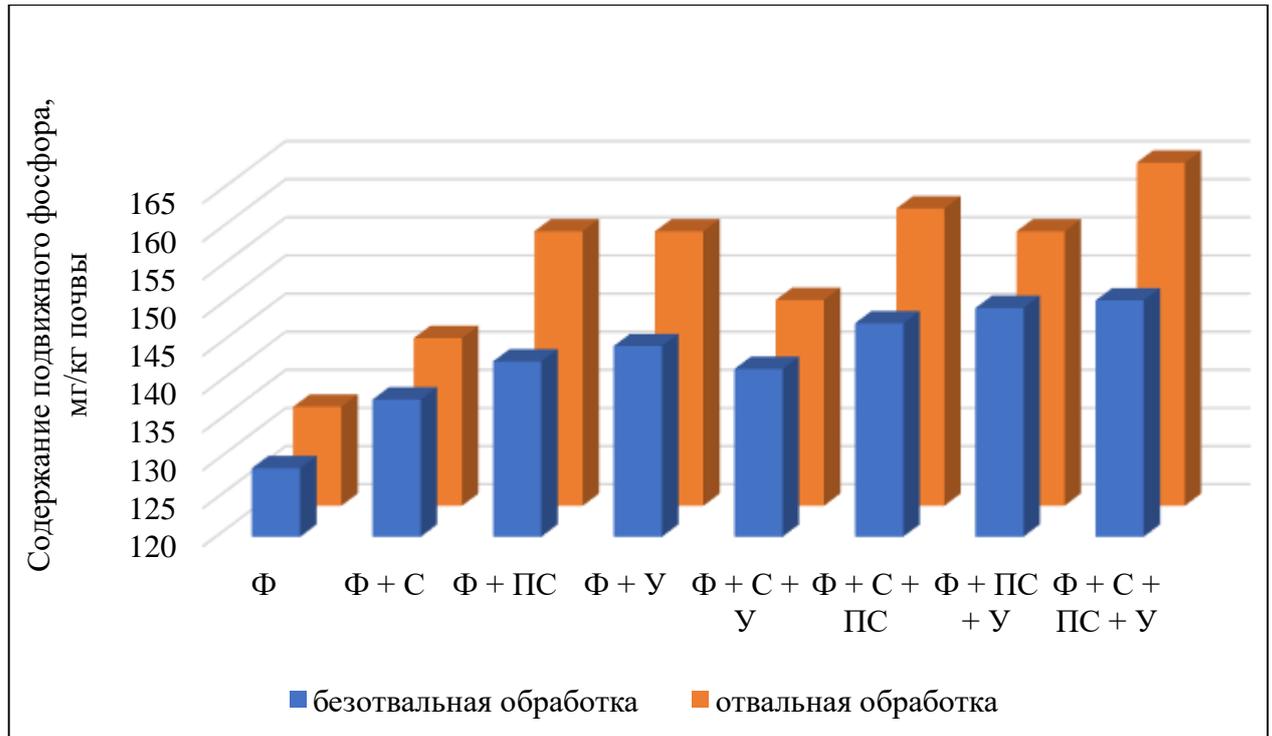


Рисунок 55 – Содержание подвижного фосфора в почве под подсолнечником в зависимости от приемов повышения плодородия (В) и способов основной обработки почвы (С) (фаза всходов, слой 0-30 см, НСР<sub>05</sub> для фактора В+С – 5,37 (значимо), 2016-2020 гг., опыт 2)

В течение вегетационного периода содержание подвижного фосфора в почве снижалось. В зависимости от варианта сокращение его запасов варьировало в пределах 14-37 мг/кг почвы по фону вспашки и 7-17 мг/кг почвы по фону безотвального приема, в результате чего к фазе цветения подсолнечника различия в обеспеченности почвы подвижным фосфором по вариантам обработки почвы сгладились и стали недостоверными (таблица 53).

Существенное влияние на формирование рассматриваемого показателя на этом этапе оказали применяемые удобрения (влияние видов посева подсолнечника в фазе цветения было несущественным), при этом тенденция их влияния, выражающаяся в величине прибавки, была аналогична фазе всходов культуры. Таким образом, и в фазе цветения подсолнечника показатель содержания фосфора подвижного в почве более высоким был на варианте совместного применения соломы, поживного сидерата и минерального удобрения: 140 мг/кг почвы.

Таблица 53 – Содержание подвижного фосфора в почве под подсолнечником в зависимости от приемов повышения плодородия, видов посева и способов основной обработки почвы (слой 0-30 см, 2016-2020 гг., приложения 25-27, опыт 2)

Приемы повышения плодородия почвы (В)	Способы основной обработки (С)	Содержание подвижного фосфора (мг/кг почвы) в различные фазы развития подсолнечника											
		всходы			цветение			полная спелость					
		А	В	С	А	В	С	А	В	С			
Ф	ОС		131	152		119	130		106	105			
	БС			143			131			123			
Ф+С	ОС		140						123			107	
	БС												
Ф+ПС	ОС		149						129			113	
	БС												
Ф+У	ОС		151						133			115	
	БС												
Ф+С+У	ОС		145						128			113	
	БС												
Ф+С+ПС	ОС	154				136			118				
	БС												
Ф+ПС+У	ОС	153				137			119				
	БС												
Ф+С+ПС+У	ОС	158				140			122				
	БС												
Виды посева (А)													
ОП		150			131			113					
БП + Вя		144			128			114					
БП +Эп		150			132			115					
БП + Лс		147			132			114					
НСР <sub>05</sub>		5,37	3,79	2,68	2,87	4,06	2,03	3,04	4,30	2,15			
		значимо	значимо	значимо	значимо	значимо	не значимо	не значимо	значимо	значимо			

В результате дальнейшего произрастания культурных растений потребление подвижного фосфора продолжалось, при этом его интенсивность по сравнению с периодом от полных всходов до полного цветения по фону безотвального

приема несколько снизилась, а по фону отвальной обработки почвы осталась практически без изменений.

Согласно статистической обработке данных формирование запасов данного элемента в фазу полной спелости подсолнечника в зависимости от удобрений и бинарных компонентов культуры не имело достоверных различий, однако как и в ранние фазы развития растения более высокая обеспеченность фосфором подвижным была характерна для вариантов с применением приемов повышения плодородия почвы.

Аналогичная тенденция просматривается и при анализе среднего за вегетацию содержания подвижного фосфора в почве. Так, применение удобрений при бинарном посеве подсолнечника с викой яровой по фону вспашки (по фону безотвальной обработки) обеспечило прибавку в размере 0,8-25,7% (3,4-18,6%), при посеве с эспарцетом – 2,6-18,8 (4,1-16,4%), с люцерной – 4,3-17,9 (3,2-12,9%), а при одновидовом посеве подсолнечника – 4,4-23,7% (8,8-12%).

Таким образом, по всем вариантам посева подсолнечника как в среднем за вегетацию, так и в отдельные фазы развития наиболее высокая обеспеченность фосфором подвижным характерна для совместного применения соломы, пожнивной сидерации и припосевного минерального удобрения. Интенсивное потребление подвижного фосфора на вариантах бинарных посевов связано не только с потребностями подсолнечника, но и его бинарных компонентов – бобовых трав, характеризующихся выносом данного элемента в размере 1,1-1,5 кг/т зеленой массы. Наиболее оптимальным является проведение под подсолнечник отвальной обработки, позволяющей в начальные фазы развития культур сформировать в почве достаточный запас доступного фосфора.

#### **4.4. Содержание в почве растительных остатков, детрита и гумуса**

Современный этап развития земледелия все больше характеризуется развитием направления, ориентированного не только на получение высоких урожаев сельскохозяйственных культур хорошего качества, но и на сохранение и

повышение плодородия почвы. Широкое применение минеральных удобрений хорошо решает первую задачу, но снижение почвенного плодородия по причине уменьшения содержания в почвах органического вещества по-прежнему остается серьезной проблемой. Поэтому в условиях широкого применения различных средств интенсификации все большую заботу вызывает необходимость обеспечения устойчивого и стабильного развития и функционирования агроэкосистем, которое возможно путем освоения агротехнологий с применением приемов биологизации, что позволит в условиях высокоинтенсивного земледелия ослабить экологические проблемы, а в экономически слабых хозяйствах – создать условия для повышения продуктивности агроценозов.

При направленном на биологизацию подходе к земледелию особое внимание должно уделяться развитию процессов превращения, аккумуляции и передачи энергии и веществ, составляющих основу плодородия, тесно связанных с ее структурой, содержанием элементов питания, кислотно-поглощательной способностью, биологической активностью и фитосанитарным состоянием почвы [292]. Важное место в этом занимают растительные остатки возделываемых сельскохозяйственных растений, содержание которых в почве играет значимую роль в формировании бездефицитного баланса гумуса.

Масса выхода растительных остатков зависит как от культуры, так и от ее урожайности, которая определяется условиями возделывания. В рамках научного исследования по выявлению зависимости плодородия почвы и урожайности культур от различных приемов повышения плодородия почвы было установлено их достоверное влияние на рассматриваемые показатели (рисунок 56).

Как при отвальной, так и при безотвальной обработках наименьшая масса растительных остатков в почве была отмечена при поступлении в нее пожнивно-корневых частей предшественника подсолнечника – ячменя (4,18...4,35 т/га).

Дополнительное к пожнивно-корневому фону использование в качестве источника органического вещества соломы ячменя, а также зеленой массы пожнивного сидерата сопровождалось существенным увеличением рассматриваемого показателя. В среднем за период научных исследований заделка в почву

соломы по фону пожнивно-корневых остатков ячменя обеспечила увеличение массы растительных остатков на 0,36...0,33 т/га, или на 8,6...7,6%. Более существенная прибавка отмечалась на варианте применения пожнивного сидерата редьки масличной: при отвальной обработке почвы под подсолнечник она составила 0,54 т/га (12,9%), а при безотвальной обработке – 0,47 т/га (10,8%).

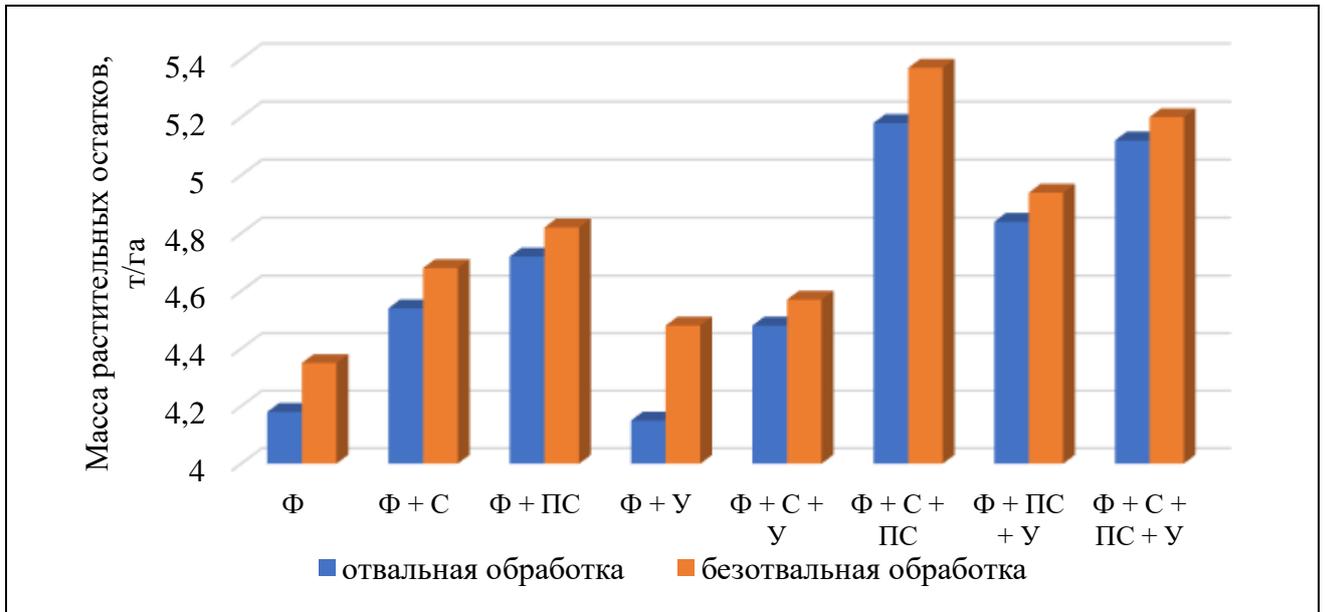


Рисунок 56 – Масса растительных остатков в почве под подсолнечником в зависимости от приемов повышения плодородия и способов основной обработки почвы (слой почвы 0-30 см,  $НСР_{05} = 0,13$  (значимо:  $F_{\phi} = 2,20 > F_{05}$ ), 2016-2020 гг., опыт 2)

Совместное использование в качестве удобрения соломы зерновой культуры и сидеральной массы обеспечило увеличение массы растительных остатков в почве по сравнению с фоном пожнивно-корневых остатков – на 1,0...1,02 т/га (на 23,9...23,4%), по сравнению с использованием только соломы – на 0,64...0,69 (на 14,1...14,7%), по сравнению с пожнивной сидеральной массой в чистом виде – на 0,46...0,55 т/га (на 9,7...11,4%).

Применение припосевного минерального удобрения независимо от способа основной обработки почвы, а также независимо от варианта применения (по фону пожнивно-корневых остатков, по фону соломы, по фону пожнивной сиде-

рации, а также по фону их совместного использования) не сопровождается достоверным изменением массы растительных остатков в почве, что объясняется слишком коротким периодом между применением приема и проведением анализа.

В итоге, при возделывании подсолнечника с применением приемов биологизации как в чистом виде, так и при совместном использовании с приемами интенсификации обеспечивается существенное увеличение массы растительных остатков в 30-сантиметровом слое почвы, при этом данная тенденция отмечается не только в среднем за период исследования, но и в отдельные годы (приложение 28).

Значимое влияние на формирование массы растительных остатков в почве под подсолнечником оказали не только изучаемые приемы повышения плодородия почвы, но и способы ее основной обработки. Преимущество в этом отношении остается за безотвальными приемами и выражается в более высоких по сравнению со вспашкой значениях показателя: превышение колеблется от 0,08 до 0,33 т/га. Данная особенность связана с замедлением процессов разложения растительных остатков при проведении безотвальной обработки почвы при помощи орудия топ-даун.

Тем не менее скорость разложения растительных остатков играет важную роль в формировании почвенного плодородия: чем быстрее оно будет протекать, тем быстрее будут высвобождены основные микро- и макроэлементы для питания растений, тем быстрее продукты разложения вступят в процессы гумусообразования.

Темпы деструкции растительной массы, как отмечалось ранее, зависят от целого ряда факторов, в том числе и от ее химического состава: чем уже соотношение углерода к азоту, тем более доступными для разложения являются растительные остатки. Химический состав растительных остатков сельскохозяйственных культур уже неоднократно определялся различными исследованиями, в том числе и нашей работой (опыты 3, 6, 7), где мы получили очередное подтверждение высокого содержания углерода и низкого содержания азота в соломистых

остатках ячменя и подсолнечника, что и определило широкое соотношение между этими двумя элементами: соответственно 83:1 и 93:1 (таблица 54).

Таблица 54 – Химический состав растительных остатков культур (опыт 2)

Растительная масса культур	Содержание, %				Соотношение С : N
	С	N	P	K	
Ячмень (Яч)	48	0,58	0,27	1,10	83
Подсолнечник (П)	38	0,41	0,31	1,05	93
Редька масличная (Рм)	40	0,75	0,20	0,84	53
Вика яровая (Вя)	46	1,23	0,24	0,57	37
Эспарцет песчаный (Эп)	35	1,46	0,28	1,35	24
Ячмень + редька (Яч+Рм)	42	0,77	0,31	1,19	55
Подсолнечник + вика (П+Вя)	41	0,53	0,28	1,00	77
Подсолнечник +эспарцет (П+Эп)	40	0,58	0,30	1,05	69
НСР <sub>05</sub>	2,7	0,04	0,03	0,05	

Отсюда и низкие темпы разложения растительных остатков этих культур в первый год – 28 и 42% (рисунок 57).

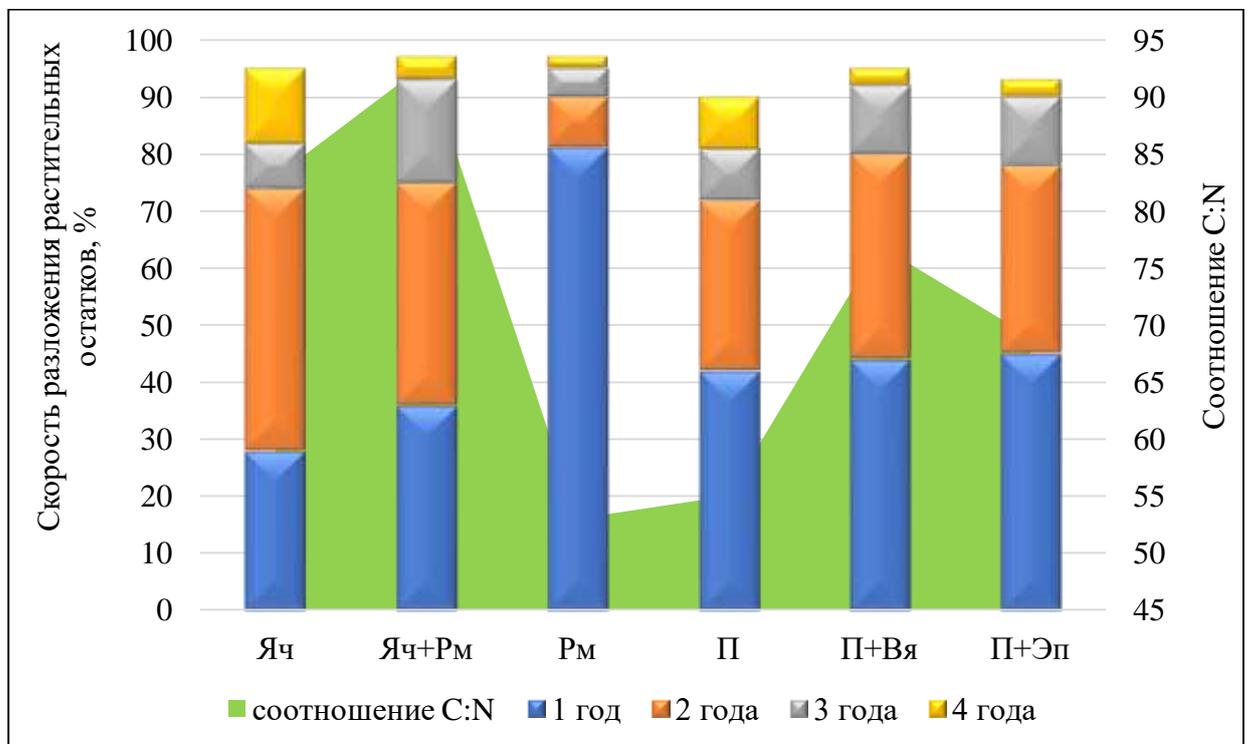


Рисунок 57 – Скорость разложения растительных остатков культур в зависимости от соотношения в них С:N (НСР<sub>05</sub> для 1-го года – 1,94, для 2-го года – 2,75, для 3-го года – 4,25, для 4-го года – 1,79; опыт 2)

Последующее после уборки ячменя возделывание в качестве поживной сидеральной культуры редьки масличной, растительная масса которой характеризуется более узким соотношением углерода к азоту (53:1) и довольно высокими темпами деструкции (81% в первый год), способно ускорить разложение солоmistых остатков в 1,5 раза.

Аналогичное наблюдение отмечалось и в отношении растительной массы подсолнечника, разложение которой существенно ускорилось при ее заделке совместно с биомассой бобовых трав (вики и эспарцета) – бинарных компонентов масличной культуры, имеющих из изучаемых растений самое узкое соотношение углерода к азоту – соответственно 37 и 24, и характеризующихся высокими темпами разложения в первый год: 67 и 55% (приложение 29).

Результаты микроделяночного опыта 7 показали, что на второй год темпы деструкции растительных остатков снизились, что говорит о сокращении доли азотсодержащих частей растений в общей растительной массе. По сравнению с первым годом разложение биомассы подсолнечника в чистом виде замедлилось на 12 абс.%, а в ее смеси с бобовыми травами – на 8 и 12 абс.%.

Исключение составляют солоmistые остатки ячменя: низкие темпы разложения в первый год определялись невысокой долей азотсодержащего материала, а резкий скачок во второй год – в прохождении подготовительного этапа к разложению в начальный период.

В результате за второй год разложение растительных остатков ячменя по отношению к первому году составило 164% на варианте одновидовых растительных остатков и 108% – на варианте совместного использования соломы и сидеральной массы редьки масличной.

Третий год характеризовался всеобщим замедлением разложения, т.к. оставшиеся растительные остатки были представлены в основном трудноразлагаемым высокоуглеродистым материалом: в 5,7 раз снизилась скорость разложения соломы ячменя, в 3,3 раза – остатков подсолнечника. Менее выраженным было замедление процессов деструкции смеси растительных остатков, в результате чего за рассматриваемый период их разложилось от 12 до 18%.

В течение четвертого года процент разложения растительных остатков был минимальным и варьировал от 3 до 9%. И только на варианте с соломой ячменя снова, как и во второй год наблюдений, отмечается рост темпов разложения по сравнению с предыдущим периодом (на 5 абс.%) в результате прохождения промежуточных этапов распада.

Таким образом, в течение 4-х лет растительные остатки ячменя разложились на 95%, несколько хуже протекал процесс разложения подсолнечника – 90%, совместное же использование высокоуглеродистых растительных остатков с богатыми азотом позволило увеличить объем разложения до 93-97%.

При возделывании культурных растений наибольший интерес имеет разложение растительных остатков в первые два года. По этому критерию биомассы изучаемых культур можно разместить в следующей последовательности: подсолнечник (72%) – ячмень (74%) – ячмень + редька масличная (75%) – подсолнечник + эспарцет (78%) – подсолнечник + вика яровая (80%).

Поступающие в почву растительные остатки, их химический состав и скорость разложения, зависящие от приемов повышения плодородия почвы и ее обработки, определяют содержание в почве детрита (приложение 30-31).

На момент всходов подсолнечника содержание лабильного органического вещества в слое почвы 0-30 см находилось в существенной зависимости в основном только от изучаемых приемов повышения плодородия почвы, т.к. виды посева подсолнечника не оказывали в это время никакого влияния, а обработка почвы влияла не на массу растительных остатков, а на их распределение по почвенному профилю (таблица 55).

В ходе исследования было установлено, что содержание детрита имело сильную прямую корреляционную зависимость от массы растительных остатков в почве:  $r = 0,732$  (рисунок 58).

Таблица 55 – Содержание детрита в почве под подсолнечником в зависимости от приемов повышения плодородия, видов посева и способов основной обработки почвы (слой почвы 0-30 см, 2016-2020 гг., опыт 2)

Приемы повышения плодородия почвы (В)	Способы основной обработки почвы (С)	Содержание детрита в почве (%) в различные фазы развития подсолнечника						
		всходы			полная спелость			
		А	В	С	А	В	С	
Ф	ОС		0,292	0,306		0,292	0,305	
	БС			0,307			0,303	
Ф+С	ОС		0,303				0,301	
	БС							
Ф+ПС	ОС		0,312				0,312	
	БС							
Ф+У	ОС		0,297				0,287	
	БС							
Ф+С+У	ОС		0,301				0,296	
	БС							
Ф+С+ПС	ОС		0,311				0,311	
	БС							
Ф+ПС+У	ОС		0,313				0,310	
	БС							
Ф+С+ПС+У	ОС	0,322			0,324			
	БС							
Виды посева (А)								
ОП		0,298			0,296			
БП + Вя		0,307			0,307			
БП +Эп		0,307			0,308			
БП + Лс		0,313			0,306			
НСР <sub>05</sub>		0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	
		значимо	значимо	не значимо	значимо	значимо	значимо	

Действительно, использование при возделывании подсолнечника в качестве источника органического вещества соломы ячменя и пожнивного сидерата как совместно, так и в виде самостоятельных приемов способствовало формированию значительно более высоких запасов детрита в почве по сравнению с вариантом пожнивно-корневых остатков (рисунок 59). Применение удобрений не обеспечило существенной прибавки детрита в почве, т.к. влияние данного фактора еще не проявилось.

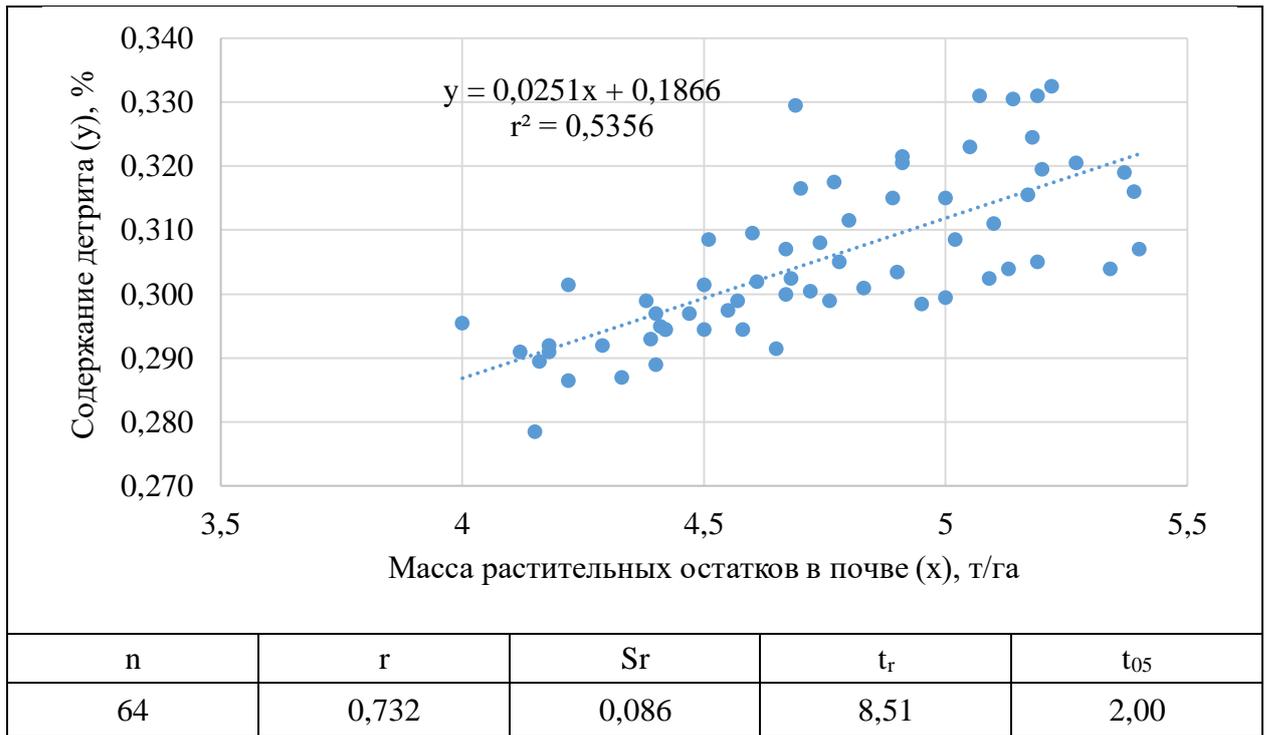


Рисунок 58 – Зависимость содержания детрита в слое почвы 0-30 см от массы растительных остатков

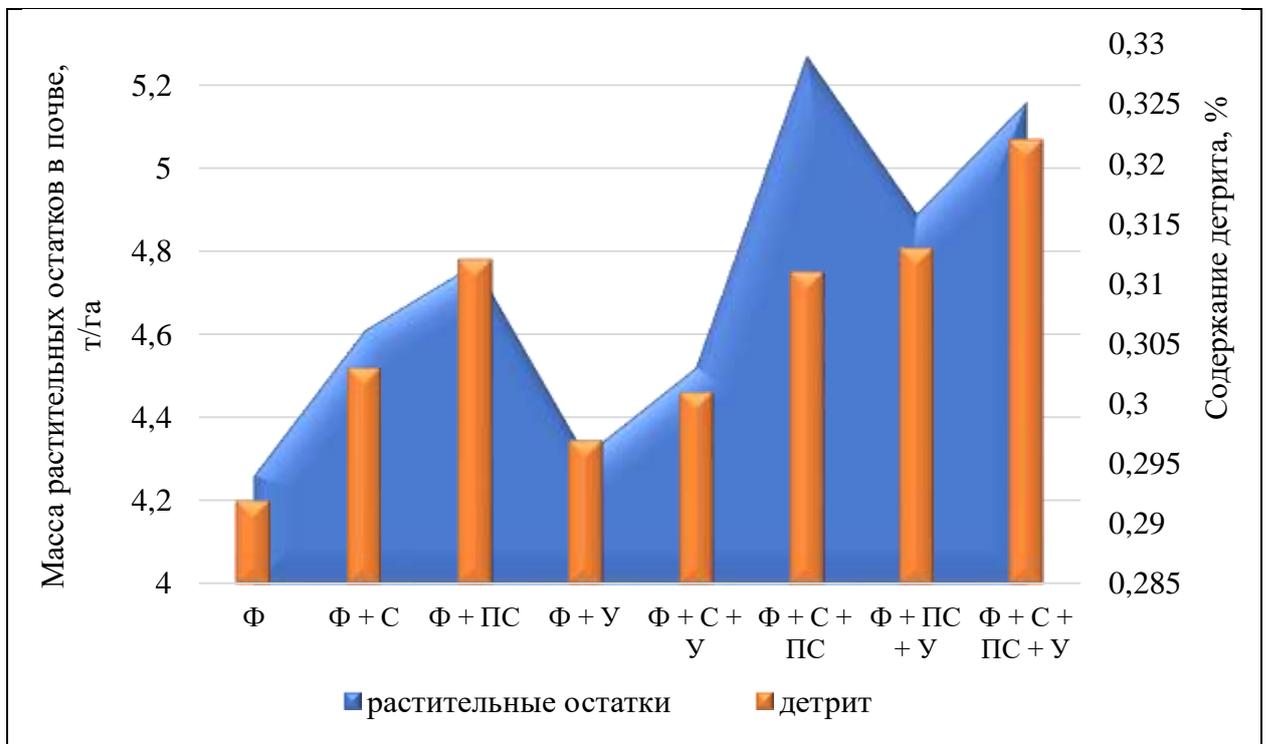


Рисунок 59 – Содержание детрита в почве под подсолнечником в зависимости от приемов повышения плодородия почвы и массы растительных остатков (слой почвы 0-30 см, 2016-2020 гг., опыт 2)

Важное значение в формировании запасов детрита имеет плотность почвы, определяющая условия для протекающих в почве процессов разложения растительных остатков. Установлено, что переход от отвальной обработки почвы к безотвальным приемам сопровождался увеличением силы зависимости между этими показателями от -0,564 до -0,750.

В результате проведенного статистического анализа была получена 3D-модель зависимости содержания детрита в почве от содержания в почве растительных остатков и плотности почвы (рисунок 60).

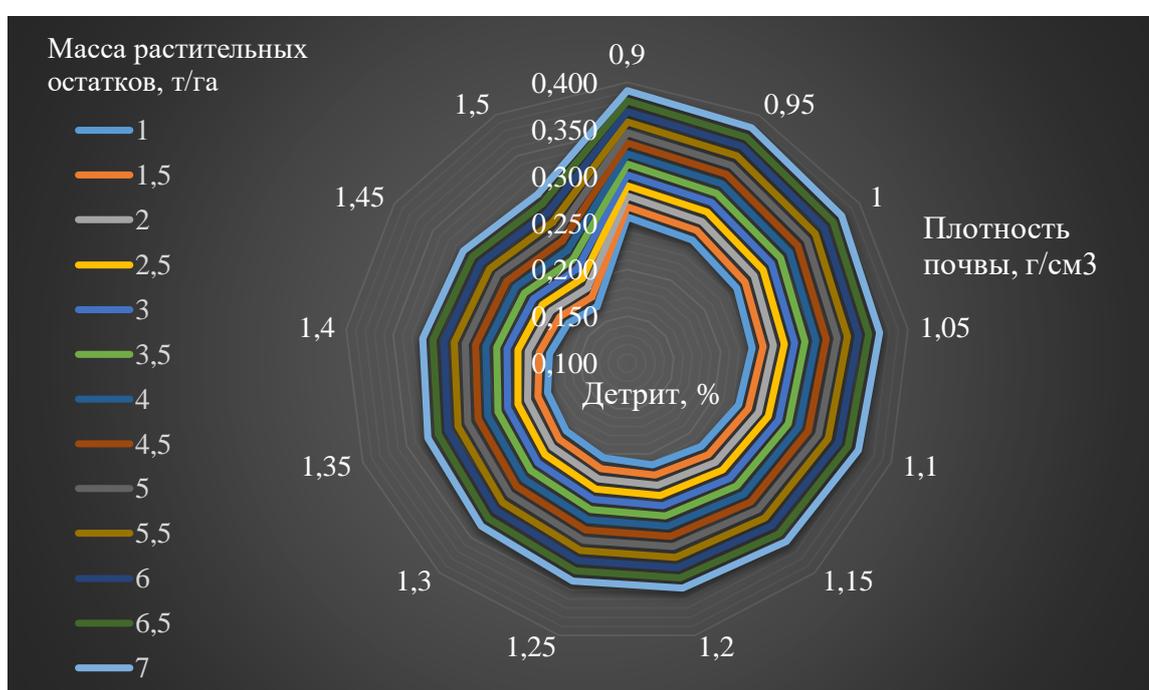


Рисунок 60 – 3D-модель зависимости содержания детрита в слое почвы 0-30 см от массы растительных остатков и плотности почвы

Уравнение зависимости:  $y = -0,14593x_1 + 0,022617x_2 + 0,36456$  ( $R^2=0,6$ ), где  $x_1$  – плотность 30-сантиметрового слоя почвы,  $x_2$  – масса растительных остатков в слое почвы 0-30 см.

