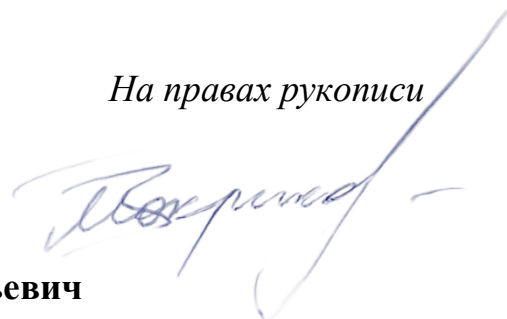


Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное автономное образовательное
учреждение высшего образования
«ЮЖНЫЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

На правах рукописи



Мокриков Григорий Васильевич

**АГРОЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА СОСТОЯНИЯ ЧЕРНОЗЕМОВ
ПРИ ПРИМЕНЕНИИ ТЕХНОЛОГИИ ПРЯМОГО ПОСЕВА**

4.1.3. Агрохимия, агропочвоведение, защита и карантин растений
(биологические науки)

ДИССЕРТАЦИЯ

на соискание ученой степени
доктора биологических наук

Научный консультант:
доктор географических наук, профессор Казеев Камиль Шагидуллович

Ростов-на-Дону
2025

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	6
ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ	
1. ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ. НУЛЕВАЯ ТЕХНОЛОГИЯ.....	14
Мировой опыт последствий применения технологии нулевой обработки почв	14
Экологическое обоснование технологии No-Till	15
Влияние технологии прямого посева на физические свойства почв ..	17
Влияние технологии прямого посева на органический углерод	22
Биологические свойства почв.....	27
Биологическая активность почвы.....	35
2. ОБЪЕКТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ	46
Чернозем обыкновенный.....	48
Чернозем южный.....	52
Мониторинговые участки	54
3. МЕТОДОЛОГИЯ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ	65
Методология исследований	65
Методы исследований	67
4. РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ.....	74
Погодные условия в период исследований 2016–2018 гг.	74
Исследования 2016 г.	75
Исследования 2017 г.	75
Исследования 2018 г.	77
Количество пожнивных остатков на полях прямого посева	80
Оценка воздействия прямого посева на экологические свойства поверхностного слоя черноземов.....	86
Температура почв.....	86
Влажность почв	87
Плотность почв.....	90
Сопротивление пенетрации почвы.....	92
Структура почв.....	95

Химические и физико-химические свойства почв	96
Валовой состав почв	98
Содержание тяжелых металлов	99
Гумусовое состояние	100
Агрохимические свойства	107
Биологическая активность почв	109
Ферментативная активность	112
Нитрифицирующая способность	118
Влияние технологии No-Till на микробоценоз	120
Азотфиксирующие бактерии р. <i>Azotobacter</i>	136
Влияние No-Till на общую численность почвенных бактерий	139
Влияние No-Till на обилие почвенных водорослей	143
Влияние No-Till на биомассу почвенных микроорганизмов	145
Изменение ИПБС черноземов при применении No-Till	147
ВЛИЯНИЕ ПРЯМОГО ПОСЕВА НА ПРОФИЛЬНОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ЭКОЛОГО- БИОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ	151
Влияние технологии прямого посева на физические свойства почв	151
Влияние технологии прямого посева на эмиссию углекислого газа	170
Влияние технологии No-Till на почвенную мезофауну	174
Влияние технологии No-Till на микроартроподов	176
Влияние технологии прямого посева на почвенные свойства	177
Нитрифицирующая способность почвы	196
Целлюлозолитическая активность почвы	197
Влияние прямого посева на активность почвенных ферментов агроценозов ИП Мокриков В.И.	198
Микробиологические свойства почв ИП Мокрикова В. И.	206
Влияние No-Till на общую численность почвенных бактерий	228
Изменение ИПБС черноземов при применении различных систем земледелия	236
ВЛИЯНИЕ ПРЯМОГО ПОСЕВА НА ЭКОЛОГИЧЕСКОЕ СОСТОЯНИЕ ЧЕРНОЗЕМОВ ЮЖНЫХ	238

ДИФФЕРЕНЦИРОВАНИЕ ВЕРХНЕГО СЛОЯ ПОЧВ ПРИ ДЛИТЕЛЬНОМ ПРИМЕНЕНИИ ПРЯМОГО ПОСЕВА.....	253
Влияние технологии прямого посева на физические свойства почв ИП Мокрикова.....	253
Влияние технологии прямого посева на микробиологические свойства почв ИП Мокрикова.....	272
Изменение ИПБС черноземов при применении различных систем земледелия	298
Влияние прямого посева на почвенную мезофауну.....	301
Влияния технологии прямого посева на свойства почв ИП Мокрикова В.И.	303
Биологические свойства почв ИП Мокрикова В.И.	309
МОНИТОРИНГ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ПОЧВ ПРИ ДЛИТЕЛЬНОМ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ПРЯМОГО ПОСЕВА	325
Биологическая активность почв в 2020 г.....	325
Биологическая активность почв в 2021 г.....	332
Биологическая активность почв в 2022 г.....	342
Биологическая активность почв в 2023 г.....	345
Биологическая активность почв в 2024 г.....	353
БИОЛОГИЧЕСКАЯ АКТИВНОСТЬ ПОЧВ СТАЦИОНАРА ФРАНЦ В ПЕРВЫЕ ГОДЫ ПОСЛЕ ПЕРЕХОДА НА НУЛЕВУЮ ОБРАБОТКУ ПОЧВЫ.....	361
Содержание гумуса при прямом посеве	370
Динамика содержания гумуса в почвах ИП Мокрикова В.И.	370
ВЛИЯНИЕ ТЕХНОЛОГИЙ ОБРАБОТКИ НА ЦИКЛ УГЛЕРОДА В ПОЧВАХ ЮГА РОССИИ	376
Сравнение содержания и запасов гумуса	377
Влияние прямого посева на сокращение эмиссии углекислого газа	378
Дифференцирование содержания гумуса при прямом посеве	379
МОНИТОРИНГ ИЗМЕНЕНИЯ ФИЗИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ЧЕРНОЗЕМОВ ПРИ ДЛИТЕЛЬНОМ ПРИМЕНЕНИИ ПРЯМОГО ПОСЕВА	380
Динамика температуры и влажности почв.....	381
Динамика влажности почвы.....	383
Изменение плотности почв	389

Изменение сопротивления пенетрации почв	394
ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ФЕРМЕНТАТИВНОЙ АКТИВНОСТИ В ОЦЕНКЕ НУЛЕВОЙ ТЕХНОЛОГИИ НА ЮГЕ РОССИИ	402
Сравнение ферментативной активности почв с разной обработкой	402
Оценка состояния почвы с помощью индекса качества здоровья почвы	404
УРОЖАЙНОСТЬ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ КУЛЬТУР ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ПРЯМОГО ПОСЕВА.....	407
ВЫВОДЫ.....	410
РЕКОМЕНДАЦИИ ПРИ ПЕРЕХОДЕ И ДАЛЬНЕЙШЕЙ РАБОТЕ ПО ТЕХНОЛОГИИ ПРЯМОГО ПОСЕВА.....	413
ЛИТЕРАТУРА.....	438
ПРИЛОЖЕНИЕ. АКТЫ ВНЕДРЕНИЯ.....	488

ВВЕДЕНИЕ

Экологическое состояние агроландшафтов на значительной части территории России свидетельствует о достаточно широком распространении деградационных процессов. Эрозия, дефляция, дегумификация, аридизация, загрязнение способствуют деградации почв юга России (Вальков и др., 1996, 2008; Безуглова, 2001; Новиков, 2001; Власенко и др., 2013; Слюсарев и др., 2013; Цховребов и др., 2016; Шеуджен и др., 2019). Традиционная обработка (ST) почв со вспашкой приводит к активизации этих процессов (Вальков и др., 2008; Даденко и др., 2014; Казеев и др., 2018, 2022). Применение технологий с минимальной обработкой почвы и без ее обработки способствует наряду с экономией ресурсов повышению плодородия и снижению негативного воздействия на агроландшафты (Байбеков, 2018). Одним из методов минимального воздействия техники на почву является технология «нулевой» обработки (No-Till, NT), или прямого посева. Эта технология распространена в США, Аргентине, Бразилии и ряде других стран мира, а в нашей стране — в Западной Сибири, Белгородской, Ростовской областях, в Ставропольском крае, Крыму и некоторых других регионах (Soane et al., 2012; Власенко, Власенко, 2013; Кирюшин, 2013; Холодов и др., 2021). Преимущества технологии прямого посева состоят прежде всего в экономической выгоде для сельскохозяйственного предприятия — экономии ресурсов и повышении рентабельности сельского хозяйства. Однако не меньшую роль играет улучшение экологического состояния почв: сохранение и восстановление плодородия; снижение эрозии; контроль сорняков; увеличение влажности почв; снижение зависимости от погодных условий (в том числе засухи); улучшение показателей продуктивности почв (Зеленский и др., 2012; Акименко и др., 2016; Мокриков и др., 2017, 2020, 2024; Struijk et al., 2020; Дридигер и др., 2021; Mondal et al., 2023). Улучшение гидротермических и биологических свойств почв связано прежде всего с формированием мульчирующего слоя из пожнивных остатков сельскохозяйственных растений на поверхности почв (Soane et al., 2012; Акименко и др., 2016; Поляков, Бакиров, 2020; Ермолаев и др., 2022; Мокриков и др., 2024). Лучшие

экономические показатели производства озимой пшеницы получены при использовании NT, так как она обеспечила получение наименьшей себестоимости зерна и наивысшей рентабельности производства (Зеленский и др., 2012, 2018; Дридигер и др., 2014; Мокриков и др., 2017, 2020; Chakraborty et al., 2022).

Однако результаты применения этой энергосберегающей технологии как в мировой практике, так и в отечественном сельском хозяйстве, достаточно противоречивы. Известно как отрицательное, так и положительное влияние нулевой технологии обработки почвы на ее свойства и плодородие. В степной зоне юга Европейской территории России зафиксированы значительные различия в урожайности основных полевых культур при использовании нулевой технологии. В Курской и Белгородской областях: вследствие изреживания посевов, засорения культур сорняками, массового повреждения мышами, снижения качества зерна, уменьшения урожайности зерновых культур (Пыхтин, 2017). На черноземе типичном Краснодарского края при использовании прямого посева наблюдали снижение урожайности озимой пшеницы на 41–52 % при одновременном повышении плотности почвы, по сравнению с отвальной вспашкой (Кравченко и др., 2022). Сравнительный анализ урожайности этой культуры в Краснодарском крае в период с 2015 по 2022 гг. выявил малоэффективность применения нулевой технологии при её возделывании на черноземе выщелоченном (Загорулько и др., 2022). Однако, в условиях Ставропольского края на черноземе сбор гороха и озимой пшеницы в вариантах с нулевой обработкой выше на 8–25 %, по сравнению с отвальной. Повышение урожайности авторы связывали с большими влагозапасами почвы на участках без вспашки (Гармашов и др., 2017; Цховребов и др., 2021). В разных условиях влагообеспеченности Ставропольского края эффективность нулевой технологии была различна. В засушливых условиях продуктивность культур повышалась, а в условиях умеренного увлажнения, напротив, снижалась (Есаулко и др., 2018). На черноземе обыкновенном Ростовской области сбор зерна озимой пшеницы при использовании прямого посева на 18 % выше и с большей

рентабельностью, чем при традиционной технологии (Мокриков и др., 2020). Урожайность льна в опыте ФРАНЦ не зависела от применения различных агротехнологий и варьировала в пределах от 0,54 до 0,57 т/га. Есть прямо противоположные наблюдения о влиянии прямого посева на физические свойства почв. Так, было отмечено ухудшение физических свойств воронежских черноземов (Чевердин и др., 2017) и их улучшение – в Курской области и на Ставрополье (Белобров и др., 2020). В связи с таким различием в выводах агроэкологическая оценка применения технологии прямого посева становится особо актуальной.

Изучению генезиса, свойств, плодородия и экологического состояния черноземов юга России посвящены труды Ф. Я. Гаврилюка (1955), Е. С. Блажного (1971), В. Ф. Валькова (1977, 1996, 2008), М. Т. Куприченкова (2002а,б); В. И. Тюльпанова (1998), В. С. Цховребова (2003) и ряда других ученых. Исследования влияния прямого посева на качество и плодородие почв России появились только в последние годы (Власенко, 1995, 1999; Власенко и др., 2011, 2013, 2020; Зеленский и др., 2012; Власенко, Власенко, 2015, 2021; Акименко и др., 2016; Дридигер и др., 2020; Казеев и др., 2017, 2020; Чевердин и др., 2017; Холодов и др., 2021; Белобров и др., 2020, 2023; Есаулко и др., 2018; Цховребов и др., 2021; Okolelova et al., 2022; Юдин и др., 2024). До сих пор многие аспекты применения природоподобных технологий остаются невыясненными. В научных кругах существуют разногласия в оценке эффективности прямого посева и его воздействия на почву. Настоящая работа вносит большой вклад в разработку этой проблемы.

Целью работы было проведение агроэкологической оценки черноземов юга России при длительном применении технологии прямого посева.

Объектами исследований были почвы нескольких регионов степной зоны юга России (Красносулинского, Октябрьского, Песчанокопского, Сальского районов Ростовской области, Ипатовского района Ставропольского края). Основной объем работ выполнен в хозяйстве ИП Мокрикова В. И. (ранее «Донская нива»), расположенном в Октябрьском районе Ростовской области. Поля

этого хозяйства с 2008 г. обрабатываются по технологии прямого посева на площади 5500 гектаров, что делает этот объект уникальным, поскольку здесь многие годы научные исследования проводятся в условиях реального сельскохозяйственного производства, а не в условиях полевых мелкоделяночных опытов учхозов НИИ и вузов.

В задачи исследований входило:

1. Оценить влияние прямого посева на биологическую активность, физические и химические свойства черноземов, урожайность и качество продукции. Оценить эффективность прямого посева в зависимости от типа почв, длительности применения, с/х культур и природной зоны.
2. Определить профильные изменения свойств черноземов при длительном использовании прямого посева.
3. Сравнить эколого-биологическое состояние почв с разной обработкой с эталонными природными почвами. Оценить возможность дифференциации бывшего пахотного горизонта в почвах с длительным применением прямого посева.
4. Предложить рекомендации для широкого расширения масштабов применения прямого посева в условиях степной зоны России.

Положения, выносимые на защиту:

1. Природоподобная технология прямого посева по сравнению с традиционной обработкой почв вспашкой оказывает положительное воздействие на биологическую активность черноземов юга России, повышает урожайность сельскохозяйственных культур, рентабельность производства и снижает эмиссию углекислого газа. Влияние прямого посева определяется длительностью применения, особенностями почвы (генезисом и свойствами).
2. Повышение плодородия почв при прямом посеве обусловлено минимализацией обработки, образованием мульчирующего слоя из растительных остатков на поверхности почв, улучшением гидротермических условий, что способствует усилению биологической активности почв. Физические

свойства почв в большей степени определяются сезонными изменениями гидротермических условий и выращиваемыми культурами, чем технологией обработки почвы.

3. При длительном применении прямого посева отмечена вертикальная дифференциация свойств бывшего пахотного горизонта черноземов, что приближает их к залежным и целинным почвам. Изменения происходят прежде всего в поверхностных слоях почвы, однако для ряда показателей они распространяются и на весь почвенный профиль.
4. Предложены рекомендации для повышения эффективности прямого посева для повышения плодородия черноземов степной зоны России.

Научная новизна результатов исследований. Впервые экспериментально выявлены, проанализированы, обобщены и теоретически обоснованы последствия влияния длительного использования технологии прямого посева в производственных условиях на состав и свойства различных подтипов черноземов степной зоны юга европейской территории России. В производственных условиях и на опытных участках выявлена динамика почвенных свойств при переходе с традиционной технологии на технологию нулевой обработки почв. Установлены основные закономерности трансформации почв при разной длительности использования прямого посева. Определен набор показателей для диагностики экологического состояния и плодородия почв с разными технологиями обработки.

Теоретическая и практическая значимость работы. Результаты проведенных исследований лягут в основу рекомендаций по эффективному применению почвосберегающей технологии, снижению деградации почв и улучшению ее экологического состояния при повышении рентабельности сельскохозяйственного производства. Экспериментальные данные многолетнего использования прямого посева в степной зоне юга европейской территории России могут быть использованы при проведении мониторинговых исследований плодородия, карбонового цикла, разработке агротехнических мероприятий и справочно-нормативной документации. Результаты исследований

применяются при чтении лекций по таким предметам, как «Почвоведение», «Агрохимия», «Экология», и войдут в учебные пособия для подготовки бакалавров, магистров и аспирантов.

Личный вклад автора. Многолетние научные исследования, составившие основу диссертационной работы, спланированы и организованы лично автором. Автор участвовал в исследованиях, анализировал и обрабатывал полученные результаты, писал научные публикации и текст диссертации.

Апробация результатов работы. Материалы диссертационной работы представлены на симпозиумах и научных конференциях: «Актуальные проблемы экологии и природопользования» (Ростов-на-Дону, 2016–2023), «Современное состояние черноземов», (Ростов-на-Дону, 2018, 2023), «Экология и биология почв» (Ростов-на-Дону, 2017), «Современные технологии в изучении биоразнообразия и интродукции растений» (Ростов-на-Дону, 2017), «Эволюция и деградация почвенного покрова» (Ставрополь, 2017, 2022), «Почвы в биосфере» (Томск, 2018), «Энтузиасты аграрной науки» (Краснодар, 2019), «Интерагромаш» (Ростов-на-Дону, 2018, 2019); съездах общества почвоведов (Сыктывкар, 2022; Казань, 2024); международной конференции «Биологическое разнообразие и биоресурсы степной зоны в условиях изменяющегося климата» (Ростов-на-Дону, 2022) и др.

Объем и структура диссертации. Диссертационная работа состоит из введения, 4 глав, выводов, рекомендаций, приложений, изложена на 494 страницах печатного текста и содержит 179 таблиц, 178 рисунков, 491 литературный источник.

Соответствие паспорту специальности. Диссертация соответствует следующим пунктам паспорта специальности 4.1.3. Агрохимия, агропочвоведение, защита и карантин растений, направлению исследований 2. Агропочвоведение:

2.1. Теоретические проблемы генезиса, географии, агрогенной трансформации и естественной и антропогенной эволюции агропочв...

- 2.2. Изучение закономерностей естественно-антропогенного почвообразовательного процесса и пространственно-временной изменчивости свойств почв сельскохозяйственных угодий.
- 2.6. Агрономически важные свойства и режимы почв. Изучение водно-физических свойств, водного и температурного режимов почв в агроценозах.
- 2.9. Изучение состава и свойств органического вещества агропочв. Агропочвенная зоология, микробиология и метагеномика.
- 2.11. Разработка теоретических и прикладных основ изучения плодородия почв в агроэкосистемах. Агрохимические и экологические основы управления почвенным плодородием и оптимизации его параметров...
- 2.13. Разработка и совершенствование способов и технологий подготовки и обработки почв земель сельскохозяйственного назначения...
- 2.15. Исследование механизмов взаимодействия микроорганизмов с растениями и микробиологических процессов в почвах...
- 2.16. Исследование микробиологических процессов в почвах...
- 2.18. Агрогенная деградация почв...

Публикации. Результаты диссертации опубликованы более чем в 90 научных работах, из них 24 статьи в журналах, входящих в Перечень рецензируемых научных изданий ЮФУ и ВАК, 5 монографий, 6 РИД и Рекомендации по использованию прямого посева.

Конкурсная поддержка работы. Исследование выполнено при финансовой поддержке грантов Президента РФ для ведущей научной школы, Минобрнауки РФ (№ FENW-2023-0008), Мегагранта РНФ (№ 25-76-31013), ПСАЛ ЮФУ ("Приоритет 2030", № СП-12-22-9, №_СП-12-24-03) и договоров о НИР на оборудовании ЦКП «Биоинженерия почв» (Минобрнауки РФ, соглашение № 075-15-2025-667). Автором получено 7 актов о внедрении в производство и научно-технологические работы.

Благодарности. Автор выражает глубокую благодарность научному консультанту директору Академии биологии и биотехнологии им. Д. И.

Ивановского Южного федерального университета д. г. н., профессору К. Ш. Казееву и заведующему кафедрой экологии и природопользования АБиБ ЮФУ д. с.-х. н. С. И. Колесникову за консультации и помощь в проведении исследований. Автор выражает благодарность д. с.-х. н., профессору Н. А. Зеленскому, д. с.-х. н., профессору О. А. Бирюковой, к. б. н., в. н. с. Т. В. Минниковой, к. б. н., доценту Ю. В. Акименко, к. б. н. М. А. Азаренко, м. н. с. А. Н. Федоренко и В. А. Ерину.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

1. ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ. НУЛЕВАЯ ТЕХНОЛОГИЯ

Мировой опыт последствий применения технологии нулевой обработки почв

Повышение урожайности сельскохозяйственных культур является необходимым условием для повышения продовольственной безопасности, в то время как устойчивость сельского хозяйства при сохранении традиционных технологий производства подвергается негативным последствиям, что приводит к ухудшению состояния окружающей среды и качества жизни людей (Вальков и др., 2008; Байбеков, 2018; Безуглова и др., 2020, 2022).

Качество окружающей среды, биоразнообразие и сельскохозяйственное производство сильно упали из-за традиционных методов ведения сельского хозяйства, таких как интенсивная обработка почвы, короткий пар, несоблюдение севооборотов, недостаточное поступление биомассы и чрезмерное использование неорганических удобрений (Вальков и др., 1996, 2004, 2008; Власенко и др., 1999; Dabney et al., 2010). В последние годы большое значение приобрели методы ресурсосберегающего земледелия, которые улучшают устойчивое ведение сельского хозяйства и поддерживают экосистемные услуги; следовательно, покровный посев, старая практика управления, внезапно становится популярной во всем мире (Власенко и др., 2011; Мокриков и др., 2017; Байбеков, 2018; Daryanto et al., 2018; Romdhane et al., 2019; Adetunji et al., 2020). Исследования нулевой обработки почвы часто проводились в контексте ресурсосберегающего земледелия. Ресурсосберегающее земледелие представляет собой набор из трех принципов управления растениеводством: минимальное нарушение почвы (включая беспашотную обработку почвы), севооборот и сохранение пожнивных остатков/постоянный почвенный покров (Власенко и др., 2013, 2015; Байбеков, 2018). Одним из ключевых факторов, лежащих в основе успеха технологии No-Till, является сохранение почвенных ресурсов за счет уменьшения ветровой и водной эрозии (Soane et al., 2012;

Казеев и др., 2018, 2022). No-Till также может привести к улучшению качества почвы за счет улучшения ее структуры и повышения биологической активности почвы, круговорота питательных веществ, водоудерживающей способности почвы, инфильтрации воды и эффективности использования воды (Six et al., 2004; Дридигер, 2014; Мокриков и др., 2017). Экономические выгоды в сочетании с уменьшением эрозии почвы являются основными причинами внедрения нулевой обработки почвы (Зеленский и др., 2012, 2018; Байбеков, 2018; Ogieriakhi et al., 2022). Также нулевая обработка почвы может способствовать связыванию почвенного углерода наряду с другими экосистемными услугами, такими как сокращение выбросов парниковых газов из почвы в определенных обстоятельствах (Six et al., 2004, Minnikova et al., 2022).

Экологическое обоснование технологии No-Till

В последние десятилетия охрана и воспроизводство почвенного плодородия являются необходимым условием для устойчивого развития. Существующая практика истощительного земледелия способствует деградации почв. Выход из создавшейся ситуации возможен при условии перехода на адаптивную эколого-ландшафтную систему земледелия (Ильясов и др., 2010) и снижения антропогенного воздействия на почву (Власенко, 1999; Derpcsh et al., 2014).

Обработка почвы, наряду с посевом, является важнейшим приемом при производстве растениеводческой продукции. При рациональной обработке почвы улучшаются ее физико-химические, биологические и механические свойства, комплексно решаются проблемы с вредителями, болезнями и сорняками (Михайлова и др., 2016). Обработка почвы направлена на создание оптимальных условий для возделываемых сельскохозяйственных культур. Важным аспектом является экономическая эффективность этого вида энергоемкого процесса.

Ранее были получены результаты, свидетельствующие о положительном влиянии минимальных систем обработки почвы на почвенные микроорганизмы и их функционирование (Акименко и др., 2016; Мокриков и др., 2017).

Минимальную, или «нулевую», обработку почвы – No-Till – считают почвозащитной и энергосберегающей (Зональные ..., 2013). Преимущества нулевой технологии состоят, прежде всего, в экономической выгоде для сельскохозяйственного предприятия: экономии ресурсов и повышении рентабельности сельского хозяйства; сохранении и восстановлении плодородного слоя почвы, снижении или устранении эрозии почвы, контроле сорняков, увеличении влаги в почвах; отсутствии зависимости от погодных условий (в том числе засухи); улучшении показателей продуктивности почв (Зеленский и др., 2009, 2012, 2018; Дементьев, Шерер, 2014).

Важная роль в регулировании агрофизических и агрохимических свойств почвы, стимуляции биологических процессов гумификации, а также накопления биодоступных микро- и макроэлементов отводится применению эффективной системы агротехнических мероприятий обработки почвы (Soane et al., 2012). В последнее время для ресурсосбережения в качестве альтернативы отвальной вспашке предлагается плоскорезная, чизельная, минимальная и другие виды основной обработки. Вместе с тем данные об их влиянии на продуктивность, свойства почвы, почвозащитную способность, а также экономическую и экологическую эффективность противоречивы (Ильясов и др., 2010; Шакиров, Гилаев, 2013).

Как показывает практика применения нулевой обработки почвы, начальная фаза внедрения является критической. При минерализации гумуса в системе традиционного земледелия в условиях внедрения упрощенных севооборотов и дефицитного баланса углерода в почве происходит обеднение видового состава микробиоты. Следует отметить, что согласно современным представлениям, деградацию почв также надо рассматривать не только как результат действия суммы факторов, ведущих к снижению содержания гумуса и ухудшению физико-химических показателей, но и как следствие процессов, приводящих к минимуму (или исчезновению) необходимых для нормального развития растений и почвенных микроорганизмов (Косолап, Кротінов, 2011).

Эффективность применения нулевой обработки почв в большей или меньшей степени обусловлена конкретными агроклиматическими условиями, системами севооборотов, удобрения и защиты растений, качеством и устойчивостью почв (Орлова и др., 2023).

Влияние технологии прямого посева на физические свойства почв

Механическая обработка почвы продолжает оставаться фундаментальной основой земледелия (Вальков и др., 2008; Миллер и др., 2017), которая оказывает влияние на все процессы, происходящие в почве, и на взаимоотношения растений с почвой (Рзаева, Федоткин, 2013). Она способствует созданию оптимального сложения пахотного слоя и его физического и биологического режима, борьбе с сорной растительностью, вредителями и болезнями растений (Доспехов и др., 1975; Нарциссов и др., 1982; Абрамов, 1992; Власенко, 1995; Мингалева, 2004; Федоров и др., 2012; Кислов и др., 2013; Плещинский и др., 2013).

Основной обработке придается большое значение, так как она в значительной степени влияет на водно-физические, биологические и химические свойства почвы, что в сочетании с другими приемами в конечном итоге определяет величину урожая сельскохозяйственных культур (Муравьева, Рзаева, 2013). Основным требованием к предпосевной обработке почвы является формирование такого сложения верхнего слоя почвы, которое поддерживает сохранение влаги, благоприятный температурный режим, стимуляцию микробиологических процессов, возникновение мелкокомковатой структуры (Мингалева, 2004).

Тепловой режим почв определяет и контролирует интенсивность механических, физических, химических и биологических процессов, протекающих в них (Вальков и др., 2004; 2008). Биота и биологическая активность почв в значительной степени зависят от экологических факторов среды (Казеев и др., 2003; 2016). Почвообразующий эффект тепла и света может проявляться лишь в том случае, если почвы обеспечены достаточным для жизни растений

количеством влаги. Поэтому значение атмосферных осадков в почвообразовании столь же велико, как и значение тепла (Вальков и др., 2008б).

Растения чувствительны как к недостатку влаги в почвах, так и к ее избытку. Для большинства сельскохозяйственных растений содержание воздуха в почве, обеспечивающее хорошие условия для роста и развития, а также надлежащий газообмен между почвой и атмосферой, равно 20–40 % от порозности (Вальков и др., 2008а). Это обеспечивается уровнем влажности почвы, равной 60–80 % от наименьшей (полевой) влагоемкости.

В работе И.М. Габбасовой с соавторами (2013) отмечено, что весной влажность чернозема выщелоченного при минимальной обработке была относительно высокой – около 30–55%, тогда как при отвальной обработке составляла 16–23%. В течение лета влажность почвы по всем вариантам опыта последовательно снижалась до 7–15%. Наблюдалась закономерность уменьшения влажности почвы по вариантам обработки: прямой посев, культивация, отвальная вспашка, залежь. Также они проводили определения скорости испарения влаги из почвы, где наблюдалось ее увеличение в ряду: прямой посев, культивация, отвальная вспашка, залежь.

По данным В.Е. Шапиро (1971), вспашка почвы плугом ПНВ-4-35 до 30 см улучшала содержание общего запаса влаги в почве, особенно в слое 20–30 см, в течение всего вегетационного периода по сравнению с обычной отвальной вспашкой ПЛН-4-35 на 20–22 см. В.А. Чернышов и Э.Г. Вальдгауз (1975) также выявили, что приемы обработки почвы на разную глубину не одинаково влияют на влажность почвы в слое 0–30 см.

Преимущество безотвальной обработки заключается в том, что образующийся в верхнем слое почвы мульчирующий слой обладает высокими водонакопительными свойствами (Научно-практическое руководство ..., 2006). К такому же выводу пришли исследователи Самарской государственной сельскохозяйственной академии (Казаков, Корчагин, 2009).

Результаты исследований, проведенных во Всероссийском НИИ зерновых культур, показали, что наиболее высокие запасы влаги в метровом слое

почвы ко времени посева озимой пшеницы отмечены по поверхностным обработкам – 49,4–49,5 мм, а меньше – в вариантах с отвальной вспашкой и безотвальным рыхлением (Алабушев и др., 2009).

По мнению И.И. Долотина (2001), в лесостепной зоне безотвальное рыхление, особенно плоскорезами, а также оставление без осенней обработки поля после яровых зерновых с сохранением стерни способствует большему (в 1,5 раза) накоплению зимне-осенней влаги.

Исследования А.А. Забродкина (2013) показывают, что на серой лесной почве запас продуктивной влаги в слое 0–20 см при посеве яровых зерновых был ниже на отвальной обработке и составил 20,4 мм, в то время как по плоскорезной и нулевой – 25,8 мм. В течение вегетационного периода минимальные способы обработки почвы по сравнению с отвальными способствовали лучшему водосохранению из-за меньшего разрушения капиллярных пор и меньшего испарения с поверхности почвы. Из исследований Л.Н. Петровой с соавторами (2015) также вытекает вывод о преимуществе минимальной обработки почвы в накоплении и сохранении влаги по сравнению с отвальной. В то же время В.С. Полоус (2010) отмечает, что запасы продуктивной влаги по различным системам обработки почвы различались несущественно.

Сопротивление пенетрации почвы – это сопротивление почвы внедрению в нее зонда цилиндрической или конусообразной формы небольшого диаметра. Традиционно до сих пор в почвоведении в отношении сопротивления пенетрации используют и термин «твердость почвы» (Шеин, 2005). Таким образом, сопротивление пенетрации и твердость – термины-аналоги, но использование термина «сопротивление пенетрации» более физически строго, так как твердость – сопротивление материала вдавливанию или царапанию – не является физической постоянной, а представляет собой сложное свойство, зависящее как от прочности и пластичности материала, так и от метода измерения. Сопротивление пенетрации характеризует способность почвы противодействовать проникновению в нее не только агротехнических орудий, но и корней растений (Шеин, 2005). На сопротивление пенетрации почвы влияет

целый ряд показателей: структура, гранулометрический, минералогический (Lhotsky, 1984; Zrubec, 1998, цитированы по Мазиров и др., 2012), агрегатный состав и влажность почвы (Кормилицина, Бондаренко, 2016). Всегда следует учитывать состояние влаги в почве, ее влажность, а также метод (прибор), с помощью которого производится измерение этой важной характеристики. Сопротивление пенетрации значительно возрастает при уменьшении влажности почвы, для черноземов это может быть увеличение значения в несколько раз (Мокриков и др., 2017).

Твердость почвы может рассматриваться как фактор, ограничивающий рост корневых систем растений. Поэтому значение имеет глубина, на которой наблюдается лимитирующее значение твердости почвы. По данным различных исследователей, лимитирующее влияние твердость почвы оказывает при значениях от 2 МПа (Otto et al., 2011) до 5 МПа (Misra et al., 1986; Кунах, Балдин, 2011). По другим данным, критические значения этого параметра физического состояния для почв среднесуглинистого состава находятся в пределах 2–3 МПа (Lhotský, 1984; Zrubec, 1998, цитированы по Мазиров и др., 2012). При этом показатель зависит от влажности почвы и эта зависимость не может быть учтена универсальными уравнениями регрессии для всех почв сразу (Dexter et al., 2007; Vaz et al., 2011).

Изучение влияния на почву механической обработки и ее минимизации ведется давно. Различные приемы обработки почвы изменяют агрофизические свойства почв (Зеленский и др., 2018; Белобров и др., 2023). Наиболее значительным является изменение почвенной структуры и уменьшение проницаемости почв по сравнению с традиционной обработкой почвы. При отвальной вспашке происходит нарушение почвенных агрегатов, в зависимости от атмосферных осадков наблюдают цементацию частиц почвы, а стабилизация структуры происходит благодаря деятельности почвенной макро-, мезо- и микрофауны (Soane et al., 2012). При использовании минимальной и нулевой обработки почвы происходит уплотнение пахотного слоя и уменьшается пористость (Черкасов и др., 2011, 2012; Кислов и др., 2012), хотя Е.Н. Ефремовой

(2013) получены противоположные результаты. При использовании минимальных технологий или при полном отказе от обработки почвы физические свойства приближаются к оптимальным для роста культурных растений, что в свою очередь способствует более сбалансированному функционированию агроценоза (Медведев, 2010; Косолап, Кротінов, 2011).

Структура почвы является важным показателем, который характеризует почвенное плодородие. Создание оптимальных условий для водного, воздушного и теплового режима возможно только в структурной почве (Вадюнина, Корчагина, 1986; Дубовик, 2001; Вальков и др., 2008а). Структура почвы – это форма и размер структурных отдельностей в виде макроагрегатов (педов) $> 0,25$ мм, на которые распадается почва (Шейн, 2005; Холодов, 2013). Устойчивость потенциального плодородия почвы определяется структурой верхнего гумусового горизонта (Elliott, 1986; Ковда, Розанов, 1988; Шейн, 2005).

При механическом воздействии на почвы, как правило, происходит разрушение ее структуры. Поэтому важной задачей обработки почвы является минимальное разрушение структуры, поскольку образование структурных агрегатов представляет собой сложный естественный процесс. Также необходимо создавать благоприятные условия для ее ускоренного восстановления. Механические элементы в почве находятся в разнообразном состоянии. Они бывают разобщены и склеены в структурные отдельности различной величины и формы (Качинский, 1963).

О.А. Савоськиной (2015) отмечается, что содержание агрономически ценных агрегатов при вспашке снижается на 3–5 % по сравнению с минимальной обработкой. Дифференциация почвенного профиля наблюдается при плоскорезной обработке. Также отмечено, что в верхнем слое почвы количество структурных агрегатов увеличивается, а в нижнем снижается. В исследованиях Н.С. Матюк с соавторами (2015) показано, что количество агрономически ценных агрегатов 0,25–10 мм при минимальной обработке больше, чем при интенсивной глубокой. Кроме того, за вегетационный период происходит

изменение коэффициента структурности: минимальная обработка – 3,85; глубокая – 3,35; вспашка – 3,69.

В работе А. Н. Власенко с соавторами (2013) показано, что после пяти лет применения технологии прямого посева происходят положительные изменения структурного состояния почвы. Улучшение структуры почвы связано с насыщением бывшего пахотного горизонта растительными остатками и благоприятным, рыхлящим почву влиянием стержневой корневой системы, вводимой в зерновой севооборот горчицы. Формирование на поверхности почвы постоянного слоя мульчи вместе с ходами отмерших корней растений запускает процессы почвообразования, соответствующие естественным, – так называемое биологическое саморыхление. Это может обусловить сдвиг состояния обрабатываемых почв в сторону саморегулирующихся почвенных аналогов и послужить основой для воспроизводства плодородия старопашотных черноземов.

Требованиям природоохранного земледелия в большей степени отвечают минимальные технологии, чем традиционные (Власенко и др., 2011, 2015; Байбеков и др., 2018; Казеев и др., 2022; Мокриков и др., 2024). При длительной плужной обработке почв происходит ухудшение физических свойств, переуплотнение, дегумификация с проявлением устойчивой некомпенсируемой минерализации гумуса. В то же время технологии, основанные на минимальных и комбинированных системах обработки, положительно влияют на баланс гумуса в почве, обеспечивая менее интенсивное разложение органических остатков в почве (Павлов, Попов, 2017).

Влияние технологии прямого посева на органический углерод

Важными проблемами современного землепользования являются недостаточное использование почвенного потенциала сельскохозяйственными культурами и его сохранение, а также повышение почвенного плодородия, которое напрямую связано с обработкой почвы (Владимирская, 2012).

Ведущую роль во многих почвенных процессах играет специфическая часть органического вещества – гумус. Количество и качественный состав гумуса определяет физико-химические свойства, поглонительную способность, обеспеченность растений азотом, физические и биологические свойства почвы (Орлов, Бирюкова, 1984; Reicosky et al., 1995; Агроэкологические основы ..., 1999; Безуглова, 2001; Sa et al., 2001; Janzen, 2004; Орлов и др., 2005; Calegari et al., 2008; Christopher et al., 2009). Гумус является источником элементов минерального питания растений, источником энергии для поддержания биохимических процессов, составляющих сущность почвообразования (Рудай, 1985; Безуглова, 2001, 2016; Куликова и др., 2007; Чекмарев и др., 2011; Чекмарев, Лукин, 2012).

Содержание гумуса является интегральным показателем ее плодородия (Вальков и др., 1996; 2004, 2008; Безуглова, 2001; Орлов и др., 2005). В то же время нельзя считать, что гумус является единственным показателем почвенного плодородия, который определяет урожайность растений (Вальков и др., 2001). Органический углерод занимает ведущую роль в глобальных изменениях природной среды, которые затрагивают процессы биогеохимического цикла углерода, основанного на постоянном взаимодействии противоположных процессов синтеза и биодеструкции. Изменения устойчивости цикла углерода являются актуальными в сфере исследований, посвященных круговороту биологических веществ (Xu, Shang, 2016; Куприянова и др., 2017; Bukombe et al., 2021; Кудеяров, 2018, 2023).

Гумусовые вещества играют важную роль в структурообразовании почв, особенно при наличии в ней кальция и железа (Гилязова, Колоскова, 1972; Шакиров, 1974; Долгов, Модина, 1979; Безуглова, 2001; Вальков и др., 2004, 2012). В работе Д.В. Хана (1969) отмечается, что структурные агрегаты, образующиеся без участия органического вещества, не обладают водопрочностью. А.М. Лыков (1982) отмечал, что меньшее колебание урожая по годам наблюдается на более гумусированных почвах.

После распашки происходит снижение содержания органического вещества в пахотном горизонте почв, особенно в первые годы (Орлов и др., 1996; Даденко и др., 2014, 2015). В некоторых работах отмечается, что происходят потери также в почве чистых паров. Без внесения органических удобрений потери могут достигать до 1,5–2,0 т/га в год (Гринченко и др., 1979; Кирюшин, Лебедева, 1982; Нуриев, Ишкаев, 1988; Кирюшин и др., 1993; Орлов и др., 1996; Акулов, 1997).

Обработка почвы играет большую роль в балансе гумуса. Минерализация гумуса увеличивается при частой обработке почвы в связи с тем, что разложение органического вещества усиливается в аэробных условиях. Также возрастает минерализация гумуса при обработке пропашных культур и чистых паров (Жуков, Попов, 1988; Вальков и др., 2008а).

О влиянии различных обработок почвы на показатели почвенного плодородия нет единого мнения среди ученых. Одни выступают за оставление на поверхности почвы пожнивных остатков и удобрений, другие рекомендуют заделывать их в почву на различную глубину (Коржов и др., 2009).

В работах ряда ученых отмечается, что при отвальной обработке почвы происходит уменьшение гумусообразования, поэтому для сохранения гумуса почву не следует оборачивать, поскольку безотвальная обработка моделирует дерновый процесс почвообразования (Мальцев, 1954; Власенко, 1995, 1999; Мокриков и др., 2017, 2024; Казеев и др., 2018). В других работах отмечено, что при минимальной обработке почвы происходит увеличение гумусонакопления из-за снижения минерализации растительных остатков, которые на поверхности почвы остаются в большом количестве и создают оптимальные гидротермические условия (Картамышев, 1982; Balesdent et al, 1990; Stecker et al, 1993; Андреев и др., 2008; Матюк и др., 2008; Шарков, 2009; Юскин и др., 2009; Акименко и др., 2016; Кираев, Сираев, 2010; Minnikova et al., 2022).

Было показано, что минимальная обработка почвы не оказывает положительного влияния на процессы гумусообразования (Helms et al., 1987). Э. Рюбензам и К. Рауэ (1969) отметили, что процессы разложения более

интенсивно протекают при поверхностной заделке органического вещества. Л.И. Никифорова (1989) полагает, что причина уменьшения гумуса при минимальной обработке в нижних слоях почвы в том, что основная масса органического вещества при этих обработках поступает в поверхностный слой, а зона активной гумификации органического вещества расположена в более глубоких слоях почвы.

В работе А.Я. Рассадина (1985) отмечено, что после минимальной обработки почвы в течение 25 лет под зерновыми на глубине 8–10 см происходит улучшение агрофизических, агрохимических и биологических показателей. Содержание гумуса в верхнем слое 0–10 см увеличивается с 1,71 % до 2,60 %.

В.Г. Холмов и Л.Р. Юшкевич (2010) установили, что содержание гумуса в почве увеличивается при длительном применении минимальных обработок в результате изменения агрофизических свойств. Через 10 лет снижение содержания гумуса при минимальной обработке почвы меньше, чем при вспашке, в 1,5 раза. Это свидетельствует о существенном снижении темпов минерализации гумусовых веществ при сокращении глубины и частоты механических обработок почвы в севообороте.

Л.Р. Юшкевич и Н.И. Аниськов (2010) отметили, что при сочетании минимальной обработки почвы со средствами химизации происходит повышение индикатора плодородия почвы – гумуса – в слое 0–20 см на 0,27–0,30 %. По влиянию на содержание гумуса в пахотном слое варианты обработки почвы располагались в следующем убывающем порядке: плоскорезная, минимальная, нулевая, комбинированная, отвальная (Холмов, Юшкевич, 2010).

Краткосрочные изменения органического вещества почв связаны с его биологически трансформируемым, активным пулом, к которому относятся все органические вещества со временем оборачиваемости от менее трех до 10 лет, независимо от их химического и физического состояния (Paul et al., 2006). Активный углерод относится к доле почвенного углерода, который имеет высокую активность, подвержен влиянию растений и микроорганизмов, а также очень чувствителен к окислению и разложению. На основе различных методов

разделения и экстракции активный углерод почвы в основном можно охарактеризовать как состоящий из: растворимого органического углерода, доступного органического углерода, органического углерода легкой фракции, углерода микробной биомассы (Wang et al., 2015).

Активный углерод является показателем той части органического вещества почвы, которая выступает в качестве легкодоступного источника энергии для микробного сообщества. Этот показатель является эффективным при изучении последствий применения различных методов сельскохозяйственного управления почвами и откликается на изменения в системе землепользования, севообороте, способах обработки почвы (Comprehensive Assessment..., 2016). Благодаря относительно короткому времени оборота активного углерода, значительное снижение его может быть сигналом о снижении содержания органического вещества и указывать на ухудшение физических, химических и биологических свойств и процессов, связанных с ним. Уменьшение доли активного углерода в общем пуле органического вещества может приводить к снижению прочности почвенных агрегатов, повышению объемной плотности, а также снижению впитывающей и водоудерживающей способности почвы, микробиологической активности и доступности питательных веществ. Активный углерод коррелирует с общим органическим веществом, показателями биологической активности (например, субстрат индуцированное дыхание) и микробной биомассой (Weil et al., 2003; Stiles et al., 2011; Culman et al., 2012).

Активный углерод является одним из наиболее чувствительных и надежных показателей для оценки воздействия различных методов обработки почвы (Awale et al., 2013; Chen et al., 2009; Melero et al., 2009; DuPont и др., 2010; Spargo и др., 2011; Veum et al., 2014; Morrow et al., 2016).

В работе Азиз с соавторами (Aziz et al., 2013) отмечено, что при использовании технологии No-Till содержание общего углерода и активного углерода увеличивалось: содержание общего углерода стало выше на 30 %, чем при обычной обработке почвы; содержание активного углерода повысилось на 11 %. Также отмечено, что при использовании технологии No-Till постоянно

происходит увеличение содержания активного углерода на 17 %. При No-Till на поверхности почвы остается большое количество растительных остатков, которые влияют на химические, биологические и физические свойства почвы.

Проведенные в США исследования показали, что содержание активного углерода увеличивается при применении технологии No-Till. При использовании данной технологии в течение 35 лет содержание активного углерода составило 265 мг/кг, через 20 лет – 218 мг/кг, через шесть лет – 218 мг/кг. При вспашке данный показатель был равен 115 мг/кг (Islam, Reeder, 2014).

Биологические свойства почв

Являясь живой частью органического вещества почвы и ключевыми движущими силами круговорота органического углерода, почвенные микроорганизмы жизненно важны для развития устойчивых сельскохозяйственных систем и функций экосистем (Мишустин, 1972; Звягинцев, 1987; Qian et al., 2015; Zheng et al., 2018). В частности, бактерии и грибы доминируют в разложении органического вещества почв, изменяя микробную метаболическую активность. Реакция бактерий и грибов на методы управления сельским хозяйством различается. Обилию бактерий способствует повышенная интенсивность земледельческого использования, внесение удобрений, обработка почвы и орошение, которые связаны с созданием благоприятных экологических условий (Звягинцев и др., 1978; Казеев и др., 2004, 2016).

Исследованиями Д. Г. Звягинцева (1987) установлено, что численность микроорганизмов может служить характеристикой типа почв. Этот показатель во многом зависит от содержания в почве элементов минерального питания и органического вещества.

В отличие от физических свойств почвы показатели биологической активности почв крайне вариабельны и значительно изменяются в течение вегетационного периода в зависимости от поступления в почву растительных остатков, питательных веществ, влажности, температуры почвы, удобрений и т. д. (Кирюшин, 2013).

Почвенные микроорганизмы являются индикатором реакции почвы на агротехнические мероприятия, в частности на обработку почвы (Казеев и др., 2003). Влияние обработки на состав и структуру почвенного микробиоценоза проявляется в основном через изменение водного, теплового и воздушного режимов почвы, а также распределения в обрабатываемом слое послеуборочных и корневых остатков (Звягинцев, 1987; Вальков и др., 1989; Казеев и др., 2004).

Чтобы понять, с чем связаны снижение содержания гумуса и уменьшение плодородия почвы при вспашке, важно проследить изменение количественного и качественного состава почвенной микрофлоры при различных способах обработки. Почвенный и растительный ценозы необходимо рассматривать как систему, состоящую из почвенной биоты, продуктов ее жизнедеятельности и растительности (Вальков и др., 1989, 2008). До настоящего времени основное внимание уделялось изменению физических и химических свойств почв при рассмотрении влияния отдельных агроприемов, а биологические характеристики в основном оставались вне поля зрения исследователей. Однако именно внесение различных видов удобрений и способы обработки оказывают значительное влияние на биологическую активность почвы (Казеев и др., 2004).

При использовании технологии No-Till происходит изменение ферментативной активности почв (Bandick, 1999; Минникова и др., 2017, 2018, 2020), структуры микробного сообщества и биоразнообразия (Bedano et al., 2006, 2016; Акименко и др., 2016; Казеев и др., 2022). Однако не всегда отмечается серьезное изменение экологических характеристик почвенной биоты (Щур и др., 2016). С переходом земледелия на почвозащитные технологии возделывания зерновых культур важно учитывать микробиологические изменения, происходящие в почве, так как микробиоценозы являются чувствительными индикаторами, реагирующими на изменение условий среды обитания (Акименко и др., 2016).

В отечественной литературе накоплено большое количество научных данных, которые свидетельствуют, что угнетение или стимуляция численности и активности почвенных микроорганизмов обуславливаются комплексом

факторов, важнейшими из которых являются способы обработки почвы, виды, дозы и способы применения минеральных удобрений (Мишустин, 1972; Звягинцев, 1987; Казеев и др., 2004). Большинство авторов убеждены, что при отвальной обработке вследствие повышения аэрации происходит дегумификация (Орлов и др., 2016; Казеев и др., 2004; Даденко и др., 2014). Исследованиями, проведенными В. И. Кирюшиным и И. Н. Лебедевой (1982) на черноземе южном Западной Сибири и Северного Казахстана, установлено, что сокращение глубины и частоты механической обработки способствует существенному сокращению потерь гумуса за счет снижения интенсивности процессов эрозии и минерализации органического вещества. К такому же выводу пришли сибирские ученые В. Г. Холмов и Л. В. Юшкевич (2010), которые отмечают, что при минимизации обработок выщелоченных черноземов южной лесостепи Западной Сибири темпы убыли запасов гумуса в пахотном слое идут в 1,5–2 раза слабее по сравнению со вспашкой. Следовательно, энергосберегающие приемы обработки почвы (минимальная и нулевая) в сочетании со средствами комплексной химизации могут служить одним из радикальных средств сохранения и повышения потенциального плодородия почв (Байбеков, 2018; Мокриков и др., 2024).

Общепризнанным является факт дифференциации биогенности почвы, которая в большей степени концентрируется в поверхностном ее слое уже через 1,0–1,5 месяца после вспашки (Карамщук, 1979). Существует мнение, что для того, чтобы не нарушать естественного расположения микробного населения почвы из-за такой микробиологической дифференциации, следует обрабатывать ее без перемешивания и оборачивания слоев (Ефремова, 2013), причем заделка соломы и другой органики в верхний слой почвы способствует повышению его общей биогенности и развитию, прежде всего, актиномицетов, которые способны усваивать недоступные другим микроорганизмам органические соединения (Мельников, 2006).

Большая часть почвенного микробиоценоза представлена сапрофитными бактериями, для которых органическое вещество служит источником питания

и энергии (Мишустин, 1972). Некоторые виды автотрофных бактерий используют для питания только минеральные соединения. Актиномицеты и микроскопические грибы, усваивающие азот как из органических, так и из минеральных соединений, также в большом количестве содержатся в почве (Звягинцев, 1978; Казеев и др., 2004). Около 30% почвенного микробиоценоза представлено актиномицетами (Акименко и др., 2016). Они имеют богатый ферментативный аппарат, позволяющий им минерализовать труднорастворимые органические вещества. Актиномицеты участвуют не только в разложении растительных остатков в почве, но и в процессах образования и минерализации гумуса и др. Кроме того, актиномицеты способны образовывать антибиотики, губительно воздействующие на возбудителей болезней, что способствует поддержанию биологического равновесия почвы (Ефремова, 2011).

Состав и структура почвенного микробиоценоза изменяются в зависимости от типа почв, складывающихся погодных условий, особенностей возделываемых культур и их агротехники (Звягинцев, 1987; Казеев и др., 2004). При этом изменения весьма динамичны, так как отдельные виды микроорганизмов могут давать в сутки 60–65 поколений или 2–3 поколения в час (Zozulya et al., 2011).

Поступление в почву послеуборочных остатков является важным для жизнедеятельности почвенных микроорганизмов, при этом их видовой состав определяется наличием и соотношением в этих остатках химических соединений, количественный – их массой (Ovchinnikov et al., 2009).

Состав и активность почвенных микроорганизмов динамичны также и по периодам вегетации сельскохозяйственных культур. Из-за нарушения сочетания температуры и влажности в почве резко снижается активность как микробиологических, так и биохимических процессов; нитрифицирующие и целлюлозоразрушающие бактерии, споровые формы бактерий, актиномицеты практически не обнаруживаются (Берестецкий и др., 1984).

Изучение взаимодействий между бактериями и грибами, которые находятся в ризосфере, представляет особый интерес с позиции устойчивого

функционирования агроэкосистем. Микроорганизмы являются неотъемлемой частью любого биогеоценоза, они постоянно находятся во взаимодействии со всеми его компонентами и особенно с растениями (Bais et al., 2006).

В почве выделяют два основных микробных ценоза (Lynch, 1990). Первый ценоз удален от влияния корней и существует за счет наличия органических остатков в основном растительного происхождения; второй ценоз – ризосфера – связан с поверхностью корней и существует за счет метаболической активности корневой системы (Тихонович, Проворов, 2009). Авторы большинства работ указывают на повышенную (в 10–100 раз) численность и активность микроорганизмов в ризосфере по сравнению с остальной частью почвы (Тихонович и др., 2011). Почвенные микроорганизмы питаются органическим веществом, выделяемым растениями, и вследствие своей высокой биохимической активности положительно влияют на рост и развитие растений, поставляя в окружающую почву продукты своего метаболизма. Таким образом, между растением и микроорганизмами устанавливаются симбиотические взаимоотношения, осуществляющие биологический контроль (Тихонович, Проворов, 2011).

Ризосфера каждого растения является весьма динамичной системой. Временные вариации в ризодепозитах растений, которые являются пищей для микроорганизмов, определяют присутствие в окружающей корню почве определенных видов (Селиверстова и др., 2008).

Известно, что значительное влияние на биоразнообразие микробного сообщества агроценоза оказывает культура севооборота (Иутинская, Патыка, 2010). Кроме того, установлено, что качественный и количественный состав микробного ценоза в ризосфере зависит и от растения-предшественника (Mathimaran et al., 2005; Vestberg et al., 2005; Jefwa et al., 2006). Например, показано, что черный пар и зернобобовые в качестве предшественников оказывают положительное влияние на формирование ризоценоза последующей культуры (Морецкая, Демченко, 2008).

При сравнении биологической активности ризосферного микробного ценоза в условиях монокультур (кукурузы, гороха, ржи, пшеницы) и севооборота некоторыми исследователями были получены интересные результаты (Назарько и др., 2006; Широких и др., 2006; Поддымкина, 2010; Zhang et al., 2010). Так, установлено, что применение сменного севооборота способствует увеличению численности и разнообразия почвенных микроорганизмов (в длительных полевых опытах), а при выращивании монокультуры отмечен негативный эффект ее влияния на микробиоценоз. В почве происходит не только количественная, но и качественная перегруппировка микробного сообщества, нарушение функционирования которого приводит к негативным изменениям почвенной среды, получает широкое развитие явление почвоутомления (Назарько, Лобанов, 2005; Fuchs, 2014).

Длительное возделывание сельскохозяйственных культур на одних и тех же участках приводит к формированию специфических микробных ассоциаций. Уменьшается разнообразие активных форм микроорганизмов, и сокращается их видовой состав (Лобков, 1994). Причиной изменений микробных комплексов в монокультурах является, прежде всего, количество и качество растительных остатков, которые накапливаются при бессменном выращивании. Кроме того, идет односторонний вынос питательных веществ, а также нарушение макроэлементного баланса почвы, в частности C/N и N/P соотношения (Narwal et al., 2005). Рядом исследователей (Патика и др., 2005; Назарько, Лобанов, 2005) показано, что при выращивании культур в системе севооборота в почве преобладают микроорганизмы, способные разлагать легкогидролизуемые органические остатки (аммонифицирующие, нитрифицирующие и целлюлозоразрушающие бактерии). Автохтонная микробиота, разлагающая гумусовые вещества почвы и трудноразлагаемые растительные остатки (автотрофные бактерии, актиномицеты, микромицеты, спорообразующие бактерии), преобладает при бессменном возделывании культур.

Регулирующим фактором биологической активности почв агроценоза, по современным представлениям, является применение минеральных и

органических удобрений (Минеев, 2005). Наиболее чувствительной к воздействию агрохимических средств является ризосфера, которая создается за счет выделения энергетически богатых углеродсодержащих компонентов живыми корнями растений с последующим размножением микроорганизмов в окружающей почве (Jones et al., 2004; Селиверстова и др., 2008).

Общепризнано, что деятельность полезной микробиоты активизируется именно при внесении органических и минеральных удобрений (Минеев, 2005). Однако результаты исследований влияния минеральных удобрений на почвенный микробиоценоз весьма неоднозначны. Например, отмечается, что при внесении высоких доз минеральных удобрений (120–240 кг/га) происходит изменение структуры почвенного микробиоценоза и активизируется автохтонная микробиота, которая минерализует органическое вещество почвы (Патика и др., 2005; Carson et al., 2007). Кроме того, показано, что применение минеральных удобрений приводит к снижению индекса видового разнообразия и возрастанию числа видов микроорганизмов с высоким долевым участием (Щербаков и др., 2001; Свистова и др., 2003; Гордеева, 2004). Но в целом исследователи отмечают, что внесение полного минерального удобрения положительно сказывается на микробиологической активности почвы агроценозов.

При технологии No-Till не разрушается среда обитания микроорганизмов и отмечается повышение биологической активности, микроорганизмы не погибают от недостатка питания, что происходит в условиях непокрытой почвы. Благоприятные сочетания условий температуры и влажности почвы при использовании No-Till позитивно влияют на почвенную микрофауну, в связи с чем в почве обнаруживается больше членистоногих, микроорганизмов и грибных микориз по сравнению с традиционной системой земледелия (Акименко и др., 2016; Казеев и др., 2018).

К большей минерализации соединений углерода и азота приводит отсутствие стимуляции активности почвенных микроорганизмов обработкой. Известно, что повышение температуры почвы на 1 °C приводит к интенсификации процессов минерализации примерно на 10 %. Считается, что органическое

вещество почвы часто заключено в макроагрегатах, которые защищают его от декомпозиции. Механическая же обработка ведет к разрушению макроагрегатов и обнажению органического вещества, делая его доступным для микроорганизмов и тем самым стимулируя его разложение. Это подтверждается исследованиями, изучающими влияние поверхностных пожнивных остатков на динамику азота. По данным Н. К. Шикулы (1998), при минимальных и безотвальных обработках в верхнем слое возрастает численность бактерий, усваивающих как минеральный, так и органический азот растительных остатков, которые накапливаются в поверхностном слое почвы. Установлено, что при применении систематической и длительной поверхностной и безотвальной обработки происходит повышение численности микроорганизмов, утилизирующих минеральные формы азота (Примак, Боканча, 2009). Но при поверхностной и особенно систематической безотвальной обработке глубже 20–30 см значительно уменьшается количество бактерий, которые используют азот органических соединений, а также грибов и актиномицетов, что объясняется низким содержанием растительных остатков, локализованных в верхнем слое почвы.

Микроорганизмы активно разлагают растительные и животные остатки, образуют соединения, которые служат структурными единицами гумусовых веществ, превращают малодоступные для растений вещества в легкодоступные, в связи с чем вопрос сохранения и воспроизводства почвенного плодородия сводится к проблеме управления именно микробиологическими процессами (Марковская, Баймишева, 1999; Нечаева, 2003). В связи с вышеизложенным для суждения о влиянии агротехнических мероприятий на почвенное плодородие, особенно в условиях берегающего земледелия, целесообразно использовать так называемые биологические показатели, отражающие деятельность почвенных микроорганизмов в конкретных условиях почвенной среды.

Биологическая активность почвы

Биологическая активность почв — совокупность биологических процессов в почве (Звягинцев, 1978). Под биологической активностью следует понимать интенсивность всех биологических процессов в почве. Биологическая активность почвы обусловлена суммарным содержанием в почве определенного запаса ферментов, как выделенных в процессе жизнедеятельности растений и микроорганизмов, так и аккумулятированных почвой после разрушения отмерших клеток (Хазиев, 1982; Казеев и др., 2003).

Биологическая активность почв является важнейшей характеристикой здоровья и качества почв и часто применяется для оценки ее экологического состояния (Вальков и др., 1989; Казеев и др., 2003, 2004; Raiesi, Kabiri, 2016). Показатели биологической активности включают в себя численность и качественный состав микроорганизмов, интенсивность выделения почвой углекислого газа (дыхание» почв) и разных биологических процессов (нитрификация, денитрификация, азотфиксация и др.), активность ферментов, регулирующих циклы важнейших питательных элементов растений, и другие показатели (Звягинцев, 1978; Казеев и др., 2003).

Биологическая активность и плодородие почвы зависит не только от природных факторов (водной и ветровой эрозии, засоления, подтопления), но и от различных видов техногенных воздействий. Даже если ограничиться трудами только сотрудников кафедры экологии и природопользования Южного федерального университета, можно утверждать, что загрязнение почв тяжелыми металлами (Вальков и др., 1997; Колесников и др., 1999; 2000; 2001; 2009; 2010; 2011; 2012; 2013; 2014; Kolesnikov et al., 2021, 2022, 2023; Евстигнеева и др., 2024; Минникова и др., 2024; Тимошенко и др., 2024; Tsepina et al., 2024; Кузина и др., 2025), металлоидами (Колесников и др., 2008; Kolesnikov et al., 2008), нефтью и нефтепродуктами (Колесников и др., 2006, 2007, 2010, 2013, 2014; Kolesnikov et al., 2024), пестицидами (Казеев и др., 2010) и антибиотиками (Акименко и др., 2013, 2014; 2015, 2016, 2018, 2022; Akimenko et al., 2015) в большинстве случаев приводит к ухудшению биологических

показателей почв, а следовательно, и к снижению плодородия почв. Кроме химического загрязнения почв, значительное влияние на биологические свойства оказывают и другие виды антропогенной нагрузки: различные виды электромагнитных воздействий (Денисова, Казеев, 2005, 2007, 2008; Денисова и др., 2005, 2011; Мазанко и др., 2013), сельскохозяйственное использование (Казеев, 1996; Казеев и др., 1996, 1998, 1999, 2002, 2004, 2005, 2020; Даденко и др., 2013, 2014, 2015; Козунь и др., 2015; Мясникова и др., 2014, 2015, 2016; Гедгафова и др., 2015, 2023; Горобцова и др., 2015; Минникова и др., 2017а,б, 2018, 2020; Мокриков и др., 2017, 2018, 2019, 2020; Азаренко и др., 2020; Mokrikov et al., 2021; Minnikova et al., 2022), вырубка лесов (Казеев и др., 2012, 2013, 2021; Тер-Мисакянц и др., 2013; Солдатов и др., 2020; Шхапацев и др., 2022, 2023, 2024), вторичное переувлажнение (Казеев и др., 2004, 2006), пирогенное воздействие (Kazeev et al., 2019; Казеев и др., 2020; Вилкова и др., 2022, 2023а,б,в, 2024; Нижельский и др., 2022, 2023, 2024; Nizhelskiy et al., 2022, 2023, 2024; Vilкова et al., 2024), рекреационная нагрузка (Казеев и др., 2015) и т. д.

Ранее была проведена сравнительная оценка применимости разных показателей биологической активности в диагностике и мониторинге экологического состояния почв (Казеев и др., 2003, 2004; Даденко и др., 2013, 2021). Разное землепользование и агротехнические приемы в значительной степени влияют на цикл органического углерода в почве и соответствующие биологические процессы в почве через изменение абиотических свойств почвы, таких как pH почвы, температура почвы, содержание влаги, поступление питательных веществ. Эти изменения отражаются на биологических свойствах, в частности почвенных микроорганизмах и ферментах (Мишустин, 1972; Звягинцев и др., 1978; Wei et al., 2017; Zheng et al., 2018; Wang et al., 2020; Никитин и др., 2022).

Повышению биологической активности почвы способствует внесение органических и бактериальных удобрений, использование сидератов и правильных севооборотов, а также применение мелиорантов (известки, гипса) для

поддержания благоприятных физико-химических свойств почвы и проведение мероприятий, улучшающих водный, окислительно-восстановительный и тепловой режимы (Казеев и др., 2004).

Нитрификация – это процесс, который связан с накоплением нитратного азота в почве. Микробная трансформация азотсодержащих соединений в нитраты прямо влияет на интенсивность других процессов цикла азота. Усиление денитрификации и минерализации органических веществ происходит при повышении концентрации нитратов в почвах, в то же время они снижают поступление азота в почву за счет азотфиксации и эффективность его микробной иммобилизации (Кудеяров, 1999а, б).

Нет единого мнения о воздействии систем обработки почвы на нитрифицирующую способность почвы. Н.А. Пегова (2008) в своей работе показала, что при безотвальном рыхлении происходит снижение нитрифицирующей способности почвы почти в шесть раз. Исследованиями В.В. Карпеца (2015) показано, что нитрификационная способность выше при вспашке, чем при нулевой обработке. Увеличение нитратного азота при вспашке выше, чем при минимальной обработке из-за создания в почве наилучших агрофизических свойств, не замедляющих процессы жизнедеятельности микроорганизмов, что достигается благодаря перемещению слоев почвы (Бугачук, 2001). Также рядом авторов отмечается более тесная связь между органическим веществом и нитрификацией почв при использовании No-Till, чем при традиционной обработке (Власенко и др., 2013; Nieminen et al., 2014).

Целлюлозоразлагающая способность – это показатель, который характеризует биологическую активность почвы. Данный показатель определяется по интенсивности разложения льняного полотна или соломы в почве (Казеев и др., 2003). Микроорганизмы, разрушающие целлюлозу, являются важным поставщиком органических веществ для различных групп микроорганизмов, в том числе азотфиксирующих. Отмечена взаимосвязь между интенсивностью нитрификации и развитием целлюлозоразлагающих микроорганизмов, так как скорость разложения клетчатки в почве зависит от наличия в ней

легкодоступного азота. Также на активность целлюлозоразрушающих микроорганизмов влияет наличие в почве доступного фосфора и других элементов. Таким образом, по степени распада клетчатки можно судить о направленности хода микробиологических процессов в целом (Рыбалкина, Кононенко, 1958; Мишустин, 1972; Щербакова, 1983; Безкоровайная, 2010; Валько, Щур, 2011; Титова, Козлов, 2012; Курчевский, Виноградов, 2013; Ушаков, 2013; Щур и др., 2014).

Целлюлозолитическая активность почвы зависит от способа обработки почвы, температуры, влажности, аэрация почвы, внесенных в нее минеральных удобрений, растительности (Захарченко, 1961; Нурмухаметов и др., 1998; Валько, Щур, 2011).

В работе Н. Г. Власенко с соавторами (2015) отмечается, что убыль массы льняного полотна составила 27,9 %. Сильное влияние на этот показатель оказали условия года (доля вариации 30 %). Интенсивность разложения целлюлозы в слое 0–20 см изменялась от 20,8 % в условиях засухи до 37,0 % в переувлажненном периоде. Значимое воздействие на целлюлозолитическую активность почвы оказали применение средств интенсификации (доля вариации 29 %) и технология возделывания пшеницы (доля вариации 18 %). В среднем по опыту внесение удобрений и средств защиты растений привело к увеличению разложения целлюлозы на 8,2 %. В то же время биологическая активность почвы при технологии No-Till была на 6,5 % выше, чем при технологии, основанной на глубоком рыхлении почвы.

Проведенные исследования на выщелоченном черноземе Кемеровской области показали, что выше на 6,6–9,2 % при прямом посеве по необработанной стерне в сравнении с вспашкой (Буренок и др., 2009).

В исследованиях В. Воронцова (2012) по изучению влияния технологии обработки почвы на целлюлозолитическую активность существенных различий не выявлено, но была отмечена тенденция уменьшения данного показателя при бесплужной системе обработки почвы. При всех системах обработки

почвы интенсивность разложения полотна снижалась в нижней части пахотного слоя.

На черноземах Самарского ГАУ отмечали положительное влияние нулевой обработки почвы на рост бактерий и актиномицетов и численность актиномицетов и отрицательное – на обилие микромицетов (Коваленко и др., 2019). При этом было отмечено снижение целлюлозолитической активности почвы при расслоении биологической активности в пахотном слое 0–30 см в варианте с нулевой обработкой.

Использование почв под сельскохозяйственные угодья ведет к перемене направленности почвенных процессов под воздействием агроэкологических факторов. Комплекс данных изменений характеризуется изменением основных параметров функционирования и формирования потенциала почвы. Это физические свойства почвы, химические компоненты состава почвы, микробо- и фитоценоз агроэкосистем (Хазиев, 1982).

Между активностью ферментов почвы, плодородием и доступностью элементов питания растениям присутствует непосредственная взаимная связь (Liu, 2005). Почвенные ферменты определяются, прежде всего, содержанием почвенных грибов, бактерий, корней растений, микробных клеток, растительных остатков. Также они выполняют большую роль в обеспечении биохимических преобразований в почве (Галстян, 1974). Почвенные ферменты характеризуются достаточно высокой активностью, специфичностью действия и зависимостью от условий окружающей среды (Ландина, 1986). Биохимические показатели плодородия почвы являются очень чувствительными к перемене агроэкологических условий, достаточно легко определяемы и позволяют объективно оценивать направленность и интенсивность процессов в почве (Dick, 1994; Bandick et al., 1999). Но даже несмотря на большое количество информации, результаты, которые были получены различными исследователями, зачастую противоречат друг другу в плане влияния разнообразных методик ведения сельского хозяйства на активность ферментов почвы (Derpcsh et al., 2014).

Исследование влияния обработки почвы на биологическую активность лугово-черноземовидной почвы было проведено В.Н. Макаровым (1981). Он определял ферментативную активность каталазы, уреазы и фосфатазы. В результате исследования было показано, что безотвальная вспашка и фрезерование создавали более благоприятные условия и улучшали биологические и биохимические процессы в корнеобитаемом слое почвы, что делает пахотный слой подходящим для роста и развития корневой системы растений.

Микробиологические внутриклеточные и гидролитические внеклеточные ферменты выше при нулевой обработке почв (Melero et al., 2009), тогда как окислительно-восстановительные ферменты (фенолоксидаза и пероксидаза) были менее подвержены нулевой обработке. V. Acosta-Martinez с соавторами (2008) связывают повышенную ферментативную активность в ненарушенных пастбищных почвах с присутствием активной микробной биомассы, составляющей внутриклеточные ферменты и/или внеклеточные ферменты, которые остаются частью органического вещества почвы. Из-за отсутствия нарушений в минимально обработанных почвах биохимическая среда менее окисляется, чем в обработанной почве (Melero et al., 2009), что может привести к более устойчивому образованию внеклеточных ферментов (Trasar-Sereda et al., 2008). Поверхностное накопление растительных остатков и подповерхностное поступление органических материалов через корневую биомассу могут способствовать усилению ферментативной активности в минимально обработанных почвах. Однако ферментативная активность усиливалась в обработанных почвах также при учете содержания углерода в почве, что указывает на то, что активность фермента в нулевом пропашном грунте стимулировалась факторами высокой доступности углерода. Усиленная активность ферментов предполагает микробную трансформацию органического вещества почвы, а растительный остаток предпочтительнее в системах при нулевой обработке почвы.

В исследованиях S. Mangalassery с соавторами (2015) нулевая обработка почвы увеличила содержание углерода почвы, микробную биомассу,

активность почвенных ферментов и уменьшила метаболический респирационный коэффициент микробного сообщества. Так как целлюлозы и глюкозидазы воздействуют на полисахариды в растительных остатках и биомассе корней и превращают их в гумус и активный углерод в разных агрегатах почвы, это свидетельствует о том, что усиленная активность этих ферментов способствует депонированию углерода в почве (Alvear et al., 2005). Лигнин и другие сложные органические соединения в растительных остатках ограничивают скорость на поздних стадиях разложения подстилки и важны для последующей гумификации и секвестрации углерода в почве (Burns et al., 2013).

При исследовании влияния агротехнологий на почвенные свойства большое внимание уделяется изучению микробного сообщества. Сдвиги состава микробного сообщества имеют важные последствия для функционирования почвы, так как разные микробные группы производят различные почвенные ферменты, которые участвуют в цикле углерода в почве. Например, β -глюкозидаза, целлюлаза и ксиланаза важны для разложения лабильной фракции растительной ткани, тогда как окислительно-восстановительные ферменты, такие как фенолоксидаза и пероксидаза, способствуют деградации лигнина, гумификации и минерализации почвенного органического вещества (Sinsabaugh et al., 2008). В обработанных почвах активность данных ферментов меньше, чем при применении технологии No-Till, (Melero et al., 2009) из-за изменения в доступности органических субстратов (Acosta-Martinez et al., 2008), почвенной влаги, температуры почвы (Alvear et al., 2005).

Интенсивность выделения почвой углекислого газа

Для оценки суммарной биологической активности почвы и ее устойчивости к минерализации является интенсивность выделения углекислого газа. Дыхание почвы отражает результат различных процессов, которые протекают в почве под влиянием жизнедеятельности микроорганизмов, животных, высших растений и при участии разнообразных ферментов (Мишустин, 1972; Тен Хак Мун, 1977; Смагин, 1999, 2005; Шевцова, 2000; Лыков, 2004). При

минерализации органического вещества происходит выделение NO, N₂O и CO₂ из почвы (Chapin, 1975; Akiyama, 2000; Sitaula, 2000; Заварзин, 2004; Cruvinel, 2011). Дыхание почвы может выступать в качестве индикатора интенсивности разложения органического вещества почвы (Звягинцев, 1978; Пуртова, 2013).

Интенсивность выделения углекислого газа (дыхание почв) является одним из показателей биологической активности почв (Звягинцев, 1978; Казеев и др., 2004; Наумов, 2004; Люри и др., 2013; Кудеяров, 2019, 2023). Общая интенсивность дыхания почвы обусловлена всей ее биологической активностью и определяется количеством потребленного кислорода и количеством продуцированного диоксида углерода. Выделение углекислого газа из почвы отражает интенсивность жизнедеятельности почвенной биоты, скорость минерализации опада и подстилки и прямо пропорционально плодородию почв. Интенсивность почвенного дыхания определяется биологической активностью и является показателем экологического состояния почв и разного рода антропогенных процессов: загрязнения, рекреационного воздействия, разных агротехнологий и т. д. (Кудеяров, Курганова, 2005; Люри и др., 2013; Моргачева и др., 2013; Акименко и др., 2014; Антонова и др., 2014; Янкина и др., 2014; Казеев, 2013, 2017; Насруллаев и др., 2016; Карелин и др., 2017). Эмиссия углекислого газа почв зависит от выращиваемой культуры, применения биопрепаратов и их последствий (Buragienė et al., 2023).

Но несмотря на то, что дыхание почвы хорошо установленный параметр, этот показатель сильно варьирует и может широко колебаться в зависимости от доступности субстрата, влажности и температуры (Кудеяров, 2018; Vargas-Terminel et al., 2022). Большая изменчивость в дыхании почвы означает, что эта мера сама по себе очень трудно интерпретируется в качестве индекса здоровья почвы (Linn, 1984; Ларионова, Розонова, 1993; Brookes, 1995; Hall, 1996; Bowden, 1998, 2004; Janzen, 1998; Fisk, 2001; Weitz, 2001; Lin, 2010; Мокриков и др., 2019а; Горбов и др., 2023).

Выделение углекислого газа из почвы уменьшается при недостаточном увлажнении, в то же время оно меньше реагирует на колебания температуры (Qi, Xu, 2001; Reichstein et al., 2002). При изучении сезонной динамики дыхания почвы выделяют два пика активности – весной и осенью, которые определяются погодными условиями (Ступаков, 2014).

Интенсивность эмиссии углекислого газа определяется биологической активностью, которая определяет депонирование и минерализацию органического вещества в почвах (Шевцова, 2000; Лыков, 2004; Смагин, 2005; Казеев и др., 2016). Эмиссия углекислого газа из почвы объясняется рядом различных процессов, имеющих кратковременные эффекты, проявляющиеся сразу после вспашки, и более долгосрочные эффекты – в течение основного вегетационного периода (Oorts et al., 2007).

Единого мнения о влиянии систем обработки на дыхание почвы нет. В работе А. Г. Ступакова (2014) подчеркнуто, что в период посева наименьшая интенсивность дыхания почвы отмечена при использовании No-Till, а при выметывании кукурузы, наоборот, при использовании технологии No-Till отмечены наибольшие значения диоксида углерода.

В условиях юго-западной Испании эмиссия углекислого газа резко увеличивается после вспашки почвы. При использовании технологии No-Till выделение углекислого газа уменьшается по сравнению с вспашкой почвы (Lopez-Garrido et al., 2009; Ivaro-Fuentes et al., 2004, 2007).

Активность почвенных ферментов

Из многочисленных показателей биологической активности почвы большое значение имеют почвенные ферменты. Их разнообразие и богатство делают возможным осуществление последовательных биохимических превращений поступающих в почву органических остатков. Внеклеточные ферменты расщепляют крупные органические молекулы до мономеров, регулируют биохимические процессы в почве и впоследствии влияют на доступность питательных веществ и рост растений (Галстян, 1974; Burns et al., 2013). Д.С.