В течение вегетационного периода культур содержащийся в почве детрит подвергался дальнейшим процессам разложения, что в большинстве случаев сопровождалось сокращением его запасов. Независимо от вида посева подсолнечника это было характерно для вариантов с применением минерального удобрения по фону пожнивно-корневых остатков. Влияние на динамику детрита совместного

использования минеральных и органических удобрений, а также органических удобрений в чистом виде в различных посевах подсолнечника проявлялось неоднозначно, что не позволило выявить какой-то четкой закономерности.

Формирование запаса лабильного органического вещества в фазе полной спелости подсолнечника определялось влиянием как приема повышения плодородия почвы, так и бинарного компонента, что подтверждается результатами статистической обработки (см. таблицу 55). Если при одновидовом посеве среднее содержание детрита в почве составило 0,296%, то при бинарном посеве с виковой яровой – 0,307, а с эспарцетом песчаным – 0,308% (превышение статистически достоверно). Прибавка на варианте совместного посева подсолнечника и люцерны синей (0,01%) оказалась равной рассчитанному значению НСР.

Влияние приема повышения плодородия почвы выражалось в существенно более высоком по сравнению с контролем (фон: пожнивно-корневые остатки) содержании детрита на вариантах с пожнивной сидерацией. При применении редьки масличной в чистом виде прибавка составила 0,020 абс.%, при ее совместном использовании с соломой – 0,019 абс.%, с удобрением – 0,018 абс.%, а с соломой и удобрением – 0,032 абс.%. При этом существенным преимуществом характеризуется вариант полного комплекса изучаемых приемов (Ф + С + ПС + У), что на фоне сравнительно более высокого поступления в почву массы растительных остатков объясняется ускорением темпов их разложения под влиянием минерального удобрения. Варианты с соломой, с соломой и удобрением и удобрением не имели существенных отклонений от контроля.

Замена отвальной обработки почвы безотвальным приемом, несмотря на более высокое содержание растительных остатков в почве в фазе всходов подсолнечника, при общем рассмотрении привела к существенному снижению содержания в почве детрита в результате более медленных темпов деструкции.

Таким образом, существенно более высокое содержание детрита в 30-сантиметровом слое почвы в фазе полной спелости подсолнечника было отмечено на всех вариантах бинарных посевов культуры при применении органо-мине-

ральной системы удобрений (солома ячменя + пожнивный сидерат + припосевное удобрение). Так, под бинарными посевами с викой при данной системе повышения плодородия почвы прибавка по сравнению с контролем составила 0,048 абс.% (по фону вспашки), при посевах с эспарцетом – 0,054 (вспашка)...0,044 абс.% (безотвальная обработка), а при использовании люцерны в качестве компонента совместного посева – соответственно 0,050 и 0,042 абс.%.

Оптимальным с точки зрения сохранения и повышения запасов в почве лабильного органического вещества является бинарный посев подсолнечника с эспарцетом по фону совместного использования соломы ячменя, пожнивной сидерации и припосевного удобрения при проведении под культуру отвальной обработки почвы. Характеризуется высоким содержанием в почве растительных остатков в начале вегетационного периода культуры (5,12т/га), сравнительно более высокими темпами их разложения в первый год (36%), высокими темпами разложения растительной массы послеуборочных остатков бинарного посева подсолнечника (45%) и высоким содержанием детрита как в фазе полной спелости культуры (0,337%), так и в среднем за вегетационный период (0,331%).

Поступающие в почву растительные остатки являются основными источниками элементов питания для растений, поэтому важное значение имеет не только их масса и скорость разложения, но и содержание в них азота, фосфора и калия. Согласно представленной в таблице 54 информации, растительные остатки возделываемых в опыте культур наиболее богаты калием: его содержание варьирует от 0,57 (вика яровая) до 1,10% (солома ячменя).

По содержанию в растительных остатках азота их можно разместить в следующем порядке: с высоким содержанием (более 1,0%: яровая вика и эспарцет) – со средним содержанием (от 0,5 до 1,0%: редька масличная, ячмень) – с низким содержанием (менее 0,5%: подсолнечник). Смешивание этих остатков не обеспечивает существенного увеличения содержания данного элемента в растительной массе.

Фосфор содержится в биомассе в небольших количествах, которое варьирует от 0,20 до 0,28%. Наиболее богата фосфором растительная масса подсолнечника и эспарцета, а наиболее бедна – растительная масса редьки масличной. Аналогично выше рассмотренным показателям смешивание растительных остатков не существенно улучшало их качественный состав относительно содержания фосфора.

Сформированная под влиянием различных приемов повышения плодородия почвы масса детрита характеризуется существенными отклонениями в обеспеченности основными элементами питания (приложение 32).

На всех вариантах посева подсолнечника изучаемые приемы способствовали формированию детрита с более высоким содержанием азота, чем по фону пожнивно-корневых остатков (Ф). Превышение варьировало на одновидовых посевах от 0,06 до 0,26 абс.%, на бинарных посевах с викой – от 0,04 до 0,14, на бинарных посевах с эспарцетом – от 0,07 до 0,14 абс.%. Формирование детрита с тем или иным содержанием азота зависело не только от вида поступающих в почву растительных остатков и их химического состава, но и от вида посева подсолнечника. Так, возделывание масличной культуры в совместных посевах с викой яровой обеспечило увеличение содержания азота в детрите по сравнению с соответствующими вариантами одновидового посева на 0,04-0,11 абс.%. На варианте бинарного посева с эспарцетом данное превышение было более выраженным и составило 0,13-0,16 абс.%. Комбинации приемов повышения плодородия почвы под совместными посевами культур не оказали достоверного влияния на обогащение детрита азотом.

По сравнению с фоном пожнивно-корневых остатков содержание углерода в детрите под всеми видами посевов подсолнечника было существенно выше на варианте применения соломы ячменя (на 0,3...0,6 абс.%), на варианте применения соломы и удобрений (на 0,3...0,4 абс.%), а также при применении пожнивного сидерата и удобрения (на 0,3-0,5 абс.%). В результате на этих вариантах детрит характеризовался довольно широким соотношением углерода к азоту, что

замедляло темпы его минерализации. Наиболее высокое значение С:N было характерно для варианта применения соломы в чистом виде: 86:1 – при одновидовом посеве, 72:1 – при бинарном посеве с викой и 75:1 – при бинарном посеве с эспарцетом. Наименьшее соотношение между данными элементами было при одновидовом посеве и совместном с викой по фону совместного использования соломы и пожнивного сидерата (56:1), а на бинарных посевах с эспарцетом – по фону совместного использования соломы, пожнивного сидерата и удобрения (55:1).

Влияние изучаемых приемов повышения плодородия почвы на содержание в детрите калия выразилось в его существенной прибавке, которая при одновидовом посеве подсолнечника составила 0,1-0,4 абс.% (исключение оставляют варианты Ф+С+У и Ф+С+ПС+У, где изменение не отмечены, и вариант Ф+ПС+У со существенно более низким содержанием калия), при бинарном посеве с викой – 0,1-0,23 абс.%, при бинарном посеве с эспарцетом – 0,08-0,13 абс.% (исключения составляют не имеющие существенных отклонений варианты Ф+С, Ф+С+ПС и Ф+ПС+У).

Содержание в детрите фосфора практически не имело существенных различий по изучаемым вариантам.

Таким образом, 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.%). Наиболее оптимальное соотношение С:N было свойственно для бинарного посева с викой яровой по фону совместного использования соломы и пожнивного сидерата (56:1) и для бинарного посева с эспарцетом по фону совместного использования соломы, пожнивного сидерата и удобрения (55:1).

В почве одновременно протекают два противоположных процесса – минерализация и гумификация. При внесении в почву свежего органического вещества 70-80% его массы минерализуется в течение 2 лет, остальные 20-30% подвергаются гумификации. Собственно гумус также минерализуется, хотя и значительно медленнее, теряя в среднем 1,5-2,0% исходных запасов в год.

Изучаемые приемы повышения плодородия почвы оказали достоверное влияние на содержание гумуса в 30-сантиметровом слое почвы под посевами подсолнечника в фазу его полной спелости (таблица 56).

Таблица 56 – Содержание гумуса в почве под подсолнечником в зависимости от приемов повышения плодородия, видов посева и способов основной обработки почвы (2016-2020 гг., опыт 2, приложение 33)

Приемы повышения плодородия почвы (В)	Способы основной обработки почвы (С)	Содержание гумуса в почве (%)		
		А	В	С
Ф	ОС		5,04	5,07
	БС			5,05
Ф+С	ОС		5,06	
	БС			
Ф+ПС	ОС		5,06	
	БС			
Ф+У	ОС		5,03	
	БС			
Ф+С+У	ОС		5,09	
	БС			
Ф+С+ПС	ОС		5,06	
	БС			
Ф+ПС+У	ОС	5,07		
	БС			
Ф+С+ПС+У	ОС	5,06		
	БС			
Виды посева (А)				
ОП		5,02		
БП + Вя		5,06		
БП +Эп		5,07		
БП + Лс		5,08		
НСР <sub>05</sub>		0,03	0,04	0,02
		значимо	значимо	не значимо

Значимость данного влияния в первую очередь была определена применяемыми удобрениями (фактор В): максимальная прибавка показателя была характерна для варианта совместного использования соломы и припосевного минерального удобрения, которая составила 0,05 абс.%. Влияние данного фактора

проявилось не только в чистом виде, но и в комплексе со способом обработки почвы: при отвальной обработке данный вариант также характеризовался более высоким (на 0,06 абс.%) по сравнению с контролем содержанием гумуса в почве.

На варианте Ф и Ф+У в биологический круговорот органического вещества включена только корневая часть растений и стерня, а на всех остальных и корневая, и надземная масса. В результате на таких вариантах количество новообразованного гумуса бывает меньше, и оно не может восполнить расхода гумуса в результате его минерализации. При недостатке энергетического материала, представленного лишь корневой системой культурных растений, микроорганизмы в качестве его источника используют почвенный гумус, что снижает его содержание в почве.

Существенному увеличению содержания гумуса в почве (на 0,04-0,06 абс%) способствовало использование при посеве подсолнечника бинарного компонента (фактор А).

Способ обработки почвы (фактор С) не оказал значимого влияния на содержание гумуса в почве, однако именно по фону вспашки были получены наиболее высокие показатели. Проанализировав полученные в ходе анализов данные, можно отметить следующую тенденцию: переход на безотвальные приемы обработки почвы приводит к снижению содержания гумуса в 30-сантиметровом слое почвы.

Таким образом, наиболее высокие запасы гумуса в почве были характерны для бинарных посевов подсолнечника по фону вспашки: с викой яровой и эспарцетом – при совместном применении соломы ячменя и припосевного удобрения (соответственно 5,17 и 5,13%), с люцерной – по фону использования соломы совместно с пожнивным сидератом (5,16%).

Согласно теоретическим данным наиболее высоким коэффициентом гумификации характеризуется солома зерновых культур (0,30), а наименьшим – зеленая масса сидерата (0,0225) [121]. Если коэффициент гумификации органического вещества навоза принять за 1, то для зеленого удобрения он составит 0,4, в результате чего на фоне высокой степени минерализации сидеральной массы

из органического вещества зеленого удобрения образуется меньше гумуса, чем из того же количества органического вещества навоза. Основным приемом улучшения условий образования гумуса из зеленого удобрения в данном случае является увеличение массы сидерата.

Таким образом, задача регулирования баланса гумуса может быть решена посредством выполнения двух условий: во-первых, увеличением поступления в почву свежего органического вещества; во-вторых, применением приемов, уменьшающих минерализацию органического вещества почвы.

Применяемые приемы повышения плодородия почвы оказали благоприятное влияние на содержание гумуса в почве не только под посевами масличной культуры, но и в целом в звене севооборота.

Проведение отвальной обработки почвы под подсолнечник и использование в качестве приема повышения плодородия почвы только пожнивно-корневых остатков ячменя в звене севооборота с чистым паром (зернопаропропашном) обеспечило к концу периода исследования формирование 5,05% гумуса (таблица 57). Введение в севооборот эспарцета и вики яровой в качестве бинарных компонентов подсолнечника и их дальнейшее использование в качестве парозанимающих культур обеспечило увеличение запасов гумуса в почве соответственно до 5,09 и 5,16%.

Дополнительное применение пожнивной сидерации, соломы ячменя, а также их совместное использование обеспечили прибавку в содержании гумуса по сравнению с фоном пожнивно-корневых остатков, которая в условиях вспашки в сидеральном звене составила 0,02 абс.%. В зернопропашном звене прибавка отмечена только по фону использования соломы совместно с поживным сидератом (Ф+С+ПС) – 0,04 абс.%.

Влияние совместного применения биологических приемов и минеральных удобрений на содержание в почве гумуса характеризовалось следующей закономерностью: наибольшая прибавка значения данного показателя отмечена при бинарных посевах культуры. Если в зернопаропропашном звене совместное применение припосевного удобрения и приемов биологизации не оказало влияния

на содержание гумуса в почве или сопровождалось его увеличением максимум на 0,1 абс.%, то в биологизированных звеньях прибавка составила 0,05 абс.% в сидеральном звене (Ф+С+У и Ф+С+ПС +У) и 0,03 абс.% в зернопропашном звене (Ф+С+У и Ф+С+ПС+У).

Таблица 57 – Содержание гумуса в почве различных звеньев севооборота в зависимости от приемов повышения плодородия и способов основной обработки почвы (слой почвы 0-30 см, 2016-2020 гг., опыт 2)

Приемы повышения плодородия почвы (В)	Содержание гумуса в различных звеньях севооборота (А) по фону отвальной/безотвальной обработки почвы (С), %					
	зернопропашное		Сидеральное (эспарцет)		Зернопропашное (вика)	
Ф	5,05/5,03		5,09/5,03		5,16/5,11	
Ф+ С	5,06/5,07		5,11/5,04		5,16/5,12	
Ф + ПС	5,06/5,05		5,11/5,03		5,16/5,12	
Ф + У	5,04/5,03		5,11/5,03		5,13/5,12	
Ф + С + У	5,06/5,04		5,14/5,05		5,19/5,12	
Ф + С + ПС	5,06/5,04		5,11/5,05		5,20/5,12	
Ф + ПС + У	5,04/5,03		5,13/5,05		5,13/5,10	
Ф + С + ПС + У	5,05/5,03		5,14/5,06		5,19/5,14	
НСР <sub>05</sub> для фактора:	А	В	С	А+В	А+С	В+С
0,09	0,02 (значимо)	0,03 (не значимо)	0,04 (значимо)	0,04 (значимо)	0,07 (значимо)	0,06 (значимо)

Замена отвальной обработки почвы под подсолнечник на безотвальный прием характеризуется сохранением установленной закономерности.

Таким образом, применение только биологических приемов при возделывании подсолнечника в рассматриваемых звеньях севооборота характеризуется увеличением содержания гумуса в почве по сравнению с фоном пожнивно-корневых остатков на 0,01-0,04 абс.%, а их совместное применение с припосевным минеральным удобрением – на 0,01-0,05 абс.%.

#### 4.5. Токсичность почвы

Одним из важных биологических свойств почвы, оказывающим непосредственное влияние на рост и развитие растений, является ее токсичность, обусловленная накоплением в почве образующихся при разложении растительных остатков токсинов, продуктов анаэробного метаболизма, которые могут быть представлены как летучими выделениями отмерших тканей (миазминами), так и водорастворимыми посмертными выделениями (сапролинами) [106, 232].

Вещества, обуславливающие влияние одних растений на другие, – колины – чаще всего представляют собой смесь разнообразных соединений: спиртов, органических кислот, альдегидов, кетонов, фенолов, алкалоидов, флавоноидов, кумаринов и т.д. При этом характер их влияния на растения неоднороден: при высоких концентрациях они проявляют ингибирующий эффект, а при низких – стимулирующий [232].

Интенсивность и характер проявления действия колинов зависят от количества и качественного состава растительных остатков в почве, что определяет изменение активности выделяемых в почву сапролинов по мере их разложения [202].

Нами было установлено, что почвы под посевами подсолнечника при возделывании его в севообороте независимо от способа основной обработки почвы, но в зависимости от вида применяемых удобрений, относятся к V (норма) и IV (низкая токсичность) классу токсичности (по шкале Кабирова и др., 1997 [180] в модификации Багдасаряна, 2005[25]) [406] (таблица 58, приложение 34).

По сравнению с фоном пожнивно-корневых остатков заделка в почву соломы ячменя посредством проведения как отвального, так и безотвального приемов вызывает увеличение токсичности почвы на 2,2 и 2,4 абс.%, что эквивалентно повышению содержания водорастворимых колинов в условно кумариновых единицах (УКЕ) на 9,0 и 12,4 отн.% до максимальных в опыте значений – 15,6 и 16,3 (таблица 58). Дополнительное к соломе внесение припосевного минерального удобрения позволило на 1,4 и 2,3 единицы снизить токсичность почвы,

но стоит отметить, что в обоих случаях фиксируется только тенденциозная направленность, статистическая достоверность отклонений не подтверждена.

Таблица 58 – Токсичность почвы под подсолнечником в зависимости от приемов повышения плодородия и способов основной обработки почвы (фаза – всходы, 2016-2019 гг., опыт 2)

Приемы повышения плодородия почвы (В)	Токсичность почвы по фону способов основной обработки почвы (С)					
	Отвальная обработка			Безотвальная обработка		
	%	УКЕ*	ИТ**	%	УКЕ	ИТ
Ф	12,7	14,3	0,87	12,9	14,5	0,87
Ф + С	14,9	15,6	0,85	15,3	16,3	0,85
Ф + ПС	5,4	10,5	0,95	5,4	10,5	0,95
Ф + У	8,7	12,1	0,91	8,2	11,8	0,92
Ф + С + У	12,6	14,2	0,87	12,2	14,0	0,88
Ф + С + ПС	8,2	11,8	0,92	8,5	11,9	0,92
Ф + ПС + У	4,5	10,2	0,96	5,0	10,4	0,95
Ф + С + ПС + У	6,5	10,9	0,94	6,3	10,8	0,94
НСР <sub>05</sub>	5,45 для токсичности в % (не значимо)					
Фактор В	3,85 (значимо)					
Фактор С	1,93 (не значимо)					

Примечание: \*УКЕ – условно кумариновые единицы, ИТ – индекс токсичности

Математически доказано, что существенное влияние на снижение токсичности почвы по сравнению с другими изучаемыми видами удобрений оказывает пожнивная сидерация. Применение зеленого удобрения в чистом виде снижает токсичность почвы по сравнению с фоном поживно-корневых остатков в 2,3...2,4 раза, совместно с припосевным удобрением – в 2,8...2,6 раза, в случае совместного применения всех изучаемых удобрений – в 1,9...2 раза.

Влияние обработки почвы на показатель токсичности не достоверно.

Таким образом, введение в севооборот поживной сидерации под посев подсолнечника обеспечивает существенное снижение токсичности почвы к фазе всходов культуры.

Неоднородность влияния приемов повышения плодородия почвы на ее токсичность просматривается и в течение вегетации подсолнечника: применение

соломы и удобрений (Ф+С, Ф+У, Ф+С+У) сопровождается увеличением токсичности к полной спелости культуры, применение пожнивной сидерации (Ф+ПС, Ф+ПС+У, Ф+С+ПС, Ф+С+ПС+У) вызывает ее снижение (таблица 59). Бинарные компоненты подсолнечника и способы обработки почвы не оказали достоверного влияния на ее токсичность.

Таблица 59 – Токсичность почвы под посевами подсолнечника в зависимости от приемов повышения плодородия, видов посева и способов основной обработки почвы (фаза – полная спелость, 2016-2019 гг., опыт 2)

Приемы повышения плодородия почвы (В) при видах посева (А)	Показатель токсичности почвы по фону способов основной обработки почвы (С)			
	Отвальная обработка		Безотвальная обработка	
	%	УКЕ*	%	УКЕ
<b>Одновидовой посев</b>				
Ф (контроль)	32,0	32,5	32,1	33,0
Ф + С	38,4	44,0	38,8	44,8
Ф + ПС	5,2	10,4	5,4	10,5
Ф + У	22,9	22,0	22,9	22,0
Ф + С + У	27,9	27,2	27,7	27,0
Ф + С + ПС	8,1	11,7	8,0	11,6
Ф + ПС + У	4,4	10,2	4,6	10,3
Ф+С+ПС+У	6,2	10,7	6,6	11,0
<b>Бинарный посев с викой яровой</b>				
Ф	31,3	31,7	31,5	31,8
Ф + С	36,7	41,0	36,4	40,0
Ф + ПС	4,9	10,3	5,2	10,4
Ф + У	20,4	19,8	19,9	19,2
Ф + С + У	25,4	24,4	26,3	25,4
Ф + С + ПС	7,3	11,3	7,5	11,4
Ф + ПС + У	4,1	10,0	4,2	10,1
Ф+С+ПС+У	5,7	10,6	5,7	10,6
<b>Бинарный посев с эспарцетом песчаным</b>				
Ф	30,5	30,4	30,4	30,3
Ф + С	35,4	38,0	35,1	37,5
Ф + ПС	4,8	10,3	5,1	10,4
Ф + У	19,2	18,5	19,5	18,9
Ф + С + У	23,3	22,4	23,3	22,4
Ф + С + ПС	7,1	11,2	7,0	11,2
Ф + ПС + У	4,0	9,9	4,2	10,1

Продолжение таблицы 59

Ф+С+ПС+У	5,4	10,5	5,4	10,5		
Бинарный посев с люцерной синей						
Ф	31,5	31,8	31,9	32,0		
Ф + С	37,9	42,8	37,9	42,8		
Ф + ПС	5,0	10,4	5,3	10,5		
Ф + У	22,2	21,3	23,1	22,2		
Ф + С + У	26,0	24,9	25,8	24,7		
Ф + С + ПС	7,5	11,4	7,9	11,6		
Ф + ПС + У	4,4	10,2	4,4	10,2		
Ф+С+ПС+У	5,9	10,6	5,9	10,6		
НСР <sub>05</sub> (для %)	7,82					
для фактора	А	В	С	А+В	А+С	В+С
	2,76	1,95	1,38	5,53	3,91	2,76
	значимо	не значимо				

Примечание: \*УКЕ – условно кумариновые единицы

Анализ влияния вида удобрения как отдельного фактора показал двукратное увеличение токсичности почвы к концу вегетационного периода: в 2,5 раза – на вариантах пожнивно-корневых остатков (Ф), соломы ячменя (Ф+С) и удобрения (Ф+У) и в 2,1 раза – на варианте совместного использования соломы и удобрения (Ф+С+У). Тенденция снижения показателя токсичности почвы была характерна для всех вариантов с пожнивной сидерацией (рисунок 61).

Формирование существенно более высокой по сравнению с фоном пожнивно-корневых остатков токсичности почвы при наступления полной спелости подсолнечника вызвало применение соломы ячменя в чистом виде: отклонение показателя составило 5,7 абс.%. Добавление к соломе минерального удобрения сопровождалось снижением содержания в почве колинов, что может быть связано с ускорением темпов разложения солоmistых остатков, в результате общая токсичность почвы в конце вегетации значительно уступала контролю (на 5,7 абс.%). Применение пожнивной сидерации как в чистом виде, так и совместно с другими удобрениями обеспечило формирование в этот период наименьшей токсичности почвы – 4,3-7,6%, при этом существенной разницы между этими вариантами не установлено.

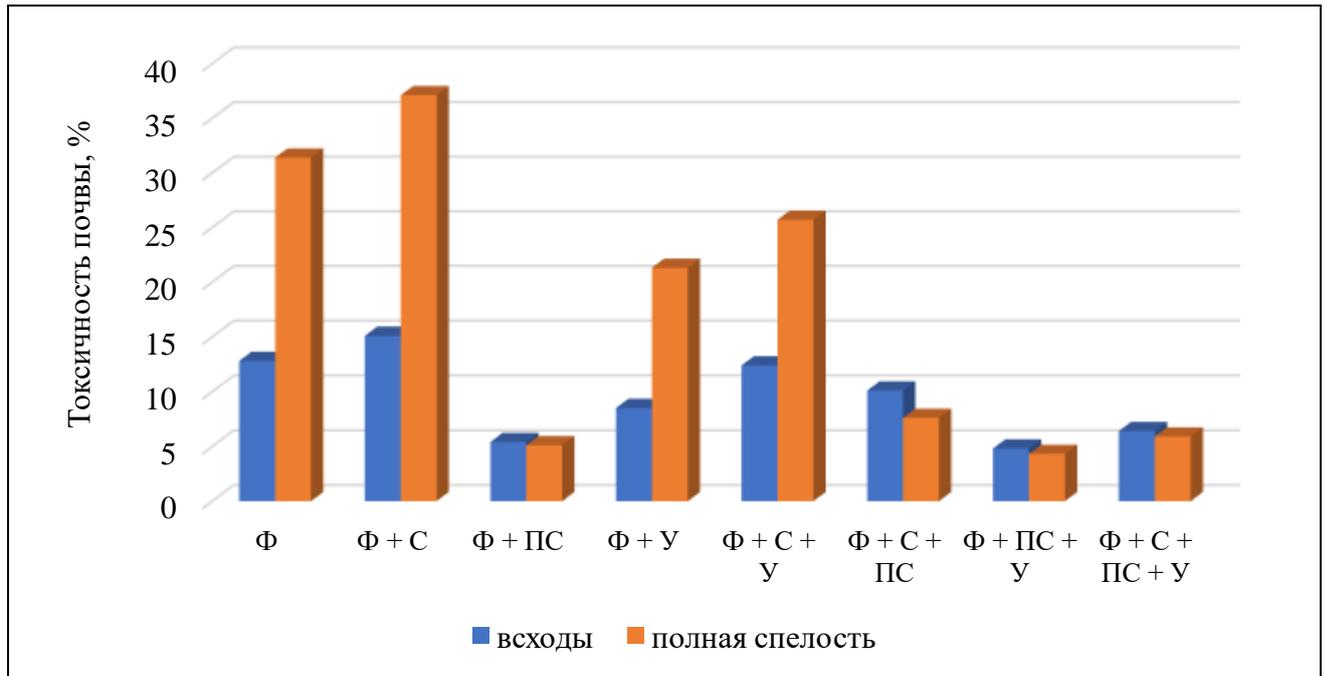


Рисунок 61 – Токсичность почвы под посевами подсолнечника в зависимости от приемов повышения плодородия почвы ( $HC_{P05}$  для фактора В: 3,85 – фаза всходы (значимо) и 1,95 – фаза полная спелость (значимо), 2016-2019 гг., опыт 2)

В целом к полной спелости подсолнечника классы токсичности почвы на различных вариантах не изменились: варианты с пожнивной сидерацией (ИТФ 92,4-95,7) относятся к V классу (норма), все остальные (ИТФ 62,9-78,7) – к IV (низкая токсичность).

Существенное влияние на уровень токсичности почвы оказали погодные условия. Более высокие значения показателя характерны для засушливых периодов.

Токсичность почвы в фазе всходов подсолнечника определялась сложившимися условиями периода разложения поступивших в почву растительных остатков. За теплый период (август – сентябрь, апрель) от заделки органических удобрений в почву и до всходов подсолнечника в 2016 году выпало 213 мм осадков (средняя температура воздуха 15,9 °C), в 2017 г. – 141 мм ( $t=14,5$  °C), в 2018 г. – 148 мм ( $t=15,2$  °C), а в 2019 г. – 95 мм ( $t=16,4$  °C). В результате в 2017-2019 гг. токсичность почвы в среднем по вариантам была в 2,4-2,9 раза больше, чем в 2016

г., что связано, по нашему мнению, с накоплением в почве фитотоксинов в результате размножения специфической микрофлоры на фоне замедления темпов разложения растительных остатков (приложение 35).

В фазе полной спелости культуры также отмечается более высокое количество колинов в почве в годы с засушливым вегетационным периодом – в 2017-2019 гг. (приложение 36). В зависимости от вида удобрения превышение показателя токсичности в среднем за 2017-2019 гг. (ГТК – 0,8) было в 1,7-10,4 раза выше, чем в 2016 г. (ГТК – 2,6).

Установленная при помощи корреляционного анализа обратная связь токсичности почвы с увлажненностью рассматриваемого периода имеет среднюю силу:  $r = -0,369$  ( $n = 64$ ;  $Sr = 0,118$ ;  $t_r = 3,13$ ;  $t_{05} = 2,0$ ;  $r^2 = 0,1368$ ) для вегетационного периода и  $r = -0,487$  ( $n = 64$ ;  $Sr = 0,111$ ;  $t_r = 4,39$ ;  $t_{05} = 2,0$ ;  $r^2 = 0,2372$ ) для вневегетационного теплого периода.

Также установлено, что показатель токсичности находился в сильной обратной зависимости ( $r = -0,705$ ;  $n = 64$ ;  $Sr = 0,090$ ;  $t_r = 7,83$ ;  $t_{05} = 2,0$ ) от массы растительных остатков в почве ( $x_1$ ). Данная зависимость в нашем опыте объясняется характером поступающих растительных остатков: увеличение их массы осуществляется в основном за счет низкоуглеродистой, быстроразлагаемой сидеральной редьки масличной. Это подтверждает и установленная прямая, средней силы связь токсичности с соотношением C:N ( $x_2$ ) в растительных остатках: чем оно уже, тем меньше токсичность почвы ( $r = 0,427$ ;  $n = 64$ ;  $Sr = 0,115$ ;  $t_r = 3,71$ ;  $t_{05} = 2,0$ ). Соответственно, токсичность почвы в УКЕ ( $y$ ) будет зависеть не только от массы, но и качественного состава поступающих в почву растительных остатков:  $y = -18,1492x_1 + 0,210282x_2 + 89,29906$ .

Полученное уравнение позволило построить 3D-модель зависимости токсичности почвы (в УКЕ) от рассматриваемых показателей (рисунок 62), согласно которой снижение токсичности почвы до нулевых значений (в УКЕ) отмечается при содержании в почве не менее 5,5 т/га растительных остатков с соотношением C:N не шире 52:1.

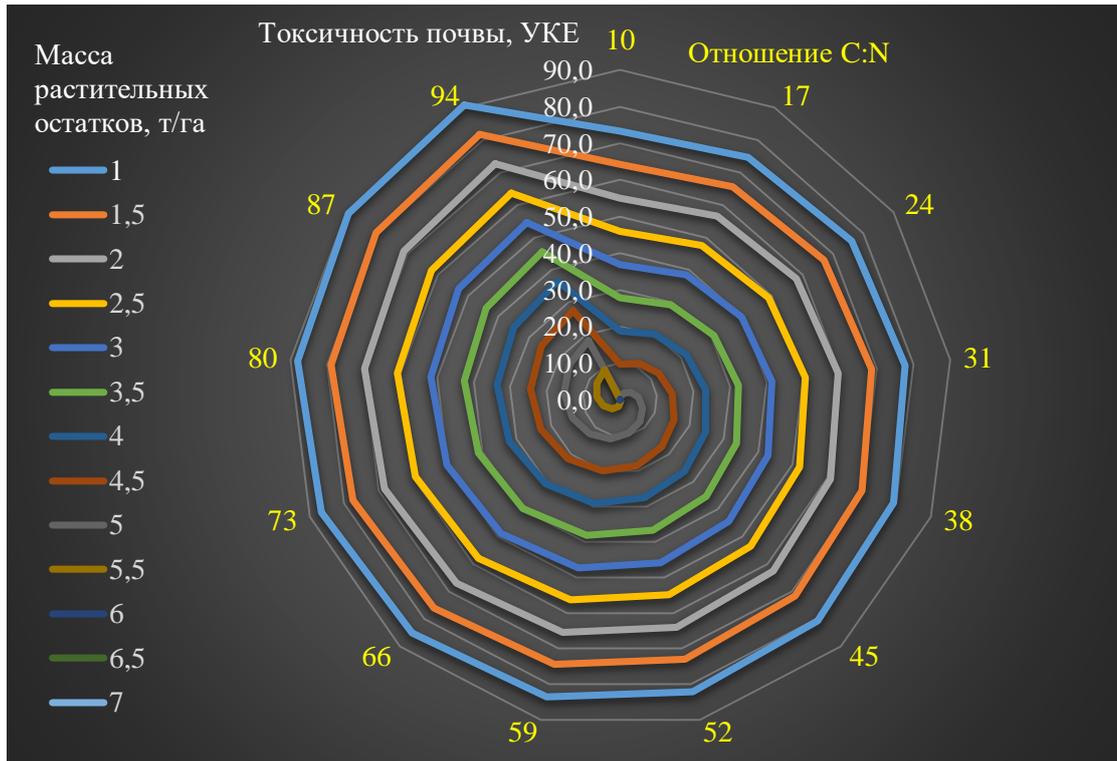


Рисунок 62 – 3D-модель зависимости токсичности почвы от массы и качественного состава растительных остатков в слое почвы 0-30 см

Таким образом, пожнивная сидерация в чистом виде и совместно с другими удобрениями способствует снижению токсичности почвы как в отдельные фазы развития подсолнечника, так и в течение его вегетационного периода.

## 5. УРОЖАЙНОСТЬ КУЛЬТУР И ПРОДУКТИВНОСТЬ СЕВООБОРОТОВ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ПРИЕМОВ ПОВЫШЕНИЯ ПЛОДОРОДИЯ И ОСНОВНОЙ ОБРАБОТКИ ПОЧВЫ

Интегральным показателем оценки различных агротехнических приемов является урожайность культур, характеризующая эффективность сформированных посредством их проведения основных свойств почвы и условий произрастания культурных растений. Данный показатель определяется многими факторами, среди которых наибольший интерес представляли приемы биологизации, приемы основной обработки почвы, гидротермические условия вегетационных периодов, а также их комплексное использование.

Важную роль в формировании урожайности культур сыграли гидротермические условия, неоднородность которых позволила повысить объективность и адаптивность полученных результатов. Урожайность культур заметно варьировала по годам исследования, что определялось конкретными агрометеорологическими условиями, поэтому анализ данного показателя рационально рассматривать в различные по увлажненности вегетационного периода годы.

В засушливые вегетационные периоды применение приемов биологизации способствовало формированию более высокой урожайности подсолнечника (таблица 60, приложение 37). Наиболее выраженная прибавка отмечалась в совместных посевах культуры с люцерной синей (зернотравянопропашной севооборот) при засушливых условиях: 0,4 т/га (16,5%).

Повышение урожайности подсолнечника при совместных посевах с бобовыми травами в избыточно увлажненные годы (приложение 38), в среднем за период исследований, а также с донником желтым в засушливых условиях статистически недостоверно. Тем не менее на этих вариантах прослеживается четкая тенденция повышения урожайности масличной культуры при ее возделывании с применением приемов биологизации.

Таблица 60 – Средние значения урожайности подсолнечника по изучаемым факторам (т/га, опыт 1)

Фактор А – вид севооборота	Фактор В – прием основной обработки			Среднее по фак- тору А
	вспашка	дисковая обработка	плоскорезная обработка	
Засушливые годы				
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	
	$F_{\phi}$		$HCP_{0,5}$	
Фактор А	12,35(> $F_{05}$ )		0,17	
Фактор В	0,26 (< $F_{05}$ )		0,17	
Фактор А+В	0,16 (< $F_{05}$ )		0,30	
Избыточно влажные условия				
ЗПП	3,04	2,81	2,77	2,87
Сид	3,15	2,89	2,84	2,96
ЗТП	3,22	3,00	2,98	3,07
Среднее по фактору В	3,14	2,90	2,86	
	$F_{\phi}$		$HCP_{0,5}$	
Фактор А	0,24 (< $F_{05}$ )		0,58	
Фактор В	0,59 (< $F_{05}$ )		0,58	
Фактор А+В	0,003 (< $F_{05}$ )		1,01	
В среднем за годы исследований				
ЗПП	2,77	2,59	2,58	2,65
Сид	2,87	2,74	2,69	2,77
ЗТП	3,03	2,90	2,91	2,95
Среднее по фактору В	2,89	2,74	2,73	
	$F_{\phi}$		$HCP_{0,5}$	
Фактор А	2,08 (< $F_{05}$ )		0,29	
Фактор В	0,75 (< $F_{05}$ )		0,29	
Фактор А+В	0,02 (< $F_{05}$ )		0,52	

В среднем за годы исследований существенность влияния изучаемых приемов не проявилась (приложение 39). Тем не менее, вариант совместного посева подсолнечника и люцерны синей при проведении вспашки обеспечил наибольшую прибавку урожайности, которая составила 0,26 т/га, или 9,4% (таблица 61).

Таблица 61 – Урожайность культур в зависимости от видов севооборота и приемов основной обработки почвы под подсолнечник (опыт 1)

Культура и приемы основной обработки почвы (В)	Вид севооборота (А)	Урожайность культур (т/га) в различные годы исследований						
		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
Подсолнечник (вспашка)	ЗПП	2,70	2,93	3,58	2,53	2,29	2,61	2,77
	Сид	2,64	3,08	3,62	2,58	2,53	2,75	2,87
	ЗТП	3,01	2,99	3,87	2,88	2,64	2,81	3,03
Подсолнечник (дисковая обработка)	ЗПП	2,38	2,70	3,44	2,46	2,31	2,28	2,59
	Сид	2,59	2,86	3,57	2,69	2,50	2,23	2,74
	ЗТП	2,96	2,78	3,82	2,84	2,61	2,39	2,90
Подсолнечник (плоскорезная обработка)	ЗПП	2,37	2,71	3,35	2,49	2,33	2,25	2,58
	Сид	2,57	2,71	3,49	2,61	2,44	2,31	2,69
	ЗТП	3,24	2,85	3,64	2,75	2,54	2,44	2,91
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
	Приложения 40-44							
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
	Приложения 45-48							
подсолнечник		0,37 F <sub>φ</sub> = 1,51 (<F <sub>05</sub> )	0,11 F <sub>φ</sub> = 3,01 (>F <sub>05</sub> )	0,28 F <sub>φ</sub> = 0,19 (<F <sub>05</sub> )	0,09 F <sub>φ</sub> = 3,38 (>F <sub>05</sub> )	0,14 F <sub>φ</sub> = 0,59 (<F <sub>05</sub> )	0,18 F <sub>φ</sub> = 0,73 (<F <sub>05</sub> )	0,52 F <sub>φ</sub> = 0,02 (<F <sub>05</sub> )
	Влияние главных факторов – приложения 49-54							

Анализ зависимости урожайности подсолнечника от основной обработки почвы показал преимущество отвального приема над безотвальными, переход к которым привел к снижению урожайности маслосемян – на 0,15-0,16 т/га. Статистически данные отклонения не достоверны, тем не менее четкая тенденция отмечается во все годы исследований. Основными причинами прибавки урожайности подсолнечника при проведении вспашки являются, прежде всего, более высокая обеспеченность почвы лабильным органическим веществом, способствующая улучшению питательного режима почвы, создание оптимальных условий для формирования агрономически ценной структуры, оказывающей существенное влияние на многие показатели почвенного плодородия, а также более низкий уровень засоренности посевов и выноса основных элементов питания биомассой сорных растений [114].

В конечном итоге урожайность подсолнечника сильно зависела от структурного состояния почвы ( $r = 0,731$ ;  $n = 18$ ;  $Sr = 0,171$ ;  $t_r = 4,27$ ;  $t_{05} = 2,12$ ), в средней степени – от содержания в почве доступной влаги ( $r = 0,630$ ;  $n = 18$ ;  $Sr = 0,194$ ;  $t_r = 3,25$ ;  $t_{05} = 2,12$ ). Также установлена сильная корреляционная зависимость урожайности масличной культуры от гидротермического коэффициента:  $r = 0,869$  ( $n = 18$ ;  $Sr = 0,124$ ;  $t_r = 7,01$ ;  $t_{05} = 2,12$ ).

Что касается урожайности озимой пшеницы, то стоит отметить ее снижение при замене одновидового посева бинарным и при замене чистого пара сидеральным. При этом урожайность озимой пшеницы в бинарном посеве была наименьшей во все годы исследований, в то время как возделывание озимой культуры в сидеральном севообороте характеризовалось снижением урожайности только в засушливые вегетационные периоды (при достаточном увлажнении отклонения от контроля были несущественными), что связано, по нашему мнению, с меньшей обеспеченностью почвы доступной влагой как на момент посева озимой пшеницы, так и в течение вегетационного периода, что, по-видимому, привело к задержке роста и развития культуры. Высокая зависимость величины урожая зерна озимой пшеницы отмечена и от содержания в почве обменного калия:  $r = 0,692$  ( $n = 15$ ;  $Sr = 0,200$ ;  $t_r = 3,46$ ;  $t_{05} = 2,13$ ).

Но при этом не стоит забывать, что урожайность озимой пшеницы на данных вариантах была сформирована за счет применяемых приемов биологизации, а на контрольном варианте – за счет потенциального плодородия почвы. Кроме того, важное значение имеет не только величина урожайности, но и его качество, формирование которого протекает в условиях сочетания внешних и внутренних факторов. При этом высокие урожаи не всегда коррелируют с хорошим качеством, что мы и наблюдали в опыте: сравнительно более лучшими качественными характеристиками обладает зерно озимой пшеницы, возделываемой в биологизированных севооборотах (таблица 62, приложение 55).

Таблица 62 – Качество зерна озимой пшеницы в зависимости от видов севооборота (2012-2014 гг., опыт 1)

Виды севооборота	Значение показателя				
	массовая доля белка, %	количество клейковины, %	качество клейковины, ед. ИДК	число падения, с	натура, г/л
ЗПП	11,3	26,3	104	171	757
Сид	12,1	27,5	99	180	761
ЗТП	12,7	28,8	94	192	765
НСР <sub>05</sub>	0,35	0,67	5,39	15,93	1,75

Анализ изменения нормируемых ГОСТ 9353-2016 основных показателей качества зерна пшеницы [100] показал их прямую зависимость от применяемых приемов повышения плодородия почвы. Было установлено, что введение в севооборот люцерны синей, используемой не только в качестве парозанимающей культуры, но и в качестве бинарного компонента озимой пшеницы, способствовало формированию сравнительно более высоких качественных показателей.

По сравнению с зерном озимой пшеницы, возделываемой в зернопаропропашном севообороте, содержание белка на данном варианте было выше на 12,4%, содержание клейковины – на 9,5, число падения – на 12,3, натура – на 1,1%, а ИДК на 9,6% меньше (в относительных единицах). Несмотря на то, что

по показателю натуры зерно данного варианта относится к 1-му классу, а по содержанию клейковины – ко 2-му классу, на основании других показателей данная продукция может быть отнесена только к 3-му классу.

Возделывание озимой пшеницы после сидерального пара также позволило получить зерновую продукцию лучшего, чем на контроле, качества: содержание белка было выше на 7,1%, содержание клейковины – на 4,6, натура – на 0,5, число падения – на 5,3% (несущественно), ИДК меньше на 4,8%. Тем не менее, и на этом варианте зерновая продукция будет относиться к 3-му классу.

Сформированный урожай озимой пшеницы на варианте зернопаропропашного севооборота относится к 4-му классу.

Основным ограничивающим классность зерна озимой пшеницы показателем является ИДК – измеритель деформации клейковины (индекс деформирования). Именно качество (и количество) клейковины в зерне определяют хлебопекарные свойства муки.

Согласно полученным данным клейковину зерна биологизированных севооборотов можно охарактеризовать как удовлетворительно слабую: ИДК составляет 94-99 ед. (II группа). Это значит, что клейковина, обладая плохой эластичностью, очень растяжимая, недостаточно крепкая. Тесто из муки со слабой клейковиной обладает слабой формоустойчивостью и сильно расплывается, оно быстро поднимается, а затем опадает и уже не восстанавливает свой объем. Применение такой муки для выпечки хлеба должно сопровождаться обязательным применением направленных на укрепление клейковины приемов. В то же время мука такого качества может быть использована для изготовления мучных кондитерских изделий.

Клейковина зерна озимой пшеницы с зернопаропропашного севооборота является неудовлетворительно слабой: ИДК составил 105 ед. Мука из зерна такого качества не может быть использована в хлебопечении.

Бесспорно, полученные значения не позволяют говорить о заявленных хороших хлебопекарных свойствах зерна озимой пшеницы «Алая заря», возможно,

это было связано со сложившимися не контролируруемыми нами факторами. Однако и в данных условиях мы можем отметить тенденцию улучшения качественных показателей зерна озимой пшеницы при применении изучаемых приемов биологизации, а лучшим по качеству зерновой продукции считать вариант возделывания озимой пшеницы в зернотравянопропашном севообороте.

Четкое преимущество изучаемых приемов биологизации проявилось в формировании урожайности ячменя, которая во все годы исследований существенно превышала показатель контрольного варианта (см. таблицу 61). Наиболее высокой была урожайность при размещении яровой зерновой культуры после совместного посева озимой пшеницы и люцерны синей – 3,45 т/га, что на 14,7%, или 0,44 т/га, превышало показатели контроля. Возделывание ячменя в сидеральном севообороте также характеризуется существенной, но не столь высокой прибавкой урожайности – 0,13 т/га (4,3%).

Формирование сравнительно более высокой урожайности ячменя при возделывании в биологизированных севооборотах было связано с большим поступлением в почву растительных остатков, которые на фоне хорошей обеспеченности почвы доступной влагой, благоприятных условий для роста численности и активности почвенных микроорганизмов, высокой целлюлозной активности подвергались ускоренным темпам разложения, что способствовало увеличению содержания в почве детрита, оптимизации питательного режима почвы, рациональности расхода основных элементов питания в течение вегетационного периода. Проведенный анализ позволил установить, что в отличие от подсолнечника, ячмень – культура, не отличающаяся высокими требованиями к агрофизическим показателям плодородия почвы и увлажненности вегетационного периода. Ее урожайность в сильной степени зависела от содержания в почве подвижного фосфора ( $r = 0,786$ ;  $n = 18$ ;  $S_r = 0,154$ ;  $t_r = 5,10$ ;  $t_{05} = 2,12$ ) и нитратного азота ( $r = 0,867$ ;  $n = 12$ ;  $S_r = 0,157$ ;  $t_r = 5,52$ ;  $t_{05} = 2,23$ ).

Существенное преимущество приемов биологизации в формировании высокой урожайности отмечается и в севооборотах с сахарной свеклой (опыт 4 и 5), где по сравнению с зернопаропропашным севооборотом средняя за период

исследований прибавка урожая корнеплодов составила 0,3 т/га в сидеральном севообороте с донником, 0,7 т/га – в сидеральном севообороте с эспарцетом и 1,3 т/га – в зернотравянопропашном севообороте (рисунок 63).

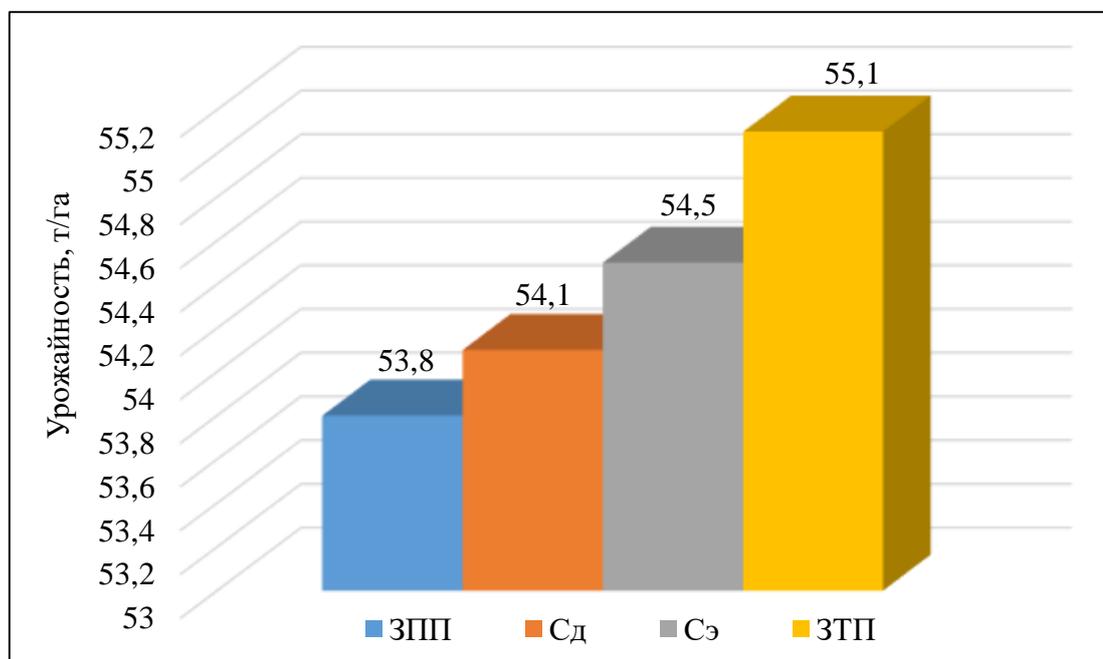


Рисунок 63 – Урожайность сахарной свеклы в зависимости от видов севооборота (НСР<sub>05</sub> для фактора А – 0,26...0,41, 2010-2012 гг.) [411]

Аналогичная тенденция просматривается и в различные годы исследований (таблица 63, приложения 56-59). Данная закономерность объясняется наличием прямой, средней силы зависимости урожайности сахарной свеклы от массы растительных остатков в почве:  $r = 0,590$  ( $n = 16$ ;  $S_r = 0,215$ ;  $t_r = 2,74$ ;  $t_{05} = 2,12$ ).

Проведение мелких (12-14 см) и поверхностных (5-6 см) приемов дискового рыхления привело к снижению урожайности сахарной свеклы соответственно на 3,4 (или на 6,4%) и на 8,8 т/га (или на 18,5%). Наглядная демонстрация формирования более мелких корнеплодов при мелких и поверхностных обработках почвы представлена на рисунке 64.

Установленная зависимость величины урожайности сахарной свеклы от приема основной обработки почвы была характерна не только в целом для периода исследований, но и для различных по увлажненности вегетационного периода лет.

Таблица 63 – Средние значения урожайности сахарной свеклы по изучаемым факторам (т/га, опыт 4)

Фактор А – вид севооборота	Фактор В – прием основной обработки				Среднее по фактору А
	В	П	Дм	Дп	
2010 г.					
ЗТП	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
ЗТП	27,2	29,3	22,9	20,5	25,0
Среднее по фактору В	23,5	28,9	25,7	18,0	
	$F_{\phi}$			$НСР_{0,5}$	
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
ЗТП	69,0	77,7	62,0	54,0	65,7
Среднее по фактору В	69,9	75,2	58,8	54,3	
	$F_{\phi}$			$НСР_{0,5}$	
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
ЗТП	76,8	78,1	73,2	70,0	74,5
Среднее по фактору В	75,7	78,2	74,2	70,3	
	$F_{\phi}$			$НСР_{0,5}$	
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	

И при засушливых (2010 г., ГТК=0,6), и в избыточно влажных условиях (2011-2012 гг., ГТК=1,4-1,6) преимущество в формировании высокой урожайности оставалось за глубокой безотвальной обработкой почвы (приложение 56). Стабильно минимальный урожай корнеплодов был характерен для поверхностной дисковой обработки почвы на глубину 5-6 см.

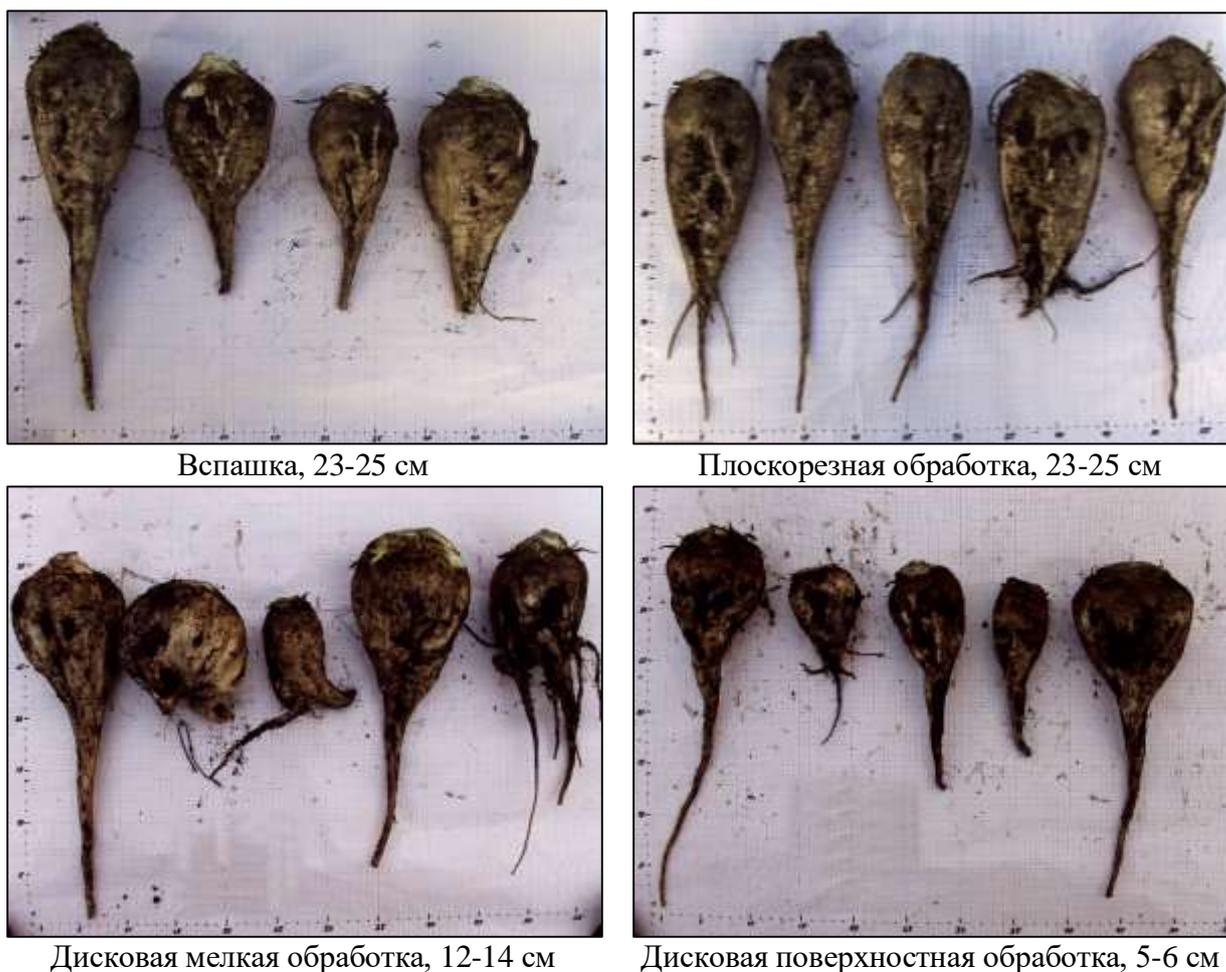


Рисунок 64 – Корнеплоды сахарной свеклы при различных приемах основной обработки почвы

В целом зависимость урожайности сахарной свеклы от увлажненности вегетационного периода распределилась следующим образом. Наиболее высокая урожайность была получена в 2012 году, когда были сформированы наиболее благоприятные погодные условия: сравнительно невысокая температура воздуха при достаточном количестве выпадающих осадков. В этот год исследований средний по вариантам показатель урожайности составил 75,4 т/га, причем высокой урожайностью характеризовался даже вариант с поверхностной обработкой почвы – 73,5 т/га.

При уменьшении увлажненности вегетационного периода (температура воздуха выше, количество осадков меньше, ГТК=1,4) отмечается снижение средней урожайности сахарной свеклы, которое составило 10,9 т/га. При этом наиболее резко уменьшение показателя отмечается по фону мелких и поверхностных дисковых обработок – соответственно на 15,4 и 19,5 т/га.

Сформированные в вегетационный период засушливые условия привели к резкому снижению урожайности сахарной свеклы: в 3,1 раза по фону вспашки, в 2,6 раза – по фону глубокого плоскорезного рыхления, в 2,6 и 3,5 раза – по фону мелкой и поверхностной дисковой обработки.

Данные зависимости урожая корнеплодов ( $y$ ) от увлажненности вегетационного периода ( $x$ ) сахарной свеклы подтверждаются результатами корреляционного анализа, информирующими о наличии тесной прямой связи между этими показателями ( $r = 0,949$ ;  $n = 48$ ;  $S_r = 0,046$ ;  $t_r = 20,63$ ;  $t_{05} = 2,01$ ;  $r^2 = 0,9001$ ):  $y = 65,028x - 19,317$ .

В целом формированию наиболее высокой урожайности сахарной свеклы по сравнению с контролем (зернопаропропашной севооборот, вспашка) способствовало возделывание культуры в зернотравянопропашном севообороте по фону плоскорезной обработки – 61,7 т/га (прибавка 6,9 т/га, или 12,6%). Несколько меньше прибавка урожая корнеплодов (6,1 т/га, или 11,1%) была при возделывании сахарной свеклы в сидеральном севообороте с эспарцетом при проведении под культуру плоскорезной обработки на глубину 23-25 см.

Информативным показателем эффективности применения различных приемов в севообороте является его продуктивность, которая позволяет провести сравнительную оценку севооборотов различного построения на основе валового сбора растениеводческой продукции, выраженного в кормовые единицы [121, 349].

Наиболее высокой продуктивностью характеризуется зернотравянопропашной севооборот: 14,66 т к.ед./га в среднем по вариантам обработки почвы, что обусловлено не только более высоким выходом кормовых единиц с продукцией ячменя и подсолнечника, но и дополнительным получением 2,58 т к.ед./га кормовой массы люцерны синей (таблица 64). Продуктивность сидерального севооборота несколько ниже, чем зернотравянопропашного: в среднем 11,56 т к.ед./га, что связано, несмотря на несколько более высокую урожайность озимой пшеницы, с более низкой урожайностью яровой зерновой и масличной культур. Сравнительно меньшая продуктивность отмечена в зернопаропропашном севообороте: 11,42 т к.ед./га.

Таблица 64 – Урожайность культур и продуктивность различных видов севооборотов (2011-2016гг., опыт 1)

Виды севооборота	Урожайность культур севооборота (с 1 га)								Продуктивность севооборота, т к.ед. / га		
	Пар		Озимая пшеница		Ячмень		Подсолнечник		В	Д	П
	т	т к.ед.	т	т к.ед.	т	т к.ед.	т	т к.ед.			
ЗПП	-	-	3,94	4,73	3,01	3,31	2,77	3,54	11,58	11,35	11,34
							2,59	3,31			
							2,58	3,30			
Сид	-	-	3,81	4,57	3,14	3,45	2,87	3,67	11,69	11,53	11,46
							2,74	3,51			
							2,69	3,44			
ЗТП	12,9	2,58	3,77	4,52	3,45	3,79	3,03	3,88	14,77	14,60	14,61
							2,90	3,71			
							2,91	3,72			

Таким образом, введение в севооборот многолетних трав и использование их в качестве бинарных компонентов и парозанимающих культур обеспечивает увеличение продуктивности севооборота. При этом максимальная прибавка получена при использовании люцерны синей (29,6%).

Замена вспашки на безотвальные приемы не способствовала росту продуктивности севооборота. По всем изучаемым вариантам отказ от отвальной обработки почвы сопровождался снижением данного показателя: на 1,1-1,4% – при проведении дисковой и на 1,1-2,0% – при проведении плоскорезной обработки. При этом потери в продуктивности севооборотов под влиянием минимизации обработки более ярко проявлялись в зернопаропропашном севообороте.

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

На формирование продуктивности севооборота из изучаемых показателей сильное прямое влияние оказало содержание в почве обменного калия ( $r = 0,879$ ;  $n = 15$ ;  $Sr = 0,132$ ;  $t_r = 6,66$ ;  $t_{05} = 2,13$ ) и подвижного фосфора ( $r = 0,741$ ;  $n = 15$ ;  $Sr =$

0,186;  $t_r - 3,98$ ;  $t_{05} - 2,13$ ), средней силы было влияние биологической активности почвы (0,639;  $n - 12$ ;  $S_r - 0,243$ ;  $t_r - 2,63$ ;  $t_{05} - 2,23$ ), массы поступающих в почву растительных остатков ( $r = 0,545$ ;  $n - 18$ ;  $S_r - 0,21$ ;  $t_r - 2,59$ ;  $t_{05} - 2,12$ ), влажности почвы (0,491 ( $n - 18$ ;  $S_r - 0,218$ ;  $t_r - 2,25$ ;  $t_{05} - 2,12$ ) для слоя 0-100см) и содержания в почве гумуса ( $r = 0,454$ ;  $n - 36$ ;  $S_r - 0,153$ ;  $t_r - 2,97$ ;  $t_{05} - 2,04$ ).

На фоне преимущественного влияния плоскорезной обработки почвы на урожайность сахарной свеклы (опыт 4 и 5) был проведен сравнительный анализ общей продуктивности изучаемых севооборотов по фону отвального и безотвального способов. Установлено, что наиболее высокой продуктивностью характеризуется севооборот с разноглубинной комбинированной обработкой почвы, т.е. с проведением в севообороте вспашки на глубину 23-25 см (под сахарную свеклу) – по всем севооборотам прибавка составляла 0,09-0,33 т к.ед./га, тогда как по фону плоскорезной обработки – 0,07-0,18 т к.ед./га (таблица 65). При этом данное наблюдение характерно и для пятипольного севооборота с подсолнечником.

Таблица 65 – Продуктивность севооборотов в зависимости от видов севооборота и способов основной обработки почвы (2010-2012 гг., опыты 4-5)

Виды севооборота	Способы обработки почвы	Продуктивность севооборота, т к.ед. /га	
		Четырехпольный (опыт 4)	Пятипольный (опыт 5)
ЗПП	отвальный	5,37	5,98
	безотвальный	5,43	5,99
Сд	отвальный	5,70	6,38
	безотвальный	5,52	6,04
Сэ	отвальный	5,46	6,22
	безотвальный	5,44	6,00
ЗТП	отвальный	5,75	6,48
	безотвальный	5,48	6,31

Возделывание культур в севооборотах с многолетними травами позволило повысить общую продуктивность четырехпольного севооборота в среднем на 0,05-0,21 т к.ед./га. Увеличение доли пропашных культур в севообороте обеспечило рост прибавки продуктивности севооборота до 0,23-0,41 т к.ед./га. Также

было установлено, что наиболее высокие значения продуктивности были характерны для 5-типольных севооборотов – 5,98-6,48 т к.ед./га, тогда как продуктивность 4-хпольных севооборотов была меньше и варьировала от 5,37 до 5,75 т к.ед./га. Отклонения составили 0,61-0,76 т к.ед./га по фону отвальной обработки почвы и 0,42-0,56 т к.ед./га – по фону плоскорезного рыхления.

Высокие показатели урожайности возделываемых культур определяют уровень полноценности использования ими как собственного биологического потенциала, так и потенциала продуктивности почвы.

Проведенные в условиях полевого опыта 2 исследования позволили установить, что существенное влияние на величину показателя урожайности подсолнечника оказали все изучаемые приемы: вид посева, способ обработки почвы и приемы повышения ее плодородия (приложение 60-62).

Существенность влияния изучаемых приемов повышения плодородия почвы проявилась на всех вариантах, исключение составило использование соломы ячменя (Ф+С), где рассматриваемый показатель остался на уровне контроля (рисунок 65).

Совместное применение нескольких приемов повышения плодородия почвы обеспечивает большую прибавку 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%). При этом стоит отметить, что между комбинацией пожнивного сидерата с припосевным удобрением (Ф+ПС+У) и соломой (Ф+С+ПС) существенной разницы нет. Также не установлено значимых отклонений в урожайности подсолнечника при применении соломы с припосевным удобрением (Ф+С+У) и соломы с пожнивной сидерацией (Ф+С+ПС).

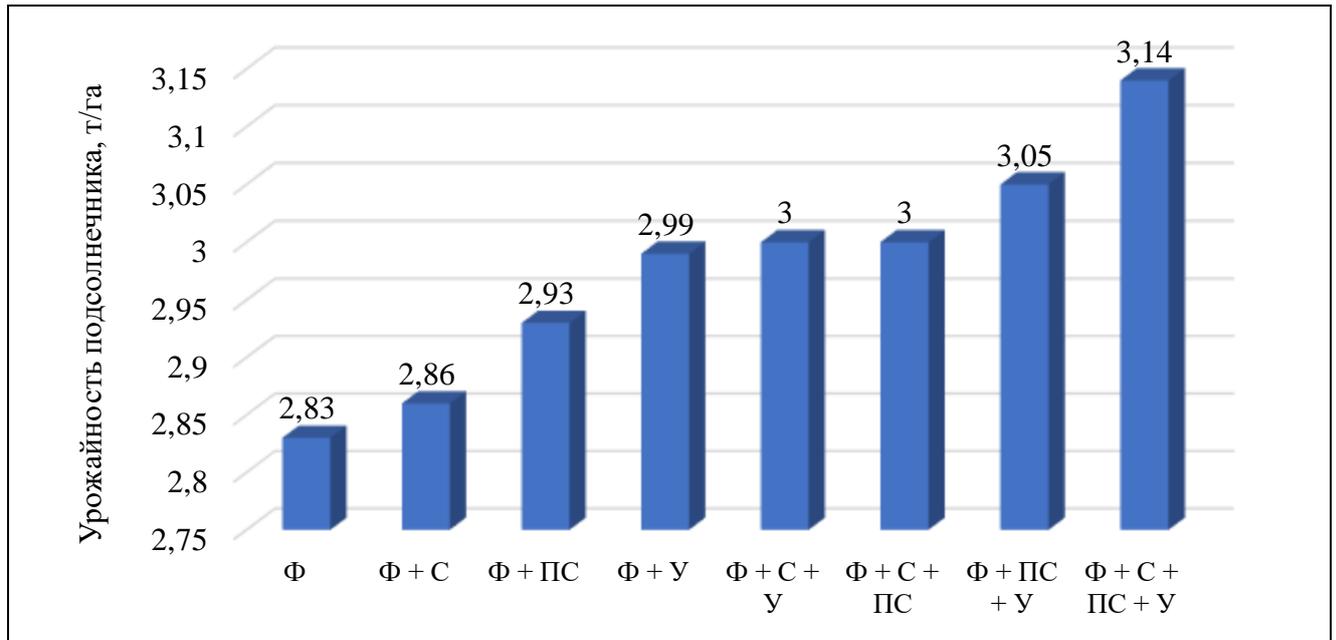


Рисунок 65 – Урожайность подсолнечника в зависимости от приемов повышения плодородия почвы ( $НСР_{05}$  для фактора В – 0,08 (значимо); 2016-2020 гг., опыт 2)

В общей сложности сравнительно с фоном пожнивно-корневых остатков наиболее высокую урожайность маслосемян подсолнечника обеспечивает посев культуры с внесением припосевного удобрения по фону совместного применения соломы и поживной сидерации (Ф+С+ПС+У) – 3,14т/га.

Значимое влияние на формирование урожайности масличной культуры оказали и ее бинарные компоненты – бобовые травы, обеспечившие прибавку урожайности от 0,21 до 0,3 т/га ( $НСР_{05}$  для фактора А – 0,05; значимо), или 7,5-10,7% (приложение 61).

Формирование урожайности подсолнечника в зависимости от способа основной обработки почвы более оптимально протекало по фону вспашки: показатель относительно фактора С (обработка почвы) составил 3,05 т/га (приложение 61). Замена вспашки на безотвальный прием сопровождалась существенным снижением уровня урожайности – на 0,15 т/га (на 4,9%) при  $НСР_{05}$  для фактора С – 0,04 (значимо).