Орлов и О. Н. Бирюкова (1984) выявили прямую связь между интенсивностью гумификации и ферментативной активностью. Ф. Х. Хазиев (1982) также связывает активность ферментов с содержанием органического вещества в почве. Ферментативная активность является чувствительным показателем экологического состояния почв (Галстян, 1974, 1978; Хазиев, 1976, 1982, 2005; Гончарова и др., 1990; Dick, 1994; Казеев и др., 2003, 2005, 2006; Sinsabaugh et al., 2008; Trasar-Cepeda et al, 2008; Hugh, 2012; Burns et al., 2013; Акименко и др., 2014; Даденко и др., 2013, 2015; Raiesi, Beheshti, 2014; Горобцова и др., 2015; Казеев и др., 2015; Huang et al., 2022; Minnikova et al., 2022; Li et al, 2024; Serrano-Grijalva et al, 2024; Даденко и др., 2025). Активность внеклеточных ферментов применяется в оценке методов управления сельским хозяйством (Казеев и др., 2004; Trasar-Cepeda et al, 2008; Raiesi, Salek-Gilani, 2018; Соби́на и др., 2022) и обработки почвы (Даденко и др., 2014; Raiesi, Salek-Gilani, 2018; Азаренко и др., 2020; Казеев и др., 2020, 2024). В почвенной биодинамике наибольшее значение имеют оксидоредуктазы и гидролазы. Целлюлаза и инвертаза представляют собой группу гидролитических ферментов, разлагающих органические субстраты растительного происхождения. Полифенолоксидаза играет большую роль в преобразовании сложных высокомолекулярных органических веществ и гумусообразовании, уреазы связана с циклом превращений почвенного азота. Ферменты, связанные с превращениями фосфатов, включают кислую фосфатазу и щелочную фосфатазу. Применению ферментативной активности в качестве диагностического показателя способствуют низкая ошибка опытов (не более 5–8 %) и высокая устойчивость ферментов при хранении образцов (Галстян, 1978, 1982; Даденко и др., 2009). Изучение ферментативной активности почв и понимание факторов, которые ее регулируют, является важнейшим этапом при характеристике метаболического потенциала почв, их качества и плодородия, а также при оценке устойчивости к различным природным и антропогенным воздействиям (Shaw, Burns, 2005). Многие авторы рекомендуют использовать биохимические свойства почв в качестве диагностических показателей из-за их способности незамедлительно

реагировать на экологический стресс (Dalal, 1982). Активность почвенных ферментов очень чувствительна к стрессу в экосистемах и может служить в качестве индикатора их здоровья и устойчивости в условиях антропогенного пресса (Dick, Tabatabai, 1992; Dick, 1994; Luo et al., 2017). Активность ферментов является более чувствительным показателем биогенности почв, чем интенсивность микробиологических процессов и продуцирование почвой углекислого газа (дыхание), численность и состав микрофлоры и фауны (Галстян, 1982). Методы ферментативной диагностики состояния почв наиболее эффективны при изучении последствий сельскохозяйственного использования, загрязнения тяжелыми металлами, нефтью и нефтепродуктами, гидроморфизма и ионизирующих излучений (Даденко и др., 2013).

Активность почвенных ферментов может служить индикатором качества и плодородия сельскохозяйственных почв, а также оценки их состояния при применении различных способов обработки (Acosta-Martinez, 2003; Казеев и др., 2004; Даденко и др., 2013; 2014, 2015). Распашка почв приводит к серьезным изменениям в количественных и качественных характеристиках растительного субстрата, поступающего в почву. Также изменяется режим его поступления. Все это вызывает интенсификацию процессов микробиологического окисления органического вещества почв. Потери и недостаток легкоразлагаемых органических веществ неизбежно приводят к усилению процессов выпахивания: к ухудшению структуры, физических и водно-физических свойств, питательного режима почв, что влияет на состояние ферментного пула.

Использование черноземов под пашней приводит к снижению активности гидролитических ферментов (Казеев и др., 2004; Даденко и др., 2013). Активность оксидоредуктаз (каталаза, дегидрогеназа) показывает меньшую чувствительность к сельскохозяйственному использованию почв и агротехническим приемам. В некоторых случаях отмечают четкую связь между активностью ферментов и содержанием гумуса, а также интенсивностью микробного дыхания (Гедгафова и др., 2015, 2023; Горобцова и др., 2015).

Как показывает обзор S.M. Zuber и M.B. Villamil (2016), основанный на анализе многих исследований, обработка почв по технологии No-Till повышает обилие микробных сообществ и ферментативную активность. Внесение пестицидов приводит как к положительным, так и к отрицательным эффектам на активность ферментов (Казеев и др., 2010; Акименко и др., 2015). При этом определяющими являются химическая природа пестицидов, используемая концентрация, микробная структура сообщества, тип почвы и почвенные условия. Оптимум действия каталазы расположен в интервале pH 7,5–8,0. В карбонатных горизонтах отмечено повышение активности ферментов в исходной и стерилизованной почве (Галстян, 1974; Зубкова, Карпачевский, 2001; Казеев и др., 2004, 2012; Даденко и др., 2014).

2. ОБЪЕКТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Октябрьский район расположен на Приазовской наклонной равнине, которая является продолжением Причерноморской низменности. Здесь четвертичные отложения представлены песками и плиоценовыми глинами. Четвертичные отложения в пределах Нижнего Дона покрывают более древние осадки. Они подразделяются на древнечетвертичные и современные отделы, которые представлены континентальными покровными лёссовидными суглинками водораздельных возвышенностей и их склонов, морскими осадками, речными и эоловыми образованиями. Приазовская наклонная равнина заключена между отрогами Донецкого кряжа, Азовским морем и долиной Дона. Общий уклон равнины – в сторону Азовского моря и Дона.

Климат засушливый с умеренно жарким летом и умеренно холодной зимой. По схеме агроклиматического районирования Ростовской области, предложенной В.М. Батовой (1966, 1986), изучаемый район входит в подрайон ПБА с засушливым климатом, ГТК 0,65–0,75. Территория Октябрьского района Ростовской области расположена в регионе со значительными тепловыми ресурсами. Сумма положительных температур воздуха (выше 10°C) за активно-вегетационный период составляет 3200–3400°C, среднегодовая

температура 8,6–9,3°C. Лето жаркое (температура июля +24,3°C), зима умеренно холодная (температура января –2,5...–2,7°C). В то же время большая часть Ростовской области относится к территории недостаточного и неустойчивого увлажнения. За год выпадает 420–500 мм осадков, а за период с температурой выше 10°C – 190–250 мм. Среднегодовое количество осадков по справочным данным составляет 423 мм (Хрусталеv и др., 2002).

Эталонным участком для экологических исследований является ООПТ со статусом памятник природы «Персиановская степь», расположенный в 10 км севернее Новочеркасска. Памятник природы «Персиановская степь» представляет собой часть степной равнины с целинными почвами – черноземами обыкновенными южно-европейской фации. Почвообразующими породами на территории заповедника «Персиановская степь» служат лёссовидные средние суглинки. Их мощность здесь составляет более 20 м.

В соответствии с Ландшафтной картой под редакцией И. Г. Исаченко (1986) территория входит в контур: равнинные суббореальные типичные (семиаридные) восточно-европейские северные степные приморские с мощными лёссовидными суглинками ландшафты низменных платформенных равнин; с севера примыкает контур: равнинные суббореальные типичные (семиаридные) восточно-европейские северные степные эрозионные лёссовые) ландшафты возвышенных платформенных равнин.

По Ландшафтной карте под редакцией И. С. Гудилина (1987) территория относится к контуру: равнинные суббореальные умеренно-континентальные типично степные (настоящие степи) лёссовые аккумулятивно-денудационные восточно-европейские ландшафты: равнины волнистые и плоские, с уплощенными останцовыми междуречьями, сильно и умеренно, местами слабо расчлененными долинами рек с асимметричными склонами балок, с западинами, сложенными лёссовидными суглинками (LQ III), подстилаемыми терригенными (N2), интрузивными и метаморфическими (PR 1) породами, с сельскохозяйственными землями, участками разнотравно-злаковых степей на черноземах обыкновенных.

Чернозем обыкновенный

Самые плодородные почвы России – черноземы. Черноземы занимают около 8% площади страны, они наиболее разнообразны на Европейской части России (Вальков и др., 2012). Только в Ростовской области они занимают более 50% территории. Описание эталонных черноземов ООПТ «Персиановская степь» (Ростовская область) приведено по литературным данным (Вальков и др., 2008; Казеев и др., 2010; Казеев, Колесников, 2015). В Атласе почв Юга России (Казеев и др., 2010) приведено таксономическое положение исследуемых почв в разных классификациях: чернозем обыкновенный южно-европейской фации (Вальков и др., 2002); чернозем североприазовский или предкавказский карбонатный (местный до 1977 г., Вальков, 1977); чернозем обыкновенный очень теплый кратковременно-промерзающий (Классификация почв СССР, 1977); чернозем миграционно-сегрегационный (Классификация почв России, 2004); *Haplic Chernozem* (международная классификация *World Reference Base for Soil Resources* (WRB), 2022).

Черноземы обыкновенные карбонатные занимают обширные равнины Азово-Кубанской низменности в пределах Краснодарского края и южной части Ростовской области с количеством выпадающих осадков 400–500 мм (Вальков, 1977). Черноземы обыкновенные карбонатные миграционно-мицелярные уникальны и за пределами юга России могут наблюдаться только в Молдавии. Карбонатный профиль чернозема начинается с поверхности. В нижней части гор. А появляется карбонатный мицелий, сопровождающий возрастающие количества извести до горизонта $ССа$. Четкое иллювиальное накопление карбоната кальция проявляется в горизонте $С_{Ca}$. Преобладают мощные и малогумусные виды. Мощность чернозема пропорциональна увеличению количества осадков. Менее мощные черноземы распространены в относительно сухих районах Ростовской области, где они имеют местное название черноземы североприазовские.

По растительности «Персиановская степь» относится к сухому варианту приазовских степей. Постоянные многолетние наблюдения флоры

заповедника определили максимальную численность видов – 166 (Балаш, 1961). Наиболее часто на всей территории заповедника встречаются следующие виды травянистых растений и кустарничков: среди злаков ковыль обыкновенный, типчак, пырей средний, житняк; среди разнотравья – донник желтый, эспарцет песчаный, вязель пестрый, подмаренник желтый, грудница мохнатая, подорожник средний; из кустарников – карагана и дикий миндаль (Казеев и др., 2004).

Морфологическое строение и некоторые свойства черноземов обыкновенных приведены на рисунке 1 и в таблицах 1–3.



Рис. 1. Чернозем обыкновенный среднетолстый карбонатный, ООПТ «Персиановская степь» Ростовская область, июль 2014 г. (фото К.Ш. Казеева)

Таблица 1. Некоторые физико-химические свойства чернозема обыкновенного карбонатного ООПТ «Персиановская степь», 2007 г. (Путеводитель..., 2007)

Горизонт	Глубина, см	pH	ЕКО мг-экв. /100 г	Са мг-экв./100 г	Mg мг-экв./100 г
A _д	0–10	7,9	34,4	40,0	9,0
A	20–30	8,0	34,4	38,0	7,0
AB _к	60–80	8,6	23,2	32,0	6,0
BC _к	100–120	8,8	22,0	23,0	4,0
C	158–178	8,8	20,4	28,0	3,0
C	178–200	8,9	21,2	24,0	12,0
C	200+дно	–	20,4	25,0	20,0

Таблица 2. Некоторые характеристики чернозема обыкновенного учхоза Дон-ГАУ (по Даденко и др., 2014)

Показатели	целина	пашня
Географические координаты	47°30'32.28"с.ш. 40°9'19.63"в.д.	47°30'33.14"с.ш. 40°9'9.37"в.д.
Мощность горизонта A, см	37–49	35
Мощность гумусовых горизонтов (A + AB), см	72–80	70–75
Глубина вскипания от 10%-го раствора HCl, см	10–30	0
Глубина залегания белоглазки, см	85–95	80
Плотность поверхностных горизонтов, г/см ³	0,98	1,01
Содержание физической глины (<0,01 мм) в верхнем горизонте, % (Минкина и др., 2008, 2011)	48,1	53,1
Содержание ила (<0,001 мм) в верхнем горизонте, % (Минкина и др., 2008, 2011)	28,6	32,4
pH водный в слое (0–20 см)	7,8	8,0
Содержание гумуса в A _д (0–10см), % M ± s	7,3±0,81	–
Содержание гумуса в горизонте A, % M ± s	6,5±0,70	–
Содержание гумуса в A _{пах} (0–25см), %	–	4,1±0,39
Видовое разнообразие флоры (Балащ, 1966)	166	–
Фитомасса, ц/га (Казеев и др., 2014)	71,0	–
Численность микроартропод в слое 0–30 см, тыс. экз./м ² (Везденева и др., 2007)	70,4	не опр.

Таблица 3. Биологические свойства чернозема обыкновенного карбонатного ООПТ «Персиановская степь», 2007 г. (Путеводитель..., 2008)

Горизонт	Глубина, см	Гумус, %	Каталаза, мл O ₂ /г/мин	Инвертаза, мг глюкозы/г	Дегидрогеназа, мг ТФФ/10 г
A _д	0–10	7,4	7,5	29,5	16,1
A	20–30	4,7	6,3	22,9	10,8
AB _к	60–80	1,5	6,8	16,5	5,4
BC _к	100–120	0,7	5,4	15,5	3,8
C	158–178	0,5	5,6	12,8	3,7
C	178–200	0,5	8,2	12,2	2,6

Для них характерна аккумуляция фульватно-гуматного насыщенного кальцием гумуса ($S_{гк} : S_{фк} 1,5-1,8$) в горизонтах А+АВ под воздействием лугово-степной растительности и сельскохозяйственных культур (Безуглова, 2001). Высокая культура земледелия определяет квазиравновесное гумусовое состояние при низком его содержании. Легкорастворимые соли выщелачиваются за пределы профиля почвы до грунтовых вод. Миграция карбонатов в почвенном профиле с неполной декарбонизацией гумусовых горизонтов образует мицелий $CaCO_3$ в горизонтах А+АВ, белоглазку и прожилки в горизонте S_{Ca} . Оглинивание средней части почвенной толщи выражено слабо, с незначительным накоплением гидрослюд, смектитовых минералов и каолинита.

Биологическая активность черноземов высокая по всей толще почвы и даже в почвообразующей породе (Казеев и др., 2004; Даденко, 2009, 2014). Это в значительной мере отличает черноземы от почв лесов и сухих степей юга России, где биологическая активность максимальна в верхнем горизонте и вниз по профилю резко снижается (Казеев и др., 2002, 2005, 2006). В черноземах целинных и залежных участков отмечено высокое обилие мезофауны беспозвоночных животных (Казадаев и др., 2004; Мясникова и др., 2015). Следы землероющих животных в виде кротовин и червороин наблюдаются до глубины 220–250 см. В значительной мере это является признаком реликтовости прошлых степей. Мезофауна беспозвоночных животных обильна и разнообразна, особенно в дерновом горизонте (Вальков и др., 1989).

Биологическая активность черноземов, как и других почв, отличается значительным варьированием (Казеев и др., 2004). В целинной степной почве Персиановской степи значительно варьируют значения многих показателей, особенно биологических (рис. 2). Основные параметры вариационной статистики активности каталазы и содержания гумуса дернового горизонта чернозема с шагом 1 м приведены ниже. Варьирование каталазной активности и содержания гумуса можно охарактеризовать как небольшое. Малые значения коэффициента вариации, равенство моды и медианы свидетельствуют о том, что распределение может быть аппроксимировано нормальным законом.

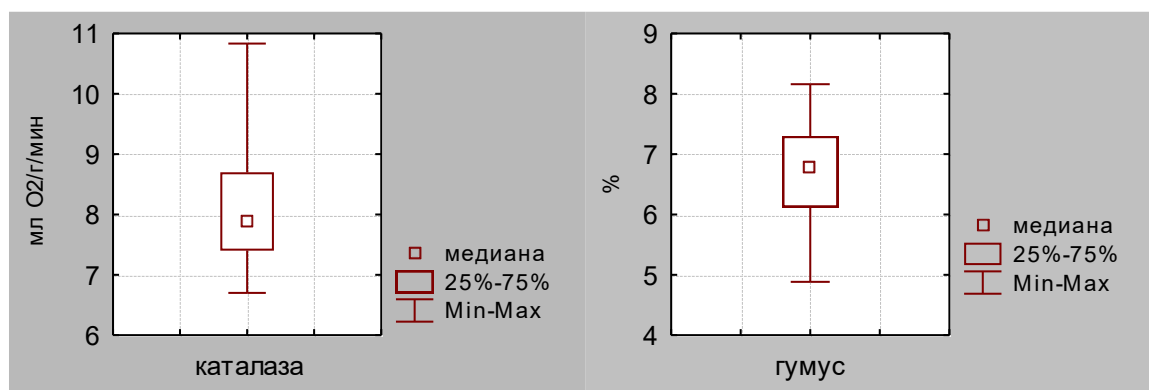


Рис. 2. Варьирование биологических показателей в черноземе ООПТ «Персиановская степь» (Даденко и др., 2014)

Высокий уровень плодородия для культур диапазона нейтральной и слабощелочной реакции среды. Неограниченная мощность корнеобитаемой толщи с оптимумом водно-физических характеристик и потенциального запаса элементов питания. Возможна высокая продуктивность озимой пшеницы, ячменя, подсолнечника, кукурузы, сахарной свеклы, клеверины, бахчевых культур, люцерны, овощных растений и др. (Вальков и др., 2008а). Хорошо удаются плодовые насаждения, особенно на склонах северной экспозиции и водоразделах. Возможна культура укрывного винограда, однако при высокой урожайности качество продукции неудовлетворительно для виноделия (Казеев и др., 2010).

Чернозем южный

Сальский район относится к юго-восточному подрайону Ростовской области. Климат носит континентальный характер с умеренно жарким летом и с умеренно холодной зимой. Характер климата проявляется также и в резких колебаниях температур и низкой относительной влажностью воздуха. Сумма температур выше +10 °C составляет около 3400 °C (Смагина, Кутилин, 1994; Хрусталеv и др., 2002). Агроклиматические ресурсы Сальского района определены достаточным количеством тепла и недостаточным количеством увлажнения, что создает необходимые предпосылки для успешного развития разных отраслей высокопродуктивного сельского хозяйства. Зима умеренно мягкая:

средняя температура января -5°C , средний из абсолютных минимумов температуры воздуха за зиму составляет $-20\ldots -25^{\circ}\text{C}$. Гидротермический коэффициент ГТК равен 0,82. Среднее годовое количество осадков в Сальском районе составляет около 400–500 мм (Хрусталеv и др., 2002). Сумма осадков за теплый период составляет 270–300 мм. Число сухих дней (с относительной влажностью менее 30 %) в среднем равно 70 дням, число дней с относительной влажностью более 80 % составляет 93 дня.

По Классификации почв СССР (1977) – чернозем южный теплый коротко-временно промерзающий, по Классификации почв России (2004) – чернозем текстурно-карбонатный, по классификациям почв ФАО и WRB – *chernozem* (чернозем). Южные черноземы восточно-европейской фации встречаются на равнинах центральной и северной части Ростовской области с количеством выпадающих осадков 350–400 мм (Вальков и др., 2021). Это самая южная окраина распространения обширной фации черноземных почв Восточной Европы. Основные диагностические признаки: среднemoshная гумусовая толща (A+AB не превышает 65 см), наименьшая среди других черноземных почв, слабая выщелоченность от карбонатов и присутствие иллювиального горизонта гипса и легкорастворимых солей на глубине 150–220 см как результат непромывного водного режима. Для черноземов южных присуща зернистая и зернисто-комковатая структура гумусово-аккумулятивного горизонта (Вальков и др., 2008б). Рыхлое и слабоуплотненное сложение гумусового профиля (плотность $1,1\text{--}1,3\text{ г/см}^3$). Высокая порозность (45–50 %) и водопроницаемость. Запасы продуктивной влаги часто ограничены дефицитом атмосферных осадков. По сравнению с черноземами обыкновенными в черноземах южных понижены запасы гумуса, определяемые малой гумусностью в горизонте A (4–5 %) и малой мощностью профиля (A+AB – около 60 см). Состав гумуса фульватно-гуматный (Сгк:Сфк 2,0–3,0). Нейтральная и слабощелочная реакция почвенной среды (pH 7,0–8,4). Высокая поглогительная способность, определяемая в первую очередь глинистыми минералами смектитами. ЕКО 30–42 мг-экв/100 г (Вальков и др., 2002, 2008).

На территории распространения черноземов южных значительно представлена фауна землероющих животных (Казеев и др., 2010). Выбросы землероев, кротовины и червотроины наблюдаются повсеместно. Биологическая активность во влажные сезоны года бывает высокой с периодами покоя в сухой сезон и зимой. Черноземы южные являются хорошими пахотными землями. Однако их бонитет ниже, чем у других черноземов. Основной ограничивающий фактор – дефицит влаги. Возможен широкий диапазон сельскохозяйственных растений нейтральной и слабощелочной реакции среды почвенного профиля (Вальков и др., 2008а). На тяжелых разновидностях черноземов садоводство неэффективно из-за присутствия иллювиального солевого горизонта. Более пригодны легкие разновидности черноземов. Среди черноземов разных подтипов и фаций черноземы южные обладают минимальной гумификацией по фульватно-гуматному типу (A+AB около 60 см). Как правило, целинные почвы вскипают в горизонте AB, а пахотные варианты – с поверхности (Казеев и др., 2010). Иллювиально-десуктивный горизонт C_{ca} начинается уже с 60 см. Выщелачивание легкорастворимых солей и гипса формирует иллювиальный солевой горизонт на глубине 150–200 см.

Мониторинговые участки

Исследованная территория включала Октябрьский, Песчанокопский и Сальский районы Ростовской области, а также Ипатовский район Ставропольского края (рис. 3).

Основные исследования провели в производственных условиях на полях хозяйства ИП Мокрикова В.И., главы КФХ (ранее ООО «Донская нива»), где прямой посев используется с 2008 г. на площади 5500 гектаров. Центральная усадьба (пос. Верхнегрушевский) расположена в Октябрьском сельском районе Ростовской области в 30 км севернее полей с опытом ФРАНЦ. Отдельные поля предприятия граничат с Красносулинским и Усть-Донецким районами. Все участки расположены на выровненных плакорных участках.

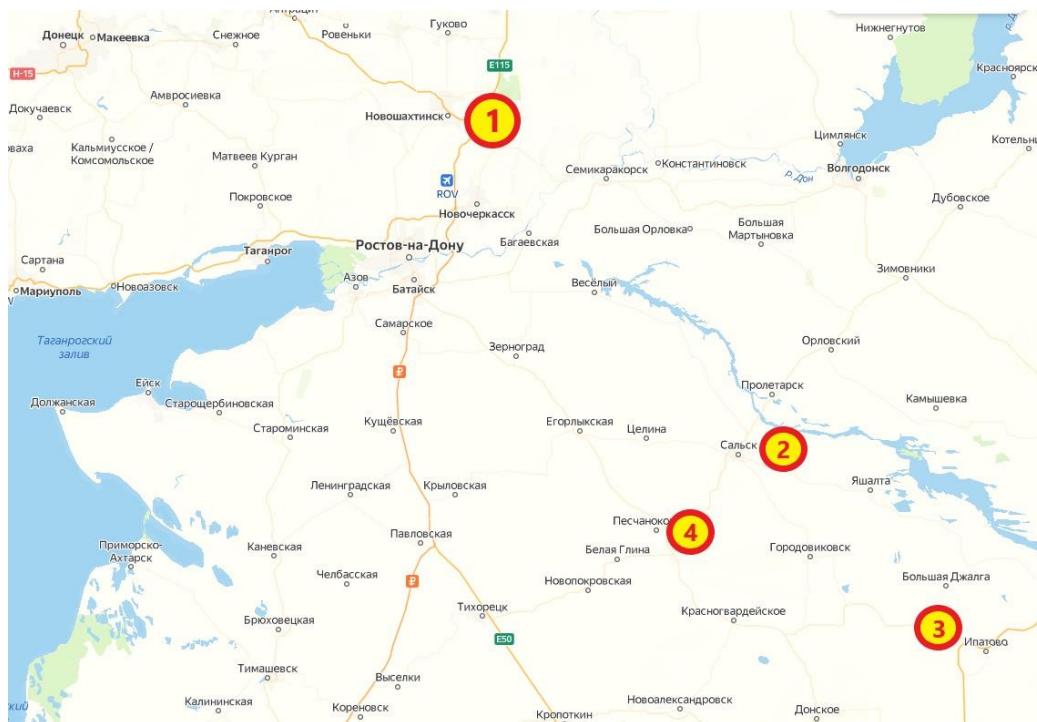


Рис. 3. Расположение мониторинговых участков: 1 – Октябрьский р-н, Ростовская обл.; 2 – Сальский р-н, Ростовская обл.; 3 – Песчанокопский р-н, Ростовская обл.; 4 – Ипатовский р-н, Ставропольский край

Участки исследований в Октябрьском районе Ростовской области

В настоящее время в хозяйстве по технологии прямого посева выращиваются 12 культур: озимая пшеница, озимый ячмень, горох, нут, лен, кориандр, яровой рапс, подсолнечник, кукуруза, гречиха, люцерна, пырей. Севооборот в хозяйстве выглядит следующим образом:

1. Озимая пшеница;
2. Подсолнечник;
3. Озимый ячмень;
4. $\frac{3}{4}$ кукуруза на зерно + $\frac{1}{4}$ гречиха;
5. Озимая пшеница;
6. Зерновые бобовые (горох, нут, соя, чечевица);
7. Озимая пшеница;
8. $\frac{1}{2}$ кориандр + $\frac{1}{2}$ крестоцветные (яровой или озимый рапс, горчица сарептская);
9. Озимая пшеница;
10. Лен.

Структура посевных площадей (в процентах от времени в севообороте):

1. Зерновые колосовые – 49%;
2. Кукуруза на зерно – 10%;
3. Подсолнечник – 10–13%;
4. Зерновые бобовые (нут, чечевица, горох) – 8%;
5. Озимые крестоцветные (рыжик, рапс, горчица) – 6,5%;
6. Кориандр – 6%;
7. Лен – 4%;
8. Гречиха – 2,0%;
9. Многолетние травы – 2%.

В 2016 г. поля ООО «Донская нива» (ИП Мокриков В.И.) были заняты различными сельскохозяйственными культурами (табл. 4, 5).

Таблица 4. Сельскохозяйственные культуры опытных полей ИП Мокрикова В.И. и контрольных полях (Д и К соответственно) в 2016–2018 гг.

Поле	2016	2017	2018
Д1	лен	озимая пшеница	нут
К1	озимая пшеница	озимая пшеница	яровой ячмень
Д2	лен	озимая пшеница	подсолнечник
К2	подсолнечник	озимая пшеница	яровой ячмень
Д3	кориандр	ячмень	подсолнечник
К3	озимая пшеница	подсолнечник	озимая пшеница
Д4	кориандр	озимая пшеница	подсолнечник
К4	яровой ячмень	озимая пшеница	яровой ячмень
Д5*	озимый ячмень	пшеница/ячмень	кукуруза
К5	озимая пшеница	пшеница/ячмень	не исследовали
Д6	озимая пшеница	кориандр	озимый ячмень
К6	озимая пшеница	подсолнечник	яровой ячмень
Д7	озимая пшеница	кориандр	озимая пшеница
К7	яровой ячмень	пшеница	яровой ячмень
Д8	озимая пшеница	кориандр	озимая пшеница
К8	озимая пшеница	подсолнечник	ячмень
Д9	подсолнечник+донник	озимая пшеница	рапс
К9	подсолнечник	озимая пшеница	горох
Д10	подсолнечник+донник	озимая пшеница	рапс
К10	кукуруза на зерно	озимая пшеница	озимая пшеница
Д11	озимая пшеница	озимая пшеница	рапс
К11	озимая пшеница	озимая пшеница	подсолнечник
Д12	нут	ячмень	рапс
К12	сафлор	горох	озимая пшеница
Д13	донник 2-й год	озимая пшеница	лен
Д14	подсолнечник + озимая вика	нут	кукуруза
К14	подсолнечник (без удобрений)	не исследовали	кукуруза
Д15	подсолнечник + донник	озимая пшеница	не исследовали
Д16	донник 2-й год	нут	кориандр

*Участок №5 заменили в 2018 г. на треугольное поле, удобренное птичьим пометом на участке около трассы у пос. Верхнегрушевский.

Таблица 5. Сельскохозяйственные культуры на полях ИП Мокрикова В.И. и контрольных полях (Д и К соответственно) в 2016–2023 гг.

Поле	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023
Д1	лен	озимая пшеница	нут	озимая пшеница	подсолнечник	озимый ячмень	нут	озимый ячмень
К1	озимая пшеница	озимая пшеница	яровой ячмень	озимая пшеница	кукуруза на зерно	озимая пшеница	подсолнечник	озимая пшеница
Д2	лен	озимая пшеница	подсолнечник	озимая пшеница	кукуруза на зерно	озимая пшеница	нут	озимая пшеница
К2	подсолнечник	озимая пшеница	яровой ячмень	кукуруза на зерно	озимая пшеница	озимая пшеница	подсолнечник	озимая пшеница

При этой агротехнологии минимизируется воздействие машин на почву. Традиционная технология с отвальной вспашкой, боронованием, культивациями применяется на контрольных полях, расположенных в непосредственной близости от опытных полей на расстоянии от 30 до 200 м.

Согласно Почвенной карте Ростовской области, большая часть исследуемой территории в Октябрьском районе Ростовской области занята черноземами южными и обыкновенными среднесиловыми слабогумусированными (рис. 4).

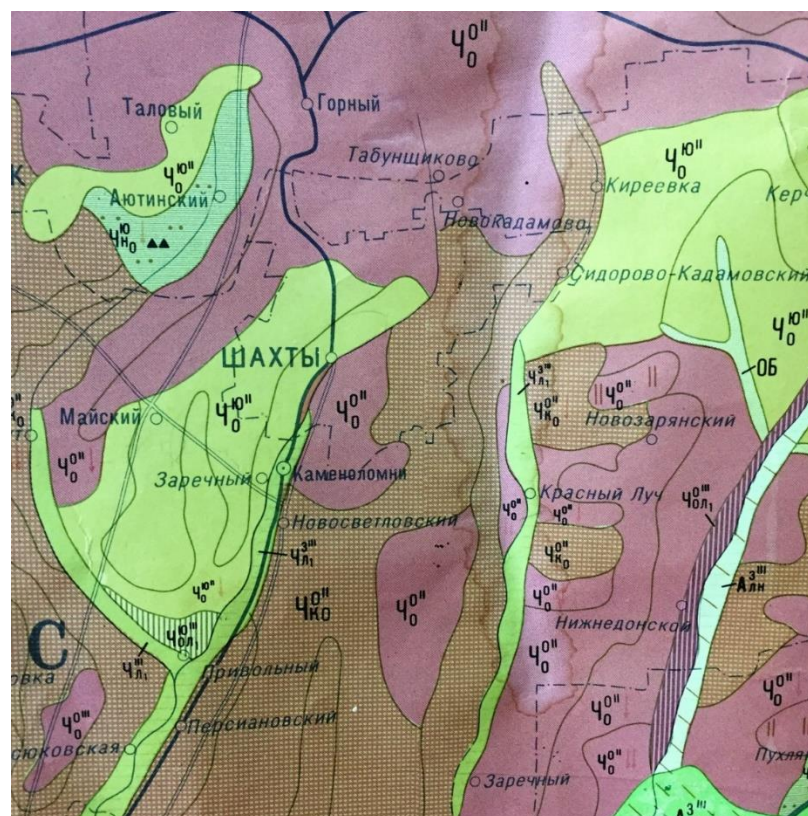


Рис. 4. Фрагмент почвенной карты Ростовской области (1985)

В ходе проведения полевых исследований в 2016–2024 гг. были заложены почвенные разрезы и прикопки, выполнена привязка мониторинговых площадок, определены географические координаты, и описание которых приведено ниже (рис. 5, табл. 6, 7).

Согласно отчетам Агрохимцентра «Ростовский», на территории хозяйства ИП Мокрикова В.И. преобладают черноземы северо-приазовские среднемошные карбонатные и черноземы обыкновенные среднемошные малогумусные (Мониторинг..., 2007, 2013, 2019, 2024).



Рис. 5. Местоположение исследуемых полей ИП Мокрикова В.И.

Проведенные в 2016 г. исследования показали, что значительная часть территории ООО «Донская нива» (после 2017 г. ИП Мокриков В.И.) занята черноземами обыкновенными разной мощности (мощные и среднемошные),

гумусированности (малогумусные и слабогумусированные) и выщелоченности от карбонатности (карбонатные и выщелоченные). На участке №5 в пойме реки Грушевки распространена лугово-черноземная мощная выщелоченная почва. Отмеченной на почвенной карте засоленности почвы на полях не было зафиксировано. Участок №7 расположен на периферии «мочара» – внепойменного гидроморфного ландшафта с влаголюбивой растительностью. В первый срок наблюдения (2016 г.) эта территория была подвержена значительному переувлажнению.

Таблица 6. Расположение площадок исследования в ООО «Донская нива», 2016 г.

№	Населенный пункт	Номер по GPS	Географические координаты	Привязка
1	Староковылный	471	46°04.048 с.ш. 38°40.305 в.д.	55 м от дороги 10 м от границы
2	Староковылный	473	47°35.784 с.ш. 40°05.141 в.д.	100 м от дороги
3	Малая сопка	475	47°37.468 с.ш. 40°05.401 в.д.	50 м от ЛП 10 м от границы
4	Малая сопка	477	47°37.474 с.ш. 40 °05.420 в.д.	150 м от ЛП 30 м до границы
5	Верхнегрушевский	479	47°37.014 с.ш. 40°10.356 в.д.	32 м от дерева 13 м от границы
6	Новосветловский	481	47°37.407 с.ш. 40°13.647 в.д.	50 м от ЛП 20 м от границы
7	Новосветловский	483	47°37.235 с.ш. 40°13.920 в.д.	50м от мочара 20 м от границы
8	Ягодинка	485	47°38.736 с.ш. 40°17.622 в.д.	50 м от дороги 20 м от границы
9	Киреевка	487	47°47.120 с.ш. 40°28.164 в.д.	25 м от дороги 100 м от ЛП
10	Киреевка	489	47°47.002 с.ш. 40°27.492 в.д.	50 м от угла ЛП 25 м от дороги
11	Киреевка	491	47°46.515 с.ш. 40°26.691 в.д.	70 м от ЛП дороги 40 м от лесополосы
12	Новая Бахмутовка	493	47°50.426 с.ш. 40°25.119 в.д.	25 м от ЛП дороги 50м от границы
13	Новая Бахмутовка	495	47°48.622 с.ш. 40°26.151 в.д.	25 от дороги 250 м от лесополосы
14	Новая Бахмутовка	496	47°48.862 с.ш. 40°27.017 в.д.	460 м от дороги 150 от лесополосы
15	Новая Бахмутовка	497	47°48.879 с.ш. 40°27.021 в.д.	480 м от дороги 150 от лесополосы
16	Новая Бахмутовка	498	47°48,665 с.ш. 40°27.415 в.д.	96 от дороги 55 от лесополосы

В результате исследований в 2016–2018 гг. были заложены почвенные разрезы. Согласно полевым описаниям почвы диагностированы как черноземы обыкновенные разной степени карбонатов мощности и гумусированности.

Таблица 6. Почвы опытных полей исследуемой территории

№	Почва
1	Чернозем обыкновенный карбонатный смытый среднесиловой слабогумусированный
2	Чернозем обыкновенный карбонатный смытый среднесиловой слабогумусированный
3	Чернозем обыкновенный карбонатный силовой слабогумусированный
4	Чернозем обыкновенный карбонатный силовой слабогумусированный
5	Чернозем обыкновенный карбонатный среднесиловой слабогумусированный
6	Чернозем обыкновенный выщелоченный среднесиловой малогумусный
7	Чернозем обыкновенный выщелоченный (не вскипает до 30 см) среднесиловой малогумусный
8	Чернозем обыкновенный слабывщелоченный (вскипает с 25 см) силовой малогумусный
9	Чернозем обыкновенный слабывщелоченный (вскипает с 40 см) среднесиловой малогумусный (на контроле слабо вскипает с поверхности)
10	Чернозем обыкновенный смытый среднесиловой малогумусный
11	Чернозем южный карбонатный среднесиловой малогумусный
12	Чернозем обыкновенный слабывщелоченный (вскипает с 35 см) среднесиловой малогумусный
13	Чернозем обыкновенный слабывщелоченный (не вскипает до 25 см) среднесиловой малогумусный
14	Чернозем обыкновенный слабывщелоченный (вскипает с 40 см) среднесиловой
15	малогумусный
16	Чернозем обыкновенный карбонатный малогумусный

Участки исследований в Сальском районе Ростовской области

В Сальском районе Ростовской области конкретные местоположения мест отбора образцов в разном масштабе приведены на рисунке 6. В ходе полевых исследований были заложены почвенные прикопки и разрезы.



Рис. 6. Местоположение исследуемых полей в Сальском районе

Хозяйство ООО Агро-Мичуринское Сальского района, согласно Почвенной карте Ростовской области (1985), относится к черноземам обыкновенным среднесиловым карбонатным (рис. 7). Однако проведенные полевые исследования показали, что почвы участков С1–С6 относятся к другому подтипу черноземов – черноземам южным. Пограничное расположение исследуемых почв на границе степной и сухостепной зон приводит к наличию в профиле признаков обоих подтипов черноземов, а также расположенных в непосредственной близости темно-каштановых почв.

Опытные поля ООО Агро-Мичуринское были заняты различными сельскохозяйственными культурами (подсолнечник, кукуруза, горох, озимая пшеница), возделываемыми по технологии прямого посева No-Till (табл. 8).

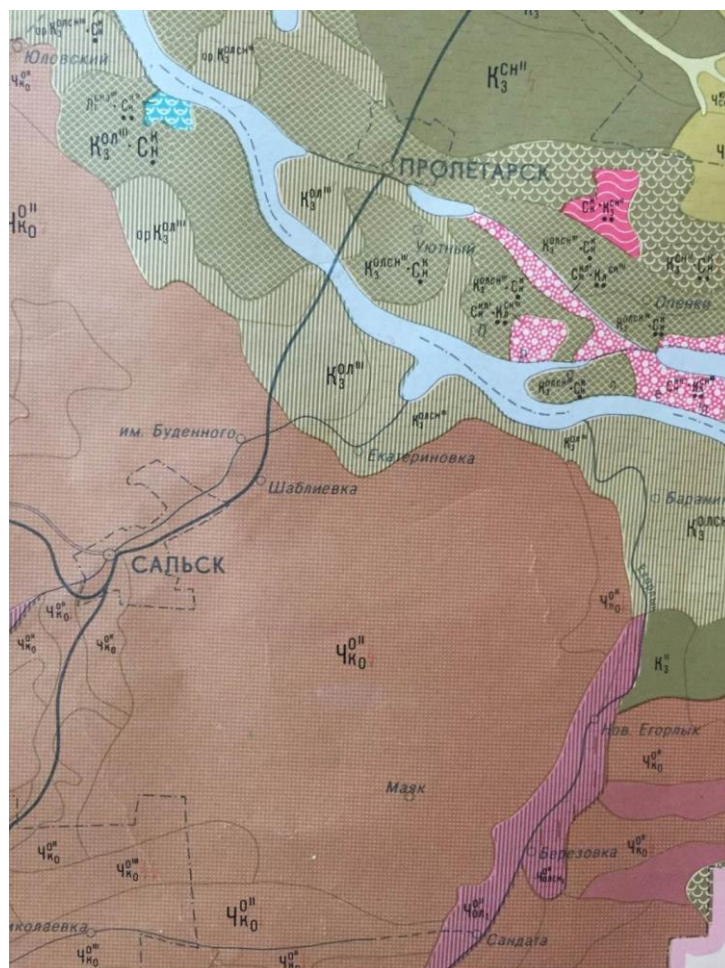


Рис. 7. Фрагмент почвенной карты Ростовской области (1985), М 1:300000

Таблица 8. Исследуемые объекты на черноземах южных, июнь 2017 г.

Участок	Географические координаты	Культура	Предшественник
Ростовская область, Сальский р-н, село Екатериновка			
С1	44°44.871 с.ш., 41°48.219 в.д.	Подсолнечник	Озимая пшеница
С2	46°28.442 с.ш., 41°48.869 в.д.	Кукуруза	Озимая пшеница
С3	46 °28.442 с.ш., 41 °48.219 в.д.	Горох	не опр.
С4	46 °28.441 с.ш., 41 °48.120 в.д.	Озимая пшеница	не опр.
С5	46 °30.906 с.ш., 41 °49.360 в.д.	Озимая пшеница	Пар
С6	46°30.918 с.ш., 41°49.282 в.д.	Залежь разнотравно-ковыльная	-
Ставропольский край, Ипатовский р-н, село Кевсала			
Ст1	45°43.5409 с.ш., 42°44.5414 в.д.	Озимая пшеница	Пар
Ст2	45°43'52.87 с.ш., 42°42'38.55 в.д.	Озимая пшеница	Озимая пшеница
Ст3	45°42.47.07 с.ш., 42°42.12.67 в.д.	Озимая пшеница	Горох

Традиционная технология со вспашкой применяется на контрольном поле № С5, расположенном в непосредственной близости от опытных полей

на расстоянии около 4 км. Кроме того, в качестве контроля также исследовали слабонарушенное пастбище с естественной разнотравно-ковыльной растительностью.

Участки исследований в Ипатовском районе Ставропольского края

Ипатовский район Ставропольского края расположен на границе северо-восточных склонов Ставропольской возвышенности и юго-западной части Манычской низменности. Рельеф исследуемой территории спокойный равнинный. Климат Ипатовского района резко континентальный с амплитудой колебаний максимальных и минимальных температур воздуха летом до +44 °С, зимой до –34 °С. Среднегодовая сумма осадков составляет 320–412 мм (Ипатовский район. <https://ru.wikipedia.org/wiki>). Ипатовский район расположен в засушливом зоне. Лето продолжительное, жаркое, сухое со среднемесячной температурой июля +24 °С. В летнее время восточный ветер приносит раскалённый воздух среднеазиатских пустынь. С ним связаны засухи и пылевые бури, начинающиеся при скорости ветра 15–20 м/с. Засухи и суховеи различной интенсивности – типичное для Ипатовского района явление; летом бывает 85–100 суховейных дней. Ипатовский район – самый крупный сельскохозяйственный район Ставропольского края. В районе достаточно развито земледелие и животноводство. В районе имеется 363,1 тыс. га сельскохозяйственных угодий, в том числе 265,9 тыс. га пашни, 77,2 тыс. га пастбищ, 13,1 тыс. га сенокосов. В структуре посевных площадей зерновые занимают 71% (<https://ru.wikipedia.org/wiki>).

Почвы в основном представлены черноземами южными с обыкновенными мицелярно-карбонатными – 34% и темно-каштановыми с каштановыми мицелярно-карбонатными (темно-каштановые и каштановые глубокие) – 24,3% территории края (Почвенные ресурсы России <http://info-soil.ru>).

Исследования черноземов южных Ставропольского края проведены 21 июля 2017 г. на полях АО Агрохлебопродукт филиала «Агрокевсалинский»

около села Кевсала Ипатовского района (рис. 8). Данные об этих агроценозах приведены выше (см. табл. 8).



Рис. 8. Местоположение участков отбора в Ставропольском крае

3. МЕТОДОЛОГИЯ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Методология исследований

Исследования экологического состояния почв проводили с применением сравнительно-географического и профильно-генетического подходов (Вальков и др., 1995; Казеев и др., 2003, 2004). Основные исследования провели в производственных условиях на полях хозяйства ИП Мокрикова В.И. глава КФК (ранее ООО «Донская нива»), где прямой посев используется с 2008 г. на площади 5500 гектаров (поля Д или NT). Центральная усадьба (пос. Верхнегрушевский) расположена в Октябрьском сельском районе Ростовской области. Отдельные поля предприятия граничат с Красносулинским и Усть-Донецким районом. Для сравнения технологий обработки почвы в качестве контрольных полей были использованы поля других хозяйств, применяющих традиционную технологию обработки почв (поля К, ST, TT), расположенные в непосредственной близости от контрольных полей прямого посева. Попарное сравнение находящихся на расстоянии 100–200 м полей с разной технологией позволило нивелировать различия в почвенном покрове. На каждом поле площадью в десятки гектаров были заложены учетные площадки размером около 400 м² (рис. 9). На них закладывали разрезы, полуямы и прикопки и отбирали как индивидуальные образцы почв, так и смешанные образцы из пяти индивидуальных проб.

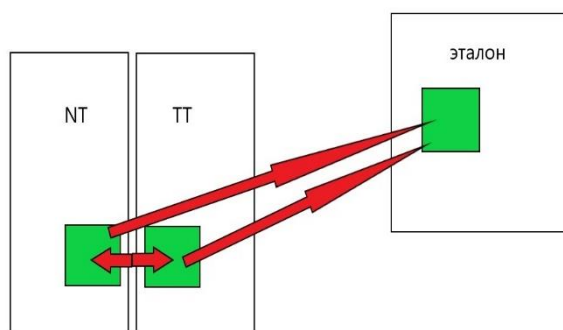


Рис. 9. Схема размещения площадок на полях с прямым посевом (NT) и на полях с традиционной технологией обработки почв (TT), а также эталонных участков сравнения (целина, залежи)

Таких участков сравнения, включающих поля с NT и ТТ в 2016–2018 гг., было более десяти с расстоянием между участками от 1–2 км до 10–20 км. Эталонные площадки расположены на целине или старых залежах от нескольких до 20–30 километров от участков сравнения технологий обработки почв. Для корректного сравнения полевые исследования и отбор образцов проводили на всех участках за один-два рабочих дня.

В 2016 г. особое внимание уделяли поверхностному слою (0–10 см) почвы, так как именно он подвергается механическому воздействию сельскохозяйственной техники, биологические процессы протекают здесь наиболее интенсивно (Казеев и др., 2003), здесь же сосредоточена большая часть корней основных сельскохозяйственных культур, и сюда попадают средства химизации при прямом посеве. В 2016 г. отбор образцов почв осуществляли на 28 полях агроценозов ИП Мокрикова В. И. с глубины 0–10 см трижды за полевой сезон: 3–5 июня, 25–26 июля, 17–18 сентября. Поля были заняты разными культурами.

В 2017 г. отбор образцов осуществляли по профилю черноземов на глубинах 0–10, 25–35 и 55–65 см 2 апреля, 20–21 мая, 25–26 июля, 12 сентября, 18 октября. Провели профильно-генетические исследования по всему почвенному профилю по разным глубинам: верхней части профиля 0–10 см, подпахотного горизонта 25–35 см, нижней части 55–65 см и подпочвы 90–100 см. Придерживались принципа единообразия выращиваемых культур (озимой пшеницы на 10 мониторинговых полях) для нивелирования влияния выращиваемых культур. Также в 2017 г. были проведены исследования на производственных полях с прямым посевом и традиционной обработкой в Сальском и Песчанокопском районах Ростовской области и Ипатовском районе Ставропольского края.

В 2018 г. специально подробно послойно через каждые 10 см был исследован слой 0–30 см, чтобы определить, существует ли расслоение бывшего пахотного горизонта при длительном использовании технологии прямого посева. Полевые исследования и отбор образцов в Октябрьском районе

Ростовской области провели в апреле (13.04.2018 г.), мае (26–27.05.2018 г.), июле (12–13.07.2018 г.), сентябре (18.09.2018 г.) и ноябре (07.11.2018 г.).

Дополнительно в августе 2023 г. были проведены исследования почвы на участке №2, выбранном в качестве одного из реперных участков Важнейшего инновационного проекта государственного значения «Единая национальная система мониторинга климатически активных веществ» (ВИП ГЗ). На поле Д2 ИП Мокрикова В.И., на соседнем фермерском поле и ООПТ Персиановская степь 10–13 августа исследования выполнены до глубины 250 см в девятикратной повторности (более 180 образцов почв).

Мониторинг экологического состояния почв проводили на участках с применением технологии прямого посева и традиционной обработкой, а также в ООПТ Персиановская степь как на эталонном степном участке для черноземов юга России. Мониторинговые исследования осуществляли с 2016 г. на двух опытных полях с применением технологии прямого посева (Д1 и Д2) и на двух соседних контрольных полях (100–200м) с применением традиционной технологии возделывания культур (К1 и К2). В 2019–2023 гг. исследование почв проводили с глубин 0–10 см и 10–20 см. Полевые исследования и отбор образцов были проведены 17 мая 2019 г., 24 июня 2020 г., 27 июля 2021 г., 20 июля 2022 г., 18 июля 2023 г., 31 июля 2024 г.

Методы исследований

Полевые методы исследований

Географические координаты объектов исследования определены GPS навигатором Garmin. Почву описывали и определяли ее таксономическую принадлежность согласно рекомендациям описания по морфологическим признакам (Казеев и др., 2003, 2016; Казеев, Колесников, 2012).

Плотность почвы определяли объемно-весовым методом с помощью стальных колец объемом 135 см³ в трехкратной повторности. Температуру воздуха и почв определяли электронным термометром HANNA CHEMTEMP. Влажность (объемную) почвы определяли в полевых условиях влагомером

Fieldscout TDR 100 компании Spectrum Technologies inc. в десятикратной повторности на каждом участке и традиционным весовым методом. Для приведения полученных значений к общепринятой влажности (весовой) учитывали плотность почвы. При этом значения зависят от типа и свойств почв: структуры, гранулометрического и минералогического состава почвы.

Твердость почв (сопротивление пенетрации, прочность почвенной структуры) исследовали в полевых условиях с помощью пенетromетра EIJKEKAMP на глубину 45 см с интервалом 5 см в десятикратной повторности. Пенетрометр является надежным прибором, измеряющим сопротивление почвы или усилие, необходимое для проникновения зонда в почву. Точность прибора $\pm 0,01$ МПа. Этот показатель выявляет противодействие, которое испытывают корни растений при росте. Повышение твердости почвы отражает негативное влияние на продуктивность растений.

Учет численности и видового состава мезофауны (прежде всего дождевых червей) выполнен по общепринятой методике (Гиляров, 1975, цит. по Казеев и др., 2003) послойной ручной разборкой почвенных проб площадью 25×25 см на глубину 0–10 см. Количество проб составляло 3–4.

Для учета беспозвоночных напочвенных животных (герпетобионтов) использовался стандартный метод ловчих линий (Казеев и др., 2003). Для этого двумя параллельными линиями выставлялись ловушки Барбера (10 ловушек в линии с расстоянием между ловушками 5 метров). В качестве ловушек использовались стеклянные (жестяные, пластиковые) сосуды емкостью 0,5 л с фиксатором (2–3% раствор уксусной кислоты). Ловушки устанавливались на типичных участках исследуемых полей, на 0,5 см ниже поверхности почвы. Время между установкой и снятием – от 4 до 5 суток. Результаты выражены в единицах динамической плотности уловистостью в количестве экземпляров/ количество ловушек / время, сутки.

Для определения сходства участков использовались стандартные коэффициенты сходства:

Коэффициент фаунистического сходства Жаккара:

$$K_s = C/(A+B-C),$$

где С – число видов, общих для двух сравниваемых группировок;

А – количество видов в первой группировке;

В – то же, во второй.

Коэффициент доминирования:

$$Z=n/N \times 100\%,$$

где n– количество таксонов отдельного семейства;

N– общее количество таксонов.

Коэффициент встречаемости:

$$R= n/N,$$

где n – площадки, на которых встречается вид;

N– общее число площадок.

Для определения численности мелких членистоногих (микроартропод) проводили отбор почвенных образцов на глубину 0–10 см, послойно, через 5 см (объемом 125 см³). Экстракцию микроартропод проводили в воронках по методу Л. Балого (1958, цит. по Казеев и др., 2003) в течение 7 дней без электрического обогрева. Разбивку на группы и подсчет проводили под биноклем МБС-1. В почвенных образцах учитывали численность клещей (панцирных и гамазовых) и ногохвосток, к прочим отнесены: окароидные, тарсонемоидные, протистигматические, эндоистигматические клещи.

Определение обилия и биоразнообразия почвенной фауны проводили совместно с м.н.с. Зоологического института РАН, к.б.н. И.А. Чиграем (мезофауна) и д.б.н. М.И. Симонович (микроартроподы).

Скорость эмиссии углекислого газа – дыхание почв – определяли в полевых условиях по предложенной (Полевые методы..., 2001) и адаптированной методике (Казеев, Колесников, 2012). Для определения параметра очищенную от органических остатков и зеленых растений поверхность почвы изолировали от внешней атмосферы пластиковым контейнером размером 15×10 см и объемом 650 см³ на 15 минут. Концентрацию углекислого газа определяли с помощью газоанализаторов: в 2016 г. – ПГА-7, в 2017–2020 гг. – Testo 535. С 2021 г. дыхание почв определяли газоанализатором EGM-5 (PP SYSTEM) с

почвенной камерой и инкубацией в течение 2 минут. Повторность опыта (количество полевых определений на одном участке) – 5–8-кратная.

Целлюлозолитическую активность определяли весовым методом по убыли в весе закопанных в почву на глубину 0–10 см на 20 (первый срок) – 30 (второй-третий сроки) суток хлопчатобумажных полотен (Казеев и др., 2003, 2016). Для максимального соприкосновения с почвой и удобства нахождения в полевых условиях полотнами обшивали пластиковые пластины шириной 5 см и высотой 25 см. Поверх полотна пластины обшивали синтетической сеткой для полноты извлечения из почвы разложившейся хлопчатобумажной ткани. Повторность – трехкратная. Интенсивность накопления свободных аминокислот фиксировали по их количеству на хлопчатобумажном полотне, экстрагируя спиртом и окрашивая нингидрином. Повторность – трехкратная.

Количество пожнивных остатков учитывали методом ручного сбора с площадки размерами 1×1 м² в 5–10-кратной повторности. На полях с озимой пшеницей время определения 19 августа 2020 г., а на полях с кукурузой и подсолнечником – 22 сентября 2020 г. Собранный материал высушивали на воздухе и взвешивали на электронных весах.

Лабораторно-аналитические исследования

Лабораторно-аналитические исследования были выполнены на кафедре экологии и природопользования Южного федерального университета с использованием методов, распространенных в экологии, биологии и почвоведении (Казеев и др., 2003, 2016; Казеев, Колесников, 2012).

Агрегатный анализ почвы проводили методом сухого просеивания Н.И. Саввинова. Водопрочность (водоустойчивость) агрегатов определяли по методу Андрианова. Общий гумус определяли методом И.В. Тюрина в модификации Б.А. Никитина по окисляемости хромовой смесью с фотоколориметрическим окончанием. Точность – 5–8%. Фракционно-групповой состав гумуса определяли по методу И.В. Тюрина в модификации В.В. Пономаревой и Т.А. Плотниковой с определением оптических свойств гуминовых кислот по

их же методике. Подвижный (активный) гумус (углерод) определяли модифицированным методом Блейра (Blair et al., 1995; Weil et al, 2003; Comprehensive Assessment..., 2016). Точность – 5%. Повторность – трёхкратная. Определение валового состава в почвенных образцах проводили рентгенофлуоресцентным методом на приборе рентгеновском «Спектроскан МАКС-GV». Реакцию почвенной среды (pH) и окислительно-восстановительный потенциал определяли потенциометрическим методом в почвенной суспензии с соотношением почва : вода 1:2,5 (Казеев и др., 2003). Содержание легкорастворимых солей определяли кондуктометрически. Емкость катионного обмена определяли по методу Бобко-Аскинази в модификации ГОСТ 17.4.4.01-84 для карбонатных почв. Содержание карбонатов определено газометрическим способом в трехкратной повторности по методу Шейблера (Воробьева, 2006).

Численность основных эколого-трофических групп почвенных микроорганизмов определяли методом посева и методом прямого люминесцентного микрокопирования. Сочетание этих методов позволяет охарактеризовать микробную сукцессию в почве (Звягинцев, 1987). Выделение микроорганизмов из почвенных образцов и определение численности основных агрономически полезных групп (бактерии, актиномицеты, грибы) проводили методом посева разведенной почвенной суспензии на твердые стерильные питательные среды в чашки Петри (Казеев и др., 2003). Для бактерий использовалась среда МПА (мясо-пептонный агар), для актиномицетов – агар Гаузе № 1 (АГ-1), для грибов – синтетическая среда Чапека-Докса (АЧД), для дрожжей – глюкозо-пептонный агар (ГПА). Разведение составляло: для бактерий – 10^{-5} , для актиномицетов и грибов – 10^{-3} , для дрожжей – 10^{-2} . Количественный учет численности бактерий проводился на 3–5-й день после посева, актиномицетов, грибов и дрожжей – на 7–10-й день. Методом комочков обрастания на среде Эшби определяли обилие бактерий *p.Azotobacter* (Кураков, 2001). Общую численность бактерий определяли методом люминесцентной микрокопии с окрашиванием проб акридиновым оранжевым. Проводили подсчет светящихся зеленым цветом клеток бактерий на инвертированном микроскопе фирмы ZEISS

модель AXIO Vert. A1 со светофильтром 450–490 нм (Казеев и др., 2003). Биомассу микроорганизмов определяли регидратационным методом, который основан на биоцидной обработке простым высушиванием почвы при умеренно высокой температуре (65–70°C, 24 ч.). Биомассу микроорганизмов определяли по приросту содержания водорастворимых соединений в высушенной почве по сравнению с контрольной свежей почвой. Обилие почвенных водорослей определяли методом люминесцентной микроскопии. Проводили подсчет водорослей на инвертированном микроскопе фирмы ZEISS модель AXIO Vert. A1 со светофильтром 365 нм. При просмотре почвенной суспензии под люминесцентным микроскопом водорослевые клетки выявляются за счет красного (на черном поле) свечения, обусловленного естественной флуоресценцией хлорофилла. Нитрифицирующую способность определяли потенциометрически с предварительным компостированием в течение месяца с водой и сульфатом аммония (Казеев и др., 2003, 2016).

Потенциальное дыхание почв определяли по Макарову в модификации А.Ш. Галстяна (1961, цит. по Казееву и др., 2003) с использованием в качестве поглотителя CO_2 0,1 н. раствор NaOH.

О ферментативной активности почв судили по активности разных классов ферментов: оксидоредуктаз (каталаза, дегидрогеназа) и гидролаз – (β -фруктофуранозидаза (инвертаза), фосфатаза). Определение ферментативной активности почв основано на учете количества переработанного в процессе реакции субстрата или образования продукта реакции в оптимальных условиях температуры, pH среды, концентрации субстрата и навески почвы. По рекомендации А.Ш. Галстяна (1978) активность почвенных ферментов изучали при естественной pH почвы. Активность каталазы и дегидрогеназы изучалась по методике А.Ш. Галстяна (1978), инвертазы и фосфатазы — по методу А.Ш. Галстяна в модификации Ф.Х. Хазиева (1990). Для оценки качества и состояния почв по показателям ферментативной активности почв каждого класса рассчитывали средние геометрические для ферментов каждого класса ($\text{GME}_{\text{ох}}$,

GME_{hd}) в абсолютных единицах (Hinojosa et al., 2004; García-Ruiz et al., 2008; Raiesi, Kabiri, 2016).

О фитотоксичности почв судили по изменению показателей интенсивности начального роста проростков (длина корней, длина зеленых проростков, масса корней (воздушно-сухая), масса зеленых проростков (воздушно-сухая) (Казеев и др., 2003, 2016). В качестве тест-объектов использовали озимую пшеницу *Triticum aestivum* и редис *Raphanus sativus*. Повторность – 4–6-кратная.

Все полученные данные представлены в пересчете на воздушно-сухую почву.

Для определения различий в уровне биогенности и биологической активности разных почв определяли интегральный показатель биологического состояния (ИПБС) почвы (Казеев и др., 1996, 2003, 2004; Колесников и др., 2000). Этот показатель оценивает совокупность биологических показателей, выраженных в разных единицах, и позволяет нивелировать случайные колебания, характерные для большинства биологических параметров. Для расчета ИПБС за 100% принимается максимальное значение каждого из показателей и по отношению к нему в процентах выражается значение этого же показателя в остальных образцах:

$$B_1 = (B_x / B_{\max}) \times 100\%,$$

где B_1 — относительный балл показателя,

B_x — фактическое значение показателя,

$B_{\max}$ — максимальное значение показателя.

После этого рассчитывают средний оценочный балл изученных показателей ИПБС почвы – аналогично расчету относительного балла показателя.

В литературе есть многочисленные факты успешного применения разных интегрированных индексов, основанных на комплексировании разных параметров (Казеев и др., 2003, 2016; Казеев, Колесников и др., 2012; Акименко и др., 2016; Kozun et al., 2022). Однако есть и другое мнение об ограничениях при использовании таких показателей. Например, С. Лю с соавторами (Liu et al.,

2020) пишут, что следует избегать усреднения активности ферментов, поскольку при этом игнорируются конкретные функции отдельных ферментов.

Статистическая обработка данных

Свойства почвы, особенно биологические, характеризуются высокой степенью пространственного варьирования и временной динамикой (Казеев и др., 2003). Поэтому для получения достоверных данных обязательна их тщательная статистическая обработка. В настоящих исследованиях были определены показатели вариации, проведены дисперсионный и корреляционный анализы, анализ пространственной структуры и др. (Дмитриев, 1995; Джогман и др., 1999). Статистическая обработка результатов исследования проведена с использованием статистического пакета Statistica 10.0 и Python 3.6.5 пакет Matplotlib. Рассчитаны основные показатели вариационной статистики: среднее $\pm$ ошибка среднего ($M \pm m$), стандартное отклонение (s), коэффициент вариации (CV) и другие.

Дисперсионный анализ проводили для оценки достоверности различий исследуемых показателей на полях с разной обработкой почв. Корреляционный анализ применяли для изучения тесноты и формы связи между различными показателями эколого-биологического состояния почвы. Результаты дисперсионного и корреляционного анализов были использованы при исследовании взаимосвязи и взаимообусловленности происходящих в почве процессов. При анализе данных в работе определены индексы и коэффициенты биологического разнообразия, кластерный анализ (Казеев, Колесников, 2012).

Всего в 2016–2024 гг. было отобрано более 1100 образцов почв, проведено более 50 000 анализов и определений 50 показателей (физических, химических, физико-химических, биохимических, микробиологических и др.).

4. РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

ПОГОДНЫЕ УСЛОВИЯ В ПЕРИОД ИССЛЕДОВАНИЙ 2016–2018 ГГ.

Поскольку большое влияние на физические и биологические свойства почв играет не только климат, но и конкретные погодные условия в момент

полевых исследований и пробоотбора, приведено подробное описание погодных условий в период динамических наблюдений за экологическим состоянием исследуемых почв в Октябрьском районе Ростовской области. Метеорологические параметры во время полевых исследований в период 2016–2018 гг. представлены согласно данным сайтов <http://rostovmeteo.ru> и <http://weatherarchive.ru>.

Исследования 2016 г.

Первый – влажный и теплый период исследований (3–5 июня 2016 г.), характеризуется средней температурой, варьирующей в диапазоне 23–24°C утром и 16–19°C вечером, ветер переменный северо-восточный скорость 1–2 м/с, атмосферное давление 752–753 мм рт. ст., облачная погода с переменным дождем. В первый срок наблюдения все исследуемые поля были подвержены значительному переувлажнению.

Второй – засушливый и теплый период исследований (25–26 июля 2016 г.), характеризуется средней температурой, варьирующей в диапазоне 26–30°C утром и 20–22°C вечером, ветер переменный северо-западный скорость 1 м/с, атмосферное давление 748–750 мм рт. ст., ясная погода, малооблачно.

Третий – засушливый и холодный период исследований (17–18 сентября 2016 г.), характеризуется средней температурой, варьирующей в диапазоне 18–22°C утром и 10–15°C вечером, ветер переменный северо-западный скорость 1–2 м/с, атмосферное давление 750–760 мм рт. ст., пасмурная погода, облачно.

Исследования 2017 г.

Первый срок исследований (холодный и влажный, апрель 2017 г.), характеризуется средней температурой воздуха +9 °C, относительной влажностью воздуха 70 %, атмосферным давлением 757 мм рт. ст., скоростью ветра около 6 м/с. В период с 8-го по 10-е, а также 14–17, 19–23 апреля прошли ливневые дожди, иногда со снегом.

День отбора образцов почв контрольных и опытных полей (2 апреля), характеризуется средней температурой воздуха +0,5 °С ночью и +10,9 °С днем, относительной влажностью воздуха 78,27 % ночью и 41,72 % днем, ветер переменный южный, южно-восточный, скорость 2–4 м/с, атмосферное давление 765 мм рт. ст., безоблачная погода.

Второй срок исследований (теплый и влажный, май 2017 г.) характеризуется средней температурой воздуха +15,6 °С, относительной влажностью воздуха 60 %, атмосферным давлением 763 мм рт. ст., скоростью ветра около 4 м/с. В период с 8-го по 10 мая, а также 4 и 17 мая прошли ливневые дожди с грозами.

День отбора образцов почв контрольных и опытных полей (20 мая) характеризуется средней температурой воздуха +6,9 °С ночью и +18,8 °С днем, относительной влажностью воздуха 91,4 % ночью и 40,0 % днем, ветер переменный северо-восточный, скорость 1–2 м/с, атмосферное давление 752 мм рт. ст., безоблачная погода.

Третий срок исследований (жаркий и сухой, июль 2017 г.) характеризуется средней температурой воздуха +24,5 °С, относительной влажностью воздуха 53 %, атмосферным давлением 750 мм рт. ст., скоростью ветра около 3 м/с. На протяжении всего месяца наблюдались грозы с осадками и ливневые дожди.

День отбора образцов почв контрольных и опытных полей (25 июля) характеризуется средней температурой воздуха +21,2 °С ночью и +33,3 °С днем, относительной влажностью воздуха 76,5 % ночью и 30 % днем, ветер переменный южный, юго-западный, скорость 1–3 м/с, атмосферное давление 748 мм рт. ст., облачная погода (облачность 40 %).

Четвертый срок исследований (теплый и сухой, сентябрь 2017 г.) характеризуется средней температурой воздуха +17,7 °С, относительной влажностью воздуха 61 %, атмосферным давлением 760 мм рт. ст., скоростью ветра около 5 м/с. В первой половине месяца наблюдались ливневые дожди.

День отбора образцов почв контрольных и опытных полей (12 сентября) характеризуется средней температурой воздуха +17 °С ночью и +23 °С днем, относительной влажностью воздуха 67,9 % ночью и 58,7 % днем, ветер переменный восточный, юго-восточный, скорость 3–6 м/с, атмосферное давление 753 мм рт. ст., безоблачная погода.

Пятый срок исследований (прохладный и сухой, октябрь 2017 г.) характеризуется средней температурой воздуха +10 °С, относительной влажностью воздуха 76 %, атмосферным давлением 755 мм рт. ст., скоростью ветра около 4 м/с. На протяжении всего месяца наблюдались слабые ливневые дожди, грозы с осадками, морось.

День отбора образцов почв контрольных и опытных полей (18 октября) характеризуется средней температурой воздуха +10,7 °С ночью и +14,5 °С днем, относительной влажностью воздуха 88 % ночью и 73 % днем, ветер переменный западный, юго-западный, скорость 1–3 м/с, атмосферное давление 760 мм рт. ст., облачная погода (облачность 30 %).

Исследования 2018 г.

Первый срок отбора апрель (13.04.2018 г.) характеризуется следующими климатическими параметрами: температура воздуха колебалась в диапазоне от +3°С до +28°С. Минимум температуры (+3°С) пришёлся на 4 апреля, а максимум (+28°С) был зафиксирован 27 апреля. Наименьшее значение температуры в среднем за день составило +6,7°С, и самым холодным днём оказалось 5 апреля. Наибольшая средняя температура воздуха равна +21°С, а самый тёплый день – 27 апреля. Относительная влажность колебалась в диапазоне от 28% до 93%. Самая низкая влажность (28%) была 30 апреля, а наивысшая влажность (93%) – 2 апреля. Наименьшее значение влажности воздуха в среднем за день составило 41,6%, и самым сухим днём оказалось 30 апреля. Наибольшая средняя влажность воздуха равна 77,7%, самый влажный день – 20 апреля.

Второй срок отбора май (26–27.05.2018 г.) характеризуется следующими климатическими параметрами: температура воздуха колебалась в диапазоне от

+8°C до +30°C. Минимум температуры (+8°C) пришёлся на 11 мая, а максимум (+30°C) был зафиксирован 5 мая. Наименьшее значение температуры в среднем за день составило +14°C, самым холодным днём оказалось 11 мая. Наибольшая средняя температура воздуха равна +23,9°C, а самый тёплый день – 6 мая. Относительная влажность колебалась в диапазоне от 27% до 76%. Самая низкая влажность (27%) была 5 мая, наивысшая влажность (76%) — 3 мая. Кроме того, наименьшее значение влажности воздуха в среднем за день составило 38,1% и самым сухим днём в мае оказалось 6 мая. Наибольшая средняя влажность воздуха равна 56,7%, а самый влажный день – 9 мая.

Третий срок отбора июль (12–13.07.2018 г.) характеризуется следующими климатическими параметрами: температура воздуха колебалась в диапазоне от +20°C до +34°C. Минимум температуры (+20°C) пришёлся на 19 июля, а максимум (+34°C) был зафиксирован 27 июля. Наименьшее значение температуры в среднем за день составило +23,4°C, и самым холодным днём оказалось 19 июля. Наибольшая средняя температура воздуха равна +29,6°C, а самый тёплый день – 27 июля. Относительная влажность колебалась в диапазоне от 32% до 91%. Самая низкая влажность (32%) была 29 июля, наивысшая влажность (91%) — 20 июля. Наименьшее значение влажности воздуха в среднем за день составило 39,4 %, и самым сухим днём оказалось 28 июля. Наибольшая средняя влажность воздуха равна 76,2%, самый влажный день – 19 июля.

Четвертый срок отбора сентябрь (18.09.2018 г.) характеризуется следующими климатическими параметрами: температура воздуха колебалась в диапазоне от +4°C до +32°C. Минимум температуры (+4°C) пришёлся на 27 сентября, а максимум (+32°C) был зафиксирован 1 сентября. Наименьшее значение температуры в среднем за день составило +11,9°C, и самым холодным днём в сентябре оказалось 26 сентября. Наибольшая средняя температура воздуха равна +26,3°C, а самый тёплый день – 1 сентября. Относительная влажность колебалась в диапазоне от 23% до 91%. Самая низкая влажность (23%) была 4 сентября, наивысшая влажность (91%) — 30 сентября. Наименьшее

значение влажности воздуха в среднем за день составило 33,7%, и самым сухим днём оказалось 5 сентября. Наибольшая средняя влажность воздуха равна 85,1%, самый влажный день – 16 сентября.

Пятый срок отбора ноябрь (07.11.2018 г.) характеризуется следующими климатическими параметрами (по состоянию на 23.11.2018 г.): температура воздуха колебалась в диапазоне от -6°C до $+14^{\circ}\text{C}$. Минимум температуры (-6°C) пришёлся на 18 ноября в 23:00, а максимум ($+14^{\circ}\text{C}$) был зафиксирован 2 ноября. Наименьшее значение температуры в среднем за день составило $-3,7^{\circ}\text{C}$, и самым холодным днём оказалось 22 ноября. Наибольшая средняя температура воздуха равна $+8,7^{\circ}\text{C}$, а самый тёплый день – 5 ноября. Относительная влажность колебалась в диапазоне от 53% до 95%. Самая низкая влажность (53%) была 7 ноября, а наивысшая влажность (95%) – 20 ноября. Кроме того, отметим, что наименьшее значение влажности воздуха в среднем за день составило 66,1% и самым сухим днём оказалось 2 ноября. Наибольшая средняя влажность воздуха равна 93,2%, а самый влажный день – 13 ноября.

На рисунке 10 приведена динамика средней температуры воздуха в исследуемом районе (<https://rp5.ru>). Сумма положительных температур составляет примерно 3200°C и достоверно не отличается в период 2016–2018 гг.

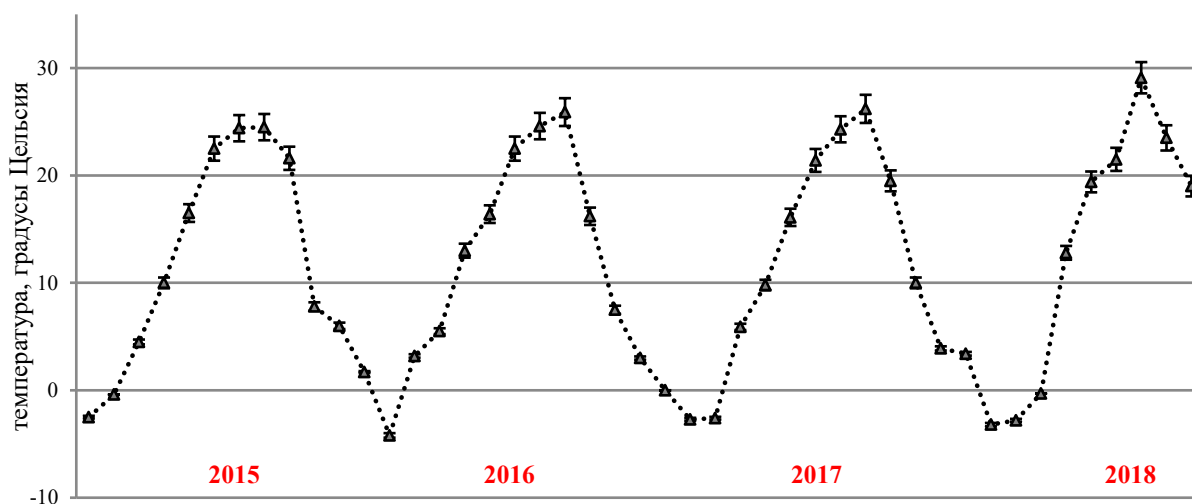


Рис. 10. Динамика среднемесячной температуры воздуха в 2015–2018 гг.

КОЛИЧЕСТВО ПОЖНИВНЫХ ОСТАТКОВ НА ПОЛЯХ ПРЯМОГО ПОСЕВА

В естественных ценозах целинных степей почва кроме растительности покрывается слоем отмерших растительных остатков мортмассы. Этот слой образует степной войлок, который, по словам В.В. Докучаева, в целинных степях сложно было резать даже ножом ввиду его прочности. Распашка почв полностью уничтожает растительность и наиболее биогенный слой степного войлока. Это значительно снижает численность и разнообразие почвенных организмов. Кроме того, существенно изменяются физические свойства почв, особенно ее гидротермический режим. Количество растительных остатков сельскохозяйственных культур поступает в почву в 2,6–3,5 раза меньше, чем естественной растительности (Новиков, Кисаров, 2012).

Решение проблемы возможно путем создания и постоянного наличия на поверхности слоя органической мульчи, что характерно для почв черноземного почвообразования, которые покрыты подстилкой из мертвого опада степных растений. Этот принцип реализуется в технологии прямого посева (No-Till), обеспечивающей постоянное и наименее затратное покрытие почвы слоем органической мульчи. Положительное действие мульчирующего слоя выражается в нескольких факторах (Поляков, Багиров, 2020):

1. Мульчирование соломой признано действенным способом повышения содержания почвенной влаги и снижения коэффициента водопотребления культур. Такая влагосберегающая функция органической мульчи – основание для её использования на засушливых территориях, включая степную зону Российской Федерации.
2. Фитосанитарная функция, основанная на аллелопатических свойствах мульчи и органических веществ, выделенных из стерни культурных растений. Водные экстракты вегетативных частей озимой ржи, тритикале и ячменя подавляют рост таких сорняков, как *Echinochloa crusgalli* и *Setaria verticillata*.

3. Мульчирование орошаемых участков снижает испарение, приводит к сокращению поливных норм и капиллярного поднятия солей, что снижает риск развития вторичного засоления.
4. Улучшение почвенных свойств, обеспечивающих ее плодородие. В частности, поступление органических веществ в почву. Преимущества технологии No-Till, по сравнению с рыхлением, в основном возрастают со временем, что в долгосрочной перспективе может определить достоверное увеличение запасов гумуса.
5. Мульча может снизить плотность сложения почв.
6. При мульчировании отмечали рост содержания доступного калия и фосфора и сокращение доли общего азота, что связано с его перехватом микробным сообществом почвы.
7. По мере увеличения массы мульчи чаще всего отмечают постепенный рост урожайности. Однако после накопления определенного ее количества такой эффект исчезает или происходят негативные изменения.

Кроме отмеченных эффектов образующийся при прямом посеве мульчирующий слой способствует повышению биогенности почвы за счет роста численности и биоразнообразия мезофауны, микроартропод и микроорганизмов (Акименко и др., 2016; Казеев и др., 2018, Минникова и др., 2020).