Корреляционно-регрессионный анализ не выявил сильной зависимости урожайности подсолнечника ни от одного из изучаемых показателей: все связи

имели среднюю силу. Было установлено, что в наибольшей степени урожайность масличной культуры определялась агрофизическими показателями: плотностью ( $r = -0,367...-0,530$ ;  $n = 64$ ;  $Sr = 0,118...0,108$ ;  $t_r = 3,11...4,91$ ;  $t_{05} = 2,0$ ) и твердостью почвы ( $r = -0,368...-0,533$ ;  $n = 64$ ;  $Sr = 0,118...0,107$ ;  $t_r = 3,12...4,98$ ;  $t_{05} = 2,0$ ), а также влажностью 30-сантиметрового слоя почвы в фазу цветения ( $r = 0,525$ ;  $n = 64$ ;  $Sr = 0,108$ ;  $t_r = 4,86$ ;  $t_{05} = 2,0$ ).

При этом в течение вегетации подсолнечника от фазы всходов до фазы цветения зависимость от данных свойств почвы возрастала, что говорит о высокой требовательности подсолнечника к данным свойствам именно в начальные фазы своего развития.

Стоит отметить, что зависимость урожайности подсолнечника от запаса доступной влаги в почве сравнительно более высокой была в фазе цветения культуры, т.е. именно этот этап развития растения является критическим. Данная зависимость была более выражена как для слоя 0-30 см ( $r = 0,525$ ;  $n = 64$ ;  $Sr = 0,108$ ;  $t_r = 4,86$ ;  $t_{05} = 2,0$ ), где расположена основная масса корневой системы подсолнечника, так и для метрового слоя почвы ( $r = 0,491$ ;  $n = 64$ ;  $Sr = 0,111$ ;  $t_r = 4,42$ ;  $t_{05} = 2,0$ ).

Несмотря на высокую потребность подсолнечника в основных элементах питания, а также на то, что очень часто величина его урожайности ограничивается не климатическими факторами, а именно обеспеченностью питательными веществами [298], установить взаимосвязь между этими показателями не смогли, что может быть связано с достаточно высоким их фоном.

Изучаемые приемы оказали неоднозначное влияние на качественные показатели маслосемян, в частности на их лужистость и масличность. Установлено, ни виды посева подсолнечника, ни способы обработки почвы не оказали существенного влияния на выход лужги. Из изучаемых приемов повышения плодородия почвы только совместное использование соломы ячменя, пожнивного сидерата редьки масличной и припосевного удобрения обеспечило существенное снижение показателя лужистости маслосемян (таблица 66, приложение 63).

Снижение лужистости маслосемян подсолнечника является желательным эффектом, т.к. считается, что, во-первых, чем ниже данный показатель, тем выше

содержание жира в семени [288], а во-вторых, в лузге содержатся вещества, способные ухудшать качество масла, увеличивая, например, его кислотное число, поэтому сокращение доли лузги способствует улучшению качества готового продукта [144]. Действительно, обратная связь между лузжистостью семени подсолнечника и содержанием в нем жира существует, но является очень слабо выраженной.

Таблица 66 – Показатель лузжистости маслосемян подсолнечника в зависимости от приемов повышения плодородия, видов посева и способов основной обработки почвы (2016-2020 гг., опыт 2)

Приемы повышения плодородия почвы (В)	Способы основной обработки почвы (С)	Лузжистость, %			Масличность, %			
		А	В	С	А	В	С	
Ф	ОС		25,5	25,3		47,4	46,7	
	БС			25,6			48,2	
Ф+С	ОС		25,7				46,5	
	БС							
Ф+ПС	ОС		25,8				48,1	
	БС							
Ф+У	ОС		25,4				47,9	
	БС							
Ф+С+У	ОС		25,9				47,8	
	БС							
Ф+С+ПС	ОС	25,6			47,5			
	БС							
Ф+ПС+У	ОС	25,2			46,7			
	БС							
Ф+С+ПС+У	ОС	24,8			47,9			
	БС							
Виды посева (А)								
ОП		25,7			47,2			
БП + Вя		25,7			47,9			
БП +Эп		24,9			48,1			
БП + Лс		25,8			46,7			
НСР <sub>05</sub>		1,01	0,71	0,50	0,86	0,61	0,43	
		не значимо	значимо	не значимо	значимо	значимо	значимо	

В целом же содержание жира в семянках подсолнечника существенно зависело от условий произрастания, в частности от вида посева культуры, приема

повышения плодородия почвы и способа основной обработки (таблица 66, приложение 64). Значительному увеличению данного показателя способствовали бинарные посевы подсолнечника с эспарцетом песчаным – прибавка составила 0,9 абс.% (НСР<sub>05</sub> для фактора А – 0,86), и применение пожнивной сидерации в чистом виде: прибавка 0,7 абс.% (НСР<sub>05</sub> для фактора В – 0,61).

Также было установлено, что продукция, полученная на варианте проведения безотвальной обработки почвы, характеризуется более высоким содержанием жира, чем по фону вспашки – на 1,5 абс.% (НСР<sub>05</sub> для фактора С – 0,43).

Таким образом, наибольшую ценность представляют семена подсолнечника, полученные при его бинарном посеве с эспарцетом песчаным, характеризующиеся наименьшей лужистостью (24,8%) и наиболее высоким содержанием жира: 48,1% (рисунок 66).

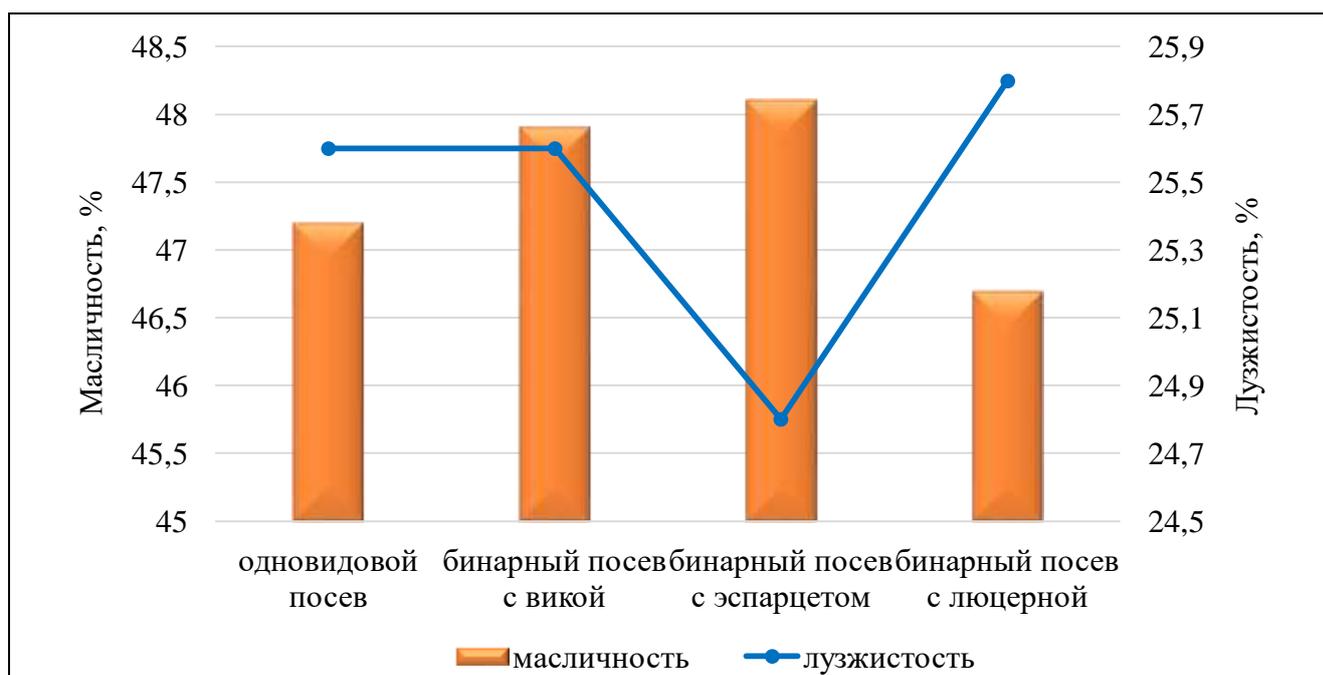


Рисунок 66 – Показатели качества маслосемян подсолнечника в зависимости от видов посева (2016-2020 гг., опыт 2)

Несмотря на отсутствие значимости совместного влияния изучаемых факторов, наиболее оптимальными качественными параметрами маслосемян обладает посев по фону отвальной обработки почвы и комплексного применения удобрений (Ф+С+ПС+У): 49% масличность и 23% лужистость (приложения 63-64).

## **6. ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ БИОЛОГИЗАЦИИ СЕВООБОРОТОВ И МИНИМИЗАЦИИ ОБРАБОТКИ ПОЧВЫ**

### **6.1. Экономическая эффективность возделывания культур в севооборотах**

Одним из важнейших показателей, позволяющих оценить изучаемые приемы, технологии или их элементы, является экономическая эффективность, выражающаяся в соизмерении достигнутых результатов и производственных затрат.

Применение приемов биологизации в севооборотах обеспечило рост урожайности возделываемых культур (исключение составила озимая пшеница) и, как следствие, увеличение средней стоимости основной продукции: на 600 руб./га (на 2,8%) в сидеральном севообороте и на 3965 руб./га (на 18,6%) в зернотравянопропашном севообороте (таблица 67). Более существенная прибавка в севообороте с люцерной синей связана с получением дополнительной продукции в поле занятого пара в виде сена бобовой травы.

Однако применение приемов биологизации – это дополнительные производственные расходы, связанные с возделыванием пожнивного сидерата, посевом бобовой травы, мероприятиями, проводимыми в сидеральном и занятом пару (приложение 65). Средние по севообороту значения производственных расходов по сравнению с контрольным вариантом возросли на 1891 руб./га (на 23,7%) в севообороте с донником и на 2917 руб./га (на 36,6%) в севообороте с люцерной.

В результате сидеральный и зернотравянопропашной севооборот характеризуются более низким по сравнению с зернопаропропашным севооборотом (167,6%) уровнем рентабельности – соответственно 122,4 и 132,3%.

Увеличение расходов при применении приемов повышения плодородия почвы отмечалось нами и в опыте 2 (приложение 66). В общей сложности освоение совместных посевов подсолнечника и бобовых трав приведет к увеличению общих расходов на 27,8-41,5% (приложение 67).

Таблица 67 – Экономическая эффективность возделывания культур в зависимости от видов севооборота и приемов основной обработки почвы (опыт 1)

Показатели	Культура						Ср. по севообороту
	пар	оз. пшеница	ячмень	подсолнечник			
				В	Д	П	
<b>Зернопаропропашной севооборот</b>							
Урожайность, т/га	-	3,94	3,01	2,77	2,59	2,58	
Стоимость основной продукции, руб./га	-	27580	21070	27700	25900	25800	21342
Производственные затраты, руб./га	-	13657,3	12300,7	8374,4	6481,9	7033,5	7975
Себестоимость продукции, руб./т	-	3466	4087	302,3	250,3	272,6	
Условно чистый доход, руб.	-	13922,7	8769,3	19325,6	19418,1	18766,5	13367
Уровень рентабельности, %	-	101,9	67,4	230,8	299,6	266,8	167,6
<b>Сидеральный севооборот</b>							
Урожайность, т/га	-	3,81	3,14	2,87	2,74	2,69	
Стоимость основной продукции, руб./га	-	26670	21980	28700	27400	26900	21942
Производственные затраты, руб./га	-	14797,1	12300,7	11777,6	9885,1	10436,6	9866
Себестоимость продукции, руб./т	-	388,4	391,7	410,4	360,8	388,0	
Условно чистый доход, руб.	-	11872,9	9679,3	16922,4	17514,9	16463,4	12076
Уровень рентабельности, %	-	80,2	78,7	143,7	177,2	157,7	122,4
<b>Зернотравнопропашной севооборот</b>							
Урожайность (сено), т/га	25,8	3,77	3,45	3,03	2,90	2,91	
Стоимость основной продукции, руб./га	12900	26390	24150	30300	29000	29100	25307
Производственные затраты, руб./га	4828,1	12179,6	12300,7	13092,5	11200	11751,6	10892
Себестоимость продукции, руб./т	187,1	323,1	356,5	432,1	386,2	403,8	
Условно чистый доход, руб.	8071,9	14210,4	11849,3	17207,5	17800	17348,4	14415
Уровень рентабельности, %	167,2	116,7	96,3	131,4	158,9	147,6	132,3

Увеличение расходов отмечается и при применении удобрений как органических, так и минеральных (рисунок 67). Минимальными расходами характеризуется возделывание подсолнечника по фону использования в качестве органического удобрения соломы ячменя ( $\Phi + C$ ) – 10258 руб./га. Отчуждение соломы с поля приведет к дополнительным затратам, в результате чего на варианте пожнивно-корневых остатков ( $\Phi$ ) они повысятся на 8,9%.



Рисунок 67 – Производственные затраты при различных приемах повышения плодородия почвы при возделывании подсолнечника (2016-2020 гг., опыт 2)

Возделывание пожнивного сидерата в чистом виде ( $\Phi + ПС$ ) увеличит расходы на 22,9%, а совместно с соломой зерновой культуры – на 15%. Более высокие затраты отмечаются при применении припосевного минерального удобрения ( $\Phi + У$ ): превышение фона пожнивно-корневых остатков составляет 15,6-34,2%.

В результате было установлено, что уровень рентабельности повышается при совместном использовании различных видов удобрений. Если, например, при применении пожнивной сидерации ( $\Phi + ПС$ ) уровень рентабельности составил 121%, то при ее совместном использовании с удобрением ( $\Phi + ПС + У$ ) он увеличился до 123,7%, с соломой ( $\Phi + C + ПС$ ) – до 132,5%, а при дополнительном применении минерального удобрения ( $\Phi + C + ПС + У$ ) – до 147,4% (приложение 67).

Отчуждение соломы с поля (Ф) приводит к снижению уровня рентабельности на 27,2 абс.%. Применение припосевного минерального удобрения в чистом виде (Ф + У) или в комплексе с соломой (Ф + С + У) приводит к снижению уровня рентабельности соответственно на 38,1 и 56,0 абс.%.

Показатель рентабельности производства зерна озимой пшеницы в зависимости от приемов повышения плодородия почвы изменяется неоднозначно. При размещении озимой культуры по сидеральному пару отмечается его снижение на 21,7 абс.%, что связано не только с уменьшением валового сбора зерна, но и с увеличением на 8,3% расходов, связанных с содержанием в паровом поле сидеральной культуры. При возделывании озимой пшеницы в бинарном посеве с люцерной, несмотря на снижение ее урожайности, уровень рентабельности вырос на 14,8 абс.%, что связано с отнесением расходов по содержанию парового поля на полученную продукцию бобовой травы.

Устойчивым повышением уровня рентабельности в результате применения приемов биологизации в севооборотах характеризуется производство зерна ячменя: стабильная прибавка урожайности обеспечила увеличение экономического показателя на 11,3 и 28,9 абс.%.

Получение сравнительно высоких экономических показателей в зернопаропропашном севообороте протекало на фоне снижения содержания в почве гумуса на 0,4 абс.% (-12 т/га), в то время как под биологизированными севооборотами данный показатель за период с 2010 по 2016 г. вырос на 0,1-0,2 абс.% (см. рисунок 44). Поэтому очень важно дать оценку изучаемым приемам с учетом воспроизводства плодородия почвы.

Основными источниками гумуса в почве являются пожнивно-корневые остатки и органические удобрения. Нами было установлено, что для формирования бездефицитного баланса гумуса в почве зернопаропропашного севооборота необходимо внесение 133,3 т навоза (процент гумификации подстилочного навоза 0,09), что в денежном эквиваленте составит 14,734 тыс. руб./га; затраты техногенной энергии на внесение навоза составят при этом 84 ГДж/га.

В результате общие производственные затраты на возделывание культур в зернопаропропашном севообороте возрастут до 22 709 руб./га, что при данном уровне урожайности превысит общую стоимость основной продукции (на 6,4%).

В биологизированных севооборотах будет сформирован положительный баланс гумуса: +0,1 абс.% (+3,0 т/га) – в сидеральном и +0,2 абс.% (+6,0 т/га) – в зернотравянопропашном (см. рисунок 44). Эффект от восстановления плодородия почвы составит 3,680 и 7,370 тыс. руб./га (21 и 42 ГДж/га): для достижения полученной прибавки необходимо было бы внесение навоза в количестве 33,3 и 66,7 т/га соответственно.

Таким образом, применение приемов биологизации в севооборотах с подсолнечником обеспечивает формирование высокого уровня рентабельности (122,4-132,3%) при формировании в почве положительного баланса гумуса.

Положительное влияние приемов биологизации на экономическую эффективность отмечалось и в севообороте с сахарной свеклой (опыт 4): уровень рентабельности по сравнению с показателем контрольного севооборота (ЗПП) повысился на 1,2-5,6 абс.%. Возможно, данная прибавка несущественна, т.к. сахарная свекла испытывает только последствие применяемых приемов биологизации, но тенденция просматривается четкая (приложение 68).

Ярко выраженное влияние на уровень рентабельности производства корнеплодов сахарной свеклы оказали изучаемые приемы обработки почвы.

Переход от отвальной обработки почвы к безотвальным приемам обеспечил сокращение производственных затрат на 7,1% при плоскорезной обработке и на 9,8 и 10% – при дисковой мелкой и дисковой поверхностной. Но несмотря на более выраженное снижение затрат при дисковании именно эти варианты характеризуются наименьшим уровнем рентабельности: 131,5% – при поверхностном дисковании, 157,1% – при мелком дисковании (рисунок 68). Основная причина – снижение урожайности сахарной свеклы.

Наиболее высокий уровень рентабельности был сформирован при плоскорезной обработке почвы под сахарную свеклу на глубину 23-25 см – 187%, что на 39,9 абс.% было выше, чем при вспашке.

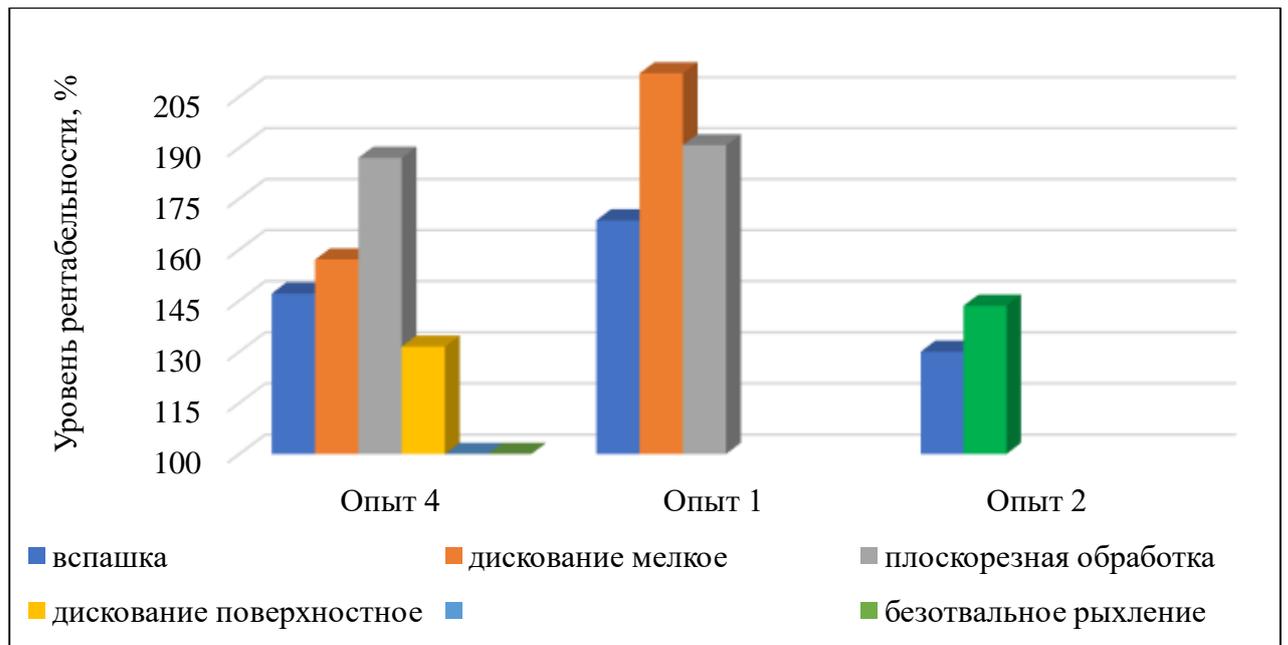


Рисунок 68 – Уровень рентабельности производства продукции растениеводства при различных приемах основной обработки почвы

Аналогичную тенденцию отметили и на подсолнечнике (опыт 1 и 2): замена отвального приема на безотвальные обеспечивала снижение затрат и повышение уровня рентабельности. Так, при переходе на плоскорезное рыхление уровень рентабельности вырос на 22,1 абс.%, проведение дискования обеспечило увеличение показателя на 43,3 абс.%, а замена вспашки безотвальным рыхлением топ-дауном – на 13,5 абс.%.

Таким образом, применение приемов биологизации в севооборотах на фоне формирования в почве положительного баланса гумуса способствует увеличению рентабельности производства.

## 6.2. Биоэнергетическая оценка севооборотов

Оценка отдельных приемов и целых систем земледелия по экономическим критериям является важным шагом на пути разработки оптимальных научно обоснованных элементов агротехнологий. Однако в современных условиях ценообразования, когда рыночные правила не работают, а механизмы их регулирования отсутствуют, обстоятельный анализ сталкивается с рядом трудностей, обу-

словленных зачастую стечением обстоятельств, что не позволяет дать объективную оценку разработанным технологиям или их элементам [85]. Решить данную проблему и дополнить значимость проведенных исследований позволяет определение биоэнергетической эффективности технологии, основанной на применении единых энергетических количественных критериев, которые в отличие от ценовых показателей позволяют определять затраты независимо от ценовой диспропорции, инфляционных процессов и колебаний цен на рынке [156, 216].

Формирование урожайности сельскохозяйственных культур базируется не только на преобразовании солнечной радиации, но и на потреблении большого количества дополнительной антропогенной энергии, затраченной на производство средств для защиты растений и промышленных удобрений, применяемых в растениеводстве машин и орудий; энергии, содержащейся в горюче-смазочных материалах; электроэнергии; энергии труда человека [114].

Стремительно развивающаяся интенсификация сельского хозяйства повлекла за собой создание сложного, многоступенчатого производства, в котором каждый технологический этап сопровождается значительными энергетическими затратами. При этом зачастую товаропроизводители сталкиваются с ситуацией, когда на фоне роста энергоемкости аграрного производства и увеличения объемов полученной продукции отмечается снижение выхода продукции на единицу затраченной энергии. То есть на лицо результат действия закона А. Тюрго-Т. Мальтуса: повышение удельного вложения энергии в агроэкосистему не дает адекватного, пропорционального увеличения ее продуктивности [321]. Поэтому очень важным сегодня является разработка технологий возделывания сельскохозяйственных культур и их отдельных элементов с минимальными энергетическими затратами.

Именно в сопоставлении энергии, затраченной на производство основной продукции, и энергии, аккумулируемой в урожае в процессе фотосинтеза, и заключается анализ энергетической эффективности изучаемых технологий. Актуальность проведения данного анализа определена основным требованием современного сельскохозяйственного производства – экономией энергии на единицу

полученного урожая [278]. Именно поэтому энергетическая оценка различных технологий и процессов производства сельскохозяйственной продукции имеет сегодня большое народнохозяйственное значение.

В дополнение к экономической оценке определить рациональность проведения конкретного агротехнического приема, целесообразность его применения и значимость используемого ресурса позволяет коэффициент энергетической эффективности (выход энергии с урожаем / затраты техногенной энергии).

На основании представленных в таблице 68 результатов было установлено, что севообороты с применением изучаемых приемов биологизации по сравнению с контрольным вариантом характеризуются более высокой энергетической эффективностью.

Согласно существующей оценочной шкале [156] возделывание культур в зернопаропропашном севообороте характеризуется средней (3,49-3,56), в сидеральном – высокой (6,44-6,49), а в зернотравянопропашном севообороте – очень высокой энергетической эффективностью (22,5-22,61). Проанализируем причины, обусловившие формирование данных значений.

Как было отмечено, наименьшей энергетической эффективностью характеризуется зернопаропропашной севооборот, т.е. севооборот без применения приемов повышения плодородия почвы (контроль).

Наличие чистого пара приводит к необходимости переноса затрат техногенной энергии на озимую пшеницу, в результате чего даже на фоне высокой урожайности этой культуры энергетическая эффективность оказалась наименьшей ( $Kэ = 7,40$ ).

В сидеральном севообороте поле пара занято донником желтым, зеленая масса которого в фазу массового цветения используется в качестве зеленого удобрения. Содержание сидерального пара, в принципе, также как и чистого, сопровождается затратами техногенной энергии (1,290 ГДж/га), но в отличие от чистого пара на данном варианте создается основная продукция, выход энергии с которой составляет 173,48 ГДж/га.

Таблица 68 – Энергетическая эффективность возделывания культур в зависимости от видов севооборота и приемов основной обработки почвы (2011-2016 гг., опыт 1)

Показатель	Культура и прием основной обработки почвы						Среднее по севообороту		
	пар	озимая пшеница	ячмень	подсолнечник					
				В	Д	П	В	Д	П
<b>Зернопаропропашной севооборот</b>									
Урожайность, т/га	-	3,94	3,01	2,77	2,59	2,58			
Затраты техногенной энергии, ГДж/га	1,565	8,060	4,839	39,491	39,069	39,283	13,489	13,383	13,437
Выход энергии с урожаем основной продукции, ГДж/га	-	71,314	54,180	66,480	62,160	61,920	47,993	46,913	46,853
Коэффициент энерг. эффективности	-	7,40	11,20	1,68	1,59	1,58	3,56	3,50	3,49
Энергоемкость, ГДж/т	-	2,04	1,61	14,26	15,08	15,22			
<b>Сидеральный севооборот</b>									
Урожайность, т/га	9,48	3,81	3,14	2,87	2,74	2,69			
Затраты техногенной энергии, ГДж/га	1,290	8,060	4,839	42,491	42,069	42,283	14,170	14,064	14,118
Выход энергии с урожаем основной продукции, ГДж/га	173,48	68,961	56,520	68,880	65,760	64,560	91,961	91,181	90,881
Коэффициент энерг. эффективности	134,48	8,55	11,68	1,62	1,56	1,53	6,49	6,48	6,44
Энергоемкость, ГДж/т	0,14	2,11	1,54	14,80	15,35	15,72			
<b>Зернотравянопропашной севооборот</b>									
Урожайность, т/га	12,9	3,77	3,45	3,03	2,90	2,91			
Затраты техногенной энергии, ГДж/га	1,219	8,060	4,839	42,491	42,069	42,283	14,152	14,047	14,100
Выход энергии с урожаем основной продукции, ГДж/га	236,1	68,237	62,100	72,720	69,600	69,840	109,78	109,01	109,07
Коэффициент энерг. эффективности	193,68	8,47	12,83	1,71	1,65	1,65	7,76	7,76	7,73
Энергоемкость, ГДж/т	0,09	2,14	1,40	14,02	14,51	14,53			

Все это позволяет говорить об очень высокой эффективности использования парового поля: коэффициент энергетической эффективности составляет 134,48 (получение такого высокого значения связано со сравнительно высоким значением показателя содержания энергии в 1 т зеленой массы бобовых трав в фазе начала цветения – 18,3).

Аналогично проходит формирование коэффициента энергетической эффективности технологии возделывания люцерны синей: значительный выход в паровом поле зеленой массы, используемой на кормовые цели, позволяет расширить соотношение между выходом энергии с урожаем и техногенными затратами.

Для ясности формирования механизма расчета затрат техногенной энергии на паровых полях стоит отметить, что их незначительные объемы связаны с технологией возделывания бобовых трав 2-го г.ж. в качестве парозанимающих культур: все затраты, связанные с осуществлением посева, отнесены на подсолнечник, где бобовые травы выступают его бинарными компонентами.

Благодаря тому, что в паровых полях сидерального и зернопаровпропашного севооборота имело место получение основной продукции различного назначения, затраты техногенной энергии с этих полей не переносились на озимую пшеницу, как в зернопаровпропашном севообороте, в результате чего даже на фоне снижения урожайности озимой зерновой культуры коэффициент энергетической эффективности был на 1,07-1,15 единиц выше (8,47-8,55).

Сравнительно более высокий коэффициент энергетической эффективности характерен и для ячменя, возделываемого в севооборотах с приемами биологизации – 11,68 и 12,83. Превышение показателя над контрольными значениями составило 0,48-1,63 единицы, что на фоне одинаковых техногенных затрат было обусловлено существенно более высоким выходом энергии с основной продукцией благодаря формированию более высокой урожайности культуры.

Тенденция увеличения энергетической эффективности возделывания культурных растений с элементами биологизации отмечается и под посевами подсолнечника: коэффициент энергетической эффективности бинарных посевов мас-

личной культуры был выше, чем одновидовых посевов (на всех вариантах обработки почвы). Конечно, возделывание подсолнечника в биологизированных севооборотах было сопряжено с дополнительными затратами (посев и заделка в почву пожнивного сидерата, посев бинарного компонента), что, бесспорно, привело к росту общих затрат техногенной энергии (на 3,0 ГДж/га). Но даже учитывая этот факт, прибавка урожайности культуры, сформированная благодаря комплексному действию изучаемых приемов в севообороте с люцерной синей, позволила получить существенную прибавку вновь созданной энергии, которая в среднем по вариантам обработки почвы составила 7,2 ГДж/га. Полученная прибавка урожайности подсолнечника при его совместном возделывании с донником желтым не смогла обеспечить формирование более высокой по сравнению с одновидовым посевом энергетической эффективности.

Что касается влияния приемов основной обработки почвы на энергетическую эффективность, то следует отметить преимущество отвальной обработки почвы. Несмотря на то, что затраты техногенной энергии по сравнению с безотвальными приемами обработки почвы были на 0,208-0,422 ГДж/га выше (вспашка является наиболее энергозатратным приемом), именно на данном варианте были сформированы наиболее оптимальные условия для интенсивного развития подсолнечника, что благоприятно отразилось на величине урожайности, повышении выхода энергии и формировании более высокого коэффициента энергетической эффективности.

С учетом изучаемых приемов возделываемые в севооборотах культуры по повышению энергетической эффективности можно разместить в следующем порядке:

- 1) зернопаропропашной севооборот: чистый пар – одновидовой посев подсолнечника – озимая пшеница – ячмень;
- 2) биологизированные севообороты: бинарные посевы подсолнечника – озимая пшеница – ячмень – пары с многолетними бобовыми травами (сидеральный и занятый).

В целом же энергетическая эффективность культур следующая: 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).

Положительное влияние изучаемых в севооборотах приемов биологизации отмечается и при анализе такого показателя, как энергоемкость, выражающегося в затратах техногенной энергии на создание единицы продукции.

Применение многолетних бобовых трав и сидерации пожнивно способствуют формированию оптимальных условий для вегетации растений, что сопровождается повышением урожайности культур, в результате чего даже на фоне увеличения затрат техногенной энергии энергоемкость культур снижается: на ячмене – на 0,07-0,21 ГДж/т, на совместном посеве подсолнечника и люцерны – на 0,24...0,57...0,69 ГДж/т.

Прибавка в урожайности подсолнечника при его бинарных посевах с донником желтым не обеспечила снижения энергоемкости, а наоборот, привела к ее росту. Увеличение энергоемкости отмечается и на посевах озимой пшеницы, возделываемой в биологизированных севооборотах, что связано со снижением урожайности культуры.

На основании проведенного анализа можно сделать вывод: наибольший выход чистой энергии характерен для зернотравянопропашного севооборота и вспашки.

### **6.3. Оценка почвозащитной способности севооборота**

Важное значение в сохранении плодородия почвы и, в первую очередь, в снижении потерь гумуса имеет сокращение развития эрозионных процессов. Из-

вестно, что пахотные земли с уклоном более  $1^\circ$  теряют почти 7 т верхнего плодородного слоя с каждого гектара. С ливневыми атмосферными осадками вымывается 7 кг/га питательных веществ, в частности до 80% аммонийного и нитратного азота, 20% калия, около 8% фосфора [16]. Эрозия почвы приводит к деградации и уплотнению почвенной массы, разрушению структуры почвы, снижению ее водопрочности и к другим негативным последствиям, что отрицательно сказывается на урожайности сельскохозяйственных культур. Наиболее точную оценку эрозии как наиболее масштабному и вредоносному фактору деградации почв дал профессор И.А. Крупенников (1985): «Эрозия выполняет по отношению к почве роль гильотины – она ее в буквальном смысле обезглавливает: лишает верхних гумусовых горизонтов, в которых сосредоточено почвенное плодородие».

Естественным двигателем развития эрозионных процессов является размещение сельскохозяйственных угодий на склоновых землях (более  $1^\circ$ ). В целом по ЦЧР склоновая пашня занимает около 70% , причем в Белгородской, Воронежской и Курской областях на ее долю приходится три четверти всей пашни, значительная часть которой уже в различной степени эродирована, а в некоторых случаях даже разрушена овражной эрозией. Так, в Воронежской области более 52% территории подвержены водной (более 950 тыс. га) и ветровой (около 145 тыс. га) эрозии [16].

Деградация почв в результате развития эрозионных процессов на склонах небольшой крутизны протекает, на первый взгляд, незаметно, но кажущееся отсутствие проблемы или ее несущественность нередко приводят к возникновению ситуации, когда естественное самовосстановление почвы будет уже невозможно.

Наличие и интенсивность развития эрозионных процессов на пашне напрямую связаны с характером антропогенной деятельности. К числу основных причин, способствующих возникновению или усилению развития эрозионных процессов в первую очередь относятся несоблюдение системы севооборотов, «хищническое» отношение к земле и агрономическая неграмотность [266]. В связи с этим немаловажным является разработка мероприятий по повышению эрозион-

ной и дефляционной устойчивости севооборотов, основанной не только на повышении проективного покрытия почвы в критический период проявления эрозионных процессов (апрель-май), но и на обеспечении почвозащитной способности в течение всего вегетационного периода.

Рассматриваемый полевой опыт 1 был заложен на склоне до  $1^0$ , т.е. на пашне, не подверженной эрозионным процессам, поэтому почвозащитная способность севооборотов с учетом изучаемых приемов биологизации была рассчитана теоретическим путем [121].