На обыкновенных черноземах юго-востока степи Украины в почве после озимой пшеницы органической массы накапливается 3,2–3,8 т/га, после кукурузы – 2,0–2,4, ячменя – 1,3–1,8 т/га. В севооборотах Центрального Предкавказья накапливается 3,8–4,2 т/га пожнивных остатков, удобрения увеличивали их количество на 5,9–9,7% (Демкин, 1999). Исследования в десятипольном зернопаропропашном севообороте на черноземах обыкновенных показали, что более всего растительной массы в слое 0–30 см оставалось после озимой пшеницы, возделываемой по чистому пару, – 4,1–5,0 и подсолнечника – 4,7–5,2 т / га. Вес корневых остатков озимой пшеницы превышал вес стерневых в 1,4–1,7 раза, ярового ячменя – в 1,9 раза (Новиков, Кисаров, 2012). За 12 месяцев разложение остатков пшеницы, ячменя и кукурузы составляет 53–

62% от первоначальной массы, при этом уже в первые два месяца разлагается 36–40% (Новиков, Кисаров, 2012).

Растительные остатки с широким отношением углерода к азоту не обеспечивают достаточного количества азота для метаболизма микроорганизмов при их высокой активности (Новиков, Кисаров, 2012). Когда быстро метаболизируемые субстраты (углеводы) истощаются, лимитирование питания сменяется от азота к углероду. «Критическое» соотношение С к N, характеризующее доступность микроорганизмам питательных веществ, содержащихся в остатках, и влияние их на почвенное плодородие, колеблется от 15 до 30 в зависимости от запаса минерального азота в почве, качества органических веществ, длительности их разложения. При повышении указанного значения процессы разложения замедляются, происходит иммобилизация азота. При меньших значениях идет интенсивная минерализация остатков в результате активизации деятельности микрофлоры.

Проведенные исследования показали значительный объем растительных остатков, оставляемых после уборки основной продукции на всех полях прямого посева (рис. 11). Исследования были направлены на изучение пожнивных остатков, остающихся на полях ИП Мокрикова В.И. с разными сельскохозяйственными культурами. Эти вещества формируют мульчирующий слой на поверхности почвы, который значительно влияет на гидротермический режим, физические и биологические свойства почв (Мокриков и др., 2017, 2020; Казеев и др., 2018, 2019). Особенно велико влияние мульчи на сохранение в почве влаги, что опосредованно повышает активность почвенной микрофлоры (Акименко и др., 2016).

Сохранение мульчи на поверхности почвы улучшает свойства почвы и увеличивает ее устойчивость к эрозийным процессам. Это достигается за счет повышения биологической активности почвы, улучшения физического состояния почв, уменьшения потери воды при испарении (Liu et al., 2005; Snapp et al., 2005; Upendra et al., 2006; Казеев и др., 2022, 2024; Ермолаев, 2023).

Озимая пшеница



Кукуруза



Подсолнечник



Рис. 11. Пожнивные остатки на полях прямого посева ИП Мокрикова В.И., август-сентябрь 2020 г.

Сбор растительных остатков был проведен для озимой пшеницы 19 августа 2020 года, для подсолнечника и кукурузы – 22 сентября 2020 года. Полученные результаты свидетельствуют об очень высоких значениях оставшихся на полях растительных остатков (табл. 9).

Количество остатков на полях озимой пшеницы более чем в 2–3 раза, а на полях с пропашными культурами в 2 раза превосходит литературные данные (Новиков, Кисаров, 2012). О большом количестве растительных остатков на поверхности почв при прямом посеве в Ставропольском крае пишут и другие авторы (Ермолаев и др., 2022; Ермолаев, 2023). На поле прямого посева, близкого к участку Д4, возможно максимальные значения были получены благодаря прошлогодним остаткам подсолнечника, сохранившимся в небольшом количестве. Однако их доля крайне невысока – не более 10–15%.

Таблица 9. Количество растительных остатков на поверхности почвы полей прямого посева ИП Мокрикова В.И., июль, август 2020 г.

Поле	Культура	Масса остатков, ц/га	
		М	m
Д4	озимая пшеница	170	11,1
Д8	озимая пшеница	124	13,8
Д1	подсолнечник	80	11,4
Д4	кукуруза	95	5,0

Высокая стерня способствует сохранению снега на полях прямого посева и накоплению влаги в почвах (Мокриков и др., 2018). Мульчирующий слой предохраняют почву от перегрева солнечными лучами и пересыхания летом. Такое высокое количество растительных остатков привносит в почву запасенную энергию Солнца и активизирует почвенную фауну и микрофлору, а также процессы новообразования гумусовых веществ.

Минерализация растительных остатков мульчирующего слоя проходит достаточно быстро в условиях высокой влажности и температуры. От мощного слоя толщиной несколько сантиметров непосредственно после уборки урожая к весне следующего года остаётся менее половины, а к лету большая

часть остатков культур сплошного сева (прежде всего озимой пшеницы) разлагается.

Ранее проведенные работы фиксировали остаточное количество растительных остатков на исследуемых полях в апреле и мае. К июню-июлю количество растительных остатков на поверхности почвы значительно уменьшается (рис. 12). Особенно это касается остатков озимой пшеницы и других культур сплошного сева, оставляющих значительный объем остатков. Большие по размеру части стеблей подсолнечника и кукурузы сохраняются значительно дольше, иногда до следующей осени.



Рис. 12. Изменение количества растительных остатков на поверхности почв полей ИП Мокрикова В.И. в зависимости от культуры и времени года

ОЦЕНКА ВОЗДЕЙСТВИЯ ПРЯМОГО ПОСЕВА НА ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ПОВЕРХНОСТНОГО СЛОЯ ЧЕРНОЗЕМОВ

Целью первого этапа исследований, проведенных в 2016 г., была сравнительная оценка воздействия длительного применения прямого посева на эколого-биологические свойства черноземов обыкновенных по сравнению с традиционной обработкой на основе отвальной вспашки. Эти исследования были выполнены на территории хозяйства ИП Мокрикова В.И. (в 2016 г. ООО «Донская нива»).

Первый – влажный и теплый период исследований (3–5 июня 2016 г.), по данным сайта GISMETEO, характеризуется средней температурой, варьирующей в диапазоне 23–24°C утром и 16–19°C вечером, ветер переменный северо-восточный скорость 1–2 м/с, атмосферное давление 752–753 мм рт. ст., облачная погода с переменным дождем. В первый срок наблюдения все исследуемые поля были подвержены значительному переувлажнению.

Второй – засушливый и теплый период исследований (25–26 июля 2016г.), характеризуется средней температурой, варьирующей в диапазоне 26–30°C утром и 20–22°C вечером, ветер переменный северо-западный скорость 1 м/с, атмосферное давление 748–750 мм рт. ст., ясная погода, малооблачно.

Третий – засушливый и холодный период исследований (17–18 сентября 2016 г.), характеризуется средней температурой, варьирующей в диапазоне 18–22°C утром и 10–15°C вечером, ветер переменный северо-западный скорость 1–2 м/с, атмосферное давление 750–760 мм рт. ст., пасмурная погода, облачно.

Температура почв

Исследование температурного режима показало достаточно равномерное распределение данных в 2016 г. на всех исследуемых участках (табл. 10). Была выявлена сезонная динамика хода температуры, достаточно типичная для данной территории. В целом можно сказать, что первый срок был теплым, второй – жарким, третий – прохладным. Это относится не только к дневным

температурам, но и особенно к ночным. В первые два срока температура почвы благоприятствовала высокой скорости протекания биологических процессов. В сентябре вследствие снижения температуры биологические процессы должны быть менее интенсивными.

Таблица 10. Температура почв ИП Мокрикова В.И., июнь 2016 г.

№	Вариант	Температура на разной глубине, см			
		воздух	0	5	10
1К	озимая пшеница	26,4	26	23	21
2	лен	24,8	23	21	20
2К	подсолнечник	24,1	26	24	23
3	кориандр	21,1	21	22	21
3К	озимая пшеница	19,1	19	20	20
4	кориандр	24,1	26	20	19
4К	ячмень	24,1	26	20	18
5	ячмень	21,7	19	16	14
5К	озимая пшеница	21,7	26	18	17
6	озимая пшеница	29,9	23	20	18
6К	озимая пшеница	29,9	25	22	19
7	озимая пшеница	23,4	23	18	17
7К	ячмень	23,4	23	21	20
8	озимая пшеница	23,8	24	22	20
8К	озимая пшеница	23,8	27	19	17
9	подсолнечник + донник	26,4	27	23	24
9К	подсолнечник	26,4	27	24	19
10	подсолнечник + донник	23,7	30	23	19
10К	кукуруза	23,7	29	24	29
11	озимая пшеница	23,7	25	22	19
11К	озимая пшеница	23,7	22	19	17
12	нут	20,1	26	25	23
12К	сафлор	20,1	26	25	22
13	донник	27	26	23	21
14	подсолнечник	27	28	26	23
15	подсолнечник + вика	27	29	25	22
16	подсолнечник + донник	24	28	24	22

Примечание: здесь и далее поля с пометкой К – контрольные поля со вспашкой, поля пометкой Д или без маркировки буквой – поля прямого посева

Влажность почв

Измерение влажности проводили двумя способами, в полевых условиях с помощью влагомера в 10-кратной повторности (табл. 11) и весовым методом в лаборатории перед микробиологическим посевом (табл. 12). Полученные данные показали более высокие значения, зарегистрированные полевым

методом вследствие определения этим методом показателя объемной влажности почвы. Для отражения влажности полученные значения необходимо делить на плотность почвы. Кроме того, определение влажности весовым методом проводилось в лабораториях спустя несколько часов после отбора образцов, что способствовало некоторому подсушиванию почвы. Однако полученные данные отражают объективные особенности влажности почв исследуемых участков.

Таблица 11. Влажность почвы, определенная влагомером, n=10

№	Вариант	3–5 июня	25–26 июля	17–18 сентября	Среднее за 3 срока
1д	лен	38,4	57,3	9,8	35,2
1к	озимая пшеница	39,0	44,0	7,2	30,0
2д	лен	50,0	55,8	15,2	40,3
2к	подсолнечник	45,1	54,7	11,6	37,1
3д	кориандр	56,6	26,4	5,9	29,6
3к	озимая пшеница	53,1	35,1	11,3	33,1
4д	кориандр	56,5	41,0	7,3	34,9
4к	ячмень	50,1	не опр.	15,3	32,7
5д	ячмень	38,6	61,9	8,6	36,4
5к	озимая пшеница	44,2	35,4	14,3	31,3
6д	озимая пшеница	60,2	45,1	20,4	41,9
6к	озимая пшеница	56,5	50,6	18,5	41,9
7д	озимая пшеница	55,4	55,9	23,2	44,8
7к	ячмень	54,6	36,9	14,1	35,2
8д	озимая пшеница	65,0	61,0	17,2	47,7
8к	озимая пшеница	60,5	53,7	17,8	44,0
9д	подсолнечник + донник	73,1	22,7	17,5	37,8
9к	подсолнечник	65,5	23,2	15,7	34,8
10д	подсолнечник + донник	74,1	29,3	15,4	39,6
10к	кукуруза	35,5	16,2	14,9	22,2
11д	озимая пшеница	55,9	45,1	28,6	43,2
11к	озимая пшеница	66,9	не опр.	23,1	45,0
12д	нут	66,0	34,7	17,9	39,6
12к	сафлор	58,9	33,7	8,9	33,8
13	донник	50,0	23,5	10,8	28,1
14	подсолнечник	69,6	23,3	13,2	35,4
15	подсолнечник + вика	57,6	26,3	15,3	33,1
16	подсолнечник + донник	70,4	30,6	12,6	37,9

В целом можно сделать вывод о большей влажности почв на полях с прямым посевом по сравнению с полями с традиционной обработкой почвы.

Таблица 12. Влажность почвы, определенная весовым методом

№	Вариант	% влажности почвы		
		3–5 июня	25–26 июля	17–18 сентября
1	Лен	23	20	5
1К	Озимая пшеница	18	19	6
2	Лен	25	26	11
2К	Подсолнечник	25	27	12
3	Кориандр	23	14	6
3К	Озимая пшеница	25	23	5
4	Кориандр	23	24	8
4К	Ячмень	24		7
5	Ячмень	28	23	7
5К	Озимая пшеница	24	23	6
6	Озимая пшеница	23	28	8
6К	Озимая пшеница	24	28	3
7	Озимая пшеница	27	28	7
7К	Ячмень	24	29	3
8	Озимая пшеница	24	25	9
8К	Озимая пшеница	26	27	6
9	Подсолнечник + донник	26	23	10
9К	Подсолнечник	22	19	8
10	Подсолнечник + донник	25	19	12
10К	Кукуруза	24	10	11
11	Озимая пшеница	26	25	16
11К	Озимая пшеница	22	24	18
12	Нут	26	27	8
12К	Сафлор	29	26	2
13	Донник	30	22	8
14	Подсолнечник	28	20	9
15	Подсолнечник + вика	24	18	9
16	Подсолнечник + донник	26	23	7

В течение сезона влажность исследуемых почв существенно изменялась в зависимости от количества выпадающих атмосферных осадков непосредственно перед измерениями или даже во время исследований (второй срок наблюдения для точек 1–8). Влажная весна и начало лета привели к высоким зарегистрированным значениям влажности на всех без исключения ключевых участках независимо от способа их обработки. Однако большие значения были отмечены на опытных полях по сравнению с контрольными. Это свидетельствует о большей способности почвы на опытных полях к накоплению и удерживанию влаги. То же самое относится и к сухому периоду наблюдения в сентябре. В целом значительно более низкие значения влажности на опытных

полях были выше, чем на контрольных участках. Исключение во второй и третий сроки составило поле №3Д, засеянное кориандром прямым посевом.

Влажность почвы в июне приблизительно одинакова на всех участках, это обусловлено влажным сезоном, который был на протяжении первого срока. В течение сезона влажность исследуемых почв существенно изменялась в зависимости от количества выпадающих атмосферных осадков непосредственно перед измерениями. Влажная весна и начало лета привели к высоким зарегистрированным значениям влажности на всех без исключения ключевых участках независимо от способа их обработки. Второй срок наблюдения в целом был более сухим, хоть и относительно влажным для данного сезона.

В сентябре влажность почвы была минимальна вследствие недостаточного выпадения атмосферных осадков. Иссущение почвы значительно повлияло на физические и биологические свойства почв. Среди исследуемых вариантов минимальные значения отмечены на полях с кориандром (участки №3, 4). Однако самые низкие средние значения за вегетацию были на контрольном поле кукурузы (вариант №10К).

Плотность почв

Почвы хозяйства ИП Мокрикова В.И. в значительном большинстве в 2016 г. обладали оптимальными для растений параметрами плотности (табл. 13). Сравнение почв, обрабатываемых по технологии прямого посева, с расположенными рядом опытными участками с традиционной технологией обработки показывает разные тенденции. Чаще всего на опытных полях отмечена такая же плотность, как на контрольных участках, или незначительное повышение значений. Однако отмечены и обратные тенденции понижения плотности почвы на опытных полях (например, участок Д1). Выявлена существенная динамика плотности почв. Особенно это характерно для контрольных почв, где проводится рыхление почвы в результате механических обработок (вспашка, боронование, культивации).

Таблица 13. Плотность почв ИП Мокрикова В.И., г/см³, в 2016 г.

№	Вариант	3–5 июня	25–26 июля	17–18 сентября
1	лен	1,0	1,2	1,2
1К	озимая пшеница	1,2	1,3	1,2
2	лен	1,1	1,3	1,2
2К	подсолнечник	1,0	1,2	1,3
3	кориандр	1,3	1,1	1,5
3К	озимая пшеница	1,1		1,3
4	кориандр	1,1	1,1	1,3
4К	озимая пшеница	1,2		1,3
5	ячмень	1,0	1,2	1,4
5К	озимая пшеница	1,1	1,1	1,4
6	озимая пшеница	1,3	1,1	1,3
6К	озимая пшеница	1,1	1,1	1,2
7	озимая пшеница	1,2	1,1	1,3
7К	ячмень	1,0	1,1	1,3
8	озимая пшеница	1,1	1,1	1,5
8К	озимая пшеница	1,0	1,1	1,4
9	подсолнечник + донник	1,0	1,1	1,2
9К	подсолнечник	1,0	1,1	1,1
10	подсолнечник + донник	1,2	1,3	1,3
10К	кукуруза	1,0	1,2	1,3
11	озимая пшеница	1,0	1,1	1,2
11К	озимая пшеница	1,1	0,9	1,2
12	нут	1,0	1,2	1,6
12К	сафлор	1,0	1,1	–

Максимальные значения плотности установлены в третий срок наблюдения. По сравнению с первым сроком (июнь), когда был самый влажный период, третий срок (сентябрь) был самым сухим, что привело к возрастанию плотности в среднем на 20% (при учете всех площадок). При этом плотность возросла на всех участках опытных и контрольных полей. Самыми плотными в сентябре были почвы на опытных участках под подсолнечником, нутот и кориандром. В этот период плотность была неблагоприятно высокой (1,40–1,53 г/см³). Высокая плотность также была отмечена в сентябре для полей с посевами зерновых на участках 5Д и 8Д (1,42–1,51). Следует отметить, что повышение плотности относится только к поверхностным горизонтам почвы. Ниже по профилю плотность почвы была на уровне стандартных для черноземов значений.

Сопротивление пенетрации почвы

Определённое с помощью ручного пенетromетра сопротивление пенетрации (твёрдость почв) показывает сравнительно небольшие отличия исследуемых участков между собой (табл. 14–16). Сопротивление пенетрации нарастает от поверхности вниз по профилю (Мокриков и др., 2017а, б, в). Существенные различия в значениях этого показателя установлены для различных выращиваемых сельскохозяйственных культур. Наиболее высоким показателем сопротивления пенетрации обладает почва, засеянная кориандром (№3, 4). Низкое значение показателя пенетрации, только в одном из пятидесяти случаев превышающее критическую отметку в 5 МПа, обусловлено высокой влажностью почвы в первый срок наблюдения. Влажная почва обладает высокой пластичностью и низкой твёрдостью, хорошо проницаема сельскохозяйственными орудиями. Однако во втором сроке наблюдений установлено значительное повышение твёрдости почвы практически на всех исследуемых полях. Сопротивление пенетрации увеличилось в несколько раз, особенно на участке 3Д с кориандром, где она достигает 9,9 МПа уже на глубине 15 см. Критическая твёрдость почвы, превышающая 5 МПа в 27 из 50 определяемых значений показаний.

Установлено, что значения сопротивления пенетрации в опытных полях значительно отличаются от контрольных. Например, на участке 1Д сопротивление пенетрации более чем в два раза выше, чем на участке 1К, а между участками 3Д и 3К разница увеличивается в три раза. Таким образом, можно сделать вывод, что технология No-Till способствует значительному переуплотнению почвы на исследуемых участках в сухой период. Во влажный период различия тоже имеются, но не настолько значительные.

Таблица 14. Влияние прямого посева на сопротивление пенетрации почв ИП Мокрикова В.И., июнь 2016 г.

Глубина, см	Д1	К1	Д2	2К	Д3	3К	Д4	4К	5Д	5К	Д6	6К	Д7	7К	Д8	8К	9д	9К	Д10	11К	Д11	11К	12Д	12К
2,5	0,9	1,5	1,8	1,3	1,4	0,7	1,7	0,6	1,3	1,1	1,0	0,6	0,9	0,8	0,6	0,3	0,9	0,5	0,5	0,9	0,5	0,5	1,0	0,7
5	1,4	1,9	2,3	1,5	2,0	1,2	2,2	1,2	2,6	1,5	2,3	1,2	1,5	1,2	1,3	1,0	1,1	1,4	1,0	1,1	1,4	1,0	1,6	1,3
10	2,3	2,1	2,7	1,4	2,3	1,4	2,5	1,7	3,3	1,9	3,0	1,8	2,3	1,9	1,4	1,5	1,4	2,4	1,1	1,4	2,4	1,1	2,0	1,4
15	2,6	2,2	3,5	1,6	2,5	1,9	2,7	2,1	3,6	2,4	3,3	2,2	2,6	2,4	1,5	2,0	1,6	2,6	1,2	1,6	2,6	1,2	2,4	1,9
20	2,8	2,4	3,6	1,7	2,8	2,2	2,6	2,4	3,7	2,7	3,2	2,2	2,7	2,6	1,5	2,3	1,7	2,9	1,3	1,7	2,9	1,3	2,7	2,6
25	2,8	2,5	3,7	1,9	2,7	2,4	2,6	2,3	3,6	2,5	3,1	2,5	2,8	2,6	1,6	2,7	1,9	3,2	1,7	1,9	3,2	1,7	2,8	3,1
30	2,9	2,5	3,7	1,9	2,6	2,6	2,5	2,3	3,8	2,5	3,1	2,7	3,0	2,7	2,2	2,7	2,1	3,1	2,2	2,1	3,1	2,2	3,0	3,2
35	2,8	2,5	4,2	2,2	3,2	3,1	2,8	2,9	3,4	2,8	3,6	3,0	3,4	2,9	2,7	2,8	2,2	3,3	2,7	2,2	3,3	2,7	3,3	3,7
40	3,2	2,4	4,6	2,7	3,6	3,4	3,1	3,7	4,6	3,8	4,2	3,8	3,7	3,0	3,1	3,0	2,4	3,5	3,0	2,4	3,5	3,0	3,4	3,8
45	3,8	2,3	4,7	3,2	3,7	3,8	3,6	4,1	6,0	4,7	4,9	4,6	3,9	3,5	3,5	3,4	2,7	3,3	3,1	2,7	3,3	3,1	3,6	3,9

Таблица 15. Влияние прямого посева на сопротивление пенетрации почв ИП Мокрикова В.И., июль 2016 г.

Глубина, см	1д	1к	2д	2к	3д	3к	4д	4К	5д	5к	6д	6к	7д	7к	8д	8к	9д	9к	10д	10к	11д		12д	12к
2,5	0,3	0,2	0,6	0,2	1,6	0,6	0,7	-	0,5	0,1	0,3	0,1	0,2	0,1	0,5	0,3	0,8	1,1	1,6	0,8	0,5	-	1,5	0,6
5	1,0	0,5	1,0	0,5	4,2	1,3	1,5	-	1,1	0,2	0,3	0,1	0,9	0,1	0,8	0,6	3,7	2,7	5,0	2,6	1,3	-	2,6	2,4
10	1,6	0,9	1,6	0,9	7,6	2,3	4,3	-	1,4	0,3	1,1	0,5	1,3	0,4	1,5	1,3	8,1	5,8	7,0	5,5	3,0	-	3,4	9,1
15	2,5	1,2	1,8	1,8	9,9	3,2	5,8	-	1,6	0,9	2,5	1,5	2,2	1,6	2,3	3,6	6,8	5,2	6,6	4,6	3,4	-	3,2	9,3
20	4,1	1,8	3,5	3,2	7,2	3,1	6,0	-	2,4	2,3	4,5	2,3	3,6	2,7	3,2	4,3	5,7	4,8	5,9	4,5	3,7	-	2,6	9,1
25	5,2	2,2	5,1	3,7	-	2,8	5,8	-	2,9	2,9	4,6	3,2	4,2	3,1	3,7	4,7	5,8	6,0	5,6	4,7	3,4	-	2,8	9,1
30	5,1	2,3	5,5	4,5	-	2,9	5,3	-	3,0	3,2	4,7	3,8	4,3	3,1	4,1	4,6	5,2	6,3	4,8	5,7	3,9	-	3,1	8,3
35	5,3	2,4	6,1	5,5	-	2,8	6,0	-	3,0	3,1	5,0	4,2	4,4	3,6	4,8	4,3	5,8	6,3	5,5	7,2	4,2	-	3,7	6,8
40	5,4	2,6	6,9	6,1	-	3,0	6,0	-	3,3	3,3	5,3	4,3	4,1	4,4	5,5	4,1	5,7	6,3	6,0	7,5	4,4	-	3,6	6,8
45	6,0	3,3	7,2	6,2	-	3,2	6,3	-	3,5	3,6	5,8	4,7	4,4	4,7	5,7	4,2	5,0	5,9	6,6	7,4	4,4	-	3,6	7,2

Таблица 16. Влияние прямого посева на сопротивление пенетрации почв ИП Мокрикова В.И., сентябрь 2016 г.

Глубина, см	1	1к	2	2к	3д	3к	4д	4к	5д	5к	6д	6к	7д	7к	8д	8к	9д	9к	10д	10к	11д	11к	12д	12к
2,5	2,3	3,4	1,4	0,9	3,8	0,1	4,4	2,7	1,7	0,1	0,2	0,1	3,4	0,1	2,6	0,1	1,1	0,1	3,5	1,4	0,4	0,2	2,4	0,1
5	4,6	6,6	3,8	2,4	5,9	0,1	7,5	4,0	2,8	0,1	1,1	0,1	4,8	0,1	4,4	0,2	2,6	1,2	6,8	3,6	1,5	0,7	4,7	0,1
10	7,2	7,1	5,7	6,0	6,5	0,4	7,3	4,1	6,2	0,8	3,7	3,1	7,1	2,0	6,7	2,8	6,2	5,3	7,6	8,9	3,5	3,1	5,2	2,9
15	5,8	7,3	6,1	7,2	6,6	1,9	4,5	6,2	6,9	3,5	4,1	5,7	6,8	2,5	5,6	5,8	8,4	5,5	7,5	7,9	3,7	3,2	5,3	2,7
20	4,7	7,1	5,0	7,4	6,6	4,4	3,5	5,5	7,2	5,9	4,1	5,7	5,8	3,8	5,8	5,6	7,1	5,6	6,1	8,5	3,9	3,3	5,7	7,5
25	4,8	6,9	4,3	6,6	6,1	4,5	3,4	4,7	6,7	6,5	4,2	5,6	5,5	5,5	5,5	6,0	5,5	4,2	5,4	9,3	4,2	3,4	5,6	6,8
30	5,2	6,4	5,3	5,7	8,0	3,5	3,0	5,0	7,0	6,8	4,2	6,1	5,3	5,7	5,4	6,1	5,2	4,5	5,6	10,3	4,7	3,4	6,1	8,9
35	5,6	6,0	5,4	6,1	7,4	3,6	3,3	6,4	7,2	7,0	3,1	6,8	6,0	5,7	5,8	8,4	7,0	5,1	7,6	11,2	4,9	3,3	5,9	8,9
40	6,8	4,8	7,3	7,4	8,3	3,9	3,3	6,2	6,4	7,7	4,2	6,8	6,0	6,0	5,9	9,0	7,8	6,1	8,3	12,7	4,6	3,1	6,4	8,5
45	7,7	5,0	8,6	9,1	9,1	4,7	3,9	6,7	6,9	6,8	6,0	6,9	7,2	7,0	6,0	9,1	8,5	5,8	9,2	9,3	4,4	3,3	5,8	8,3

Дальнейшее высыхание почвы привело к еще большему повышению значений сопротивления пенетрации в сентябре до сверхвысоких значений 10–12 МПа (см. табл. 16). Твердость увеличилась как на контрольных участках, так и на опытных. Максимальная плотность отмечена на глубинах более 10 см на полях с пропашными культурами, независимо от обработки почвы. Верхние слои почв участков с традиционной обработкой на большинстве полей были разрыхлены в результате обработки (вспашки, боронования).

Структура почв

Полевые исследования показали достаточно хорошую оструктуренность почв исследуемой территории в первые месяцы лета 2016 года. В июле и сентябре почва сильно уплотнилась, и структура значительно ухудшилась. На посевах пропашных культур стали преобладать глыбистые структурные отдельности, водопрочность агрегатов значительно снизилась (табл. 17).

Таблица 17. Водопрочность агрегатов почв ИП Мокрикова В.И., 2016 г.

№	Вариант	3–5 июня	25–26 июля	17–18 сентября
1	лен	40	49	43
1К	озимая пшеница	20	не опр.	40
2	лен	62	9	44
2К	подсолнечник	19	38	33
3	кориандр	54	28	43
3К	озимая пшеница	71	61	57
4	кориандр	42	23	36
4К	ячмень	29	не опр.	38
5	ячмень	53	13	33
5К	озимая пшеница	22	16	39
6	озимая пшеница	57	30	37
6К	озимая пшеница	75	15	38
7	озимая пшеница	22	35	41
7К	ячмень	59	23	48
8	озимая пшеница	62	11	34
8К	озимая пшеница	63	26	57
9	подсолнечник + донник	86	10	18
9К	подсолнечник	89	15	32
10	подсолнечник + донник	74	не опр.	25
10К	кукуруза	43	26	41
11	озимая пшеница	79	39	45
11К	озимая пшеница	53	34	33
12	нут	88	17	44
12К	сафлор	90	44	69

Если в первый срок наблюдения большая часть вариантов обладала хорошей и отличной водопрочностью агрегатов, то во второй и третий сроки водопрочность была на удовлетворительном и неудовлетворительном уровнях. Однозначного влияния прямого посева на водопрочность агрегатов не выявлено.

Химические и физико-химические свойства почв

Исследования реакции среды выявили оптимальные параметры для выращивания большинства сельскохозяйственных культур (табл. 18).

Таблица 18. Реакция среды (pH_{H_2O}) ИП Мокрикова В.И.

№	Вариант	3–5 июня	25–26 июля	17–18 сентября
1	лен	7,5	7,6	7,4
1К	озимая пшеница	7,8	7,6	7,6
2	лен	7,7	7,2	7,4
2К	подсолнечник	7,7	7,5	7,5
3	кориандр	7,7	7,2	6,6
3К	озимая пшеница	7,9	7,3	7,3
4	кориандр	7,9	7,5	7,1
4К	ячмень	7,8	не опр.	7,4
5	ячмень	7,6	7,5	7,4
5К	озимая пшеница	7,8	7,6	7,4
6	озимая пшеница	7,3	6,8	7,4
6К	озимая пшеница	7,2	7,1	7,4
7	озимая пшеница	7,3	6,9	6,7
7К	ячмень	7,8	7,3	6,4
8	озимая пшеница	7,0	6,8	7,2
8К	озимая пшеница	7,7	7,5	7,2
9	подсолнечник + донник	6,5	6,7	6,7
9К	подсолнечник	7,9	7,5	7,3
10	подсолнечник + донник	7,8	7,3	7,0
10К	кукуруза	7,3	6,5	6,5
11	озимая пшеница	7,8	7,5	7,6
11К	озимая пшеница	7,6	7,5	7,3
12	нут	6,7	6,8	6,3
12К	сафлор	7,1	7,3	7,0

Показатель достаточно устойчив в течение исследуемого периода. На всех сроках определения значения pH варьировали от 6,5 до 7,9 единицы. Наиболее высокие значения исследуемого показателя ($pH=7,5-7,9$) относятся

к карбонатным почвам. Минимальные значения выявлены для опытных полей 9 и 12 (рН=6,3–6,8) с нутом и подсолнечником.

Значения Eh, характеризующие окислительно-восстановительные условия в исследуемых черноземах, хотя и варьировали на полях с разными культурами, способами обработки и сроками наблюдения, не показали неблагоприятных процессов в почвах. Содержание легкорастворимых солей в исследуемых почвах было на низком уровне, характерном для зональных черноземов. Значительных концентраций солей, способных повлиять на биологические процессы, не было обнаружено. Отмечено некоторое повышение значений показателя во второй и третий сроки по сравнению с первым, что связано с более засушливыми условиями в июле–сентябре.

Содержание карбонатов в почвах исследуемой территории характеризует их таксономическую принадлежность на уровне рода (табл. 19).

Таблица 19. Содержание карбонатов в почвах ИП Мокрикова В.И., %

№	Вариант	3–5 июня	25–26 июля	17–18 сентября
1	лен	1,8	1,5	1,6
1К	озимая пшеница	0,7	2,6	2,1
2	лен	0,7	1,0	0,8
2К	подсолнечник	1,1	1,5	1,5
3	кориандр	1,7	0,2	0
3К	озимая пшеница	1,5	1,3	0
4	кориандр	1,8	2,5	3,0
4К	ячмень	0	0	3,8
5	ячмень	0	1,1	0
5К	озимая пшеница	0	1,0	0
6	озимая пшеница	0	0	0
6К	озимая пшеница	0	0	0
7	озимая пшеница	0	0	0
7К	ячмень	1,6	0,5	0
8	озимая пшеница	0	0	0
8К	озимая пшеница	0	3,0	2,0
9	подсолнечник + донник	0	–	
9К	подсолнечник	1,2	1,2	1,2
10	подсолнечник + донник	0	0,7	0
10К	кукуруза	0	0	0
11	озимая пшеница	3,8	4,8	3,4
11К	озимая пшеница	0	0	0
12	нут	0	0	0
12К	сафлор	0	0	0

Черноземы характеризуются варьированием глубины выделения свободных карбонатов, определяемых на качественном уровне путем воздействия 10% соляной кислоты. По характеру вскипания определяют примерный уровень содержания карбонатов в почве (Вальков и др., 2004). Очень высокое содержание карбонатов в почвах может привести к хлорозу листьев растений (Вальков и др., 2008а).

Исследованиями не выявлено высоких концентраций карбонатов кальция в поверхностных горизонтах почв. Однако содержание карбонатов на уровне около 1% и более дает право отнести почву к карбонатному роду черноземов. Такое содержание карбонатов не только повышает реакцию почвенной среды, но и значительно влияет на химические и биологические процессы в почвах. Например, на фракционный состав гумуса, активность каталазы и др.

Валовой состав почв

Исследования валового состава для исследуемых почв показали типичные для черноземов значения (табл. 23). Силитный состав представлен соединениями кремния (60–65% по SiO_2) и алюминия (11–12% по Al_2O_3) с содержанием железа на уровне 4–6% (по Fe_2O_3). Содержание других элементов значительно ниже по сравнению с вышеуказанными кремнием, алюминием и железом. Среди прочих важно содержание кальция, который в составе карбонатов формирует нейтральную или слабощелочную среду. Его содержание варьирует больше, чем содержание других элементов (1,3–3,9% по CaO). Его повышенное содержание характерно для карбонатных родов черноземов. В связи с этим почвы, богатые кальцием в виде карбонатов, диагностированы как черноземы карбонатные, тогда как почва на других участках относится к слабощелочным таксонам. При этом повышение содержания соединений кальция (до 4,9%) происходит в сухие сезоны благодаря миграции почвенных растворов, которые переносят и осаждают карбонаты кальция в поверхностном слое почвы.

За исключением кальция следует отметить постоянство элементного состава черноземов исследуемых участков в течение всего периода наблюдений.

О консервативности валового состава почв еще в 1977 году в своей работе утверждал В.Ф. Вальков. В связи с этим не отмечено никаких изменений валового состава черноземов на полях с разными посевами.

Таблица 23. Валовой состав черноземов ИП Мокрикова В.И., июнь 2016 г.

Элемент	SiO ₂	Fe ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	K ₂ O	TiO ₂	P ₂ O ₅
1 д	63,3	4,7	11,2	2,6	1,4	2,0	0,8	0,17
1 к	64,4	4,3	11,0	1,9	1,2	2,0	0,7	0,15
2 д	63,1	5,6	12,6	1,8	1,4	2,2	0,8	0,17
2 к	62,1	5,6	12,2	2,1	1,4	2,2	0,8	0,16
3 д	62,5	5,1	11,8	2,4	1,4	2,1	0,8	0,18
3 к	62,1	5,1	11,5	2,5	1,4	2,1	0,8	0,17
4 д	62,1	5,1	11,8	2,6	1,5	2,1	0,8	0,17
4 к	60,0	5,1	11,5	3,8	1,7	2,0	0,8	0,17
5 д	65,0	5,1	11,8	1,3	1,3	2,5	0,8	0,18
5 к	64,4	5,1	11,7	1,7	1,3	2,3	0,8	0,18
6 д	62,9	5,3	11,8	1,6	1,3	2,2	0,8	0,18
6 к	63,8	5,3	11,8	1,5	1,3	2,1	0,8	0,16
7 д	63,1	5,3	11,6	1,5	1,3	2,2	0,8	0,16
7 к	61,5	5,3	11,8	2,5	1,5	2,1	0,8	0,16
8 д	63,0	5,6	12,1	1,4	1,3	2,2	0,8	0,15
8 к	62,2	5,5	12,4	2,1	1,4	2,2	0,8	0,17
9 д	63,0	5,4	11,8	1,6	1,4	2,2	0,8	0,19
9 к	62,4	5,2	12,0	2,3	1,4	2,1	0,8	0,14
10 д	62,8	5,5	12,2	1,9	1,4	2,2	0,8	0,19
10 к	63,8	5,5	11,9	1,4	1,3	2,1	0,8	0,14
11 д	59,5	5,6	12,4	3,9	1,7	2,0	0,8	0,17
11 к	61,8	6,0	12,6	1,7	1,4	2,0	0,8	0,15
12 д	62,8	5,7	12,1	1,5	1,4	2,1	0,8	0,17
12 к	62,9	5,6	12,1	1,6	1,3	2,1	0,8	0,15

Содержание тяжелых металлов

Согласно проведенным исследованиям (табл. 24), валовое содержание тяжелых металлов в почвах ИП Мокрикова В.И. в целом соответствуют значениям, характерным для почв данной зоны. Все металлы содержатся в дозах, не превышающих опасного уровня. Исключением является хром, содержание которого в некоторых случаях превышает ПДК (100 мг/кг), но это характерно для почв степной зоны. В некоторых вариантах содержание валового свинца также близко к ПДК (варианты 2К, 11К, 12). Однако можно отметить, что в целом загрязнения исследуемых почв тяжелыми металлами не зафиксировано.

**Таблица 24. Содержание тяжелых металлов в черноземах
ИП Мокрикова В.И., июнь 2016 г., мг/кг**

Элемент	MnO	Sr	V	Cr	Zn	Ni	Cu	Pb	Co	As
1 д	860,6	145,3	118,0	95,6	74,6	47,8	38,9	14,7	6,9	9,3
1 к	702,0	151,4	104,2	104,0	57,9	40,0	31,4	4,3	2,1	7,8
2 д	1007,2	166,3	128,9	103,2	89,2	61,5	50,8	27,0	12,8	11,5
2 к	1058,2	152,3	125,2	102,7	88,2	61,2	47,7	32,6	12,5	12,7
3 д	971,3	165,6	121,4	98,5	76,5	54,1	43,2	17,5	9,0	10,2
3 к	956,6	158,3	118,3	103,0	78,4	55,1	42,7	21,1	9,3	10,8
4 д	884,1	175,1	118,7	101,2	78,6	57,0	45,0	10,5	9,0	9,1
4 к	883,0	165,6	121,7	93,0	81,0	55,1	42,6	23,6	8,2	11,2
5 д	1040,8	186,8	120,6	107,0	77,6	54,4	43,0	13,1	7,3	9,1
5 к	935,8	201,6	122,0	109,6	79,7	55,2	47,2	10,8	10,4	8,9
6 д	950,6	155,9	116,8	104,5	81,1	56,9	43,7	25,4	6,0	11,4
6 к	945,3	161,4	124,3	121,6	82,6	57,7	46,4	25,6	9,2	11,5
7 д	993,7	156,7	117,2	108,6	78,5	55,6	40,6	23,7	4,8	11,1
7 к	935,9	172,6	118,9	106,6	81,8	58,3	44,7	22,6	7,9	11,1
8 д	995,5	157,9	122,1	104,3	85,5	60,8	47,1	29,3	9,7	12,1
8 к	968,1	159,8	122,4	110,3	93,0	61,2	46,6	20,9	10,0	10,7
9 д	1001,9	173,0	120,2	99,4	84,7	61,1	47,3	26,7	8,8	11,8
9 к	889,7	168,9	116,5	105,5	81,4	56,3	43,3	16,9	6,7	10,0
10 д	955,1	159,4	123,9	132,0	90,1	60,9	49,3	25,1	11,8	11,3
10 к	1052,1	155,2	120,9	98,8	83,2	59,9	47,0	24,3	10,3	11,1
11 д	1105,0	174,8	125,6	100,6	90,3	62,9	52,7	24,2	14,5	11,5
11 к	1111,7	163,7	126,5	104,8	94,7	64,9	50,8	35,2	12,9	13,1
12 д	1034,0	151,4	122,4	113,3	89,7	63,3	50,4	33,0	11,6	12,9
12 к	1048,3	161,5	125,2	100,9	84,9	61,0	49,4	27,4	11,3	12,0

Гумусовое состояние

Результаты исследования содержания общего гумуса в черноземах ИП Мокрикова В.И. представлены в таблице 20. Выявлено, что исследуемые почвы относятся к разным видам черноземов – малогумусным с градацией 4–6% и слабогумусированным с содержанием гумуса менее 4%. При этом расположенные рядом поля с разной обработкой могут быть отнесены к разным видам, например, контрольный вариант (№2К) отнесен к слабогумусированному чернозему (3,5–3,8% гумуса), а расположенное в 50 м опытное поле с прямым посевом (вариант №2) – к малогумусному чернозему (4,1–4,3% гумуса). Зачастую почва в течение исследуемого времени с начала июня по середину сентября может изменять содержание гумуса весьма существенно и переходить из категории в категорию. Это связано с сезонной динамикой содержания

гумуса в черноземах (Гончарова и др., 1990; Безуглова, 2001; Казеев и др., 2004; Мясникова и др., 2015, 2016).

Чаще всего пониженное содержание гумуса определялось в первый срок наблюдения в июне (варианты 1, 3, 4, 5, 6, 7, 9К, 11К, 12К). Это связано с повышенной влажностью почвы с интенсивными минерализационными процессами вследствие высокой биологической активности.

Таблица 20. Содержание гумуса (%) в почвах ИП Мокрикова В.И.

№	Вариант	общий гумус, %		
		3–5 июня	25–26 июля	17–18 сентября
1	лен	3,6	4,3	3,9
1К	озимая пшеница	2,8	3,1	2,4
2	лен	3,8	3,5	3,6
2К	подсолнечник	4,1	4,3	4,1
3	кориандр	3,8	4,7	4,5
3К	озимая пшеница	4,3	4,4	5,1
4	кориандр	3,7	4,7	4,9
4К	ячмень	3,7	не опр.	4,5
5	ячмень	3,5	4,4	4,5
5К	озимая пшеница	3,5	3,4	3,9
6	озимая пшеница	4,5	5,0	4,7
6К	озимая пшеница	4,5	4,9	4,5
7	озимая пшеница	5,0	6,3	5,9
7К	ячмень	4,5	5,5	6,4
8	озимая пшеница	4,5	4,6	4,1
8К	озимая пшеница	4,0	3,5	4,6
9	подсолнечник + донник	5,2	4,2	5,6
9К	подсолнечник	3,8	4,5	4,5
10	подсолнечник + донник	4,1	4,2	4,6
10К	кукуруза	4,8	4,3	5,1
11	озимая пшеница	3,7	3,8	3,5
11К	озимая пшеница	4,2	5,5	5,3
12	нут	5,4	4,9	5,5
12К	сафлор	4,3	5,9	5,7

При этом преобладают процессы минерализации гумуса в почвах. В сухие месяцы содержание гумуса было на более высоком уровне, что связано с аккумуляцией органического вещества и его консервацией вследствие сухости почвы и консервации при этом биологической активности. Однако нередко содержание гумуса слабо варьировало в течение срока наблюдения (варианты 1К, 2К, 5, 5К, 6, 6К, 8, 8К, 10, 11), а в некоторых случаях отмечено повышенное

содержание гумуса в июне по сравнению с другими сроками наблюдения (вариант №2). Различия в сезонной динамике гумуса связаны как с погодными особенностями, так и с видом почвы, выращиваемой культуры и типом обработки земель.

Как показывают литературные данные (Soane et al., 2012; Яников, 2014; Mangalassery et al., 2015; Ferreira et al., 2024), при прямом посеве содержание органического вещества возрастает по сравнению с традиционной и минимальной системами обработки. Это связывают с уменьшением воздействия на почву после прекращения избыточного турбирования при вспашке и других видах обработки почвы. Также большую роль играет формирование мульчирующего слоя на поверхности почвы из растительных остатков после уборки основной продукции. Мульча, с одной стороны, улучшает физические свойства почв и в то же время служит источником гумусовых веществ при гумусообразовании. Однако на исследуемых полях мульчирующий слой большой мощности не формируется. Несмотря на то, что на поверхности большинства опытных полей с прямым посевом отмечено наличие значительного количества стерни и пожнивных остатков растений предыдущего года, сплошного слоя значительной мощности не было отмечено ни разу. Возможно, это связано с быстрым разложением органических остатков в условиях высокой биологической активности почвенных беспозвоночных и микроорганизмов. В результате, как и в лесных почвах гор Западного Кавказа, где подстилка в середине года маломощна и фрагментарна, на черноземах ИП Мокрикова В.И. не формируется мощный мульчирующий слой из остатков растений возрастом в несколько лет. Другой причиной могут быть палы растительных остатков в результате антропогенного воздействия. При выжигании стерни большая часть сухих растительных остатков катастрофически быстро минерализуется. В любом случае выяснение особенностей гумусообразования при прямом посеве на полях ИП Мокрикова В.И. требует дальнейших исследований. В результате проведенных сезонных исследований на исследуемых полях с разными системами обработки земель не выявлено какой-нибудь одной

закономерности (Мокриков и др., 2020). Отмечены как значительные повышения содержания общего гумуса в почвах при прямом посеве (варианты №1 и 5), так и некоторое снижение его значений (2,10,11). В большинстве случаев изменения были либо недостоверны, либо разнонаправлены в течение трех сроков наблюдения (№3, 4, 6, 7, 8, 9, 12). В некоторых случаях (варианты №10,11,12) на содержание гумуса могли повлиять эрозионные процессы, распространенные здесь ранее ввиду ощутимых уклонов к линейным потяжинам и ложбинам. Однако на длинном эрозионно-опасном склоне на смытых почвах участка №1 прямой посев существенно ослабил эрозионное разрушение и повысил содержание гумуса по сравнению с участком традиционной отвальной вспашки. Вопрос об изменении содержания гумуса дискутируется в литературе до сих пор (Soane et al., 2012) и требует дополнительных специальных исследований. Для более углубленного исследования гумусного состояния кроме содержания общего гумуса было проведено изучение его качественного состава.

В результате проведенного изучения качественного состава гумуса было выявлено различие почв исследуемых вариантов от выращиваемой культуры и вида посева (табл. 21,22). Большинство исследуемых вариантов по результатам анализов в соответствии с градациями Л.А. Гришиной и Д.С. Орлова (1978) были отнесены к фульватно-гуматному типу гумуса, что характерно для зональных черноземов (Вальков и др., 2002, 2008, 2012). Однако были зафиксированы почвы с гуматным типом с соотношением Сгк:Сфк более двух единиц (варианты № 8, 8К, 9, 12, 12К). В сентябре было отмечено понижение соотношения Сгк:Сфк во многих вариантах, в некоторых случаях даже до гуматно-фульватного типа гумуса (варианты №1, 1К, 2, 2К, 4;8, 11К). При этом в почвах вариантов №7 и 7К, наоборот, произошло расширение этого соотношения. Снижение соотношения Сгк:Сфк в сентябре по сравнению с июлем было отмечено для гумуса почв полей ИП Мокрикова В.И., расположенных в непосредственной близости от исследуемой территории.

Степень гумификации в почвах всех вариантов колеблется в пределах 32–58%, что соответствует высокому и очень высокому уровню. Этот показатель несколько снизился в сентябре до 30–48%. Разные варианты обработки почвы в июле и сентябре обладали практически идентичными значениями степени гумификации. Было отмечено как повышение, так и понижение показателя гумификации в небольших пределах при использовании технологии прямого посева по отношению к традиционной обработке почв. Среди гуминовых кислот повсеместно преобладает фракция, связанная с кальцием (около 60% от суммы гуминовых кислот, с размахом значений 49–68%), что в основном определяется карбонатностью черноземов. В сентябре доля этой фракции понижается в среднем на 4%. В некоторых вариантах (№9 на слабовыщелоченном варианте) их доля составляет всего 35% от суммы гуминовых кислот. Доля фракций свободных гуминовых кислот составляет в среднем 10% (с амплитудой 5–16%), связанных с полуторными окислами – 30% от суммы гуминовых кислот. В сентябре фракция свободных гуминовых кислот минимально понижается в среднем до 8%, а фракция ГКЗ повышается до 37%. Фракционный состав фульвокислот изменяется сильнее как по срокам наблюдения, так и по вариантам. Аналогичные тенденции были зафиксированы на полях ИП Мокрикова В.И с бинарными посевами по технологии No-Till. В оба срока наблюдения преобладали фракции свободных (24–28% от суммы ФК) и связанных с полуторными окислами фульвокислот (55–57%). Доля фракции, связанной с кальцием, составляет лишь 6–12%. Но размах значений содержания этой фракции очень значителен от полного отсутствия до 45%. Высокие значения отмечены преимущественно в карбонатных видах черноземов. Доля гумина в исследуемых почвах на низком и среднем уровнях 16–47% в июле и 20–51% в сентябре. На полях ИП Мокрикова В.И. было абсолютное совпадение с полученными на пахотных полях значениями.

Таблица 21. Фракционно-групповой состав гумуса почв ИП Мокрикова В.И. (проценты от С_{общ.}), июль 2016 г.

Вариант	С общ, %	ГК				ФК					ГК + ФК	Гумин	Сгк/Сфк
		1	2	3	сумма	1а	1	2	3	сумма			
1	2,52	3,1	17,1	11,8	32,0	2,2	4,8	0,0	14,2	21,3	53,3	46,7	1,5
1К	1,50	6,0	16,6	14,1	36,6	3,1	6,0	0,1	22,9	32,0	68,6	31,4	1,1
2	2,05	3,6	31,8	14,9	50,3	3,3	8,0	0,0	21,0	32,3	82,6	17,4	1,6
2К	2,50	4,1	24,0	10,4	38,4	2,4	5,7	0,0	13,7	21,8	60,2	39,8	1,8
3	2,08	4,4	29,2	16,7	50,2	2,7	10,5	0,0	18,5	31,7	81,9	18,1	1,6
3К	2,57	2,6	28,6	12,8	43,9	2,2	3,6	2,2	14,4	22,4	66,4	33,6	2,0
4	2,47	3,1	18,3	16,1	37,4	2,8	6,6	7,1	24,4	40,9	78,3	21,7	0,9
5	2,11	4,5	27,8	11,1	43,4	2,8	5,4	0,0	19,2	27,4	70,8	29,2	1,6
5К	1,97	4,4	28,8	13,6	46,9	3,2	6,5	0,0	19,1	28,7	75,6	24,4	1,6
6	2,91	4,0	25,6	10,9	40,6	1,9	3,6	0,0	14,7	20,2	60,8	39,2	2,0
6К	2,83	3,9	33,6	13,6	51,1	2,0	5,8	0,0	10,0	17,7	68,8	31,2	2,9
7	3,40	3,1	22,9	11,3	37,3	1,9	8,5	0,0	11,3	21,7	58,9	41,1	1,7
7К	2,65	5,5	35,6	12,6	53,7	2,2	10,7	0,0	15,9	28,9	82,6	17,4	1,9
8	2,64	4,7	24,6	9,5	38,8	2,0	6,2	0,0	9,5	17,7	56,5	43,5	2,2
8К	2,03	5,7	25,5	12,4	43,6	3,0	7,2	0,0	7,8	18,0	61,7	38,3	2,4
9	2,85	4,2	31,2	11,6	47,1	1,8	10,3	0,0	11,3	23,4	70,5	29,5	2,0
9К	2,63	4,1	22,5	14,3	40,9	2,4	5,4	1,4	14,4	23,5	64,4	35,6	1,7
10	2,45	4,5	25,8	13,5	43,8	2,7	7,1	0,0	14,1	23,9	67,7	32,3	1,8
10К	2,50	5,9	25,9	12,8	44,6	2,1	12,2	0,0	12,4	26,8	71,3	28,7	1,7
11	2,22	2,7	24,5	14,3	41,4	2,2	1,6	0,0	13,7	17,6	59,0	41,0	2,4
11К	2,53	2,7	33,0	13,2	48,8	2,5	4,5	2,7	13,7	23,5	72,3	27,7	2,1
12	2,87	5,2	31,8	12,8	49,8	1,7	9,8	0,0	8,7	20,2	70,0	30,0	2,5
12К	2,56	4,9	34,3	19,1	58,4	2,4	8,8	0,0	14,1	25,3	83,6	16,4	2,3

Таблица 22. Фракционно-групповой состав гумуса почв ИП Мокрикова В.И. (проценты от $C_{\text{общ.}}$), сентябрь 2016 г.

Вариант	C общ, %	ГК				ФК					ГК + ФК	Гумин	Сгк/Сфк
		1	2	3	сумма	1а	1	2	3	сумма			
1	2,29	2,3	20,6	12,7	35,5	2,8	7,4	0,0	14,0	24,3	59,8	40,2	1,5
1К	0,95	5,8	21,5	12,7	40,0	3,0	8,5	0,3	27,2	39,1	79,1	20,9	1,0
2	2,07	3,4	18,1	13,0	34,5	2,6	4,6	18,1	17,5	42,9	77,4	22,6	0,8
2К	2,37	3,2	14,6	11,8	29,7	2,4	4,9	5,4	16,0	28,7	58,4	41,6	1,0
3	2,11	3,0	27,4	11,4	41,8	2,5	6,9	8,7	12,8	30,8	72,6	27,4	1,4
3К	2,96	1,8	22,4	9,5	33,6	1,7	6,5	0,0	10,1	18,3	51,9	48,1	1,8
4	2,20	2,0	20,5	13,2	35,7	3,3	6,8	4,6	16,6	31,3	67,0	33,0	1,1
4к	2,62	2,6	14,7	10,7	28,1	2,6	4,4	2,4	10,6	20,1	48,2	51,8	1,4
5	2,41	2,5	26,4	11,6	40,5	2,2	6,1	0,0	14,6	22,9	63,4	36,6	1,8
5К	2,27	2,5	18,6	11,9	33,0	2,4	6,4	0,0	14,0	22,9	55,9	44,1	1,4
6	2,75	1,7	22,7	7,3	31,7	2,0	5,0	0,6	9,6	17,2	48,9	51,1	1,8
6К	2,62	2,4	26,9	9,2	38,5	2,0	5,6	0,3	12,2	20,1	58,6	41,4	1,9
7	2,71	3,4	33,2	11,8	48,4	2,0	5,2	0,0	11,7	18,9	67,3	32,7	2,6
7К	2,80	4,5	29,2	10,7	44,4	2,0	8,0	4,8	11,3	26,2	70,5	29,5	1,7
8	2,37	2,1	18,5	13,5	34,0	1,8	5,8	7,2	13,6	28,3	62,4	37,6	1,2
8К	2,64	1,6	18,1	11,3	31,0	2,4	6,9	7,7	9,8	26,8	57,8	42,2	1,2
9	2,41	4,7	17,4	18,2	40,3	1,9	8,7	3,1	17,3	31,1	71,4	28,6	1,3
9К	2,61	2,2	26,8	10,0	39,0	2,2	4,5	0,1	10,8	17,7	56,7	43,3	2,2
10	2,64	2,6	25,6	9,5	37,6	2,3	4,5	9,1	9,7	25,5	63,1	36,9	1,5
10К	2,96	2,8	24,1	11,5	38,4	1,5	7,5	3,7	11,0	23,6	62,1	37,9	1,6
11	2,03	1,7	21,5	16,7	40,0	2,7	5,3	0,0	15,9	23,9	63,9	36,1	1,7
11К	2,24	1,0	20,4	14,7	36,2	2,0	6,8	1,1	15,1	25,0	61,2	38,8	1,4
12	3,18	3,9	21,9	11,3	37,1	1,3	6,8	2,2	9,1	19,4	56,5	43,5	1,9
12К	2,91	2,9	25,9	13,0	41,9	1,8	7,2	0,5	10,4	19,9	61,8	38,2	2,1

Таким образом, можно обобщить основные параметры гумусного состояния исследуемых почв:

1. Содержание гумуса в черноземах отвечает среднему уровню гумусированности. Амплитуда значений содержания гумуса очень высока для пахотных черноземов – 2,4–6,4%. Также выявлена значительная динамичность показателя в течение трех сроков определения.
2. Исследуемые почвы обладают фульватно-гуматным типом с высокой степенью гумификации, что характерно для зональных почв. Сезонные и межвариантные изменения происходят за счет изменения доли фульвокислот.
3. Сложно определить влияние прямого посева на содержание и качественный состав гумуса вследствие большой разницы в свойствах почв и выращиваемых культур. Были отмечены разные тенденции изменения содержания гумуса в почвах с разной обработкой. Однако технология прямого посева препятствует эрозионным потерям гумуса. На участке №1 на поле прямого посева было значительно больше содержание гумуса (на 29–64%), чем на расположенном рядом поле с традиционной обработкой.

Агрохимические свойства

Проведенные исследования показали, что почвы севооборотов в первый срок отбора почвенных образцов характеризовались высоким уровнем содержания аммонийного азота (Кравцова и др., 2019; Минникова и др., 2019). В течение вегетации сельскохозяйственных культур отмечено снижение изучаемого показателя до среднего и низкого уровня как при традиционных технологиях земледелия, так и при нулевой технологии возделывания сельскохозяйственных культур. Это обусловлено интенсивным поглощением и выносом культурами полевого севооборота, а также увеличением процессов трансформации азотсодержащих соединений в почве. Второй отбор образцов осуществлялся 27 июля после интенсивного выпадения осадков (24.07.2016). Однако накопления в почве аммиака, нитритов и нитратов в заметных количествах не происходит, так как аммиак и нитриты быстро окисляются до нитратов, а в

период резкого переувлажнения почвы во время осадков и в первое время после их выпадения происходят большие потери азота в результате нитрификации, а также интенсивное передвижение нитратов, по почвенному профилю с нисходящим и восходящим токами влаги.

В сентябре, после уборки урожая зерновых культур, отмечено постепенное накопление обменно-поглощённого аммония. При этом наиболее интенсивно этот процесс протекает на участках после озимой пшеницы и в бинарных посевах подсолнечника с использованием нулевой технологии возделывания сельскохозяйственных культур.

Содержание нитратов в верхнем гумусово-аккумулятивном горизонте чернозема в севообороте с традиционной технологией земледелия в июне (первый срок отбора образцов) было низким, за исключением участков К1 (озимая пшеница) и К 11 (озимая пшеница).

В почве второго севооборота, где использовалась технология No-Till, отмечен средний и повышенный уровень этой формы азота. Во второй срок отбора (27.07.2016) отмечено существенное увеличение количества нитратов в верхнем слое почвы, что, вероятно, обусловлено усилением процессов нитрификации при увеличении количества продуктивной влаги в почве после дождя. Осенью отмечено понижение изучаемого показателя на полях севооборотов как при традиционной, так и при нулевой технологии земледелия.

Несмотря на различный набор сельскохозяйственных культур и специализацию, изучаемые в опыте типы севооборотов по влиянию на изменения содержания фосфора имеют ряд общих закономерностей. Содержание подвижного фосфора в почве на полях обоих севооборотов находилось в пределах средней, повышенной и высокой градации.

В течение вегетации отмечено постепенное увеличение уровня под культурами полевого севооборота. Это связано с биологическими особенностями самих растений. Наиболее интенсивно фосфор поглощается в первый период жизни растений. Затем потребление и, соответственно, вынос понижается.

Результаты агрохимических исследований показали, что верхний горизонт почв исследуемых севооборотов характеризуются высоким содержанием обменного калия. В течение вегетации этот уровень менялся несущественно.

Биологическая активность почв

Дыхание почв

Определение интенсивности дыхания почв проведено в полевых условиях с помощью газоанализатора ПГА-7. В первый срок наблюдения значения показателей были достаточно высокими для определения исследуемых почв как почвы с высокой биологической активностью (табл. 25).

Таблица 25. Интенсивность полевого дыхания почв, определенная газоанализатором ПГА-7, июнь 2016 г.

Вариант	М	дисперсия	m	ошибка опыта, %
1	0,05	0,0008	0,014	29
1K	0,03	0,0002	0,008	22
2	0,02	0,0002	0,006	31
2K	0,00	0,0000	0,000	
3	0,03	0,0002	0,006	20
3K	0,05	0,0002	0,007	14
4	0,03	0,0000	0,003	8
4K	0,07	0,0001	0,005	7
5	0,06	0,0004	0,009	16
5K	0,05	0,0001	0,004	8
6	0,06	0,0001	0,004	7
6K	0,10	0,0010	0,016	15
7	0,06	0,0015	0,019	31
7K	0,08	0,0000	0,003	4
8	0,09	0,0001	0,004	5
8K	0,10	0,0002	0,007	7
9	0,05	0,0002	0,008	16
9K	0,04	0,0001	0,006	16
10	0,02	0,0001	0,006	24
10K	0,06	0,0001	0,004	7
11	0,05	0,0001	0,005	11
11K	0,15	0,0004	0,011	7
12	0,10	0,0003	0,009	9
12K	0,07	0,0008	0,014	21

Это связано с применяемой технологией No-Till, при которой на поверхности почвы остается много органических остатков. Разложение этих остатков

в почве и мульчирующем слое приводит к активизации микрофлоры и повышению интенсивности дыхания почв. Однако примерно такое же число вариантов было со значениями интенсивности дыхания почв ниже контрольных значений на полях с традиционной обработкой. В последующие сроки наблюдения дыхание почв было подавлено при высыхании почвы. Биологические процессы в сухой почве практически останавливаются, смещаясь в более глубокие и влажные горизонты почвы.

Результаты исследований актуальной биологической активности на основе полевых аппликационных методов, отражающей, прежде всего, потенциальную активность биоты, приведены в таблице 26.

Таблица 26. Целлюлозолитическая активность (% разложения) почв

№	Вариант	3–5 июня	25–26 июля	17–18 сентября
1	лен	17	32	14
1К	озимая пшеница	10	–	17
2	лен	11	21	–
2К	подсолнечник	4	–	–
3	кориандр	8	9	4
3К	озимая пшеница	25	–	–
4	кориандр	3	18	16
4К	ячмень	18	–	–
5	ячмень	12	13	10
5К	озимая пшеница	27	29	16
6	озимая пшеница	10	47	–
6К	озимая пшеница	7	–	25
7	озимая пшеница	42	84	14
7К	ячмень	11	46	13
8	озимая пшеница	13	29	11
8К	озимая пшеница	8	9	13
9	подсолнечник + донник	9	12	16
9К	подсолнечник	14	6	8
10	подсолнечник + донник	18	5	13
10К	кукуруза	11	2	22
11	озимая пшеница	5	6	15
11К	озимая пшеница	30	26	26
12	нут	2	2	9
12К	сафлор	4	4	21

Как показали исследования, в одной половине опытных вариантов происходит повышение целлюлозолитической активности по сравнению с контрольными участками, а в другой половине опытных вариантов происходит

обратный процесс. Размах значений в этот период исключительно велик. Во второй и особенно третий срок размах значений показателя значительно снижается. На втором сроке наблюдения прямой посев чаще значительно повышает значения разложения целлюлозы по сравнению с контрольными значениями. А вот в сухом сентябре картина в значительной степени меняется. На фоне выровненных значений и низкой амплитуды чаще отмечено незначительное понижение значений исследуемого показателя биологической активности. Это связано с тем, что вспаханные или боронованные контрольные поля в этот период обладают лучшими гидротермическими условиями для почвенной биоты. Хотя для такого высоко варьирующего показателя, как целлюлозолитическая активность почв, такая небольшая разница между вариантами не достоверна.

В разные сроки наблюдения на одних и те же опытных вариантах могут отмечаться как повышение, так и снижение показателя относительно контрольных значений. Это связано как с погодными условиями, так и с фазами развития растений. Следует обратить внимание, что разложение полотна сильно зависит от влажности почвы, которая в значительно большей степени лимитирует биологическую активность в условиях региона исследований, чем температура почвы. Кроме того, при высыхании почвы крайне сложно правильно заложить полотна в почву, поскольку на полях с пропашными культурами почва сильно уплотняется и становится глыбистой. Это приводит к тому, что зачастую площадь соприкосновения полотна с почвой в разных вариантах различна, что сильно сказывается на результатах. В связи с разными условиями увлажнения время экспозиции полотен в почве была различной в разные сроки наблюдения: 20 суток в первом сроке, 30 и 35 суток во втором и третьем соответственно.

Также аппликационным методом было определено накопление свободных аминокислот. Этот показатель рекомендовал Е.Н. Мишустин для определения актуальной биологической активности почвы (Казеев, Колесников,

2012). Как показано в таблице, значение данного показателя значительно варьирует как по вариантам, так и по сезонам (табл. 27).

Таблица 27. Содержание свободных аминокислот в почвах хозяйства
ИП Мокрикова В.И., мкг/кг

№	Вариант	3–5 июня	25–26 июля	17–18 сентября
1	лен	2,4	2,3	1,3
1К	озимая пшеница	1,5	–	1,3
2	лен	2,4	1,8	–
2К	подсолнечник	1,4	–	–
3	кориандр	0,9	1,2	0,3
3К	озимая пшеница	1,2	–	–
4	кориандр	0,7	2,3	1,4
4К	ячмень	1,4	–	–
5	ячмень	2,5	3,0	1,9
5К	озимая пшеница	3,6	1,1	1,2
6	озимая пшеница	2,7	3,4	–
6К	озимая пшеница	1,1	–	0,6
7	озимая пшеница	2,8	–	1,2
7К	ячмень	1,2	1,3	1,0
8	озимая пшеница	1,6	1,3	1,1
8К	озимая пшеница	1,2	1,0	0,9
9	подсолнечник + донник	2,4	1,4	2,7
9К	подсолнечник	2,0	1,8	0,8
10	подсолнечник + донник	3,6	0,9	2,4
10К	кукуруза	2,0	0,8	1,3
11	озимая пшеница	1,3	0,3	1,5
11К	озимая пшеница	2,6	–	1,2
12	нут	0,4	1,6	0,9
12К	сафлор	0,3	0,8	1,3

Так же, как и для целлюлозолитической активности, накопление свободных аминокислот не показало какой-либо одной закономерности влияния технологии прямого посева на эколого-биологическое состояние почвы. Коэффициент корреляции с показателем разложения полотна в первый срок составил 0,62, во второй – 0,51, а в третьем сроке, судя по нему (0,13), прямой связи между этими показателями не было.

Ферментативная активность

Каталаза участвует в процессах окисления органических веществ – цикле углерода. Каталаза – это фермент, который катализирует реакции разложения перекиси водорода на воду и молекулярный кислород. Активность каталазы с

течением времени поля №1 увеличивается на 31,3 % (рис. 13). При сравнении с традиционной обработкой достоверные отличия ниже контроля ($p<0,05$) получены только для влажного периода (3–5 июня). Для полей №2, 3 наблюдали увеличение активности с течением времени по сравнению с первым периодом.

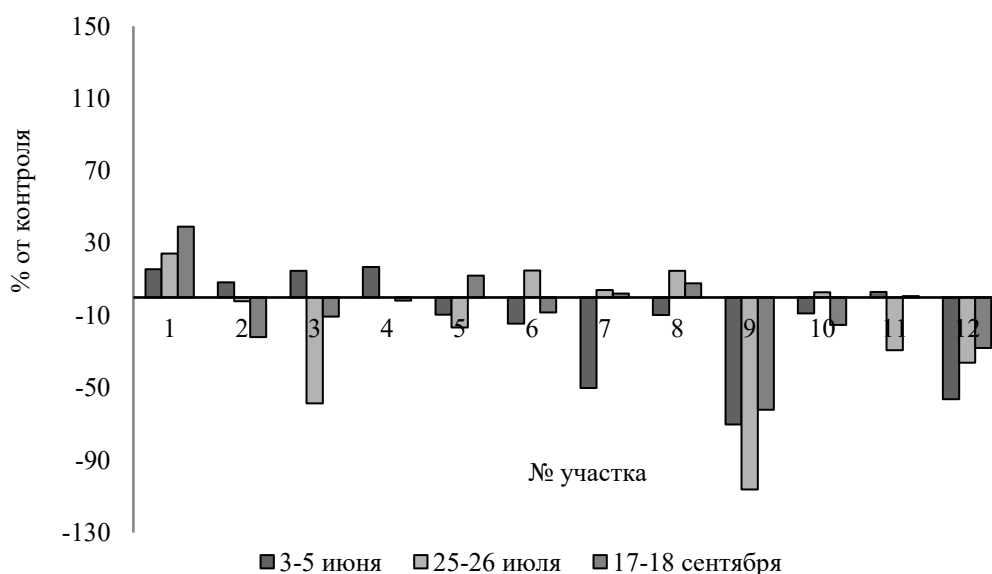


Рис.13. Изменение активности каталазы, % от контроля

Достоверно отличная от контроля активность получена в первый период на поле №3 – 15,8 мл O_2 /г/мин. Существенное уменьшение активности каталазы, по сравнению с контролем, получено на поле с подсолнечником (№9) – 62–106% относительно контроля. Похожие тенденции наблюдали для поля №12: снижение активности каталазы наблюдали на 28–56% относительно контроля. Отличия от контрольных ($p<0,01$) получены для всех периодов на полях №9, 12. На полях с бинарными и одновидовыми посевами наблюдали плавное снижение активности каталазы с течением времени на 27–36%. Плавное снижение активности каталазы, достоверно отличное от контроля, получено на полях №14, 16 ($p<0,01$).

Дегидрогеназы участвуют в процессе дыхания, катализируют дегидрирование углеводов, органических кислот и выполняют роль промежуточных переносчиков водорода (Даденко и др., 2021). С течением времени почвы полей №9 и №12 характеризуются уменьшением активности на 25–32% (рис. 14).

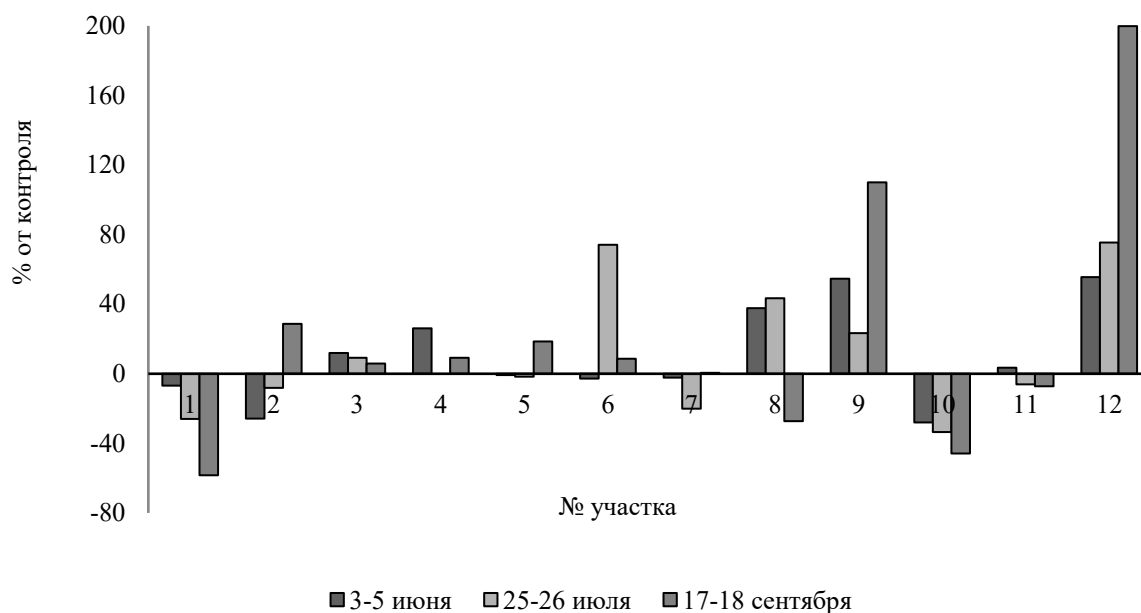


Рис. 14. Изменение активности дегидрогеназ, % от контроля

Однако показано, стимуляция активности дегидрогеназ полей №9 и 12 (18,4 и 12,1 мг ТФФ/10г/сут) достоверно отличная от контроля ($p < 0,01$). Для полей №1 и 10 наблюдали снижение активности дегидрогеназ на 7–58% относительно контроля ($p < 0,01$). Активность дегидрогеназ бинарных посевов с подсолнечником и викой (№13, 15, 16) плавно уменьшалась с июня по сентябрь на 20–62%. Активность дегидрогеназ чернозема с поля №14 в июне и июле 2016 г. достоверно не отличалась от контроля, а в третий период наблюдали увеличение активности на 23% ($p < 0,01$).

В почвах фосфатазы не только минерализуют органический фосфор, но и способствуют поступлению минерального фосфора в корни растений. В течение всех периодов отбора наблюдали снижение активности щелочной фосфатазы (рис. 15).

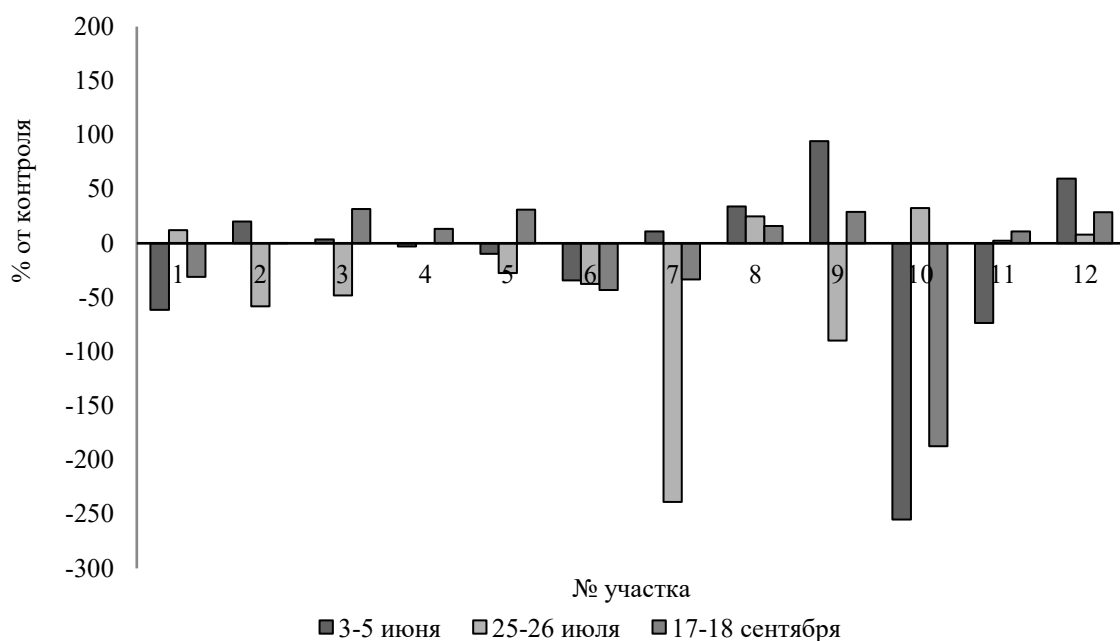


Рис. 15. Изменение активности щелочной фосфатазы (поля №1–12), % от контроля

Активность фосфатаз поля №7 в сухой период (25–26 июля) была на 238% ниже контроля ($p < 0,01$). Достоверное снижение активности щелочных фосфатаз поля №10 на 187–255% наблюдали при отборе во влажные теплые периоды (3–5 июня и 17–18 сентября). Для остальных полей активность фосфатазы с использованием технологии No-Till практически не отличалась от контроля. Исключение составляет активность фосфатаз поля с подсолнечником и викой №9 (8,0 мг $P_2O_5/100$ г/час) и №12 (9,2 мг $P_2O_5/100$ г/час). Отмечено существенное снижение активности в сухой период отбора (25–26 июля) – 2,2–2,4 мг $P_2O_5/100$ г/час с последующим возрастанием во влажный период (17–18 сентября) – 2,7–4,7 мг $P_2O_5/100$ г/час. Фосфорорганические соединения составляют преимущественную часть фосфора почвы (от 20 до 80%) и представлены нуклеиновыми соединениями, производными аденозинфосфорной кислоты, фосфогуминовыми комплексами и незначительно подвижными сахарофосфатами, глицерофосфатами. Показано, что активность уреазы была больше при нулевой обработке почвы, чем при традиционной обработке (Deng, Tabatabai, 1996). Похожую тенденцию наблюдали для изменения активности дегидрогеназ, щелочных фосфатаз и протеазы (Mina et al., 2008).

Активность уреазы с течением времени уменьшалась для полей №1, 9, 12, 14, 15, 16 на 43–80% (рис. 16). Для полей №11 и №12 отмечали значительное снижение активности при использовании технологии No-Till на 500–700% ($p<0,01$). Для остальных полей достоверные отличия от контрольных полей не выявлены.

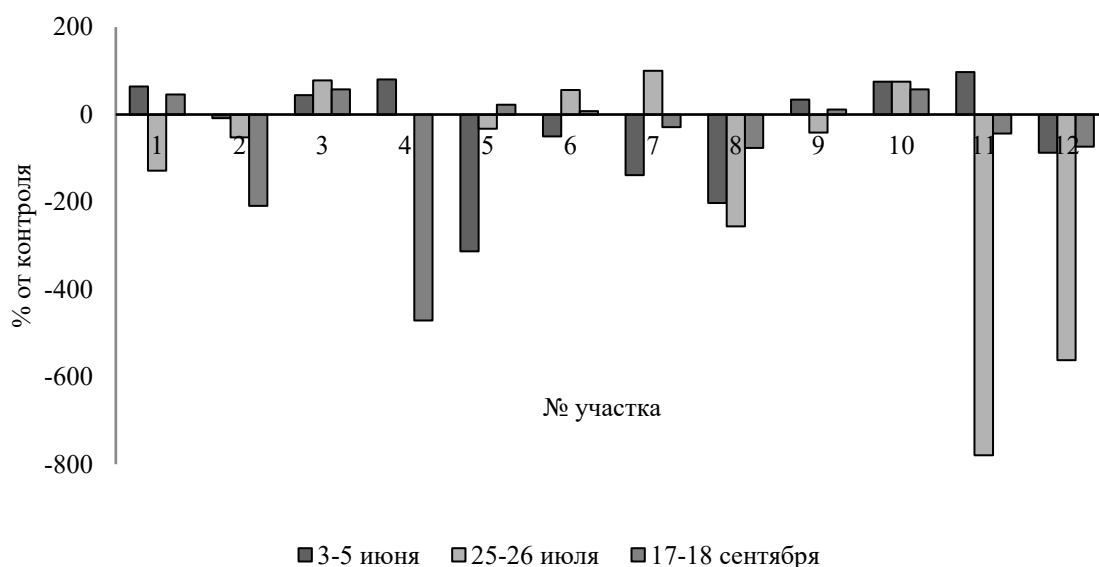


Рис.16. Изменение активности уреазы, % от контроля

Активность уреазы полей №14, 16 снижалась на 63–65% ($p<0,05$). Значительное снижение наблюдали для поля №15 – на 94% ($p<0,01$). Для поля №13, наоборот, наблюдали увеличение активности на 35% ($p<0,01$).

Полученные результаты частично согласуются с данными, полученными 20 лет назад, где показано, что активность уреазы увеличивалась при нулевой обработке почвы по сравнению с традиционной обработкой (Deng, Tabatabai, 1996). Для полноценного сравнения данных необходимо знать типы культур, норму внесения удобрений, пестицидов и тип почв.

Активность β -фруктофуранозидазы (инвертазы) является весьма чутким индикатором биологической активности и плодородия почв (Галстян, 1974; Казеев и др., 2003, 2012; Даденко и др., 2014, 2021; Мясникова, 2015). Как показали проведенные исследования, ее активность была различной в почвах

исследуемых участков ИП Мокрикова В.И. Данные активности инвертазы были различны в зависимости от варианта опыта и срока наблюдения (табл. 28).

Таблица 28. Активность инвертазы в почвах ИП Мокрикова В.И.,
мг глюкозы/г/24 ч

№	Вариант	1-й срок	2-й срок	3-й срок
1	лен	39,6	31,5	32,8
1К	озимая пшеница	33,1	27,2	14,2
2	лен	33,1	25,6	28,7
2К	подсолнечник	31,2	27,6	20,3
3	кориандр	32,3	35,9	27,8
3К	озимая пшеница	36,4	36,6	32,2
4	кориандр	36,2	37,2	31,8
4К	ячмень	37,8	не опр.	35,2
5	ячмень	47,5	33,4	46,2
5К	озимая пшеница	33,9	33,8	18,8
6	озимая пшеница	37,9	36,0	28,4
6К	озимая пшеница	36,5	37,1	27,1
7	озимая пшеница	46,1	42,6	39,5
7К	ячмень	30,4	42,2	46,8
8	озимая пшеница	43,8	35,7	25,1
8К	озимая пшеница	32,0	29,3	30,5
9	подсолнечник + донник	45,1	48,1	45,4
9К	подсолнечник	24,0	30,8	23,7
10	подсолнечник + донник	36,7	35,4	19,0
10К	кукуруза	40,2	40,8	37,8
11	озимая пшеница	30,7	31,9	24,2
11К	озимая пшеница	33,6	32,2	29,1
12	нут	39,2	44,8	45,9
12К	сафлор	38,6	50,4	43,4

Однако анализ полученных данных подтверждает положительное влияние прямого посева на биологическую активность почвы. На большинстве вариантов отмечено существенное повышение активности инвертазы (до 40–145% от контрольных значений на расположенных рядом полях с традиционной обработкой почвы). Этот эффект отмечен на всех сроках наблюдения. Исключением являются поля с неблагоприятными физическими свойствами с посевами кориандра (№3, 4), подсолнечника (№10) и озимой пшеницей. На последних полях ярко выражены эрозионные процессы, так как участки расположены в непосредственной близости от пологих широких ложбин. На некоторых участках (№6,12) достоверных изменений фермента не происходит. Для

выявления причин этого необходимо проведение дополнительных исследований. В целом можно рекомендовать определение активности инвертазы для диагностики влияния прямого посева на эколого-биологическое состояние почв.

Нитрифицирующая способность

Согласно литературным данным, при традиционной обработке почвы теряется достаточно большое количество оксидов азота, необходимых для питания растений (García-Marco et al., 2016). На рисунке 17 показано, что наибольшее различие между контролем и нитрифицирующей способностью полей №3, 6, 9 составляет в первый период (3–5 июня) до 83–91%.

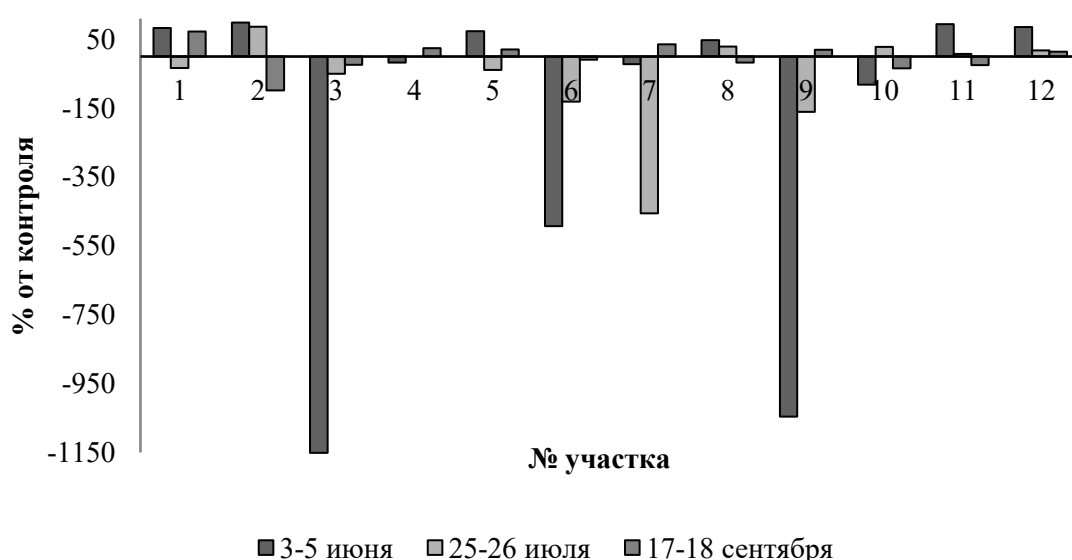


Рис.17. Изменение нитрифицирующей способности почв, % от контроля

В третий период (17–18 сентября) наблюдали снижение нитрифицирующей способности по сравнению с первым периодом (3–5 июня) и увеличение по сравнению со вторым (25–26 июля). Стимуляция нитрифицирующей способности показана для поля №7, 9 во второй период отбора (25–26 июля) 61–81%. Существенное изменение нитрифицирующей способности наблюдали для полей №1, 2, 6, 12 с июня по июль ($p < 0,01$). В сентябре нитрифицирующая способность повысилась по сравнению с июлем на 50–98%, уменьшилась на 54–85% по сравнению с июнем.

Нитрифицирующая активность почв уменьшается при различных видах обработки почв, в том числе и при нулевой обработке почвы (Rosa et al., 2014). Потенциальная нитрифицирующая способность традиционно используется как индикатор состояния окружающей среды (Li et al., 2015; Казеев и др., 2016).

Обобщив основные параметры биологической активности исследуемых почв, можно отметить:

1. Для всех полей наблюдали снижение активности каталазы во времени. Активность дегидрогеназ для полей с пшеницей (№8), подсолнечником (№9) и нуттом (№12) увеличилась на 10–60%. Наблюдали достоверные отличия от контроля полей со льном (№1, 2), ячменем (№5), пшеницей (№8), подсолнечником (№9) ($p < 0,01$).
2. Активность гидролаз изменялась с различными тенденциями: так, для щелочной фосфатазы показано превышение контрольных значений полей с пшеницей (№7) и подсолнечником (№10) ($p < 0,01$). Для уреазы и протеаз наблюдали существенное снижение активности всех полей на 35–95%;
3. Нитрифицирующая способность в отличие от ферментативной активности и биохимических показателей зависит от периода вегетации растений: в сухой период отбора (25–26 июля) нитрифицирующая способность почв снизилась в 30–130 раз. В сентябре наблюдали повышение способности по сравнению с июлем, что, возможно, обусловлено применением азотных удобрений.

Влияние технологии No-Till на микробоценоз

Согласно полученным результатам, на всех сроках исследования группа аммонифицирующих бактерий оказалась доминантной по численности на всех исследуемых полях по сравнению другими эколого-трофическими группами почвенных микроорганизмов (Акименко и др., 2016).

Анализ результатов численности аммонификаторов первого срока исследований показал, что численность данной группы бактерий варьирует в диапазоне 2,9–5,2 млн/г почвы на полях с применением технологии No-Till и 2,3–4,7 млн/г с использованием традиционной технологии возделывания сельскохозяйственных культур (табл. 29). Скорее всего, такой широкий диапазон варьирования численности аммонификаторов на разных полях связан с типом почвы и типом возделываемой культуры. Максимальная численность бактерий-аммонификаторов зафиксирована на опытных полях №2 (с/х культура – лен, технология возделывания No-Till) и №9 (бинарный посев – подсолнечник+донник, технология возделывания No-Till), наименьшая на контрольном поле №7 (с/х культура – ячмень, традиционная технология возделывания). Наибольшая численность аммонифицирующих бактерий отмечена на черноземах южных (поля № 1–4 и № 9–11), по сравнению с численностью на черноземах обыкновенных (поля № 6–8 и № 12–16).

Анализ результатов численности аммонификаторов второго срока исследований показал, что численность данной группы бактерий варьирует в диапазоне 3,5–5,2 млн/г почвы на полях с применением технологии No-Till и 2,5–4,2 млн/г с использованием традиционной или минимальной технологии возделывания сельскохозяйственных культур (табл. 30).

Максимальная численность бактерий-аммонификаторов зафиксирована на опытном поле №8 (с/х культура – озимая пшеница, технология возделывания No-Till), наименьшая – на контрольном поле №3 (с/х культура – озимая пшеница, традиционная технология возделывания).

Таблица 29. Численность аммонифицирующих бактерий (млн/г) на полях с разными технологиями возделывания с/х культур (3–5 июня, 2016 г.)*

№	Вариант	M	S ²	S	m	V, %
1N	Лен	4,63	11,56	4,16	1,96	12
1K	Озимая пшеница	2,56	4,67	2,65	1,25	13
2N	Лен	5,18	6,22	3,06	1,44	8
2K	Подсолнечник	4,68	8,22	3,51	1,66	10
3N	Кориандр	2,92	6,89	3,21	1,52	14
3K	Озимая пшеница	3,77	9,56	3,79	1,78	13
4N	Кориандр	3,46	10,89	4,04	1,91	15
4K	Ячмень	2,41	10,89	4,04	1,91	22
5N	Ячмень	4,90	4,22	2,52	1,19	7
5K	Озимая пшеница	2,76	6,00	3,00	1,41	14
6N	Озимая пшеница	3,30	9,56	3,79	1,78	15
6K	Озимая пшеница	2,92	24,89	6,11	2,88	27
7N	Озимая пшеница	4,73	2,89	2,08	0,98	6
7K	Ячмень	2,29	1,56	1,53	0,72	9
8N	Озимая пшеница	3,44	16,67	5,00	2,36	19
8K	Озимая пшеница	3,15	8,22	3,51	1,66	15
9N	Подсолнечник + донник	5,17	50,67	8,72	4,11	23
9K	Подсолнечник	4,30	32,89	7,02	3,31	21
10N	Подсолнечник + донник	4,65	37,56	7,51	3,54	22
10K	Кукуруза	4,30	24,22	6,03	2,84	18
11N	Озимая пшеница	4,84	4,67	2,65	1,25	7
11K	Озимая пшеница	4,53	24,22	6,03	2,84	17
12N	Нут	4,61	24,00	6,00	2,83	18
12K	Сафлор	2,81	14,00	4,58	2,16	23
13N	Донник	3,46	22,89	5,86	2,76	24
14N	Подсолнечник	4,60	1,56	1,53	0,72	5
15N	Подсолнечник + вика	4,43	20,22	5,51	2,60	16
16N	Подсолнечник + донник	4,65	89,56	11,59	5,46	34

*Примечание: здесь и далее M – среднее арифметическое (колоний в чашке Петри), m – ошибка средней, S² – дисперсия, S – среднее квадратичное отклонение, V – коэффициент вариации (%).

Анализ результатов численности аммонификаторов третьего срока исследований показал, что численность данной группы бактерий варьирует в диапазоне 2,2–3,3 млн/г почвы на полях с применением технологии No-Till и 2–3 млн/г – с использованием традиционной или минимальной технологии возделывания с/х культур (табл. 31).

Таблица 30. Численность аммонифицирующих бактерий (млн/г) на полях с разными технологиями (2-й срок – 25–26 июля, 2016 г.)

№	Вариант	M	S ²	S	m	V, %
1N	Лен	4,12	4,67	2,65	1,25	8
1K	Озимая пшеница	2,92	1,56	1,53	0,72	6
2N	Лен	4,88	6,22	3,06	1,44	8
2K	Подсолнечник	4,06	10,89	4,04	1,91	14
3N	Кориандр	3,45	11,56	4,16	1,96	14
3K	Озимая пшеница	2,52	1,56	1,53	0,72	8
4N	Кориандр	3,28	20,67	5,57	2,62	22
4K	Ячмень					
5N	Ячмень	4,50	11,56	4,16	1,96	12
5K	Озимая пшеница	3,21	11,56	4,16	1,96	17
6N	Озимая пшеница	4,47	2,67	2,00	0,94	6
6K	Озимая пшеница	4,15	6,89	3,21	1,52	11
7N	Озимая пшеница	4,75	8,22	3,51	1,66	10
7K	Ячмень	3,15	1,56	1,53	0,72	7
8N	Озимая пшеница	6,19	13,56	4,51	2,13	10
8K	Озимая пшеница	3,80	24,22	6,03	2,84	22
9N	Подсолнечник + донник	4,61	13,56	4,51	2,13	13
9K	Подсолнечник	3,38	4,22	2,52	1,19	9
10N	Подсолнечник + донник	4,14	20,22	5,51	2,60	17
10K	Кукуруза	3,49	1,56	1,53	0,72	5
11N	Озимая пшеница	3,98	2,89	2,08	0,98	7
11K	Озимая пшеница	3,53	2,67	2,00	0,94	7
12N	Нут	4,45	28,22	6,51	3,07	20
12K	Сафлор	2,77	1,56	1,53	0,72	7
13N	Донник	3,34	8,67	3,61	1,70	14
14N	Подсолнечник	4,12	14,00	4,58	2,16	14
15N	Подсолнечник + вика	4,33	24,89	6,11	2,88	17
16N	Подсолнечник + донник	4,50	2,89	2,08	0,98	6

Максимальная численность бактерий-аммонификаторов зафиксирована на опытном поле №14 (с/х культура – подсолнечник, технология возделывания No-Till), наименьшая – на контрольном поле №8 (с/х культура – озимая пшеница, традиционная технология возделывания).

Анализ динамики численности аммонифицирующих бактерий как опытных, так и контрольных полей показал (рис. 18), что в начале вегетации наблюдается наибольшая численность данной группы бактерий, в середине вегетации наблюдается незначительная депрессия бактериальной активности, и значительное снижение численности аммонифицирующих бактерий – в послеуборочный период. Такая динамика численности аммонифицирующих

бактерий связана с влиянием, прежде всего, метеорологических условий. Кроме того, численность аммонифицирующих бактерий опытных полей превышала численность аммонифицирующих бактерий контрольных полей, особенно в период второго срока исследований (июль, 2016 г.).

Таблица 31. Численность аммонифицирующих бактерий (млн/г) на полях с разными технологиями возделывания (3-й срок – 17–18 сентября 2016 г.)

№	Вариант	M	S ²	S	m	V, %
1N	Лен	2,47	11,56	4,16	1,96	18
1K	Озимая пшеница	2,40	4,22	2,52	1,19	11
2N	Лен	2,91	2,67	2,00	0,94	8
2K	Подсолнечник	2,72	8,67	3,61	1,70	15
3N	Кориандр	2,70	27,56	6,43	3,03	25
3K	Озимая пшеница	2,45	11,56	4,16	1,96	18
4N	Кориандр	2,97	40,22	7,77	3,66	28
4K	Ячмень	2,41	4,22	2,52	1,19	11
5N	Ячмень	3,01	12,67	4,36	2,05	16
5K	Озимая пшеница	2,95	4,22	2,52	1,19	9
6N	Озимая пшеница	2,32	6,22	3,06	1,44	14
6K	Озимая пшеница	2,27	2,67	2,00	0,94	9
7N	Озимая пшеница	2,44	29,56	6,66	3,14	29
7K	Ячмень	2,13	20,22	5,51	2,60	27
8N	Озимая пшеница	2,38	16,22	4,93	2,33	23
8K	Озимая пшеница	1,95	10,89	4,04	1,91	22
9N	Подсолнечник + донник	2,53	6,22	3,06	1,44	13
9K	Подсолнечник	2,43	6,89	3,21	1,52	14
10N	Подсолнечник + донник	2,61	26,00	6,24	2,94	27
10K	Кукуруза	2,63	6,22	3,06	1,44	13
11N	Озимая пшеница	2,55	6,22	3,06	1,44	14
11K	Озимая пшеница	2,53	36,22	7,37	3,47	36
12N	Нут	2,90	11,56	4,16	1,96	16
12K	Сафлор	2,44	18,67	5,29	2,49	22
13N	Донник	2,47	11,56	4,16	1,96	18
14N	Подсолнечник	3,28	18,67	5,29	2,49	18
15N	Подсолнечник + вика	2,19	18,67	5,29	2,49	26
16N	Подсолнечник + донник	2,27	4,67	2,65	1,25	13

Вариационно-статистический анализ численности аммонифицирующих бактерий показал, что численность бактерий значительно варьирует на всех сроках исследований, однако на полях с применением технологии No-Till колебания численности бактерий в целом значительно меньше, чем на контрольных полях с традиционной технологией (рис. 19).

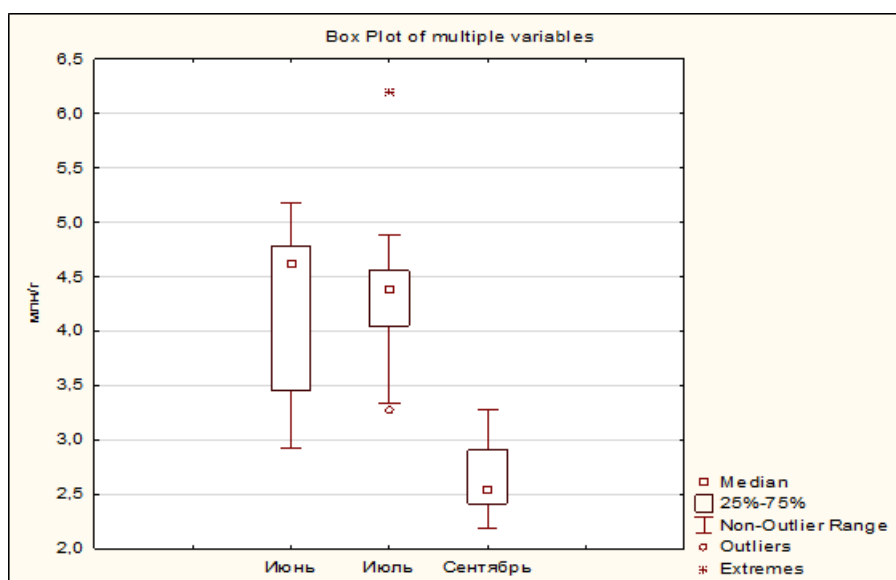


Рис.18. Вариационно-статистические показатели численности аммонифицирующих бактерий на полях с технологией No-Till

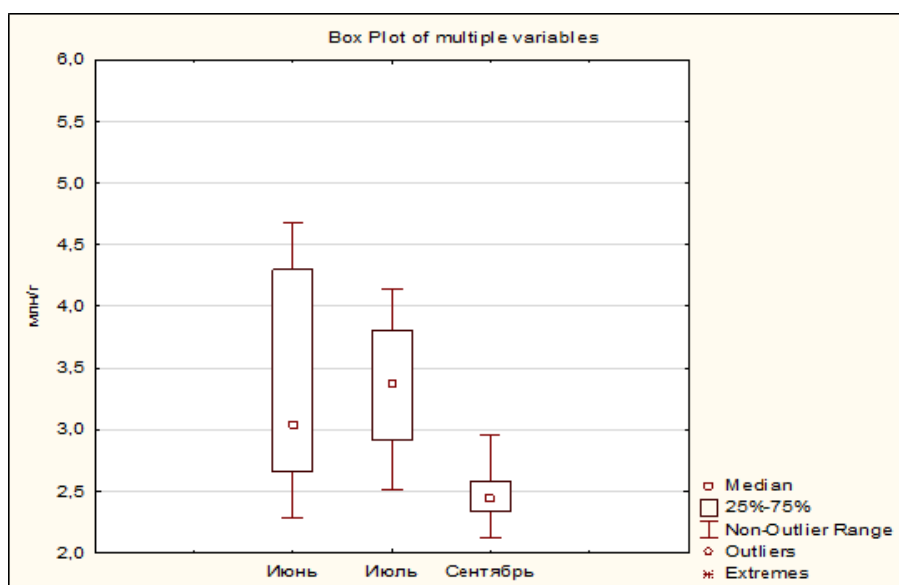


Рис. 19. Вариационно-статистические показатели численности аммонифицирующих бактерий на опытных полях с традиционной технологией

Результаты исследований микроскопических грибов не позволили обнаружить однозначного расхождения между опытными и контрольными полями во влажный период первого срока исследований (табл. 32). Скорее всего, выявляемые отличия связаны с занятостью полей различными сельскохозяйственными культурами. Наибольшее обилие микромицетов наблюдалось под посевами ячменя – 84,1–101,3 тыс./г почвы (поле №5, лугово-черноземная

почва), под посевами озимой пшеницы – 75,9–95,5 тыс./г, соответственно (поля №6–7, чернозем обыкновенный).

Таблица 32. Обилие микроскопических грибов на полях с разными технологиями возделывания с/х культур (1-й срок – 3–5 июня, 2016г.)

№	Вариант	M, тыс./г	S ²	S	m	V, %
1N	Лен	67,01	24,89	6,11	2,88	12
1K	Озимая пшеница	49,98	32,67	7,00	3,30	17
2N	Лен	57,13	24,89	6,11	2,88	14
2K	Подсолнечник	45,51	38,22	7,57	3,57	22
3N	Кориандр	38,31	48,22	8,50	4,01	29
3K	Озимая пшеница	58,56	20,67	5,57	2,62	13
4N	Кориандр	95,57	13,56	4,51	2,13	6
4K	Ячмень	84,07	74,00	10,54	4,97	16
5N	Ячмень	101,31	4,67	2,65	1,25	4
5K	Озимая пшеница	82,36	1,56	1,53	0,72	2
6N	Озимая пшеница	95,49	8,22	3,51	1,66	5
6K	Озимая пшеница	75,93	26,00	6,24	2,94	11
7N	Озимая пшеница	73,74	14,00	4,58	2,16	8
7K	Ячмень	64,21	4,22	2,52	1,19	5
8N	Озимая пшеница	64,37	13,56	4,51	2,13	9
8K	Озимая пшеница	41,87	10,67	4,00	1,89	13
9N	Подсолнечник + донник	62,09	4,22	2,52	1,19	6
9K	Подсолнечник	37,44	16,22	4,93	2,33	17
10N	Подсолнечник + донник	69,28	33,56	7,09	3,34	14
10K	Кукуруза	29,39	17,56	5,13	2,42	23
11N	Озимая пшеница	71,20	78,00	10,82	5,10	20
11K	Озимая пшеница	37,17	18,67	5,29	2,49	18
12N	Нут	43,87	6,89	3,21	1,52	10
12K	Сафлор	46,30	14,00	4,58	2,16	14
13N	Донник	48,84	29,56	6,66	3,14	19
14N	Подсолнечник	36,80	6,22	3,06	1,44	11
15N	Подсолнечник + вика	49,60	38,89	7,64	3,60	20
16N	Подсолнечник + донник	78,55	32,67	7,00	3,30	12

Максимальное обилие микроскопических грибов в первый период исследований зафиксировано на опытном поле №5 (с/х культура – ячмень, технология возделывания No-Till) – 101,31 тыс./г, наименьшее – на контрольном поле №10 (кукуруза, традиционная технология возделывания) – 29,4 тыс./г.

Результаты исследований обилия микромицетов опытных и контрольных полей второго срока исследований (табл. 33) показали, что на большинстве опытных полей обилие микромицетов выше, чем на контрольных полях.

Таблица 33. Обилие микроскопических грибов на полях с разными технологиями возделывания с/х культур (2-й срок – 25–26 июля, 2016 г.)

№	Вариант	М, тыс./г	S ²	S	m	V, %
1N	Лен	51,59	22,89	5,86	2,76	14,2
1K	Озимая пшеница	53,13	26,00	6,24	2,94	14,5
2N	Лен	59,14	4,67	2,65	1,25	6,0
2K	Подсолнечник	45,17	4,67	2,65	1,25	8,0
3N	Кориандр	54,66	20,67	5,57	2,62	11,8
3K	Озимая пшеница	51,22	13,56	4,51	2,13	11,5
4N	Кориандр	52,41	60,67	9,54	4,50	23,8
4K	Ячмень	не опр.	не опр.	не опр.	не опр.	не опр.
5N	Ячмень	59,77	18,67	5,29	2,49	11,5
5K	Озимая пшеница	58,98	11,56	4,16	1,96	9,2
6N	Озимая пшеница	69,41	24,22	6,03	2,84	12,1
6K	Озимая пшеница	66,63	6,22	3,06	1,44	6,4
7N	Озимая пшеница	71,08	6,89	3,21	1,52	6,3
7K	Ячмень	67,26	1,56	1,53	0,72	3,2
8N	Озимая пшеница	53,47	8,67	3,61	1,70	9,0
8K	Озимая пшеница	38,50	2,67	2,00	0,94	7,1
9N	Подсолнечник + донник	32,62	6,00	3,00	1,41	12,0
9K	Подсолнечник	28,45	12,67	4,36	2,05	19,0
10N	Подсолнечник + донник	42,20	18,67	5,29	2,49	15,6
10K	Кукуруза	24,16	2,89	2,08	0,98	9,6
11N	Озимая пшеница	44,68	6,22	3,06	1,44	9,2
11K	Озимая пшеница	43,57	1,56	1,53	0,72	4,6
12N	Нут	39,43	4,22	2,52	1,19	8,8
12K	Сафлор	34,01	2,89	2,08	0,98	8,2
13N	Донник	38,50	12,67	4,36	2,05	14,5
14N	Подсолнечник	39,95	14,00	4,58	2,16	14,3
15N	Подсолнечник + вика	44,16	8,67	3,61	1,70	10,0
16N	Подсолнечник + донник	51,97	2,67	2,00	0,94	5,0

Максимальное обилие микромицетов зафиксировано на опытном поле №7 (озимая пшеница, технология возделывания No-Till) – 71,1 тыс./г, наименьшее – на контрольном поле №10 (с/х культура – кукуруза, традиционная технология возделывания) – 24,2 тыс./г. Результаты исследований обилия микромицетов опытных и контрольных полей третьего срока исследований (табл. 34) показали, что максимальное обилие микромицетов зафиксировано на контрольном поле №10 (с/х культура – кукуруза, традиционная технология возделывания No-Till) – 50,4 тыс./г, наименьшее – на контрольном поле №8 (с/х культура – озимая пшеница, традиционная технология возделывания) – 24,2 тыс./г.

Таблица 34. Обилие микроскопических грибов на полях с разными технологиями возделывания с/х культур (3-й срок – 17–18 сентября, 2016 г.)

№	Вариант	M, тыс./г	S ²	S	m	V, %
1N	Лен	38,77	2,89	2,08	0,98	6
1K	Озимая пшеница	38,14	2,67	2,00	0,94	6
2N	Лен	33,16	1,56	1,53	0,72	5
2K	Подсолнечник	32,82	0,67	1,00	0,47	3
3N	Кориандр	30,93	4,67	2,65	1,25	9
3K	Озимая пшеница	27,68	1,56	1,53	0,72	6
4N	Кориандр	33,69	8,67	3,61	1,70	12
4K	Ячмень	32,36	4,67	2,65	1,25	9
5N	Ячмень	45,56	40,22	7,77	3,66	18
5K	Озимая пшеница	42,70	14,00	4,58	2,16	11
6N	Озимая пшеница	47,57	28,22	6,51	3,07	15
6K	Озимая пшеница	43,97	27,56	6,43	3,03	15
7N	Озимая пшеница	37,36	8,22	3,51	1,66	10
7K	Ячмень	32,58	29,56	6,66	3,14	21
8N	Озимая пшеница	29,71	6,00	3,00	1,41	11
8K	Озимая пшеница	25,46	2,67	2,00	0,94	8
9N	Подсолнечник + донник	31,60	9,56	3,79	1,78	13
9K	Подсолнечник	30,16	1,56	1,53	0,72	6
10N	Подсолнечник + донник	46,47	6,00	3,00	1,41	7
10K	Кукуруза	50,43	11,56	4,16	1,96	9
11N	Озимая пшеница	37,91	10,89	4,04	1,91	13
11K	Озимая пшеница	37,55	11,56	4,16	1,96	14
12N	Нут	30,45	2,67	2,00	0,94	7
12K	Сафлор	26,81	1,56	1,53	0,72	6
13N	Донник	41,49	2,67	2,00	0,94	5
14N	Подсолнечник	37,16	82,67	11,14	5,25	33
15N	Подсолнечник + вика	35,06	4,67	2,65	1,25	8
16N	Подсолнечник + донник	36,74	2,67	2,00	0,94	6

Морфологический анализ колоний показал, что в сапрофитном грибном населении черноземов преобладают р. *Penicillium*, на их долю приходится до 70% от общей численности плесеней. До 10% составляют грибы рода *Aspergillus*. Также представлены роды *Dematium*, *Torula*, *Trichoderma*. Грибы этих родов начинают активное разложение свежих растительных остатков и легко переносят дефицит влаги, но могут активно размножаться только в условиях хорошей аэрации. Таким образом, видно, что уменьшение механической нагрузки на почву не привело к серьезным изменениям ее аэрации. Анализ динамики обилия микромицетов как опытных, так и контрольных полей показал, что в начале вегетации наблюдается наибольшее обилие микроскопических грибов (рис. 20, 21). В середине вегетации отмечено небольшое снижение

микромицетов и значительное уменьшение микромицетов – в послеуборочный период. Однако на опытных полях с технологий возделывания культур No-Till обилие микромицетов было выше в 1,1–1,5 раза по сравнению с контрольными полями на всех сроках исследований. Таким образом, в среднем за вегетацию наибольшая численность микромицетов наблюдалась в вариантах с прямым посевом.

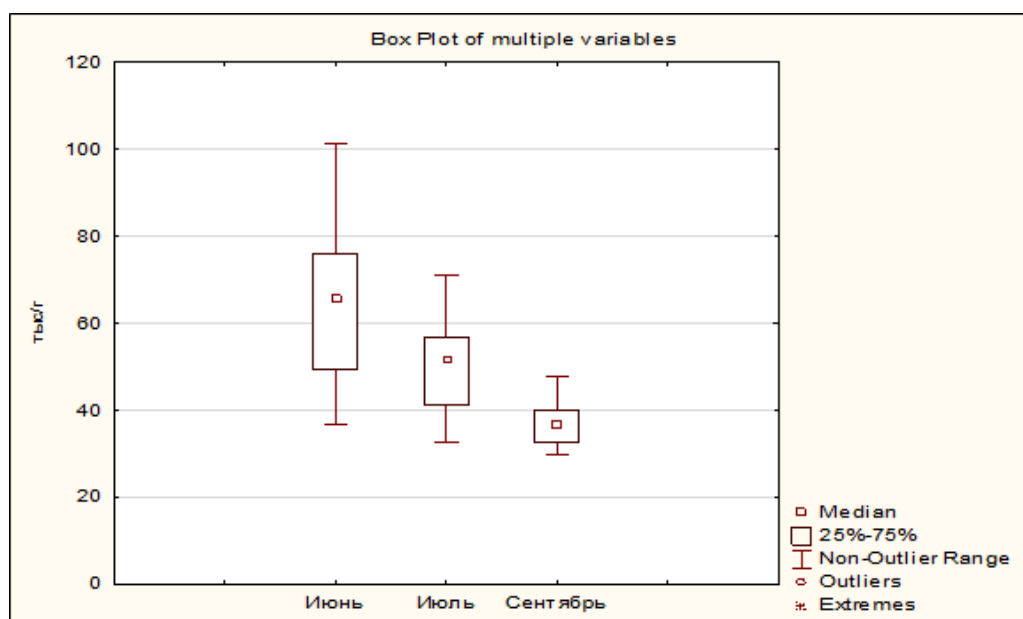


Рис. 20. Вариационно-статистические показатели обилия микромицетов в динамике на опытных полях с технологией No-Till

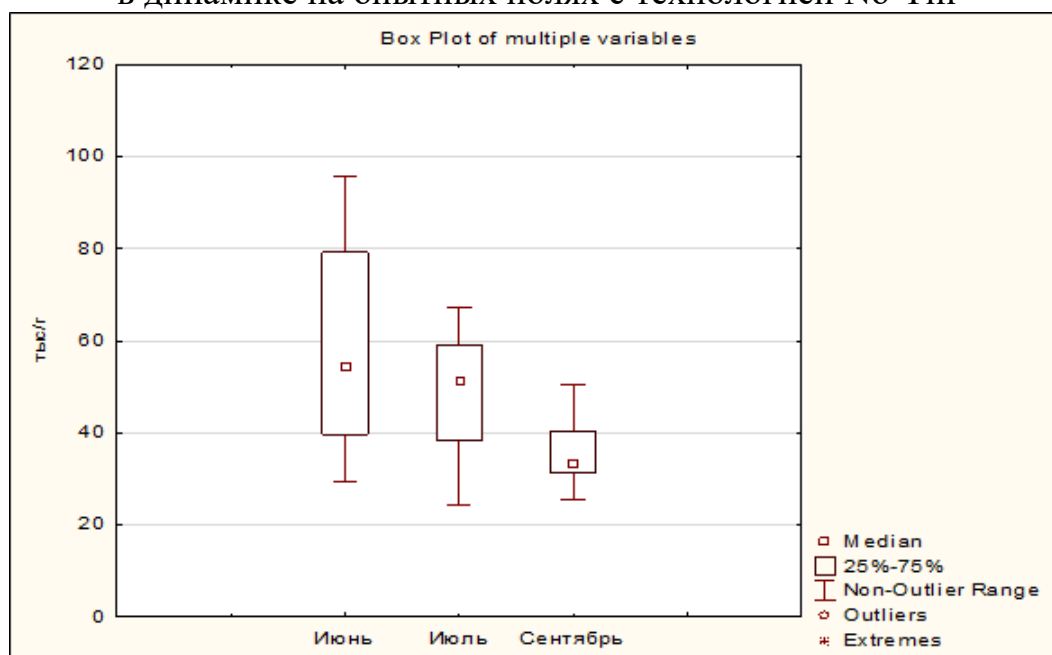


Рис. 21. Вариационно-статистические показатели обилия микромицетов в динамике на опытных полях с традиционной технологией

Вариационно-статистический анализ обилия микроскопических грибов показал (рис. 21), что обилие микромицетов значительно варьирует на всех сроках исследований, однако на полях с применением технологии No-Till колебания численности микромицетов в целом были значительно меньше, чем на контрольных полях с традиционной технологией.

Актиномицеты, как и бациллы, принимают участие на более поздних этапах разложения органического вещества и особенно активно участвуют в разложении лигнина. По мнению многих ученых, содержание актиномицетов в почве является косвенным показателем ее окультуренности (Богомазов и др., 2014).

Анализ первого срока исследований показал, что наибольшая численность актиномицетов наблюдается на полях с бинарными посевами (подсолнечник+донник, поля №9–10, 16) – 61,4–69,8 тыс./г. и под посевами озимой пшеницы (поля №3, 6–8) – 63,0–65,1 тыс./г при возделывании культур по технологии No-Till. В целом численность актиномицетов варьирует в диапазоне 31,7–69,8 тыс./г почвы на полях с применением технологии No-Till и 32,9–64,3 тыс./г с использованием традиционной технологии возделывания сельскохозяйственных культур (табл. 35).

Скорее всего, такой широкий диапазон варьирования численности актиномицетов на разных полях связан с типом почвы и типом возделываемой культуры. Максимальная численность актиномицетов зафиксирована на опытных полях №9 (бинарный посев – подсолнечник+донник, технология возделывания No-Till) и №10 (подсолнечник+донник, технология возделывания No-Till), наименьшая – на опытном и контрольном полях №2 (лен, озимая пшеница). Максимальная численность актиномицетов второго срока исследований установлена на опытном поле №5 (озимая пшеница, технология возделывания No-Till), наименьшая – на контрольном поле №1 (озимая пшеница, традиционная технология возделывания) (табл. 36).

Таблица 35. Численность актиномицетов на полях с разными технологиями возделывания с/х культур (3–5 июня, 2016 г.)

№	Вариант	М, тыс./г	S ²	S	m	V, %
1N	Лен	40,21	8,67	3,61	1,70	12
1K	Озимая пшеница	32,91	8,67	3,61	1,70	13
2N	Лен	31,69	1,56	1,53	0,72	6
2K	Подсолнечник	51,70	42,00	7,94	3,74	20
3N	Кориандр	35,69	6,22	3,06	1,44	11
3K	Озимая пшеница	64,33	24,89	6,11	2,88	13
4N	Кориандр	33,73	12,67	4,36	2,05	17
4K	Ячмень	42,91	10,89	4,04	1,91	12
5N	Ячмень	57,83	33,56	7,09	3,34	17
5K	Озимая пшеница	45,12	20,22	5,51	2,60	16
6N	Озимая пшеница	65,10	24,00	6,00	2,83	12
6K	Озимая пшеница	44,08	20,22	5,51	2,60	16
7N	Озимая пшеница	63,73	10,89	4,04	1,91	9
7K	Ячмень	43,10	24,22	6,03	2,84	18
8N	Озимая пшеница	63,04	28,22	6,51	3,07	14
8K	Озимая пшеница	41,42	2,89	2,08	0,98	7
9N	Подсолнечник + донник	69,80	4,22	2,52	1,19	5
9K	Подсолнечник	37,01	8,67	3,61	1,70	12
10N	Подсолнечник + донник	65,71	54,00	9,00	4,24	18
10K	Кукуруза	47,82	10,89	4,04	1,91	11
11N	Озимая пшеница	60,90	72,22	10,41	4,91	23
11K	Озимая пшеница	34,61	14,00	4,58	2,16	17
12N	Нут	62,86	44,22	8,14	3,84	18
12K	Сафлор	55,19	142,89	14,64	6,90	37
13N	Донник	56,90	4,67	2,65	1,25	7
14N	Подсолнечник	57,04	10,89	4,04	1,91	10
15N	Подсолнечник + вика	52,67	32,00	6,93	3,27	17
16N	Подсолнечник + донник	61,39	67,56	10,07	4,75	22

Таблица 36. Численность актиномицетов на полях с разными технологиями возделывания с/х культур (25–26 июля, 2016 г.)

№	Вариант	M, тыс./г	S ²	S	m	V, %
1N	Лен	38,69	2,67	2,00	0,94	6
1K	Озимая пшеница	31,71	2,89	2,08	0,98	8
2N	Лен	34,05	6,89	3,21	1,52	13
2K	Подсолнечник	50,65	32,67	7,00	3,30	19
3N	Кориандр	35,66	20,22	5,51	2,60	18
3K	Озимая пшеница	41,67	2,67	2,00	0,94	6
4N	Кориандр	34,50	6,22	3,06	1,44	12
4K	Ячмень					
5N	Ячмень	52,84	6,22	3,06	1,44	8
5K	Озимая пшеница	49,44	4,67	2,65	1,25	7
6N	Озимая пшеница	51,71	2,00	1,73	0,82	5
6K	Озимая пшеница	44,73	6,00	3,00	1,41	9
7N	Озимая пшеница	65,08	28,67	6,56	3,09	14
7K	Ячмень	56,91	6,89	3,21	1,52	8
8N	Озимая пшеница	56,15	34,67	7,21	3,40	17
8K	Озимая пшеница	42,62	6,00	3,00	1,41	10
9N	Подсолнечник + донник	56,54	16,89	5,03	2,37	12
9K	Подсолнечник	42,05	14,00	4,58	2,16	13
10N	Подсолнечник + донник	51,30	2,89	2,08	0,98	5
10K	Кукуруза	42,38	10,67	4,00	1,89	11
11N	Озимая пшеница	50,49	6,89	3,21	1,52	9
11K	Озимая пшеница	42,70	10,89	4,04	1,91	12
12N	Нут	56,39	16,67	5,00	2,36	12
12K	Сафлор	46,09	49,56	8,62	4,06	25
13N	Донник	50,05	4,67	2,65	1,25	7
14N	Подсолнечник	52,01	10,89	4,04	1,91	10
15N	Подсолнечник + вика	49,47	6,89	3,21	1,52	8
16N	Подсолнечник + донник	50,67	12,67	4,36	2,05	11

Максимальная численность актиномицетов третьего срока исследований установлена на опытных полях №10, 13, 14 (донник, подсолнечник, подсолнечник+донник, технология возделывания No-Till), наименьшая – на контрольном поле №6 (озимая пшеница, традиционная технология возделывания) (табл. 37).

Таблица 37. Численность актиномицетов на полях с разными технологиями возделывания с/х культур (17–18 сентября, 2016 г.)

№	Вариант	М, тыс./г	S ²	S	m	V, %
1N	Лен	26,79	20,22	5,51	2,60	22
1K	Озимая пшеница	27,19	2,89	2,08	0,98	8
2N	Лен	27,57	4,22	2,52	1,19	10
2K	Подсолнечник	30,93	54,22	9,02	4,25	33
3N	Кориандр	29,51	22,89	5,86	2,76	21
3K	Озимая пшеница	28,74	6,22	3,06	1,44	11
4N	Кориандр	24,27	6,89	3,21	1,52	14
4K	Ячмень	24,09	6,89	3,21	1,52	14
5N	Ячмень	33,01	27,56	6,43	3,03	21
5K	Озимая пшеница	34,16	24,00	6,00	2,83	19
6N	Озимая пшеница	24,33	13,56	4,51	2,13	20
6K	Озимая пшеница	23,01	13,56	4,51	2,13	20
7N	Озимая пшеница	32,69	20,22	5,51	2,60	18
7K	Ячмень	31,89	0,67	1,00	0,47	3
8N	Озимая пшеница	29,71	4,67	2,65	1,25	10
8K	Озимая пшеница	26,53	12,67	4,36	2,05	17
9N	Подсолнечник + донник	27,88	10,67	4,00	1,89	16
9K	Подсолнечник	28,70	2,89	2,08	0,98	8
10N	Подсолнечник + донник	35,13	10,67	4,00	1,89	13
10K	Кукуруза	35,00	16,67	5,00	2,36	16
11N	Озимая пшеница	33,12	4,22	2,52	1,19	9
11K	Озимая пшеница	32,65	6,22	3,06	1,44	11
12N	Нут	25,74	8,22	3,51	1,66	15
12K	Сафлор	31,56	20,67	5,57	2,62	18
13N	Донник	38,58	11,56	4,16	1,96	12
14N	Подсолнечник	36,43	8,22	3,51	1,66	11
15N	Подсолнечник + вика	32,87	24,00	6,00	2,83	20
16N	Подсолнечник + донник	34,94	1,56	1,53	0,72	5

Анализируя данные по динамике численности актиномицетов, следует отметить их невысокую численность в начале вегетации, в первый срок исследования, затем возрастание активности к середине вегетации (2-й срок) и снижение к концу вегетационного периода (3-й срок). Таким образом, пик активности актиномицетов приходится на середину лета, когда наблюдается депрессия численности микромицетов и бактерий (рис. 22, 23). Вариационно-статистический анализ численности актиномицетов показал, что их обилие значительно варьирует на всех сроках исследований, однако на полях с применением технологии No-Till изменение численности по срокам исследований в целом более резкое, нежели на контрольных полях с традиционной технологией.

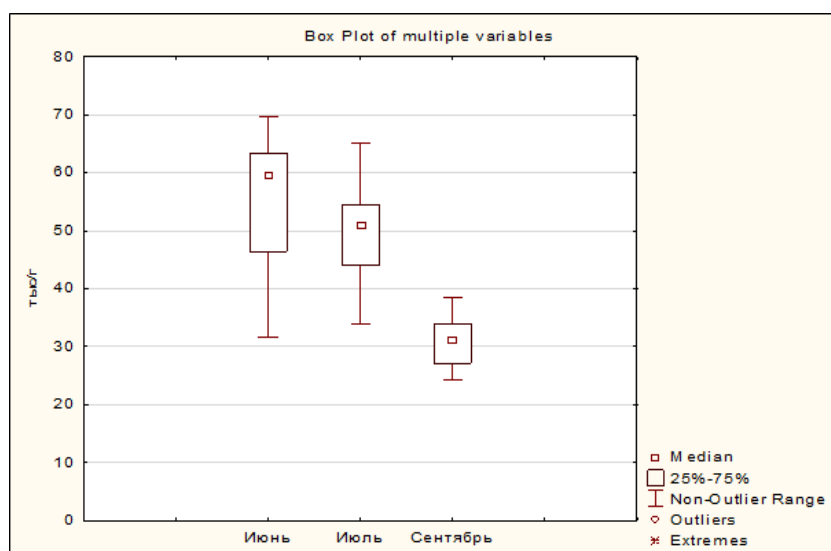


Рис. 22. Вариационно-статистические показатели численности актиномицетов в динамике на опытных полях с технологией No-Till

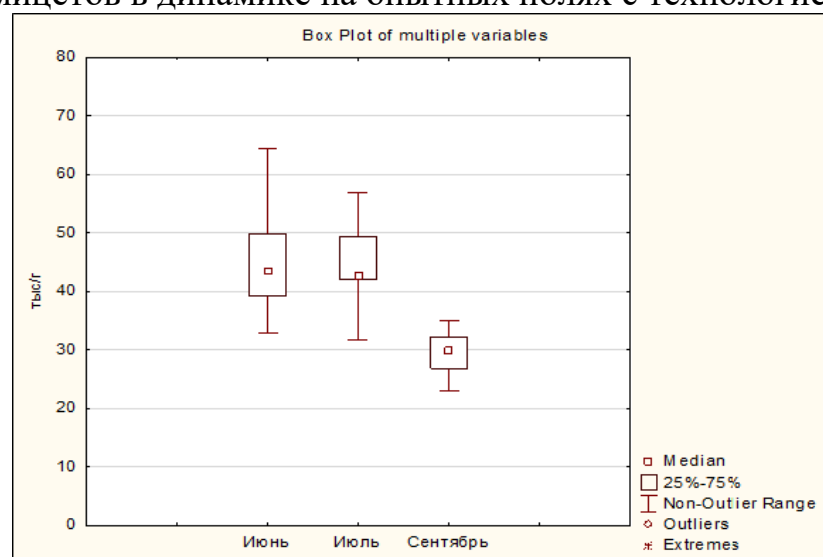


Рис. 23. Вариационно-статистические показатели численности актиномицетов в динамике на опытных полях с традиционной технологией

Анализ данных обилия дрожжей первого срока исследований показал, что на всех исследованных полях с использованием технологии No-Till их численность в 1,5–2 раза выше, чем на полях традиционной технологии посева (табл. 38), что свидетельствует о наиболее интенсивных процессах гидролиза растительных полимеров на начальных стадиях деструкции растительных остатков. Наибольшее обилие дрожжей установлено на опытном поле №5 (ячмень) – 92,5 тыс./г почвы, наименьшее обилие – на контрольном поле №2 (подсолнечник) – 26,2 тыс./г почвы.

Таблица 38. Обилие дрожжей на полях с разными технологиями возделывания с/х культур (3–5 июня, 2016 г.)

№	Вариант	М, тыс./г	S ²	S	m	V, %
1N	Лен	75,66	13,56	4,51	2,13	8
1K	Озимая пшеница	60,95	28,67	6,56	3,09	13
2N	Лен	45,08	14,89	4,73	2,23	14
2K	Подсолнечник	29,16	20,67	5,57	2,62	25
3N	Кориандр	47,88	24,89	6,11	2,88	17
3K	Озимая пшеница	65,66	20,22	5,51	2,60	11
4N	Кориандр	43,24	14,89	4,73	2,23	14
4K	Ячмень	44,22	14,89	4,73	2,23	14
5N	Ячмень	92,52	30,89	6,81	3,21	10
5K	Озимая пшеница	57,82	18,67	5,29	2,49	12
6N	Озимая пшеница	75,95	4,22	2,52	1,19	4
6K	Озимая пшеница	70,69	32,67	7,00	3,30	13
7N	Озимая пшеница	47,80	10,67	4,00	1,89	11
7K	Ячмень	46,18	8,67	3,61	1,70	10
8N	Озимая пшеница	48,05	6,22	3,06	1,44	8
8K	Озимая пшеница	45,02	8,22	3,51	1,66	11
9N	Подсолнечник + донник	71,61	32,89	7,02	3,31	13
9K	Подсолнечник	48,92	40,22	7,77	3,66	20
10N	Подсолнечник + донник	60,79	10,89	4,04	1,91	9
10K	Кукуруза	29,39	4,22	2,52	1,19	11
11N	Озимая пшеница	45,67	82,67	11,14	5,25	33
11K	Озимая пшеница	43,58	52,67	8,89	4,19	26
12N	Нут	50,65	20,22	5,51	2,60	15
12K	Сафлор	65,01	10,89	4,04	1,91	9
13N	Донник	29,88	4,67	2,65	1,25	13
14N	Подсолнечник	77,28	26,00	6,24	2,94	11
15N	Подсолнечник + вика	69,35	49,56	8,62	4,06	16
16N	Подсолнечник + донник	46,50	29,56	6,66	3,14	19

На втором и третьем сроках исследований обилие дрожжей снижается (табл. 39, 40). На втором сроке исследований максимальное обилие дрожжей наблюдается на опытных полях №14, 15 под посевами подсолнечника и би-нарным посевом подсолнечник+вика. На третьем сроке исследований – на опытных полях №14, 15 под посевами подсолнечника и бинарном посеве под-солнечник+донник.

Таблица 39. Обилие дрожжей на полях с технологией возделывания с/х культур No-Till (25–26 июля, 2016 г.)

№	Вариант	М, тыс./г	S ²	S	m	V, %
13N	Донник	28,66	2,89	2,08	0,98	9
14N	Подсолнечник	41,61	9,56	3,79	1,78	11
15N	Подсолнечник + вика	43,34	6,22	3,06	1,44	9
16N	Подсолнечник + донник	37,68	4,67	2,65	1,25	9

Таблица 40. Обилие дрожжей на полях с технологией возделывания с/х культур No-Till (17–18 сентября, 2016 г.)

№	Вариант	М, тыс./г	S ²	S	m	V, %
13N	Донник	23,53	8,22	3,51	1,66	19
14N	Подсолнечник	29,96	8,67	3,61	1,70	15
15N	Подсолнечник + вика	15,54	6,22	3,06	1,44	24
16N	Подсолнечник + донник	28,59	10,67	4,00	1,89	18

Анализируя данные по динамике изменения обилия дрожжей, следует отметить наибольшее их обилие в начале вегетации, в 1 срок исследования, затем их снижение к середине вегетации (2-й срок) и дальнейшее снижение к концу вегетационного периода (3-й срок). Таким образом, пик активности дрожжей приходится на начало периода вегетации, что свидетельствует об интенсивных процессах гидролиза растительных полимеров на стадиях деструкции растительных остатков. Вариационно-статистический анализ обилия дрожжей показал (рис. 24), что их обилие значительно варьирует в первый срок исследований, на втором и третьем сроках вариация значительно меньше.

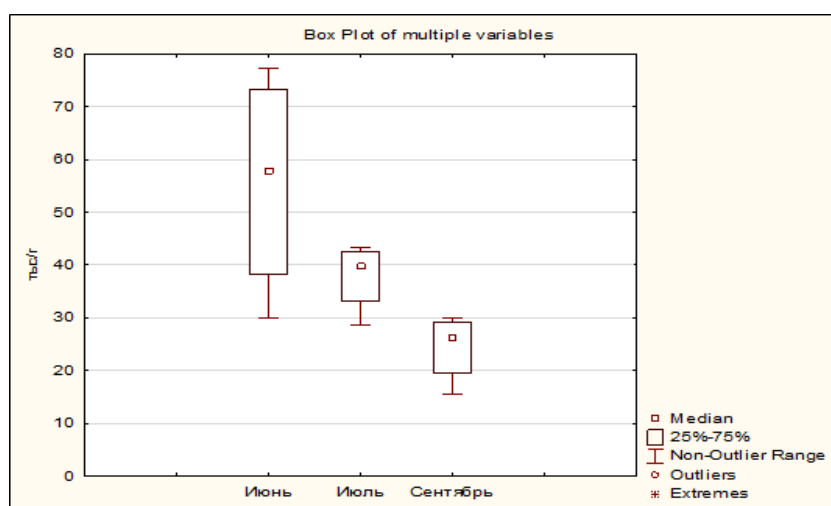


Рис. 24. Вариационно-статистические показатели обилия дрожжей в динамике на опытных полях с технологий No-Till

Диапазон колебаний обилия дрожжей составляет 29,9–77,3 тыс./г в первый влажный период исследований, 28,7–43,3 тыс./г во второй засушливый период и 15,5–29,7 тыс./г в третий холодный период исследований, что связано с колебанием температур и влажности в исследуемые периоды.

Азотфиксирующие бактерии р. *Azotobacter*

Достоверной разницы в обилии бактерий р. *Azotobacter* на полях с использованием разных технологий в первый влажный период исследований не установлено. Скорее всего, наблюдаемые различия в обилии бактерий данного рода связаны с занятостью полей различными сельскохозяйственными культурами. Наибольшее обилие бактерий р. *Azotobacter* наблюдается под посевами ячменя, озимой пшеницы и подсолнечника. Кроме того, обилие бактерий на контрольных полях с использованием традиционной технологии в 1,5–2 раза выше, чем на опытных полях с технологией No-Till (табл. 41).

Достоверной разницы в обилии бактерий р. *Azotobacter* на полях с использованием разных технологий во второй период исследований также не было установлено. Однако обилие бактерий данного рода на опытных полях было уже одинаковым или превышало таковое на контрольных полях (табл. 42). Аналогичная ситуация характерна и для третьего срока исследований (табл. 43).

Анализ динамики изменения обилия бактерий р. *Azotobacter* показал неоднозначные результаты. В целом на опытных и контрольных полях отмечено наименьшее обилие бактерий в первый влажный период исследований.

На полях с традиционной технологией отмечается незначительное колебание обилия бактерий на протяжении всех сроков исследований, в то время как на опытных полях с технологией No-Till отмечается резкое увеличение в 2–3 раза обилия бактерий р. *Azotobacter* во второй период исследований (июль), затем незначительное снижение в сентябре. Наибольшее обилие бактерий отмечено под посевами озимой пшеницы, ячменя и в бинарном посеве подсолнечник+донник (на полях с технологией No-Till) и под посевами ячменя и пшеницы на полях с традиционной системой.

Таблица 41. Обилие бактерий р. *Azotobacter* на полях с разными технологиями возделывания с/х культур (3–5 июня, 2016 г.)

№	Вариант	% обрастания	S ²	S	m	V, %
1N	Лен	52	0,67	1,00	0,47	8
1K	Озимая пшеница	85	0,89	1,15	0,54	5
2N	Лен	41	1,56	1,53	0,72	15
2K	Подсолнечник	61	4,22	2,52	1,19	16
3N	Кориандр	76	2,00	1,73	0,82	9
3K	Озимая пшеница	83	1,56	1,53	0,72	7
4N	Кориандр	71	0,22	0,58	0,27	3
4K	Ячмень	100	0,00	0,00	0,00	0
5N	Ячмень	68	2,67	2,00	0,94	12
5K	Озимая пшеница	56	0,67	1,00	0,47	7
6N	Озимая пшеница	60	4,67	2,65	1,25	18
6K	Озимая пшеница	79	6,89	3,21	1,52	16
7N	Озимая пшеница	53	0,89	1,15	0,54	9
7K	Ячмень	91	6,89	3,21	1,52	14
8N	Озимая пшеница	56	0,67	1,00	0,47	7
8K	Озимая пшеница	65	0,22	0,58	0,27	4
9N	Подсолнечник + донник	51	0,89	1,15	0,54	9
9K	Подсолнечник	64	4,67	2,65	1,25	17
10N	Подсолнечник + донник	59	1,56	1,53	0,72	10
10K	Кукуруза	63	6,89	3,21	1,52	21
11N	Озимая пшеница	48	0,67	1,00	0,47	8
11K	Озимая пшеница	72	0,67	1,00	0,47	6
12N	Нут	47	0,22	0,58	0,27	5
12K	Сафлор	49	3,56	2,31	1,09	19
13N	Донник	52	12,67	4,36	2,05	34
14N	Подсолнечник	64	2,67	2,00	0,94	13
15N	Подсолнечник + вика	72	0,67	1,00	0,47	6
16N	Подсолнечник + донник	61	1,56	1,53	0,72	10

Таблица 42. Обилие бактерий р. *Azotobacter* на полях с разными технологиями возделывания с/х культур (25–26 июля, 2016 г.)

№	Вариант	% обрастания	S ²	S	m	V, %
1N	Лен	97	0,89	1,15	0,54	5
1K	Озимая пшеница	96	0,67	1,00	0,47	4
2N	Лен	97	0,22	0,58	0,27	2
2K	Подсолнечник	92	2,67	2,00	0,94	9
3N	Кориандр	76	0,67	1,00	0,47	5
3K	Озимая пшеница	87	2,89	2,08	0,98	10
4N	Кориандр	99	0,22	0,58	0,27	2
4K	Ячмень	не опр.	не опр.	не опр.	не опр.	не опр.
5N	Ячмень	99	0,22	0,58	0,27	2
5K	Озимая пшеница	96	0,67	1,00	0,47	4
6N	Озимая пшеница	89	1,56	1,53	0,72	7
6K	Озимая пшеница	72	2,67	2,00	0,94	11
7N	Озимая пшеница	87	1,56	1,53	0,72	7
7K	Ячмень	87	0,22	0,58	0,27	3
8N	Озимая пшеница	93	1,56	1,53	0,72	7
8K	Озимая пшеница	89	2,89	2,08	0,98	9
9N	Подсолнечник + донник	73	4,22	2,52	1,19	14
9K	Подсолнечник	88	2,67	2,00	0,94	9
10N	Подсолнечник + донник	83	1,56	1,53	0,72	7
10K	Кукуруза	68	0,67	1,00	0,47	6
11N	Озимая пшеница	99	0,22	0,58	0,27	2
11K	Озимая пшеница	84	0,67	1,00	0,47	5
12N	Нут	52	2,67	2,00	0,94	15
12K	Сафлор	64	12,67	4,36	2,05	27
13N	Донник	99	0,22	0,58	0,27	2
14N	Подсолнечник	80	0,67	1,00	0,47	5
15N	Подсолнечник + вика	69	1,56	1,53	0,72	9
16N	Подсолнечник + донник	63	10,89	4,04	1,91	26

Таблица 43. Обилие бактерий р. *Azotobacter* с разными технологиями возделывания с/х культур (17–18 сентября, 2016 г.)

№	Вариант	% обрастания	S ²	S	m	V, %
1N	Лен	79	1,56	1,53	0,72	8
1K	Озимая пшеница	92	0,67	1,00	0,47	4
2N	Лен	52	4,67	2,65	1,25	20
2K	Подсолнечник	67	11,56	4,16	1,96	25
3N	Кориандр	37	2,89	2,08	0,98	22
3K	Озимая пшеница	41	4,22	2,52	1,19	24
4N	Кориандр	60	4,67	2,65	1,25	18
4K	Ячмень	65	2,89	2,08	0,98	13
5N	Ячмень	49	4,22	2,52	1,19	20
5K	Озимая пшеница	67	13,56	4,51	2,13	27
6N	Озимая пшеница	60	12,67	4,36	2,05	29
6K	Озимая пшеница	75	6,89	3,21	1,52	17
7N	Озимая пшеница	71	6,22	3,06	1,44	17
7K	Ячмень	71	4,22	2,52	1,19	14
8N	Озимая пшеница	51	0,89	1,15	0,54	9
8K	Озимая пшеница	40	6,00	3,00	1,41	30
9N	Подсолнечник + донник	48	2,67	2,00	0,94	17
9K	Подсолнечник	48	0,67	1,00	0,47	8
10N	Подсолнечник + донник	53	0,22	0,58	0,27	4
10K	Кукуруза	52	0,67	1,00	0,47	8
11N	Озимая пшеница	49	4,22	2,52	1,19	20
11K	Озимая пшеница	47	2,89	2,08	0,98	18
12N	Нут	44	0,67	1,00	0,47	9
12K	Сафлор	40	2,67	2,00	0,94	20
13N	Донник	17	0,22	0,58	0,27	13
14N	Подсолнечник	49	0,22	0,58	0,27	5
15N	Подсолнечник + вика	53	2,89	2,08	0,98	16
16N	Подсолнечник + донник	61	4,22	2,52	1,19	16

Влияние No-Till на общую численность почвенных бактерий

Результаты люминесцентной микроскопии первого влажного периода исследований показали, что на большинстве полей, возделываемых по технологии прямого посева No-Till, общая численность бактерий в среднем на 15–20% выше, чем на полях с традиционным посевом культур (табл. 44).

Наибольшая численность бактерий отмечена на опытном поле №16 (бинарный посев, подсолнечник+донник) – $6,0 \pm 0,9$ млрд/г ($p < 0,05$), наименьшая

численность бактерий – на контрольном поле №9 (подсолнечник, традиционная технология) – $3,6 \pm 0,7$ млрд/г ($p < 0,05$).

Таблица 44. Общая численность бактерий (люминесцентная микроскопия) на полях с разными технологиями (3–5 июня, 2016 г.)

№	Вариант	M, млрд/г	S ²	S	m	V, %
1N	Лен	4,94	0,01	0,14	0,07	0,72
1K	Озимая пшеница	5,02	0,36	0,85	0,42	4,25
2N	Лен	5,01	33,93	8,24	4,12	41,34
2K	Подсолнечник	5,12	6,00	3,46	1,73	17,03
3N	Кориандр	5,13	1,69	1,84	0,92	9,01
3K	Озимая пшеница	4,99	0,72	1,20	0,60	6,06
4N	Кориандр	5,40	2,40	2,19	1,10	10,22
4K	Ячмень	3,92	0,18	0,60	0,30	3,86
5N	Ячмень	4,46	0,05	0,32	0,16	1,80
5K	Озимая пшеница	4,08	1,10	1,48	0,74	9,17
6N	Озимая пшеница	5,04	0,01	0,14	0,07	0,71
6K	Озимая пшеница	3,82	0,56	1,06	0,53	6,98
7N	Озимая пшеница	4,21	0,05	0,32	0,16	1,90
7K	Ячмень	4,02	0,08	0,39	0,19	2,43
8N	Озимая пшеница	5,63	6,63	3,64	1,82	16,28
8K	Озимая пшеница	4,52	1,89	1,94	0,97	10,82
9N	Подсолнечник + донник	5,18	5,41	3,29	1,64	15,98
9K	Подсолнечник	3,58	1,05	1,45	0,72	10,19
10N	Подсолнечник + донник	5,64	0,00	0,07	0,04	0,32
10K	Кукуруза	3,83	0,01	0,11	0,05	0,70
11N	Озимая пшеница	5,31	0,36	0,85	0,42	4,02
11K	Озимая пшеница	4,71	0,02	0,18	0,09	0,94
12N	Нут	3,78	1,16	1,52	0,76	10,12
12K	Сафлор	3,92	1,82	1,91	0,95	12,24
13N	Донник	4,86	4,00	2,83	1,41	14,66
14N	Подсолнечник	4,01	0,39	0,88	0,44	5,55
15N	Подсолнечник + вика	5,11	0,09	0,42	0,21	2,09
16N	Подсолнечник + донник	5,96	1,63	1,80	0,90	7,62

При оценке влияния механической обработки почв следует обратить внимание на опытные и контрольные поля под посевами одинаковых культур. Так, при сравнении опытных и контрольных полей №6, 8, 11 под посевами озимой пшеницы установлено, что общая численность бактерий на опытных полях (система No-Till) выше в 1,5–2 раза, чем на контрольных полях с традиционной системой обработки.

Во второй засушливый и теплый период отмечена тенденция незначительного снижения общей численности бактерий как на опытных, так и на контрольных полях, по сравнению с первым сроком исследований (табл. 45).

Таблица 45. Общая численность бактерий (люминесцентная микроскопия) на полях с разными технологиями (25–26 июля, 2016 г.)

№	Вариант	M, млрд/г	S ²	S	m	V, %
1N	Лен	4,84	0,02	0,21	0,11	1,10
1K	Озимая пшеница	4,20	0,20	0,64	0,32	3,81
2N	Лен	4,01	0,08	0,39	0,19	2,44
2K	Подсолнечник	3,89	1,32	1,63	0,81	10,53
3N	Кориандр	3,88	2,03	2,02	1,01	13,06
3K	Озимая пшеница	3,81	0,25	0,71	0,35	4,67
4N	Кориандр	3,97	0,90	1,34	0,67	8,50
4K	Ячмень	не опр.	не опр.	не опр.	не опр.	не опр.
5N	Ячмень	4,09	0,72	1,20	0,60	7,40
5K	Озимая пшеница	3,77	0,53	1,03	0,51	6,85
6N	Озимая пшеница	4,18	0,42	0,92	0,46	5,54
6K	Озимая пшеница	3,97	1,50	1,73	0,87	10,98
7N	Озимая пшеница	4,23	0,72	1,20	0,60	7,16
7K	Ячмень	4,02	0,11	0,46	0,23	2,88
8N	Озимая пшеница	4,42	8,70	4,17	2,09	23,77
8K	Озимая пшеница	3,84	0,72	1,20	0,60	7,88
9N	Подсолнечник + донник	4,35	0,33	0,81	0,41	4,71
9K	Подсолнечник	3,54	0,11	0,47	0,24	3,37
10N	Подсолнечник + донник	4,08	0,28	0,74	0,37	4,58
10K	Кукуруза	3,68	0,03	0,25	0,12	1,69
11N	Озимая пшеница	4,53	1,32	1,63	0,81	9,04
11K	Озимая пшеница	4,06	0,11	0,46	0,23	2,85
12N	Нут	3,91	0,33	0,81	0,41	5,24
12K	Сафлор	3,87	4,41	2,97	1,48	19,28
13N	Донник	4,03	9,00	4,24	2,12	26,52
14N	Подсолнечник	3,93	0,46	0,95	0,48	6,11
15N	Подсолнечник + вика	4,21	1,96	1,98	0,99	11,82
16N	Подсолнечник + донник	4,04	0,28	0,74	0,37	4,62

Наибольшая численность бактерий отмечена на опытном поле №1 (с/х культура – лен, технология No-Till) – $4,8 \pm 0,1$ млрд/г ($p < 0,05$), наименьшая численность бактерий – на контрольном поле №9 (подсолнечник, традиционная технология) – $3,5 \pm 0,2$ млрд/г ($p < 0,05$).

При сравнении опытных и контрольных полей №6, 8, 11 под посевами озимой пшеницы наблюдается тенденция, аналогичная первому сроку. Общая

численность бактерий на опытных полях (система No-Till) выше в 1 – 1,5 раза, чем на контрольных полях с традиционной системой обработки.

В третий холодный и засушливый период отмечено снижение общей численности бактерий как на опытных, так и на контрольных полях, по сравнению с предыдущими сроками исследований (табл. 46).

Таблица 46. Общая численность бактерий (люминесцентная микроскопия) на полях с разными технологиями (17–18 сентября, 2016 г.)

№	Вариант	M, млрд/г	S ²	S	m	V, %
1N	Лен	3,95	0,36	0,85	0,42	5,51
1K	Озимая пшеница	4,05	0,56	1,06	0,53	6,59
2N	Лен	3,90	0,30	0,78	0,39	5,02
2K	Подсолнечник	3,97	0,01	0,11	0,05	0,67
3N	Кориандр	3,74	0,33	0,81	0,41	5,47
3K	Озимая пшеница	3,81	0,25	0,71	0,35	4,67
4N	Кориандр	3,70	0,06	0,35	0,18	2,41
4K	Ячмень	3,69	0,00	0,07	0,04	0,48
5N	Ячмень	3,87	0,14	0,53	0,27	3,45
5K	Озимая пшеница	3,81	0,02	0,18	0,09	1,17
6N	Озимая пшеница	3,75	0,20	0,64	0,32	4,27
6K	Озимая пшеница	3,67	0,01	0,14	0,07	4,27
7N	Озимая пшеница	3,69	0,18	0,60	0,30	0,97
7K	Ячмень	3,93	0,14	0,53	0,27	4,10
8N	Озимая пшеница	4,05	3,52	2,65	1,33	3,39
8K	Озимая пшеница	3,50	0,49	0,99	0,49	16,44
9N	Подсолнечник + донник	4,15	0,05	0,32	0,16	7,10
9K	Подсолнечник	3,54	0,36	0,85	0,42	1,93
10N	Подсолнечник + донник	3,84	0,53	1,03	0,51	6,02
10K	Кукуруза	3,73	0,00	0,04	0,02	6,71
11N	Озимая пшеница	4,00	0,20	0,64	0,32	0,24
11K	Озимая пшеница	3,84	1,21	1,56	0,78	4,00
12N	Нут	3,74	0,42	0,92	0,46	10,20
12K	Сафлор	3,69	0,36	0,85	0,42	6,19
13N	Донник	3,91	6,50	3,61	1,80	5,79
14N	Подсолнечник	3,87	0,23	0,67	0,34	23,194,37
15N	Подсолнечник + вика	3,92	0,01	0,11	0,05	0,68
16N	Подсолнечник + донник	3,99	1,27	1,59	0,80	10,02

Наибольшая численность бактерий отмечена на опытном поле №9 (бинный посев, подсолнечник+донник, технология No-Till) – $4,2 \pm 0,2$ млрд/г ($p < 0,05$), наименьшая численность бактерий – на контрольном поле №9 (подсолнечник, традиционная технология) – $3,5 \pm 0,2$ млрд/г ($p < 0,05$) и на

контрольном поле №8 (озимая пшеница, традиционная технология) – $3,5 \pm 0,3$ млрд/г ($p < 0,05$).

При сравнении опытных и контрольных полей №6, 8, 11 под посевами озимой пшеницы наблюдается тенденция, аналогичная предыдущим срокам. Общая численность бактерий на полях No-Till выше в среднем на 10%, чем на контрольных полях с традиционной системой обработки.

Анализ динамики изменения общей численности бактерий показал, что наибольшая численность бактерий наблюдается в первый влажный период исследований и затем снижается на последующих сроках как на опытных, так и на контрольных полях. Наибольшая численность бактерий установлена под бинарными посевами (подсолнечник+донник, подсолнечник+вика) на полях с технологией прямого посева и под культурами подсолнечника и озимой пшеницы на опытных полях с традиционной технологией.

Влияние No-Till на обилие почвенных водорослей

На исследованных участках с использованием технологии прямого посева диапазон численности микроводорослей составляет 107,8–145,6 тыс./г почвы – в 1 срок исследований, 99,6–121,6 тыс./г – во второй срок и 94,9–118,0 тыс./г – в третий срок исследований, что свидетельствует о достаточном обогащении почвы водорослями, способствующими увеличению содержания органических веществ, стимуляции роста почвенных микроорганизмов, тем самым повышая урожайность сельскохозяйственных культур (табл. 47–50, рис. 16).

Таблица 47. Обилие водорослей (люминесцентная микроскопия) на полях с разными технологиями возделывания с/х культур (3–5 июня, 2016 г.)

№	Вариант	M, тыс./г	S ²	S	m	V, %
13N	Донник	107,8	0,00	0,08	0,04	0,94
14N	Подсолнечник	110,7	0,00	0,05	0,02	0,60
15N	Подсолнечник + вика	137,8	0,12	0,42	0,20	4,03
16N	Подсолнечник + донник	145,6	0,36	0,74	0,35	6,75

Таблица 48. Обилие водорослей (люминесцентная микроскопия) на полях с разными технологиями возделывания с/х культур (25–26 июля, 2016 г.)

№	Вариант	M, тыс./г	S ²	S	m	V, %
13N	Донник	99,6	0,18	0,53	0,25	7,03
14N	Подсолнечник	100,7	0,00	0,05	0,02	0,66
15N	Подсолнечник + вика	116,9	0,35	0,73	0,34	8,31
16N	Подсолнечник + донник	121,6	0,40	0,78	0,37	8,50

Таблица 50. Обилие водорослей (люминесцентная микроскопия) на полях с разными технологиями возделывания с/х культур (17–18 сентября, 2016 г.)

№	Вариант	M, тыс./г	S ²	S	m	V, %
13N	Донник	94,9	0,34	0,71	0,34	9,99
14N	Подсолнечник	100,0	0,03	0,22	0,10	2,91
15N	Подсолнечник + вика	110,9	0,33	0,71	0,33	8,51
16N	Подсолнечник + донник	118,0	0,13	0,44	0,21	4,93

Наибольшее обилие почвенных водорослей отмечается в первый срок исследований (июнь, 2016 г.) (рис. 25), что, скорее всего, связано с внесением удобрений в первые фазы развития растительных культур.

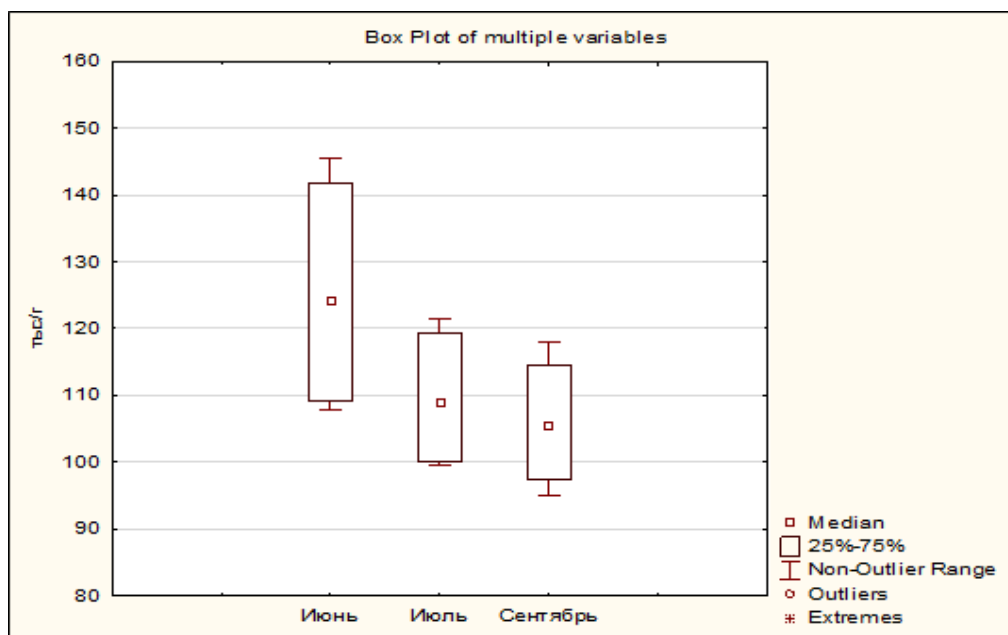


Рис. 25. Вариационно-статистические показатели обилия водорослей в динамике на опытных полях с технологий No-Till

Внесение органических или минеральных удобрений, улучшающее условия питания, усиливает развитие водорослей в почве. Это показано многими исследователями (Балезина, 1975; Гордеев, Левкина, 1982; Кабиров, Любина, 1988). Минеральные удобрения действуют на водоросли быстро, но с разной

эффективностью в зависимости от обеспеченности почвы необходимыми элементами пищи. Разные водоросли, естественно, неодинаково реагируют на вносимые удобрения, и от этого получают преобладание то одни, то другие систематические группы.