Было установлено, что введение в севооборот посевов поживных сидератов и бобовых трав способствовало увеличению проективного покрытия почвы в эрозионно-опасный период и повышению устойчивости к развитию водной и ветровой эрозии (приложение 69, рисунок 69).

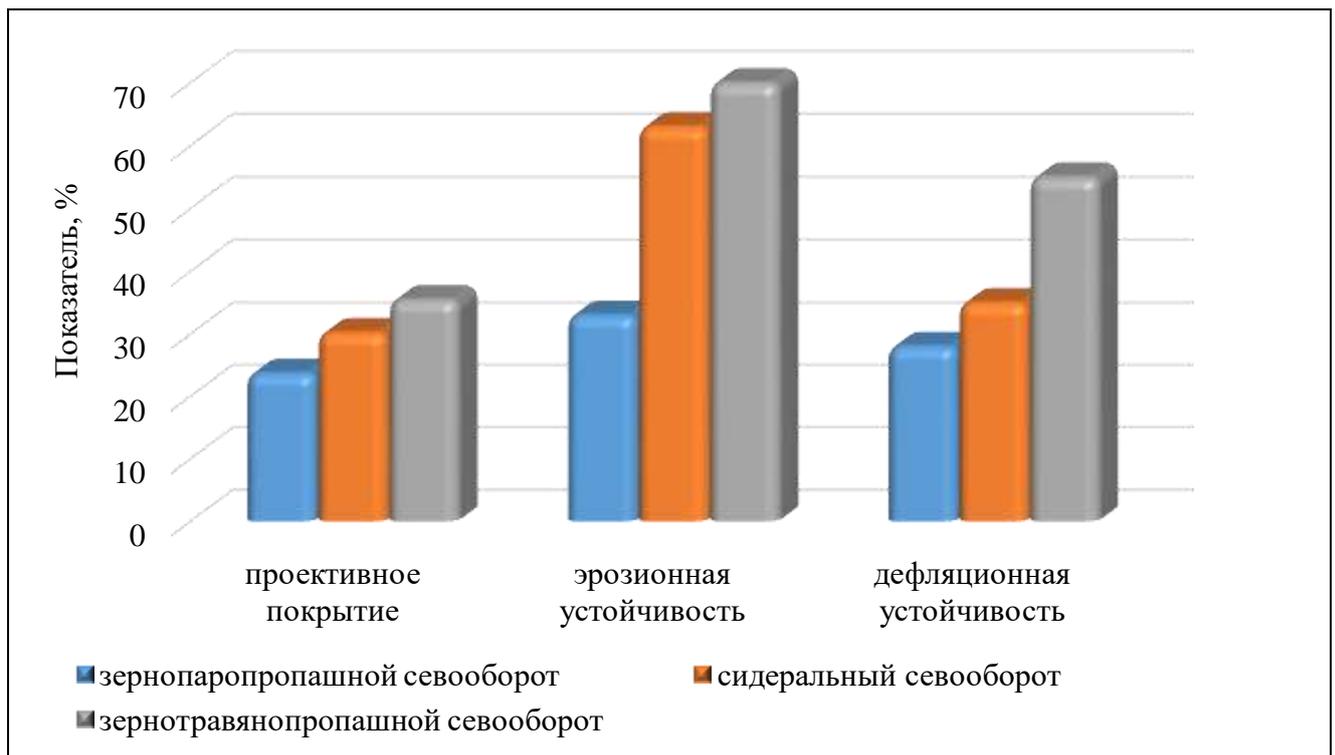


Рисунок 69 – Почвозащитная способность различных видов севооборотов (опыт 1)

Периодом, для которого характерна наибольшая подверженность почвы эрозионным процессам под влиянием талых и ливневых вод являются весенние месяцы апрель и май. Именно в этот период возделываемые в севооборотах культуры

находятся на начальных этапах своего развития, характеризуются слабым покрытием поверхности почвы надземной массой и незначительным развитием корневых систем, что и определяет их минимальную почвозащитную способность.

Самым низким проективным покрытием поверхности почвы в апреле-мае характеризуются пропашные культуры – 3-5%. Несколько выше показатель у культур сплошного сева поздних сроков – 10%. На 20 и 25% покрывают поверхность почвы в рассматриваемый период яровые зерновые и зернобобовые культуры. Существенно более высокие значения характерны для озимых культур (70%) и многолетних трав (98%), имеющих в это время хорошо развитую корневую систему и находящихся в фазе интенсивного весеннего развития. Полным отсутствием покрытия почвы растительной массой характеризуется чистый пар (0%) [121].

Расчет средневзвешенного проективного покрытия ( $P_{ср}$ ) почвы культурами зернопаропропашного севооборота показал его низкую почвозащитную способность (23,75%). Освоение севооборотов с посевами многолетних бобовых трав позволит существенно повысить данный показатель.

Во-первых, введение многолетних трав в севооборот в качестве бинарных компонентов подсолнечника увеличило проективное покрытие почвы на 5% (т.к. посев трав был осуществлен одновременно с подсолнечником широкорядным способом).

Во-вторых, дальнейшее произрастание бобовых трав в совместных посевах с масличной культурой и их переход в паровые поля позволил обеспечить на них существенное покрытие почвы в эрозионно опасный период – 21% (для условного перевода проективного покрытия поверхности почвы многолетними травами сплошного способа посева на широкорядный был применен коэффициент 4,5).

В-третьих, последующее произрастание люцерны синей в качестве бинарного компонента озимой пшеницы позволило обеспечить в период весеннего отрастания и развития культур увеличение проективного покрытия почвы на 21%.

В результате сидеральный, и зернотравянопропашной севооборот характеризуются средней почвозащитной способностью в эрозионно опасный весенний период: показатели средневзвешенного проективного покрытия почвы составили соответственно 30,25 и 35,5%.

Теоретически ожидаемое формирование очень хорошей ( $P_{cp}$  более 40%) почвозащитной способности севооборота с многолетними бобовыми травами в данном случае быть не может, т.к. мы имеем дело с широкорядными посевами трав.

По мере развития культурных растений происходит наращивание подземной и надземной масс, в результате чего почвозащитная способность почвы постепенно увеличивается, но уровни эрозионной опасности различных групп культур сохраняются. По-прежнему максимальной эрозионной опасностью обладает чистый пар, характеризующийся коэффициентом 1,0. Группу со слабой почвозащитной способностью составляют пропашные культуры, со средней – зерновые сплошного сева, с хорошей – многолетние травы.

Наихудшим показателем общей почвозащитной способности обладает зернопаропропашной севооборот – 33...28%, что и неудивительно, т.к. 50% в его структуре составляют наиболее эрозионно-опасные культуры и пар.

Практически в 2,1 и 2,4 раза повышается почвозащитная способность (эрозионная) сидерального и зернотравянопропашного севооборота. Так, присутствие бобовых трав в посевах подсолнечника обеспечивает дополнительную защиту почв как в течение вегетации, так и после уборки основной культуры. Применение же пожнивной сидерации позволяет обеспечить дополнительную защиту почв после уборки ячменя.

Различия в показателях почвозащитной способности сидерального и зернотравянопропашного севооборота связаны с характером использования бобовых трав в паровых полях. Так как донник в качестве сидеральной культуры произрастает в паром поле только часть вегетационного периода (до конца июня), то рассматривать данную культуру как многолетнюю траву не представляется воз-

возможным, поэтому для расчета был взят коэффициент эрозионной опасности однолетних трав (0,5). Кроме того, в зернотравянопропашном севообороте люцерна синяя присутствует и в посевах озимой пшеницы, что также положительно сказывается на повышении почвозащитной способности.

В общей сложности почвозащитную способность сидерального и зернотравянопропашного севооборота в отношении водной эрозии почвы можно считать хорошей (показатели 63 и 72%).

Дефляционная почвозащитная способность севооборота по сравнению с эрозионной слабее и характеризуется как средняя, что связано в первую очередь с более высокими коэффициентами дефляционной опасности отдельных групп культур. Например, заделка в почву сидеральной массы донника желтого в первом месяце лета оставляет поверхность почвы открытой для развития дефляционных процессов, что и определяет формирование более высокого коэффициента опасности (0,75). Увеличение данного показателя (на 0,15 ед.) характерно и для ячменя – рано убираемой зерновой культуры.

В итоге, применение в севооборотах пожнивной сидерации и многолетних трав обеспечивает рост их 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%.

## 7. МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОДУКТИВНОСТИ СЕВООБОРОТА

Севооборот – это сложная сельскохозяйственная система, представляющая собой совокупность управляемых осознанной деятельностью человека физических, биологических и химических процессов с целью получения оптимальных урожаев полевых культур.

Модель продуктивности севооборота – один из важнейших инструментов управления, основанный на научной характеристике структурных и функциональных параметров системы, их свойств и взаимосвязей. Моделирование продуктивности системы, основу функционирования которой составляют многочисленные процессы трансформации энергии и вещества, базируется на системном анализе.

Порядок построения модели определяется поставленными целями. Основной целью проводимого моделирования является установление зависимости продуктивности севооборота от показателей почвенного плодородия. Но модель – это, прежде всего, связующее звено между теоретическим и эмпирическим познанием, поэтому при ее построении важно учитывать несколько принципов:

- принцип уменьшения избыточности модели, обусловленной избытком частных фактов и закономерных связей;
- принцип семантики модели, т.е. использование величин, соответствующих реальному объекту и характеризующих его;
- принцип синтаксиса модели, т.е. математическое описание отношений между отдельными величинами [268].

ВНИИЗ и ЗПЭ выделил три группы переменных величин, которые могут быть положены в основу построения количественной модели продуктивности агроценоза:

- 1) фазовые переменные почвенной среды: влажность почвы, содержание в пахотном слое элементов питания, органических остатков, гумуса, биологическая активность почвы, водно-физические свойства почвы;

2) фазовые переменные растительного покрова: биомасса растений, геометрическая характеристика органов растений, продолжительность фенологических периодов, температура и влагосодержание растительной массы;

3) фазовые переменные приземного слоя атмосферы: содержание углекислого газа, температура и влажность воздуха [268].

При этом набор фазовых переменных в зависимости от целей моделирования может изменяться.

Моделирование продуктивности севооборота основано на зависимости от показателей плодородия почвы – открытой многокомпонентной динамической системы. Важное место при этом имеет выбор главных переменных величин, отражающих состояние объекта, т.е. нахождение наименьшего числа из существующих факторов, определяющих основные черты исследуемого объекта [301].

В ходе проведенного исследования были установлены зависимости продуктивности севооборота от физических, химических, биологических свойств почвы, от увлажненности вегетационного периода, а также существенность, направление и сила связи между различными показателями.

Реализация принципов построения модели продуктивности севооборота была осуществлена посредством использования полученных в ходе проведения исследования значений изучаемых показателей, результатов корреляционно-регрессионного анализа, а также игнорирования несущественных, слабой и средней силы связей между изучаемыми показателями и базирования на достоверных сильных зависимостях. Другими словами, в модель внесена информация, которая получена путем уменьшения избыточности из исходных данных и систематизирована основными, приближенно соответствующими реальным зависимостям отношениями.

В результате получена эффективная модель, поведение которой сравнимо с поведением реального объекта.

Нами была создана структурная модель продуктивности севооборота, которая выражает моделируемую систему через отношение числа линий, показывающих взаимосвязи, к числу взаимосвязанных элементов (рисунок 70).

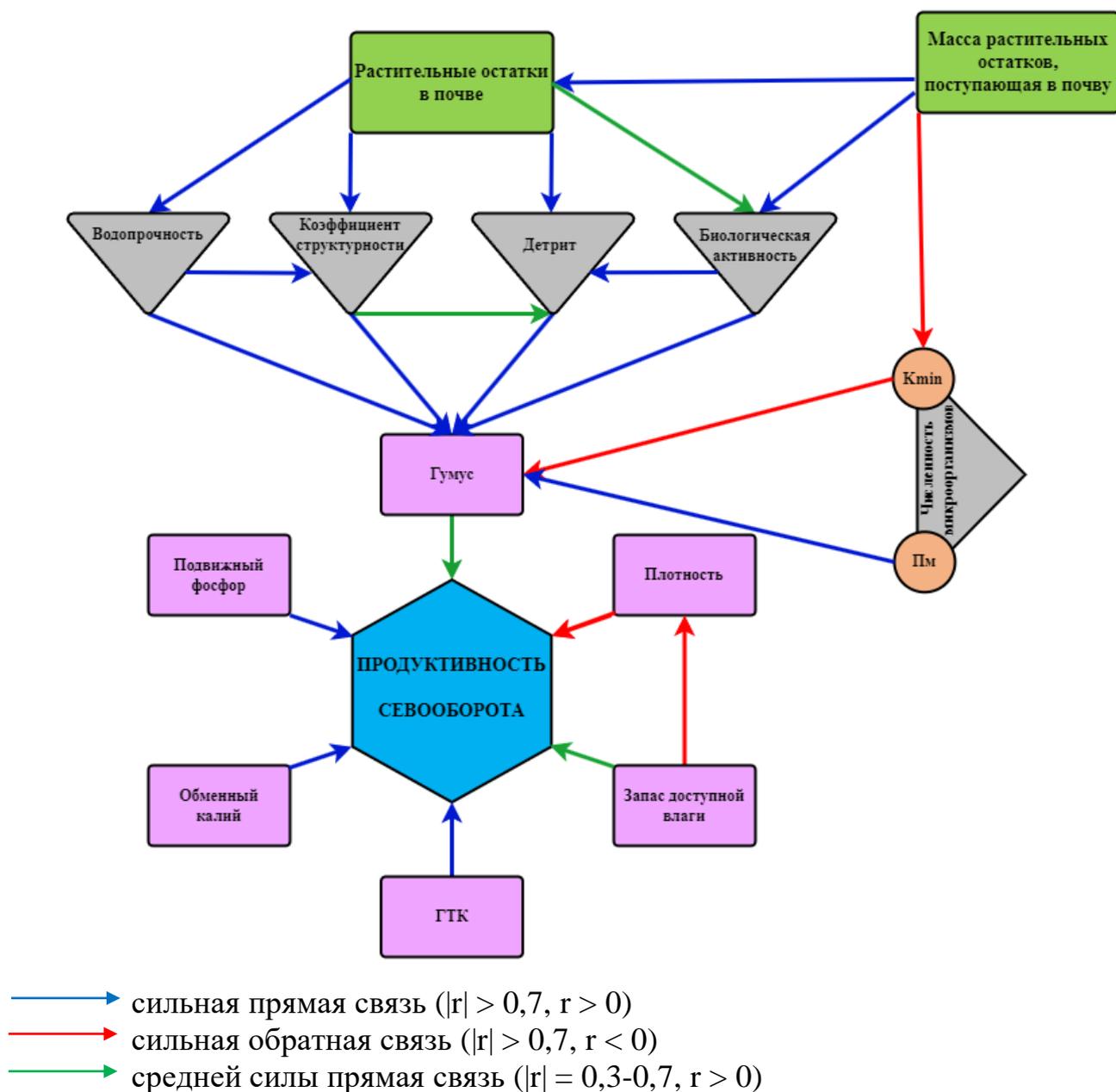


Рисунок 70 – Модель продуктивности севооборота в условиях ЦЧР на черноземе типичном, глинистом

Модель основана на предварительно установленных характерных для изучаемого процесса закономерностях, на количественных характеристиках явлений исследуемого процесса, на степени и характере взаимодействия между ними, содержательное описание которых приведено в разделах 3 и 5 диссертации и представлено в таблице 69.

Таблица 69 – Результаты корреляционно-регрессионного анализа для структурной модели продуктивности севооборота

Показатель		Уравнение регрессии	Коэффициент корреляции
у	х		
Водопрочность, %	Содержание растительных остатков в почве, т/га	$y = 1,3038x + 71,629$	$0,764 \pm 0,137$
Коэффициент структурности		$y = 0,2066x + 1,3277$	$0,770 \pm 0,136$
Детрит, %		$y = 0,0338x + 0,0015$	$0,888 \pm 0,115$
Биологическая активность		$y = 7,3227x - 15,229$	$0,624 \pm 0,195$
Коэффициент структурности	Водопрочность, %	$y = 0,1445x - 9,0066$	$0,818 \pm 0,099$
Содержание детрита, %	Биологическая активность	$y = 0,0022x + 0,1444$	$0,660 \pm 0,188$
	Коэффициент структурности	$y = -0,1052x - 0,0806$	$0,603 \pm 0,170$
Биологическая активность	Масса поступающих растительных остатков, т/га	$y = 0,6446x + 9,3715$	$0,728 \pm 0,217$
Коэффициент минерализации		$y = 2,2364x + 17,379$	$0,803 \pm 0,188$
Содержание гумуса, %	Водопрочность, %	$y = -0,0336x + 2,2425$	$-0,734 \pm 0,170$
	Водопрочность, %	$y = 0,639x + 0,5389$	$0,741 \pm 0,212$
	Коэффициент структурности	$y = 0,5002x + 4,3311$	$0,840 \pm 0,171$
	Детрит, %	$y = 3,3802x + 4,9766$	$0,768 \pm 0,202$
	Биологическая активность	$y = 0,0191x + 5,088$	$0,770 \pm 0,202$
	Растительные остатки, т/га	$y = 0,0835x + 5,1024$	$0,657 \pm 0,238$
	Коэффициент минерализации	$y = -0,7917x + 7,0675$	$-0,752 \pm 0,208$
Продуктивность севооборота, т к.ед./га	Коэффициент трансформации	$y = 0,1278x + 4,3941$	$0,757 \pm 0,207$
	Гумус, %	$y = 6,4911x - 24,51$	$0,454 \pm 0,153$
	Плотность, г/см <sup>3</sup>	$y = -125,01x + 154,44$	$-0,539 \pm 0,233$
	Доступная влага в слое 0-100 см, мм	$y = 0,0539x + 3,1878$	$0,491 \pm 0,218$
	Подвижный фосфор, мг/кг почвы	$y = 0,072x + 5,0146$	$0,741 \pm 0,186$
	Обменный калий, мг/кг почвы	$y = 0,0663x + 1,1728$	$0,879 \pm 0,132$
	ГТК	$y = 2,8709x + 8,3098$	$0,787 \pm 0,171$

Известно, что важным показателем почвенного плодородия является содержание в ней органического вещества, которое одновременно является и аккумулятором, и источником энергии для многих протекающих в почве процессов, для нормального круговорота вещества и энергии в агроландшафте, служит базой существования и деятельности почвенных организмов, основой почвенного плодородия [268].

Источником органического вещества являются растительные остатки, которые могут быть представлены как пожнивно-корневой и нетоварной частью урожая, так и зеленой массой сидеральных культур.

Увеличение поступления в почву свежей биомассы обеспечивает увеличение массы растительных остатков в почве, рост биологической активности и снижение коэффициента минерализации ( $K_{\text{мин}}$ ), т.е. сокращение численности микроорганизмов, усваивающих минеральный азот, по отношению к численности аммонифицирующих микроорганизмов.

Растительные остатки в почве оказывают сильное прямое влияние на структурное состояние почвы, ее водопрочность, на содержание в почве детрита, а также средней силы влияние – на биологическую активность почвы. В свою очередь, улучшение водопрочности почвы обеспечивает увеличение ее коэффициента структурности; усиление биологической активности почвы, а также улучшение структурного состояния способствуют формированию более высоких показателей содержания лабильного органического вещества.

Все рассматриваемые показатели оказывают сильное прямое влияние на содержание в почве гумуса. Кроме того, установлена сильная прямая связь содержания гумуса с коэффициентом трансформации ( $\Pi_{\text{м}}$ ) и сильная обратная связь – с коэффициентом минерализации ( $K_{\text{мин}}$ ).

Корреляционно-регрессионный анализ позволил установить, что в условиях юго-востока Центрально-Черноземного региона продуктивность севооборота на черноземе типичном, глинистом, среднегумусном, со слабокислой реакцией почвенного раствора находится в сильной прямой зависимости от содержания в почве элементов питания, в средней обратной зависимости от плотности

почвы и в средней прямой зависимости от содержания в почве гумуса и доступной влаги. Зависимость от остальных изучаемых показателей почвенного плодородия была или не существовавшей, или приближена к слабой, что теоретически объяснимо: значения данных показателей не выходили за пределы оптимальных параметров, что и не позволило установить искомую взаимосвязь.

На формирование продуктивности севооборота оказывают влияние не только агрофизические, агрохимические и биологические свойства почвы, но и увлажненность вегетационного периода. Была установлена тесная прямая зависимость продуктивности севооборота от гидротермического коэффициента.

Таким образом, продуктивность севооборота в указанных ранее почвенно-климатических условиях будет определяться увлажненностью вегетационного периода, содержанием в слое почвы 0-100 см доступной влаги, в 30-сантиметровом слое почвы – гумуса, подвижного фосфора, обменного калия, а также плотностью пахотного слоя почвы. Для увеличения содержания гумуса в почве необходимо обеспечить увеличение поступления в нее растительных остатков.

Построенная модель продуктивности севооборота имеет возможность постепенного ввода в нее новых, полученных в ходе исследовательских работ знаний, что отвечает одному из важных требований к модели – возможности расширения [268].

## 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 ( $1,1-1,12 \text{ г/см}^3$ ) 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  $0,3-1,3 \text{ кг/см}^2$ .

7. Биологизированные севообороты характеризуются более высоким содержанием в слое почвы 0-30 см подвижного фосфора (91-92 мг/кг почвы). По сравнению с фоном поживно-корневых остатков органические и органо-минеральные удобрения обеспечивают увеличение содержания в почве подвижного 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 несущественны. 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 безотвальном глубоком рыхлении 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 зерно-травянопропашном.

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. Убывание 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 зерно-травянопропашного – 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 зерно-паропропашном севообороте.

Наиболее высокую урожайность подсолнечника обеспечивает посев с внесением припосевного минерального удобрения по фону совместного применения соломы и поживной 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 лужистости 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 (N24P24K24).

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 ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Абрамов, Н. В. Основная обработка почвы и формирование азотного режима в системе точного земледелия / Н. В. Абрамов, С. А. Семизоров, А. М. Оксукбаева // Земледелие. – 2022. – № 3. – С. 32-36.
2. Абрамов, Н. В. Совершенствование основных элементов систем земледелия в лесостепи Западной Сибири : автореф. дис. ... д-ра с.-х. наук : 06.01.01 / Абрамов Николай Васильевич. – Омск, 1992. – 32 с.
3. Авдеенко, А. П. Отзывчивость сортов и гибридов подсолнечника на совместное произрастание с бобовыми травами и вайдой красильной / А. П. Авдеенко, Н. А. Зеленский // Современные проблемы науки и образования. – 2008. – № 6. – С. 4.
4. Авдеенко, А. П. Формирование высокопродуктивных агрофитоценозов и разработка элементов биологизации системы земледелия в степной зоне Северного Кавказа : автореф. дис. ... д-ра с.-х. наук : 06.01.09, 06.01.01 / Авдеенко Алексей Петрович. – Персиановский, 2009. – 46с.
5. Агрофизические аспекты формирования запасов влаги при различных способах обработки почвы / Е. П. Денисов, К. Е. Денисов, И. С. Полетаев, Е. В. Полуэктов // Аграрный научный журнал : естественные науки. – 2015. – № 9. – С. 21-26.
6. Агрофизические процессы формирования запасов продуктивной влаги в почве / Е. П. Денисов, А. П. Солодовников, А. С. Линьков, Ф. П. Четвериков // Вестник Саратовского госагроуниверситета им. Н.И. Вавилова. – 2014. – № 8. – С. 10-15.
7. Агроэкологическое состояние черноземов ЦЧО / под ред. А. П. Щербакова, И. И. Васенева. – Курск, 1996. – 330 с.
8. Адаптивная ресурсосберегающая технология возделывания подсолнечника в условиях Воронежской области / А. А. Спиваков, А. Ю. Квасов, А. А. Харьковский [и др.] – Каменная Степь, 2014. – 53 с.

9. Адерихин, П. Г. Почвы Воронежской области, их генезис, свойства и краткая агропроизводственная характеристика / П. Г. Адерихин. – Воронеж: Изд-во Воронежского ун-та, 1963. – 264 с.
10. Азаров, В. Б. Агроэкологический мониторинг земель сельскохозяйственного назначения юго-западной части ЦЧЗ : автореф. дис. ... д-ра с.-х. наук : 06.01.03, 03.00.16 / Азаров Владимир Борисович. – Белгород, 2004. – 43 с.
11. Азаров, В. Б. Мониторинг плодородия почв Центрального Черноземья / В. Б. Азаров. – Белгород, 2004. – 204 с.
12. Азизов, З. М. Ресурсосберегающие системы основной обработки почвы в 4-польном зернопаровом севообороте засушливой черноземной степи Поволжья / З. М. Азизов, В. В. Архипов, И. Г. Имашев // Земледелие. – 2022. – № 4. – С. 12-17.
13. Александрова, Л. Н. Органическое вещество почвы и процессы его трансформации / Л. Н. Александрова. – Л. : Наука, 1980. – 286 с.
14. Алексеев, Е. К. Зеленые удобрения в Нечерноземной полосе / Е. К. Алексеев. – Москва : Сельхозиздат, 1959. – 276 с.
15. Аленин, П. Г. Эффективность систем зяблевой обработки почвы в зернопропашном звене севооборота на выщелоченном черноземе Пензенской области : автореф. дис. ... канд. с.-х. наук : 06.01.01 / Аленин Павел Григорьевич. – Кинель, 1997. – 20 с.
16. Алмобарак, Ф. Результаты мониторинга природно-антропогенной трансформации агроэкосистем Воронежской области за период сельскохозяйственного природопользования / Ф. Алмобарак, Л. А. Межова // Самарский научный вестник. – 2020. – № 1(30), вып. 8. – С. 14-18.
17. Андрюхов, В. П. Эффективность плоскорезной основной обработки почвы под подсолнечник / В. П. Андрюхов // Вестник сельскохозяйственной науки. – 1987. – №8. – С. 37-40.
18. Аринушкина, Е. В. Руководство по химическому анализу почв. – М. : Изд-во Моск. ун-та, 1970. – 487 с.

19. Афанасьева, Е. А. Водно-солевой режим обыкновенных черноземов Юго-Востока Европейской части СССР / Е. А. Афанасьева. – Москва : Наука, 1980. – 217 с.
20. Ахметзянов, М. Р. Влияние приемов основной обработки почвы и растительной биомассы на продуктивность культур в звене севооборота / М. Р. Ахметзянов, И. П. Таланов // Плодородие. – 2019. – № 5(110). – С. 41-45.
21. Ахметзянов, М. Р. Научно-практические основы управления факторами почвенного плодородия при биологизации земледелия на серых лесных почвах лесостепи Среднего Поволжья : автореф. дис. ... д-ра с.-х. наук : 06.01.01/ Ахметзянов Марсель Равилович. – Казань, 2020. – 48 с.
22. Ахтырцев, Б. П. Гумус эродированных черноземов / Б. П. Ахтырцев / Органическое вещество пахотных почв : научные труды Почв. ин-та им. В. В. Докучаева. – М., 1987. – С. 109-177.
23. Ахтырцев, Б. П. Почвенный покров Среднерусского Черноземья / Б. П. Ахтырцев, А. Б. Ахтырцев. – Воронеж: Изд-во ВГУ, 1993. – 216 с.
24. Ахтямова, А. А. Деструкция растительных остатков на черноземе выщелоченном / А. А. Ахтямова, Д. И. Еремин // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. – 2018. – № 4(72). – С. 30-33.
25. Багдасарян, А. С. Биотестирование почв техногенных зон городских территорий с использованием растительных организмов : автореф. дис. ... канд. биол. наук : 03.00.16 / Багдасарян Александр Сергеевич. – Ставрополь, 2005. – 24 с.
26. Бакиров, Ф. Г. Накопление и сохранение влаги почвенной и соломенной мульчей в Оренбургской области / Ф. Г. Бакиров, Д. Г. Поляков, И. В. Васильев // Земледелие. – 2022. – №3. – С. 3-7.
27. Бараев, А.И. Почвозащитное земледелие : избранные труды / А. И. Бараев. – Москва : Агропромиздат, 1988. – 383 с.
28. Беляева, М. В. Оценка ущерба от деградации почв и земель Самарской области на уровне региона, муниципального района и агрохозяйства / М. В. Беляева, О. А. Макаров, Д. Р. Абдулханова // Земледелие. – 2022. – № 8. – С. 3-7.

29. Беседин, Н. В. Биологическая активность почвы в зависимости от способов обработки почвы в зернотравяном севообороте в условиях Курской области / Н. В. Беседин, А. А. Белкин, А. Ю. Кругликов // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. – 2011. – № 6(80). – С. 34-37.

30. Беседин, Н. В. Ресурсосберегающая обработка почвы при возделывании зерновых культур в севооборотах Центрального Черноземья : автореф. дис. ... д-ра с.-х. наук : 06.01.01 / Беседин Николай Васильевич. – Курск, 2006. – 42 с.

31. Бигон, М. Экология : Т.1 / М. Бигон, Дж. Харкер, К. М. Таунсенд. – Мир, 1989. – 667 с.

32. Бинарные посева подсолнечника и бобовых трав и сохранение плодородия почвы / Е. П. Луганцев, А. П. Авдеенко, Н. А. Зеленский, И. Н. Шестов // Земледелие. – 2008. – № 4. – С. 22-23.

33. Бинарные посева подсолнечника с донником и люцерной и их влияние на биогенность почвы / С. И. Коржов, Т. А. Трофимова, А. П. Солодовников, Н. П. Молчанова // Аграрный научный журнал. – 2018. – № 5. – С. 26-30.

34. Биологизация земледелия в России / Н. В. Парахин, В. Т. Лобков, Н. К. Кружков [и др.] – Орел: Издательство ОрелГАУ, 2000. – 175 с.

35. Биологизация земледелия и плотность почвы в зернопаропропашном севообороте / С. С. Балабанов, Н. М. Тимофеева, Н. И. Картамышев, Н. В. Беседин // Вестник Курской государственной сельскохозяйственной академии. – 2013. – № 1. – С. 59-61.

36. Биологическая активность и питательный режим почвы при различных приемах обработки под однолетние травы / В. И. Турусов, В. М. Гармашов, Н. А. Нужная [и др.] // Земледелие. – 2020. – № 6. – С. 25-28.

37. Биологическая активность почвы в зернопаропропашном севообороте в зависимости от приемов биологизации земледелия / С. С. Балабанов, Н. В. Беседин, Н. И. Картамышев, Н. М. Тимофеева // Вестник Курской государственной сельскохозяйственной академии. – 2013. – № 3. – С. 43-44.

38. Биологическая активность чернозема обыкновенного при различных способах основной обработки почвы под кукурузу / В. М. Гармашов, И. М. Корнилов, Н. А. Нужная [и др.] // Вестник Курской государственной сельскохозяйственной академии. – 2018. – № 7. – С. 39-44.

39. Биологическая активность чернозема обыкновенного через 5 лет после прекращения агрогенной обработки / А. С. Собина, Э. А. Хачиков, А. Н. Шмараева [и др.] // Агрохимический вестник. – №1. – 2002. – С. 22-25.

40. Биологические и биохимические основы плодородия почв / Сост. : Е.А. Нарушева. – Саратов, ФГБОУ ВПО «Саратовский ГАУ», 2014. – 79 с.

41. Бойков, В. М. Использование незерновой части урожая для повышения плодородия почвы / В. М. Бойков, С. В. Старцев, О. Н. Чурляева // Аграрный научный журнал. – 2015. – № 3. – С. 47-48.

42. Болотов, А. Т. Избранные труды / Сост. : А. П. Бердышев, В. Г. Поздняков; отв. ред. А. А. Никонов. – М. : Агропромиздат, 1988. – 416с.

43. Болучевский, Д. А. Плодородие чернозема типичного и урожайность озимой пшеницы при различных приемах биологизации в лесостепи ЦЧР : автореф. дис. ... канд. с.-х. наук : 06.01.01/ Болучевский Дмитрий Алексеевич. – Воронеж, 2014. – 24 с.

44. Большаков, А. Ф. Водный режим мощных черноземов Средне-Русской возвышенности / А. Ф. Большаков ; под ред. А.А. Роде . – М. : Изд-во АН СССР, 1961. – 198 с.

45. Бондарев, А. Г. Переуплотнение почв сельскохозяйственной техникой, прогноз явления и процессы разуплотнения / А. Г. Бондарев, И. В. Кузнецова, П. М. Сапожников // Почвоведение. – 1994. – № 4. – С. 58-64.

46. Борин, А. А. Обработка почвы, ее биологические свойства и урожай / А. А. Борин, А. Э. Лощинина // Вестник АПК Верхневолжья. – 2019. – № 1(45). – С. 22-26.

47. Борисова, Е. Е. Применение сидератов в мире / Е. Е. Борисова // Вестник НГИЭИ. – 2015. – № 6(49). – С. 24-33.

48. Борисова, Е. Е. Роль в севооборотах многолетних трав / Е. Е. Борисова // Вестник НГИЭИ. – 2015. – № 8(51). – С. 12-19.

49. Боронтов, О. К. Влияние основной обработки и удобрений на питательный режим и физические свойства почвы при возделывании сахарной свеклы / О. К. Боронтов, П. А. Косякин, Е. Н. Манаенкова // Земледелие. – 2019. – № 2. – С. 33-35.

50. Боронтов, О. К. Природные и антропогенные факторы, определяющие технологическое качество и урожайность сахарной свеклы в условиях ЦЧР / О. К. Боронтов, Л. Н. Путилина, П. А. Косякин / Сахар. – 2018. – № 5. – С. 16-19.

51. Бузмаков, В. В. Биологический азот и плодородие почв / В. В. Бузмаков, Г. С. Посыпанов // Расширенное воспроизводство почвенного плодородия. – Москва, 1997. – Вып. 5. – 26 с.

52. Бузмаков, В. В. Зеленые удобрения // Химизация сельского хозяйства. – № 6. – 1988. – С. 33-37.

53. Букин, О. В. Сравнительная эффективность систем основной обработки почвы при возделывании гороха в условиях юга Нечерноземной зоны : автореф. дис. ... канд. с.-х. наук : 06.01.01 / Букин Олег Владимирович. – Саратов, 2022. – 19с.