Действие удобрений сильно зависит от влажности почвы и наиболее ярко проявляется в периоды достаточной влажности. Особенно наглядно стимулирующее влияние минеральных удобрений в тех случаях, когда этот фактор совпадает с оптимумом двух других факторов жизни водорослей — воды и света. Это происходит, например, при внесении удобрений на влажную поверхность почвы, — в частности, при весенней или осенней подкормке посевов, тогда поверхность почвы быстро покрывается интенсивным налетом водорослей — почва «цветет», в связи с чем при оптимальном сочетании влажности, света и удобрений обилие водорослей в первый период исследований было наибольшим.

Наибольшее обилие водорослей наблюдалось под бинарными посевами, нежели в одновидовых посевах. Кроме того, немаловажным обстоятельством является чередование культур в севообороте и предшественник. Чередование культур в севообороте, бесспорно, влияет на сообщества водорослей. Как было показано на примере семипольного севооборота на дерново-подзолистой почве, разным культурам соответствуют разные группировки водорослей, которые сменяют друг друга при ротации севооборота. Эта смена обусловлена в какой-то мере прямым влиянием культурных растений на водоросли, которое выражается, в частности, в ризосферном эффекте — накоплении водорослей и изменении их состава вокруг корней. Однако в большей степени на изменения альгофлоры влияет комплекс агротехнических приемов, соответствующий той или иной культуре (Акименко и др., 2016).

Влияние No-Till на биомассу почвенных микроорганизмов

Анализ полученных данных показал, что на большинстве полей, возделываемых по технологии No-Till, микробная биомасса превышает аналогичную

на полях традиционной технологии в 1,5–2 раза, что свидетельствует о более высокой продуктивности почв (табл. 51).

Таблица 51. Показатели микробной биомассы на полях с разными технологиями возделывания с/х культур

№	Вариант	Июнь		Июль		Сентябрь	
		мкг С/г	%	мкг С/г	%	мкг С/г	%
1N	Лен	644	59	517	50	431	44
1K	Озимая пшеница	727	66	645	63	533	54
2N	Лен	625	57	601	58	474	48
2K	Подсолнечник	879	80	869	84	563	58
3N	Кориандр	1097	100	923	90	639	65
3K	Озимая пшеница	883	81	775	75	679	69
4N	Кориандр	1067	97	1031	100	505	52
4K	Ячмень	753	69			403	41
5N	Ячмень	863	79	851	82	520	53
5K	Озимая пшеница	735	67	756	73	659	67
6N	Озимая пшеница	928	85	887	86	956	98
6K	Озимая пшеница	770	70	849	82	849	87
7N	Озимая пшеница	788	72	680	66	687	70
7K	Ячмень	560	51	560	54	645	66
8N	Озимая пшеница	923	84	680	66	685	70
8K	Озимая пшеница	769	70	749	73	698	71
9N	Подсолнечник + донник	1043	95	891	86	746	76
9K	Подсолнечник	876	80	756	73	732	75
10N	Подсолнечник + донник	1084	99	1004	97	711	73
10K	Кукуруза	480	44	467	45	620	63
11N	Озимая пшеница	1278	116	1022	99	879	90
11K	Озимая пшеница	1027	94	886	86	856	87
12N	Нут	481	44	271	26	373	38
12K	Сафлор	439	40	325	31	376	38
13N	Донник	623	57	575	56	524	54
14N	Подсолнечник	990	90	901	87	727	74
15N	Подсолнечник + вика	1090	99	1028	100	978	100
16N	Подсолнечник + донник	1057	96	1007	98	959	98

Наибольшим количеством накопленной микробной биомассы отличаются поля с бинарными посевами, по сравнению с одновидовыми. Максимальное количество накопленной микробной биомассы наблюдается на полях №9, 10, 11, 15, 16 под посевами озимой пшеницы и на бинарных посевах подсолнечника и донника (технология No-Till) в первый влажный период исследований, что обусловлено не только отсутствием механической обработки почв

при No-Till, но и грамотно применяемой агротехники в разные фазы развития растительных культур.

Таким образом, более благоприятные условия для развития микробной биомассы почвы ($C_{\text{мик}}$) складываются на опытных полях нулевой системы обработки, где диапазон микробной биомассы варьирует от 481 мкг С/г почвы (поле №11, нут) до 1278 мкг С/г почвы (поле №11, озимая пшеница).

На полях с ежегодной поверхностной обработкой и вспашкой наблюдается меньшее содержание биомассы микроорганизмов. Диапазон варьирования данного показателя составляет 439 мкг С/г (поле №12, сафлор) – 1027 мкг С/г (поле №11, пшеница).

Изменение ИПБС черноземов при применении No-Till

Для выявления общих закономерностей изменения микробоценоза черноземов при разных технологиях возделывания сельскохозяйственных культур рассчитан интегральный показатель биологического состояния (ИПБС) почвы (Казеев, 1996; Вальков и др., 1999; Казеев, Колесников, 2012).

Анализ данных ИПБС по срокам исследований показал, что наименьшая микробиологическая активность наблюдается в первый влажный период исследований как на опытных, так и на контрольных полях (рис. 26, 27). Однако при сравнении опытных и контрольных полей первого срока исследований показатель ИПБС на 20–30% выше на полях с технологией No-Till, чем на полях с традиционной технологией. Причем наибольшая микробиологическая активность отмечена на полях с бинарными посевами (поля №9,10, 15,16), нежели с одновидовыми (за исключением поля №5, ячмень), где показатель ИПБС варьировал в диапазоне 93–100%. В то же время как на этих же контрольных полях с применением традиционной технологии ИПБС варьировал в диапазоне 72–76%.

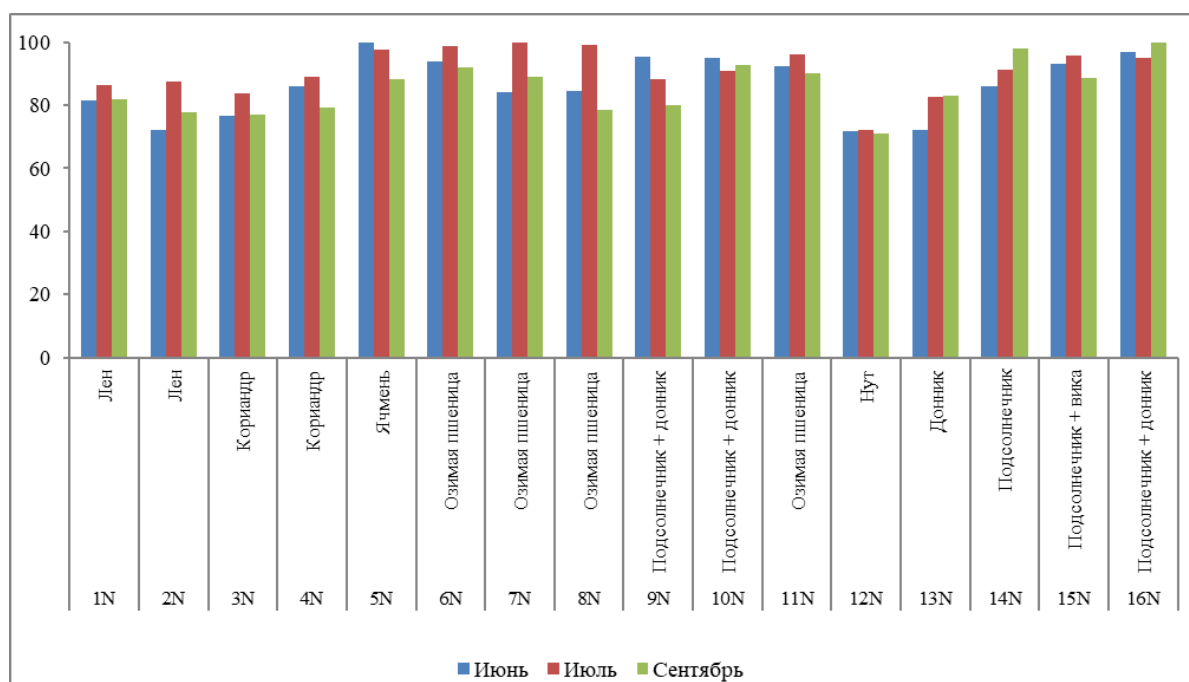


Рис. 26. ИПБС (%) на опытных полях с технологиями No-Till

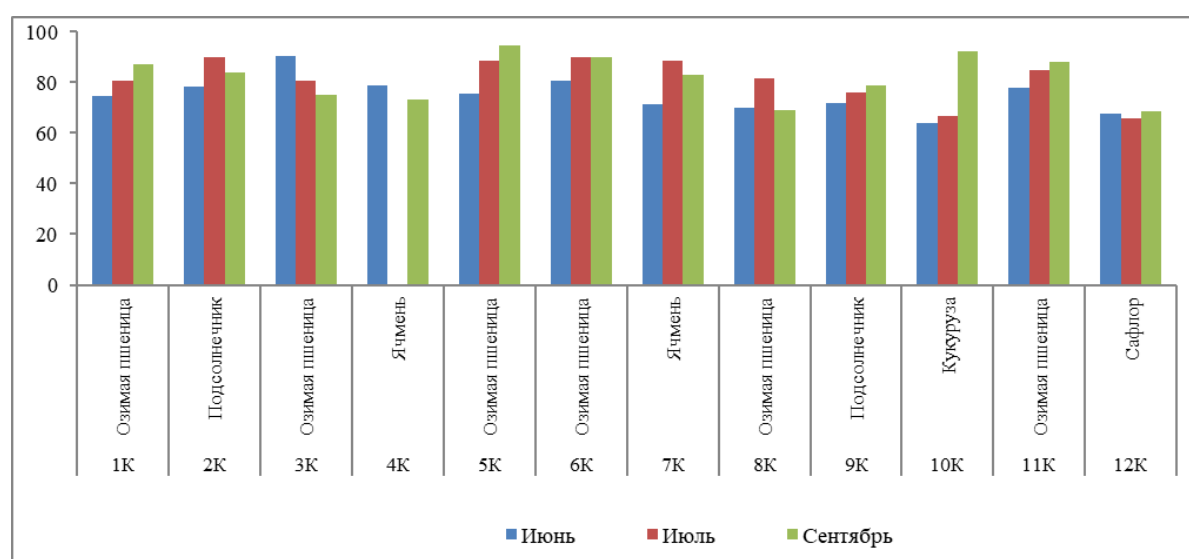


Рис. 27. ИПБС (%) на контрольных полях с традиционной технологией

Что касается второго срока исследований, то для большинства опытных полей наблюдается тенденция увеличения ИПБС, особенно на полях с озимой пшеницей (поля №6–8) и бинарных посевах подсолнечника (поля №15, 16).

В послеуборочный период (3-й срок исследований) ИПБС снижается незначительно, однако остается на высоком уровне на полях бинарных посевов подсолнечника.

В вариантах с No-Till колебания уровня биологической активности на протяжении всего срока исследований не являются существенными и

возможно говорить о более стабильном функционировании микробоценоза черноземов при использовании данного способа возделывания культур. Аналогичные результаты исследований были получены в работе Р.П. Вильного (2015), в которой было установлено, что под влиянием разных способов механической обработки чернозема типичного происходят перестройки в структуре и функционировании почвенного микробного комплекса. Так, при уменьшении механической нагрузки на почву наблюдалось возрастание показателя биологического состояния чернозема типичного. В среднем за годы исследований в варианте с применением нулевой обработки почвы интегрированный показатель биологического состояния возрастает, что свидетельствует о формировании лучших условий для развития и функционирования микробиоценоза чернозема типичного и интенсификации обмена веществ и энергии в агроэкосистеме.

Рассматривая непосредственно взаимосвязь микробного сообщества и урожайности, следует отметить, что последняя теснее связана не с численностью микроорганизмов, а с интенсивностью и направленностью круговорота питательных элементов, осуществляемого микробным сообществом. В большей мере, за вычетом разнообразия, это касается структуры микробного сообщества. Численность микроорганизмов может снижаться и увеличиваться за короткий промежуток времени в ответ на изменение условий среды, тогда как структура отражает состояние сообщества, близкое к равновесию (Селиверстова, Верховцева, 2011). Трудноразлагающиеся растительные остатки, прижизненные метаболиты и корневые экссудаты растений, наоборот, активно минерализуются микробоценозом, поддерживая функционирование как самих микроорганизмов, так и растений агроэкосистемы.

В результате исследований микробоценоза черноземов Ростовской области при использовании разных систем возделывания сельскохозяйственных культур установлено, что использование технологии No-Till не приводит к ухудшению микробиологической активности почв (Акименко и др., 2016, Мокриков и др., 2017).

В некоторых из исследуемых микробиологических показателей (обилие бактерий *p. Azotobacter*, актиномицетов, дрожжей, микроскопических грибов) значительного различия между опытными и контрольными почвами не обнаружено. Выявляемые отличия, скорее всего, связаны с занятостью полей различными сельскохозяйственными культурами и типами почв. Однако показатели общей численности бактерий, микробной биомассы, аммонифицирующих бактерий и водорослей почв полей с технологией прямого посева No-Till зачастую превышают таковые почв полей с традиционной технологией. Кроме того, по интегральному показателю биологического состояния более оптимальные условия функционирования микробного ценоза черноземов формируются при нулевой обработке почвы.

Таким образом, отсутствие пахотной обработки и оставление растительных остатков на поверхности почв приводит к увеличению общей численности бактерий, численности бактерий отдельных экологических групп и большему накоплению микробной биомассы, способствуя увеличению плодородия почв и повышению урожайности сельскохозяйственных культур. Следовательно, энергосберегающие технологии No-Till в сочетании со средствами комплексной химизации могут служить одним из радикальных средств сохранения и повышения потенциального плодородия почв.

ВЛИЯНИЕ ПРЯМОГО ПОСЕВА НА ПРОФИЛЬНОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ЭКОЛОГО-БИОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ

Основной целью исследований, проведенных в 2017 г., было оценить воздействие длительного использования технологии прямого посева на экологическое состояние черноземов обыкновенных не только в поверхностном слое почв, но и по всему гумусовому профилю.

Влияние технологии прямого посева на физические свойства почв

Исследование температурного режима в 2017 г. показало выраженную сезонность данного показателя (табл. 52, рис. 28).

Таблица 52. Динамика температуры воздуха и почвы в 2017 г.

Глубина, см	Д1	К1	Д2	К2	Д4	К4	Д9	К9	Д11	К11
апрель										
воздух	8,9	12,4	13,3	не опр.	не опр.	не опр.	не опр.	не опр.	не опр.	15,2
0	9,8	12,6	11,0	14,9	16,4	17,2	22,5	18,4	21,1	14,8
5	5,5	6,7	6,4	6,4	7,7	9,6	14,7	13,0	14,3	14,2
10	4,5	5,2	5,0	5,0	5,6	6,5	9,9	9,6	9,5	8,2
май										
воздух	15,6	22,9	24,0	25,3	22,6	27,5	не опр.	не опр.	не опр.	не опр.
0	12,9	17,5	16,0	15,0	14,1	20,5	не опр.	не опр.	не опр.	не опр.
5	11,0	14,5	15,0	14,0	13,3	15,0	не опр.	не опр.	не опр.	не опр.
10	10,4	13,2	13,4	12,5	12,2	13,3	не опр.	не опр.	не опр.	не опр.
июль										
воздух	39,8	42,0	34,0	36,8	34,0	34,8	34,0	35,0	32,0	не опр.
0	26,0	28,0	25,0	37,0	26,0	29,0	32,0	41,0	29,0	30,0
5	23,1	25,0	22,1	28,0	24,0	26,0	25,0	26,0	26,0	25,3
10	22,0	24,0	21,3	26,0	22,0	23,8	24,6	24,0	24,0	21,9
сентябрь										
воздух	не опр.	26,4	31,4	не опр.	32,5	29,5	28,5	не опр.	29,7	29,5
0	20,4	25,3	29,2	36,8	22,7	25,4	29,4	29,0	29,0	30,8
5	19,1	20,0	23,5	28,5	19,4	20,1	26,0	25,2	23,0	24,3
10	18,8	19,8	21,4	22,5	18,6	19,4	24,0	24,0	21,3	22,8
октябрь										
воздух	8,7	10,4	11,8	15,3	15,3	17,7	16,1	16,7	17,6	16,4
0	10,6	10,8	10,9	11,4	12,0	17,1	14,5	7,7	14,7	16,8
5	10,3	10,3	10,1	10,5	10,6	11,4	13,1	14,3	11,6	12,7
10	10,4	10,6	10,0	10,4	10,2	10,3	10,9	12,2	11,1	11,4

Обобщив полученный материал, можно констатировать в целом типичный ход температуры в вегетационном сезоне. Как и следовало ожидать, наиболее прохладные периоды наблюдений были в апреле и октябре. Следует

отметить довольно низкие температуры мая, характеризующие прохладную весну. Высокие температуры воздуха и почв были в июле и сентябре. Однако экстремально высоких температур не отмечали даже в наиболее жарком месяце года – июле. Все это благоприятствовало интенсивному протеканию биологических процессов в течение всего периода наблюдений.

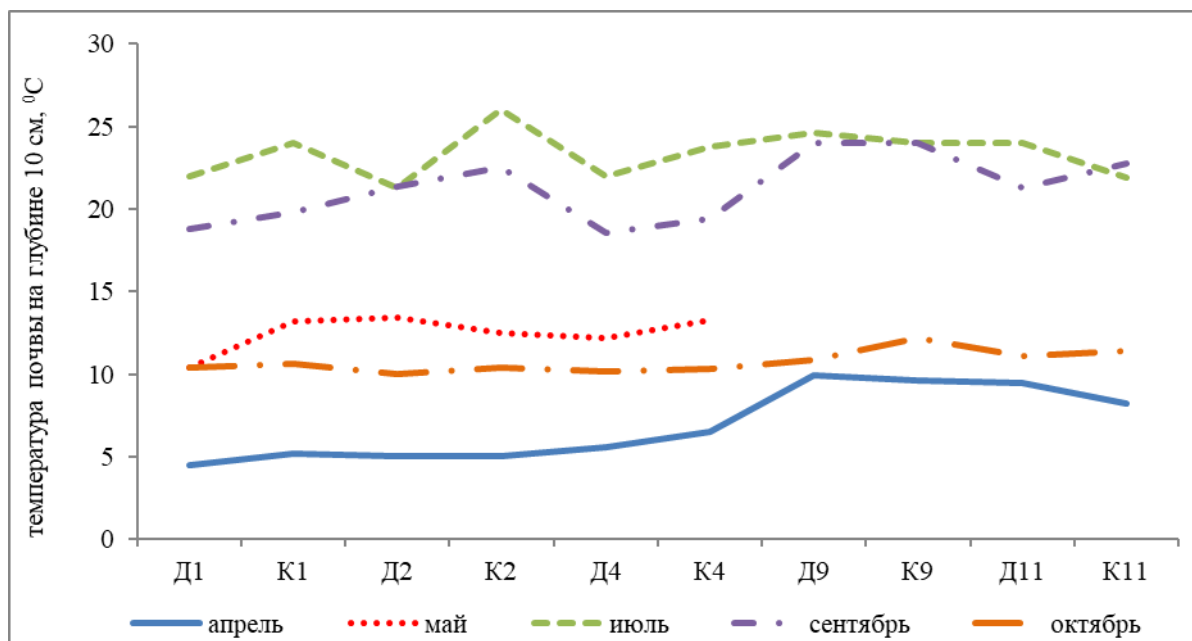


Рис. 28. Динамика температуры почвы на глубине 10 см в 2017 г.

Для примера ниже приведено подробное описание термических условий в мае как наиболее благоприятном для биологических процессов периоде.

Температура воздуха и почв в мае в целом соответствовала среднемноголетним данным исследуемого периода (табл. 53). Температура воздуха возрастала от первого участка к участку № 4 и далее снижалась к участку № 7. Это было связано с началом работы в утреннее время, когда воздух еще не прогрелся.

К полудню, когда проходили исследования на участке № 4, воздух максимально прогрелся, а к вечеру несколько охладился. Температура почвы не так сильно определялась временем дня, как температура воздуха. Однако в целом закономерности были соблюдены. Большая часть участков испытывала незначительный дефицит тепла. Разница в температуре разных участков была довольно значительной.

Таблица 53. Температура верхнего слоя почвы (°C), май 2017 г.

Глубина, см	Д1	К1	Д2	К2	Д3	К3	Д4	К4	Д5	К5	Д6	К6	Д7	К7
воздух	15,6	22,9	24,0	25,3	20,1	24,8	22,6	27,5	23,2	23,2	не опр.	22,4	19,1	не опр.
0	12,9	17,5	16,0	15,0	21,5	28,7	14,1	20,5	21,3	25,8	21,0	25,0	16,8	17,3
5	11,0	14,5	15,0	14,0	20,5	19,4	13,3	15,0	18,6	19,7	20,5	21,9	17,7	19,6
10	10,4	13,2	13,4	12,5	16,8	16,6	12,2	13,3	16,0	17,6	19,5	18,5	17,0	19,3

Например, поверхностный слой почвы на участке К3 имел температуру 28,7 °С, в то время как на участке Д4 температура почвы была в два раза ниже (14,1 °С). Даже расположенный рядом участок К4 имел более высокую температуру (20,5 °С). Такая существенная разница в температуре связана с нагревом оголенной поверхности почвы участка К3, где в это время только-только появились всходы подсолнечника. В то же время на участке Д4 поверхность почвы была затенена уже развившейся озимой пшеницей (рис. 29).



Рис. 29. Разное развитие посевов на участке № 3, 20 мая 2017 г.

Для понимания особенностей термических условий на исследуемой территории были заложены температурные датчики-накопители – логгеры. Датчики были заложены на поле Д13 и зафиксированы на одном пластиковом

стержне на трех глубинах 10, 20 и 30 см. Периодичность определений – каждые шесть часов. Это позволило оценить особенности температуры в верхнем наиболее биогенном слое с максимальным распространением корней сельскохозяйственных растений.

В результате было выявлено, что в поверхностном слое температура колеблется значительно сильнее, чем на глубинах 20 и 30 см (рис. 30–32). Чем глубже, тем меньше выражены суточные колебания температуры. На глубинах 20 см и особенно 30 см нивелируются зимние холода. Температуры в ноль градусов и ниже в почве на глубине 10 см господствуют с 23 ноября по 2 марта. На глубине 20 см отрицательные температуры устанавливаются на три зимних месяца. А на глубине 30 см низкие температуры бывают очень ограниченное время – с 30 января по 24 февраля. Температура ниже 10 градусов, которая принята за температуру активного протекания биологических процессов, на глубине 10 см была с 12 октября по 4 апреля. При этом было отмечено достижение этого уровня в середине ноября во время временного потепления. На глубине 20 см рубеж ниже 10 °С был преодолен с 15 октября по 10 апреля. На глубине 30 см пороговая температура в 10 °С установилась только к началу мая ввиду затяжной и прохладной весны.

Почвообразующий эффект тепла и света может проявляться лишь в том случае, если почвы обеспечены достаточным для жизни растений количеством влаги. Поэтому значение атмосферных осадков в почвообразовании столь же велико, как и значение тепла (Вальков и др., 2004).

Исследования полевой влажности поверхностного слоя почвы, измеренной с помощью влагомера (объемно-весовая), определялись сроками наблюдений.

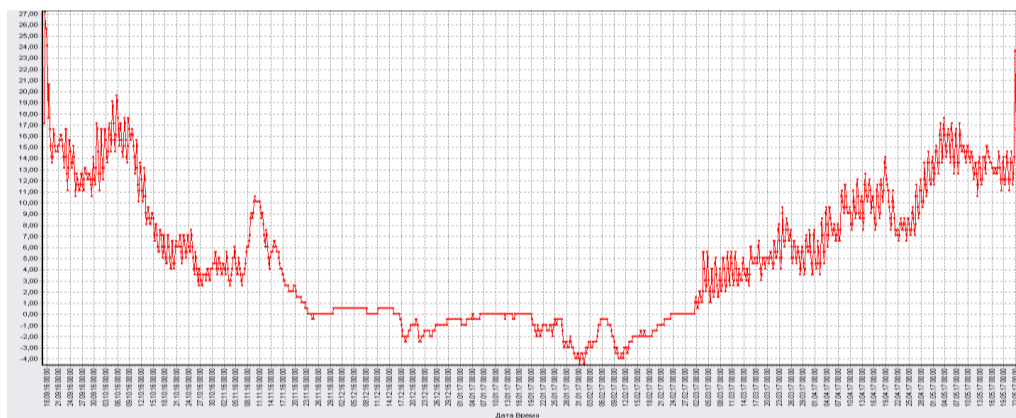


Рис. 30. Температура почвы в 2016–2017 гг. на глубине 10 см

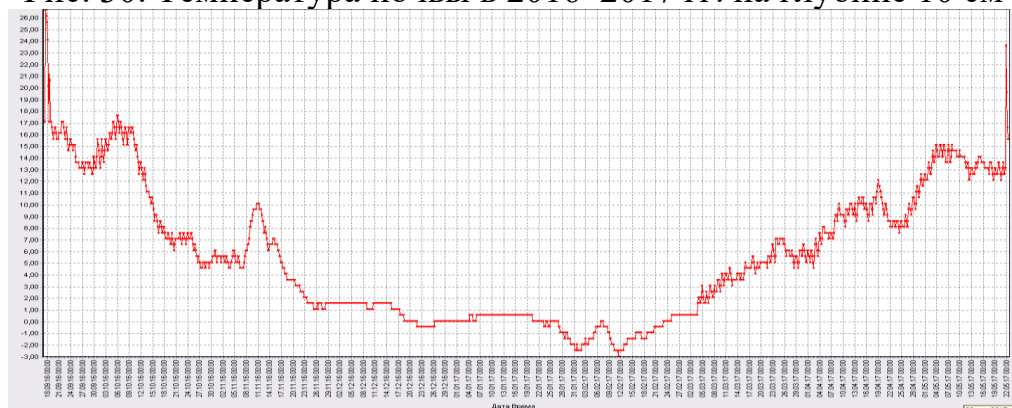


Рис. 31. Температура почвы в 2016–2017 гг. на глубине 20 см

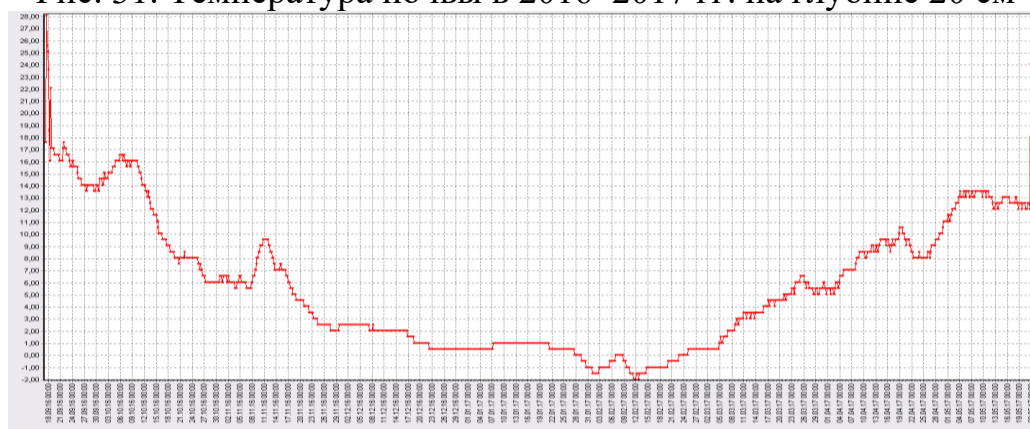


Рис. 32. Температура почвы в 2016–2017 гг. на глубине 30 см

Наиболее влажными сроками исследований были май и апрель (рис. 33). Самым сухим сроком наблюдения был, как и следовало ожидать, июль – наиболее жаркий месяц в годы с небольшим количеством выпадающих атмосферных осадков. Осенние месяцы также были сухими, особенно октябрь.

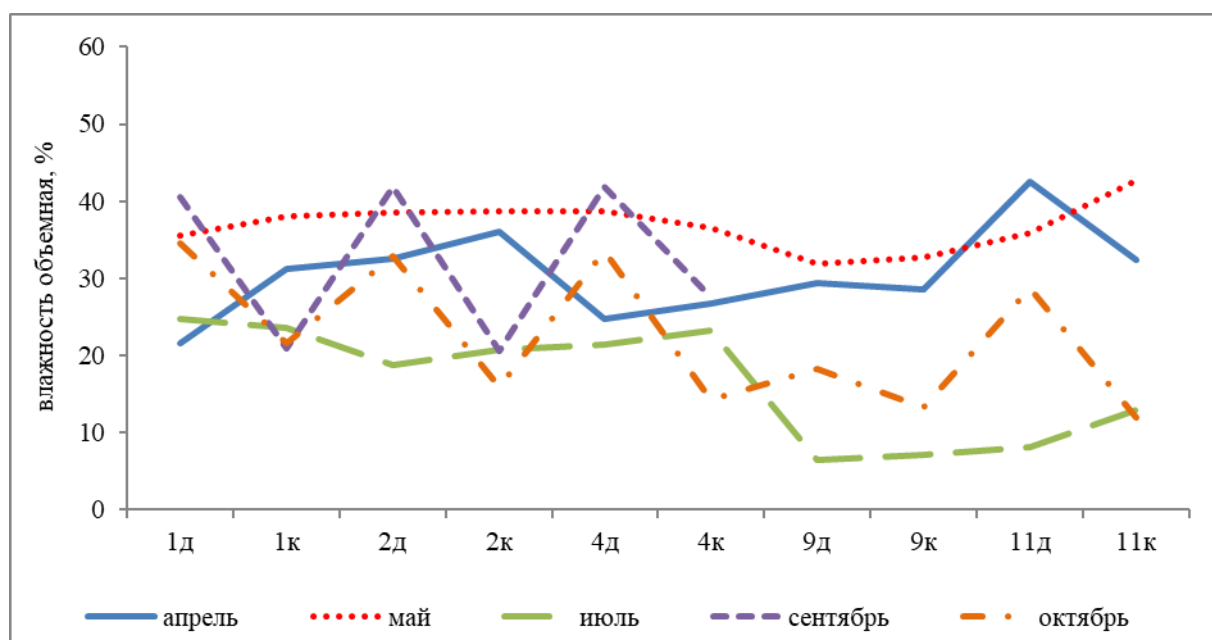


Рис. 33. Динамика полевой влажности почв

Исследования показали большее накопление влаги в поверхностном слое почвы на полях с почвозащитной технологией прямого посева (рис. 34).

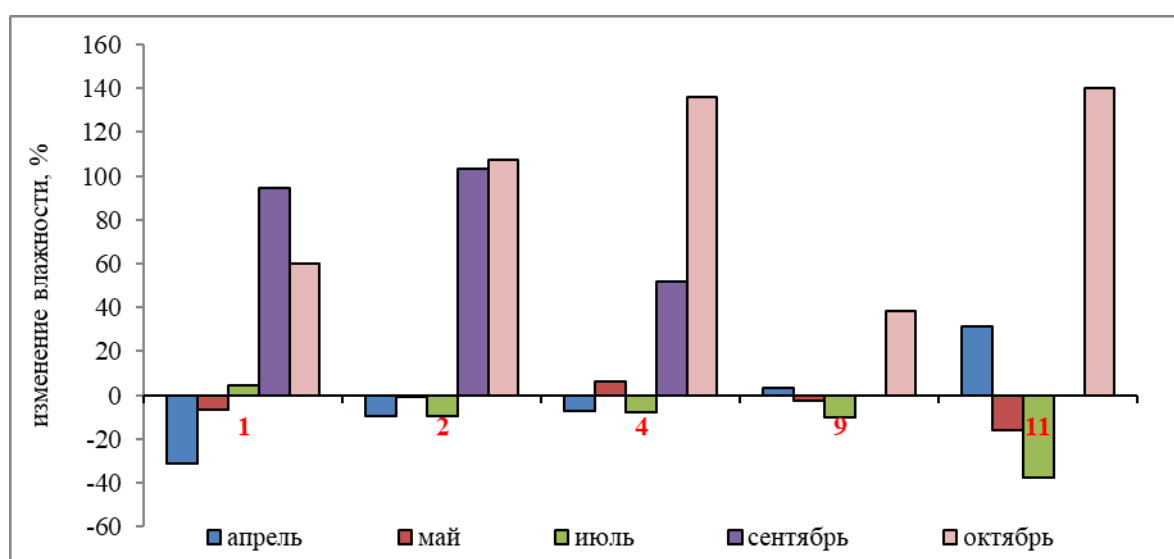


Рис. 34. Изменение полевой влажности почв на разных участках в 2017 г. при использовании прямого посева, в процентах от почв с традиционной обработкой

Особенно это важно в период дефицита влаги после длительного отсутствия дождей. В сентябре и октябре в период посева и начального роста озимой пшеницы поля на участках с прямым посевом характеризовались большей влажностью по сравнению с расположенными рядом контрольными полями.

Исключением был только эродированный участок № 11. Во влажный период весны влажность почв с разными технологиями обработки была одинаково высокой и практически не различалась на полях с разными агротехнологиями.

Влажность поверхностного слоя почвы в мае была на высоком уровне на всех исследуемых полях (табл. 54).

Таблица 54. Влажность полевая верхнего слоя почвы (в процентах), май 2017 г. (n = 10)

Поле	М	дисперсия	m	Ошибка, %
Д1	35,5	11,0	1,1	3
К1	38,1	10,5	1,1	3
Д2	38,6	17,2	1,4	4
К2	38,7	29,1	1,8	5
Д3	35,9	11,1	1,1	3
К3	43,2	23,0	1,6	4
Д4	38,7	14,0	1,2	3
К4	36,5	7,9	0,9	3
Д5	34,9	17,7	1,4	4
К5	37,4	38,5	2,1	6
Д6	41,2	33,4	1,9	5
К6	35,8	56,9	2,5	7
Д7	54,3	8,2	1,0	2
К7	27,9	11,2	1,1	4
Д8	45,1	24,0	1,6	4
Д9	31,9	27,8	1,8	6
К9	32,7	13,7	1,2	4
Д10	31,0	6,5	0,8	3
К10	26,9	11,1	1,1	4
Д11	36,0	20,2	1,5	4
К11	42,7	52,9	2,4	6
Д12	34,5	8,5	1,0	3
К12	36,6	90,2	3,2	9
Д13	27,0	25,0	1,7	6
Д14	43,3	6,9	0,9	2
Д15	29,4	27,8	1,8	6
Д16	34,2	24,7	1,7	5

Это было связано с большим количеством атмосферных осадков в предшествующий исследованиям период. Разница во влажности почв в основном определялась выращиваемой на конкретном поле культурой (участки № 3, 7 и др.).

На полях с одинаковой выращиваемой культурой, независимо от способа обработки, значения влажности почвы были близкими (участки №1, 2, 4, 5, 9,

10). Особняком выглядит участок № 7. Здесь мониторинговая площадка опытного поля Д7 расположена в непосредственной близости к очагу переувлажнения мочаристого участка. Кроме того, почва засеяна кориандром в стадии всходов. Поэтому здесь влажность почвы была максимальной из всех исследуемых участков. На расположенной рядом мониторинговой площадке контрольного поля К7, засеянной озимой пшеницей, которая способствовала снижению показателя, влажность была почти в два раза ниже.

Исследования влажности поверхностного слоя почв, проведенные традиционным термостатно-весовым способом, показали те же закономерности, что и при использовании влагомера. Влажность была на благоприятном для произрастания растений уровне. Закономерности распределения и различия были связаны с вышеописанными причинами.

Кроме определения влажности почв, которая была проведена в 2016 году, была осуществлена оценка запасов влаги в метровом слое. Данные показывают хорошие запасы влаги во всех исследуемых полях. На разных участках отмечены разные варианты по соотношению результатов запасов влаги в зависимости от обработки почв (табл. 55).

Данные о запасах влаги в почвах в течение 2017 г. отражают данные о влажности в почвенном профиле. Как было показано ранее для влажности поверхностного горизонта, запасы влаги были максимальны в весенний период с обильными осадками (рис. 35). В остальные сроки отбора при снижении интенсивности дождей запасы влаги снизились, но оставались на стабильно высоком уровне. Различий между сроками наблюдений в июле, сентябре и октябре не было.

Таблица 55. Влажность почв по профилю (весовая), май 2017 г.

№	Поле	Глубина, см	Влажность, %
1	Д1	0–10	21,4
2		25–35	19,4
3		55–65	15,1
4		90–100	15,3
5	К1	0–10	18,0
6		25–35	18,9
7		55–65	15,9
8		90–100	15,1
9	Д2	0–10	29,1
10		25–35	19,7
11		55–65	22,3
12		90–100	21,1
13	К2	0–10	29,2
14		25–35	22,2
15		55–65	21,6
16		90–100	17,0
17	Д4	0–10	24,3
18		25–35	18,5
19		55–65	17,2
20		90–100	15,1
21	К4	0–10	25,5
22		25–35	19,1
23		55–65	18,3
24		90–100	17,5
25	Д9	0–10	23,0
26		25–35	22,8
27		55–65	19,7
56		90–100	13,9
28	К9	0–10	23,7
29		25–35	19,7
30		55–65	17,8
57		90–100	14,6
31	Д11	0–10	21,1
32		25–35	18,4
33		55–65	17,2
58		90–100	12,8
34	К11	0–10	27,0
35		25–35	26,0
36		55–65	21,0
37		90–100	20,2

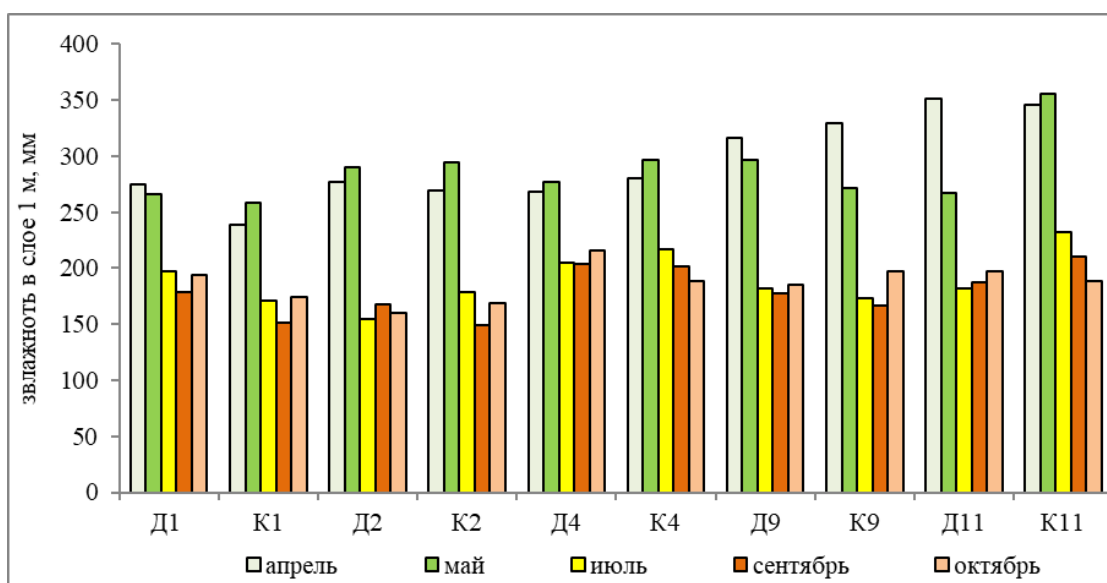


Рис. 35. Динамика влажности (мм) в метровом слое почв в 2017 г.

Так же, как и для поверхностного слоя, для запасов влаги в метровом слое почв было выявлено положительное влияние почвозащитной технологии No-Till. Однако такой эффект не был таким однозначным, как для поверхностного слоя. Только на участке № 1 отмечено превышение засов влаги на поле с прямым посевом относительно контрольного поля. На других участках в разные периоды наблюдений значения показателя запасов влаги изменялись разнонаправленно. Значительное понижение показателя в теплый период было зафиксировано на участке № 11. Причиной этого, как было неоднократно отмечено ранее, является эродированность почвы опытного поля, находящегося на нижней части склона к балке.

Известным фактом является повышение плотности почв при использовании технологии прямого посева при сравнении с традиционными технологиями обработки (Soane et al., 2012; Казеев и др., 2016; Мокриков и др., 2017). Это связано с прекращением механического воздействия на поверхностный слой почвы. Вспашка, боронование и культивации разрыхляют пахотный горизонт при традиционной технологии обработки почвы. В результате его плотность колеблется в небольших пределах, оптимальных для сельскохозяйственных растений (1,0–1,3 г/см³).

Существенное влияние на значения плотности оказывают возделываемые культуры и влажность почвы (Вальков и др., 2004). Плотность почвы в

среднем определяется величинами 1,2–1,4 г/см³. К ним оказались экологически приспособленными большинство растений. Однако отклонения от средних величин могут быть значительными, что, как правило, создает экстремальные условия для живых организмов в почвенной среде.

Плотность поверхностного горизонта почв во всех исследуемых вариантах не достигала критических отметок, способных затруднить рост корней и развитие растений (табл. 56, 57).

Таблица 56. Плотность верхнего слоя исследуемых почв (г/см³), май 2017 г.

Поле	М	Дисперсия	m	Ошибка, %
Д1	1,03	0,00	0,02	2
К1	1,09	0,00	0,04	4
Д2	1,12	0,00	0,05	4
К2	1,07	0,00	0,03	3
Д3	1,15	0,00	0,02	1
К3	1,18	0,03	0,12	10
Д4	1,15	0,00	0,04	4
К4	1,13	0,01	0,06	5
Д5	1,12	0,01	0,06	6
К5	0,99	0,03	0,12	12
Д6	1,08	0,00	0,02	2
К6	1,02	0,01	0,07	6
Д7	1,19	0,00	0,04	3
К7	1,02	0,01	0,09	8
Д8	1,17	0,05	0,15	13
К8	0,99	0,00	0,03	3
Д9	1,04	0,00	0,04	3
К9	1,16	0,00	0,02	1
Д10	1,06	0,00	0,03	3
К10	0,98	0,00	0,02	2
Д11	1,01	0,00	0,02	2
К11	0,92	0,02	0,11	12
Д12	1,07	0,02	0,09	8
К12	1,04	0,01	0,07	6
Д13	0,95	0,02	0,10	10
Д14	0,85	0,02	0,09	11
Д15	1,02	0,00	0,04	4
Д16	1,05	0,00	0,01	1

Это характерно для влажного сезона, когда высокая влажность способствует разуплотнению почв. При исследовании плотности не было обнаружено какой-либо одной зависимости показателя от способа возделывания агрокультур. Только в июле было отмечено увеличение плотности практически

на всех исследуемых полях, а на полях Д9 и Д11 плотность почвы была выше оптимальной. В то же время плотность почвы на контрольных полях участков № 1 и № 2 превышала значения плотности почвы на опытных полях. Повышение плотности было связано с сезонным иссушением поверхностного слоя почвы в жаркий период года.

Таблица 57. Плотность верхнего слоя исследуемых почв (г/см³), 2017 г.

Поле	апрель	май	июль	сентябрь	октябрь
Д1	1,0	1,0	1,1	1,1	1,2
К1	1,3	1,1	1,2	1,3	1,1
Д2	1,1	1,1	1,1	1,0	1,1
К2	1,1	1,1	1,2	0,9	1,0
Д4	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1
К4	1,0	1,1	1,1	1,0	1,0
Д9	1,2	1,0	1,4	0,9	1,1
К9	1,1	1,2		1,0	1,1
Д11	1,2	1,0	1,4	1,0	1,1
К11	1,0	0,9	1,2	1,0	1,1

Уже в сентябре плотность почвы снижается до оптимальных значений, которые сохраняются и последний срок отбора образцов в октябре. То есть однозначного увеличения плотности при прямом посеве по сравнению с традиционной обработкой не обнаружено.

Влияние технологии прямого посева на сопротивление пенетрации черноземов Ростовской области

Зависимость сопротивления пенетрации от почвенных свойств указывает на его важность для оценки почв. Именно поэтому его измерение является одним из обязательных при агрофизических обследованиях почвенного покрова. Однако всегда следует учитывать состояние влаги в почве, ее влажность. Сопротивление пенетрации значительно возрастает при уменьшении влажности почвы, для черноземов это может быть увеличение значения в несколько раз (Мокриков и др., 2017).

В результате исследований в апреле и мае 2017 года не было выявлено переуплотнения почвы ни на одном из исследуемых участков (табл. 58–60).

Таблица 58. Сопротивление пенетрации почв ИП Мокрикова В. И. (МПа),
апрель 2017 г.

Глубина, см	Д1	К1	Д2	К2	Д4	К4	Д9	К9	Д11
0	0,6	0,8	0,8	0,1	0,8	0,2	0,2	0,3	1,0
5	1,1	1,3	1,4	0,5	1,4	0,4	0,8	0,8	1,6
10	1,5	1,3	1,4	0,6	1,5	0,8	1,3	1,0	1,5
15	1,5	1,5	1,3	1,2	1,6	1,1	1,4	1,1	2,0
20	1,8	1,5	1,5	1,3	1,7	1,3	1,7	1,0	2,1
25	1,6	1,5	1,5	1,3	1,6	1,4	1,8	1,1	2,2
30	1,7	1,6	1,5	1,5	1,6	1,4	1,8	1,5	2,5
35	1,7	1,7	1,8	1,7	1,7	1,7	2,0	1,9	2,7
40	1,6	1,7	2,2	2,0	1,8	1,9	2,2	2,5	2,9
45	1,6	1,7	2,4	2,3	2,4	2,2	2,6	3,1	3,8
Среднее	1,5	1,4	1,6	1,3	1,6	1,2	1,6	1,4	2,2

Таблица 59. Сопротивление пенетрации почв ИП Мокрикова В.И.
в окрестностях пос. Верхнегрушевский (МПа), май 2017 г.

Глубина, см	Д1	К1	Д2	К2	Д3	К3	Д4	К4	Д5	К5	Д6	К6	Д7	К7	Д8	К8
2,5	0,4	0,9	0,2	0,2	0,9	0,3	0,7	0,5	0,3	0,3	1,1	0,3	0,3	1,1	1,1	0,1
5	0,9	1,1	0,5	0,6	1,3	0,4	1,4	1,2	0,5	0,5	1,3	0,2	0,6	1,2	1,2	0,1
10	1,2	1,3	1,2	1,1	1,6	0,6	1,8	1,6	1,0	0,9	1,5	0,6	0,9	1,2	1,4	0,6
15	1,5	1,4	1,4	1,5	1,7	0,9	2,0	1,7	1,4	1,3	1,7	1,1	1,1	1,2	1,5	0,6
20	1,5	1,4	1,6	2,0	2,1	1,2	2,2	2,0	1,5	1,4	1,6	1,3	1,3	1,7	1,6	0,7
25	1,4	1,5	1,8	2,7	2,4	1,3	2,5	2,2	1,6	1,6	1,7	1,5	1,2	1,9	1,6	0,7
30	1,8	1,7	2,5	3,1	3,0	1,3	3,0	3,0	1,8	1,7	1,6	1,5	1,3	2,2	1,8	1,2
35	2,2	2,2	2,6	3,4	4,2	1,8	3,1	3,8	2,1	2,0	1,9	1,5	1,5	2,3	2,1	2,3
40	2,6	2,4	3,1	3,1	4,6	2,0	3,7	4,0	2,3	2,3	1,9	1,8	1,6	2,4	2,3	2,7
45	2,6	2,6	3,4	3,5	4,8	2,2	3,9	4,2	2,5	2,6	2,2	2,1	1,7	2,4	2,4	2,9

Таблица 60. Сопротивление пенетрации почв ИП Мокрикова В.И.
в окрестностях пос. Киреевка (МПа), май 2017 г.

Глубина, см	Д9	К9	Д10	К10	Д11	К11	Д12	К12	Д13	Д14	Д15	Д16
2,5	0,5	0,4	0,7	0,6	1,1	0,6	1,0	0,7	1,0	0,7	1,2	0,9
5	1,1	0,9	1,2	0,9	1,6	0,9	1,3	1,0	1,4	1,2	1,3	1,3
10	1,5	1,2	1,5	1,1	1,8	1,0	1,5	1,3	1,8	1,3	1,4	1,6
15	1,7	1,3	1,8	1,1	2,1	1,2	1,8	1,4	1,9	1,5	1,4	1,8
20	1,9	1,5	2,0	1,3	2,2	1,5	1,8	1,6	1,9	1,5	1,5	2,0
25	2,0	1,7	2,5	1,8	2,3	1,5	1,9	1,8	2,3	1,6	1,5	2,1
30	2,2	2,1	3,0	2,4	2,5	1,9	2,0	2,1	2,6	1,5	1,6	2,3
35	2,4	3,0	4,2	3,0	3,0	2,1	2,0	2,6	2,8	1,5	1,6	2,5
40	2,6	3,6	4,3	3,8	3,4	2,2	2,2	3,0	2,8	1,8	1,7	2,7
45	3,3	4,6	4,5	4,2	3,4	2,5	2,4	3,3	2,8	1,9	1,9	2,9

Это связано с высокой степенью влажности почв в исследуемый период вследствие высокого количества атмосферных осадков в предшествующий исследованиям период. Исследования предыдущего года также не фиксировали

значительных значений сопротивления пенетрации во влажный период (Мокриков и др., 2017).

Незначительное повышение значений сопротивления пенетрации в мае 2017 года отмечено только на глубинах 30 и более сантиметров в половине случаев и независимо от условий обработки почв. В сухой сезон 2016 года на большинстве исследуемых полей твердость почвы возрастала до сверхкритических значений – более 5 и даже 10 МПа (табл. 61–63).

Таблица 61. Сопротивление пенетрации почв (МПа), июль 2017 г.

Глубина, см	Д1	К1	Д2	К2	Д4	К4	Д9	К9	Д11	К11
0	0,6	1,4	0,9	0,6	0,9	1,3	0,6		0,6	0,5
5	1,6	2,7	2,6	1,8	2,2	2,6	1,5		3,3	1,4
10	2,8	2,8	3,7	3,1	4,4	4,4	3,4		5,7	4,5
15	3,4	3,1	4,1	4,6	5,4	5,3	5,2		6,4	4,7
20	3,9	3,0	4,6	5,1	5,5	6,0	6,1		8,1	4,3
25	4,2	3,3	5,2	5,2	5,4	5,2	5,6		8,0	4,7
30	5,1	4,0	5,5	5,4	5,5	5,8	5,5		8,0	5,4
35	5,5	4,3	6,7	5,2	6,7	5,6	6,1		8,3	5,3
40	6,0	4,3	7,5	6,7	7,0	6,1	6,7		7,3	6,0
45	8,2	4,9	7,7	7,2	6,8	6,0	7,8		8,0	5,7
Среднее	4,1	3,4	4,8	4,5	5,0	4,8	4,9		6,4	4,3

Возвращение значений показателя до благоприятного для роста и развития растений уровня свидетельствует о значительно большем вкладе в измеряемый параметр влажности почвы по сравнению с другими факторами.

Таблица 62. Сопротивление пенетрации почв (МПа), сентябрь 2017 г.

Глубина, см	Д1	К1	Д2	К2	Д4	К4	Д9	К9	Д11	К11
0	0,5	0,2	0,8	0,2	0,2	0,6	0,9	0,4	1,7	0,2
5	1,3	1,4	1,5	0,2	1,4	1,5	1,4	0,8	1,9	0,3
10	1,9	3,6	1,7	1,0	1,6	2,7	2,3	0,8	2,8	0,5
15	3,2	4,7	2,9	2,9	2,3	5,9	6,3	0,9	6,5	1,2
20	4,6	4,8	4,1	4,5	3,3	7,0	6,5	1,0	8,8	1,1
25	4,5	4,8	4,7	4,8	4,5	6,7	7,3	1,4	9,0	2,3
30	4,8	4,7	5,2	5,5	6,2	7,4	6,4	4,0	9,4	3,7
35	4,8	4,7	5,3	6,5	7,3	7,5	7,1	4,9	9,3	3,9
40	5,1	4,6	6,8	7,0	8,3	8,5	5,8	5,7	11,2	4,1
45	5,2	4,9	7,6	7,8	8,5	8,3	6,5	5,8	11,9	8,3
Среднее	3,6	3,8	4,1	4,0	4,4	5,6	5,0	2,6	7,2	2,5

Таблица 63. Сопротивление пенетрации почв, (МПа), октябрь 2017 г.

Глубина, см	Д1	К1	Д2	К2	Д4	К4	Д9	К9	Д11	К11
0	0,6	0,4	0,8	3,5	0,2	0,1	0,7	0,3	1,6	0,1
5	1,1	0,8	1,5	2,3	0,9	0,4	2,2	0,6	2,6	0,2
10	1,9	3,9	3,5	3,9	1,9	1,8	5,5	1,2	4,9	0,7
15	3,9	6,3	4,4	6,7	2,4	4,8	6,9	1,3	7,0	1,5
20	4,5	5,7	5,8	7,3	3,1	6,2	5,7	0,6	7,5	1,8
25	5,2	6,5	6,1	8,3	4,6	6,3	5,9	1,0	9,6	2,9
30	5,3	6,4	6,4	8,8	5,2	6,7	6,3	1,8	10,4	4,3
35	5,1	5,8	6,8	9,0	5,9	7,5	7,7	2,9	9,0	5,9
40	5,1	5,4	7,1	9,3	6,3	8,2	7,4	4,3	11,0	7,2
45	5,3	6,2	8,2	10,1	7,3	8,3	7,6	3,9	13,0	7,7
Среднее	3,8	4,7	5,1	6,9	3,8	5,0	5,6	1,8	7,7	3,2

Результаты исследований показали значительную зависимость исследуемого показателя от влажности почвы и глубины исследуемого слоя. В периоды с интенсивным атмосферным увлажнением (апрель, май) значения сопротивления пенетрации были на минимальном уровне (рис. 36–38). В апреле значения сопротивления пенетрации были на оптимальном уровне для сельскохозяйственных растений на всех исследуемых участках.

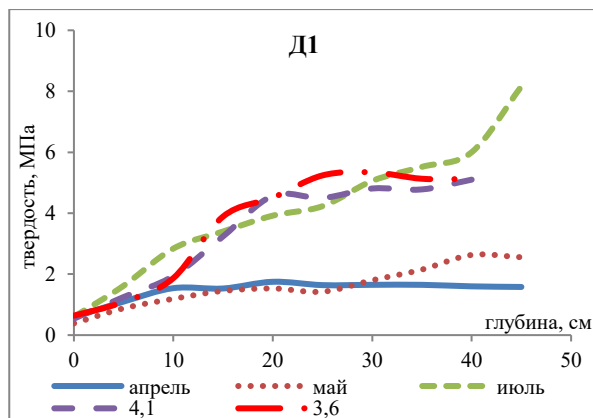


Рис. 36. Динамика значений сопротивления пенетрации на участке Д1, 2017 г.

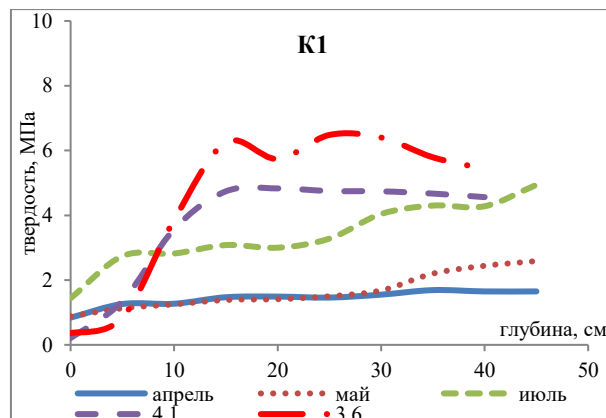


Рис. 37. Динамика значений сопротивления пенетрации на участке К1, 2017 г.

И это касается не только поверхностных слоев почвы, но и всего почвенного профиля до глубины 50 см. Уже в мае в нижних слоях почвы с глубины 30 см на некоторых участках отмечались повышенные значения показателя. Летом в июле и осенью, когда почва значительно снизила влажность вследствие высоких температур и относительно малого количества осадков, твердость почвы значительно возросла.

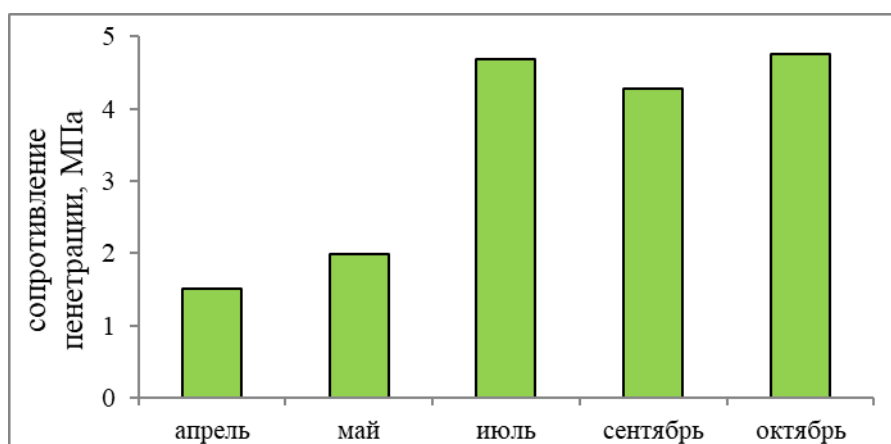


Рис. 38. Средние значения сопротивления пенетрации всех исследуемых участков до глубины 50 см, 2017 г.

И это касается не только поверхностных слоев почвы, но и всего почвенного профиля до глубины 50 см. Уже в мае в нижних слоях почвы с глубины 30 см на некоторых участках отмечались повышенные значения показателя. Летом в июле и осенью, когда почва значительно снизила влажность вследствие высоких температур и относительно малого количества осадков, твердость почвы значительно возросла. Максимальная твердость почвы была отмечена в июле и октябре (рис. 38). В это время твердость почв достигает критических значений в почвах большинства исследуемых участков независимо от системы обработки почв. Однако технология обработки почвы оказывает влияние на исследуемый параметр на глубинах до 15–20 см. Этот поверхностный слой на контрольных участках может иметь как более высокие значения сопротивления пенетрации (весной), так и пониженные значения вследствие обработок почвы сельскохозяйственными орудиями. Глубже различия между почвами разных участков (контрольных и опытных) менее существенны и определяются прежде всего различием во влажности почв. При этом были отмечены и повышенные значения твердости на контрольных участках, чего не наблюдалось годом ранее (Насруллаев и др., 2016; Мокриков и др., 2017а.б; Kazeev et al., 2017). Например, на участке № 1 критические значения твердости были отмечены в октябре уже с глубины 15 см.

Таким образом, было установлена зависимость показателя сопротивления пенетрации от влажности почв, которая определяется как сезонными

факторами (атмосферными осадками), так и условиями агротехники. С одной стороны, регулярные обработки почвы контрольных участков способствуют разуплотнению поверхностных слоев. С другой стороны, влагосберегающая технология прямого посева способствует лучшему сохранению влаги в почве и способствует снижению твердости почвы даже в глубоких ее слоях.

Структурно-агрегатный состав почвы

При анализе структурно-агрегатного состава почвы (сухое просеивание) в мае было установлено (табл. 64) преобладание агрегатов >10 мм (21–35 %), исключение составляют участки № К2, К9, где наблюдается наибольший процент агрегатов 1–0,5 (26 % и 28 % соответственно).

Таблица 64. Результаты определения агрегатного состава

Поле	Размер фракций, мм; содержание, %									K _c
	>10	10–7	7–5	5–3	3–2	2–1	1–0,5	0,5–0,25	<0,25	
Д1	33,1	11,0	8,7	14,2	10,2	7,9	10,2	3,1	1,6	1,9
К1	34,7	12,7	9,3	11,0	8,5	5,9	10,2	5,1	2,5	1,7
Д2	21,1	10,9	9,4	15,6	9,4	10,9	14,1	6,3	2,3	3,3
К2	16,5	7,5	6,0	10,5	11,3	9,0	25,6	9,8	3,8	3,9
Д3	13,0	9,9	12,2	22,9	15,3	11,5	11,5	3,1	0,8	6,3
К3	26,6	7,0	7,0	10,2	9,4	7,0	20,3	8,6	3,9	2,3
Д4	29,1	12,7	11,2	19,4	10,4	6,7	7,5	2,2	0,7	2,4
К4	23,6	7,9	8,7	16,5	14,2	8,7	14,2	4,7	1,6	3,0
Д5	26,7	12,6	11,1	11,9	17,0	5,9	9,6	3,7	1,5	2,6
К5	35,3	10,8	7,9	11,5	8,6	12,2	10,1	2,2	1,4	1,7
Д6	28,8	11,2	9,6	15,2	11,2	7,2	11,2	4,0	1,6	2,3
К6	33,8	10,0	6,9	11,5	7,7	6,9	13,8	6,2	3,1	1,7
Д7	43,3	14,2	11,0	15,0	7,9	3,9	3,1	0,8	0,8	1,3
К7	18,7	8,1	6,5	8,9	8,1	7,3	27,6	9,8	4,9	3,2
Д8	33,6	11,7	8,0	14,6	8,0	7,3	10,2	4,4	2,2	1,8
К8	30,4	7,2	5,6	10,4	11,2	7,2	18,4	7,2	2,4	2,0
Д9	26,2	12,7	6,3	15,9	11,1	7,9	12,7	4,8	2,4	2,5
К9	12,3	5,7	6,6	11,5	9,0	11,5	27,9	10,7	4,9	4,8
Д10	14,2	9,7	10,4	19,4	13,4	9,7	14,2	6,0	3,0	4,8
К10	25,4	14,3	14,3	17,5	9,5	5,6	11,9	0,8	0,8	2,8
Д11	20,9	10,1	10,9	17,1	12,4	9,3	12,4	4,7	2,3	3,3
К11	24,4	8,9	9,8	15,4	13,0	7,3	14,6	4,9	1,6	2,8
Д12	28,8	12,9	11,4	16,7	9,8	7,6	8,3	3,0	1,5	2,3
К12	14,1	8,1	6,0	12,8	11,4	9,4	24,8	9,4	4,0	4,5
Д13	18,7	8,1	6,5	8,9	8,1	7,3	27,6	9,8	4,9	3,2
Д14	24,6	9,5	9,5	15,9	11,1	9,5	13,5	4,8	1,6	2,8
Д15	30,4	7,0	9,6	19,1	12,2	8,7	9,6	2,6	0,9	2,2
Д16	19,8	13,7	12,2	18,3	10,7	7,6	11,5	3,8	2,3	3,5

Наиболее важными в агрономическом смысле являются структурные отдельности размером 10–0,25 мм, так как именно они влияют на почвенное плодородие и придают почве уникальный вид комочков. Структурный анализ показал (рис. 39), что количество агрономически ценных агрегатов в пахотном горизонте 0–10 см при сухом просеивании превышает 60 % и колеблется в пределах от 63 % до 83 %.

Исследования, проведенные в июле, показали также преобладание агрегатов размерами >10 мм (26–38%), исключение составляют участки № Д1, Д4, Д9, где наблюдается наибольший процент агрегатов размерами 5–3 мм (20–22 %). Количество агрономически ценных агрегатов в пахотном горизонте 0–10 см при сухом просеивании также превышает 60 % и колеблется в пределах от 60 % до 82 %.

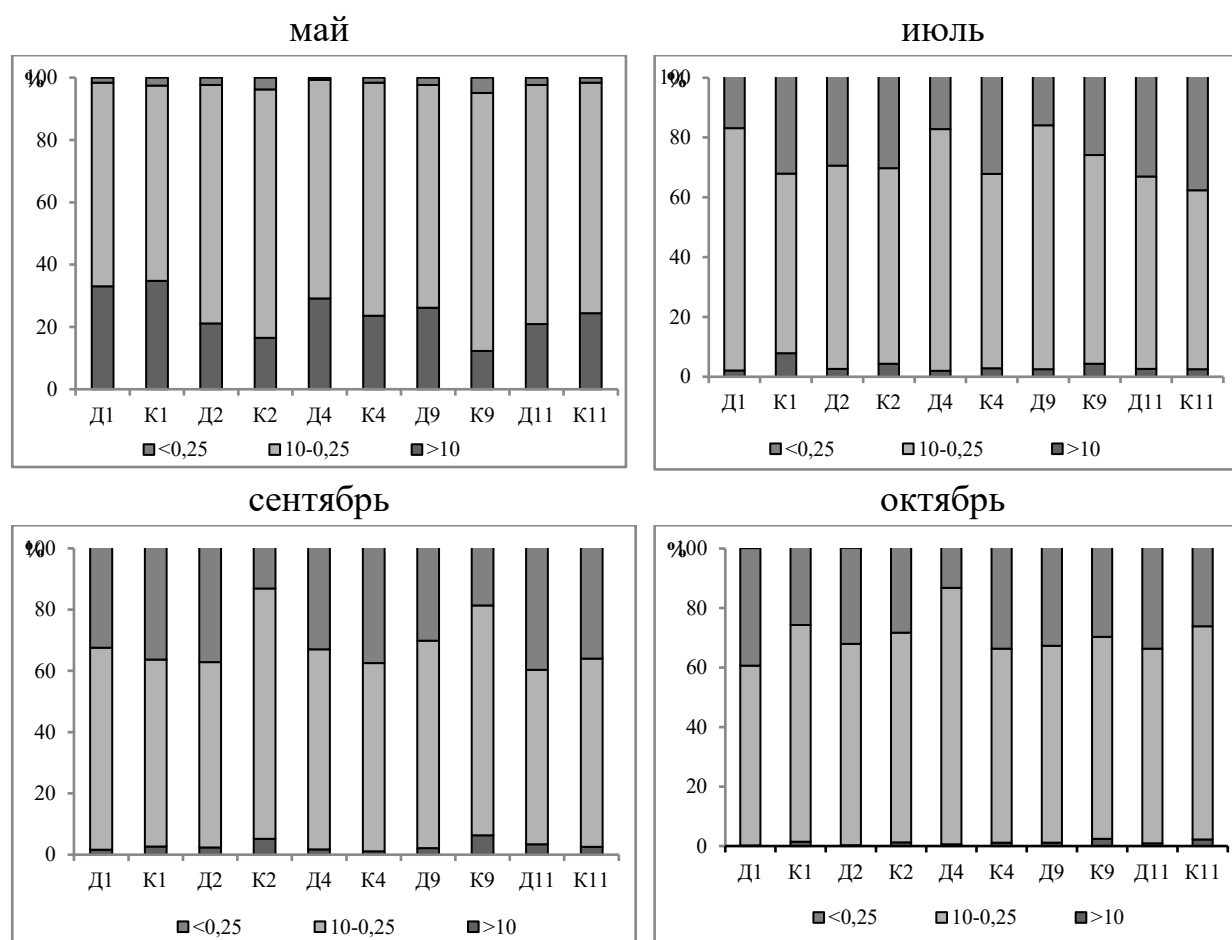


Рис. 39. Структурно-агрегатный состав почвы в слое 0–10 см, 2017 г.

В сентябре также отмечено преобладание агрегатов >10 мм (30–40 %), исключение составляет участок № К2, где наблюдается наибольший процент агрегатов 2–1 (31 %), на участке № К4 преобладает фракция размером 5–3 мм (46 %), на участке № К9 – фракция 1–0,5 (19 %). Количество агрономически ценных агрегатов в пахотном горизонте 0–10 см при сухом просеивании колеблется в пределах от 57 % до 82 %.

В октябре также отмечено преобладание агрегатов >10 мм (26–40 %), исключение составляет участок № Д4, где наблюдается наибольший процент агрегатов 2–1 (25 %). Количество агрономически ценных агрегатов в пахотном горизонте 0–10 см при сухом просеивании колеблется в пределах от 61 до 86 %.

Проведенные исследования показали, что структурный состав чернозема обыкновенного претерпевает изменения в течение вегетационного сезона. Можно отметить, что происходит уменьшение содержания мелких глыб >10 мм, а количество пылеватой фракции $<0,25$ мм увеличивается. Данная закономерность характерна для всех участков исследования.

При сравнении опытных участков с контрольными количество агрономически ценных агрегатов в пахотном горизонте 0–10 см при сухом просеивании в июле было выше на всех участках на 4–35 %. В остальные месяцы изменения были либо недостоверны, либо незначительны. Растительные остатки на поверхности почвы способствуют улучшению почвенной структуры, увеличивая стабильность почвенных агрегатов в воде.

По оценочно-ориентировочной шкале (Шеин, Карпачевский, 2007) агрономически ценная структура почвы данных участков характеризуется как отличная, а участка № Д11 в сентябре – как хорошая (рис. 40). Независимо от обработки почвы коэффициент структурности превысил показатель 1,5, то есть агрегатное состояние почвы оценивается как отличное, исключение составляет участок № Д11 в сентябре – хорошее агрегатное состояние (Кст. = 1,3).

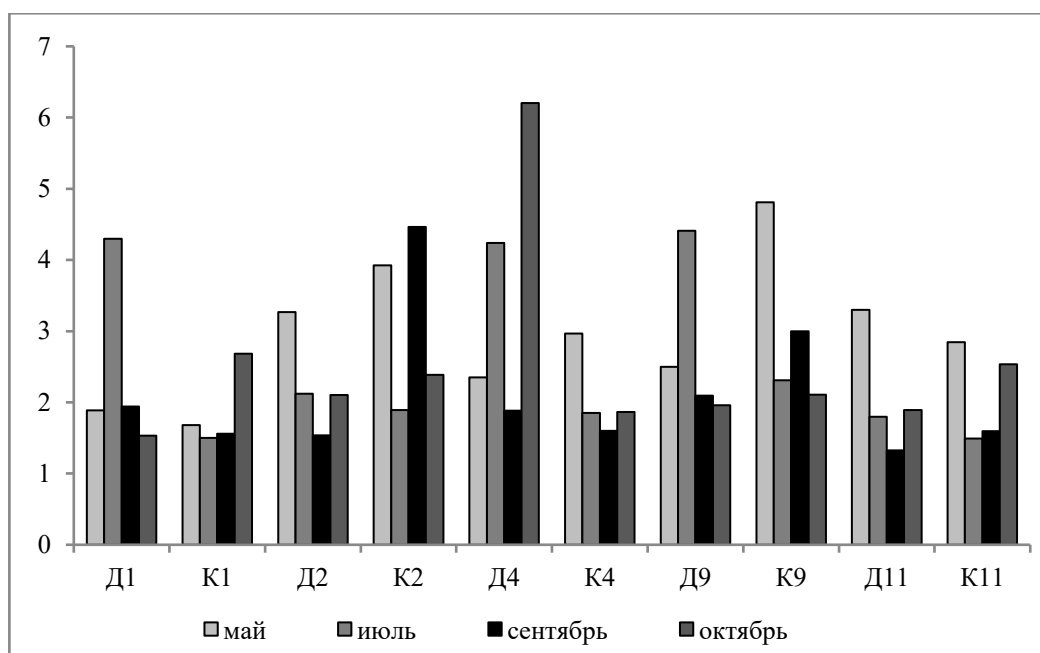


Рис. 40. Коэффициент структурности почвы в слое 0–10 см

Влияние технологии прямого посева на эмиссию углекислого газа

Исследования выделения углекислого газа почвами агроценозов Октябрьского района Ростовской области показали высокую степень варьирования значений данного показателя. В 2017 году для определения интенсивности дыхания почв впервые применили новый, более чувствительный газоанализатор Testo 535. По сравнению с измерениями 2016 года, когда был использован газоанализатор ПГА-7, точность исследований значительно выросла. Ошибка опыта не превышала 10 %, что очень хорошо для такого варьирующего показателя. В результате было выявлено, что интенсивность дыхания почв определяется гидротермическими условиями, видом выращиваемой культуры и способом обработки почв (табл. 65). При этом выращиваемая культура оказывала большее влияние на интенсивность дыхания по сравнению с другими факторами. Это влияние было прямым через дыхание корней и косвенным посредством ризосферной микрофлоры, а также степенью затенения почвы от солнца, что выражалось в изменении температуры и влажности почвы. Наибольшие значения измеряемого параметра были отмечены на агроценозах с озимой пшеницей, которая в конце мая уже была в состоянии полностью затенить поверхность почвы от солнца и обладала мощной корневой системой.

Таблица 65. Интенсивность полевого дыхания почв ИП Мокрикова В.И.,
(ppm CO₂/20 мин/150 см²), n = 5–8, май 2017 г.

Вариант	М	Дисперсия	m	Ошибка, %
д1	588,4	3384,8	19,4	3
к1	707,6	7480,3	28,8	4
д2	545,4	8479,8	30,7	6
к2	430,5	15729,7	41,8	10
д3	876,6	18642,8	45,5	5
к3	459,0	17795,5	44,5	10
д4	756,8	9064,7	31,7	4
к4	776,6	7444,3	28,8	4
д5	706,0	28561,5	56,3	8
к5	не опр.	не опр.	не опр.	не опр.
д6	242,0	2951,3	18,1	7
к6	849,8	46021,2	71,5	8
д7	не опр.	не опр.	не опр.	не опр.
к7	не опр.	не опр.	не опр.	не опр.
д8	311,3	758,3	9,2	3
к8	322,7	1906,3	14,6	5
д9	849,0	117798,0	114,4	13
к9	674,5	8691,7	31,1	5
д10	828,3	54332,9	77,7	9
к10	971,8	10899,6	34,8	4
д11	831,0	35366,7	62,7	8
к11	1020,0	37011,3	64,1	6
д12	595,0	1474,7	12,8	2
к12	630,0	3598,0	20,0	3
д13	849,5	3944,3	20,9	2
д14	188,3	38,9	2,1	1
д15	650,0	3648,7	20,1	3
д16	806,0	30373,0	58,1	7

В это же время низкие значения интенсивности дыхания почвы были зафиксированы в агроценозах со всходами пропашных культур (кориандра, нута, подсолнечника). Влияние способа обработки почвы было сложно проследить, поскольку полей с одинаковыми культурами было ограниченное количество. Однако и в случае возделывания озимой пшеницы на полях с разными применяемыми агротехнологиями не было выявлено какой-то одной закономерности. Были случаи повышения значений интенсивности дыхания при использовании прямого посева (участки №2 и 9), и случаи пониженных значений показателя (участки №1 и 11), и агроценозы пшеницы с одинаковыми значениями интенсивности дыхания (участок №4). Для понимания

закономерностей влияния прямого посева на этот важный для оценки экологического состояния показатель нужны дополнительные исследования в течение вегетационного сезона.

Исследования показали ярко выраженную динамичность исследуемого показателя. Ниже приведены данные по четырем из 28 исследуемых полей. Максимальные значения интенсивности почвенного дыхания были в период максимальной биологической активности с благоприятными гидротермическими условиями (рис. 41–43).

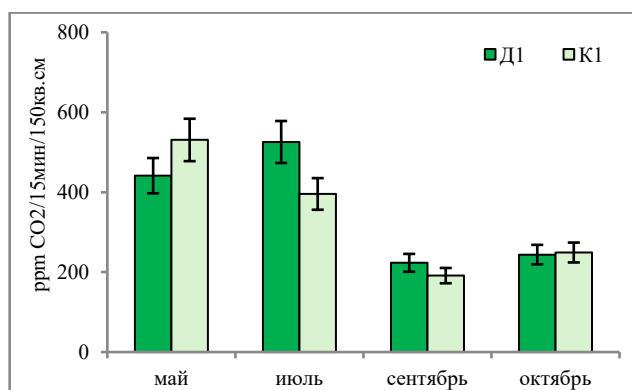


Рис. 41. Интенсивность дыхания почвы на участке № 1

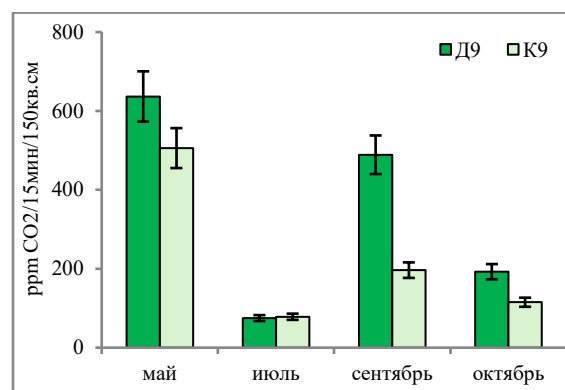


Рис. 42. Интенсивность дыхания почвы на участке № 9

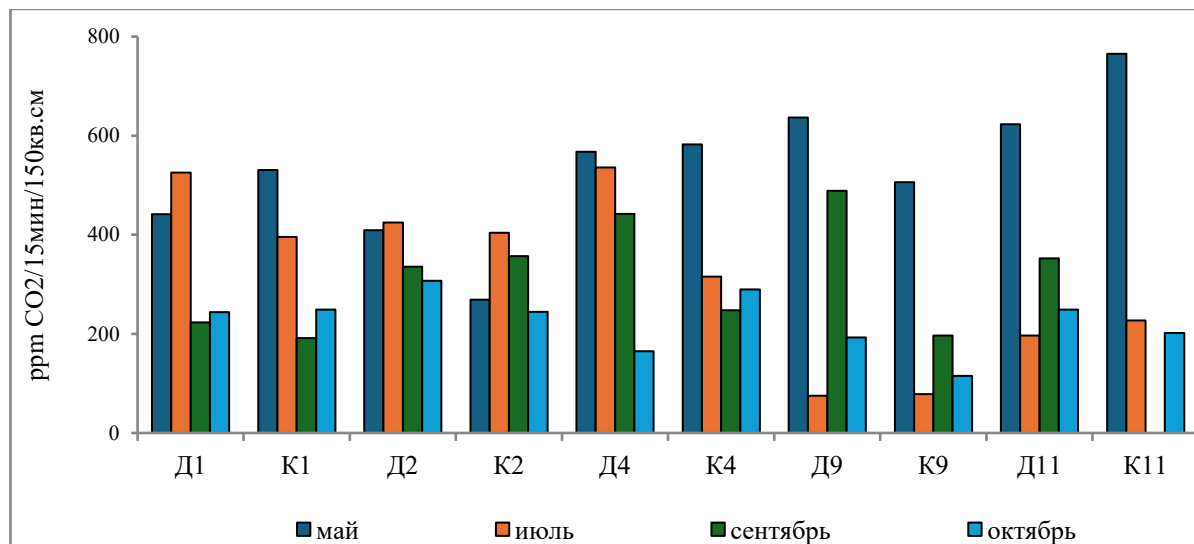


Рис. 43. Динамика интенсивности выделения углекислого газа в 2017 г.

Разные участки, расположенные в десятках километрах друг от друга, имели наивысшие значения продуцирования углекислого газа в конце мая. Различия между участками были существенными и определялись

термическими условиями и свойствами почв. Более гумусированные почвы участка № 9 обладали более высокими значениями дыхания по сравнению с почвами участка № 1. Минимальные значения показателя на первом участке зарегистрированы в сентябре. В этот сухой месяц дыхание было примерно в три раза ниже, чем в мае. На участке № 9 минимальные значения интенсивности дыхания были зафиксированы в сентябре, когда дыхание понизилось в 8–10 раз по сравнению с маем. В октябре дыхание почвы было пониженным вследствие пониженных температур воздуха и почвы и более низкой влажности почвы.

Условия обработки почв вносили меньший вклад в различия показателей. В большинстве случаев интенсивность дыхания почв, обрабатываемых по нулевой технологии, была повышена по сравнению с расположенными рядом участками, обрабатываемыми вспашкой с оборотом пласта. По всей видимости, это связано со значительной локализацией органических пожнивных остатков, которые не запахиваются в почву при прямом посеве.

Влияние технологии прямого посева на интенсивность дыхания почв в целом для вегетационного сезона 2017 года выражается в увеличении значений показателя (рис. 44). Исключением является участок № 11, на котором отмечено значительное снижение содержания гумуса и мощности гумусовых горизонтов в результате эрозии. На остальных мониторинговых участках повышение интенсивности дыхания установлено в большинстве случаев. А значимое понижение показателя установлено только для участка № 4 в октябре. Интенсификация выделения углекислого газа происходит в результате разложения большего количества растительных остатков, оставленных при прямом посеве, в поверхностных слоях почвы. Биологические процессы при этом протекают более интенсивно в течение большей части года.

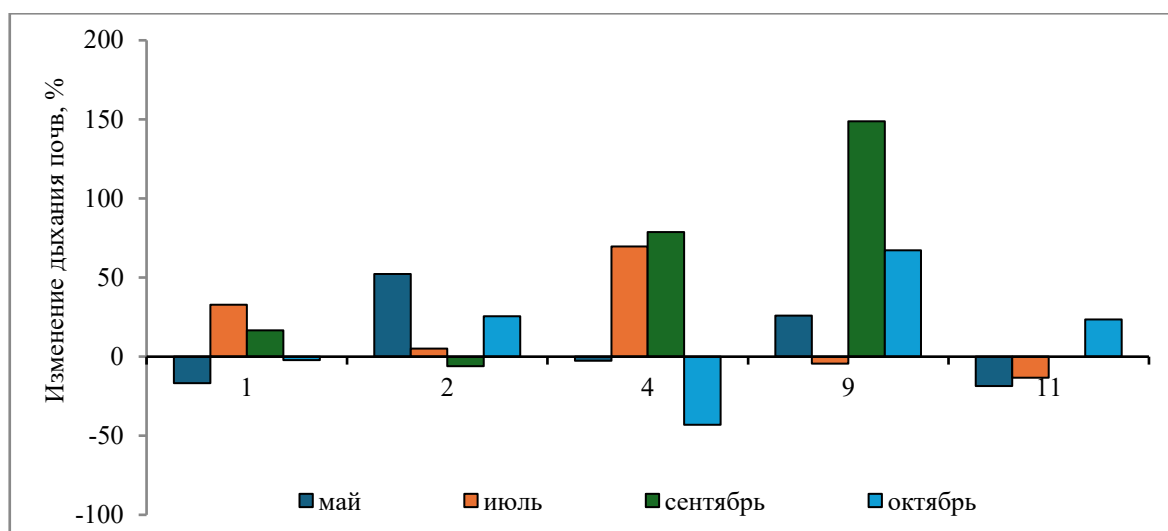


Рис. 44. Влияние прямого посева на интенсивность дыхания почв относительно контрольных полей, %

Влияние технологии No-Till на почвенную мезофауну

В 2017 году было собрано и определено более 50 видов герпетобионтов, принадлежащих к различным классам беспозвоночных: насекомые (Insecta), паукообразные (Arachnida), двупарноногие многоножки (Diplopoda).

В мае 2017 года наибольшим количеством видов представлены семейства Carabidae (жужелицы) – 10 видов, Tenebrionidae (чернотелки) – 7 видов, Scarabaeidae (пластинчатоусые) – 6 видов. Коэффициент доминирования для Carabidae – 23,4 %, для Tenebrionidae – 14,9%, для Scarabaeidae – 12,8%.

По количеству особей на первом месте семейство Tenebrionidae, на втором – сем. Dermestidae (кожееды), на третьем – сем. Carabidae. Также большим количеством особей представлен отряд Araneae (пауки).

Коэффициент встречаемости максимальный у семейства Carabidae – 100%, у Tenebrionidae – 92,3% (из них у *Opatrum sabulosum* и *Gonocephalum granulatum pusillum* – 84,6%), у Dermestidae (*Dermestes lanarius*) – 84,6%, у Araneae – 96,2%.

Исследования показали (рис. 45), что на половине полей (участки №1, 3, 4, 5, 10, 12) количество таксонов больше на опытных полях, на участках №2 и 9 количество таксонов на контрольных и опытных полях одинаково, а на

участках №6, 7, 11 количество таксонов на контрольных полях больше. Таким образом, чаще количество таксонов было больше на опытных участках.

Более чем на половине (63%) контрольных полей (участки №2, 5, 6, 7, 9, 10, 12) обилие герпетобионтов выше, чем на полях с альтернативной обработкой почв (рис. 46). На остальных участках (№1, 3, 4, 11) обилие герпетобионтов выше на опытных полях. Таким образом, чаще обилие было выше на контрольных участках.

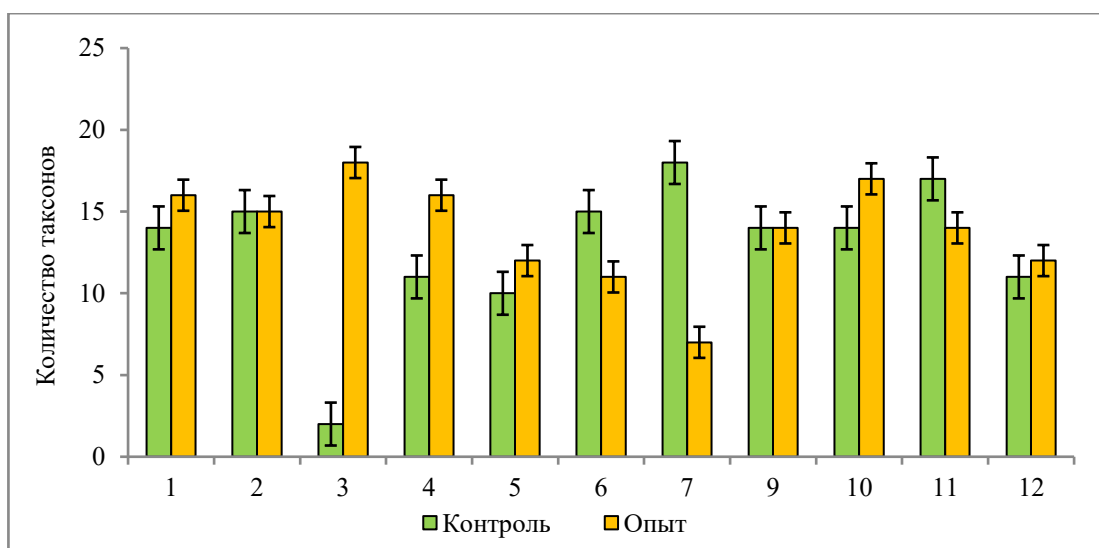


Рис. 45. Количество таксонов герпетобионтов, май 2017 г.

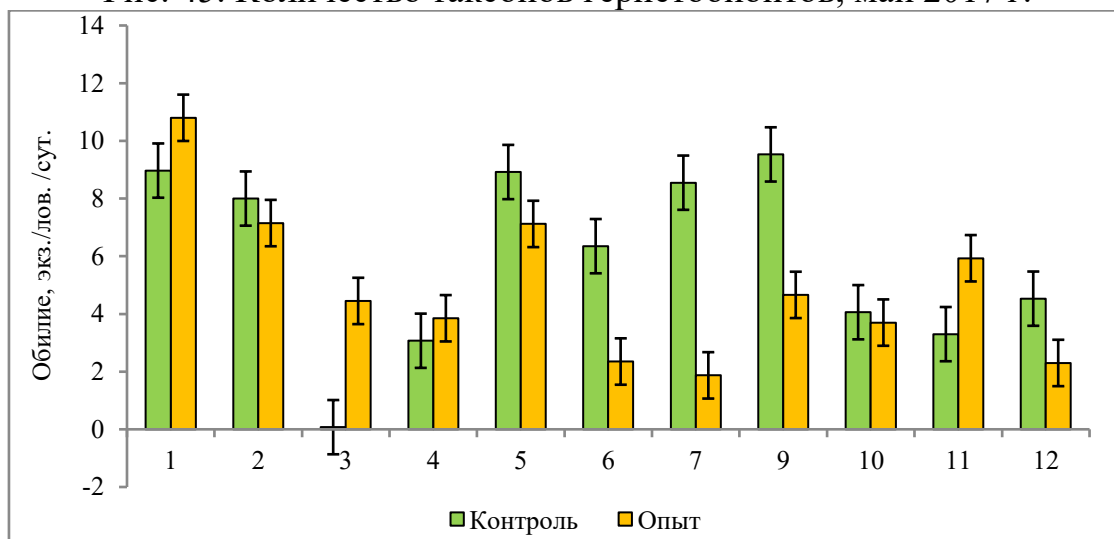


Рис. 46. Обилие герпетобионтов на участках 1,2,9,11, май 2017 г.

За время исследования было собрано и определено несколько видов геобиионтов, принадлежащих к различным таксонам беспозвоночных: земляные черви (Lumbricina), жуки (личинки и куколки) (Coleoptera), кивсяки (Julida).

Обилие геобионтов на трех из пяти исследуемых участков чаще более высокое на контрольных полях (рис. 47).

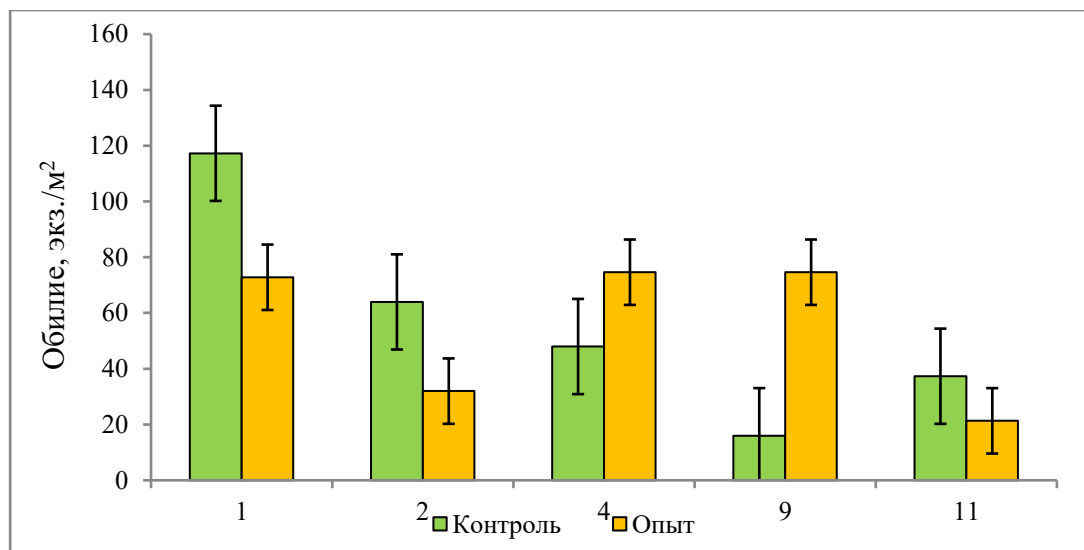


Рис. 47. Обилие геобионтов, май 2017 г.

По итогам исследований можно отметить, что не выявлено общих закономерностей влияния прямого посева на биоразнообразие и обилие геобионтов.

Влияние технологии No-Till на микроартроподов

Численность микроартропод в почвах агроценозов озимой пшеницы с разным способом обработки почв различалась в широких пределах (рис. 48). Минимальные значения численности микроартропод были отмечены в почве опытного поля ДЗ. Здесь обилие мелких членистоногих было почти в три раза ниже, чем на соседнем контрольном поле КЗ. Причиной этого мог быть предшественник кориандр, выращиваемый на опытном поле. Однако этот же предшественник был и на поле Д4, и здесь обилие микроартропод было на высоком уровне, превышающем значения показателя на контрольном участке К4. Участки 1 и 2 обладали разным уровнем обилия микроартропод, но при этом практически одинаковыми значениями независимо от типа обработки почвы. Различия между участками определяются различным составом и свойствами почв данных участков.

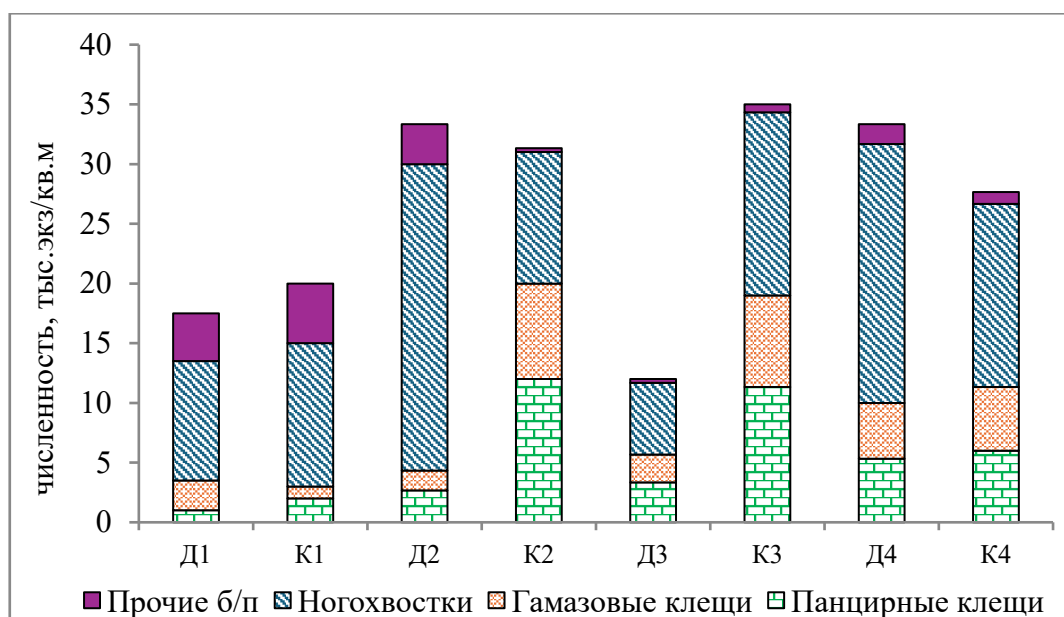


Рис. 48. Обилие микроартропод в почвах исследуемых агроценозов с разными агротехнологиями, 2017 г.

Среди микроартропод доминируют ногохвостки. Особенно велика их доля в составе микроартропод на полях с прямым посевом. Панцирные клещи – вторая по численности группа микроартропод. Эти сапрофаги в большом количестве отмечены на полях с традиционной обработкой почвы К2 и К3. Здесь же относительно велика доля гамазовых клещей, преимущественно хищников.

Влияние технологии прямого посева на почвенные свойства

Проведенные исследования показали, что практически все исследуемые почвы можно по реакции среды отнести к нейтральным или слабощелочным (табл. 66). Варьирование исследуемого показателя во всех контрольных и опытных вариантах весьма незначительны. Профильное распределение значений рН в основном определяется содержанием карбонатов в почве. В почвах с близким залеганием горизонтов карбонатных новообразований (карбонатного мицелия и белоглазки) реакция среды повышает свои значения (например, участок №9). В некоторых случаях было возможно влияние свойств почв и выращиваемой культуры на исследуемый параметр. Только в двух случаях были отмечены существенные различия в рН между почвами контрольных и опытных участков.

Таблица 66. Реакция среды по профилю почв исследуемых агроценозов

№	Поле	Глубина, см	pH
1	Д1	0–10	7,8
2		25–35	7,9
3		55–65	7,8
5	К1	0–10	7,8
6		25–35	7,9
7		55–65	8,0
9	Д2	0–10	7,6
10		25–35	7,6
11		55–65	7,7
13	К2	0–10	7,8
14		25–35	7,7
15		55–65	7,6
17	Д4	0–10	7,7
18		25–35	8,0
19		55–65	7,9
21	К4	0–10	7,7
22		25–35	7,8
23		55–65	7,9
25	Д9	0–10	7,3
26		25–35	7,3
27		55–65	7,8
28	К9	0–10	8,0
29		25–35	7,8
30		55–65	7,9
31	Д11	0–10	7,8
32		25–35	8,0
33		55–65	8,1
34	К11	0–10	7,5
35		25–35	7,7
36		55–65	7,8

На участке №7 различия были обусловлены близостью гидроцентра обширного мочаристого участка. А на участке №10 повышение значений pH на опытном участке Д10 обусловлено эрозионными процессами в пологой ложбине, которые приводят к повышению карбонатности почв по сравнению с почвой близлежащего контрольного участка К10. Однако нигде не были обнаружены высокие значения pH, способные вызвать неблагоприятное воздействие на растения.

Результаты исследования содержания общего гумуса в почвах ИП Мокрикова В.И. представлены в таблице 67. Значения данного показателя варьируют от 2,9% до 6,2 %. Максимальное значение отмечено на участке № Д13, а

минимальное на №К1. Выявлено, что исследуемые почвы относятся к разным видам черноземов: малогумусным с градацией 4–6% и слабогумусированным с содержанием гумуса менее 4%. При этом расположенные рядом поля с разной обработкой могут быть отнесены к разным видам, например, контрольный вариант (№К2) отнесен к слабогумусированному чернозему (3,8%), а расположенное в 50 м опытное поле с прямым посевом (№Д2) – к малогумусному чернозему (4,0%). Такая же закономерность была отмечена в июне 2016 года на данных участках.

Таблица 67. Содержание общего гумуса (%) в почвах, май 2017 г.

Поле	Среднее	Дисперсия	Стандартная ошибка	Стандартное отклонение	Коэффициент вариации, %
Д1	3,1	0,0	0,1	0,2	5,0
К1	2,9	0,1	0,2	0,3	10,2
Д2	3,8	0,1	0,2	0,3	7,0
К2	4,0	0,0	0,1	0,2	5,1
Д3	5,1	0,0	0,1	0,2	4,0
К3	4,4	0,0	0,1	0,1	2,5
Д4	4,6	0,1	0,2	0,3	5,7
К4	5,1	0,0	0,1	0,2	3,7
Д5	4,3	0,1	0,1	0,2	5,8
К5	4,3	0,2	0,3	0,4	10,3
Д6	5,1	0,1	0,1	0,2	4,8
К6	5,9	0,0	0,1	0,1	2,0
Д7	5,1	0,0	0,1	0,2	4,0
К7	4,8	0,1	0,2	0,3	5,5
Д8	3,5	0,0	0,1	0,2	5,0
К8	3,7	0,1	0,2	0,4	9,8
Д9	4,9	0,1	0,2	0,3	5,3
К9	5,3	0,0	0,1	0,2	3,9
Д10	4,7	0,1	0,2	0,3	6,3
К10	4,9	0,6	0,4	0,8	15,3
Д11	4,2	0,0	0,1	0,1	2,6
К11	4,2	0,0	0,1	0,2	5,2
Д12	4,6	0,1	0,2	0,4	7,8
К12	5,8	0,1	0,1	0,3	4,5
Д13	6,2	0,3	0,3	0,5	8,4
Д14	5,7	0,0	0,1	0,2	3,7
Д15	4,7	0,0	0,1	0,2	3,4
Д16	4,5	0,0	0,1	0,2	3,9

При сравнении опытных участков с контрольными наблюдали повышение содержания общего гумуса на опытных полях №1, 3, 7, на остальных полях

наблюдается снижение данного показателя, и только в одном варианте опыта (№11) не происходит изменений в содержание гумуса. В большинстве случаев изменения недостоверны. В некоторых случаях (варианты №10,12) на содержание гумуса могли повлиять эрозионные процессы, распространенные здесь ранее ввиду ощутимых уклонов к линейным потяжинам и ложбинам. Однако на длинном эрозионно-опасном склоне на смытых почвах участка №1 прямой посев существенно ослабил эрозионное разрушение и повысил содержание гумуса по сравнению с участком традиционной отвальной вспашки.

Исследуемые почвы относятся к разным видам черноземов малогумусным с градацией 4–6 % и слабогумусированным с содержанием гумуса менее 4 %. Зачастую почва в течение исследуемого времени с апреля по октябрь может изменять содержание гумуса весьма существенно и переходить из категории в категорию. Это связано с сезонной динамикой содержания гумуса в черноземах (Безуглова, 2001; Вальков и др., 1989, 2008, 2012; Гончарова и др., 1990; Казеев и др., 2003, 2004; Даденко и др., 2014; Мясникова и др., 2015; Мокриков и др., 2017).

При исследовании сезонных изменений содержания гумуса на 1-м участке исследования было отмечено, что данный показатель варьировал в верхнем горизонте от 2,7 % до 4,2 % (рис. 49). С глубиной содержание гумуса уменьшается. Контрольный участок можно отнести к слабогумусированным черноземам, а опытный участок также относится к этому виду, но в апреле и сентябре переходит в категорию малогумусных.

При исследовании сезонных изменений содержания гумуса на 2-м участке исследования было отмечено, что данный показатель варьировал в верхнем горизонте от 3,8 % до 4,9 % (рис. 50), что позволяет отнести данные участки либо к слабогумусированным черноземам, либо к малогумусным в зависимости от месяца исследования.

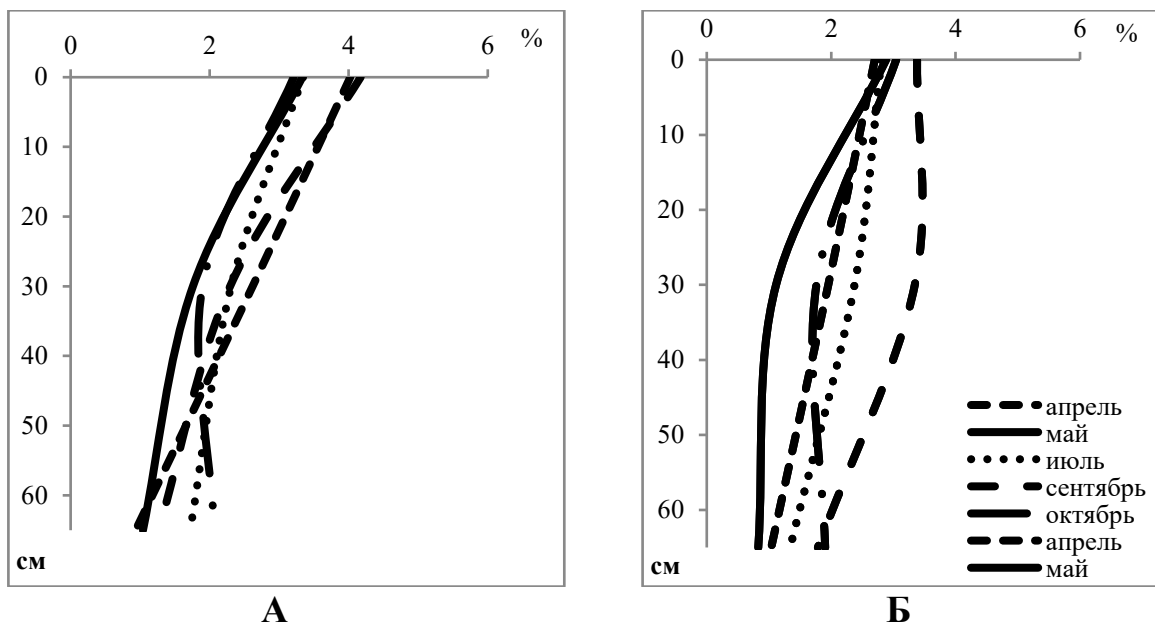


Рис. 49. Влияние прямого посева на сезонные изменения содержания гумуса, 1-й участок исследования ИП Мокриков В. И., А – NT, Б – ST

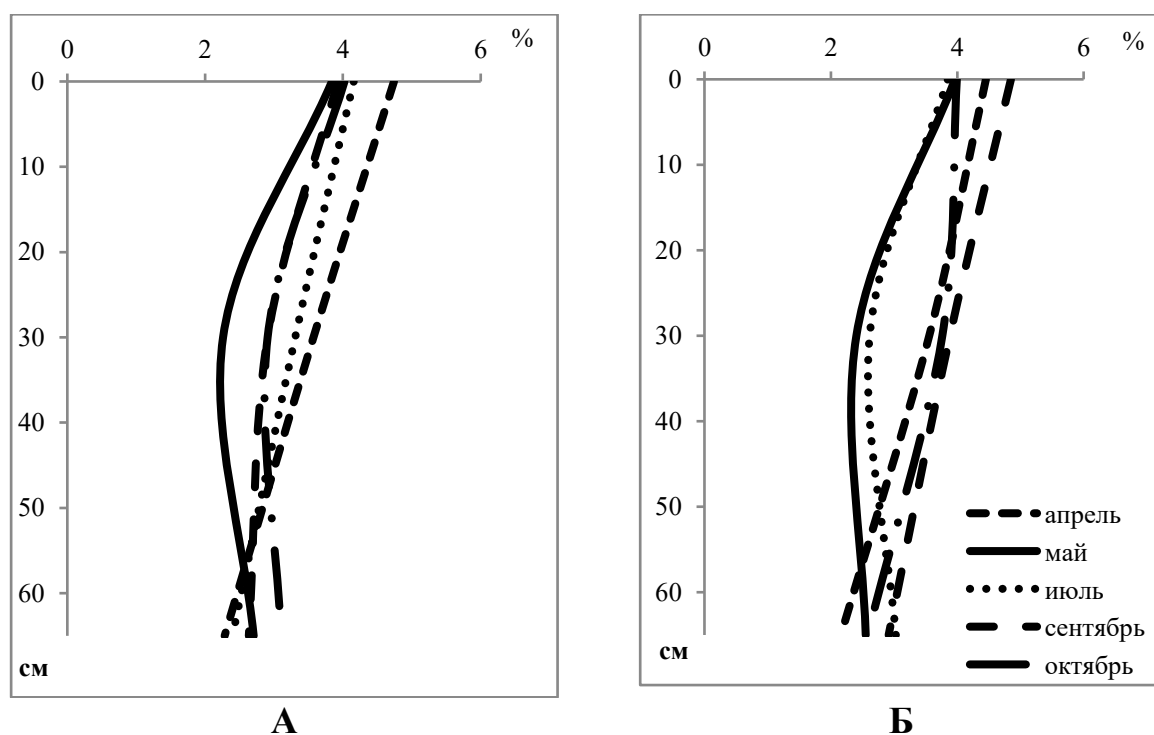


Рисунок 50 – Влияние прямого посева на сезонные изменения содержания гумуса, 2 участок исследования ИП Мокриков В. И., А – NT, Б – ST

При исследовании сезонных изменений содержания гумуса на 4-м участке исследования было отмечено, что данный показатель варьировал в верхнем горизонте от 4,3 % до 5,1 % (рис. 51), что позволяет отнести данные участки к малогумусным черноземам.

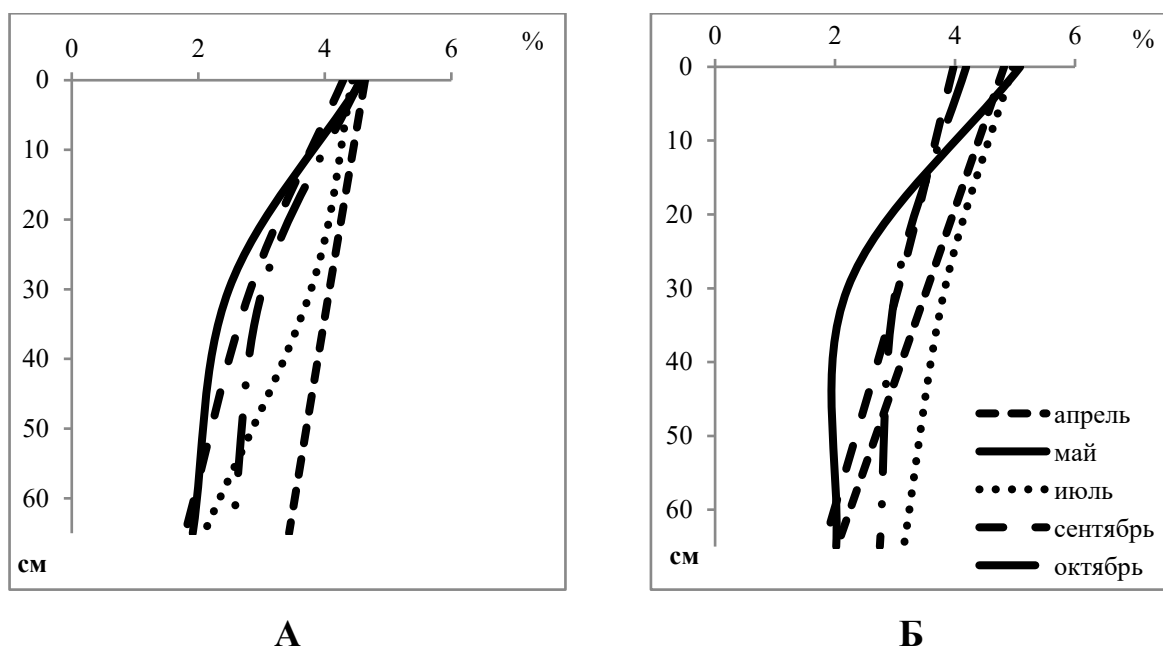


Рисунок 51 – Влияние прямого посева на сезонные изменения содержания гумуса 4 участок исследования ИП Мокриков В. И., А – NT, Б – ST

При исследовании сезонных изменений содержания гумуса на 9-м участке исследования было отмечено, что данный показатель варьировал в верхнем горизонте от 4,0 % до 5,5 % (рис. 52), что позволяет отнести данные участки к малогумусным черноземам.

При исследовании сезонных изменений содержания гумуса на 11-м участке исследования было отмечено, что данный показатель варьировал в верхнем горизонте от 3,1 % до 5,5 % (рис. 53). Контрольный участок относится к малогумусным черноземам, а опытный участок в зависимости от месяца исследования относится либо к слабогумусированным черноземам, либо к малогумусным в зависимости от месяца исследования.

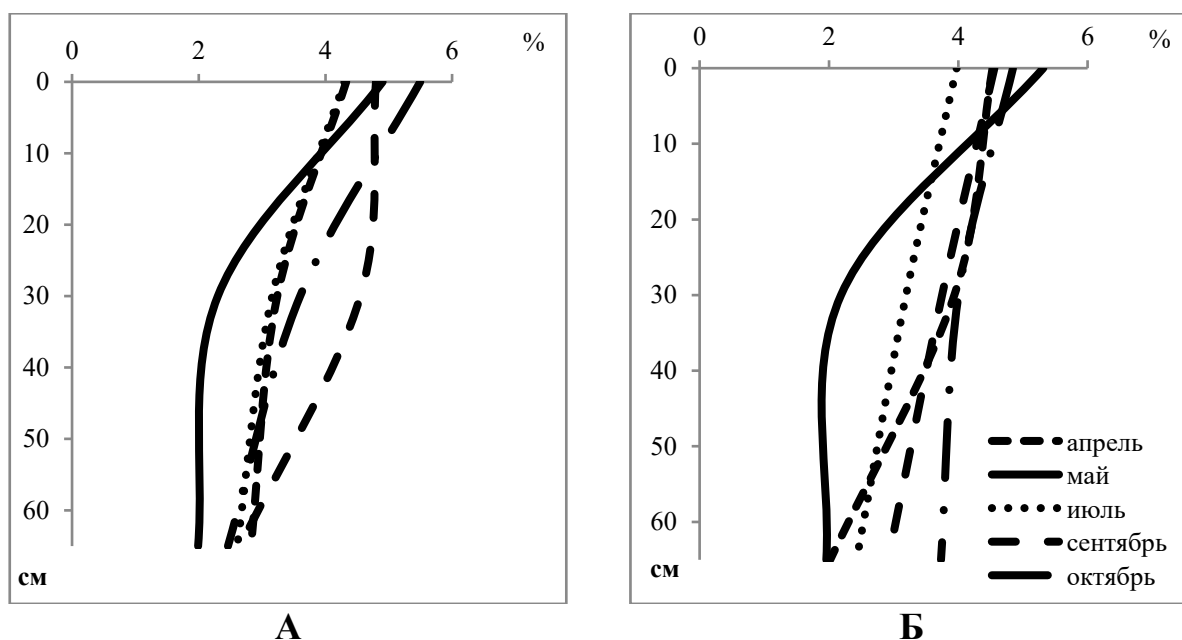


Рисунок 52 – Влияние прямого посева на сезонные изменения содержания гумуса, 9 участок исследования ИП Мокриков В. И., А – NT, Б – ST

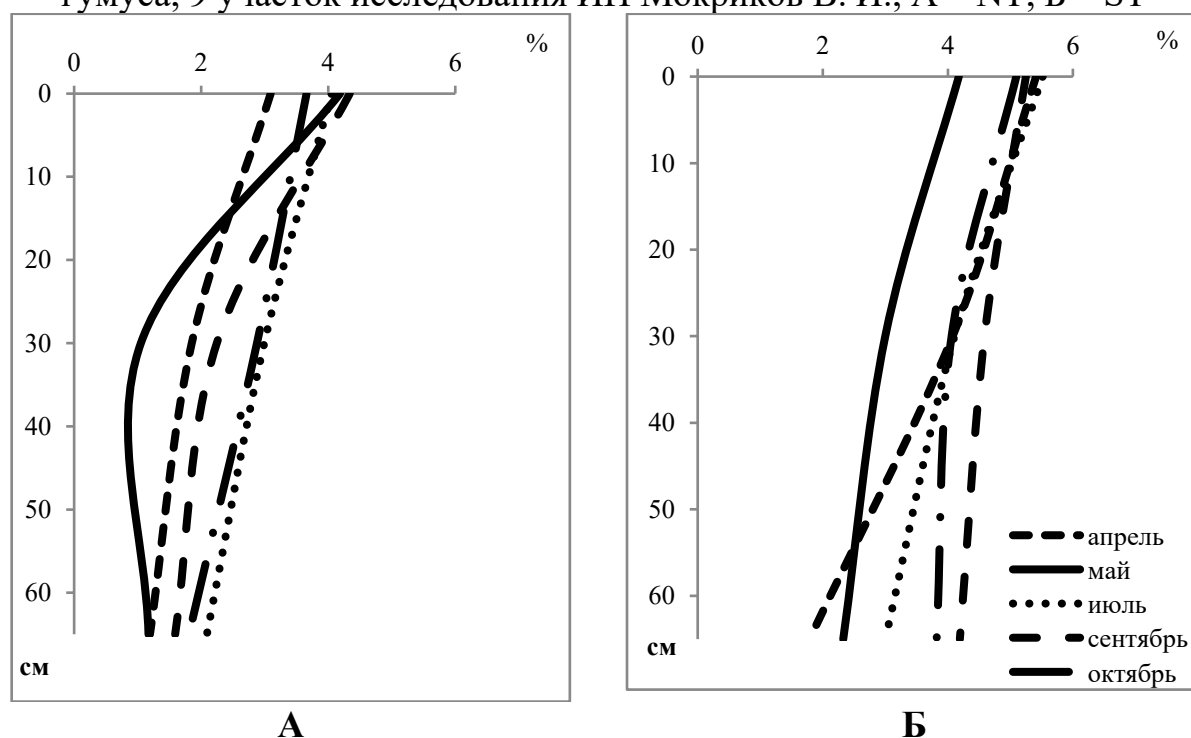


Рисунок 53 – Влияние прямого посева на сезонные изменения содержания гумуса 11 участок исследования ИП Мокриков В.И., А – NT, Б – ST

С глубиной содержание гумуса уменьшается на всех исследованных участках. Причем на контрольном 11-м участке содержание гумуса в осенние периоды уменьшается меньше, чем в другие месяцы, что может быть связано с тем, что поле было перепахано.

При сравнении опытных участков с контрольными в первом варианте опыта наблюдали увеличение содержания гумуса на опытных полях во все сроки наблюдения и на всех глубинах, исключение составляет сентябрь в нижних горизонтах, а в апреле на глубине 55–65 см.

Содержание гумуса при длительном применении прямого посева увеличивается по сравнению с пахотной обработкой вследствие прекращения избыточного турбирования (Soane et al., 2012; Яников, 2014; Mangalassery et al., 2015; Ferreira et al., 2024). Также большую роль играет формирование мульчирующего слоя на поверхности почвы из растительных остатков после уборки основной продукции. Сохранение мульчи на поверхности почвы улучшает свойства почвы и увеличивает ее устойчивость к эрозийным процессам. Это достигается за счет повышения биологической активности почвы, улучшения физического состояния почв, уменьшения потери воды при испарении (Liu et al., 2005; Snapp et al., 2005; Upendra et al., 2006; Акименко и др., 2016; Мокриков и др., 2017; Ермолаев и др., 2022).

При сравнении опытных участков с контрольными в вариантах 2, 4, 9 опыта наблюдается как увеличение, так и уменьшение содержания гумуса на опытных полях. В большинстве случаев изменения были либо недостоверны, либо незначительны.

При сравнении опытных с контрольными участками в 11-м варианте опыта наблюдается уменьшение содержания гумуса на опытных полях на всех глубинах. На данном участке на содержание гумуса могли повлиять эрозийные процессы, распространенные здесь ранее ввиду ощутимых уклонов к линейным потяжинам и ложбинам.

Исследования показали достаточно высокое варьирование содержания активного углерода от 18 мг до 879 мг С/кг почвы (табл. 68). Активный углерод является одним из наиболее чувствительных показателей к различным воздействиям на почву, в том числе и к ее обработке (Chen et al., 2009; Melero et al., 2009; DuPont et al., 2010; Spargo et al., 2011; Awale et al., 2013; Veum et al., 2014; Morrow et al., 2016; Казеев и др., 2016; Тимофеева, Юдина, 2025).

Таблица 68. Содержание активного углерода в почвах ИП Мокриков, мг/кг

Поле	Среднее	Дисперсия	Стандартная ошибка	Стандартное отклонение	Коэффициент вариации, %
Д1	747	289,0	9,8	17,0	2,3
К1	502	289,0	9,8	17,0	3,4
Д2	348	451,6	12,3	21,3	6,1
К2	635	814,4	16,5	28,5	4,5
Д3	391	2091,3	26,4	45,7	11,7
К3	867	1035,6	18,6	32,2	3,7
Д4	621	2018,8	25,9	44,9	7,2
К4	879	2467,3	28,7	49,7	5,7
Д5	205	106,5	6,0	10,3	5,0
К5	516	3,3	1,1	1,8	0,4
Д6	131	854,6	16,9	29,2	22,3
К6	135	53,3	4,2	7,3	5,4
Д7	200	589,9	14,0	24,3	12,2
К7	169	62,3	4,6	7,9	4,7
Д8	135	323,7	10,4	18,0	13,3
К8	257	307,5	10,1	17,5	6,8
Д9	318	5,9	1,4	2,4	0,8
К9	216	1,5	0,7	1,2	0,6
Д10	329	426,2	11,9	20,6	6,3
К10	205	401,5	11,6	20,0	9,8
Д11	624	53,1	4,2	7,3	1,2
К11	759	705,1	15,3	26,6	3,5
Д12	339	1257,4	20,5	35,5	10,5
К12	230	2409,6	28,3	49,1	21,3
Д13	808	1209,4	20,1	34,8	4,3
Д14	673	417,6	11,8	20,4	3,0
Д15	75	1186,3	19,9	34,4	45,7
Д16	609	2717,3	30,1	52,1	8,6

Все исследованные участки в разные сроки наблюдения можно отнести к группе с очень низким содержанием активного углерода. Причем на большинстве участков максимальное значение данного показателя наблюдалось в мае, июле.

При исследовании сезонных изменений активности углерода на 1-м участке исследования было отмечено, что данный показатель варьировал от 76 мг до 804 мг С/кг почвы (рис. 54). С глубиной активность углерода уменьшается, исключение составляет контрольный участок в сентябре, где наблюдается небольшое повышение на глубине 25–35 см. На участках отмечается преимущественно очень низкое содержание активного углерода. В опытном участке в мае, июле было очень высокое содержание активного углерода в

верхнем горизонте (0–10 см), а в июле на глубине 25–35 см – среднее. Также на контрольном участке отмечено низкое содержание в июле, сентябре в верхнем горизонте (0–10 см) и на глубине 25–35 см в мае. Среднее содержание активного углерода было в мае (0–10 см), а также в сентябре на глубине 25–35 см.

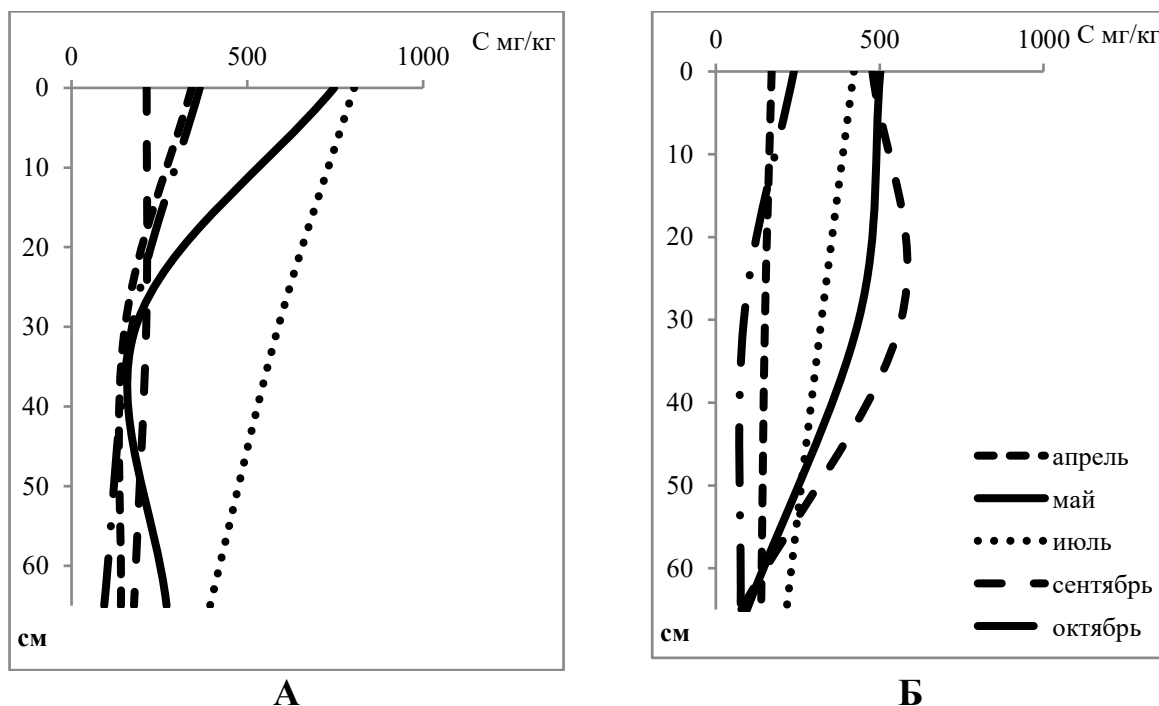


Рисунок 54 – Влияние прямого посева на сезонные изменения активного углерода, 1 участок исследования ИП Мокриков В. И., А – NT, Б – ST

При исследовании сезонных изменений активности углерода на 2-м участке исследования было отмечено, что данный показатель варьировал от 55 мг до 635 мг С/кг почвы (рис. 55). С глубиной активность углерода уменьшается, исключение составляет контрольный участок, где наблюдается небольшое повышение данного показателя на глубине 25–35 см в апреле, июле, сентябре. На участках отмечается преимущественно очень низкое содержание активного углерода. В опытном участке в верхнем горизонте в июле было высокое содержание активного углерода, а в сентябре – среднее. Также на контрольном участке отмечено высокое содержание в мае в верхнем горизонте (0–10 см) и на глубине 25–35 см в июле.

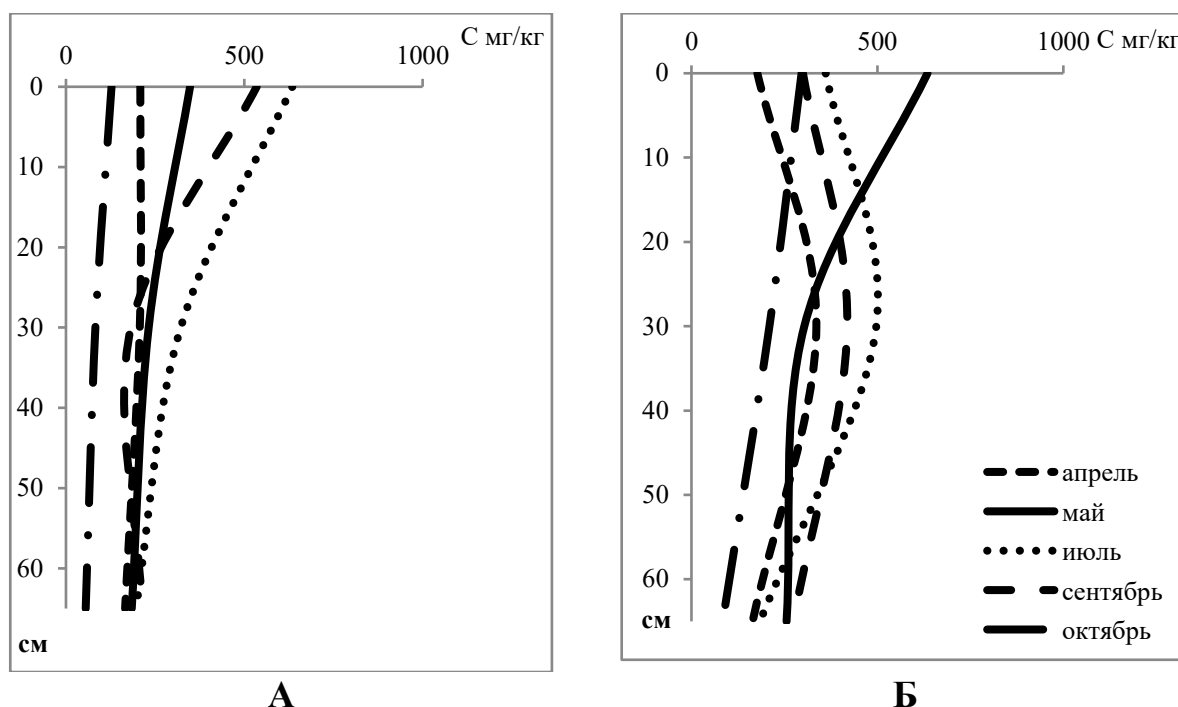


Рисунок 55 – Влияние прямого посева на сезонные изменения активного углерода 2 участок исследования ИП Мокриков В. И., А – NT, Б – ST

При исследовании сезонных изменений активности углерода на 4-м участке исследования было отмечено, что данный показатель варьировал от 150 мг до 846 мг С/кг почвы (рис. 56). С глубиной активность углерода уменьшается, исключение составляет контрольный участок, где наблюдается небольшое повышение данного показателя на глубине 55–65 см в октябре. На данном участке активность углерода варьировала сильнее, чем на остальных участках, и в разные месяцы содержание углерода относится к разным группам. Так, к группе с очень высоким содержанием активного углерода можно отнести опытный участок (0–10 см) в июле, сентябре, а также контрольный участок в мае. К следующей группе с высоким содержанием – опытный участок в мае (0–10 и 25–35 см), а также контрольный участок в июле (0–10 см). Группа со средним содержанием – опытный участок в октябре (0–10 см), контрольный участок в мае (25–35 см). В 4-ю группу с низким содержанием – опытный участок в июле (25–35 см), контрольный участок в апреле (0–10 см).

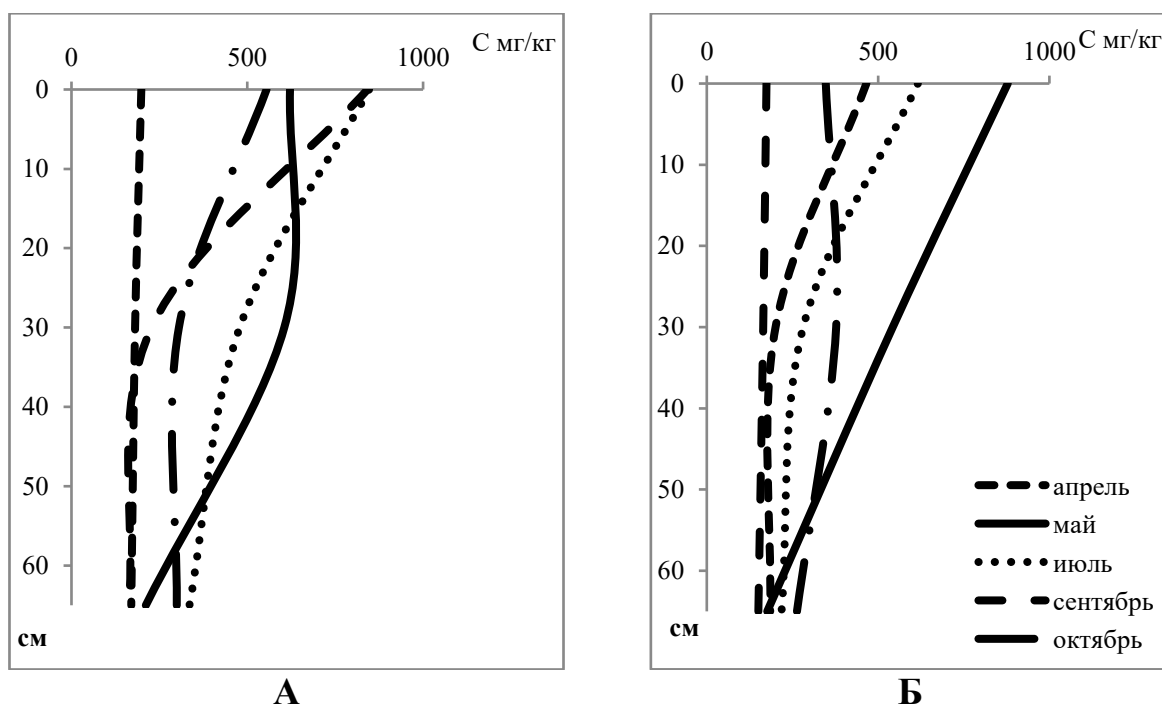


Рисунок 56 – Влияние прямого посева на сезонные изменения активного углерода 4 участок исследования ИП Мокриков В. И., А – NT, Б – ST

При исследовании сезонных изменений активности углерода на 9-м участке исследования было отмечено, что данный показатель варьировал от 18 мг до 815 мг С/кг почвы (рис. 57).

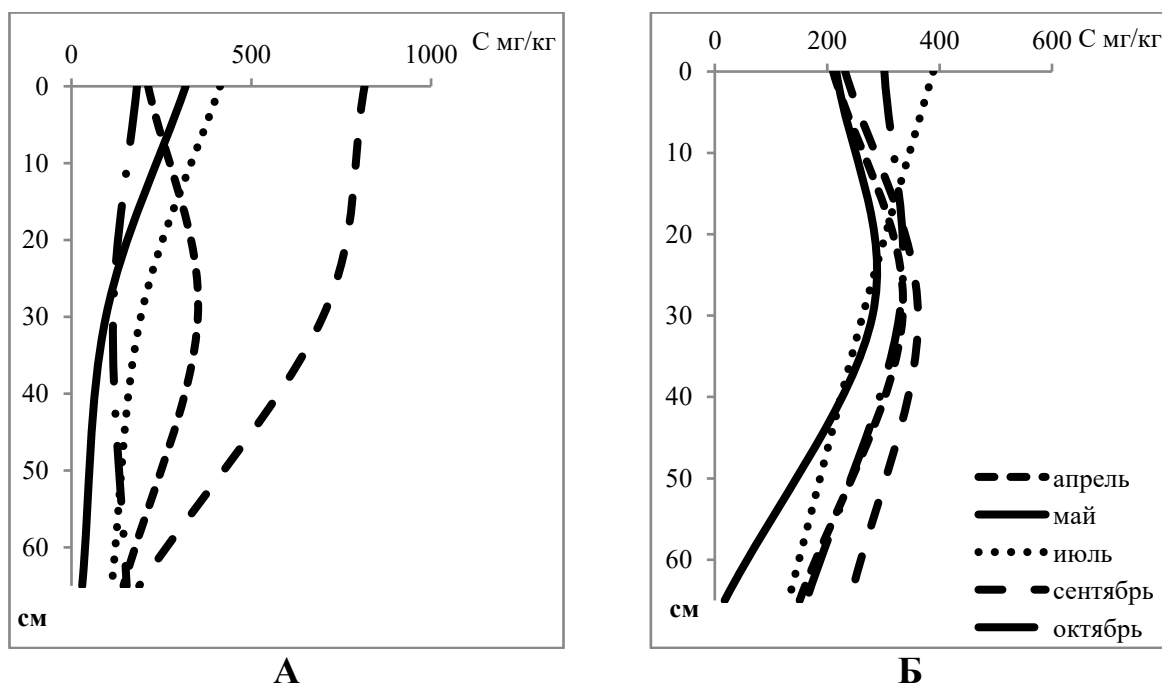


Рисунок 57 – Влияние прямого посева на сезонные изменения активного углерода 9 участок исследования ИП Мокриков В.И., А – NT, Б – ST

С глубиной активность углерода уменьшается, исключение составляет контрольный участок, где наблюдается небольшое повышение данного показателя на глубине 25–35 см в апреле, сентября, октябре, на опытном участке – в апреле. На участках отмечается преимущественно очень низкое содержание активного углерода. На опытном участке в сентябре в верхнем горизонте было очень высокое содержание активного углерода, а на глубине 25–35 см – высокое. Также в июле содержание активного углерода в верхнем горизонте было низкое. При исследовании сезонных изменений активности углерода на 11-м участке исследования было отмечено, что данный показатель варьировал от 51 мг до 759 мг С/кг почвы (рис. 58). С глубиной активность углерода уменьшалась во все сроки наблюдения. Очень высокое содержание активного углерода было отмечено на контрольном участке в мае, сентябре (0–10 см); высокое содержание – в мае на опытном участке (0–10 см); среднее – в мае на контрольном участке на глубине 25–35 см; низкое – на контрольном участке в апреле (0–10 см), а также на опытном в мае (25–35 см) и в июле (0–10 см). Во всех остальных случаях содержание активного углерода было очень низкое.

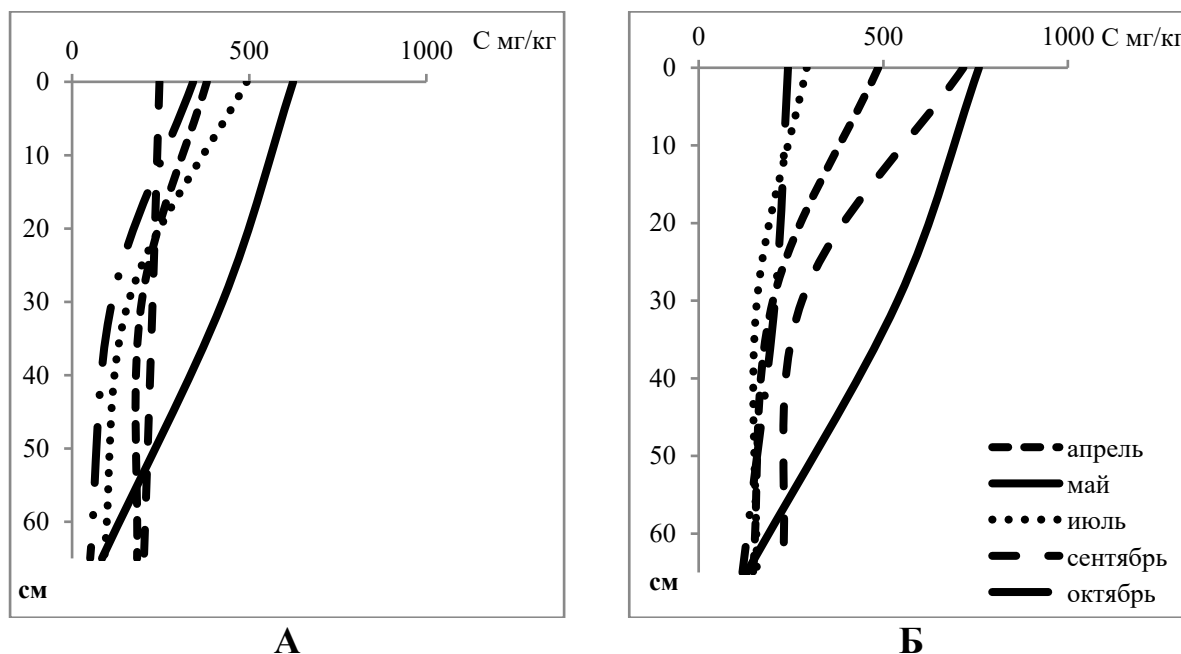


Рисунок 58 – Влияние прямого посева на сезонные изменения активного углерода 11 участок исследования ИП Мокриков В. И., А – NT, Б – ST

При сравнении опытных участков с контрольными наблюдается повышение активности углерода на опытных полях во все сроки наблюдения и на всех глубинах, исключения составляет апрель в нижних горизонтах, в мае на глубине 25–35 см и в сентябре в верхних горизонтах. Во втором варианте опыта наблюдается другая закономерность. Здесь происходит снижение содержания активности углерода на опытных полях во все сроки наблюдения и на всех глубинах, исключения составляют апрель, июль на глубинах 0–10 см и 55–65 см, а также сентябрь в верхнем горизонте (0–10 см). На четвертом участке наблюдали повышение активности углерода на опытных полях во все сроки наблюдения и на всех глубинах, исключения составляют апрель во всех горизонтах, в мае в верхнем горизонте и в октябре на глубине 25–35 см. На девятом участке отмечали то повышение, то понижение содержания активного углерода. В большинстве случаев изменения недостоверны. Достоверные отличия отмечены для мая в нижних горизонтах, для сентября – в верхних горизонтах, а также в октябре на глубине 25–35 см ($p < 0,001$). В 11-м варианте опыта наблюдается такая же закономерность, как во втором варианте. Здесь происходит снижение содержания активности углерода на опытных полях во все сроки наблюдения и на всех глубинах, исключения составляют апрель на глубине 55–65 см, июль на глубинах 0–10 см и 25–35 см, а также сентябрь в верхнем горизонте (0–10 см).

Исследованиями не выявлено высоких концентраций карбонатов кальция в поверхностных горизонтах почвы (0–10 см) (табл. 69). Данный показатель варьировал в верхнем горизонте от 0,2 % до 5,7 %, что позволяет отнести данные участки к слабокарбонатным, малокарбонатным, среднекарбонатным почвам, причем некоторые участки в зависимости от месяца исследования можно было отнести к разным группам. Так, если поля Д1 и К1 в май можно отнести к среднекарбонатным, то в июле и сентябре Д1 – малокарбонатный, а К1 – слабокарбонатный. На участках Д2, Д9, К11 содержание карбонатов наблюдалось только с глубины 25–35 см (табл. 70). С глубиной содержание карбонатов кальция в почве увеличивается.

Таблица 69. Содержание карбонатов в почвах (%), май 2017 г.

Поле	Среднее	Дисперсия	Стандартная ошибка	Стандартное отклонение	Коэффициент вариации, %
Д1	4,7	0,0	0,1	0,2	4,2
К1	5,3	0,0	0,1	0,1	2,4
Д2	0	0	0	0	0
К2	1,9	0,0	0,0	0,0	2,2
Д3	0,4	0,0	0,0	0,1	13,8
К3	2,9	0,0	0,0	0,1	2,2
Д4	5,7	0,0	0,0	0,1	1,3
К4	7,4	0,0	0,0	0,1	1,0
Д5	0,7	0,0	0,0	0,1	8,2
К5	1,0	0,0	0,1	0,1	11,9
Д6	0	0	0	0	0
К6	0	0	0	0	0
Д7	0	0	0	0	0
К7	0	0	0	0	0
Д8	0,6	0,0	0,0	0,0	2,1
К8	6,4	0,0	0,1	0,1	2,0
Д9	0	0	0	0	0
К9	1,8	0,0	0,0	0,1	4,2
Д10	0,8	0,0	0,0	0,0	2,5
К10	0	0	0	0	0
Д11	5,6	0,1	0,2	0,3	4,8
К11	0	0	0	0	0
Д12	0	0	0	0	0
К12	0	0	0	0	0
Д13	0	0	0	0	0
Д14	0	0	0	0	0
Д15	0,5	0,0	0,0	0,0	5,5
Д16	6,0	0,0	0,1	0,1	2,1

Для многих культур невысокие концентрации CaCO_3 в почвах благоприятны, однако их положительное действие или отсутствие негативных последствий наблюдается до определенного порога. Слабо- и среднекарбонатные почвы, т. е. содержащие карбонатов до 8 %, обычно снижают биологическую продуктивность для большинства сельскохозяйственных растений на 10–15 % по сравнению с почвами выщелоченными (Вальков и др., 2007, 2008а).

Было выявлено содержание карбонатов около 20 % только на глубине 55–65 см на полях К1, К4, Д11 в мае, в июле данный показатель снижался уже в 2–9 раз.

Таблица 70. Содержание карбонатов в почвах ИП Мокриков В. И., %

№	Глубина, см	Май	Июль	Сентябрь
Д1	0–10	4,7	1,7	3,3
	25–35	7,4	2,0	5,1
	55–65	14,7	9,3	12,9
К1	0–10	5,3	0,4	0,2
	25–35	11,0	0,6	1,4
	55–65	18,6	1,9	2,4
Д2	0–10	0	0	0
	25–35	0,9	0,6	0,7
	55–65	5,2	3,9	1,5
К2	0–10	1,9	1,6	1,6
	25–35	5,3	5,3	2,6
	55–65	9,0	10,0	8,3
Д4	0–10	5,7	4,6	3,8
	25–35	7,6	6,7	9,9
	55–65	16,1	9,7	10,7
К4	0–10	7,4	5,5	5,1
	25–35	11,8	8,7	11,1
	55–65	19,4	11,6	13,5
Д9	0–10	0	0	0
	25–35	0	0,5	0,4
	55–65	8,8	7,5	7,4
К9	0–10	1,8	2,0	1,8
	25–35	7,9	5,4	4,8
	55–65	11,2	10,0	6,9
Д11	0–10	5,6	5,4	4,7
	25–35	16,2	6,2	10,8
	55–65	20,3	9,9	15,0
К11	0–10	0	0	0
	25–35	0,3	2,1	0
	55–65	8,5	5,8	1,9

Примечание: Д – опытные поля, технология No-Till; К – контрольные поля, традиционная технология.

Результаты исследования по изучению потенциального дыхания почв ИП Мокриков В. И. показали достаточное варьирование данного показателя в течение исследуемого периода с апреля по октябрь. Показатель варьирует от 0,3 мг до 4,8 мг $\text{CO}_2/100\text{г/сут.}$ При исследовании сезонных изменений интенсивности дыхания почвы на 1-м участке исследования было отмечено, что данный показатель варьировал от 0,4 мг до 4,7 мг $\text{CO}_2/100\text{г/сут.}$ (рис. 59). Максимальные значения отмечены в апреле по всему профилю. Интенсивность дыхания почвы к октябрю уменьшается в верхнем горизонте в 6 раз. По профилю во все сроки исследования происходит уменьшение данного показателя, исключение

составляет контрольный участок в июле, сентябре, где наблюдается незначительное повышение дыхания.

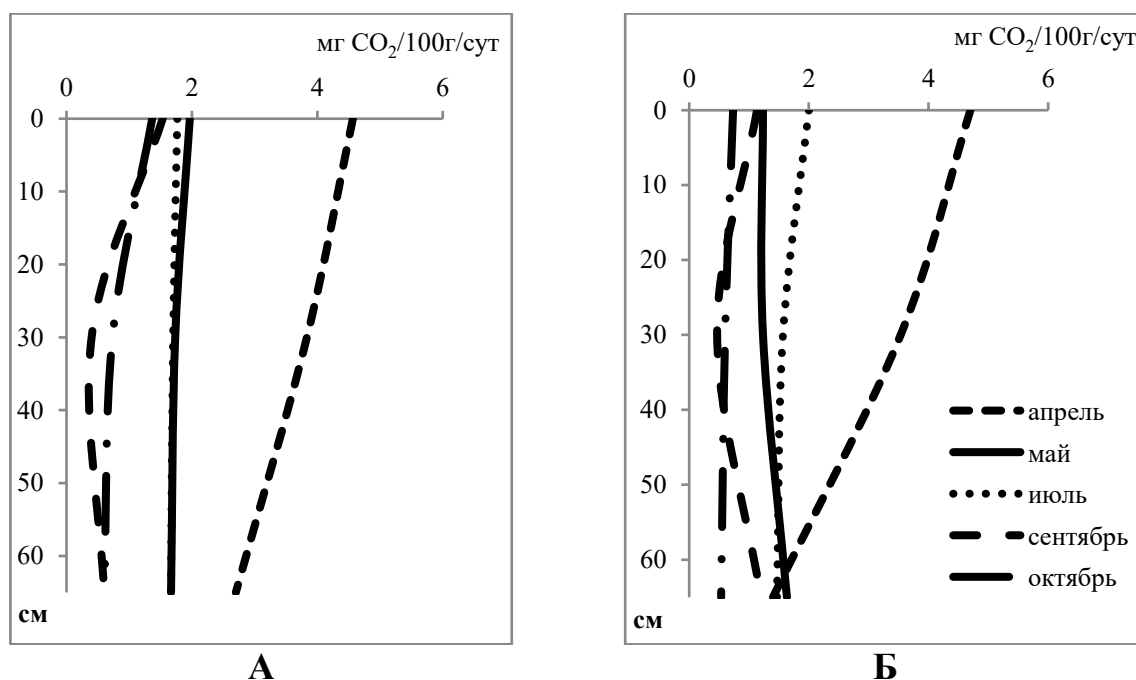


Рисунок 59 – Влияние прямого посева на сезонные дыхания почв 1 участок исследования ИП Мокриков В. И., А – NT, Б – ST

При исследовании сезонных изменений интенсивность дыхания почвы на 2-м участке исследования было отмечено, что данный показатель варьировал от 0,6 мг до 4,8 мг $\text{CO}_2/100\text{г/сут.}$ (рис. 60). Максимальные значения отмечены в апреле на опытном участке. Интенсивность дыхания почвы к октябрю уменьшается в верхнем горизонте опытного участка в 2 раза, на контрольном участке в течение всего исследования наблюдалось незначительное варьирование. По профилю данный показатель ведет себя неоднозначно, то понижаясь, то повышаясь.

При исследовании сезонных изменений интенсивность дыхания почвы на 4-м участке исследования было отмечено, что данный показатель варьировал от 0,7 мг до 4,1 мг $\text{CO}_2/100 \text{ г/сут.}$ (рис. 61). На данных участках отмечено незначительное варьирование в течение вегетационного периода. По профилю данный показатель ведет себя так же, как и на 2-м участке, то понижается, то повышается.

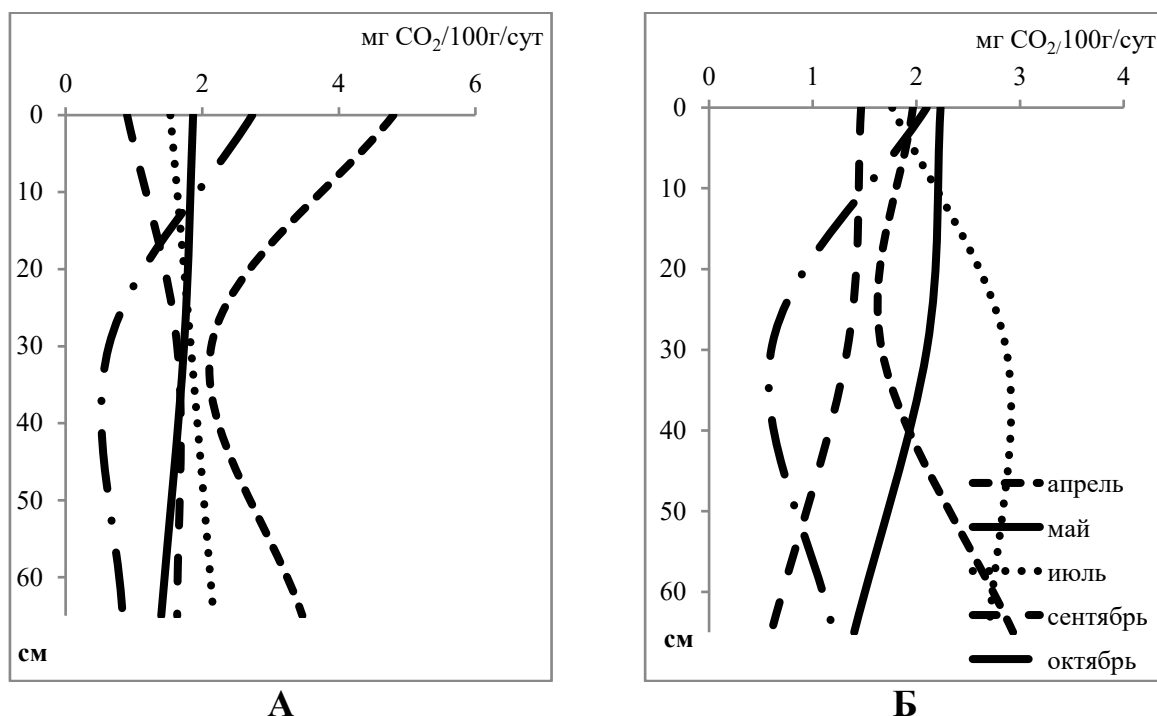
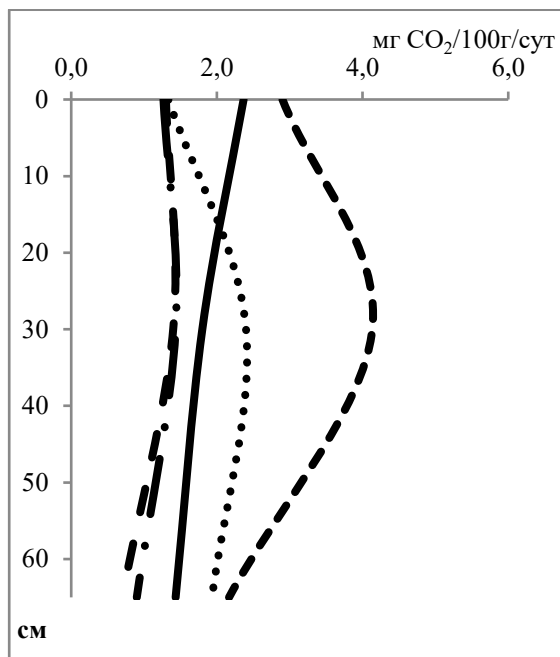


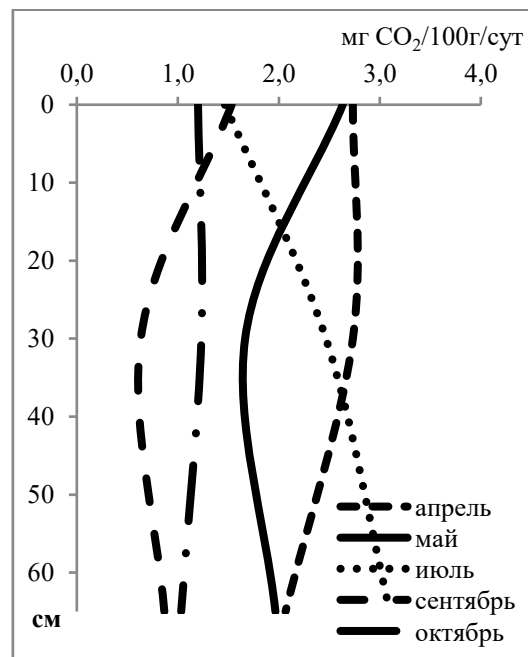
Рисунок 60 – Влияние прямого посева на сезонные изменения «дыхания» почв 2 участок исследования ИП Мокриков В. И., А – NT, Б – ST

При исследовании сезонных изменений интенсивность дыхания почвы на 9-м и 11-м участке исследования было отмечено, что данный показатель варьировал от 0,3 мг до 4,4 мг CO₂/100 г/сут. (рис. 61,62). Максимальные значения дыхания почвы были отмечены на опытных полях. На опытных участках происходит снижение данного показателя к октябрю почти в 2 раза. По профилю данный показатель ведет себя неоднозначно, то понижаясь, то повышаясь.

В результате проведенных сезонных исследований на исследуемых полях с разными системами обработки земель не выявлено какой-нибудь одной закономерности. Отмечены как значительные повышения интенсивности дыхания почвы в почвах при прямом посеве, так и некоторое снижение его значений. В большинстве случаев изменения были либо недостоверны, либо разнонаправленны в течение всех сроков наблюдения. Несмотря на то, что дыхание почвы хорошо установленный параметр, этот показатель сильно варьирует и может широко колебаться в зависимости от доступности субстрата, влажности и температуры. Большое варьирование дыхания затрудняет использование этого показателя в качестве индекса здоровья почвы (Казеев и др., 2016, 2022).

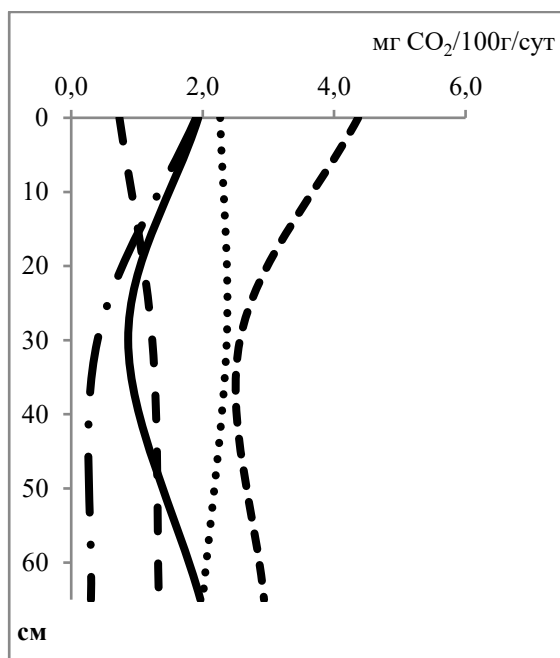


А

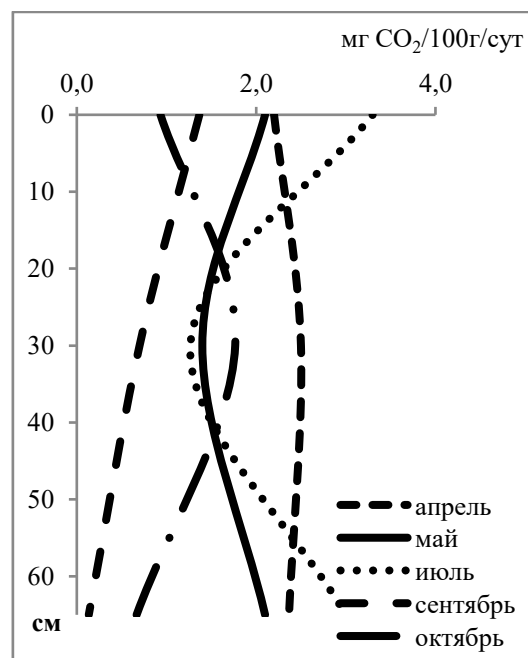


Б

Рисунок 61 – Влияние прямого посева на сезонные дыхания почв 4 участок исследования ИП Мокриков В. И., А – NT, Б – контрольный участок



А



Б

Рисунок 62 – Влияние прямого посева на сезонные изменения активного углерода 9 участок исследования ИП Мокриков В. И., А – NT, Б – ST

Нитрифицирующая способность почвы

В исследованиях отмечено увеличение нитрифицирующей способности на всех опытных полях по сравнению с контролем в июле (на 34–203 %), исключение составляет участок № 4 (табл. 71, рис. 63).