54. Бушнев, А. С. Изменение структуры чернозема выщелоченного при различных системах основной обработки почвы в севообороте с масличными культурами / А. С. Бушнев / Биологизация земель в адаптивно-ландшафтной системе земледелия. – Белгород : изд-во «Отчий край», 2015. – С. 28-33.

55. Бюллетень «Валовые сборы и урожайность сельскохозяйственных культур по Российской Федерации в 2022 году» (части 1 и 2) – Москва, 2023. – Режим доступа: <https://rosstat.gov.ru/compendium/document/13277>

56. Бюллетень «Посевные площади Российской Федерации в 2022 году» [Электронный ресурс]. – Москва, 2023. – Режим доступа: <https://rosstat.gov.ru/compendium/document/13277>

57. Бялый, А. М. Водный режим в севооборотах на черноземных почвах Юго-Востока / А. М. Бялый. – Ленинград : Гидрометеиздат, 1971. – 232 с.
58. Вадюнина А. Ф. Методы исследований физических свойств почвы / А. Ф. Вадюнина, З. А. Корчагина. – М. : Агропромиздат, 1986. – 416с.
59. Ваксман, С. А. Гумус / С. А. Ваксман. – М. : Сельхозгиз, 1937. – 471 с.
60. Вальков, В. Ф. Почвоведение / В. Ф. Вальков, К. Ш. Казеев, С. И. Колесников. – М. : Издательство Юрайт, 2012. – 4-е изд., перераб. и доп. – 527 с.
61. Васильев, Д. С. Подсолнечник / Д. С. Васильев. – М. : Агропромиздат, 1990. – 174 с.
62. Верзилин, В. В. Биологические факторы воспроизводства плодородия черноземов в агроценозах лесостепи ЦЧР : дис. ... д-ра с.-х. наук : 06.01.01, 06.01.03 / Верзилин Василий Васильевич. – Курск, 2004. – 273 с.
63. Верзилин, В. В. Экологическая роль обработки почвы в агроценозах ЦЧР / В. В. Верзилин, В. А. Бутенко, Ф. С. Кадиров // Известия Воронежского государственного педагогического университета. – 2015. – № 3 (268). – С. 189-193.
64. Взаимосвязь размера агрегатов, содержания дисперсного органического вещества и разложения растительных остатков в почве / В. М. Семенов, Т. Н. Лебедева, Н. Б. Паутова [и др.] // Почвоведение. – 2020. – № 4. – С. 430-443.
65. Вислобокова, Л. Н. Биологические приемы сохранения и воспроизводства почвенного плодородия в адаптивно-ландшафтной системе земледелия Тамбовской области / Л. Н. Вислобокова, Ю. П. Скорочкин, В. А. Воронцов / Биологизация земель в адаптивно-ландшафтной системе земледелия. – Белгород : «Отчий край», 2015. – С. 34-44.
66. Вислобокова, Л. Н. Влияние основной обработки чернозема типичного на урожайность культур севооборота // Л. Н. Вислобокова, В. А. Воронцов, Ю. П. Скорочкин. – Земледелие. – 2020. – № 1. – С. 38-40.

67. Вислобокова, Л. Н. Рациональное использование земли – основа формирования экологически сбалансированных агроландшафтов / Л. Н. Вислобокова, Ю. П. Скорочкин, В. А. Воронцов / Состояние почв Центрального Черноземья России и проблемы воспроизводства их плодородия. – Воронеж : изд-во «Истоки», 2015. – С. 30-37.

68. Витер, А. Ф. Обработка почвы в сочетании с применением удобрений в условиях ЦЧЗ : автореф. дис. ... канд. с.-х. наук : 06.01.01 / Витер Александр Федотович. – Воронеж, 1975. – 38 с.

69. Владыкина, Н. И. Активность целлюлозоразлагающих микроорганизмов дерново-подзолистой почвы в севообороте / Н. И. Владыкина // Аграрная наука Евро-Северо-Востока. – 2014. – № 6 (43). – С. 32-37.

70. Власенко, О. А. Запасы и трансформация растительных остатков в агрочерноземах лесостепной зоны Красноярского края / О. А. Власенко // Вестник КрасГАУ. – 2021. – № 10(175). – С. 101-107.

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

72. Влияние влажности на стабильность органического вещества почв и растительных остатков / А. С. Тулина, В. М. Семенов, Л. Н. Розанова [и др.] // Почвоведение. – 2009. – № 11. – С. 1333-1340.

73. Влияние многолетних трав на плодородие каштановых почв Заволжья / Е. П. Денисов, А. П. Солодовников, М. Н. Панасов [и др.] // Нива Поволжья. – 2008. – № 1(6). – С. 4-8.

74. Влияние основной обработки почвы на микробиологическую активность, питательный режим чернозема выщелоченного и продуктивность сахарной свеклы в Центрально-Черноземном регионе / О. К. Боронтов, П. А. Косякин, Н. В. Безлер [и др.] // Земледелие. – 2022. – № 2. – С. 38-42.

75. Влияние пищевого режима и органического вещества на плодородие почвы и урожайность озимой пшеницы / С. И. Тютюнов, Е. В. Навольнева, В. Д.

Соловиченко, А. Г. Ступаков // *Агрохимический вестник*. – 2016. – № 5. – С. 23-27.

76. Влияние разных систем обработки и удобрений на плодородие дерново-подзолистой почвы / М. А. Мазиров, Н. С. Матюк, В. Д. Полин, Н. В. Малахов // *Земледелие*. – 2018. – № 2. – С. 33-36.

77. Влияние ресурсосберегающих обработок на агрофизические свойства обыкновенного чернозема и урожайность яровой пшеницы в предгорной степи Южного Урала / Я. З. Каипов, Р. Л. Акчурин, З. Р. Султангазин [и др.] // *Земледелие*. – 2020. – № 1. – С. 40-43.

78. Влияние соотношения C:N на разложение фитомассы кукурузы при изменении содержания эндогенного и экзогенного азота / А. К. Квиткина, А. А. Ларионова, Д. М. Дударева, С. С. Быховец // *Теоретическая и прикладная экология*. – 2017. – № 2. – С. 78-83.

79. Влияние способа основной обработки почвы на агрохимические свойства миграционно-мицелярных легкоглинистых агрочерноземов Юго-Востока ЦЧЗ / А. М. Гребенников, В. А. Исаев, Ю. И. Чевердин [и др.] // *Вестник российской сельскохозяйственной науки*. – 2019. – № 5. – С. 23-26.

80. Влияние способов обработки почвы, минеральных и органических удобрений в различных севооборотах на содержание гумуса в черноземе типичном / С. И. Тютюнов, В. Д. Соловиченко, А. С. Цыгуткин, И. В. Логвинов // *Достижения науки и техники АПК*. – 2020. – Т. 34. – № 5. – С. 7-12.

81. Влияние способов основной обработки на агрофизические свойства почвы, урожайность и качество сои / Д. В. Дубовик, Е. В. Дубовик, А. Н. Морозов [и др.] // *Земледелие*. – 2022. – № 2. – С. 43-46.

82. Влияние способов основной обработки почвы на урожайность сельскохозяйственных культур и агрохимические показатели почвы в условиях ЦЧР / С. И. Смуров, С. В. Лукин, С. Н. Ермолаев [и др.] // *Земледелие*. – 2022. – № 5. – С. 11-15.

83. Влияние технологии возделывания на агрофизические свойства черноземов выщелоченных и урожайность подсолнечника / Е. Б. Дрепа, О. И. Власова, А. С. Голубь [и др.] // Земледелие. – 2020. – № 3. – С. 18-20.

84. Возделывание горчицы сарептской в качестве сидерата / В. А. Монастырский, А. Н. Бабичев, В. И. Ольгаренко, Д. В. Сухарев // Плодородие. – 2019. – № 5(110). – С. 45-47.

85. Воронин А. Н. Биоэнергетическая эффективность различных систем земледелия в севооборотах на черноземных почвах / А. Н. Воронин, В. В. Никитин, С. И. Тютюнов / Биологизация земель в адаптивно-ландшафтной системе земледелия. – Белгород : «Отчий край», 2015. – С. 60-67.

86. Воронин А. Н. Влияние элементов системы земледелия на плодородие почвы и продуктивность чернозема типичного в юго-западном регионе Российской Федерации : автореф. дис. ... д-ра с.-х. наук : 06.01.01/ Воронин Александр Николаевич. – Брянск, 2016. – 34 с.

87. Воронков, В. А. Влияние культур при возделывании бесменно и в севообороте на режим подвижных компонентов гумуса и азота на выщелоченном черноземе ЦЧП : автореф. дис. ... канд. с.-х. наук : 06.01.01 / Воронков Виктор Алексеевич. – Воронеж, 1983. – 20 с.

88. Воронцов, В. А. Влияние способов основной обработки почвы на ее водный и питательный режимы при возделывании сахарной свеклы / В. А. Воронцов // Земледелие. – 2013. – № 4. – С. 23-26.

89. Галеева, Л. П. Свойства черноземов выщелоченных Новосибирского Приобья при различных обработках / Л. П. Галеева, П. С. Широких // Достижения науки и техники АПК. – 2018. – Т. 32. – № 11. – С. 9-13.

90. Ганжара, Н. Ф. Практикум по почвоведению / Ганжара Н. Ф., Борисов Б. А., Байбеков Р. Ф. – Под ред. д-ра биол. наук, проф. Н. Ф. Ганжары. – М. : Агроконсалт, 2002. – 280 с.

91. Гармашов, В. М. Биологическая активность почвы при различных способах обработки под подсолнечник / В. М. Гармашов, М. П. Крячкова / Проблемы трансформации естественных ландшафтов в результате антропогенной

деятельности и пути их решения. – Краснодар: Кубанский государственный аграрный университет имени И.Т. Трубилина, 2021. – С. 143-145.

92. Гармашов, В. М. Влияние различных способов основной обработки почвы на валовое содержание азота, фосфора и калия в черноземе обыкновенном / В. М. Гармашов / Современные тенденции в научном обеспечении агропромышленного комплекса : Коллективная монография / Под редакцией В. В. Окоркова. – Иваново : Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Верхневолжский федеральный аграрный научный центр», 2019. – С. 69-73.

93. Гармашов, В. М. О минимализации основной обработки почвы под подсолнечник в ЦЧЗ / В. М. Гармашов // Зерновое хозяйство. – 2006. – № 2 – С. 9-11.

94. Гармашов, В. М. Принципы и методы оптимизации основной обработки почвы и воспроизводства плодородия чернозема обыкновенного в зернопропашных севооборотах ЦЧР : дис. ... д-ра с.-х. наук : 06.01.01/ Гармашов Владимир Михайлович. – Рамонь, 2018. – 511с.

95. Гасанова, Е. С. Трансформация органического вещества почвы. Подробный анализ / Е. С. Гасанова, В. В. Котов, К. Е. Стекольников. – Saarbrücken : LAP LAMBERT, 2011. – 160 с.

96. Годунов, И. Б. Использование соломы в качестве удобрения / И. Б. Годунов, Л. Д. Дубовик, Т. П. Мотузок. – Воронеж, 1981. – 18 с.

97. Горбачева, А. В. Анализ развития органического производства Воронежской области в 2021 году, перспективы на 2022 год / Современные вызовы аграрной науки и практики. – Воронеж : ВГАУ, 2021. – С. 19-23.

98. Горнич, Е. А. Влияние обработки, удобрений и гербицидов на показатели плодородия почвы и продуктивность яровых зерновых культур и однолетних трав в условиях Нечерноземной зоны : автореф. дис. ... канд. с.-х. наук : 06.01.01/ Горнич Екатерина Андреевна. – Ярославль, 2022. – 20с.

99. Горянин, О. И. Агротехнические основы повышения эффективности возделывания полевых культур на черноземе обыкновенном Среднего Заволжья

: автореф. дис. ... д-ра с.-х. наук : 06.01.01 / Горянин Олег Иванович. – Саратов, 2016. – 42 с.

100. ГОСТ 9353-2016. Пшеница. Технические условия. – М. : Стандартинформ, 2019. – 12 с. – Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/1200139414>.

101. Гостев, А. В. Эффективность ресурсосбережения в технологиях возделывания колосовых культур Центрального Черноземья : автореф. дис. ... д-ра с.-х. наук : 06.01.01 / Гостев Андрей Валерьевич. – Брянск, 2021. – 46 с.

102. Грабов, Р. С. Влияние приемов основной обработки почвы на развитие и урожайность ярового ячменя на светло-каштановых почвах Волгоградской области : автореф. дис. ... канд. с.-х. наук : 06.01.01 / Грабов Роман Сергеевич. – Волгоград, 2021. – 20с.

103. Григоров, А. Н. Агрэкологические приемы использования органических остатков / А. Н. Григоров, Н. Н. Лесной / Агрэкологическая оптимизация земледелия. – Курск, 2004. – С.15-18.

104. Гришичкин, А. Н. Обработка почвы и эффективность гербицидов при выращивании подсолнечника на южных черноземах Волгоградской области : автореф. дис. ... канд. с.-х. наук : 06.01.01 / Гришичкин Александр Николаевич. – Волгоград, 2013. – 19 с.

105. Гродзинский, А. М. Аллелопатическое почвоутомление. – Киев : Наукова думка, 1979. – 248 с.

106. Гродзинский, А. М. Аллелопатия растений и почвоутомление: изб. тр. / А. М. Гродзинский. – Киев: Наука думка, 1991. – 432 с.

107. Гуренев, М. Н. Роль люпинового сидерального пара в севооборотах Предуралья // Роль зернобобовых в севооборотах. – Орел. – 1974. – С. 151-160.

108. Данилов, Г. Г. Система обработки почвы лесостепной зоны / Г. Г. Данилов. – Саранск: Изд-во Мордовского Госуниверситета, 1969. – 372 с.

109. Девтерова, Н. И. Влияние различных приемов обработки почвы на продуктивность культур и агрофизические свойства слитых черноземов / Н. И. Девтерова, О. А. Благополучная // Земледелие. – 2019. – № 3. – С. 31-33.

110. Девятова, Т. А. Агрогенная трансформация гумусного состояния старопашотных черноземов ЦЧР / Т. А. Девятова, Д. И. Щеглов / Черноземы России : экологическое состояние и современные почвенные процессы. – Воронеж : Воронежский государственный университет, 2006. – С. 271-277.
111. 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.
112. Дедов, А. А. Плодородие чернозема типичного и урожайность культур севооборотов при различных способах обработки почвы и приемах биологизации в лесостепи ЦЧР : дис. ... канд. с.-х. наук : 06.01.01 / Дедов Александр Анатольевич. – Воронеж, 2016. – 112 с.
113. 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.
114. Дедов, А. В. Бинарные посева в ЦЧР : монография / А. В. Дедов, М. А. Несмеянова, Т. Г. Кузнецова. – Воронеж : ФГБОУ ВПО Воронежский ГАУ, 2015. – 139 с.
115. Дедов, А. В. Биологизация земледелия – основа сохранения плодородия / А. В. Дедов // Земледелие. – 2002. – №2. – С. 10-12.
116. Дедов, А. В. Биологизация земледелия ЦЧР / А. В. Дедов, Н. А. Драчев. – Воронеж: ФГОУ ВПО Воронежский ГАУ, 2010. – 171 с.
117. Дедов, А. В. Воспроизводство органического веществ почвы в земледелии ЦЧР (вопросы теории и практики) : дис. ... д-ра с.-х. наук : 06.01.01/ Дедов Анатолий Владимирович. – Воронеж, 2000. – 334 с.
118. Дедов, А. В. Воспроизводство органического вещества / А. В. Дедов, М. А. Несмеянова, А. А. Дедов. – Воронеж : ФГБОУ ВО Воронежский ГАУ, 2016. – 227с.

119. Дедов, А. В. Земледелие Центрально-Черноземной зоны с основами почвоведения и агрохимии / А. В. Дедов. – Воронеж: ФГОУ ВПО ВГАУ, 2008. – 358 с.
120. Дедов, А. В. Органическое вещество почвы и его регулирование в Центрально Черноземье : монография // А. В. Дедов. – Воронеж : ВГАУ, 1999. – 202 с.
121. Дедов, А. В. Оценка севооборотов / А. В. Дедов, Т. А. Трофимова, С. И. Коржов. – Воронеж : ФГБОУ ВО Воронежский ГАУ, 2016. – 102 с.
122. 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.
123. Дедов, А. В. Роль севооборота в органическом земледелии / А. В. Дедов, М. А. Несмеянова / Современные вызовы аграрной науки и практики. – Воронеж: ВГАУ, 2021. – С. 23-29.
124. Дедов, А. В. Трансформация послеуборочных остатков и содержание в почве подвижных гумусовых веществ / А. В. Дедов, Н. И. Придворев, Е. В. Морозова // Агрохимия. – 2001. – №11. – С. 33-40.
125. 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.
126. Демина, О. Н. Влияние минеральных удобрений на микрофлору пахотного чернозема лесостепной зоны Зауралья / О. Н. Демина, Д. И. Еремин // Вестник КрасГАУ. – 2020. – №2. – С. 63-71.
127. Демченко, И. П. Надежный комплекс почвозащитных мероприятий / И. П. Демченко, Е. В. Полуэктов // Земледелие. – 1983. – № 3. – С. 22-24.
128. Денисов, Е. П. Роль люцерны и кукурузы как предшественников при возделывании подсолнечника в системе минимальной обработки почвы / Е. П. Денисов, Ф. П. Четвериков, Е. В. Решетов // Аграрный научный журнал. – 2015. – № 12. – С. 12-14.

129. Деревягин, С. С. Основная обработка почвы как важнейший фактор органического земледелия в засушливых условиях Нижнего Поволжья / С. С. Деревягин, З. М. Азизов, К. Е. Денисов // Аграрные конференции. – 2021. – № 4(28). – С. 1-19.
130. Дерека, Ф. И. Влияние способов основной обработки почвы на агрофизические свойства чернозема обыкновенного и урожайность подсолнечника [Электронный ресурс] / Ф. И. Дерекa // Научный журнал КубГАУ. – 2016. – № 119(05). – Режим доступа: <http://ej.kubagro.ru/2016/05/pdf/56.pdf>
131. Довбан, К. И. Зеленое удобрение / К. И. Довбан. – М. : Агропромиздат, 1990. – 208 с.
132. Довбан, К. И. Коротко о сидератах / К. И. Довбан // Земледелие. – 1996. – № 3. – С. 45-46.
133. Довбан, К. И. Сидерация – многофакторный агроприем / К. И. Довбан // Земледелие. – № 8. – 1986. – С. 40-42.
134. Долгов, С. И. Методы изучения водных свойств и водного режима почвы / С. И. Долгов, П. У. Бахтин / Агрофизические методы исследования почв. – М., 1966. – С. 84-94.
135. Доспехов, Б. А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований) / Б. А. Доспехов. – М. : «Агропромиздат», 1985. – 352 с.
136. Дроздов, И. А. Минеральные и органические удобрения адаптивных севооборотов Верхневолжья / И. А. Дроздов, В. А. Тюлин, В. П. Сутягин // Успехи современного естествознания. – 2017. – № 12. – С. 45-49.
137. Дубовченко, А. О. Способы основной обработки почвы и применение агрохимикатов при возделывании подсолнечника на черноземах южных Волгоградской области : автореф. дис. ... канд. с.-х. наук : 06.01.01 / Дубовченко Антон Олегович. – Волгоград, 2021. – 20 с.
138. Дудкин, В. М. Накопление и разложение растительных остатков полевых культур в почве / В. М. Дудкин, А. У. Павлюченко // Агрохимия. – 1980. – №3. – С. 72-77.

139. Евсеев, А. В. Изучение биологических процессов в пахотном слое различного уровня плодородия и при разных способах основной обработки почвы : автореф. дис. ... канд. с.-х. наук : 06.01.01 / Евсеев Александр Васильевич. – Воронеж, 1985. – 24с.

140. Егоров, Н. М. Эффективность основной обработки почвы и сортов при выращивании озимой пшеницы / Н. М. Егоров, А. В. Зеленев, А. И. Беленков // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. – 2023. – № 2(220). – С. 50-57.

141. Егорова, Г. С. Микробиологическая активность почвы в посевах озимой тритикале в зависимости от предшественников и способов основной обработки почвы / Г. С. Егорова, К. В. Шиянов, Е. А. Несмиянова // Плодородие. – 2015. – №2. – С. 39-40.

142. Еремин, Д. И. К вопросу стабилизации гумусного состояния пахотных черноземов за счет заправки соломы зерновых культур / Д. И. Еремин, А. А. Ахтямова // Вестник КрасГАУ. – 2017. – № 4(127). – С. 18-24.

143. Еремин, Д. И. Регулирование скорости разложения запахиваемой соломы в лесостепной зоне Зауралья / Д. И. Еремин, А. А. Ахтямова // Агропродовольственная политика России. – 2016. – № 12(60). – С. 54-57.

144. Ершова, Н. П. Оценка качества товарных партий подсолнечника, поставляемых на перерабатывающие предприятия Краснодарского края / Н. П. Ершова, А. С. Прокопец // Научное обеспечение инновационных технологий производства и хранения сельскохозяйственной и пищевой продукции. – Краснодар : Государственное научное учреждение Всероссийский научно-исследовательский институт табака, махорки и табачных изделий Российской академии сельскохозяйственных наук, 2018. – С. 251-255.

145. Еськов, А. И. Современное состояние и перспективы использования органических удобрений в сельском хозяйстве России / А. И. Еськов, С. М. Лукин, Г. Е. Мерзлая // Плодородие. – 2018. – № 1(100). – С. 20-23.

146. Жуков, А. И. Регулирование баланса гумуса в почве / А. И. Жуков, П. Д. Попов. – Москва : Росагропромиздат, 1988. – 40с.

147. Завалин, А. А. Приемы биологизации земледелия с использованием микробных биопрепаратов / А. А. Завалин / Ресурсосберегающие технологии земледелия. Перспективные технологии современного сельского хозяйства. – Курск, 2005. – С. 106-108.

148. Зависимость содержания доступных форм азота в почве от скорости разложения соломы зерновых культур / И. В. Черепухина, Н. В. Безлер, М. В. Чистотин, Ю. Ю. Хатунцева // Плодородие. – 2019. – № 5(110). – С. 37-41.

149. Заикин, В. П. Зеленые удобрения – путь интенсификации земледелия Нижегородской области / В. П. Заикин. – Н. Новгород, 1996. – 116 с.

150. Зайцев, А. М. Структурное состояние выщелоченного чернозема в полях зернопаровых севооборотов / А. М. Зайцев / Севообороты, ресурсосберегающие технологии и воспроизводство плодородия почв в адаптивно ландшафтном земледелии Приангарья. – Иркутск, 2005. – С. 89-94.

151. Замятин, С. А. Биологическая активность, токсичность почвы и поражение зерновых культур корневыми гнилями в различных севооборотах / С. А. Замятин, Н. Н. Апаева // Аграрная наука Евро-Северо-Востока. – 2014. – № 6(43). – С. 37-44.

152. Замятин, С. А. Влияние культур севооборотов на биологическую активность почвы / С. А. Замятин, Р. Б. Максимова // Зерновое хозяйство России. – 2021. – № 4(76). – С. 39-44.

153. Замятин, С. А. Накопление пожнивно-корневых остатков в зависимости от вида полевого севооборота / С. А. Замятин, А. Ю. Ефимова, С. А. Максуткин // АПК : инновационные технологии. – 2019. – № 3. – С. 25-33.

154. Захаров, В. В. Эффективность приемов основной обработки почвы в зернопаропропашном и зернопропашном севооборотах / В. В. Захаров / Почвозащитная обработка. – Каменная степь, 1989. – С. 3-7.

155. Захаров, Н. Г. Влияние обработки почвы на биологическую активность и питательный режим чернозема выщелоченного / Н. Г. Захаров // Агрохимический вестник. – 2011. – № 6. – С. 5-6.

156. Зезюков, Н. И. Методические указания по расчету энергетической эффективности агротехнологий с использованием ПЭВМ / Н. И. Зезюков, А. В. Дедов, Н. И. Придворев. – Воронеж, 1993. – 45 с.
157. Зезюков, Н. И. Научные основы воспроизводства плодородия черноземов ЦЧЗ : автореф. дис. ... д-ра с.-х. наук : 06.01.01/ Зезюков Николай Иванович. – Воронеж, 1993. – 36с.
158. Зезюков, Н. И. Проблемы воспроизводства плодородия почв ЦЧЗ / Н. И. Зезюков // Воспроизводство черноземов в Центрально-Черноземной зоне. – Воронеж, 1992. – С. 16-22.
159. Зезюков, Н. И. Роль растительных остатков, соломы и сидератов в воспроизводстве плодородия черноземов / Н. И. Зезюков, А. В. Дедов // Мелиорация и водное хозяйство. – 1991. – № 12. – С.44-46.
160. Зезюков, Н. И. Сохранение и повышение плодородия черноземов / Н. И. Зезюков, В. Е. Острецов. – Воронеж, 1999. – 312 с.
161. Зезюков, Н. И. Сохранить плодородие черноземов / Н. И. Зезюков // Земледелие. – № 5. – 1996. – С. 6-8.
162. Зеленев, А. В. Донник двулетний как улучшитель плодородия почвы в сухостепной зоне Нижнего Поволжья / А. В. Зеленев, О. Г. Чамурлиев, П. А. Смутнев // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование. – 2021. – № 2(62). – С. 50-64.
163. Зеленев, А. В. Занятые пары как предшественники озимой пшеницы в органическом земледелии Нижнего Поволжья / А. В. Зеленев // Молочнохозяйственный вестник. – 2020. – № 2(38). – С. 80-94.
164. Зеленский, Н. А. Люцерна изменчивая в бинарных посевах с подсолнечником и озимой пшеницей / Н. А. Зеленский, А. П. Авдеенко, А. А. Савинов // Земледелие. – 2008. – № 7.– С. 34-35.
165. Зеленский, Н. А. Парозанимающие и сидеральные культуры на эродированных черноземах / Н. А. Зеленский, Е. П. Луганцев, А. П. Авдеенко. – ВГОУ ВПО «Донской ГАУ», Ростов н/Д : Издательский дом «Птица», 2005. – 176 с.

166. Зеленский, Н. А. Приемы биологизации при возделывании кукурузы на светло-серых лесных почвах Нижегородской области / Н. А. Зеленский, Г. М. Зеленская, А. А. Абрамов // Земледелие. – 2019. – № 8. – С. 3-7.

167. Зеленский, Н. А. Проблема паров и научные основы повышения продуктивности эродированной пашни на нижнем Дону : автореф. дис. ... д-ра с.-х. наук : 06.01.09, 06.01.01 / Зеленский Николай Андреевич. – Воронеж, 1997. – 42 с.

168. Зерновая продуктивность свекловичных севооборотов в зависимости от степени биологизации в условиях Центрального Черноземья / А. С. Акименко, В. И. Свиридов, Т. А. Дудкина [и др.] // Земледелие. – 2022. – № 3. – С. 12-16.

169. Иванов, И. С. Роль многолетних трав в сохранении плодородия почв и основные результаты работы Воронежской опытной станции по многолетним травам / И. С. Иванов, И. М. Шатский / Состояние почв Центрального Черноземья России и проблемы воспроизводства их плодородия. – Воронеж : изд-во «Истоки», 2015. – С. 41-45.

170. Иванова, Т. Н. Показатели плодородия чернозема выщелоченного в зависимости от способов основной обработки почвы и применения удобрений в условиях в южной лесостепи Республики Башкортостан / Т. Н. Иванова, Ф. Я. Багаутдинов, Н. В. Пермякова // Сельскохозяйственные науки и агропромышленный комплекс на рубеже веков. – 2014. – № 6. – С. 53-56.

171. Иевлев, Д. М. Многое зависит от способов обработки почвы / Д. М. Иевлев, Р. И. Шестаков // Сельские зори. – 1995. – №9. – С. 19-20.

172. Изменение агрофизических свойств выщелоченного чернозема в зависимости от минимизации основной обработки почвы / М. М. Ильясов, И. М. Суханова, Л. М.-Х. Биккинина, В. В. Сидоров // Вестник Казанского государственного аграрного университета. – 2019. – Т. 14. – № S4-1(55). – С. 42-47.

173. Изменение водно-физических свойств почвы и урожайности озимой пшеницы в зависимости от предшественников / В. И. Турусов, О. А. Богатых, Н. В. Дронова [и др.] // Земледелие. – 2021. – № 2. – С. 10-13.

174. Изменение показателей состояния органического вещества и физических свойств чернозема южного при переходе от традиционной к нулевой обработке / Б. А. Борисов, Р. Ф. Байбеков, Д. О. Рогожин, О. Е. Ефимов // Земледелие. – 2018. – № 8. – С. 14-16.

175. Изменение потенциального плодородия чернозема при различных способах основной обработки почвы / В. И. Турусов, А. М. Новичихин, В. М. Гармашов, С. А. Гаврилова // Земледелие. – 2013. – № 7. – С. 12-14.

176. Изменение фракционно-группового состава и баланса гумуса под влиянием удобрений на дерново-подзолистой почве евро-Северо-Востока / Н. Т. Чеботарев, П. И. Конкин, В. Г. Зайнуллин [и др.] // Плодородие. – 2019. – № 6(111). – С. 25-28.

177. Ильин, С. Д. Совершенствование системы обработки почвы и элементов технологии возделывания подсолнечника в условиях степи Центрального Черноземья : автореф. дис. ... канд. с.-х. наук : 06.01.01 / Ильин Сергей Дмитриевич. – Воронеж, 1998. – 22 с.

178. Инновационные основы системного развития сельского хозяйства : стратегии, технологии, механизмы (Центральный федеральный округ России) / под общ. редакцией д.э.н., академика Россельхозакадемии И. Ф. Хицкова. – Воронеж : Центр духовного возрождения Черноземного края, 2013. – 800 с.

179. Иодко, Л. Н. Преимущество безотвальной обработки неоспоримо / Л. Н. Иодко, Т. Е. Иодко // Земледелие. – 1990. – №1. – С. 63-64.

180. Кабиров, Р. Р. Разработка и использование многокомпонентной тест-системы для оценки токсичности почвенного покрова городской территории / Р. Р. Кабиров, А. Р. Сагитова, Н. В. Суханова // Экология. – 1997. – № 6. – С. 408-411.

181. Казаков, Г. И. Обработка почвы в Среднем Поволжье / Г.И. Казаков. – Самара : Сан Вен, 1997. – 196 с.

182. Казанцев, В. П. Использование капустных культур на зеленое удобрение в Сибири / В.П. Казанцев // Земледелие. – № 4. – 1998. – С. 22-23.

183. Калинин, О. С. Влияние основной обработки почвы и минеральных удобрений на агробиологические показатели сахарной свеклы / О. С. Калинин, Р. В. Кравченко // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. – 2022. – № 175. – С. 101-118.

184. Калужских, А. Г. Сезонная изменчивость содержания лабильных гумусовых веществ в черноземе типичном в зависимости от вида севооборота, системы обработки почвы и экспозиции склона / А. Г. Калужских / Актуальные проблемы земледелия и защиты почв от эрозии. – Курск, ФГБНУ «Всероссийский НИИ земледелия и защиты почв от эрозии», 2017. – С. 168-171.

185. Кант, Г. Зеленое удобрение / Г. Кант. – М. : Колос, 1982. – 128 с.

186. Карабутов, А. П. Мониторинг гумусного состояния чернозема типичного при различной интенсивности использования пашни / А. П. Карабутов, А. Г. Ступаков // Вестник Курской государственной сельскохозяйственной академии. – 2018. – № 7. – С. 28-33.

187. Касымалиев, М. Растительные остатки сельскохозяйственных культур как источник органического вещества в почве / М. Касымалиев, В. И. Дерябин / Труды Киргизского НИИ земледелия. – Фрунзе, 1976. – Вып. 5. – С. 79-82.

188. Качинский, Н. А. Физика почвы / Н. А. Качинский. – М., 1965. – Т. 1. – С. 155-161.

189. Кирюшин, В. И. Экологические основы земледелия / В. И. Кирюшин. – М. : Колос, 1996. – 367 с.

190. Кисилева, Т. С. Влияние основной обработки почвы на продуктивность зернобобовых культур в северной лесостепи Западной Сибири : автореф. дис. ... канд. с.-х. наук : 06.01.01/ Кисилева Татьяна Сергеевна. – Красноярск, 2022. – 20 с.

191. Клостер, Н. И. Агроэкологическая эффективность приемов биологизации в земледелии Центрально-Черноземной зоны России : автореф. дис. ... д-ра с.-х. наук : 06.01.01 / Клостер Наталья Ивановна. – Орел, 2022. – 49с.

192. Когут, Б. М. Изменение содержания, состава и природы гумусовых веществ при сельскохозяйственном использовании типичного мощного чернозема : автореф. дис. ... канд. с.-х. наук : 06.01.03 / Когут Борис Маратович. – М. : Почвенный институт, 1982. – 24с.

193. Когут, Б. М. Трансформация гумусового состояния черноземов при их сельскохозяйственном использовании / Б. М. Когут // Почвоведение. – 1998. – № 7. – С. 794-802.

194. Колодяжный, С. В. Сравнительная оценка различных элементов технологии возделывания подсолнечника в южной лесостепи ЦЧР : автореф. дис. ... канд. с.-х. наук : 06.01.01 / Колодяжный Сергей Викторович. – Воронеж, 2021. – 26 с.

195. Комарова, Н. А. Влияние паровых предшественников на биологическую активность светло-серой лесной почвы и урожайность культур в Нижегородской области / Н. А. Комарова // Плодородие. – 2019. – № 2(107). – С. 44-46.

196. Комплексный подход к изучению минимизации обработки черноземной почвы Республики Татарстан / М. М. Ильясов, А. Х. Яппаров, Н. Ш. Хисамудинов, Н. Л. Шаронова // Достижения науки и техники АПК. – 2014. – № 10. – С. 22-25.