Таблица 71. Нитрифицирующая способность почвы, мг N-NO₃/кг почвы, май 2017 г.

№ поля	Среднее	Дисперсия	Стандартная ошибка	Стандартное отклонение	Коэффициент вариации, %
Д1	23,2	1,1	0,6	0,2	5,0
К1	15,7	1,9	0,8	0,0	2,1
Д2	31,6	3,2	1,0	0,0	3,1
К2	40,1	1,1	0,6	0,3	10,2
Д3	38,3	1,5	0,7	0,1	9,5
К3	16,0	2,3	0,9	0,1	6,8
Д4	20,4	7,2	1,5	0,3	7,0
К4	19,0	0,9	0,5	0,1	6,4
Д5	34,1	0,1	0,1	0,1	2,8
К5	42,1	0,2	0,2	0,2	5,1
Д6	21,2	6,8	1,5	0,1	3,5
К6	33,2	2,9	1,0	0,0	1,7
Д7	30,2	0,7	0,5	0,2	4,0
К7	10,4	0,6	0,5	0,1	2,5
Д8	31,2	1,5	0,7	0,3	5,7
К8	19,3	15,9	2,3	0,1	4,2
Д9	20,9	12,3	2,0	0,1	3,0
К9	33,1	0,3	0,3	0,2	3,7
Д10	9,2	5,2	1,3	0,1	3,2
К10	19,2	4,8	1,3	0,1	3,2
Д11	8,8	1,1	0,6	0,2	5,8
К11	32,1	0,2	0,2	0,4	10,3
Д12	15,3	2,8	1,0	0,2	4,8
К12	4,5	0,5	0,4	0,1	2,0
Д13	25,2	4,6	1,2	0,2	4,0
Д14	28,5	6,6	1,5	0,3	5,5
Д15	31,0	1,2	0,6	0,2	5,0
Д16	10,8	14,3	2,2	0,4	9,8

На участке № 1 происходит стимуляция активности на опытном поле в мае (на 48 %), а также на участке № 2 в сентябре (на 232 %). На участке № 4 незначительные отличия между контрольными и опытными участками. В работе (Rosa et al., 2014) показано, что нитрифицирующая активность почв

уменьшается при различных видах обработки почв, в том числе и при нулевой обработке почвы.

Исследования, проведенные в 2016 г. в Октябрьском районе Ростовской области, показали, что на полях с контрольными культурами показана меньшая нитрифицирующая активность, чем на поле с применением технологии No-Till. Наблюдали снижение активности в сухой теплый период (июль), что может быть связано с понижением влажности (Минникова и др., 2017б).

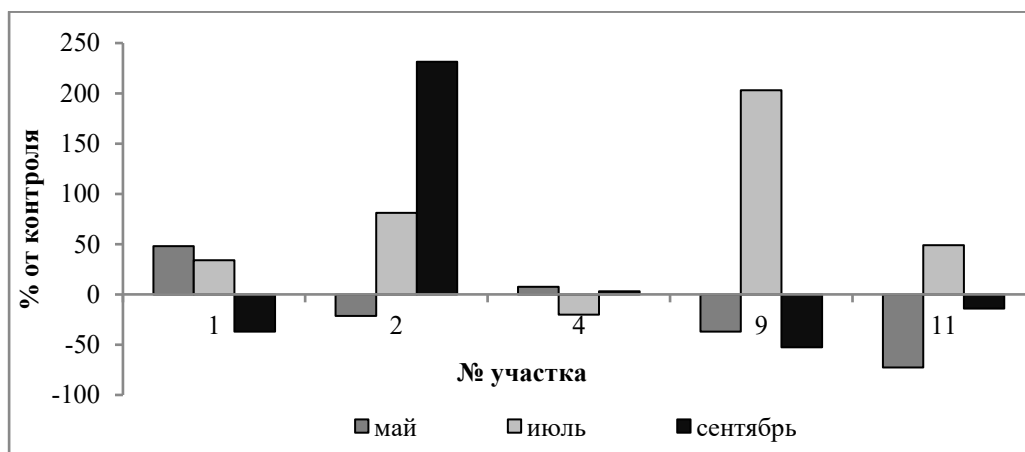


Рис. 63. Изменение нитрифицирующей способности почв ИП Мокриков В. И., % от контроля

Целлюлозолитическая активность почвы

Как показали исследования, происходит как повышение целлюлозолитической активности по сравнению с контрольными участками, так и ее понижение (табл. 72).

Таблица 72. Целлюлозолитическая активность почв ИП Мокриков В.И., %

Поле	май	июль	сентябрь
Д1	21,7	22,9	6,8
К1	45,5	17,3	2,5
Д2	21,8	23,3	4,4
К2	19,1	28	4,8
Д4	22,5	25,9	17,8
К4	17,5	—	—
Д9	3,6	8,8	11,4
К9	5,1	3,2	3,4
Д11	14,0	3,2	2,8
К11	14,0	—	—

Достоверные отличия отмечены только для участков № 1 и № 9 ($p < 0,01$ для июля 1-й участок, май 9-й участок; для остальных сроков исследования $p < 0,001$). На данных участках происходит повышение целлюлозолитической активности в июле и сентябре (на 32–235 %). Целлюлозолитическая активность почвы на фоне No-Till была выше, чем при традиционной технологии в связи с тем, что оставленная на поверхности мульча способствовала активизации деятельности микроорганизмов и бактерий (Власенко и др., 2013).

Исследования, проведенные в 2016 году на данных участках, показали, что в разные сроки наблюдения на одних и те же опытных вариантах отмечалось как повышение, так и снижение показателя относительно контрольных значений, что связано как с погодными условиями, так и с фазами развития растений.

Следует обратить внимание, что разложение полотна сильно зависит от влажности почвы, которая в значительно большей степени лимитирует биологическую активность в условиях региона исследований, чем температура почвы. Кроме того, при высыхании почвы крайне сложно правильно заложить полотна в почву, поскольку на полях с пропашными культурами почва сильно уплотняется и становится глыбистой. Это приводит к тому, что зачастую площадь соприкосновения полотна с почвой в разных вариантах различна, что сильно сказывается на результатах

Влияние прямого посева на активность почвенных ферментов агроценозов ИП Мокриков В.И.

Результаты исследований показали значительную динамичность активности ферментов в течение вегетационного сезона 2017 года (рис. 64). Активность каталазы была повышена в июле и сентябре по сравнению с апрелем, маем и октябрём. Характер профильного распределения каталазы не всегда был убывающим, как описывается в литературе (Казеев и др., 2006, 2016; Даденко и др., 2014). На участке с традиционной обработкой почвы в мае и июле

активность каталазы практически не различалась в почвенном профиле (рис. 65).

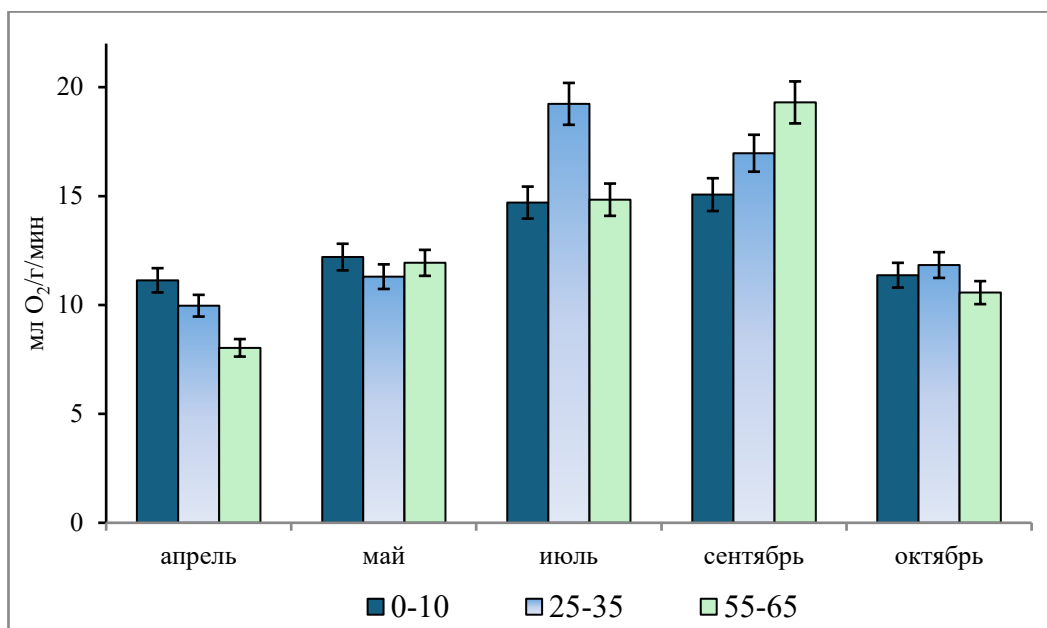


Рисунок 64 – Динамика активности каталазы в профиле чернозема на участке прямого посева Д1 в течение 2017 г.

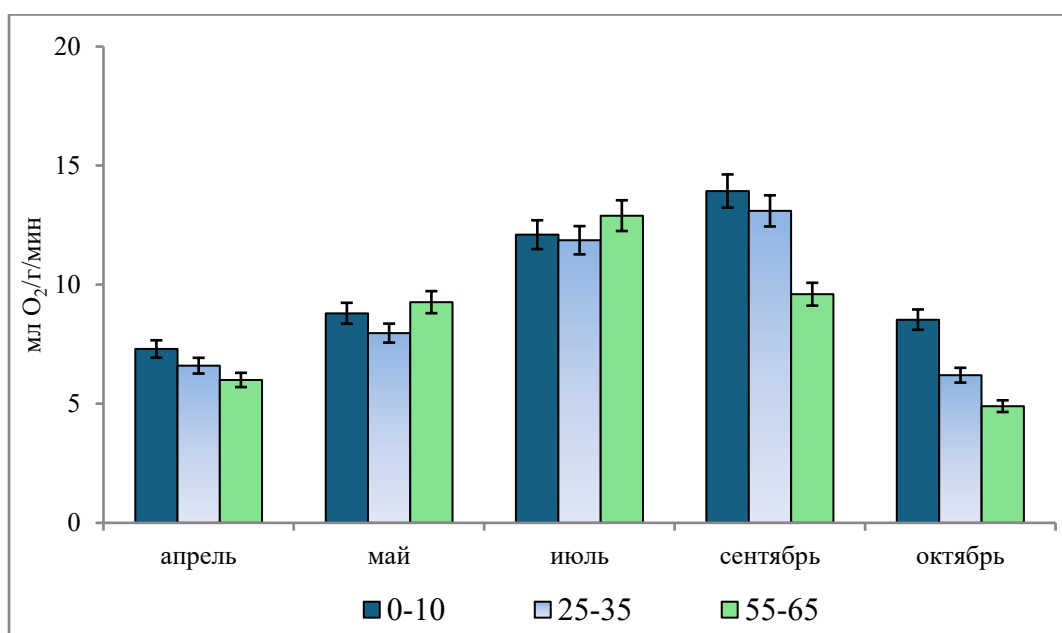


Рисунок 65 – Динамика активности каталазы в профиле чернозема на участке с традиционной технологией К1 в течение 2017 г.

Использование альтернативной технологии привело к еще большему отклонению поведения активности каталазы от нормального профильного

убывающего распределения (рис. 66). Только в начале апреля в холодный и влажный период распределение значений каталазы было убывающим, в сентябре была отмечена инверсия ее активности с повышением активности вниз по профилю. В остальные периоды наблюдений активность каталазы не зависела от глубины отбора образца.

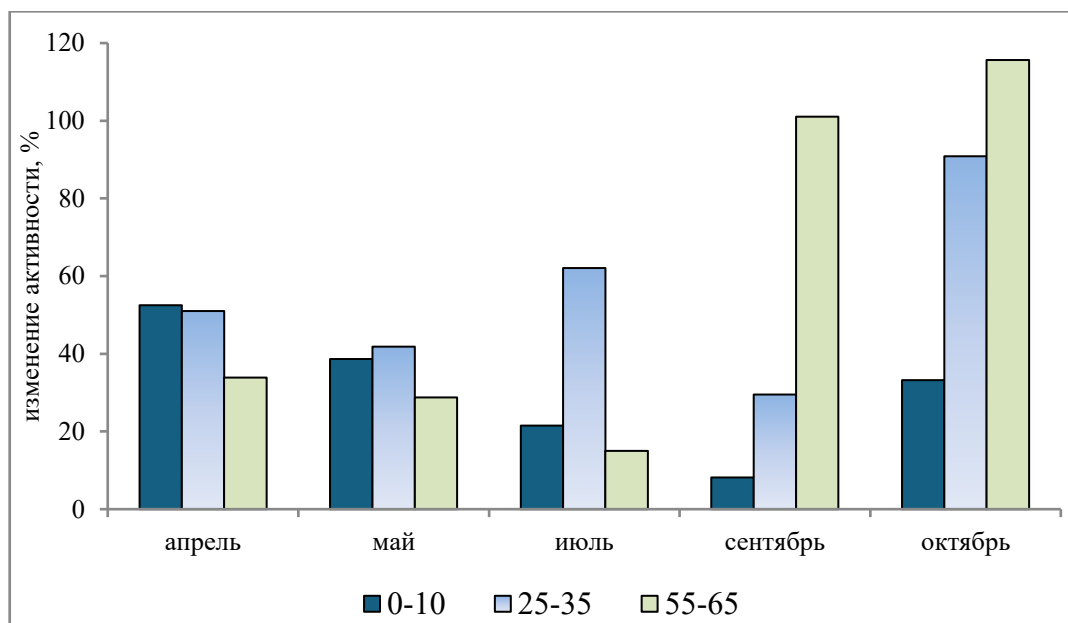


Рисунок 66 – Повышение активности каталазы на участке Д1 по сравнению с участком К1, 2017 г.

Характер изменения активности инвертазы полностью отличался от поведения активности каталазы. Сезонные изменения активности были хорошо выраженными. Минимальные значения были отмечены в холодном апреле. Максимальные показания активности инвертазы зафиксированы в октябре. В теплые месяцы года активность инвертазы понижена в июле, а в мае и сентябре активность фермента была несколько выше. Профильное распределение было закономерно убывающим. Максимальные значения активности были в поверхностном слое почвы. Далее вниз по профилю ее активность значительно снижалась до глубины 25–35 см и далее изменялась в меньшей степени.

Активность каталазы в течение всех пяти исследуемых сроков была значительно выше в почве опытного участка с технологией прямого посева по сравнению с почвой, обрабатываемой по традиционной технологии со вспашкой и боронованием.

При этом повышение активности фермента затронуло не только поверхностный слой 0–10 см, но и весь профиль до глубины 55–65 см.

Именно в этом слое в сентябре-октябре были зарегистрированы наиболее высокие значения повышения активности каталазы. Активность инвертазы в целом также была повышена в почве участка с почвосберегающей технологией прямого посева (рис. 67). Однако изменения были не столь однозначными, как в случае активности каталазы. Во-первых, были отмечены случаи понижения активности инвертазы в разных слоях почвы опытного поля. Во-вторых, за редким исключением, амплитуда изменений была менее существенной по сравнению с активностью каталазы. Тем не менее в поверхностном слое было отмечено некоторое повышение активности гидролазы в четырех из пяти сроков наблюдения.

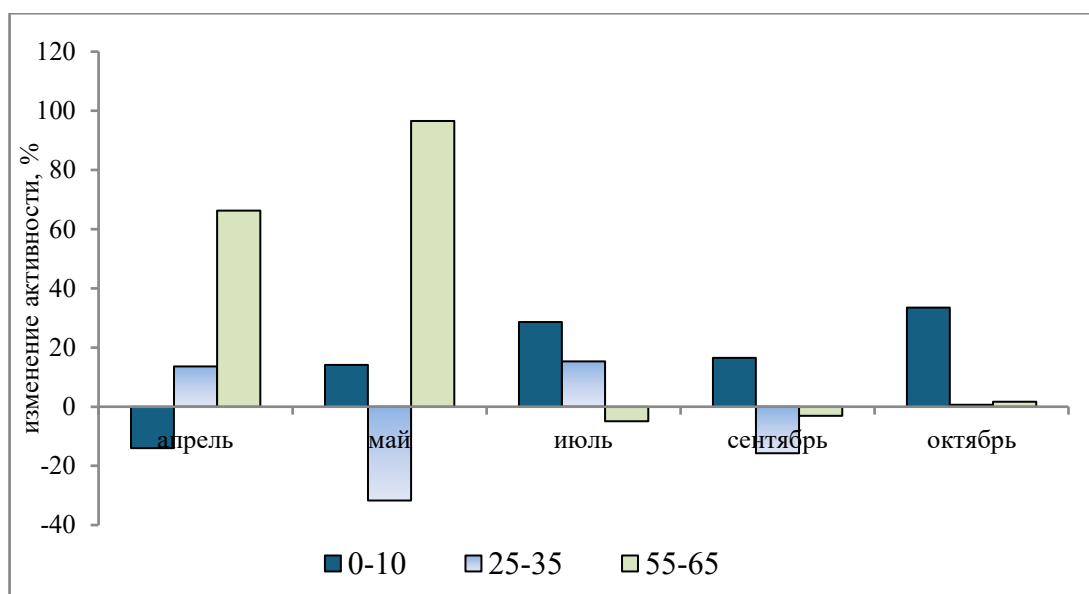


Рис. 67. Изменение активности инвертазы на участке Д1 в сравнении с участком К1, 2017 г.

Ниже приведено более подробное описание ферментативной активности исследуемых почв в рекомендуемый период исследования биологической активности почв – в мае. Активность ферментов почв Октябрьского района, обрабатываемых по разным технологиям, в мае 2017 года имела разнонаправленные тенденции (табл. 73). Изменение активности зависело от природы

фермента, свойств почвы, типа обработки почв, выращиваемой культуры, культуры-предшественника и других факторов.

Таблица 73. Активность почвенных ферментов в поверхностном слое исследуемых почв, май 2017 г.

Поле	Каталаза, мл O_2 /г/мин	Дегидрогеназа, мг ТФФ/1/24ч	Инвертаза, мг глюкозы/г/24ч	Фосфатаза, мг P_2O_5 /г/24ч
Д1	12,2	3,3	11,8	3,1
К1	8,8	3,2	10,3	3,2
Д2	11,6	2,2	14,4	3,4
К2	14,1	2,4	8,2	3,0
Д3	10,6	1,8	26,4	5,0
К3	15,3	2,4	14,8	3,5
Д4	11,9	3,2	18,7	2,5
К4	13,3	3,5	9,2	2,7
Д5	8,4	3,8	18,4	5,6
К5	10,2	3,5	16,6	3,3
Д6	9,3	1,4	19,8	4,3
К6	9,7	2,1	19,8	4,4
Д7	9,0	1,6	24,0	5,4
К7	13,2	2,6	14,1	4,2
Д8	11,2	3,4	12,3	2,8
К8	11,9	2,8	9,8	2,3
Д9	10,7	1,0	21,6	4,3
К9	14,6	2,4	12,2	3,4
Д10	12,8	2,5	14,5	3,9
К10	9,8	0,9	15,3	5,7
Д11	12,1	2,5	12,6	3,0
К11	9,8	2,7	15,6	4,1
Д12	8,7	1,6	24,4	3,8
К12	10,6	1,7	22,9	3,9
Д13	10,2	2,4	30,4	3,9
Д14	8,7	2,7	26,9	3,4
Д15	13,0	2,1	17,9	3,5
Д16	12,8	2,6	16,4	3,5

По шкале Д. Г. Звягинцева (1978) активность каталазы в поверхностном горизонте во всех исследуемых почвах в целом была на богатом, реже среднем уровнях. Значения активности фермента колебались в пределах от 8,4 мл O_2 /г/мин в почве участка Д5 до 15,3 мл O_2 /г/мин в почве участка К3. Активность каталазы, по литературным данным, является хорошим диагностическим показателем антропогенного воздействия, особенно при разных видах загрязнения, а также переувлажнения (Колесников и др., 2000, 2016; Казеев и др., 2006; Денисова и др., 2013 Даденко и др., 2021). В то же время активность

этого фермента не всегда может быть показателем почвенного плодородия (Казеев и др., 2004; Даденко и др., 2014; Мясникова и др., 2015; Мокриков и др., 2017; Шхапацев и др., 2022, 2023). Активность каталазы положительно коррелировала с величиной pH почв, не имела зависимости от влажности и была обратно связана с активностью гидролаз (инвертазы и фосфатазы) (табл. 74).

Таблица 74. Корреляционная матрица почвенных ферментов в поверхностном слое исследуемых почв, май 2017 г.

Показатели	pH	влажность	каталаза	дегидрогеназа	инвертаза	фосфатаза
pH		–0,31	0,70	0,63	–0,80	–0,63
влажность			–0,12	–0,15	0,17	0,24
каталаза				0,14	–0,55	–0,50
дегидрогеназа					–0,44	–0,51
инвертаза						0,50
фосфатаза						

Влияние технологии обработки почвы на активность каталазы было неоднозначным. Были выявлены как случаи повышения активности каталазы при использовании почвозащитной технологии (участки № 1, 10, 11), так и случаи обратного, когда более высокие значения активности фермента были зафиксированы в почвах контрольных участков (участки № 2, 3, 5, 7, 9). На некоторых участках достоверных различий в уровне активности каталазы в почвах контрольных и опытных участков не было отмечено (участки № 4, 6, 8).

Активность дегидрогеназ чаще незначительно понижалась на контрольных полях. Однако самое высокое повышение ее уровня относительно контрольного значения было зафиксировано на опытном поле Д10, где активность дегидрогеназ была выше более чем в 1,5 раза.

Активность гидролаз была более восприимчива к применению почвозащитной технологии. В почвах агроценозов с прямым посевом активность инвертазы была выше в 10 случаях из 12. Только на полях с выраженными эрозийными процессами (Д10 и Д11) ее активность была незначительно ниже контрольных значений. Инвертаза является ферментом с наиболее

выраженной связью с уровнем почвенного плодородия (Галстян, 1974; Казеев и др., 2004; 2012, 2016; Даденко и др., 2015, 2021; Мясникова и др., 2015; Шхапацев и др., 2023; Мокриков и др., 2024). Ее активность тесно связана с содержанием гумуса и другими показателями почвенного плодородия. Активность фосфатазы также чаще была повышена на полях с прямым посевом.

Характер профильного распределения исследуемых ферментов был различным (табл. 75).

Таблица 75. Активность ферментов исследуемых почв, май 2017 г.

Поле	Глубина, см	Каталаза, млО ₂ /г/мин	Дегидрогеназа, мг ТФФ/г/24ч	Инвертаза, мг глюкозы/г/24ч	Фосфатаза, мг Р ₂ О ₅ /г/24ч
Д1	0–10	12,2	3,3	11,8	3,1
	25–35	11,3	2,1	6,2	2,3
	55–65	11,9	1,3	7,3	2,2
К1	0–10	8,8	3,2	10,3	3,2
	25–35	8,0	2,2	9,1	2,3
	55–65	9,3	1,2	3,7	3,2
Д2	0–10	11,6	2,2	14,4	3,4
	25–35	14,1	2,4	13,7	3,3
	55–65	15,1	1,9	3,7	3,1
К2	0–10	14,1	2,4	8,2	3,0
	25–35	13,9	2,4	9,4	2,9
	55–65	12,6	2,2	3,2	3,4
Д4	0–10	11,9	3,2	18,7	2,5
	25–35	14,2	2,5	5,1	3,7
	55–65	10,6	1,7	4,3	5,2
К4	0–10	13,3	3,5	9,2	2,7
	25–35	11,4	2,8	7,4	2,1
	55–65	9,8	1,1	6,6	1,5
Д9	0–10	10,7	1,0	21,6	4,3
	25–35	12,6	2,2	11,6	3,8
	55–65	9,0	1,6	3,2	3,4
К9	0–10	14,6	2,4	12,2	3,4
	25–35	13,2	2,0	6,7	3,3
	55–65	9,8	1,6	6,5	2,5
Д11	0–10	12,1	2,5	12,6	3,0
	25–35	12,1	1,3	4,7	2,1
	55–65	9,7	1,3	5,4	1,4
К11	0–10	9,8	2,7	15,6	4,1
	25–35	9,1	2,6	10,1	2,8
	55–65	10,3	1,7	6,9	2,4

Активность каталазы практически не снижалась вниз по почвенному профилю. Часто отмечали случаи ее повышения в средней и нижней частях профиля. Такое поведение фермента нетипично для черноземов, хотя ранее

подобное и отмечалось для черноземов и других почв (Казеев и др., 2004; Кузнецова, Казеев, 2010; Солдатов и др., 2020; Шхапацев и др., 2022, 2023; Вилкова и др., 2023а,б,в; Костенко и др., 2023). Вертикальное распределение других ферментов было более типичным, убывающим вниз по профилю в разной степени для разных ферментов.

По итогам профильно-генетических исследований почв полей прямого посева, проведенных в 2017 г., можно отметить:

1. Содержание гумуса в исследуемых черноземах отвечает среднему уровню гумусированности. Амплитуда значений содержания гумуса в верхнем горизонте очень высока для пахотных черноземов 2,7–5,5 %. Также выявлена значительная динамичность показателя в течение всех сроков определения. Технология прямого посева препятствует эрозионным потерям гумуса. На участке № 1 на поле прямого посева было значительно больше содержание гумуса по всему профилю, чем на расположенном рядом поле с традиционной обработкой.
2. Содержание активного углерода сильно варьировало в верхнем горизонте от 128 мг до 879 мг С/кг. На большинстве участков максимальное значение данного показателя наблюдалось в мае, июле. В результате исследований не выявлено одной закономерности влияния прямого посева на содержания активного углерода. Технология прямого посева препятствует эрозионным потерям активного углерода, так же как и гумуса.
3. Потенциальное дыхание почвы сильно варьирует в течение исследуемого периода с апреля по октябрь (0,3 до 4,8 мг $\text{CO}_2/100$ г/сут.). Максимальные значения отмечены в апреле по всему профилю. Интенсивность дыхания почвы к октябрю уменьшается в верхнем горизонте в 2–6 раз. В результате проведенных сезонных исследований на исследуемых полях с разными системами обработки земель не выявлено какой-нибудь одной закономерности.

4. Не выявлено высоких концентраций карбонатов кальция в поверхностных горизонтах почвы (0,2 % до 5,7 %), что позволяет отнести данные участки к слабо- и малокарбонатным.
5. Структурный состав чернозема претерпевает изменения в течение сезона. Происходит уменьшение содержания глыб >10 мм, а количество пылеватой фракции <0,25 мм увеличивается на всех участках исследования. Независимо от обработки почвы коэффициент структурности превысил показатель 1,5, то есть агрегатное состояние почвы оценивается как отличное.
6. В исследованиях отмечено увеличение нитрифицирующей способности на всех полях прямого посева по сравнению с контролем в июле (на 34–203 %), за исключением участка № 4.
7. Целлюлозолитическая активность не зависит от применяемой технологии обработки почв, в большей степени определяясь гидротермическими условиями, выращиваемой культурой и свойствами почвы.
8. Выявлена значительная динамичность активности исследуемых ферментов. Характер динамики различался для разных исследуемых ферментов. Профильное распределение дегидрогеназы, инвертазы, фосфатазы было типичным, убывающим вниз по профилю в разной степени для разных ферментов. Активность каталазы часто была повышена в средней и нижней частях почвенного профиля. Применение почвозащитной технологии прямого посева повысило активности инвертазы, фосфатазы и, в меньшей степени, каталазы.

Микробиологические свойства почв ИП Мокрикова В. И.

Влияние No-Till на численность основных эколого-трофических групп микроорганизмов

Согласно полученным результатам, группа аммонифицирующих бактерий оказалась доминантной по численности на всех исследуемых полях по сравнению с другими эколого-трофическими группами микроорганизмов. Анализ результатов изменения численности аммонификаторов при разных

технологиях возделывания сельскохозяйственных культур показал, что численность данной группы бактерий варьирует в диапазоне 4,2–5,0 млн КОЕ/г почвы на полях с применением технологии No-Till и 3,3–5,0 млн КОЕ/г – с использованием традиционной технологии возделывания сельскохозяйственных культур (табл. 76).

Таблица 76. Численность аммонифицирующих бактерий на полях с разными технологиями обработки почвы (0–10 см, 20 мая 2017 г.)

№	Культура	М, млн КОЕ/г	S ²	S	m	V, %
1К	Озимая пшеница	3,37	2,89	2,08	0,98	8
1N	Озимая пшеница	4,92	21,56	5,69	2,68	15
2К	Озимая пшеница	3,25	24,00	6,00	2,83	26
2N	Озимая пшеница	4,42	8,22	3,51	1,66	11
3К	Подсолнечник	4,49	17,56	5,13	2,42	15
3N	Ячмень	4,70	16,89	5,03	2,37	14
4К	Озимая пшеница	3,76	44,67	8,19	3,86	29
4N	Озимая пшеница	4,63	16,67	5,00	2,36	14
5К	Пшеница/ячмень	3,29	18,67	5,29	2,49	22
5N	Пшеница/ячмень	4,85	13,56	4,51	2,13	13
6К	Подсолнечник	4,12	89,56	11,59	5,46	35
6N	Кориандр	4,87	44,67	8,19	3,86	22
7К	Озимая пшеница	3,69	4,22	2,52	1,19	9
7N	Кориандр	4,45	9,56	3,79	1,78	13
8К	Подсолнечник	3,76	38,89	7,64	3,60	27
8N	Кориандр	4,35	2,89	2,08	0,98	6
9К	Озимая пшеница	3,93	26,00	6,24	2,94	21
9N	Озимая пшеница	4,11	14,89	4,73	2,23	15
10К	Озимая пшеница	4,03	10,67	4,00	1,89	13
10N	Озимая пшеница	4,16	14,00	4,58	2,16	15
11К	Озимая пшеница	4,06	13,56	4,51	2,13	15
11N	Озимая пшеница	5,03	40,22	7,77	3,66	20
12К	Горох	4,95	11,56	4,16	1,96	11
12N	Ячмень	4,42	4,22	2,52	1,19	8
13N	Озимая пшеница	4,10	4,67	2,65	1,25	9
14N	Нут	4,77	52,67	8,89	4,19	25
15N	Озимая пшеница	4,42	48,67	8,54	4,03	25
16N	Нут	4,46	6,22	3,06	1,44	9

Примечание: М – среднее арифметическое (колоний в чашке Петри), m – ошибка средней, S² – дисперсия, S – среднее квадратичное отклонение, V – коэффициент вариации (%).

При сравнении численности аммонификаторов верхних почвенных горизонтов (0–10 см) опытных и контрольных полей, на которых произрастает одна и та же культура (озимая пшеница), как правило, численность бактерий

данного рода на порядок выше на опытных полях по сравнению с контрольными (поля № 1, 2, 4, 5, 9, 11).

Численность аммонификаторов значительно различается по вариантам опыта и зависит, скорее всего, от качества поступающих растительных остатков предшествующей культуры (рис. 68).

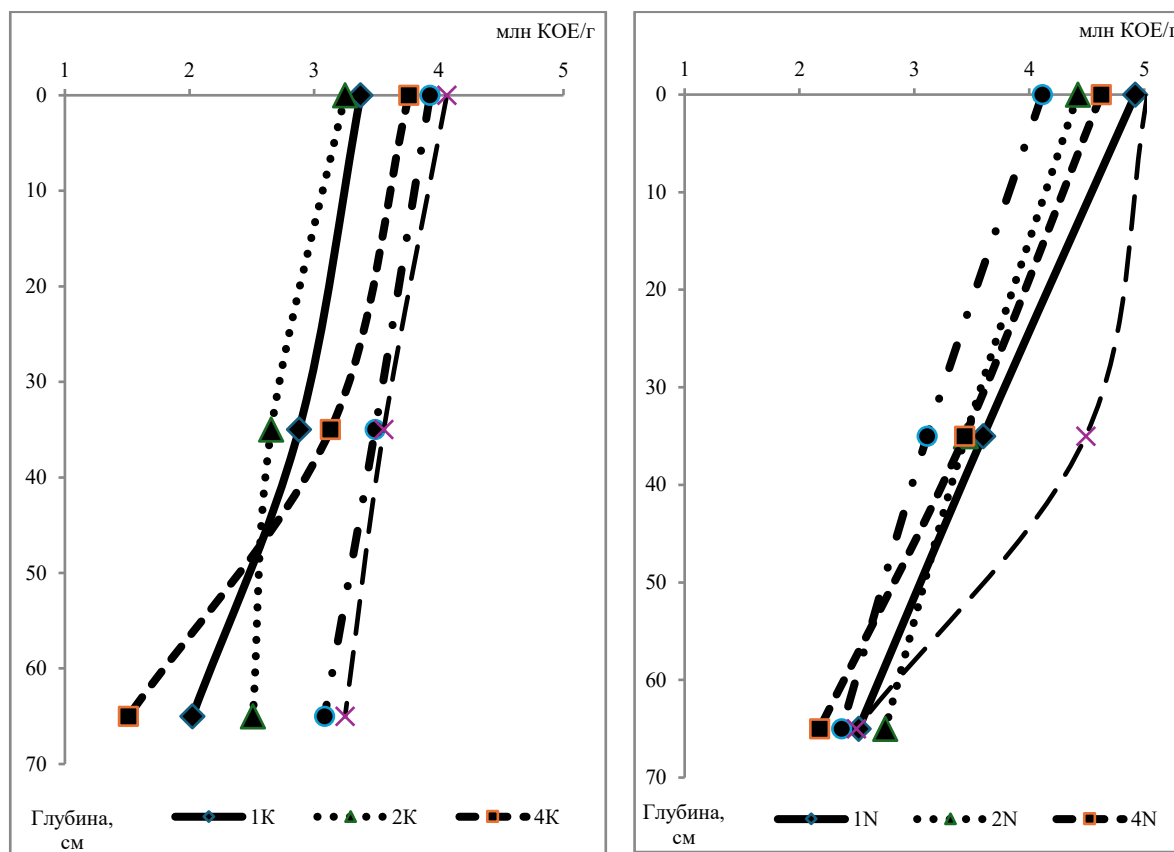


Рисунок 68 – Распределение аммонифицирующих бактерий по профилю черноземов контрольных (К) и опытных (N) полей

Для этой группы микроорганизмов очень важное значение имеет количество органических веществ, поступающих в почву, богатых белками или аминокислотами. Наименьшее их количество наблюдается по озимой пшенице 3,4 млн КОЕ/г (контрольное поле № 1) и подсолнечнику 3,3 млн КОЕ/г (контрольное поле № 2). Наибольшее количество этих микроорганизмов – по льну (опытное поле № 1), кориандру (опытные поля № 2, 4, 10) и по озимой пшенице, возделываемой по технологии No-Till (5,0 млн КОЕ/г). Это объясняется тем, что лен, кориандр оставляют в почве наибольшее количество белковых

веществ, что создает благоприятные условия для роста и развития последующей культуры.

Максимальная численность бактерий-аммонификаторов зафиксирована на опытных полях № 5 (озимая пшеница, технология возделывания No-Till) и № 11 (озимая пшеница, технология возделывания No-Till), наименьшая – на контрольном поле № 2 (озимая пшеница, традиционная технология возделывания).

Вариационно-статистический анализ численности бактерий-аммонификаторов показал, что численность бактерий значительно варьирует на всех полях, как опытных, так и контрольных, однако на полях с применением технологии No-Till колебания численности бактерий в целом значительно меньше, чем на контрольных полях с традиционной технологией. Например, на опытных полях № 2, 4, 9 коэффициент вариации (V) показателя составил 11, 14 и 15 %, на контрольных полях – 26, 29 и 21 % соответственно.

Результаты профильного распределения аммонифицирующих бактерий свидетельствуют о неравномерном распределении по слоям почвы как контрольных, так и опытных полей. Наблюдается снижение бактерий по профилю. При технологии нулевой обработки снижение численности бактерий по профилю более резкое. Следует отметить резкое снижение численности бактерий в слое 25–35 см при нулевой обработке. Примерно 50–60 % аммонифицирующих бактерий сосредоточено в верхнем слое (0–10 см). Такое развитие данной группы микроорганизмов можно объяснить наличием большого количества в этом слое почвы растительных остатков по сравнению со вспашкой.

Согласно шкале для оценки степени обогащенности почв микроорганизмами (Звягинцев, 1978), опытные и контрольные поля по обилию микромицетов в апреле 2017 г. характеризуются бедной степенью обогащенности. Низкое обилие микромицетов в данный период связано со складывающимися метеорологическими условиями (невысокие температуры, влажность и т. д.). Качественный и количественный состав микрофлоры значительно изменяется в зависимости от складывающихся погодных условий, причем он очень

динамичен. Наибольшее обилие микромицетов обнаружено на опытных полях № 1, 4, 9, по сравнению с контрольными полями в верхнем пахотном слое 0–10 см, на 32, 64 и 129 % соответственно (табл. 77), что связано с большим наличием в этом слое почвы растительных остатков по сравнению со вспашкой.

Таблица 77. Обилие микроскопических грибов на опытных и контрольных полях под посевами озимой пшеницы (2 апреля 2017 г.)

№	Глубина, см	М, тыс. КОЕ/г	S ²	S	m	V, %
1K	0–10	25,91	6,22	3,06	1,44	14
	25–35	23,96	2,67	2,00	0,94	10
	55–65	21,60	2,89	2,08	0,98	11
1N	0–10	34,13	48,22	8,50	4,01	31
	25–35	25,20	13,56	4,51	2,13	22
	55–65	4,03	1,56	1,53	0,72	46
2K	0–10	26,12	8,67	3,61	1,70	18
	25–35	21,37	0,67	1,00	0,47	6
	55–65	6,58	0,22	0,58	0,27	11
2N	0–10	37,26	24,22	6,03	2,84	21
	25–35	40,25	14,89	4,73	2,23	15
	55–65	23,01	14,89	4,73	2,23	25
4K	0–10	32,58	21,56	5,69	2,68	23
	25–35	39,47	43,56	8,08	3,81	26
	55–65	19,37	8,22	3,51	1,66	23
4N	0–10	53,52	28,22	6,51	3,07	16
	25–35	39,49	8,67	3,61	1,70	12
	55–65	10,48	1,56	1,53	0,72	18
9K	0–10	16,38	6,22	3,06	1,44	24
	25–35	23,19	11,56	4,16	1,96	23
	55–65	3,06	0,89	1,15	0,54	43
9N	0–10	37,48	57,56	9,29	4,38	32
	25–35	23,06	11,56	4,16	1,96	23
	55–65	6,09	2,67	2,00	0,94	40
11K	0–10	42,14	24,22	6,03	2,84	19
	25–35	32,66	4,22	2,52	1,19	10
	55–65	14,96	4,22	2,52	1,19	22
11N	0–10	43,04	24,22	6,03	2,84	21
	25–35	32,53	14,00	4,58	2,16	18
	55–65	23,53	16,67	5,00	2,36	25

Количество микромицетов значительно различается по вариантам опыта контрольных и опытных полей с возделыванием одной и той же культуры – озимой пшеницы, что может быть также связано с культурой-предшественником. Наибольшее обилие микромицетов наблюдается в слое 0–10 см опытного

поля № 4 – 53,5 тыс. КОЕ/г почвы, наименьшее – на контрольном поле № 9 – 16,4 тыс. КОЕ/г почвы.

На контрольных полях наблюдается неравномерное распределение микроскопических грибов по профилю. Характерно увеличение обилия микромицетов в слое 25–35 см. На большинстве же опытных полей распределение микромицетов по профилю более равномерное, основная доля микроскопических грибов сосредоточена в слое 0–10 см. Это объясняется тем, что механическая обработка почвы приводит к неодинаковому распределению растительных остатков по профилю. При нулевой обработке наибольшее количество корней растений и органических остатков сосредоточено в верхней части пахотного слоя. Поскольку органическое вещество служит для большинства микроорганизмов источником энергии и питательных веществ, при нулевой обработке они концентрируются в верхних слоях, при глубокой – по всему корнеобитаемому слою.

Вариационно-статистический анализ обилия микромицетов показал, что обилие данной группы микроорганизмов значительно варьирует, на полях с применением технологии No-Till колебания численности микромицетов выше, чем на контрольных полях с традиционной технологией. Коэффициент вариации (V) показателя на опытных полях составил 16–32 %, 12–23 %, 18–40 % (0–10, 25–35, 55–65 см). На контрольных полях 14–24 %, 6–26 %, 11–43 % соответственно.

Результаты исследований мая 2017 г. позволили установить наибольшее обилие микромицетов на опытных полях по сравнению с контрольными, в то время как в 2016 г. (Акименко и др., 2016) не удалось обнаружить однозначного расхождения между опытными и контрольными полями (табл. 78). Разница в обилии микроскопических грибов на опытных полях связана с занятостью полей различными сельскохозяйственными культурами. Наибольшее обилие микромицетов наблюдается под посевами озимой пшеницы – 54,9 тыс. КОЕ/г почвы (поле № 5, чернозем обыкновенный карбонатный), ячменя – 49,2 тыс. КОЕ/г (поле № 12, чернозем обыкновенный слабовыщелоченный),

кориандра – 43,6 тыс. КОЕ/г (поле № 7, чернозем обыкновенный выщелоченный). Наименьшее обилие микромицетов – под посевами подсолнечника (контрольные поля № 3, 6, 8) – 32,7, 38,7 и 40,7 тыс. КОЕ/г, а также под посевами нута (опытные поля № 14, 16) – 26,4 и 27,9 тыс. КОЕ/г соответственно.

Таблица 78. Обилие микроскопических грибов на полях с разными технологиями возделывания с/х культур (слой 0–10 см, 20 мая 2017 г.)

№	Культура	М, тыс. КОЕ/г	S ²	S	m	V, %
1К	Озимая пшеница	27,63	14,89	4,73	2,23	21
1N	Озимая пшеница	39,47	20,67	5,57	2,62	18
2К	Озимая пшеница	46,13	11,56	4,16	1,96	13
2N	Озимая пшеница	41,40	1,56	1,53	0,72	5
3К	Подсолнечник	32,72	40,67	7,81	3,68	31
3N	Ячмень	29,45	12,67	4,36	2,05	19
4К	Озимая пшеница	37,60	8,67	3,61	1,70	13
4N	Озимая пшеница	43,62	12,67	4,36	2,05	13
5К	Пшеница/ячмень	48,49	1,56	1,53	0,72	4
5N	Пшеница/ячмень	54,86	1,56	1,53	0,72	4
6К	Подсолнечник	38,71	0,89	1,15	0,54	4
6N	Кориандр	37,74	8,22	3,51	1,66	12
7К	Озимая пшеница	40,42	10,67	4,00	1,89	13
7N	Кориандр	43,55	8,67	3,61	1,70	12
8К	Подсолнечник	40,65	14,89	4,73	2,23	15
8N	Кориандр	35,27	2,67	2,00	0,94	7
9К	Озимая пшеница	29,69	6,22	3,06	1,44	13
9N	Озимая пшеница	40,70	6,89	3,21	1,52	10
10К	Озимая пшеница	49,64	28,67	6,56	3,09	18
10N	Озимая пшеница	43,41	6,89	3,21	1,52	10
11К	Озимая пшеница	46,12	6,89	3,21	1,52	10
11N	Озимая пшеница	39,30	6,00	3,00	1,41	10
12К	Горох	44,03	20,22	5,51	2,60	17
12N	Ячмень	49,22	4,67	2,65	1,25	7
13N	Озимая пшеница	35,26	102,89	12,42	5,86	47
14N	Нут	26,37	1,56	1,53	0,72	8
15N	Озимая пшеница	34,70	9,56	3,79	1,78	14
16N	Нут	27,89	2,89	2,08	0,98	10

Количество микромицетов значительно различается по вариантам опыта контрольных и опытных полей с возделыванием одной и той же культуры – озимой пшеницы, что связано, скорее всего, с предшествующей культурой. Наибольшее количество микромицетов – по подсолнечнику, кукурузе,

кориандру. Преобладание грибов объясняется особенностями их физиологии, так как по сравнению с бактериями грибы отличаются более экономным обменом веществ и высокой биохимической активностью. Относительно высокое содержание микроскопических грибов на посевах пшеницы после подсолнечника, кукурузы можно объяснить богатым разнообразием корневых и пожнивных остатков этих культур.

Максимальное обилие микроскопических грибов установлено на опытном поле № 5 (с/х культура – пшеница/ячмень, технология возделывания No-Till) – 54,9 тыс. КОЕ/г, наименьшая – на опытном поле № 14 (с/х культура – нут, технология возделывания No-Till) – 26,4 тыс. КОЕ/г и контрольном поле № 1 (с/х культура – озимая пшеница, традиционная технология) – 27,6 тыс. КОЕ/г. На опытных полях с технологией возделывания культур No-Till обилие микромицетов было выше в 1–1,5 раза по сравнению с контрольными полями. Таким образом, в среднем наибольшая численность микромицетов наблюдается в вариантах с технологией прямого посева.

На контрольных полях наблюдается неравномерное распределение микроскопических грибов по профилю. Наблюдается увеличение обилия микромицетов в слое 25–35 см. На большинстве же опытных полей распределение микромицетов по профилю более равномерное, основная доля микроскопических грибов сосредоточена в слое 0–10 см. Это объясняется тем, что механическая обработка почвы приводит к неодинаковому распределению растительных остатков по профилю. При нулевой обработке наибольшее количество корней растений и органических остатков сосредоточено в верхней части пахотного слоя. Поскольку органическое вещество служит для большинства микроорганизмов источником питательных веществ, то при нулевой обработке они концентрируются в верхних слоях, при глубокой – по всему корнеобитаемому слою. В исследовании Г. К. Марковской и Н. А. Кирясовой (2007) получены аналогичные результаты по распределению микромицетов по почвенному профилю. При вспашке под чистый пар отмечалось неравномерное распределение микромицетов по слоям почвы: примерно 60 % микромицетов

было сосредоточено в слое 0–10 см. Безотвальное рыхление на 10–12 см сопровождалось снижением численности микромицетов по сравнению со вспашкой. Однако здесь отмечалось более равномерное распределение плесневых грибов по слоям почвы, чем при вспашке. Нулевая обработка способствовала снижению численности микромицетов на 16 % в слое почвы 0–30 см по сравнению со вспашкой и на 10 % по сравнению с мелким рыхлением.

Вариационно-статистический анализ обилия микроскопических грибов показал, что обилие микромицетов значительно варьирует, однако на полях с применением технологии No-Till колебания численности микромицетов в целом значительно меньше, чем на контрольных полях с традиционной технологией. На опытных полях № 1, 2, 4, 9 (с/х культура – озимая пшеница) коэффициент вариации (V) показателя составил 18, 5, 13 и 10%, на контрольных полях 21, 13, 13 и 13% соответственно.

Наибольшее обилие микроскопических грибов установлено в июле 2017 г. (табл. 79). Согласно шкале степени обогащенности почв микроорганизмами (по Звягинцеву, 1978), опытные и контрольные поля характеризуются средней степенью обогащенности. Наибольшее обилие микромицетов установлено на контрольных полях № 2, 11 по сравнению с опытными полями в верхнем пахотном слое 0–10 см. Так же на опытных полях № 2, 4, 9 (более 40 тыс./КОЕ г почвы). Количество микромицетов значительно различается по вариантам опыта контрольных и опытных полей с возделыванием одной и той же культуры аналогично предыдущим срокам исследований.

На контрольных полях наблюдается более равномерное распределение микроскопических грибов по профилю. Наблюдаются инверсии увеличения обилия микромицетов в слое 25–35 см как опытных, так и контрольных полей. Основная доля микроскопических грибов сосредоточена в слое 0–10 см опытных и контрольных полей.

Таблица 79. Обилие микроскопических грибов на опытных и контрольных полях под посевами озимой пшеницы (25 июля 2017 г.)

№	Глубина, см	М, тыс. КОЕ/г	S ²	S	m	V, %
1К	0–10	29,25	8,67	3,61	1,70	15
	25–35	32,89	1,56	1,53	0,72	6
	55–65	18,24	8,22	3,51	1,66	23
1N	0–10	40,29	30,89	6,81	3,21	21
	25–35	29,36	97,56	12,10	5,70	51
	55–65	9,03	4,22	2,52	1,19	33
2К	0–10	47,07	17,56	5,13	2,42	15
	25–35	27,84	6,22	3,06	1,44	14
	55–65	19,56	8,22	3,51	1,66	23
2N	0–10	41,87	10,89	4,04	1,91	14
	25–35	41,53	10,89	4,04	1,91	12
	55–65	14,59	10,89	4,04	1,91	36
4К	0–10	36,71	3,56	2,31	1,09	8
	25–35	33,38	4,67	2,65	1,25	10
	55–65	21,62	1,56	1,53	0,72	9
4N	0–10	44,50	4,22	2,52	1,19	7
	25–35	32,33	1,56	1,53	0,72	6
	55–65	12,47	3,56	2,31	1,09	22
9К	0–10	37,12	13,56	4,51	2,13	16
	25–35	27,41	52,67	8,89	4,19	40
	55–65	19,88	1,56	1,53	0,72	9
9N	0–10	40,26	24,67	6,08	2,87	20
	25–35	25,49	2,89	2,08	0,98	11
	55–65	12,04	5,56	2,89	1,36	30
11К	0–10	46,58	8,67	3,61	1,70	11
	25–35	33,79	8,67	3,61	1,70	14
	55–65	13,08	1,56	1,53	0,72	15
11N	0–10	39,72	10,89	4,04	1,91	13
	25–35	26,13	10,89	4,04	1,91	19
	55–65	17,31	1,56	1,53	0,72	11

Согласно шкале степени обогащенности почв микроорганизмами (Звягинцев, 1978), почвы опытных и контрольных полей в сентябре характеризуются бедной степенью обогащенности. Наибольшее обилие микромицетов установлено на опытном поле № 4 – 37,9 тыс. КОЕ/г в верхнем пахотном слое 0–10 см, наименьшее – на опытном поле № 2 – 24,8 тыс. КОЕ/г. Закономерности профильного распределения обилия микромицетов в сентябре (табл. 80) контрольных и опытных полей аналогичны предыдущим срокам исследований.

Таблица 80. Обилие микроскопических грибов на опытных и контрольных полях под посевами озимой пшеницы (12 сентября 2017 г.)

№	Глубина, см	M, тыс. КОЕ/г	S ²	S	m	V, %
1K	0–10	28,41	0,67	1,00	0,47	4
	25–35	27,24	10,67	4,00	1,89	16
	55–65	14,93	6,89	3,21	1,52	24
1N	0–10	28,98	6,00	3,00	1,41	13
	25–35	18,70	5,56	2,89	1,36	17
	55–65	13,15	2,67	2,00	0,94	17
2K	0–10	27,86	24,22	6,03	2,84	25
	25–35	25,85	6,22	3,06	1,44	13
	55–65	12,67	0,89	1,15	0,54	10
2N	0–10	24,81	6,89	3,21	1,52	16
	25–35	20,42	4,22	2,52	1,19	14
	55–65	14,18	6,22	3,06	1,44	24
4K	0–10	33,05	2,67	2,00	0,94	7
	25–35	24,48	8,22	3,51	1,66	16
	55–65	13,76	4,22	2,52	1,19	20
4N	0–10	37,90	11,56	4,16	1,96	14
	25–35	28,88	22,89	5,86	2,76	23
	55–65	16,50	0,89	1,15	0,54	10
9K	0–10	30,49	11,56	4,16	1,96	16
	25–35	23,21	6,89	3,21	1,52	15
	55–65	16,79	4,22	2,52	1,19	16
9N	0–10	30,06	28,67	6,56	3,09	26
	25–35	18,98	6,22	3,06	1,44	18
	55–65	15,36	4,67	2,65	1,25	19
11K	0–10	32,60	2,67	2,00	0,94	7
	25–35	36,06	4,67	2,65	1,25	8
	55–65	14,75	6,00	3,00	1,41	23
11N	0–10	30,34	8,67	3,61	1,70	14
	25–35	24,59	9,56	3,79	1,78	17
	55–65	17,40	2,89	2,08	0,98	13

Согласно шкале степени обогащенности почв микроорганизмами (Звягинцев, 1978), почвы опытных и контрольных полей в октябре характеризуются бедной степенью обогащенности. Наибольшее обилие микромицетов установлено на контрольном поле № 2 – 30,7 тыс. КОЕ/г в верхнем пахотном слое 0–10 см, наименьшее – на опытном поле № 1 – 21,9 тыс. КОЕ/г (табл. 81). Закономерности профильного распределения обилия микромицетов в сентябре контрольных и опытных полей аналогичны предыдущим срокам исследований.

Таблица 81. Обилие микроскопических грибов на опытных и контрольных полях под посевами озимой пшеницы (18 октября 2017 г.)

№	Глубина, см	М, тыс. КОЕ/г	S ²	S	m	V, %
1K	0–10	25,88	1,56	1,53	0,72	7
	25–35	20,13	33,56	7,09	3,34	39
	55–65	14,39	4,67	2,65	1,25	20
1N	0–10	21,89	6,22	3,06	1,44	17
	25–35	16,54	2,89	2,08	0,98	14
	55–65	10,75	1,56	1,53	0,72	16
2K	0–10	30,69	1,56	1,53	0,72	6
	25–35	24,65	17,56	5,13	2,42	24
	55–65	14,68	0,67	1,00	0,47	8
2N	0–10	22,94	10,89	4,04	1,91	21
	25–35	19,19	26,00	6,24	2,94	37
	55–65	13,09	8,22	3,51	1,66	30
4K	0–10	23,86	12,67	4,36	2,05	22
	25–35	23,98	6,22	3,06	1,44	14
	55–65	11,71	6,22	3,06	1,44	29
4N	0–10	26,84	20,67	5,57	2,62	27
	25–35	23,49	9,56	3,79	1,78	18
	55–65	12,79	4,22	2,52	1,19	22
9K	0–10	29,46	29,56	6,66	3,14	26
	25–35	25,54	4,22	2,52	1,19	11
	55–65	17,21	1,56	1,53	0,72	10
9N	0–10	24,48	2,89	2,08	0,98	10
	25–35	19,45	4,22	2,52	1,19	14
	55–65	13,72	4,22	2,52	1,19	20
11K	0–10	28,85	10,89	4,04	1,91	17
	25–35	22,88	9,56	3,79	1,78	18
	55–65	15,44	2,67	2,00	0,94	14
11N	0–10	26,40	0,67	1,00	0,47	5
	25–35	21,14	8,67	3,61	1,70	19
	55–65	11,10	2,67	2,00	0,94	20

Анализ динамики обилия микромицетов как опытных, так и контрольных полей показал значительное варьирование данной группы микроорганизмов на протяжении всех сроков исследования. На опытных полях № 1, 4, 9 с технологией возделывания культур No-Till обилие микромицетов было выше в верхнем пахотном слое (0–10 см) по сравнению с контрольными полями на всех сроках исследований.

На опытном поле № 1 обилие микромицетов выше по сравнению с контролем на 32, 43 и 38 % в апреле, мае и июле соответственно. Достоверной разницы в обилии микромицетов в слое 0–10 опытного и контрольного полей

в сентябре и октябре не установлено. Однако в слоях 25–35 и 55–65 см опытных полей № 1, 9, 4 по сравнению с контролем обилие микромицетов было ниже. Это объясняется тем, что механическая обработка почвы приводит к неодинаковому распределению растительных остатков по профилю. При нулевой обработке наибольшее количество корней растений и органических остатков сосредоточено в верхней части пахотного слоя. Поскольку органическое вещество служит для большинства микроорганизмов источником энергии и питательных веществ, при нулевой обработке они концентрируются в верхних слоях, при глубокой – по всему корнеобитаемому слою.

На исследованных полях № 2, 11 достоверной разницы в обилии микромицетов опытных и контрольных полей в верхнем слое 0–10 см не установлено на всех сроках исследований. Однако наблюдается противоположная тенденция: на опытных полях на всех сроках исследований обилие микромицетов выше в слое 25–35 см по сравнению с контрольными, что может быть связано с предшествующей культурой. Относительно высокое содержание этих микроорганизмов на посевах пшеницы после подсолнечника, кукурузы можно объяснить богатым разнообразием корневых и пожнивных остатков этих культур.

Морфологический анализ колоний показал, что в сапрофитном грибном населении черноземов преобладает р. *Penicillium* (до 80 % от общей численности плесеней). Грибы рода *Aspergillus* составляют до 15 %. Также представлены роды *Dematium*, *Torula*, *Trichoderma*. Грибы данных родов способны активно разлагать свежие растительные остатки и легко переносить дефицит влаги, но размножаться могут только в условиях хорошей аэрации. Таким образом, уменьшение механической нагрузки на почву не привело к серьезным изменениям ее аэрации.

Наибольшая численность актиномицетов наблюдается на полях № 2, 5, 7, 11, 16 под посевами озимой пшеницы, кориандра и нута. В целом численность актиномицетов варьирует в диапазоне 41,0–59,6 тыс. КОЕ/г почвы на полях с применением технологии No-Till и 35,4–54,9 тыс. КОЕ/г с использованием

традиционной технологии возделывания сельскохозяйственных культур (табл. 82). Такой диапазон варьирования численности актиномицетов на разных полях связан с типом почвы и типом возделываемой культуры. Максимальная численность актиномицетов установлена на опытных полях № 7 (кориандр, No-Till) и № 5 (пшеница/ячмень, No-Till), наименьшая – на контрольных полях № 1, 4, 9 (озимая пшеница).

Таблица 82. Численность актиномицетов на полях с разными технологиями возделывания с/х культур (слой 0–10 см, 20 мая 2017 г.)

№	Культура	M, тыс. КОЕ/г	S ²	S	m	V, %
1K	Озимая пшеница	37,79	14,00	4,58	2,16	15
1N	Озимая пшеница	42,44	10,89	4,04	1,91	12
2K	Озимая пшеница	54,60	24,89	6,11	2,88	16
2N	Озимая пшеница	46,10	9,56	3,79	1,78	12
3K	Подсолнечник	41,88	4,67	2,65	1,25	8
3N	Ячмень	40,98	8,67	3,61	1,70	11
4K	Озимая пшеница	35,36	4,22	2,52	1,19	10
4N	Озимая пшеница	43,18	14,89	4,73	2,23	14
5K	Пшеница/ячмень	54,89	24,00	6,00	2,83	15
5N	Пшеница/ячмень	57,58	60,22	9,50	4,48	22
6K	Подсолнечник	43,34	37,56	7,51	3,54	22
6N	Кориандр	43,88	2,89	2,08	0,98	6
7K	Озимая пшеница	41,72	2,67	2,00	0,94	6
7N	Кориандр	59,56	13,56	4,51	2,13	11
8K	Подсолнечник	43,30	24,89	6,11	2,88	19
8N	Кориандр	43,11	10,67	4,00	1,89	12
9K	Озимая пшеница	37,12	10,89	4,04	1,91	14
9N	Озимая пшеница	43,29	11,56	4,16	1,96	12
10K	Озимая пшеница	46,96	26,00	6,24	2,94	18
10N	Озимая пшеница	48,03	20,22	5,51	2,60	16
11K	Озимая пшеница	52,52	57,56	9,29	4,38	24
11N	Озимая пшеница	47,33	11,56	4,16	1,96	11
12K	Горох	45,39	9,56	3,79	1,78	11
12N	Ячмень	41,02	8,67	3,61	1,70	12
13N	Озимая пшеница	47,60	28,67	6,56	3,09	18
14N	Нут	44,55	4,22	2,52	1,19	8
15N	Озимая пшеница	42,51	34,89	7,23	3,41	22
16N	Нут	51,48	10,67	4,00	1,89	10

Вариационно-статистический анализ показал, что численность актиномицетов значительно варьирует как на контрольных, так и на опытных полях. В целом коэффициент вариации (V) численности микромицетов колеблется в диапазоне 6–24 % на контрольных полях, 6–22 % на опытных полях.

Актиномицеты распределены по почвенному профилю более равномерно на опытных полях, чем на контрольных. Наблюдается снижение численности актиномицетов на 50 % в слое 25–35 см по сравнению с верхним слоем (0–10) см, что связано с распределением растительных остатков по почвенному профилю. Аналогичные данные были получены и в других исследованиях (Марковская, Кирясова, 2007).

Обилие олигонитрофильных бактерий опытных и контрольных полей варьирует в широком диапазоне. На полях с применением технологии No-Till диапазон варьирования составляет 22,5–31,5 тыс. КОЕ/г почвы и 24,5–30,1 тыс. КОЕ/г с использованием традиционной технологии возделывания сельскохозяйственных культур (табл. 83).

Таблица 83. Обилие олигонитрофильных бактерий на полях с разными технологиями возделывания с/х культур (слой 0–10 см, 20 мая 2017 г.)

№	Культура	М, тыс. КОЕ/г	S ²	S	m	V, %
1K	Озимая пшеница	26,82	2,67	2,00	0,94	9
1N	Озимая пшеница	22,49	16,22	4,93	2,33	28
2K	Озимая пшеница	30,12	1,56	1,53	0,72	7
2N	Озимая пшеница	22,58	8,67	3,61	1,70	23
3K	Подсолнечник	25,30	10,89	4,04	1,91	21
3N	Ячмень	27,32	8,22	3,51	1,66	16
4K	Озимая пшеница	24,62	1,56	1,53	0,72	8
4N	Озимая пшеница	25,99	8,22	3,51	1,66	18
5K	Пшеница/ячмень	26,99	1,56	1,53	0,72	8
5N	Пшеница/ячмень	29,93	12,67	4,36	2,05	20
6K	Подсолнечник	25,66	4,22	2,52	1,19	12
6N	Кориандр	26,33	10,67	4,00	1,89	20
7K	Озимая пшеница	26,51	30,89	6,81	3,21	33
7N	Кориандр	31,53	8,67	3,61	1,70	17
8K	Подсолнечник	29,60	4,22	2,52	1,19	11
8N	Кориандр	25,26	0,22	0,58	0,27	3
9K	Озимая пшеница	27,07	1,56	1,53	0,72	7
9N	Озимая пшеница	26,41	1,56	1,53	0,72	8
10K	Озимая пшеница	29,07	16,22	4,93	2,33	23
10N	Озимая пшеница	28,63	4,22	2,52	1,19	12
11K	Озимая пшеница	29,68	6,89	3,21	1,52	15
11N	Озимая пшеница	25,36	2,67	2,00	0,94	10
12K	Горох	24,51	4,67	2,65	1,25	15
12N	Ячмень	28,26	4,22	2,52	1,19	12
13N	Озимая пшеница	30,85	6,22	3,06	1,44	13
14N	Нут	29,55	2,89	2,08	0,98	10
15N	Озимая пшеница	27,76	49,56	8,62	4,06	40
16N	Нут	28,74	4,22	2,52	1,19	11

При сравнении обилия бактерий верхних почвенных горизонтов (0–10 см) опытных и контрольных полей, на которых произрастает одна и та же культура (озимая пшеница), однозначной достоверной разницы не обнаружено. Максимальная численность бактерий установлена на опытных полях № 7 – 31,5 тыс. КОЕ/г почвы (кориандр, технология возделывания No-Till) и № 13 – 30,9 тыс. КОЕ/г (озимая пшеница, технология возделывания No-Till), наименьшая – на опытных полях № 1 – 22,5 тыс. КОЕ/г (с/х культура – озимая пшеница) и № 2 – 22,6 тыс. КОЕ/г (озимая пшеница).

Результаты профильного распределения олигонитрофильных бактерий свидетельствует о неравномерном распределении по слоям почвы как контрольных, так и опытных полей. При технологии нулевой обработки снижение численности бактерий по профилю более резкое. Примерно 50–60 % бактерий сосредоточено в верхнем слое (0–10 см). Такое распределение данной группы микроорганизмов можно объяснить большим наличием в этом слое почвы растительных остатков по сравнению со вспашкой.

Обилие бактерий р. *Azotobacter* в апреле 2017 г. было выше на полях с традиционной технологией обработки № 1, 4, 9, 11, за исключением поля № 2, на котором обилие бактерий данного рода превышало таковое контрольного поля на 32, 45 и 118 % (глубина 0–10, 25–35 и 55–65 соответственно) (табл. 84). Наибольшее обилие бактерий р. *Azotobacter* установлено на контрольных полях № 1, 11 в верхнем пахотном слое (0–10 см). В работе С. И. Коржова с соавторами (2009) показано, что наиболее благоприятные условия для жизнедеятельности бактерий р. *Azotobacter* складываются при отвальной обработке на глубину 20–22 см как с удобрениями, так и без них. Углубление пахотного слоя приводит к снижению их обилия на 29–37 % в связи с ухудшением условий питания, а при применении безотвальных обработок наблюдается статистически достоверное уменьшение числа его клеток (в 2,1–2,3 раза). Наблюдали снижение бактерий по профилю контрольных и опытных полей. Основная масса бактерий контрольных полей распределена в слое 0–10 см, на опытных полях обилие бактерий практически одинаково в

слоях 0–10 и 25–35 см. Снижение численности бактерий по профилю опытных полей более плавное, чем контрольных.

Таблица 84. Обилие бактерий р. *Azotobacter* на опытных и контрольных полях под посевами озимой пшеницы (2 апреля 2017 г.)

№	Глубина, см	М, % комочков обрастания	S ²	S	m	V, %
1К	0–10	100	0,00	0,00	0,00	0
	25–35	49	4,22	2,52	1,19	20
	55–65	12	0,67	1,00	0,47	33
1N	0–10	61	5,56	2,89	1,36	19
	25–35	36	12,67	4,36	2,05	48
	55–65	17	4,22	2,52	1,19	58
2К	0–10	55	1,56	1,53	0,72	11
	25–35	39	9,56	3,79	1,78	39
	55–65	15	2,89	2,08	0,98	57
2N	0–10	72	0,67	1,00	0,47	6
	25–35	56	2,67	2,00	0,94	14
	55–65	32	2,67	2,00	0,94	25
4К	0–10	52	24,67	6,08	2,87	47
	25–35	37	2,89	2,08	0,98	22
	55–65	13	1,56	1,53	0,72	46
4N	0–10	64	8,00	3,46	1,63	22
	25–35	31	4,22	2,52	1,19	33
	55–65	19	2,89	2,08	0,98	45
9К	0–10	41	1,56	1,53	0,72	15
	25–35	41	14,89	4,73	2,23	46
	55–65	16	4,67	2,65	1,25	66
9N	0–10	35	0,89	1,15	0,54	13
	25–35	29	11,56	4,16	1,96	57
	55–65	24	2,00	1,73	0,82	29
11К	0–10	100	0,00	0,00	0,00	0
	25–35	44	4,67	2,65	1,25	24
	55–65	20	2,67	2,00	0,94	40
11N	0–10	87	6,22	3,06	1,44	14
	25–35	48	2,67	2,00	0,94	17
	55–65	29	6,22	3,06	1,44	42

Достоверной разницы в обилии бактерий р. *Azotobacter* на полях с использованием разных технологий в мае 2017 г. не установлено. Скорее всего, наблюдаемые различия в обилии бактерий данного рода связаны с занятостью полей различными сельскохозяйственными культурами. Наибольшее обилие бактерий р. *Azotobacter* наблюдается под посевами озимой пшеницы, кориандра и подсолнечника. Наименьшее – под посевами ячменя, гороха и нута.

Кроме того, обилие бактерий на контрольных полях с использованием традиционной технологии на 10–20 % выше, чем на опытных полях с технологией No-Till (табл. 85).

Таблица 85. Обилие бактерий р. *Azotobacter* на полях с разными технологиями возделывания с/х культур (20 мая 2017 г.)

№	Культура	М, % комочков обрастания	S ²	S	m	V, %
1K	Озимая пшеница	100	0,00	0,00	0,00	0
1N	Озимая пшеница	100	0,00	0,00	0,00	0
2K	Озимая пшеница	97	0,89	1,15	0,54	5
2N	Озимая пшеница	64	0,67	1,00	0,47	6
3K	Подсолнечник	100	0,00	0,00	0,00	0
3N	Ячмень	100	0,00	0,00	0,00	0
4K	Озимая пшеница	91	4,22	2,52	1,19	11
4N	Озимая пшеница	88	6,00	3,00	1,41	14
5K	Пшеница/ячмень	100	0,00	0,00	0,00	0
5N	Пшеница/ячмень	96	0,67	1,00	0,47	4
6K	Подсолнечник	99	0,22	0,58	0,27	2
6N	Кориандр	76	0,67	1,00	0,47	5
7K	Озимая пшеница	79	1,56	1,53	0,72	8
7N	Кориандр	100	0,00	0,00	0,00	0
8K	Подсолнечник	97	0,22	0,58	0,27	2
8N	Кориандр	100	0,00	0,00	0,00	0
9K	Озимая пшеница	97	0,89	1,15	0,54	5
9N	Озимая пшеница	89	1,56	1,53	0,72	7
10K	Озимая пшеница	79	1,56	1,53	0,72	8
10N	Озимая пшеница	95	0,22	0,58	0,27	2
11K	Озимая пшеница	100	0,00	0,00	0,00	0
11N	Озимая пшеница	95	0,89	1,15	0,54	5
12K	Горох	84	0,67	1,00	0,47	5
12N	Ячмень	89	1,56	1,53	0,72	7
13N	Озимая пшеница	100	0,00	0,00	0,00	0
14N	Нут	99	0,22	0,58	0,27	2
15N	Озимая пшеница	97	0,22	0,58	0,27	2
16N	Нут	95	0,22	0,58	0,27	2

Однако в отличие от других исследованных эколого-трофических групп микроорганизмов, обилие бактерий р. *Azotobacter* незначительно варьирует как на контрольных, так и на опытных полях. В целом коэффициент вариации (V) бактерий колеблется в диапазоне 0–11 % на контрольных полях, 0–14 % на опытных полях. Наблюдали снижение бактерий по профилю контрольных и опытных полей. Основная масса бактерий контрольных полей распределена в

слое 0–10 см, на опытных полях обилие бактерий практически одинаково в слоях 0–10 и 25 – 35 см. Снижение численности бактерий по профилю опытных полей не такое резкое, как контрольных.

В результате анализа обилия бактерий *p. Azotobacter* в июле 2017 г. получены неоднозначные данные (табл. 86).

Таблица 86. Обилие бактерий *p. Azotobacter* на опытных и контрольных полях под посевами озимой пшеницы (25 июля 2017 г.)

№	Глубина, см	М, % комочков обрастания	S ²	S	m	V, %
1К	0–10	100	0,00	0,00	0,00	0
	25–35	96	0,67	1,00	0,47	4
	55–65	48	2,67	2,00	0,94	17
1N	0–10	100	0,00	0,00	0,00	0
	25–35	75	6,89	3,21	1,52	17
	55–65	39	2,89	2,08	0,98	22
2К	0–10	79	1,56	1,53	0,72	8
	25–35	57	1,56	1,53	0,72	11
	55–65	29	4,22	2,52	1,19	34
2N	0–10	85	2,89	2,08	0,98	10
	25–35	45	24,89	6,11	2,88	54
	55–65	16	0,67	1,00	0,47	25
4К	0–10	84	2,00	1,73	0,82	8
	25–35	57	9,56	3,79	1,78	26
	55–65	13	1,56	1,53	0,72	46
4N	0–10	87	1,56	1,53	0,72	7
	25–35	55	6,22	3,06	1,44	22
	55–65	24	0,67	1,00	0,47	17
9К	0–10	79	4,22	2,52	1,19	13
	25–35	52	4,67	2,65	1,25	20
	55–65	24	0,67	1,00	0,47	17
9N	0–10	100	0,00	0,00	0,00	0
	25–35	55	6,89	3,21	1,52	24
	55–65	32	4,67	2,65	1,25	33
11К	0–10	100	0,00	0,00	0,00	0
	25–35	93	0,00	0,00	0,00	0
	55–65	32	2,67	2,00	0,94	25
11N	0–10	80	2,67	2,00	0,94	10
	25–35	56	0,67	1,00	0,47	7
	55–65	31	2,89	2,08	0,98	27

Наибольшее обилие бактерий *p. Azotobacter* установлено на контрольных полях № 1, 11 и опытных полях. Наблюдается снижение бактерий по профилю контрольных и опытных полей. Основная масса бактерий контрольных и опытных полей распределена в верхнем пахотном слое 0–10 см. Наблюдается

более равномерное распределение бактерий по почвенному профилю опытных полей.

Достоверной разницы в обилии бактерий р. *Azotobacter* на полях с использованием разных технологий в сентябре 2017 г. не установлено (табл. 87), как и в мае.

Таблица 87. Обилие бактерий р. *Azotobacter* на опытных и контрольных полях под посевами озимой пшеницы (12 сентября 2017 г.)

№	Глубина, см	М, % комочков обрастания	S ²	S	m	V, %
1К	0–10	96	0,67	1,00	0,47	4
	25–35	80	2,67	2,00	0,94	10
	55–65	65	1,56	1,53	0,72	9
1N	0–10	100	0,00	0,00	0,00	0
	25–35	71	9,56	3,79	1,78	21
	55–65	36	0,67	1,00	0,47	11
2К	0–10	79	1,56	1,53	0,72	8
	25–35	55	1,56	1,53	0,72	11
	55–65	32	2,67	2,00	0,94	25
2N	0–10	81	0,22	0,58	0,27	3
	25–35	49	4,22	2,52	1,19	20
	55–65	32	2,67	2,00	0,94	25
4К	0–10	84	2,00	1,73	0,82	8
	25–35	48	2,67	2,00	0,94	17
	55–65	29	4,22	2,52	1,19	34
4N	0–10	87	1,56	1,53	0,72	7
	25–35	56	10,67	4,00	1,89	29
	55–65	33	1,56	1,53	0,72	18
9К	0–10	87	1,56	1,53	0,72	7
	25–35	60	20,67	5,57	2,62	37
	55–65	40	2,67	2,00	0,94	20
9N	0–10	100	0,00	0,00	0,00	0
	25–35	49	4,22	2,52	1,19	20
	55–65	32	0,67	1,00	0,47	13
11К	0–10	100	0,00	0,00	0,00	0
	25–35	75	0,00	0,00	0,00	0
	55–65	36	0,67	1,00	0,47	11
11N	0–10	83	6,22	3,06	1,44	15
	25–35	53	1,56	1,53	0,72	11
	55–65	31	1,56	1,53	0,72	20

Также наблюдается снижение бактерий по профилю контрольных и опытных полей. Основная масса бактерий контрольных и опытных полей распределена в верхнем пахотном слое 0–10 см. Распределение бактерий по профилю черноземов опытных полей более резкое, чем по профилю контрольных.

Достоверной разницы в обилии бактерий р. *Azotobacter* на полях с использованием разных технологий в октябре 2017 г. также не установлено (табл. 88).

Таблица 88. Обилие бактерий р. *Azotobacter* на опытных и контрольных полях под посевами озимой пшеницы (18 октября 2017 г.)

№	Глубина, см	М, % комочков обрастания	S ²	S	m	V, %
1К	0–10	96	0,67	1,00	0,47	4
	25–35	73	1,56	1,53	0,72	8
	55–65	44	0,67	1,00	0,47	9
1N	0–10	100	0,00	0,00	0,00	0
	25–35	61	8,22	3,51	1,66	23
	55–65	39	1,56	1,53	0,72	16
2К	0–10	89	4,22	2,52	1,19	11
	25–35	49	4,22	2,52	1,19	20
	55–65	32	2,67	2,00	0,94	25
2N	0–10	83	6,89	3,21	1,52	16
	25–35	48	4,67	2,65	1,25	22
	55–65	21	1,56	1,53	0,72	29
4К	0–10	93	1,56	1,53	0,72	7
	25–35	81	4,22	2,52	1,19	12
	55–65	28	0,67	1,00	0,47	14
4N	0–10	84	4,67	2,65	1,25	13
	25–35	55	6,89	3,21	1,52	24
	55–65	29	2,89	2,08	0,98	28
9К	0–10	85	1,56	1,53	0,72	7
	25–35	77	0,89	1,15	0,54	6
	55–65	48	2,67	2,00	0,94	17
9N	0–10	97	0,89	1,15	0,54	5
	25–35	65	6,89	3,21	1,52	20
	55–65	31	4,22	2,52	1,19	33
11К	0–10	100	0,00	0,00	0,00	0
	25–35	88	0,00	0,00	0,00	0
	55–65	40	2,67	2,00	0,94	20
11N	0–10	84	4,67	2,65	1,25	13
	25–35	56	2,00	1,73	0,82	12
	55–65	25	2,89	2,08	0,98	33

Наблюдается снижение бактерий по профилю контрольных и опытных полей. Основная масса бактерий контрольных и опытных полей распределена в верхнем пахотном слое 0–10 см. Распределение бактерий по профилю черnozемов опытных более резкое, чем контрольных.