197. Кононова, М. М. Органическое вещество почвы. Его природа, свойства и методы изучения / М. М. Кононова. – М. : Изд-во АН СССР. – 1963. – 314с.

198. Концепция оптимизации режима органического вещества почв в агроландшафтах / В. И. Кирюшин, Н. Ф. Ганжара, И. С. Кауричев [и др.]. – М. : Изд-во МСХА. – 1993. – 96 с.

199. Коренев, Г. В. Основные элементы агробиотехнологии возделывания озимой пшеницы / Г. В. Коренев, Ю. И. Житин, Л. В. Пешков // Прогрессивные технологии возделывания сельскохозяйственных культур в ЦЧЗ. – Липецк, 1992. – С. 114-121.

200. Коржов, С. И. Агробиологическое обоснование роли сельскохозяйственных культур и приемов воспроизводства плодородия черноземов в агроценозах ЦЧР: автореф. дис. ... д-ра с.-х. наук : 06.01.01 / Коржов Сергей Иванович. – Воронеж, 2006. – 45 с.
201. Коржов, С. И. Биологизация земледелия ЦЧО / С. И. Коржов // Достижения аграрной науки в начале 21 века. – Воронеж, 2002. – С. 3-10.
202. Коржов, С. И. Биологическая активность почвы при совместном посеве культур / С. И. Коржов, Т. А. Трофимова, Г. В. Котов // Земледелие. – 2018. – № 8. – С. 8-10.
203. Коржов, С. И. Микробиологическая активность чернозема выщелоченного при антропогенном воздействии: монография / С. И. Коржов. – Воронеж : «Истоки», 2005. – 153 с.
204. Кормилицын, Р. Ф. Развитие сидерации в Поволжье / Р. Ф. Кормилицын // Земледелие. – 1999. – № 1. – С. 28-29.
205. Кормилицын, Р. Ф. Сидеральный пар в орошаемом земледелии Поволжья / Р. Ф. Кормилицын // Земледелие. – 1995. – № 4. – С. 8-11.
206. Корнилов, И. М. Корневые и пожнивные остатки в зависимости от систем обработки почвы / И. М. Корнилов // Современные тенденции развития науки и технологий. – 2015. – № 4-2. – С. 61-63.
207. Королев, В. А. Современное физическое состояние черноземов центра Русской равнины / Королев В. А. – Воронеж : ГУП ВО «Воронежская областная типография – издательство им. Е.А. Болховитинова». – 2008. – 313 с.
208. Королев, Н. Н. Влияние способов возделывания культур в посевах на качественный состав черноземной почвы : автореф. дис. ... канд. с.-х. наук : 06.01.01/ Королев Николай Николаевич. – Воронеж, 1979. – 20 с.
209. Костин, С. И. Климатические районы Центрально-Черноземных областей / С. И. Костин // Вопросы географии. – М. : Географиз, 1953. – № 32. – С. 188-193.
210. Костычев, П. А. Избранные труды / П. А. Костычев; ред. И. В. Тюрина. – М. : Изд-во АН СССР, 1951. – 667 с.

211. Котельникова, М. Н. Агробиологическое обоснование способов основной обработки чернозема типичного и систем удобрения озимой пшеницы на северо-западной части ЦЧР : автореф. дис. ... канд. с.-х. наук : 06.01.01 / Котельникова Марина Николаевна. – Орел, 2020. – 22 с.

212. Коткова Л. И. Роль разноглубинной заделки сидерата и соломы в повышении плодородия дерново-подзолистой почвы и продуктивности зернопашного севооборота в условиях ЦРНЗ : дис. ... канд. с.-х. наук : 06.01.01 / Коткова Лидия Ивановна. – Москва, 2016. – 113 с.

213. Котлярова, О. Г. Влияние способов основной обработки почвы и минеральных удобрений на агрофизические свойства чернозема типичного и урожайность гороха в Белгородской области / О. Г. Котлярова, Е. Г. Котлярова, С. М. Лубенцов / Биологизация адаптивно-ландшафтной системы земледелия – основа повышения плодородия почвы, роста продуктивности сельскохозяйственных культур и сохранения окружающей среды. – Белгород: «Отчий край», 2012. – С. 137-141.

214. Котлярова, О. Г. Плодородие агроландшафтов Центрально-Черноземной зоны : монография / О. Г. Котлярова, Г. И. Уваров, Е. Г. Котлярова. – Белгород : изд-во БелГСХА, 2004. – 277 с.

215. Кохан, А. В. Обработка почвы в агротехнологии подсолнечника / А. В. Кохан, Е. А. Самойленко // Вестник Прикаспия. – 2017. – № 3(18). – С. 42-47.

216. Кохан, А. В. Экологическая эффективность короткоротационных севооборотов / А. В. Кохан, В. В. Гангур, А. И. Лень // Вестник Белорусской государственной сельскохозяйственной академии. – 2018. – № 4. – С. 52-59.

217. Коэффициенты пересчета зерна и семян в побочную продукцию и содержание основных элементов питания в побочной продукции сельскохозяйственных культур в республике Беларусь / Е. Н. Богатырева, Т. М. Серая, О. М. Бирюкова [и др.] // Почвоведение и агрохимия. – 2016. – № 2(57). – С. 78-89.

218. Кравченко, Р. В. Растительные остатки и плодородие почв / Р. В. Кравченко, М. Т. Куприченков // Политематический сетевой электронный научный

журнал Кубанского государственного аграрного университета. – 2012. – № 79 (05). – С. 392-401.

219. Краевский, А. Н. Безотвальная обработка почвы под подсолнечник / А. Н. Краевский, В. И. Кондратьев, П. Н. Винник // Технические культуры. – 1993. – № 3-4. – С. 2-3.

220. Красильников, Н. А. Микроорганизмы почвы и высшие растения / Н. А. Красильников. – М. : Изд-во АН СССР. – 1958. – 146с.

221. Крупкин, П. И. Пути воспроизводства плодородия черноземов Красноярского края. Рекомендации / П. И. Крупкин. – Красноярск : изд. Гротеск, 2002. – 127 с.

222. Кузина, Е. В. Физические свойства почвы, определяющие эффективность минимальных обработок на черноземах Среднего Поволжья / Е. В. Кузина / Биологизация адаптивно-ландшафтной системы земледелия – основа повышения плодородия почвы, роста продуктивности сельскохозяйственных культур и сохранения окружающей среды. – Белгород : «Отчий край», 2012. – С. 154-157.

223. Кузнецова, И. В. Устойчивость структурного состояния и сложения почв при уплотнении / И. В. Кузнецова, А. Г. Бондарев, В. И. Данилова // Почвоведение. – 2000. – № 9. – С. 1106-1113.

224. Кузнецова, Т. Г. Влияние приемов биологизации и обработки почвы на засоренность посевов и урожайность культур : дис. ... канд. с.-х. наук : 06.01.01 / Кузнецова Татьяна Геннадьевна. – Воронеж, 2014. – 140с.

225. Кузьминых, А. Н. Сидеральные пары и система севооборотов при освоении залежных земель Волго-Вятского региона : автореф. дис. ... д-ра с.-х. наук : 06.01.01/ Кузьминых Альберт Николаевич. – Йошкар-Ола, 2018. – 47с.

226. Кураченко, Н. Л. Содержание и пространственное распределение подвижных элементов питания агрочерноземов в зависимости от способов основной обработки почвы / Н. Л. Кураченко, А. А. Колесник // Агрохимия. – 2020. – № 7. – С. 11-16.

227. Кутовая, Н. Я. Суммарные показатели биологической активности почвы при различных обработках обыкновенного чернозема / Н. Я. Кутовая //

Повышение плодородия черноземов и агротехника возделывания сельскохозяйственных культур. – Каменная степь, 1984. – С. 22-30.

228. Лезарев, В. И. Влияние основных природных и антропогенных факторов на режимы и свойства типичного чернозема, уровень урожайности и качество продукции полевых культур в условиях лесостепи ЦЧЗ : автореф. дис. ... д-ра с.-х. наук : 06.01.01 / Лезарев Владимир Иванович. – Курск, 1996. – 45 с.

229. Леонтьев, А. К. Роль удобрений в процессе превращения органического вещества выщелоченного чернозема / А. К. Леонтьев // Почвоведение. – 1969. – № 8. – С. 45-53.

230. Лисина, А. Ю. Влияние сидерации на плодородие светло-серых лесных почв и урожайность озимых зерновых в Волго-Вятском регионе : автореф. дис... канд. с.-х. наук : 06.01.01 / Лисина Анфиса Юрьевна. – Немчиновка, 2007. – 20 с.

231. Лифаненкова, Т. П. Роль биологических ресурсов в воспроизводстве плодородия орошаемого чернозема обыкновенного в Центральном Предкавказье / Т. П. Лифаненкова, Р. В. Бижоев // Земледелие. – 2019. – № 2. – С. 20-23.

232. Лобков, В. Т. Почвоутомление при выращивании полевых культур / В. Т. Лобков. – Москва : Колос, 1994. – 112с.

233. Лобков, В. Т. Теоретические и практические аспекты биологизации земледелия в современных условиях мирового развития сельского хозяйства. Theoretical and practical aspects of agriculture biologization in current trends of world agriculture development / В. Т. Лобков, С. А. Плыгун // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса : наука и высшее профессиональное образование. – 2014. – № 4 (36). – С. 58-63.

234. Ломакин, М. М. Водорегулирующая и почвозащитная роль мульчирования соломой серых лесных эродированных почв Северной лесостепи Центрально-Черноземной зоны : дис. ... канд. с.-х. наук : 06.01.01 / Ломакин Михаил Михайлович. – Курск, 1978. – 186 с.

235. Ломакин, М. М. Мульчирующая обработка на склонах / М. М. Ломакин. – М. : Агропромиздат, 1988. – 185 с.

236. Лопатеев, Ю. А. Влияние приемов биологизации земледелия на фитосанитарное состояние звена севооборота на темно-серых лесных почвах ЦЧЗ : дис. ... канд. с.-х. наук : 11.00.11/ Лопатеев Юрий Алексеевич. – Курск, 2000. – 18 с.
237. Лошаков, В. Г. Влияние зеленого удобрения на урожайность и технологические свойства зерна озимой пшеницы и ячменя / В. Г. Лошаков // Зерновые культуры. – 1999. – Вып. 2. – С. 20-24.
238. Лошаков, В. Г. Зеленое удобрение в земледелии России / Под ред. В. Г. Сычева / В. Г. Лошаков. – М. : Изд. ВНИИА, 2015. – 300 с.
239. Лошаков, В. Г. Зеленое удобрение как фактор повышения плодородия почвы, биологизации и экологизации земледелия / В. Г. Лошаков // Плодородие. – 2018. – № 2(101). – С. 26-29.
240. Лошаков, В. Г. Продуктивность зерновых севооборотов при использовании зеленого удобрения / В. Г. Лошаков, Ю. Д. Иванов, Ю. Н. Синих. – Известия Тимирязевской сельскохозяйственной академии. – 1997. – Вып. 3. – С. 3-20.
241. Лошаков, В. Г. Промежуточные культуры – фактор экологически чистого земледелия / В. Г. Лошаков // Аграрная наука. – 1994. – № 6. – С. 24-26.
242. Лошаков, В. Г. Роль севооборота в современной земледелии / В. Г. Лошаков / Земледелие на рубеже XXI века. – М. : Изд-во МСХА, 2003. – С 36-43.
243. Лошаков, В. Г. Экологические и фитосанитарные функции зеленого удобрения / В. Г. Лошаков // Известия Тимирязевской сельскохозяйственной академии. – 2018. – № 5. – С. 30-42.
244. Лощинина, А. Э. Взаимосвязь обработки почвы с ее биологическими свойствами и урожайностью культур севооборота / А. Э. Лощинина, А. А. Борин // Аграрный вестник Верхневолжья. – 2019. – № 1(26). – С. 12-17.
245. Лысенко, И. А. Продуктивность зерновой кукурузы в зависимости от способа основной обработки почвы и стимуляторов роста на черноземах Кубани : автореф. дис. ... канд. с.-х. наук : 06.01.01 / Лысенко Игорь Алексеевич. – Москва, 2022. – 19с.

246. Люцерна и пропашные культуры – необходимые компоненты зерно-травопропашного севооборота / Е. П. Денисов, Ф. П. Четвериков, В. В. Карпец, Е. В. Решетов // Аграрный научный журнал. – 2015. – № 7. – С. 14-18.

247. Лянденбургская, А. В. Формирование урожайности озимой пшеницы в зависимости от элементов биологизации технологии возделывания в лесостепи Среднего Поволжья : автореф. дис. ... канд. с.-х. наук : 06.01.01 / Лянденбургская Алена Владимировна. – Пенза, 2022. – 20с.

248. Майсурян, Н. А. История культуры люпина / Н. А. Майсурян // Люпин. – 1974. – С. 15-31.

249. Макаев, Н. А. Основная обработка почвы и урожайность люпина белого в условиях Курской области / Н. А. Макаев, Н. В. Беседин // Вестник Курской государственной сельскохозяйственной академии. – 2017. – № 7. – С. 18-21.

250. Макаров, Р. Ф. Оптимизация пищевого режима типичного чернозема в связи с интенсификацией земледелия : автореф. дис. ... д-ра с.-х. наук : 06.01.04/ Макаров Рим Федорович. – Москва, 1990. – 38 с.

251. Малахов, Н. В. Эффективность разноглубинной заделки пожнивного сидерата и соломы в повышении плодородия почвы и продуктивности севооборота в условиях ЦРНЗ : автореф. дис. ... канд. с.-х. наук : 06.01.01 / Малахов Николай Владимирович. – Москва, 2019. – 23с.

252. Малышева, Е. В. Агробиологическое обоснование повышения урожайности и качества зерна кукурузы на серых лесных почвах в условиях лесостепи Центрального Черноземья : автореф. дис. ... д-ра с.-х. наук : 06.01.01 / Малышева Екатерина Владимировна. – Брянск, 2022. – 44 с.

253. Мальцев, Т. С. Система безотвального земледелия / Т. С. Мальцев. – Москва : Агропромиздат, 1988. – 128 с.

254. Мамонтов, В. Г. Лабильные гумусовые вещества – особая группа органических соединений чернозема обыкновенного / В. Г. Мамонтов, Р. А. Афанасьев, Е. Л. Соколовская // Плодородие. – 2018. – № 5(104). – С. 15-19.

255. Масличные капустные культуры – перспективный высокоэффективный сидерат / Е. А. Стрельников, Л. А. Горлова, Э. Б. Бочкарева, В. С. Трубина

// Международный журнал гуманитарных и естественных наук. – 2018. – № 12-1. – С. 125-131.

256. Масютенко, Н. П. Трансформация органического вещества в черноземных почвах ЦЧР и системы его воспроизводства / Н. П. Масютенко. – М. : Россельхозакадемия, 2012. – 150с.

257. Медведев, В. В. Оптимизация агрофизических свойств черноземов / В. В. Медведев. – Москва : Агропромиздат, 1988. – 160 с.

258. Мельцаев, И. Г. Влияние приемов заделки органического удобрения на плодородие почвы и ее продуктивность / И. Г. Мельцаев // Аграрный вестник Верхневолжья. – 2019. – № 1(26). – С. 31-35.

259. Мельцаев, И. Г. Влияние технологий заделки органического вещества на плодородие почвы, урожайность и качество зерна / И. Г. Мельцаев // Владимирский земледелец. – 2017. – № 1(79). – С. 19-23.

260. Мельцаев, И. Г. Продуктивность пашни и агроценозов по технологиям обработки почвы / И. Г. Мельцаев, А. Э. Лоцинина // Аграрный вестник Верхневолжья. – 2020. – № 4 (33). – С. 5-10.

261. Менькина, Е. А. Сезонная динамика биологической активности в агро- и биогенных почвах Ставропольского края / Е. А. Менькина, М. Т. Куприченков // Тверский вестник аграрной науки. – 2018. – № 2(14). – С. 64-75

262. Методика биоэнергетической оценки технологий производства продукции растениеводства / Разраб. .: Е. И. Базаров и др. – Москва, 1983. – 43 с.

263. Мирчинк, Т. Г. Почвенная микология / Т. Г. Мирчинк. – М. : МГУ, 1988. – 220с.

264. Митрофанов, Ю. И. Плотность и водно-воздушный режим осушаемых почв определяют их продуктивность / Ю. И. Митрофанов // Мелиорация и водное хозяйство. – 2012. – № 2. – С. 16-19.

265. Мичурин, Б. Н. Связь содержания влаги с всасывающим давлением и плотностью почвы / Б. Н. Мичурин // Теоретические вопросы обработки почв. – Ленинград : Гидрометиздат, 1968. – Вып. I. – С. 40-43.

266. Мищенко, А. В. Эрозия почв : современное состояние проблемы / А. В. Мищенко // Вестник Донского государственного аграрного университета. – 2017. – № 4-1(26). – С. 71-77.
267. Мнатсаканян А. А. Показатели плодородия чернозема выщелоченного в зависимости от систем основной обработки почвы / А. А. Мнатсаканян, Г. В. Чуварлеева, О. Б. Быков // Земледелие. – 2022. – № 5. – С. 15-19.
268. Модели управления продуктивностью агроландшафта / Под ред. член-корр. РАСХН В. М. Володина и д-ра. с.-х. н. Г. Н. Черкасова. – Курск, 1998. – 215 с.
269. Морозов, В. К. Подсолнечник в засушливой зоне / В. К. Морозов. – Саратов : Приволжское книжное издательство, 1978. – 148 с.
270. Морозова, Е. В. Изменение биологических показателей чернозема выщелоченного при воспроизводстве плодородия почвы / автореф. дис. ... канд. с.-х. наук : 06.01.01 / Морозова Елена Михайловна. – Воронеж, 2001. – 21 с.
271. Москаленко, А. А. Солома – ценное органическое удобрение / А. А. Москаленко, М. Н. Агафонов // Химизация сельского хозяйства. – 1989. – № 3. – С. 56-58.
272. Мухортов, Я. Н. Преимущества глубокой вспашки / Я. Н. Мухортов, Н. Г. Манцева, М. Ф. Михайлова // Сахарная свекла. – 1981. – № 9. – С. 27-29.
273. Мязин, Н. Г. Азотный режим и продуктивность зернопропашного севооборота на черноземе типичном / Н. Г. Мязин, Р. А. Павлов, В. В. Шеина / Проблемы воспроизводства плодородия почв и повышения продуктивности агроэкосистем. – Мичуринск, 2004. – С 31-36.
274. Назарюк, В. М. Влияние удобрений и растительных остатков на плодородие почвы, продуктивность и химический состав зерновых культур / В. М. Назарюк, Ф. Р. Калимуллина // Агрехимия. – 2010. – № 6. – С. 18-27.
275. Наконечная М. А. Потери гумуса на склоновых землях ЦЧО / М. А. Наконечная, В. Е. Явтушенко // Почвоведение. – 1989. – № 5. – С. 19-26.
276. Накопление растительных остатков и биологическая активность обыкновенных черноземов при ресурсосберегающей технологии / В. И. Попова,

В. А. Чудинов, Е. П. Болдышева, А. И. Бекмагамбетов // Вестник Омского государственного аграрного университета. – 2020. – № 2(38). – С. 89-99.

277. Нарциссов, В. П. Научные основы системы земледелия / В. П. Нарциссов. – М. : Колос, 1976. – 368 с.

278. Научно-практические основы совершенствования обработки почвы в современных адаптивно-ландшафтных системах земледелия : монография / А. И. Беленков, В. А. Шевченко, Т. А. Трофимова, В. П. Шачнев. – Москва : изд-во ГРАУ-МСХА, 2015. – 500 с.

279. Недоцук, Е. В. Влияние эспарцета на плодородие почвы и продуктивность севооборотов в условиях юго-востока ЦЧЗ : дис. ... канд. с.-х. наук : 06.01.01 / Недоцук Елена Владимировна. – Рамонь, 2010. – 193 с.

280. Несмеянова, М. А. Органическое вещество почвы и его качество в севооборотах с биологической направленностью / М. А. Несмеянова, Е. В. Коротких, А. В. Дедов // Агропромышленные технологии Центральной России. – 2017. – № 1(3). – С. 52-61.

281. Нечаев, Л. А. Биологизация земледелия – стратегия его развития в XXI в / Л. А. Нечаев, А. С. Злобин, В. И. Коротеев // Вестник Орловского государственного аграрного университета. – 2007. – № 4(7). – С. 15-18.

282. Никитин, В. В. Биологизация земледелия в Центрально-Черноземном регионе: проблемы и решения / В. В. Никитин, А. В. Акинчин / Биологизация адаптивно-ландшафтной системы земледелия – основа повышения плодородия почвы, роста продуктивности сельскохозяйственных культур и сохранения окружающей среды. – Белгород : «Отчий край», 2012. – С. 192-202.

283. Никитин, В. В. Влияние вида севооборота, способов основной обработки почвы и удобрений на энергетические показатели возделывания сахарной свеклы в юго-западной части ЦЧР / В. В. Никитин, В. Д. Соловиченко, А. П. Карабутов // Земледелие. – 2019. – № 1. – С. 18-21.

284. Новиков, А. А. Обоснование роли корневых и пожнивных остатков в агроценозах / А. А. Новиков, О. П. Кисаров // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. – 2012. – № 78. – С. 643-652.

285. Новиков, В. М. Влияние агротехнических приемов и погодных условий на биологическую активность темно-серой лесной почвы при возделывании зернобобовых и крупяных культур / В. М. Новиков // Зернобобовые и крупяные культуры. – 2016. – №4(20). – С. 116-120.

286. Новоселов, С. И. Плодородие почвы и продуктивность сельскохозяйственных культур в зависимости от основной обработки и севооборота / С. И. Новоселов, А. Н. Кузьминых, Р. В. Еремеев // Плодородие. – 2019. – № 6(111). – С. 22-25.

287. Обработка почвы как фактор регулирования почвенного плодородия / А. Ф. Витер, В. И. Турусов, В. М. Гармашов, С. А. Гаврилов. – Воронеж: изд-во «Истоки», 2011. – 208 с.

288. Общая характеристика семян масличных культур [Электронный ресурс] // Масла и жиры. – Режим доступа: <http://www.oilbranch.com>

289. Овсинский И.Е. Новая система земледелия / И. Е. Овсинский. – Киев: ЗЕРНО, 2010. – 335 с. – (Классика земледелия). – К 110-летию первого издания книги И.Е. Овсинского «Новая система земледелия» (Киев-Харьков, 1899) и к 100-летию второго издания (Москва, 1909).

290. Оптимизация биологических свойств и гумусного состояния почвы в севооборотах Центрального Черноземья / В. И. Турусов, О. А. Богатых, Н. В. Дронова, Е. А. Балюнова // Вестник Мичуринского государственного аграрного университета. – 2019. – № 3(58). – С. 6-10.

291. Оптимизация питания масличных культур в органическом земледелии / Р. А. Каменев, В. В. Турчин, В. К. Мухортова [и др.]. – Персиановский : Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Донской государственный аграрный университет», 2022. – 238 с.

292. Органические и минеральные удобрения как факторы повышения продуктивности агроценозов (на примере северной тайги Республики Коми): монография / Н. Т. Чеботарев, А. А. Юдин, А. В. Облизов [и др.] – Сыктывкар : ГОУ ВО КРАГСИУ, 2019. – 130 с.

293. Орлов Д. С. Химия почв / Д. С. Орлов. – М. : Изд-во МГУ, 1974. – 376 с.

294. Основная обработка почвы на черноземах Тамбовской области / Л. Н. Вислобокова, Ю. П. Скорочкин, В. А. Воронцов, В. Е. Беляев // Вестник Мичуринского ГАУ. – 2014. – №4. – С. 32-36.

295. Отзывчивость гибридов подсолнечника на минимизацию основной обработки почвы в Заволжье / А. П. Солодовников, В. И. Жужукин, А. Г. Субботин [и др.] // Аграрный научный журнал. – 2020. – № 1. – С. 22-27.

296. Оценка изменения плодородия чернозема выщелоченного Краснодарского края в зависимости от систем основной обработки почвы / П. П. Васюков, Г. М. Лесовая, Г. В. Чуварлеева [и др.] // Плодородие. – 2018. – № 3(102). – С. 17-20.

297. Павлюк, Н. Т. Влияние сроков и способов уборки подсолнечника на посевные качества и урожайные свойства семян / Н. Т. Павлюк, Т. Г. Ващенко, П. Н. Павлюк. – Воронеж : ВГАУ, 2005. – 27 с.

298. Павлюк, Н. Т. Подсолнечник в Центрально-Черноземной зоне России : монография / Н. Т. Павлюк, П. Н. Павлюк, Е. В. Фомин. – Воронеж : ФГОУ ВПО ВГАУ, 2006. – 226 с.

299. Пакуль, В. Н. Биологическая активность почвы при ресурсосберегающих системах обработки и использовании возобновляемых биоресурсов / В. Н. Пакуль, Г. В. Божанова, Н. А. Макеева // Наука и образование: опыт, проблемы, перспективы развития. – Красноярск : Красноярский государственный аграрный университет, 2015. – С. 208-212.

300. Парамонов, А. В. Изменение содержания и запасов гумуса в черноземе обыкновенном в зависимости от применяемых систем удобрений / А. В. Парамонов, А. В. Федюшкин, В. И. Медведева // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. – 2017. – № 4(66). – С. 24-28.

301. Пахомя О. Г. Теоретические и методологические вопросы моделирования почвенного плодородия / О. Г. Пахомя, Л. М. Татаринцев // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. – Вып. 16. – № 4. – 2004. – С. 180-183.

302. Пенчуков, В. М. Биологизированные севообороты – эффективный путь сохранения плодородия почвы и повышения урожайности сельскохозяйственных культур / В. М. Пенчуков, В. М. Передериева, О. И. Власова // Вестник АПК Ставрополя. – 2012. – № 4(8). – С. 114-117.

303. Передериева, В. М. Альтернатива чистому пару в условиях неустойчивого увлажнения / В. М. Передериева, Г. Р. Дорожко, О. И. Власова // Современные проблемы науки и образования. – 2012. – № 5. – С. 382.

304. Перфильев, Н. В. Валовое содержание элементов питания в темносерой лесной почве при различных системах основной обработки / Н. В. Перфильев, О. А. Вьюшина // Земледелие. – 2022. – № 3. – С. 23-27.

305. Петрова, Л. И. Севооборот – важнейшее средство биологизации и экологизации интенсификационных процессов адаптивно-ландшафтной системы земледелия / Л. И. Петрова, Ю. И. Митрофанов / Биологизация адаптивно-ландшафтной системы земледелия – основа повышения плодородия почвы, роста продуктивности сельскохозяйственных культур и сохранения окружающей среды. – Белгород: «Отчий край», 2012. – С. 215-220.

306. Пешков, Л. В. Основные элементы агробиотехнологии возделывания озимой пшеницы в ЦЧР РСФСР : автореф. дис. ... канд. с.-х. наук : 06.01.09 / Пешков Леонид Вячеславович. – Воронеж, 1991. – 22 с.

307. Пивоварова, Е. Г. Влияние антропогенных воздействий на изменение содержания подвижных питательных веществ в почве / Е. Г. Пивоварова // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. – 2005. – № 2(18). – С. 22-27.

308. Пигорев, И. Я. Влияние паровых предшественников озимой пшеницы на плотность чернозема и серой лесной почвы в условиях лесостепи России / И. Я. Пигорев, И. В. Ишков // Вестник Курской государственной сельскохозяйственной академии. – №3. – 2021. – С. 6-12.

309. Пичугин, А. П. Эффективность приемов комплексного повышения плодородия чернозема выщелоченного в звене севооборота : пар (занятый, сидеральный) - озимая пшеница/ А. П. Пичугин // автореф. дис. ... канд. с.-х. наук : 06.01.01 / Пичугин Александр Павлович. – Воронеж, 2002. – 24 с.

310. Плескачев, Ю. Н. Возделывание подсолнечника на черноземах Волгоградской области / Ю. Н. Плескачев, Н. И. Семина, С. Е. Антонникова // Экологизация адаптивно-ландшафтных систем земледелия. – Воронеж, 2013. – С. 105-111.

311. Плодородие почвы в зависимости от приемов ее обработки и внесения органических удобрений на черноземе типичном в Чеченской республике / Х. А. Хусайнов, А. В. Тунтаев, М. С. Муртазалиев, С. М. Муртазалиев // Плодородие. – 2019. – № 5(110). – С. 24-27.

312. Плодородие почвы: настоящее и будущее нашего земледелия / Н. А. Зеленский, Г. М. Зеленская, Г. В. Мокриков, А. Ю. Шуркин // Земледелие. – 2018. – № 5. – С. 4-7.

313. Плодородие чернозема обыкновенного и урожайность ячменя при различных приемах обработки почвы / В. И. Турусов, В. М. Гармашов, И. М. Корнилов [и др.] // Зернобобовые и крупяные культуры. – 2019. – № 4(32). – С. 125-132.

314. Плотников, С. Ю. Влияние культур севооборота и основной обработки почвы на формирование элементов эффективного плодородия чернозема

выщелоченного ЦЧР : автореф. дис. ... канд. с.-х. наук : 06.01.01 / Плотников Сергей Юрьевич. – Рамонь, 2021. – 28 с.

315. Повышение эффективности использования соломы в качестве удобрения сельскохозяйственных культур / Р. А. Булавинцев, И. В. Коношин, А. В. Волженцев [и др.] // Вестник Курской государственной сельскохозяйственной академии. – 2020. – № 8. – С. 13-18.

316. Погода и климат [Электронный ресурс]. – Точка доступа : <http://www.pogodaiklimat.ru/monitor.php?id=34123>

317. Поддымкина, Л. М. Целлюлозоразлагающая активность микробов почвы в полевом опыте / Л. М. Поддымкина // Плодородие. – 2004. – № 5. – С.26-27.

318. Подколзин, В. В. География Воронежской области / В. В. Подколзин. – Воронеж, 1994. – 110 с.

319. Полуэктов, Е. В. Влияние антропогенной деятельности на свойства почвы / Е. В. Полуэктов, В. В. Турулев. – Новочеркасск, 1995. – 120 с.

320. Попов, А. С. Основная обработка почвы твердой озимой пшеницы / А. С. Попов // Зерновое хозяйство России. – 2019. – № 5(65). – С. 40-44.

321. Попова, В. И. Биоэнергетическая эффективность применения удобрений под озимые культуры в Западной Сибири / В. И. Попова, Е. П. Болдышева // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. – 2011. – № 10 (84). – С. 10-15.

322. Постников, А. В. Гумус, производство и применение органических удобрений / Состав.: А. В. Постников, А. Н. Кондратенко [и др.] / Расширенное воспроизводство почвенного плодородия. – Москва, 1996. – Вып. 2. – 240 с.

323. Постников, П. А. Ресурсосберегающая обработка почвы в зернопаросидеральном севообороте / П. А. Постников, А. Б. Пономарев, В. В. Попова // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. – 2015. – № 5(55). – С. 27-30.

324. Преимущество биологизированного севооборота / Г. И. Уваров, А. П. Карабутов, Я. Ю. Боровская, Е. В. Сыромятникова / Биологизация земель в

адаптивно-ландшафтной системе земледелия. – Белгород : «Отчий край», 2015. – С. 258-261.

325. Придворев, Н. И. Зависимость запаса влаги в почве от способа ее основной обработки под подсолнечник / Н. И. Придворев, В. В. Верзилин, Е. А. Родионов // Земледелие. – 2009. – № 8. – С. 16-17.

326. Придворев, Н. И. Научные основы оптимизации содержания органического вещества в черноземе выщелоченном : дис. ... д-ра с.-х. наук : 06.01.01 / Придворев Николай Иванович. – Воронеж, 2002. – 376с.

327. Приемы биологизации при возделывании яровой пшеницы в ресурсосберегающих технологиях Зауралья / С. Д. Гилев, И. Н. Цымбаленко, А. Н. Копылов, В. П. Ефремов // Плодородие. – 2019. – № 3(108). – С. 42-46.

328. Припутнева, М. А. Состав органического вещества чернозема типичного в зависимости от уровня интенсивности агротехнологий / Актуальные проблемы земледелия и защиты почв от эрозии. – Курск : ФГБНУ «Всероссийский НИИ земледелия и защиты почв от эрозии», 2017. – С. 230-234.

329. Продуктивность яровых культур при минимализации основной обработки почвы в условиях Саратовского Правобережья / А. П. Солодовников, Е. П. Денисов, Ф. П. Четвериков, А. Д. Яников // Зерновое хозяйство России. – 2015. – № 3. – С. 60-67.

330. Прянишников Д. Н. Избранные сочинения / Д. Н. Прянишников. – М. : Изд-во Академия наук, 1955. – 596 с.

331. Пупонин, А. И. Действие минимальной обработки на плодородие дерново-подзолистой среднесуглинистой почвы и урожайность полевых культур / А. И. Пупонин, К. А. Миронычев // Вестник сельскохозяйственной науки. – 1984. – № 2. – С. 56-63.

332. Пупонин, А. И. Обработка почвы в интенсивном земледелии нечерноземной зоны / А. И. Пупонин. – М. : Колос, 1984. – 184 с.

333. Пыхтин, И. Г. Текущие проблемы в земледелии / И. Г. Пыхтин, Д. В. Дубовик, А. Я. Айдиев // Земледелие. – 2018. – № 5. – С. 8-11.

334. Развитие системы обработки почвы на Ставрополье / О. И. Власова, А. Н. Есаулко, О. Г. Шабалдас [и др.] // Земледелие. – 2022. – № 8. – С. 26-30.
335. Ревут, И. Б. Физика в земледелии / И. Б. Ревут; под ред. А. Ф. Иоффе. – Москва; Ленинград : Государственное издательство физико-математической литературы, 1960. – 400 с.
336. Результаты изучения элементов ресурсосберегающих технологий возделывания культур зерносвекловичного севооборота / В. В. Павловский, И. Д. Василенко, Е. И. Пчеленко, В. Ф. Ващук / Ресурсосберегающие технологии обработки почвы: научные основы, опыт, перспективы. – Курск, 1989. – С. 147-154.
337. Решетов, Е. В. Роль предшественника в адаптации подсолнечника к энергосберегающим обработкам почвы в Поволжье : дис. ... канд. с.-х. наук : 06.01.01/Решетов Евгений Валерьевич. – Саратов, 2016. – 182 с.
338. Рзаева, В. В. Системы основной обработки почвы в земледелии Северного Зауралья : автореф. дис. ... д-ра с.-х. наук : 06.01.01 / Рзаева Валентина Васильевна. – Тюмень, 2014. – 32 с.
339. Роде, А. А. Основы учения о почвенной влаге. – Ленинград : гидрометеорологическое издательство, 1965. – 664с.
340. Родионов, Е. А. Влияние способов основной обработки на плодородие чернозема обыкновенного, урожайность сахарной свеклы и подсолнечника в условиях юго-востока ЦЧР : автореф. дис. ... канд. с.-х. наук : 06.01.01 / Родионов Евгений Александрович. – Воронеж, 2006. – 22 с.
341. Румянцев, Ф. П. Научное обоснование использования зеленого удобрения в севооборотах на серых лесных почвах Волго-Вятского экономического региона : автореф. дис. ... д-ра с.-х. наук : 06.01.01 / Румянцев Федор Полиектович. – Нижний Новгород, 2000. – 42 с.
342. Рыбалкин, Б. А. Эффективность обработки почвы и удобрений в севооборотах на черноземе обыкновенном слабосмытом юго-востока ЦЧЗ : автореф. дис. ... канд. с.-х. наук : 06.01.01/ Рыбалкин Борис Алексеевич. – Воронеж, 2002. – 26 с.

343. Рязанов, М. Н. Продуктивность подсолнечника в зависимости от условий рельефа, обработки почвы и органических удобрений / М. Н. Рязанов, Е. Г. Котлярова // Нива Поволжья. – 2019. – № 2(51). – С. 78-85.

344. Рязанов, М. Н. Структура и водопрочность почвенных агрегатов чернозема типичного под подсолнечником в ландшафтных условиях ЦЧР / М. Н. Рязанов, Е. Г. Котлярова // Инновации в АПК : проблемы и перспективы. – 2019. – № 2(22). – С. 181-192.

345. Сабитов, М. М. Влияние предшественников на продуктивность озимой пшеницы в условиях лесостепи Среднего Поволжья / М. М. Сабитов // Земледелие. – 2021. – № 5. – С. 3-7.

346. Савенков, В. П. Поступление растительных остатков полевых культур в почву и ее агрохимическая характеристика в зависимости от парового поля и системы обработки почвы в севооборотах / Состояние почв Центрального Черноземья России и проблемы воспроизводства их плодородия. – Каменная степь, 2015. – С. 97-101.

347. Савенков, В. П. Эффективность различных систем основной обработки почвы при возделывании в севообороте масличных и зерновых культур в лесостепи Центрального федерального округа России / В. П. Савенков // Земледелие. – 2021. – № 7. – С. 35-39.

348. Самутенко, Л. В. Оценка сидератов в качестве предшественников картофеля в севооборотах о. Сахалин / Л. В. Самутенко, Т. А. Миловских // Плодородие. – 2019. – № 6 (111). – С. 32-34.

349. Сафонов, А. Ф. Практикум по земледелию с почвоведением / А. Ф. Сафонов, М. В. Стратонович. – М. : Агропромиздат, 1990. – 208 с.

350. Северьянов, С. Н. Основная обработка почвы под яровые зерновые культуры в Волго-Вятском регионе : автореф. дис. ... канд. с.-х. наук : 06.01.01 / Северьянов Сергей Николаевич. – Балашиха, 2004. – 18 с.

351. Семенов, В. М. Агроэкологические функции растительных остатков в почве / В. М. Семенов, А. К. Ходжаева // Агрохимия. – 2006. – № 7. – С. 63-81.

352. Семенов, В. М. Растительные остатки и органические удобрения как источники почвенного органического вещества / В. М. Семенов / Экологические проблемы развития агроландшафтов и способы повышения их продуктивности. – Краснодар: Кубанский государственный аграрный университет имени И.Т. Трубилина, 2018. – С. 114-117.

353. Семинченко, Е. В. Влияние приемов биологизации на продуктивность севооборотов в условиях Нижнего Поволжья // Земледелие. – 2021. – № 1. – С. 7-10.

354. Сергеев, В. С. Влияние растительных остатков на показатели почвенного плодородия / В. С. Сергеев // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. – 2010. – № 9(71). – С. 28-34.

355. Сидераты помогают сохранить плодородие почвы и повысить продуктивность подсолнечника / Е. П. Луганцев, А. П. Авдеенко, Г. М. Зеленская [и др.] // Земледелие. – 2009. – № 8. – С. 11-13.

356. Сидоров, М. И. Земледелие на черноземах / М. И. Сидоров, Н. И. Зезюков. – Воронеж: ВГУ, 1992. – 184 с.

357. Сидоров, М. И. Использование соломы на удобрение / М. И. Сидоров, Н. И. Зезюков // Земледелие. – 1988. – № 11. – С.48-50.

358. Скороходов, В. Ю. Образование и содержание гумуса на черноземах южных Оренбургского Предуралья / В. Ю. Скороходов, Н. А. Зенкова // Плодородие. – 2019. – № 6(111). – С. 28-32.

359. Скорочкин, Ю. П. Сидеральный пар и солома – элементы биологизации земледелия в условиях северо-восточной части ЦЧР / Ю. П. Скорочкин, З. Я. Брюхова // Земледелие. – 2011. – № 3. – С. 20-21.

360. Скрепинский, А. И. Эспарцет на Юго-Востоке СССР / А. И. Скрепинский. – Саратов. обл. гос. изд-во, 1951. – 40 с.

361. Слесарева, Т. Н. Фитоценотический эффект люпинозлаковых гетерогенных ценозов в борьбе с сорной растительностью / Т. Н. Слесарева // Защита и карантин растений. – 2010. – № 12. – С. 20-22.

362. Смольянинов, В. М. Концепция развития мелиорации земель Российской Федерации и орошаемое земледелие в ЦЧР / В. М. Смольянинов, П. П. Стародубцев // Научные ведомости. – 2010. – №15. – С. 171-181.

363. Смуров, С. И. Совершенствовать основную обработку почвы под ранние яровые культуры / С. И. Смуров / Прогрессивные технологии возделывания сельскохозяйственных культур в ЦЧЗ. – Липецк, 1993. – С. 144-150.

364. Совершенствование способов обработки темно-каштановых почв и внесения азотных удобрений под подсолнечник / Ю. Н. Плескачев, Н. Б. Борисенко, В. Ю. Мисюряев, А. Н. Сидоров // Плодородие. – 2012. – № 2(65). – С. 24-26.

365. Содержание калия в почве при использовании ресурсосберегающих технологий / А. Л. Пакуль, Н. А. Лапшинов, В. Н. Пакуль, Г. В. Божанова // Международный научно-исследовательский журнал. – 2017. – № 4-1(58). – С. 151-154.

366. Солдат, И. Е. Оптимизация севооборотов при возделывании озимой пшеницы в адаптивно-ландшафтной системе земледелия юго-западной части ЦЧЗ / И. Е. Солдат / Биологизация земель в адаптивно-ландшафтной системе земледелия. – Белгород : «Отчий край», 2015. – С. 204-210.

367. Солодун, В. И. Сравнительная оценка ресурсосберегающих приемов весенней обработки почвы под яровую пшеницу / В. И. Солодун, А. М. Зайцев, Е. С. Имеев // Актуальные вопросы аграрной науки. – 2012. – № 2 – январь. – С. 5-12.

368. Сорокин, Н. Д. Количественная оценка микробиологической активности / Н. Д. Сорокин // Почвоведение. – 1993. – № 8. – С. 99-103

369. Сотников, Б. А. Влияние приемов биологизации на динамику лабильных форм органического вещества и урожайность культур: автореф. дис. ... канд. с.-х. наук : 06.01.01 / Сотников Борис Александрович. – Воронеж, 2004. – 18 с.

370. Станков, Н. З. Корневая система полевых культур / Н. З. Станков. – Москва : Колос, 1964. – 280 с.

371. Стифеев, А. И. Состояние почв Центрального Черноземья и необходимость воспроизводства их плодородия / А. И. Стифеев, О. В. Никитина, К. Н. Кемов // Вестник Курской государственной сельскохозяйственной академии. – № 1. – 2018. – С. 10-14.

372. Структура почвы в зависимости от способов основной обработки почвы и удобрений при возделывании эспарцета / О. Г. Котлярова, В. Д. Соловченко, А. Н. Чернявский, К. Н. Чернявский / Биологизация адаптивно-ландшафтной системы земледелия – основа повышения плодородия почвы, роста продуктивности сельскохозяйственных культур и сохранения окружающей среды. – Белгород : «Отчий край», 2012. – С. 142-145.

373. Стулин, А. Ф. Продуктивность и качество подсолнечника (*Helianthus annuus L.*) на черноземе выщелоченном при длительном применении удобрений / А. Ф. Стулин // Проблемы агрохимии и экологии. – 2019. – № 2. – С. 3-8.

374. Султангазин, З. Р. Плодородие чернозема обыкновенного и продуктивность звена зернопарового севооборота при комбинированной обработке почвы в Зауральской степи Башкортстана : автореф. дис. ... канд. с.-х. наук : 06.01.01/ Султангазин Зуфар Рафкатович. – Уфа, 2015. – 22 с.

375. Сухов, А. Н. Система ресурсосберегающей основной обработки каштановых почв в полевых севооборотах Нижнего Поволжья : дис. ... д-ра с.-х. наук : 06.01.01 / Сухов Александр Николаевич. – Волгоград, 1986. – 469с.

376. Такунов, И. П. Безгербицидная ресурсосберегающая технология возделывания люпина и злаковых культур в смешанных посевах / И. П. Такунов, Т. Н. Слесарева. – Брянск : ГНУ ВНИИ люпина, 2007. – 60 с.

377. Тарасов, С. А. Повышение плодородия почв за счет ускорения деградации послеуборочных растительных остатков / С. А. Тарасов, А. А. Тарасов / Актуальные проблемы земледелия и защиты почв от эрозии. – Курск, ФГБНУ «Всероссийский НИИ земледелия и защиты почв от эрозии», 2017. – С. 66-70.

378. 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.

379. Технология регулирования режима органического вещества почвы в ландшафтном земледелии ЦЧР (рекомендации). – Воронеж: изд-во «Истоки», 2010. – 44с.

380. Тишков, Н. М. Надземные растительные остатки подсолнечника – источник пополнения органическим веществом и элементами питания чернозема типичного / Н. М. Тишков, А. Н. Назарько // Масличные культуры. Научно-технический бюллетень Всероссийского научно-исследовательского института масличных культур. – 2015. – № 1(161). – С. 57-71.

381. Тойгильдин, А. Л. Динамика твердости чернозема выщелоченного под влиянием агротехнических приемов при биологизации севооборотов в лесостепи Поволжья / А. Л. Тойгильдин, М. И. Подсевалов, И. А. Тойгильдина // Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии. – 2017. – № 4(40). – С. 55-63.

382. Тойгильдин, А. Л. Научно-практическое обоснование биологизации земледелия и воспроизводства плодородия чернозема выщелоченного лесостепи Поволжья : автореф. дис. ... д-ра с.-х. наук : 06.01.01 / Тойгильдин Александр Леонидович. – Усть-Кинельский, 2018. – 42с.

383. Трансформация состава и свойств черноземов Центрального Предкавказья в результате сельскохозяйственного использования / В. С. Цховребов, В. И. Фаизова, А. М. Никифорова [и др.] – Ставрополь : Секвойя, 2016. – 248 с.

384. Трофимова, Т. А. Научные основы совершенствования основной обработки и регулирования плодородия почв в ЦЧР : дис. ... д-ра с.-х. наук : 06.01.01 / Трофимова Татьяна Александровна. – Воронеж, 2014. – 399 с.

385. Трофимова, Т. А. Обработка почвы в биологизированных севооборотах / Т. А. Трофимова, С. И. Коржов // Агро XXI. – 2013. – № 7-9. – С. 24-26.

386. Трофимова, Т. А. Элементы минимализации обработки почвы / Т. А. Трофимова // Достижения аграрной науки в начале 21 века. – Воронеж, 2002. – С. 33-38.

387. Тужилин, В. М. Донник на сидерат в Нечерноземье // Земледелие. – 1995. – № 2. – С. 8-9.
388. Тулайков, Н. М. Засуха и меры борьбы с ней в полевом хозяйстве Поволжья / Н. М. Тулайков. – Саратов : Гос. изд-во, 1921. – 19с.
389. Турусов, В. И. Биологизация как фактор роста экологичности и наукоемкости адаптивно-ландшафтных систем земледелия / В. И. Турусов / Биологизация адаптивно-ландшафтной системы земледелия – основа повышения плодородия почвы, роста продуктивности сельскохозяйственных культур и сохранения окружающей среды. – Белгород : «Отчий край», 2012. – С. 13-20.
390. Турусов, В. И. Модернизация агротехнологий в адаптивно-ландшафтном земледелии Центрального Черноземья / В. И. Турусов / Модернизация агротехнологий в адаптивно-ландшафтном земледелии Центрального Черноземья. – Воронеж: изд-во «Истоки», 2014. – С. 5-14.
391. Турусов, В. И. Опыт основной обработки почвы в Воронежской области / В. И. Турусов, А. М. Новичихин // Новости науки в АПК. – 2018. – № 1(10). – С. 84-92.
392. Турусов, В. И. Основная обработка почвы и продуктивность подсолнечника / В. И. Турусов // Земледелие. – 2004. – № 2. – С. 24.
393. Турусов, В. И. Структурно-агрегатное состояние почвы в различных севооборотах с многолетними травами / В. И. Турусов, О. А. Абанина / Модернизация агротехнологий в адаптивно-ландшафтном земледелии Центрального Черноземья. – Каменная Степь, 2014. – С. 157-160.
394. Тысленко, А. М. Оценка средоулучшающих кормовых растений в системе хозяйственного использования и воспроизводства плодородия почв / А. М. Тысленко, М. Н. Новиков // Агротехнический вестник. – 2013. – № 4. – С. 35-38.
395. Тюрин, И. В. Органическое вещество почвы и его роль в плодородии. - М. : Наука, 1965. – 320 с.
396. Тютюнов, С. И. Биологизация земледелия: проблемы и решения / С. И. Тютюнов, А. Н. Воронин, В. В. Никитин / Биологизация земель в адаптивно-

ландшафтной системе земледелия. – Белгород : «Отчий край», 2015. – С. 242-253.

397. Управление плодородием почв на основе интенсификации биологических факторов в системах земледелия / В. Н. Масалов, Н. А. Березина, В. Т. Лобков, Ю. А. Бобкова // Вестник аграрной науки. – 2021. – № 3(90). – С. 10-17.

398. Уровень засоренности посевов подсолнечника в зависимости от характера основной обработки почвы в Черноземье / Е. Г. Котлярова, А. И. Титовская, М. Н. Рязанов [и др.] // Инновации в АПК : проблемы и перспективы. – 2018. – № 3(19). – С. 82-92.

399. Урожайность ярового ячменя при различных приемах основной обработки почвы в зернопаровом севообороте / А. Л. Пакуль, Н. А. Лапшинов, Г. В. Божанова, В. Н. Пакуль // Земледелие. – 2019. – № 3. – С. 34-36.

400. Усенко, В. И. Водный режим выщелоченного чернозема в зависимости от предшественника и приема основной обработки / В. И. Усенко, С. В. Усенко // Земледелие. – 2018. – № 2. – С. 14-18.

401. Ухов, П. А. Влияние способов использования сидеральных культур на продуктивность яровой пшеницы и звена севооборота в системе ресурсосберегающей обработки почвы в Среднем Предуралье : автореф. дис. ... канд. с.-х. наук : 06.01.01/ Ухов Петр Александрович. – Ижевск, 2021. – 21с.

402. Федоров, В. А. Удобрение соломой и содержание подвижных форм азота в почве / В. А. Федоров // Агрохимия. – 1977. – № 8. – С. 100-107.

403. Федоткин, В. А. Зяблевая обработка почвы на черноземах Тюменской области / В. А. Федоткин, Н. В. Абрамов // Ресурсосберегающие системы обработки почвы. – М., 1990. – С. 221-226.

404. Феофилова, Л. А. Эффективность обработки почвы и бактериальных удобрений при возделывании ярового ячменя на светло-каштановых почвах Волго-Донского междуречья : автореф. дис. ... канд. с.-х. наук : 06.01.01 / Феофилова Людмила Анатольевна. – Пенза, 2019. – 20 с.

405. Физические свойства почвы в посевах озимой пшеницы в зависимости от севооборотов и предшественников / В. И. Турусов, В. М. Гармашов, Е. В.

Теслина [и др.] / Биологизация адаптивно-ландшафтной системы земледелия – основа повышения плодородия почвы, роста продуктивности сельскохозяйственных культур и сохранения окружающей среды. – Белгород : «Отчий край», 2012. – С. 299-301.

406. Фитотестирование в оценке токсичности городских почв / А. В. Прусаченко, Е. П. Проценко, С. Ю. Миронов [и др.] // Экология урбанизированных территорий. – 2010. – № 2. – С. 105-109.

407. Фокин, А. Д. Органическое вещество и проблемы плодородия почв / А. Д. Фокин / Научные труды почв. ин-та им. В.В. Докучаева. – М., 1990. – С.41-50.

408. Халманов, Н. Т. Влияние сидерации на плодородие сероземов, рост, развитие и урожайность хлопчатника Зерафшанской долины / Н. Т. Халманов, М. А. Элмуродова // Плодородие. – 2019. – № 2(107). – С. 33-37.

409. Харалгина, О. С. Минимализация обработки почвы в лесостепи Тюменской области : автореф. дис. ... канд. с.-х. наук : 06.01.01 / Харалгина Оксана Сергеевна. – Тюмень, 2007. – 18с.

410. Хасанова, Р. Ф. Оценка экологического состояния почв степных агроэкосистем по показателям биологической активности / Р. Ф. Хасанова, Я. Т. Суюндуков, И. Н. Семенова // Вестник НВГУ. – 2017. – №1. – С. 103-108.

411. 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.

412. Чеботарев, Н. Т. Влияние органических и минеральных удобрений на баланс гумуса и его фракционно-групповой состав в дерново-подзолистой почве европейского северо-востока России / Н. Т. Чеботарев, О. В. Броварова // Агрохимический вестник. – 2022. – №2. – С. 58-60.

413. Чебочаков, Е. Я. Эффективность приемов биологизации земледелия в разных агроэкологических районах Средней Сибири / Е. Я. Чебочаков, А. А. Шпедт // Земледелие. – 2018. – № 6. – С. 3-5.

414. Чевердин, Ю. И. Изменение свойств почв юго-востока Центрального Черноземья под влиянием антропогенного воздействия : монография / Ю. И. Чевердин. – Воронеж : издательство «Истоки», 2013. – 335 с.

415. Чекмарев, П. А. Воспроизводство плодородия – залог стабильного развития агропромышленного комплекса России / П. А. Чекмарев // Плодородие. – 2018. – № 1(100). – С. 4-7.

416. Чекмарев, П. А. Состояние плодородия пахотных почв Центрально-Черноземных областей России / Состояние почв Центрального Черноземья России и проблемы воспроизводства их плодородия. – Воронеж : издательство «Истоки», 2015. – С. 3-9.

417. Черепухина, И. В. Биологическая активность чернозема выщелоченного при использовании соломы зерновых культур в качестве удобрения / И. В. Черепухина, Н. В. Безлер, А. И. Громовик // Сборник научных трудов Государственного Никитского ботанического сада. – 2019. – Т. 148. – С. 117-123.

418. Черепухина, И. В. Микробиологическая активность чернозема выщелоченного при запашке соломы зерновых культур в зернопаропропашном севообороте / И. В. Черепухина, Н. В. Безлер // Динамика показателей плодородия почв и комплекс мер по их регулированию при длительном применении систем удобрения в разных почвенно-климатических зонах. – Москва : Всероссийский научно-исследовательский институт агрохимии имени Д. Н. Прянишникова, 2018. – С. 136-144.

419. Черепухина, И. В. Солома зерновых культур как фактор, способствующий улучшению гумусового состояния почвы / И. В. Черепухина, Н. В. Безлер, А. Л. Мазлумова // Плодородие. – 2017. – № 5(98). – С. 35-38.

420. Черкасов, Г. Н. Основные направления в адаптивно-ландшафтном земледелии / Г. Н. Черкасов / Биологизация адаптивно-ландшафтной системы земледелия – основа повышения плодородия почвы, роста продуктивности сельскохозяйственных культур и сохранения окружающей среды. – Белгород : «Отчий край», 2012. – С. 21-27.

421. Черкасов, Г. Н. Совершенствование технологий возделывания сельскохозяйственных культур в ЦЧР / Г. Н. Черкасов / Модернизация агротехнологий в адаптивно-ландшафтном земледелии Центрального Черноземья. – Воронеж : изд-во «Истоки», 2014. – С. 14-17.

422. Чуварлеева, Г. В. Система основной обработки почвы и целлюлозоразрушающая способность микроорганизмов / Г. В. Чуварлеева, А. А. Мнатсакарян, М. Т. Мухина // Плодородие. – 2019. – № 3(108). – С. 46-49.

423. Чугунова, О. А. Влияние способов основной обработки на микробиоту почвы и урожайность ярового ячменя в лесостепи Среднего Поволжья : автореф. дис. ... канд. с.-х. наук : 06.01.01 / Чугунова Ольга Александровна. – Кинель, 2020. – 21с.

424. Чуян, Н. А. Влияние минеральных удобрений, извести и растительных остатков на плодородие почвы / Н. А. Чуян, Г. М. Берескина, Р. Ф. Еремина // Земледелие. – 2009. – №3. – С. 22-23.

425. Шакиров Р. С. Сидераты и солома – дополнительные источники почвенной органики / Р. С. Шакиров // Земледелие. – 1999. – № 4. – С. 38-39.

426. Шалагина, Н. М. Применение сидеральных культур и органоминеральных удобрений в севообороте – эффективный способ повышения плодородия охристых вулканических почв Камчатки / Н. М. Шалагина, Н. И. Ряховская // Плодородие. – 2018. – № 2(101). – С. 46-48.

427. Шаповалов, Н. К. Формирование урожая сахарной свеклы при различных способах подготовки почвы / Н. К. Шаповалов // Сахарная свекла. – 1996. – № 8. – С. 16-20.

428. Шеховцов, Г. А. Мониторинг плодородия почв / Г. А. Шеховцов, Н.Н. Чайкина // Земледелие. – 2018. – № 6. – С. 21-26.

429. Шипилов, М. А. Влияние уплотнения почвы ходовыми системами тракторов на агрофизические, биологические свойства и плодородие обыкновенного чернозема : автореф. дис. ... канд. с.-х. наук : 06.01.01 / Шипилов Михаил Андреевич. – Каменная Степь, 1983. – 200 с.

430. Щербаков, А. П. Антропогенная эволюция черноземов / А. П. Щербаков, И. И. Васенев. – Воронеж : Изд-во Воронеж. гос. ун-та, 2000. – 412 с.
431. Щербаков, А. П. Плодородие почв, круговорот и баланс питательных веществ / А. П. Щербаков, И. Д. Рудай. – М. : Колос, 1983. – 189 с.
432. Щербаков, А. П. Судьба российских черноземов / А. П. Щербаков, И. И. Васенев // Экология и промышленность России. – 1999. – № 3. – С. 31-34.
433. Экологизация севооборотов и биологическая система воспроизводства почвенного плодородия в степной зоне Южного Урала / А. В. Кислов, А. П. Глинушкин, А. В. Кащеев, Г. В. Сударенков // Земледелие. – 2018. – № 6. – С. 6-10.
434. Экологические и фитосанитарные функции почвенного органического вещества (проблемно-аналитический обзор) / М. С. Соколов, Ю. Я. Спиридонов, Е. Ю. Торопова [и др.] // Агрехимия. – 2018. – № 5. – С. 79-96.
435. Экологическое почвоведение / Сост. : И. Н. Волкова, Г. В. Кондакова. – Ярославль, 2002. – 35 с.
436. Эффективность приемов основной обработки почвы под яровой ячмень на черноземах Курской области / Д. В. Дубовик, Е. В. Дубовик, А. В. Шумаков [и др.] // Земледелие. – 2021. – № 2. – С. 44-48.
437. Эффективность применения технологии No-till в различных почвенно-климатических зонах Ставропольского края / А. Н. Есаулко, Е. Б. Дрепа, А. Ю. Ожередова, Е. В. Голосной // Земледелие. – 2019. – № 7. – С. 28-31.
438. Юмашев, Н. П. Почвы Тамбовской области / Н. П. Юмашев, И. А. Трунов. – Мичуринск – Научград РФ : Изд-во Мичурин. гос. агр. ун-та, 2006. – 216 с.
439. Юмашев, Х. С. Микробиологическая активность выщелоченного чернозема при различных способах утилизации соломы / Х. С. Юмашев, И. А. Захарова // Плодородие. – 2018. – № 2(101). – С. 33-35.
440. Якупов, Р. Х. Совершенствование системы основной обработки выщелоченного чернозема в полевых севооборотах лесостепной зоны Иркутской

области : автореф. дис. ... канд. с.-х. наук : 06.01.01 / Якупов Равиль Халильевич. – Красноярск, 2020. – 19 с.

441. Ackerman, F. G. Some factors influencing aggregation of clay pan soils / F.G. Ackerman, H.E. Myers // *Journal of Soil Science*. – 1943. – Vol. 4. – P. 405-413.

442. Allison, F. E. Soil organic matter and its role in crop production / F. E. Allison. – Amsterdam, London, New-York, 1973. – 638 с.

443. Altieri, N. Some agroecological and socioeconomic features of organic farming in California synergies in agriculture : A preliminary study / N. Altieri. – *Biol. Agr. Hortic*, 1983. – 1, 2. – P. 97-100.

444. Berner, A. Einfluss von biologisch-dynamischen Präparaten, Düngung und Bodenbearbeitung auf Bodenfruchtbarkeit und Ertrag / A. Berner, R. Frei, P. Mäder // *FiBL : CH-5070 Frick, Switzerland*. – 2003. – № 5. – S. 1-15.

445. Berner, A. Neuer Langzeitversucht über Bodenbearbeitung, Düngung und Präparate / A. Berner, R. Frei, P. Mäder // *Bioaktuel*. – 2006. – № 5. – S. 4-6.

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

447. Blevins, R. L. The effect of conservation tillage on soil properties. A system approach to conservation tillage / R. L. Blevins, W. W. Frye, M. S. Smith. – Lewis Publishers, 1985. – H. 99-100.

448. Cannel, R. Q. Reducend tillage in north-West Europe-a review / R. Q. Cannel // *Soil Tillage Res*. – 1985. – Vol. 5. – № 2. – P. 129-177.

449. Dickey, E. C. Soil compaction: Where, how bad is a problem / E. C. Dickey, T. R. Peterson, D. E. Eisenhauer // *Crops and Soils*, 1985. – Vol. 37 (9). – P. 12-14.

450. Effect of Rye and Mix Cover Crops on Soil Water and Cotton Yield in a Humid Environment / J. Payero, M. Marshall, R. Davis [et al] // *Open Journal of Soil Science*. – 2021. – № 11. – pp. 271-284.

451. Effect of Tillage and Residue Retention on Soil Properties and Crop Yields in Wheat-Mungbean-Rice Crop Rotation under Subtropical Humid Climate / N. Salahin, K. Alam, A. Mondol [et al] // *Open Journal of Soil Science*. – 2017. – № 7(1). – pp. 1-17.

452. Effect of tillage, rotation and crop residues on wheat crop productivity, fertilizer nitrogen and water use efficiency and soil organic carbon status in dry area (rainfed) of north-west Pakistan / W. Mohammad<sup>1</sup>, S. M. Shah<sup>1</sup>, S. Shehzadi<sup>1</sup>, S. A. Shah<sup>1</sup> // *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*. – 2012. – № 12(4). – pp. 715-727.

453. Ellmer, F. Dauerfeldversuche als Forschungsbasis für Die / F. Ellmer, T. Gäbert & M. Baumecker // *Известия Тимирязевской сельскохозяйственной академии*. – 2012. – № 3. – pp. 46-53.

454. Freyer, B. Fruchtfolge: Planen, abstimmen und korrigieren / B. Freyer // *Bio Austria: Fachzeitschrift für Landwirtschaft und Ökologie*. – 2007. – №4. – S. 14-16.

455. Freyer, B. Monitoring der Auswirkungen einer Umstellung auf den biologischen Landbau (MUBIL II) : Forschungsprojekt / B. Freyer. – Abschlussbericht Univ. Prof. Dr., 2009. – Wien. – 206 s.

456. Geiger, F. Bodewbearbeitung: Mit oder ohne plug? / F. Geiger // *Agrar Spiegel*. – 1984. – Freihjahr. – S. 10-12.

457. Gollner, M. Auswirkungen acker- und pflanzenbaulicher Massnahmen sowie der Dauer der ökologischen Bewirtschaftung auf die arbuskuläre im Ökologischen Landbau: Autoreferat Doktors rerum naturalium technicarum / M. Gollner. – Wien, 2003. – 32 s.

458. Heinze, S. Organische Düngung und reduzierte Bodenbearbeitung als Steuerungsfaktoren für die C-, N-, P- und S-Speicherung von Microorganismen: Autoreferat Doktors der Naturwissenschaften / S. Heinze. – Witzhausen, 2009. – 21 s.

459. Huggins, D. Bodenschutz durch Verzicht auf Pflügen / D. R. Huggins, P. Reganold // *Spektrum der Wissenschaft*. – 2009. – № 5. – S. 78-85.

460. Hülsbergen, K.-J. Der Humusgehalt – die wichtigste Kennzahl für die Bodenfruchtbarkeit / K.-J. Hülsbergen // *Bio Austria: Bauertage*. – 2007. – S. 27-30.

461. Klonsky, K. Organic Agriculture in the 2007 Farm Bill / K. Klonsky / /AIC Farm Bill Brief. – 2007. – №. 3, JULY. – S. 1-6.
462. Krawutschke, M. Einfluss differenzierter Bodenbearbeitung auf Gehalt und Dynamik der organischen Bodensubstanz in Ackerböden sowie deren Bedeutung für die Humusbilanzierung: Masterarbeit cand. M. Sc. agr. / Krawutschke M. – Giessen, 2007. – 78 s.
463. Kreitmayr, J. Klimaänderung und Landwirtschaft. Auswirkungen und Strategien für Landwirtschaft und Umwelt / J. Kreitmayr, K. Mayr // Agrarökologie. – 2008. – Kreitmayr/Mayr – IAB 1c – MS. 1-20.
464. Kundler, P. Erhöhung der Bodenfruchtbarkeit / P. Kundler et al. // VEB Deutscher Landwirtschafts Verlag. – Berlin, 1989. – S.165-187.
465. O’Sullivan, M. A simplified method for estimating soil compaction / M. O’Sullivan, J. Henshall, & J. Dickson // Soil and Tillage Research. – 1999. – № 49(4). – pp. 325–335.
466. O’Sullivan, M. F. Spring barley growth, grain quality and soil physical conditions in a cultivation experiment on a sandy loam in Scotland / M.F. O’Sullivan, B. C. Ball // Soil Tillage Res. – 1982. – Vol. 2. – № 4. – P. 359-378.
467. Oberlander, H. E. Humus und organische Düngung im intensiver Ackerbau / H. E. Oberlander // Der Forderungsdienst. – 1977. – V. 25. – № 11. – S. 327-330.
468. Russell, E. W. Studies in soil cultivation: VII. The effect of cultivation on crop yield / E. W. Russell, B. A. Keen // The Journal of Agricultural Science. – 1938. – Vol. 28. – Issue 2. – P. 8-38.
469. Siewert, C. Einfluss von Grundbearbeitung auf die Struktur und den Gehalt j der Huminsäuren des Podsolbodens / C. Siewert // Tag. – Ber. Agad. Landwirtsch. Wiss DDR: Berlin, 1982. – № 205. – p. 265-274.
470. Soil Biological Fertility: Foundation for the Next Revolution in Agriculture? / Jerry L. Hatfield & Charles L. Walthall // Communications In Soil Science and Plant Analysis. – 2015. – № 46(6). – pp. 753-762.
471. Soil Compaction in Crop Production. Developments in Agricultural Engineering II. Conclusions and recommendations for further research on soil compaction

in crop production / B. D. Soane & C. van Ouwerkerk (editors). – 1st edition. – Amsterdam, Netherlands : Elsevier Science Publishers, 1994. – 684 p.

472. Suskevic, M. The changes of physical properties of soil independence on the intensity of soil cultivation / M. Suskevic // Soil conservation and environment. – 1989. – P. 88-90.

473. Tillage and crop residue effects on soil physical properties and corn yield / W. E. Riedell, S. L. Osborne, J. L. Ir. Pikul, I. E. Schumacher // Soil Water Research. South Dakota University. Progress Report, Agr. Expert. Stat, 2006. – pp. 1-5.

474. Tillage and planting system, stalk chopper, and knife applicator influences on corn residue cover / D. P. Shelton, S. D. Kachman, E. C. Dickey [et al] / Applied Engineering in Agriculture. – 1994. – VOL. 10(2). – pp. 255-261.

475. Volker, U. Mehrjähriger Einfluss von Bearbeitungs-, Dungungs- und Fruchtfolgemassnahmen auf die Humusdynamik / U. Volker, U.G. Muller, W. Heisig // Archiv-Acker und Pflanzenbau und Bodenkunde. – 1980. – Bd 24. – №2. – S. 107-114.

476. Wagentristl, H. Bodenbearbeitung – Wasser schoneng und Humus mehrend / H. Wagentristl // Bio Austria : Bauertage. – 2008. – S. 25-28.

477. Wright, J. Utilization of Compost as a Soil Amendment to Increase Soil Health and to Improve Crop Yields / J. Wright, S. Kenner, B. Lingwall // Open Journal of Soil Science. – 2002. – № 12. – pp. 216-224.