Анализ динамики изменения обилия бактерий р. *Azotobacter* на протяжении всех сроков исследования показал также неоднозначные результаты.

Достоверной разницы в обилии бактерий контрольного и опытного поля № 1 по верхнему слою (0–10 см) не установлено, однако на протяжении всех сроков исследований с апреля по октябрь обилие бактерий в слоях 25–35 и 55–65 см контрольных полей превышали таковые опытных полей, что, скорее всего, связано с распределением растительных остатков по почвенному профилю, которое более равномерно при механической обработке почв, в то время как при нулевой основная масса находится в верхнем пахотном горизонте.

На опытном поле № 2 по всему почвенному профилю в апреле наблюдается большее обилие бактерий данного рода, однако на последующих сроках тенденция меняется в противоположную сторону. Для контрольного поля № 11 характерна аналогичная тенденция.

В целом за весь период вегетации достоверной разницы в обилии бактерий р. *Azotobacter* между контрольными и опытными полями не наблюдается (характерно для верхнего пахотного горизонта 0–10 см), либо она превышает таковую контрольных полей (25–35, 55–65 см).

На опытном поле № 4 наблюдается большее обилие бактерий данного рода в нижнем слое 55–65 см в апреле, мае и июне. В сентябре по всем исследованным горизонтам количество бактерий было выше, чем на контрольном поле, на 3,17 и 14 % соответственно.

По данным Т. В. Минниковой с соавторами (2017б), изменяется нитрифицирующая активность почв при разных технологиях обработки и, следовательно, численность и состав нитрифицирующей микробиоты. По данным Н. К. Шикулы (1998), при минимальных и безотвальных обработках в верхнем слое возрастает численность бактерий, усваивающих как минеральный, так и органический азот растительных остатков, которые накапливаются в поверхностном слое почвы. По результатам Л. Б. Битюковой, вспашка вызывает более глубокую минерализацию азотсодержащих соединений, что сопровождается повышением численности нитрифицирующих бактерий, которые являются показателем глубины трансформации органических веществ. При применении систематической и длительной поверхностной и безотвальной

обработки происходит повышение численности микроорганизмов, утилизирующих минеральные формы азота (Примаков, Боканча, 2009). Но при поверхностной и особенно систематической безотвальной обработке, глубже 20–30 см, сильно уменьшается количество бактерий, которые используют азот органических соединений, а также грибов и актиномицетов, что объясняется низким содержанием растительных остатков, локализованных в верхнем слое почвы.

Влияние No-Till на общую численность почвенных бактерий

Видовой и количественный состав микроорганизмов не является постоянной величиной и может колебаться в значительных пределах. На этот показатель влияет целый ряд факторов, в том числе и агротехнических (удобрения, обработка почвы).

Анализ результатов общей численности бактерий методом люминесцентной микроскопии показал, что на всех исследуемых полях (и опытных и контрольных) численность бактерий верхнего почвенного горизонта не превышает 5–5,5 млрд/г на протяжении всех сроков исследований. Согласно шкале для оценки степени обогащенности почв микроорганизмами (по Звягинцеву, 1978), все почвы опытных и контрольных полей характеризуются средней и богатой степенью обогащенности.

Достоверной разницы в численности бактерий верхних горизонтов исследованных полей первого срока исследований (апрель 2017 г.) не обнаружено (табл. 89). Однако в целом по большинству опытных полей общая численность бактерий в несколько сотен тысяч раз выше, чем на контрольных полях. Наибольшая численность бактерий отмечена на опытных и контрольных полях № 11, 4 – $4,96 \pm 0,17$, $4,90 \pm 0,20$, $4,95 \pm 0,31$ млрд/г ($p < 0,05$), наименьшая численность бактерий на контрольном поле № 1 – $3,86 \pm 0,59$ млрд/г ($p < 0,05$).

По профилю наблюдается снижение общей численности бактерий. На контрольных полях наблюдается более равномерное распределение общей численности бактерий по профилю черноземов.

Таблица 89. Общая численность бактерий на опытных и контрольных полях под посевами озимой пшеницы (2 апреля 2017 г.)

№	Глубина, см	М, млрд/г	S ²	S	m	V, %
1K	0–10	3,86	0,70	1,03	0,59	6,69
	25–35	3,70	2,16	1,80	1,04	12,24
	55–65	2,79	0,06	0,31	0,18	2,81
1N	0–10	4,06	0,15	0,48	0,27	2,94
	25–35	3,73	0,55	0,91	0,52	6,12
	55–65	2,70	0,14	0,46	0,27	4,32
2K	0–10	4,68	0,25	0,61	0,35	3,29
	25–35	3,95	0,32	0,69	0,40	4,42
	55–65	3,19	0,12	0,42	0,24	3,28
2N	0–10	4,84	0,50	0,86	0,50	4,48
	25–35	3,85	0,05	0,28	0,16	1,82
	55–65	2,93	0,33	0,70	0,40	6,02
4K	0–10	4,86	0,04	0,26	0,15	1,33
	25–35	3,91	0,23	0,59	0,34	3,81
	55–65	3,07	0,11	0,40	0,23	3,31
4N	0–10	4,95	0,19	0,53	0,31	2,72
	25–35	3,96	0,00	0,05	0,03	0,32
	55–65	2,94	0,01	0,13	0,08	1,13
9K	0–10	4,55	0,29	0,66	0,38	3,66
	25–35	4,07	0,12	0,43	0,25	2,63
	55–65	3,06	0,19	0,53	0,31	4,39
9N	0–10	4,79	0,00	0,08	0,04	0,40
	25–35	4,13	0,15	0,47	0,27	2,88
	55–65	2,97	0,13	0,44	0,25	3,70
11K	0–10	4,90	0,08	0,34	0,20	1,75
	25–35	4,03	0,66	0,99	0,57	6,19
	55–65	3,11	0,38	0,76	0,44	6,14
11N	0–10	4,96	0,06	0,30	0,17	1,53
	25–35	4,12	0,14	0,46	0,27	2,84
	55–65	2,98	0,03	0,22	0,13	1,84

Вспашка и безотвальная обработка почвы оказывают влияние на гомогенность пахотного слоя, вследствие чего в различных почвенных горизонтах биологическая активность неравномерна. Вспашка почвы, обеспечивающая равномерное перемешивание обрабатываемого слоя, способствует более равномерному распределению растительных остатков по почвенному профилю, что служит равномерному распределению все трофических групп микроорганизмов.

Достоверной разницы в численности бактерий верхних горизонтов исследованных полей в мае также не обнаружено (табл. 90).

Таблица 90. Общая численность бактерий на полях с разными технологиями возделывания с/х культур (слой 0–10 см, 20 мая 2017 г.)

№	Культура	M, млрд/г	S ²	S	m	V, %
1K	Озимая пшеница	4,74	1,14	1,31	0,75	6,93
1N	Озимая пшеница	4,87	0,93	1,18	0,68	6,11
2K	Озимая пшеница	4,69	1,23	1,36	0,78	7,28
2N	Озимая пшеница	4,87	0,05	0,28	0,16	1,44
3K	Подсолнечник	4,90	0,12	0,43	0,25	2,19
3N	Ячмень	4,92	0,19	0,53	0,31	2,71
4K	Озимая пшеница	4,75	0,82	1,11	0,64	5,88
4N	Озимая пшеница	4,81	0,02	0,18	0,10	0,92
5K	Пшеница/ячмень	4,82	0,18	0,52	0,30	2,72
5N	Пшеница/ячмень	4,97	1,51	1,51	0,87	7,63
6K	Подсолнечник	4,88	1,91	1,69	0,98	8,73
6N	Кориандр	4,94	0,90	1,16	0,67	5,92
7K	Озимая пшеница	4,81	0,55	0,91	0,53	4,77
7N	Кориандр	4,89	0,32	0,69	0,40	3,58
8K	Подсолнечник	4,89	0,25	0,61	0,35	3,13
8N	Кориандр	4,86	1,44	1,47	0,85	7,60
9K	Озимая пшеница	4,85	0,66	1,00	0,58	5,17
9N	Озимая пшеница	4,90	0,50	0,87	0,50	4,46
10K	Озимая пшеница	4,83	0,07	0,33	0,19	1,73
10N	Озимая пшеница	4,76	0,42	0,79	0,46	4,19
11K	Озимая пшеница	4,77	0,44	0,81	0,47	4,29
11N	Озимая пшеница	4,80	3,18	2,18	1,26	11,45
12K	Горох	4,84	0,26	0,63	0,36	3,25
12N	Ячмень	4,91	0,28	0,64	0,37	3,30
13N	Озимая пшеница	4,65	0,50	0,87	0,50	4,70
14N	Нут	4,87	1,13	1,30	0,75	6,71
15N	Озимая пшеница	4,88	0,29	0,66	0,38	3,40
16N	Нут	4,80	0,28	0,65	0,38	3,42

Однако в целом по большинству опытных полей общая численность бактерий в несколько сотен тысяч раз выше, чем на контрольных полях. Наибольшая численность бактерий отмечена на опытных полях № 5, 6 (озимая пшеница) – $5,0 \pm 0,9$ и $4,9 \pm 0,7$ млрд/г ($p < 0,05$), наименьшая численность бактерий на опытном поле № 13 (озимая пшеница) – $4,65 \pm 0,50$ млрд/г ($p < 0,05$). По профилю наблюдается снижение общей численности бактерий. На опытных полях снижение более плавное, чем на контрольных.

Достоверной разницы в численности бактерий верхних горизонтов исследованных полей в июле не установлено. Диапазон колебаний составляет $4,8–5,0$ млрд/г (табл. 91).

Таблица 91. Общая численность бактерий на опытных и контрольных полях под посевами озимой пшеницы (25 июля 2017 г.)

№	Глубина, см	M, млрд/г	S ²	S	m	V, %
1K	0–10	4,90	0,51	0,87	0,50	4,48
	25–35	4,57	0,26	0,63	0,36	3,45
	55–65	3,77	0,50	0,87	0,50	5,80
1N	0–10	4,95	0,19	0,54	0,31	2,74
	25–35	4,55	0,25	0,61	0,35	3,36
	55–65	3,65	0,09	0,36	0,21	2,49
2K	0–10	4,97	0,38	0,75	0,43	3,81
	25–35	4,24	0,67	1,00	0,58	5,93
	55–65	3,84	0,15	0,48	0,28	3,13
2N	0–10	5,05	1,89	1,68	0,97	8,38
	25–35	4,61	1,34	1,42	0,82	7,73
	55–65	3,85	0,24	0,60	0,35	3,92
4K	0–10	4,93	0,02	0,18	0,10	0,90
	25–35	4,52	0,00	0,05	0,03	0,28
	55–65	3,57	0,18	0,51	0,30	3,62
4N	0–10	4,96	0,54	0,90	0,52	4,56
	25–35	4,54	0,52	0,88	0,51	4,88
	55–65	3,54	0,26	0,63	0,36	4,44
9K	0–10	4,80	0,63	0,98	0,56	5,11
	25–35	4,51	0,71	1,03	0,60	5,76
	55–65	3,72	0,07	0,32	0,19	2,17
9N	0–10	4,88	0,69	1,02	0,59	5,26
	25–35	4,57	0,93	1,18	0,68	6,50
	55–65	3,76	0,14	0,46	0,26	3,07
11K	0–10	4,91	0,17	0,51	0,29	2,59
	25–35	4,66	3,85	2,40	1,39	12,97
	55–65	3,68	0,00	0,05	0,03	0,34
11N	0–10	4,95	0,06	0,30	0,17	1,53
	25–35	4,68	0,40	0,78	0,45	4,18
	55–65	3,53	0,33	0,71	0,41	5,02

Наибольшая численность бактерий отмечена на опытном поле № 2 – $5,0 \pm 0,8$ млрд/г ($p < 0,05$), наименьшая – на контрольном поле № 9 – $4,8 \pm 0,6$ млрд/г ($p < 0,05$). По профилю наблюдается снижение общей численности бактерий. На опытных полях снижение более плавное, чем на контрольных.

В сентябре наблюдается депрессия численности бактерий по сравнению с предыдущими сроками исследований. На большинстве опытных полей общая численность бактерий превышает таковую контрольных на 5–20 % (табл. 92).

Таблица 92. Общая численность бактерий на опытных и контрольных полях под посевами озимой пшеницы (12 сентября 2017 г.)

№	Глубина, см	M, млрд/г	S ²	S	m	V, %
1K	0–10	4,43	0,09	0,38	0,22	2,13
	25–35	4,06	0,39	0,77	0,44	4,75
	55–65	3,41	0,21	0,56	0,33	4,16
1N	0–10	4,78	0,05	0,26	0,15	1,39
	25–35	4,21	0,30	0,67	0,38	3,98
	55–65	3,57	0,01	0,10	0,06	0,73
2K	0–10	4,37	0,31	0,68	0,39	3,92
	25–35	4,11	0,41	0,79	0,45	4,81
	55–65	3,43	0,12	0,43	0,25	3,13
2N	0–10	4,72	0,28	0,64	0,37	3,43
	25–35	4,37	0,17	0,50	0,29	2,88
	55–65	3,50	0,22	0,57	0,33	4,09
4K	0–10	4,54	0,17	0,50	0,29	2,78
	25–35	4,13	0,98	1,21	0,70	7,40
	55–65	3,35	0,08	0,34	0,20	2,55
4N	0–10	4,77	0,62	0,97	0,56	5,10
	25–35	4,11	0,12	0,43	0,25	2,60
	55–65	4,04	0,51	0,87	0,50	5,43
9K	0–10	4,39	0,61	0,95	0,55	5,46
	25–35	4,08	0,83	1,11	0,64	6,87
	55–65	3,34	0,01	0,14	0,08	1,09
9N	0–10	4,57	0,50	0,87	0,50	4,78
	25–35	3,69	0,84	1,12	0,65	7,66
	55–65	3,11	0,83	1,11	0,64	9,00
11K	0–10	4,08	0,11	0,41	0,24	2,51
	25–35	3,65	0,11	0,40	0,23	2,76
	55–65	3,08	0,34	0,71	0,41	5,85
11N	0–10	4,57	1,83	1,66	0,96	9,13
	25–35	3,92	0,70	1,03	0,59	6,58
	55–65	3,24	1,71	1,60	0,92	12,43

Наибольшая численность бактерий отмечена на опытном поле № 1 – $4,8 \pm 0,2$ млрд/г ($p < 0,05$), наименьшая – на контрольном поле № 11 – $4,1 \pm 0,2$ млрд/г ($p < 0,05$). По профилю наблюдается снижение общей численности бактерий. На контрольных полях снижение более плавное, чем на опытных. В октябре (холодный сухой) наблюдается депрессия численности бактерий по сравнению с сентябрем (теплым и сухим). На большинстве опытных полей общая численность бактерий превышает таковую контрольных на 3–15 % (табл. 93). Наибольшая численность бактерий отмечена на опытных полях № 1, 11 – $4,4 \pm 0,6$ (0,5) млрд/г ($p < 0,05$), наименьшая – на контрольном поле № 1

– $4,1 \pm 0,2$ млрд/г ($p < 0,05$). По профилю наблюдается резкое снижение общей численности бактерий как на контрольных, так и на опытных полях.

Таблица 93. Общая численность бактерий на опытных и контрольных полях под посевами озимой пшеницы (18 октября 2017 г.)

№	Глубина, см	M, млрд/г	S ²	S	m	V, %
1K	0–10	4,12	0,05	0,28	0,16	1,68
	25–35	3,87	0,61	0,95	0,55	6,20
	55–65	3,54	0,07	0,33	0,19	2,33
1N	0–10	4,40	0,75	1,06	0,61	6,07
	25–35	3,84	0,33	0,71	0,41	4,64
	55–65	3,45	0,62	0,97	0,56	7,05
2K	0–10	4,17	0,18	0,52	0,30	3,15
	25–35	3,94	0,06	0,30	0,18	1,94
	55–65	3,34	0,03	0,23	0,13	1,70
2N	0–10	4,33	0,12	0,43	0,25	2,48
	25–35	3,82	0,10	0,39	0,22	2,56
	55–65	3,29	0,18	0,52	0,30	3,98
4K	0–10	4,27	0,22	0,58	0,33	3,41
	25–35	3,84	0,14	0,46	0,27	3,04
	55–65	3,16	0,64	0,98	0,56	7,78
4N	0–10	4,36	1,07	1,27	0,73	7,30
	25–35	3,71	0,78	1,08	0,62	7,34
	55–65	3,07	0,31	0,68	0,39	5,54
9K	0–10	4,07	0,06	0,29	0,17	1,81
	25–35	3,57	0,43	0,80	0,46	5,67
	55–65	3,12	1,04	1,25	0,72	10,05
9N	0–10	4,21	0,05	0,28	0,16	1,65
	25–35	3,57	0,37	0,74	0,43	5,22
	55–65	3,09	0,83	1,11	0,64	9,08
11K	0–10	4,20	0,12	0,43	0,25	2,56
	25–35	3,67	0,04	0,25	0,14	1,69
	55–65	3,17	0,62	0,97	0,56	7,67
11N	0–10	4,40	0,45	0,83	0,48	4,72
	25–35	3,86	0,12	0,43	0,25	2,77
	55–65	3,18	0,74	1,05	0,61	8,30

Изучение динамики общей численности бактерий по срокам определения позволило выявить волнообразный характер изменения общей численности бактерий. Данные колебания численности, скорее всего, связаны со складывающимися метеорологическими условиями. Наименьшая численность бактерий наблюдается на первом (холодный и влажный) сроке исследований (апрель), далее наблюдается постепенное увеличение численности бактерий на

втором сроке (теплый и влажный, май), третьем (жаркий и сухой, июнь), далее на четвертом (теплый и сухой, сентябрь) и пятом (прохладный и сухой) наблюдается депрессия (снижение) численности бактерий черноземов опытных и контрольных полей. Такая динамика численности бактерий может быть связана с сезонной динамикой содержания гумуса (Гончарова и др., 1990; Безуглова, 2001; Казеев и др., 2004), а также изменением физических свойств почв (Kazeev et al., 2017).

На опытных полях наблюдается более плавное изменение общей численности бактерий на протяжении сроков исследований (рис. 69) относительно контрольных полей, на которых наблюдаются значительные инверсии резкого увеличения и снижения численности бактерий (рис. 70). Разница в общей численности бактерий верхних горизонтов опытных полей может быть связана с качеством поступающих растительных остатков предшествующей культуры. Например, на опытных и контрольных полях № 1 и 11, где предшествующей культурой была озимая пшеница, наблюдается наименьшая численность бактерий и значительные колебания по срокам исследований. Наибольшее количество – по кориандру, подсолнечнику, кукурузе (поля № 2, 4, 9). Это объясняется тем, что данные культуры оставляют в почве наибольшее количество белковых веществ, что создает благоприятные условия для роста и развития последующей культуры.

Анализ динамики профильного распределения общей численности бактерий показал неоднозначные результаты. Достоверной разницы в общей численности бактерий опытного и контрольного поля № 1 по верхнему пахотному горизонту в апреле, мае и июле не обнаружено, в то время как в сентябре и октябре численность бактерий превышала таковую контрольных на 7 и 8 % соответственно. В мае и сентябре отмечена большая численность бактерий по всем горизонтам опытных полей относительно контрольных. Однако на всех сроках исследований численность бактерий в слое 55–65 см опытных полей была ниже контрольных.

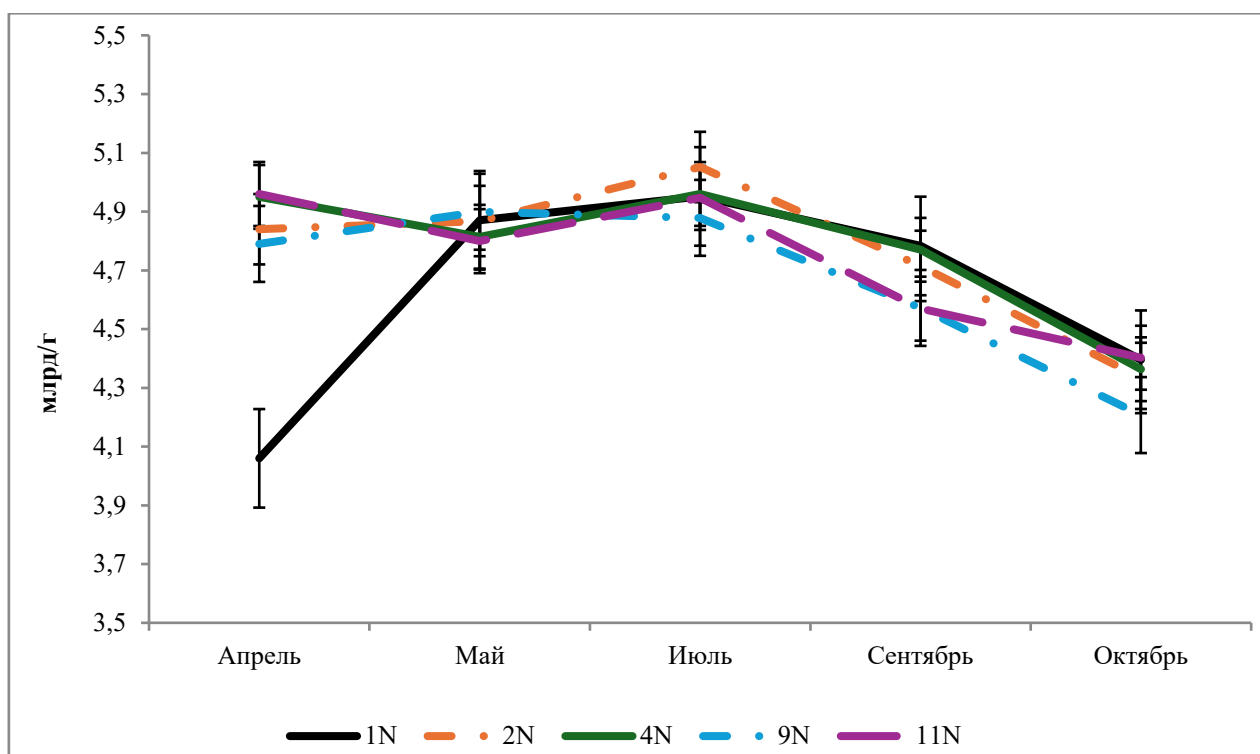


Рисунок 69 – Динамика изменения общей численности бактерий в верхнем пахотном слое (0–10 см) опытных полей, 2017 г.

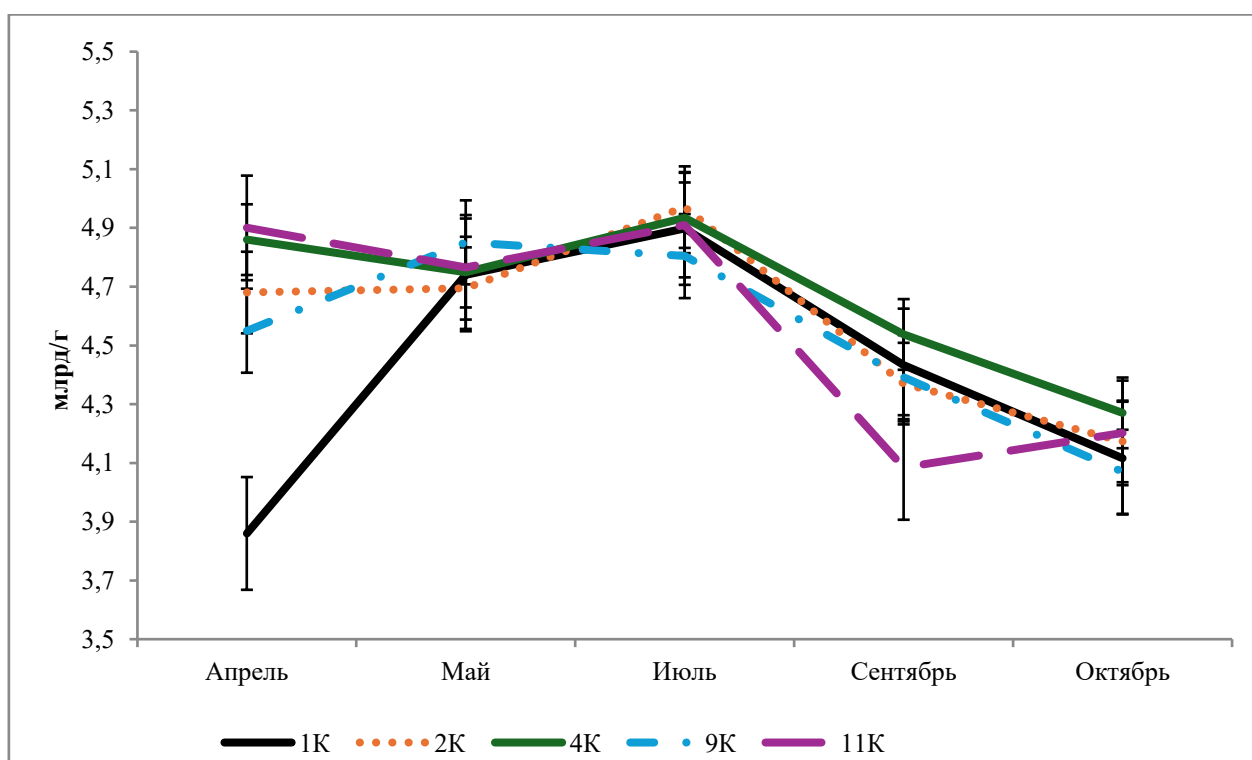


Рисунок 70 – Динамика изменения общей численности бактерий в верхнем пахотном слое (0–10 см) контрольных полей, 2017 г.

В мае, июле и сентябре общая численность чернозема опытного поля № 2 по всем горизонтам выше относительно контроля, особенно в слое 25–35 см.

В апреле и октябре численность бактерий опытного поля незначительно ниже контрольного (25–35 см и 55–65 см).

Достоверной разницы в обилии бактерий профиля чернозема опытного и контрольного поля № 4 не установлено, за исключением четвертого срока исследований (сентябрь), где численность бактерий в слое 0–10 и 55–65 выше на 5–20 % относительно контроля.

Аналогичная тенденция характерна и для чернозема опытного поля №9, за исключением четвертого срока исследований (сентябрь), где численность бактерий в слое 0–10 и 55–65 наоборот ниже на 5–20 % относительно контроля.

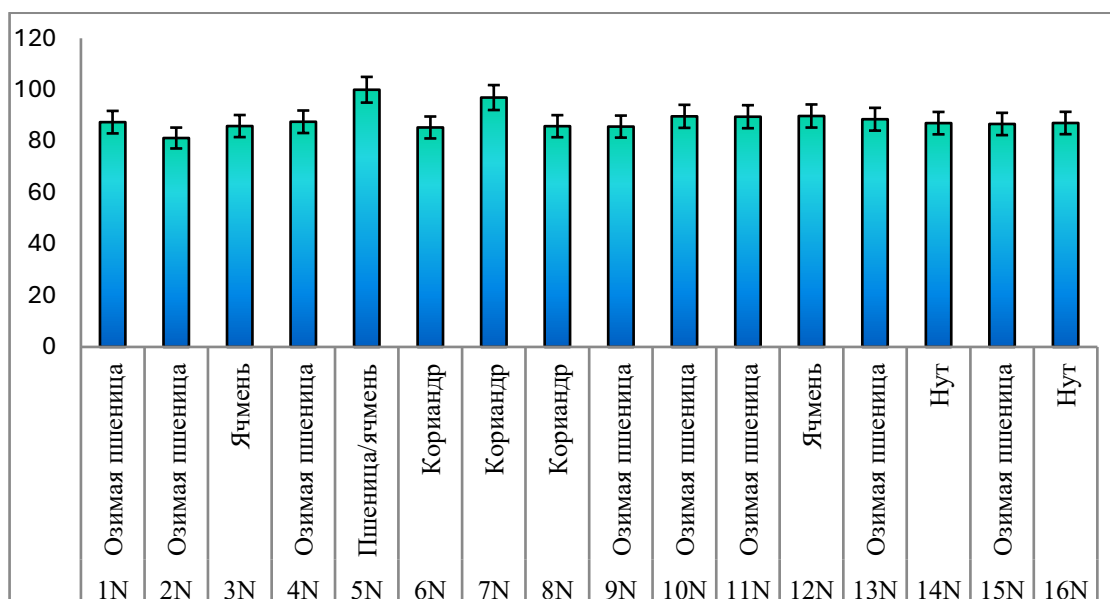
В апреле, мае и июле не обнаружено достоверной разницы в численности бактерий между опытными и контрольными полями по всему профилю черноземов. Однако в апреле и октябре наблюдается противоположная тенденция.

Изменение ИПБС черноземов при применении различных систем земледелия

Анализ данных ИПБС показал, что наименьшая микробиологическая активность наблюдается на большинстве контрольных полей по сравнению с опытными (рис. 71). Аналогичная ситуация наблюдалась и в ранее проведенных исследованиях (Акименко и др., 2016; Мокриков и др., 2017). Наибольшая микробиологическая активность отмечена на опытных полях № 5, 7 под посевами озимой пшеницы и кориандра (100 и 86 %, соответственно), в то время как микробиологическая активность контрольных полей № 5, 7 ниже на 10 и 15 % соответственно.

Диапазон колебаний биологической активности в мае 2017 г. составил 75–98 % для контрольных полей и 81–100 % для опытных полей.

технология No-Till



традиционная технология

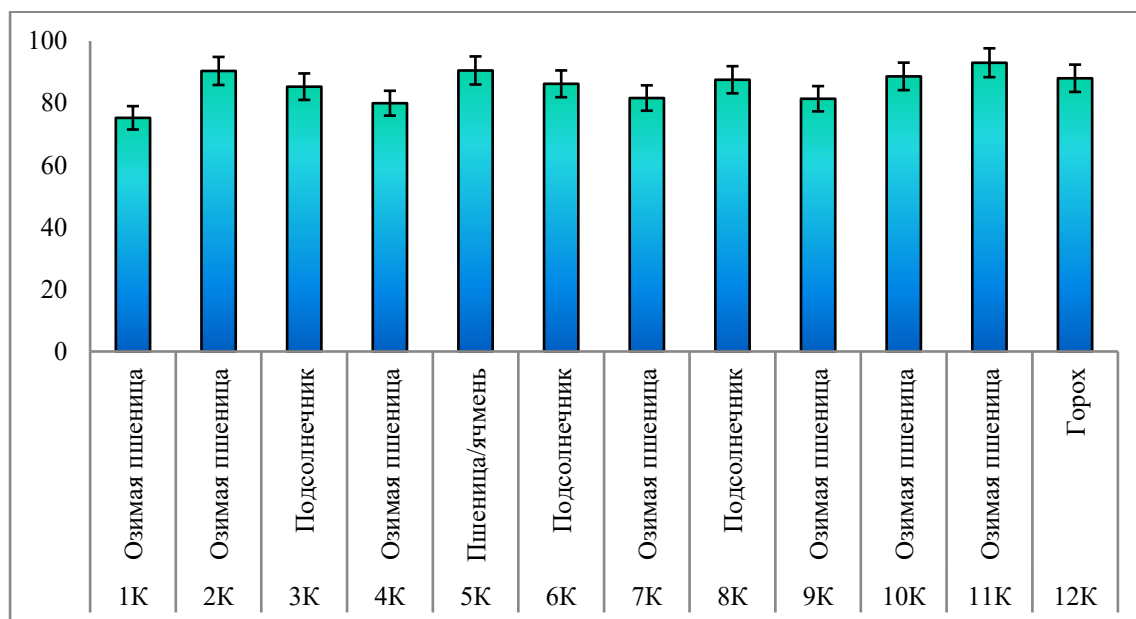


Рис.71. ИПБС (%) исследуемых почв

В вариантах с No-Till колебания уровня биологической активности не являются существенными, и можно говорить о более стабильном функционировании микробоценоза черноземов при использовании данного способа возделывания культур. Аналогичные результаты исследований были получены в работе Р. П. Вильного (2015).

Рассматривая взаимосвязь микробного сообщества и урожайности, следует отметить, что урожайность, скорее всего, связана не с численностью

микроорганизмов, а с интенсивностью и направленностью круговорота питательных веществ, который осуществляется микробным сообществом.

В результате исследований микробоценоза черноземов Ростовской области при использовании разных систем земледелия установлено, что использование технологии No-Till не приводит к ухудшению микробиологической активности почв. В некоторых из исследуемых микробиологических показателей (обилие бактерий р. *Azotobacter*, актиномицетов) значительного различия между опытными и контрольными почвами не обнаружено. Выявляемые отличия, скорее всего, связаны с занятостью полей различными сельскохозяйственными культурами и типами почв. Однако показатели общей численности бактерий, аммонифицирующих бактерий, микроскопических грибов почв полей с технологией прямого посева No-Till зачастую превышают таковые почв полей с традиционной технологией. Кроме того, по интегральному показателю биологической активности более оптимальные условия функционирования микробного ценоза черноземов формируются при нулевой обработке почвы. Таким образом, отсутствие пахотной обработки и оставление растительных остатков на поверхности почв приводит к увеличению общей численности бактерий, численности бактерий отдельных экологических групп и большему накоплению микробной биомассы, способствуя увеличению плодородия почв и повышению урожайности сельскохозяйственных культур. Следовательно, энергосберегающие технологии No-Till в сочетании со средствами комплексной химизации могут служить одним из радикальных средств сохранения и повышения потенциального плодородия почв.

ВЛИЯНИЕ ПРЯМОГО ПОСЕВА НА ЭКОЛОГИЧЕСКОЕ СОСТОЯНИЕ ЧЕРНОЗЕМОВ ЮЖНЫХ

В данном разделе внимание уделено влиянию прямого посева на экологическое состояние другого подтипа черноземов – черноземов южных, исследованных в Сальском районе Ростовской области и Ипатовском районе Ставропольского края

Температура воздуха в июне находится на типичном для данного месяца уровне (табл. 94).

Таблица 94. Температура почвы, июнь 2017 г.

№	Участок	t воздуха	Глубина почвы, см		
			0	5	10
1	C1	30,4	25,1	21,3	19,6
2	C2	30,3	29,2	23,4	20,8
3	C3	34,8	30,7	24,5	21,7
4	C4	26,2	22,1	19,8	18,9
5	C5	26,0	22,5	21,0	19,2
6	C6	25,9	27,6	21,7	20,9

Температура почвы находится в тесной связи с температурой воздуха. Однако температура воздуха значительно динамичнее. Поверхность почв исследуемых полей также существенно нагрета. Выявлено, что почва еще недостаточно прогрета на глубине 10 см вследствие ее достаточно низкой теплопроводности. Это связано с достаточно затяжной весной и высоким количеством выпадающих осадков.

Влажность почв вследствие длительных атмосферных осадков весьма высока для данного времени года и исследуемого региона (табл. 95).

Таблица 95. Влажность (%) почвы, Агромичуринское, июнь 2017 г.

№	Участок	M	Дисперсия	m	Ошибка, %
1	C1	34,5	10,6	1,0	3,0
2	C2	36,5	8,5	0,9	2,5
3	C3	14,2	3,4	0,6	4,1
4	C4	17,4	4,1	0,6	3,7
5	C5	8,7	0,2	0,1	1,6
6	C6	5,6	0,3	0,2	3,2

Определенная в полевых условиях влагомером объемная влажность почвы значительно варьирует на разных полях. Максимальные значения влажности отмечены на полях с посевом пропашных культур № C1 и C2. Почва под горохом и озимой пшеницей была значительно (в два и более раз) суше. Это связано с усиленной транспирацией этих культур, которые уже находятся на поздних стадиях вегетации. Почвы контрольных участков имеют еще более

низкую влажность. Это связано как с характером растительности на участке № С6, так и с технологией обработки (поле № С5).

Анализируя данные гидротермического режима исследуемых почв, можно сделать выводы об оптимальном соотношении тепла и влаги для исследуемого региона в исследуемый период, а также о преимуществе почвозащитной технологии хозяйства Агро-Мичуринское над традиционными технологиями обработки почв.

Полученные результаты свидетельствуют об отсутствии чрезмерного уплотнения почв на исследуемых полях (табл. 96). Почвы с пропашными культурами № С1 и С2 характеризуются повышенными значениями плотности почв – около 1,3 г/см³. Озимая пшеница способствует снижению плотности почвы до уровня чуть ниже 1,2 г/см³. Такие же значения обнаружены в почве контрольного участка № С6 под естественной растительностью. Минимальные значения зафиксированы на поле с горохом. Однако именно здесь на глубине 5 см отмечена глыбистость почвенной структуры.

Таблица 96. Плотность почв (г/см³) Сальского района, июнь 2017 г.

Участок	М	Дисперсия	m	Ошибка, %
С1	1,28	0,02	0,11	8
С2	1,34	0,00	0,03	2
С3	1,06	0,02	0,11	10
С4	1,19	0,00	0,05	4
С5	1,18	0,01	0,08	7
С6	1,18	0,00	0,03	3

Исследование структурного состояния почв Сальского района показало очень хорошие результаты (табл. 97). Коэффициент структурности всех исследуемых образцов был на отличном уровне, что свидетельствует о хороших агрофизических свойствах черноземов исследуемых полей. Исключение составил один образец поля № С3 с глубины 20–30 см. Значения структурности здесь были на хорошем уровне.

Содержание агрономически ценных агрегатов находится на хорошем уровне независимо от системы обработки почв. Пастбищный участок обладал

максимальными значениями содержания ценных агрегатов на отличном уровне. Однако и обрабатываемые почвы были близки к эталонным значениям. Это говорит о положительном воздействии используемых технологий на почвы и почвенный покров.

Таблица 97. Структурно-агрегатное состояние исследуемых почв, %

Участок	Глубина, см	А Количество агрегатов 10–0,25 мм	Б Количество агрегатов <0,25 + >10 мм	Кс = А/Б
С1	0–10	62,2	37,8	1,6
	20–30	74,3	25,7	2,9
С2	0–10	70,2	29,8	2,4
	20–30	68,2	31,8	2,1
С3	0–10	77,2	22,8	3,4
	20–30	57,2	42,8	1,3
С4	0–10	81,7	18,3	4,5
	20–30	71,5	28,5	2,5
С5	0–10	70,8	29,2	2,4
	20–30	70,3	29,7	2,4
С6	0–10	89,9	10,1	8,9
	20–30	76,7	23,3	3,3

Водопрочность агрегатов исследуемых почв значительно сильнее варьировала в зависимости от почвенных свойств участков (табл. 98).

Таблица 98. Водопрочность почвенных агрегатов, %

Участок	Глубина, см	М	Дисперсия	m
С1	0–10	73,5	38	4,4
	20–30	76,0	2,9	1,2
С2	0–10	80,8	0,8	0,6
	20–30	58,8	23	3,4
С3	0–10	61,2	50	5,0
	10–30	34,1	0,8	0,6
С4	0–10	58,7	1,6	0,9
	10–30	86,0	1	0,7
С5	0–10	39,7	39	4,4
	20–30	51,9	2,6	1,1
С6	0–10	100	–	–
	20–30	51,9	4,5	1,5

Абсолютная водопрочность агрегатов была зафиксирована на контрольном участке № С6 с естественной растительностью. В целом на обрабатываемых полях водопрочность была на хорошем и отличном уровнях. Особенно

это касается почв участков № С1 и С2. В верхнем слое почв участков № С3 и С4 показатель был несколько ниже, чем на первых двух участках. Однако и здесь водопрочность была значительно выше, чем на поле № С5 с традиционной обработкой. Это свидетельствует в пользу почвозащитной технологии No-Till.

Результаты исследований сопротивления пенетрации, проведенные в июне 2017 года на территории Сальского района Ростовской области, показали различие участков между собой. Учитывая высокую влажность всех исследуемых почв, полученные результаты были на низком для почв региона уровне (табл. 99).

Таблица 99. Сопротивление пенетрации почв (МПа) Сальского района
(n = 10), 2017 г.

Глубина почвы, см	Исследуемые участки					
	С1	С2	С3	С4	С5	С6
2,5	1,0	1,0	0,4	0,7	0,8	1,3
5	1,3	1,3	1,4	1,2	1,4	2,3
10	1,8	1,5	2,7	2,4	2,6	3,7
15	2,0	1,5	3,4	4,1	3,2	4,6
20	2,1	1,8	3,7	5,0	3,8	5,1
25	2,1	1,8	3,3	4,7	4,0	5,0
30	2,3	1,9	3,3	5,1	4,8	4,6
35	2,6	2,0	3,5	5,4	5,3	4,3
40	2,7	1,9	3,1	4,8	6,0	4,0
45	2,6	1,9	2,7	4,4	6,3	4,2

Особенно это касается участков с пропашными культурами № С1 и № С2. Здесь до глубины 50 см не было ни одного значения сопротивления пенетрации, близкого к критическому уровню. Это, прежде всего, связано с повышенной влажностью почв этих участков. Коэффициент корреляции показал тесную обратную связь между влажностью почвы и сопротивлением пенетрации ($r = -0,90$). На третьем и особенно четвертом участках сопротивление пенетрации повышается до высоких значений на глубине 10 см и глубже.

Критических значений показатель достигает в почве опытного поля № С4 на глубинах, превышающих 15 см. Кроме влажности, видимо, высокую роль

имеет и выращиваемая культура. Культуры сплошного сева приводят к увеличению значений показателя по сравнению с пропашными культурами, которые в момент исследований находятся на стадии всходов. Об этом говорят и значения сопротивления пенетрации на контрольном поле № С5, на котором, как и на поле № С3, выращивается озимая пшеница. Плужной подошвы ни на одном из исследуемых полей не было обнаружено. Результаты измерения сопротивления пенетрации плавно нарастают вниз по профилю. Максимальные значения исследуемого показателя в верхнем 20-сантиметровом слое имеет контрольная почва участка № С6 с естественной растительностью. Это связано как с ее сухостью, так и с армирующим действием корней растений, густо переплетающихся в этом слое. Глубже на всех участках с посевами пшеницы и естественной растительностью с 20 см значения выравниваются, при этом абсолютный максимум зарегистрирован на контрольном поле с традиционной обработкой почвы на глубине 40–50 см.

Интенсивность продуцирования почвой углекислого газа на исследуемых опытных полях Сальского района была на высоком уровне. Выделение CO_2 было максимальным на участке № С3 с посевом гороха (табл. 100).

Таблица 100. Интенсивность продуцирования почвой углекислого газа, ppm $\text{CO}_2/15$ мин, n = 5

Участок	M	m	Ошибка, %
С1	847	50	6
С2	666	92	14
С3	1006	143	14
С4	693	25	4
С5	271	38	14

Минимальные значения дыхания были зарегистрированы на контрольном поле № С5. Здесь значения дыхания почв были в 2,5–37 раз меньше, чем на опытных полях с технологией No-Till, которая минимизирует механическое воздействие на почву и оставляет на ее поверхности большое количество органических остатков. Разложение этих остатков в почве и мульчирующем слое приводит к активизации микрофлоры и повышению интенсивности дыхания

почв. Кроме того, эта технология способствует накоплению влаги в почве, что способствует продолжительному периоду биологической активности в условиях аридного климата.

Интенсивность почвенного дыхания была слабо связана с почвенными свойствами (плотность, сопротивление пенетрации). Была выявлена существенная связь с влажностью почвы, определенной традиционным термостатно-весовым методом ($r = 0,84$). Высокая зависимость интенсивности дыхания показана и от температуры почвы на поверхности почвы и на глубине 10 см ($r = 0,64-0,61$).

Исследование почвенной мезофауны показало существенно различное содержание геобионтов в почвах разных полей (рис. 72).

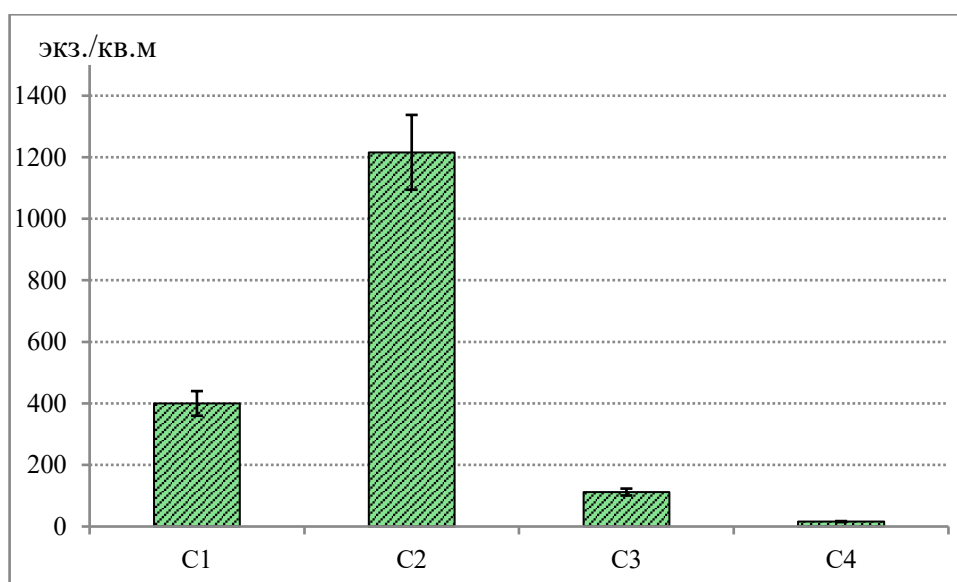


Рисунок 72 – Численность дождевых червей в почвах опытных полей хозяйства Агро-Мичуринское

Максимальное обилие дождевых червей отмечено на участке № С2 с посевом кукурузы. В три раза меньшая численность дождевых червей зафиксирована на поле № С1 с посевом подсолнечника. Существенно меньше червей найдено в почве полей № С и С4. Причиной этого является меньшая влажность почв на этих полях. Коэффициент корреляции с влажностью составляет 0,82. С температурой почв численность червей связана значительно меньше ($r =$

0,41). Кроме того, выявлена тесная отрицательная связь численности дождевых червей с сопротивлением пенетрации ($r = -0,86$).

Кроме дождевых червей в почвах опытных полей зафиксировано значительное количество других представителей почвообитающей фауны: пауков (Araneae), многоножек (Myriapoda), мокриц (Oniscidea), имаго и личинок насекомых (Insecta), прежде всего жесткокрылых (Coleoptera). Максимальное биоразнообразие отмечено на участке № С1, минимальное – на участке № С3.

Исследования валового состава для исследуемых почв показали типичные для черноземов значения (табл. 101).

Таблица 101. Валовой состав почв Сальского района Ростовской области, %

Образец	Показатель	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	K ₂ O	P ₂ O ₅	TiO ₂
С1 0–10	значение	64,99	12,64	5,4	1,77	1,34	2,58	0,21	0,79
	погрешность	0,138	0,122	0,02	0,004	0,054	0,007	0,004	0,005
С1 20–30	значение	64,31	12,72	5,45	2,47	1,42	2,44	0,17	0,79
	погрешность	0,14	0,12	0,02	0,01	0,06	0,01	0,00	0,01
С5 0–10	значение	64,12	12,56	5,52	1,46	1,22	2,39	0,16	0,82
	погрешность	0,135	0,122	0,02	0,004	0,052	0,006	0,003	0,005
С5 20–30	значение	65,69	13,52	5,69	1,56	1,37	2,47	0,15	0,83
	погрешность	0,14	0,13	0,02	0,00	0,06	0,01	0,00	0,01
С6 0–10	значение	65,74	12,3	5,25	1,39	1,25	2,5	0,16	0,78
	погрешность	0,137	0,119	0,019	0,004	0,053	0,007	0,003	0,005
С6 20–30	значение	65,65	12,84	5,51	1,77	1,34	2,47	0,16	0,82
	погрешность	0,14	0,12	0,02	0,00	0,05	0,01	0,00	0,01

Сиалитный состав представлен соединениями кремния (64–66 % по SiO₂) и алюминия (около 12 % по Al₂O₃) с содержанием железа на уровне 5,3–5,5 % (по Fe₂O₃). Содержание других элементов значительно ниже по сравнению с вышеуказанными кремнием, алюминием и железом.

Содержание тяжелых металлов в почвах Сальского района в целом соответствует значениям, характерным для почв данной зоны. (табл. 102). Все металлы содержатся в дозах, не превышающих опасный уровень. Исключением является хром, содержание которого в некоторых случаях превышает ПДК (100 мг/кг), но это характерно для почв степной зоны. Содержание валового свинца также близко к ПДК (ПДК свинца = 32 мг/кг). Однако можно отметить,

что в целом загрязнения исследуемых почв тяжелыми металлами не зафиксировано.

Таблица 102. Содержание тяжелых металлов почв Сальского района Ростовской области, мг/кг

Образец	Показатель	MnO	Sr	Cr	V	Zn	Ni	Cu	Pb	Co	As
C1 0–10	значение	1046,2	141,59	117,5	103,09	94,3	64,95	57,94	35,82	16,11	12,35
	погрешность	5,8	3,5	0,95	1,86	1,79	1,52	1,42	3,29	0,90	0,87
C1 20–30	значение	998,7	150,77	129,76	104,57	95,31	62,93	61,14	27,36	18,02	10,09
	погрешность	5,6	3,56	1,01	1,90	1,82	1,54	1,44	3,34	0,92	0,88
C5 0–10	значение	952,55	141,06	104,15	105,65	96,7	62,89	59,52	41,39	18,11	13,82
	погрешность	5,432	3,53	0,90	1,89	1,81	1,52	1,42	3,32	0,93	0,88
C5 20–30	значение	1033,7	141,75	123,29	107,49	102,8	63,76	59,41	30,53	20,21	10,94
	погрешность	5,8	3,55	0,99	1,90	1,84	1,53	1,43	3,33	0,95	0,88
C6 0–10	значение	971,65	130,84	110,69	102,16	93,7	58,43	52,8	36,09	14,23	12,41
	погрешность	5,41	3,4	0,91	1,83	1,77	1,47	1,37	3,24	0,89	0,86
C6 30–30	значение	990,4	142,78	118,50	105,98	96,5	62,60	59,96	34,74	17,50	12,05
	погрешность	5,6	3,51	0,96	1,89	1,82	1,52	1,42	3,32	0,93	0,88

Реакция почвенной среды исследуемых объектов в Сальском районе Ростовской области слабощелочная (табл. 103).

Таблица 103. Содержание легкорастворимых солей и pH исследуемых почв

Участок	Глубина, см	pH водный		Содержание легкорастворимых солей, %	
		M	m	M	m
C1	0–10	8,05	0,07	0,011	0,004
	20–30	7,85	0,07	0,015	0,001
C2	0–10	7,40	0,14	0,012	0,002
	20–30	8,25	0,07	0,019	0,002
C3	0–10	7,70	0,00	0,013	0,001
	20–30	7,90	0,00	0,011	0,001
C4	0–10	7,90	0,00	0,013	0,001
	20–30	8,20	0,00	0,012	0,002
C5	0–10	8,30	0,00	0,014	0,001
	20–30	8,30	0,00	0,013	0,000
C6	0–10	8,05	0,07	0,009	0,001
	20–30	8,25	0,07	0,014	0,001

Это типично для черноземов южных Ростовской области (Вальков и др., 2012). Выявлено минимальное варьирование этого показателя в исследуемых

образцах, что показывал В. Ф. Вальков (1977). Значения реакции среды во всех образцах, за исключением одного (поле № С2, слой 0–10 см), колеблются в пределах 7,7–8,3. Такие значения рН хоть и не оптимальны для большинства сельскохозяйственных культур, но и не имеют значительного негативного воздействия на плодородие и урожайность.

Высокие концентрации солей в почвах сильно тормозят ростовые процессы как надземной массы, так и корневой системы растений, уменьшаются ассимиляционная поверхность и продуктивность фотосинтеза, снижается урожайность сельскохозяйственных растений (Вальков и др., 2004, 2008а). Исследования показали отсутствие засоления в исследуемых почвах. Это обусловлено как генетическими свойствами черноземов южных, так и значительным промыванием верхнего слоя почв нисходящими потоками атмосферных осадков в аномально влажный период текущего года. Отсутствие засоления благоприятно для сельскохозяйственного производства. Опасность наличия легкорастворимых солей в исследуемых почвах обусловлена аридным климатом и близостью минерализованных вод Маныча и Егорлыка.

Определение содержания карбонатов в исследуемых образцах почв Сальского района показало правильность полевого определения этих почв к карбонатному роду черноземов южных (табл. 104).

Таблица 104. Содержание свободных карбонатов в исследуемых почвах, %

Участок	Глубина, см	М	Дисперсия	m	Ошибка, %
С1	0–10	1,1	0,00	0,01	0,8
	20–30	4,4	0,07	0,19	4,2
С2	0–10	1,2	0,01	0,05	4,4
	20–30	1,2	0,01	0,06	5,2
С3	0–10	1,8	0,03	0,13	7,0
	20–30	2,0	0,00	0,04	1,8
С4	0–10	1,8	0,02	0,09	5,2
	20–30	1,6	0,01	0,06	3,6
С5	0–10	0,7	0,00	0,00	0,6
	20–30	0,9	0,00	0,01	0,9
С6	0–10	0,5	0,00	0,02	3,4
	20–30	3,1	0,21	0,32	10,4

Практически во всех образцах почв содержание свободных карбонатов близко к 1 % или превышает это значение. Минимальное значение обнаружено в дерновом горизонте залежной почвы № С6 – 0,5 %.

Однако уже в следующем слое содержание карбонатов значительно (в 6 раз) повышается. Только для поля № С1 выявлено аналогичное существенное (более чем в 4 раза) повышение карбонатов в нижнем слое. Это показывает, что прямой посев (No-Till) может привести к существенной дифференциации бывшего пахотного слоя (0–30 см) уже через несколько лет после прекращения механического перемешивания почвы при традиционной обработке почв (вспашке, культивациях и др.).

Исследования показали низкое содержание гумуса в почвах всех участков (табл. 105).

Таблица 105. Содержание общего гумуса в почвах Сальского района, %

Участок	Глубина, см	М	Дисперсия	m	Ошибка, %
С1	0–10	2,69	0,02	0,11	4
	20–30	1,76	0,01	0,08	4
С2	0–10	2,06	0,08	0,20	9
	20–30	1,47	0,02	0,10	6
С3	0–10	2,10	0,00	0,01	0
	20–30	1,45	0,00	0,01	1
С4	0–10	2,37	0,20	0,32	12
	20–30	1,65	0,00	0,04	3
С5	0–10	1,94	0,04	0,14	7
	20–30	1,63	0,00	0,05	3
С6	0–10	2,75	0,03	0,12	4
	20–30	1,98	0,02	0,10	5

Ни в одном из образцов значение показателя не превысило 3 %. Максимальные значения показателя, как и следовало ожидать, зафиксированы в залежной почве (2,8 %). Минимальные значения обнаружены в почве участка № С5 с традиционной технологией обработки, которая интенсифицирует минерализацию органического вещества. В почвах опытных полей с технологией No-Till содержание гумуса было выше на 6–38 %. Кроме того, здесь была

выявлена и более существенная дифференциация содержания гумуса по профилю.

Исследования показали незначительное содержание подвижного (активного) гумуса во всех исследуемых образцах почв Сальского района (табл. 106). Амплитуда значений в поверхностном слое почвы составляет от 119 до 133 мг С/кг почвы. Характер распределения подвижного гумуса в двух исследуемых слоях (0–10 и 20–30 см) различен и зависит от типа землепользования и выращиваемой культуры.

Таблица 106. Содержание активного углерода в почвах, мг/кг

Участок	Глубина, см	М	Дисперсия	m	Ошибка, %
С1	0–10	129,5	91,1	5,5	4
	20–30	117,4	24,2	2,8	2
С2	0–10	129,3	122,5	6,4	5
	20–30	134,6	204,2	8,3	6
С3	0–10	133,4	193,7	8,0	6
	20–30	118,3	9,9	1,8	2
С4	0–10	119,1	3,4	1,1	1
	20–30	136,3	61,0	4,5	3
С5	0–10	118,7	15,9	2,3	2
	20–30	118,7	102,6	5,8	5
С6	0–10	133,2	14,7	2,2	2
	20–30	111,7	3,0	1,0	1

Наибольшая дифференциация выявлена для залежной почвы с ненарушенным сложением почвенных горизонтов. В дерновом горизонте участка № С6 содержал максимальное для всех исследуемых почв количество активного углерода (133 мг), а в слое 20–30 см отмечено минимальное содержание (112 мг). Кроме того, была выявлена зависимость содержания лабильного органического вещества от выращиваемой культуры. Поля с посевами озимой пшеницы № С4 и № С5 содержали меньше лабильного углерода по сравнению с почвами полей с другими культурами. Однако на поле № С4 с технологией No-Till второй слой почвы (20–30 см) содержал больше подвижного органического вещества (136 мг), чем аналогичный слой почвы поля № С5 (119 мг), которая обрабатывается по традиционной технологии. В почве этого поля значения исследуемого параметра абсолютно идентичны в обоих слоях, что связано

с регулярным перемешиванием этого слоя при механических обработках почвы.

Ферментативная активность исследуемых почв Сальского района свидетельствует об их высокой биологической активности. Это характерно для большинства черноземов юга России (Казеев и др., 2004, 2015; Даденко и др., 2015). Значения каталазы и дегидрогеназы из класса оксидоредуктаз находятся на богатом и очень богатом уровнях (табл. 107).

Таблица 107. Ферментативная активность почв Сальского района

Участок	Глубина, см	Дегидрогеназы, мг/ТФФ/10 г/24 ч		Каталаза, см ³ O ₂ /г/мин.		Инвертаза, мг глюкозы/г/24 ч	
		М	m	М	m	М	m
С1	0–10	32,7	3,0	10,8	0,2	11,4	1,2
	20–30	26,3	0,2	11,2	0,5	8,3	1,1
С2	0–10	31,8	1,6	12,4	0,6	13,5	1,2
	20–30	21,7	1,1	15,1	0,3	9,2	0,2
С3	0–10	35,1	3,1	12,3	0,3	11,9	1,1
	20–30	29,4	0,4	14,9	0,2	9,6	0,7
С4	0–10	32,8	1,3	13,9	0,5	12,1	2,5
	20–30	25,1	0,2	16,4	0,2	10,0	1,0
С5	0–10	23,6	2,7	12,9	0,9	10,0	5,1
	20–30	24,9	2,5	13,9	0,3	9,1	0,8
С6	0–10	44,7	0,8	17,3	1,1	15,2	1,5
	20–30	24,0	3,5	16,8	0,4	10,5	0,8

Активность инвертазы в большинстве образцов находится на бедном уровне. Только в дерновом горизонте залежной почвы ее активность переваливает за порог средней обогащенности. Высокая активность оксидаз связана с благоприятными гидротермическими условиями вследствие сочетания высокой влажности и оптимальных температур. Они в условиях отсутствия лимитирующих биоту факторов приводят к интенсификации биологических процессов в почве. Максимальные значения всех трех исследуемых ферментов зафиксированы в залежной почве № С6. Это закономерно связано с оптимальными для травянистых растений условиями, высоким разнообразием флоры и фауны, благоприятными физическими и химическими свойствами почв под

естественной растительностью (Галстян, 1974; Казеев и др., 2004, Даденко и др., 2013; Мясникова и др., 2015). Была выявлена повышенная активность дегидрогеназ и инвертазы в поверхностном слое почв с технологией No-Till, не подверженных механическому воздействию № С1–С4. Это приближает эти почвы к залежному участку № С6, где активность этих ферментов значительно снижена в слое 20–30 см по сравнению с дерновым горизонтом (0–10 см). Активность каталазы, напротив, в почвах опытных полей была незначительно повышена в нижнем слое по сравнению с поверхностным слоем. А в залежной почве и почве с традиционной обработкой активность каталазы не различалась для обоих слоев почв. Активность этого фермента может реагировать на значительный пресс пестицидного загрязнения (Казеев и др., 2010).

Активность каталазы находится в обратной зависимости от влажности почвы ($r = -0,77$). Об отрицательной связи этих показателей сообщалось и ранее (Галстян, 1974; Казеев и др., 2015; Козунь и др., 2015; Kozun et al., 2022). Другие исследуемые ферменты были индифферентны к почвенной влаге. При этом активность инвертазы и дегидрогеназ положительно связана с численностью почвенных бактерий ($r = 0,75-0,80$), в то время как активность каталазы с этим показателем не коррелирует. Кроме того, активность инвертазы и дегидрогеназ зависела от типа обработки земель. Как было показано другими авторами, активность этих ферментов при использовании прямого посева была на 30–50 % выше, чем в контрольной почве (№ С5) с традиционной технологией обработки почв.

Численность бактерий по шкалам Д. Г. Звягинцева (1978) в исследуемых почвах находится на среднем уровне и практически не различается в почвах разных полей (поля № С1–С5). В дерновом горизонте контрольной почвы № С6 численность бактерий определена как богатая (табл. 108). Численность бактерий в исследуемых почвах была взаимосвязана с активностью инвертазы и дегидрогеназ, но не зависит от влажности почвы и ее pH.

Таблица 108. Численность бактерий в почвах Сальского района, млрд/г

Участок	Глубина, см	М	Дисперсия	Стандартное отклонение	m	V, %
С1	0–10	4,74	0,00	0,06	0,03	0,31
	20–30	4,07	0,11	0,40	0,23	2,48
С2	0–10	4,86	0,51	0,88	0,51	4,53
	20–30	4,13	0,27	0,63	0,37	3,86
С3	0–10	4,63	1,36	1,43	0,82	7,75
	20–30	3,97	0,63	0,98	0,56	6,18
С4	0–10	4,48	0,24	0,60	0,34	3,35
	20–30	3,82	0,35	0,73	0,42	4,77
С5	0–10	4,85	2,41	1,90	1,10	9,85
	20–30	3,93	1,42	1,46	0,84	9,34
С6	0–10	5,51	0,74	1,06	0,61	4,83
	20–30	4,24	0,33	0,70	0,41	4,17

ДИФФЕРЕНЦИРОВАНИЕ ВЕРХНЕГО СЛОЯ ПОЧВ ПРИ ДЛИТЕЛЬНОМ ПРИМЕНЕНИИ ПРЯМОГО ПОСЕВА

Основное внимание в исследованиях 2018 г. было уделено расслоению пахотного слоя при длительном применении нулевой обработки черноземов в Октябрьском районе Ростовской области.

Влияние технологии прямого посева на физические свойства почв ИП Мокрикова

Температура воздуха и почв в середине мая 2018 года в целом соответствовала климатической норме (табл. 109, 110). Амплитуда температуры воздуха составила 17,8–24,4°C и зависела от времени суток при исследовании конкретного участка. Температура поверхности почв кроме времени суток зависела от выращиваемой культуры. Агроценозы, засеянные пропашными и техническими культурами, прогревались сильнее, чем поля с озимыми культурами, которые не давали проникать солнечным лучам к поверхности почвы (табл. 111). Максимальные температуры поверхности почвы составили 40–45°C. Температура почвы на глубине 5 и 10 см характеризовалась умеренным теплообеспечением для протекания биологических процессов и роста корней растений.

Таблица 109 – Температура почв участков 1–7 в мае 2018 г.

Глубина, см	Поле												
	К1	Д1	К2	Д2	К3	Д3	К4	Д4	Д5у	К6	Д6	К7	Д7
t воздуха	21,2	21,5	24,4	21,9	17,8	18,6	18,2	19,1	21,9	21,6	21,2	21,1	20,9
t0	32,5	22,9	26,6	24,5	20,7	21,1	20,9	21,6	24,2	36,1	21,3	30,2	19,6
t5	26,0	20,8	21,2	20,5	20,3	20,0	20,6	19,4	25,8	22,9	21,6	26,3	19,0
t10	23,7	19,1	20,5	19,9	21,6	20,6	20,6	19,5	21,6	21,8	19,7	22,8	18,4

Таблица 110 – Температура почв участков 8–16 в мае 2018 г.

Глубина, см	Поле													
	К8	Д8	К9	Д9	К10	Д10	К11	Д11	К12	Д12	Д13	К14	Д14	Д16
t воздуха	20,0	21,0	20,8	20,9	22,0	21,0	21,0	19,5	21,3	21,9	–	22,2	21,7	22,4
t0	25,0	20,1	23,2	22,4	25,7	21,6	20,5	25,2	23,7	22,4	24,0	33,0	27,5	30,1
t5	23,6	20,0	24,4	21,3	19,5	19,2	18,9	18,9	22,1	21,4	19,9	25,1	24,4	22,7
t10	21,9	19,3	21,7	18,6	17,7	17,4	18,1	18,9	20,4	20,0	18,6	22,7	20,5	20,7

Таблица 111. Температура поверхности почв (n=10), 2018 г.

Участок	май	июль
К1	36,7	61,3
Д1	37,6	61,9
К2	38,2	58,4
Д2	33,3	49,9
К3	25,2	61,6
Д3	25,1	50,7
К4	35,7	49,3
Д4	28,3	57,9
Д5у	40,2	57,3
К6	40,3	53,3
Д6	27,2	49,3
К7	37,1	47,9
Д7	18,4	47,0
К8	24,3	45,7
Д8	19,7	39,0
К9	44,6	63,0
Д9	37,2	60,7
К10	36,0	48,7
Д10	31,1	52,4
К11	35,1	45,1
Д11	33,5	51,6
К12	24,7	59,5
Д12	33,8	57,9
Д13	31,5	63,6
К14	41,9	56,6
Д14	39,9	57,3
Д16	38,5	59,9

В июле температура почв значительно возросла на всех исследуемых глубинах (табл. 112, 113). Поверхность почв в этот период прогревалась до критических для биоты температур более 60 градусов, а в отдельных случаях почти до 70 градусов. В целом поверхность почв полей с прямым посевом нагревалась в меньшей степени по сравнению с почвами с традиционной обработкой.

Таблица 112 – Температура почв участков 1–7 в июле 2018 г.

Глубина, см	Поле												
	К1	Д1	К2	Д2	К3	Д3	К4	Д4	Д5у	К6	Д6	К7	Д7
t воздуха	33	не опр.	не опр.	не опр.	не опр.	35	не опр.	35	33	не опр.	31		28
t0	46	41	49	41	38	42	40	43	37	29	36	32	25
t5	31	29	34	30	35	30	28	34	26	27	25	25	24
t10	28	27	28	26	30	27	25	28	25	26	24	24	24

Таблица 113 – Температура почв участков 8–16 в июле 2018 г.

Глубина, см	Поле													
	К8	Д8	К9	Д9	К10	Д10	К11	Д11	К12	Д12	Д13	К14	Д14	Д16
t воздуха	не опр.	31	35	не опр.	31	не опр.	не опр.	31	не опр.	37	не опр.	не опр.	36	36
t0	33	34	38	34	35	34	36	37	39	38	35	39	44	38
t5	27	25	31	28	29	27	24	27	31	31	31	31	29	30
t10	24	23	28	26	27	25	24	26	37	29	27	28	28	28

В осенний период температура почв соответствовала климатической норме. Существенных различий в почвах с разной обработкой не было отмечено.

Полевая влажность почв, определенная влагомером, очень сильно варьировала в поверхностном слое почв исследуемых агроценозов в мае 2018 года (табл. 113). Диапазон значений влажности почвы составил 6,2–57,2%. Такой разброс значений связан с неравномерным выпадением атмосферных осадков в предшествующий наблюдению период, а также видом выращиваемых культур и способом обработки почв. В абсолютном большинстве случаев (в 9 из 12 парных участков сравнения) влажность почв была значительно выше на полях с прямым посевом по сравнению с почвами полей с традиционной технологией обработки почв. Еще на трех участках (участки 6, 7, 11) влажность почв с разной обработкой была примерно на одном уровне, при этом сильно различаясь для разных удаленных друг от друга участков.

В летний период произошло существенное иссушение всех почв вследствие длительной засухи. Но даже в этот период влажность почвы, удобренной компостом на основе птичьего помета на поле №5Ду, была значительно выше, чем на других полях. Только на участке 7 в почвах с разной обработкой отметили повышение влажности. Однако это связано с исходно низкими значениями влажности почв этого участка весной.

Таблица 113. Полевая влажность почв в 2018 г., %

Участок	май	июль
К1	30,9	11,4
Д1	41,3	12,9
К2	27,3	12,6
Д2	48,3	20,7
К3	25,7	11,6
Д3	46,0	12,5
К4	33,2	16,7
Д4	48,8	21,1
Д5у	44,5	31,5
К6	21,3	11,8
Д6	18,7	14,8
К7	9,4	11,9
Д7	6,2	16,7
К8	23,5	11,5
Д8	30,1	15,8
К9	25,2	12,3
Д9	42,9	14,0
К10	22,9	14,1
Д10	38,0	15,4
К11	57,2	16,3
Д11	54,3	20,3
К12	21,6	18,0
Д12	52,6	30,0
Д13	38,2	14,2
К14	34,6	14,0
Д14	50,7	24,7
Д16	42,2	15,3

Определение влажности почв традиционным термостатно-весовым методом показало преимущество обработки прямым посевом над традиционной обработкой почв.

Влажность поверхностного слоя почвы (0–10 см) в мае была на высоком уровне на всех исследуемых полях. Это было связано с большим количеством атмосферных осадков в предшествующий исследованиям период. На глубине 40–50 см на некоторых участках происходит повышение влажности.

По профилю максимальные отличия в июле наблюдаются в слое 0–10, 10–20. На глубине 0–10 см на участках №2 и №9 происходит увеличение влажности на опытном поле на 73–75%, на глубине 10–20 см на участке №2 на 35%, а на участке №9 на 85%. Ниже до глубины 90 см отличия составляют 3–25% (рис. 73). В остальные месяцы исследования отличия незначительные.

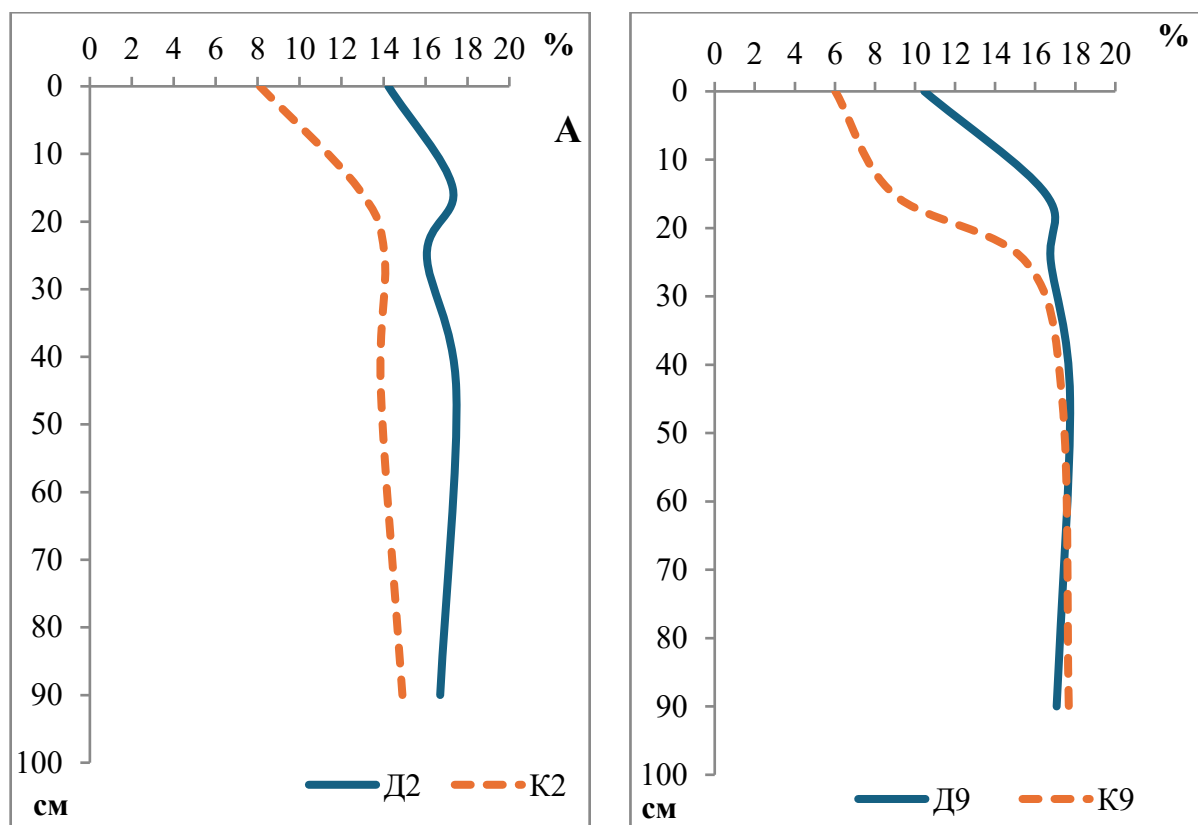


Рис. 73. Влажность почв в июле на участках №2 (А) и №9 (Б)

Кроме определения влажности почв, была проведена оценка запасов влаги в метровом слое. В результате были получены данные по запасам влаги в контрольных и опытных полях (рис. 74).

При сравнении опытных и контрольных полей в мае отмечены незначительные отличия между участками, исключения составляет участок №12, где происходит увеличение запасов влаги на 27%. В июльском сроке наблюдения почвы были в значительной мере иссушены. При этом в большей мере снижение запасов влаги произошло на контрольных полях по сравнению с полями с прямым посевом. Даже в тех редких случаях, когда в мае на опытных полях было меньше влаги, чем на контроле (участки №1 и №6), в июле отмечено обратное явление.

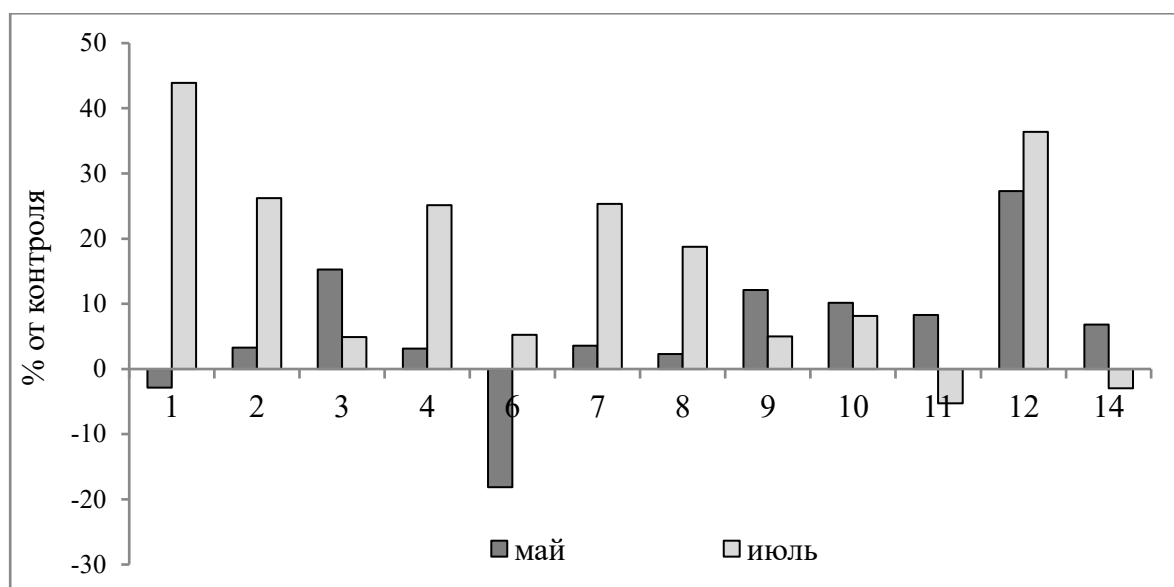


Рис.74. Изменение запасов влаги в почве в слое 1 м при применении технологии прямого посева, относительно контрольных почв

Период перед отбором образцов в июле характеризуется высокими температурами и небольшим количеством выпадающих атмосферных осадков, что может говорить о том, что почвозащитная технология прямого посева способствует накоплению влаги в 1 м слое почвы. Это может возникать благодаря мульчирующему слою. Мульчирующий слой хорошо пропускает влагу выпадающих осадков, существенно снижает температуру почвы, уменьшая при этом испарение влаги из неё (Дорожко и др., 2011). Установлено, что каждый 1 мм доступной влаги, использованной для развития растений, в среднем обеспечивает увеличение урожайности зерна пшеницы на 8 кг/га (Шириев, Сафин, 2012).

Сезонная динамика влажности почв с пересчетом на толщу 0–100 см изучена на участке №2 (рис. 75). В результате было выявлено существенно большие запасы влаги в почве с обработкой прямым посевом по сравнению с почвой, обрабатываемой по традиционной технологии. Наиболее существенные различия отмечены в июле, именно этот период характеризовался небольшим количеством выпадающих атмосферных осадков и высокими температурами. В июле происходит повышение запасов влаги на 26% на опытном участке по сравнению с контрольным полем. К осени разница между почвами с разной обработкой снижается. Это связано с различными культурами на

сравниваемых полях. Подсолнечник, выращиваемый на опытном поле ИП Мокрикова В.И., созрел в течение длительного времени до середины сентября, активно потребляя влагу из почвы. На соседнем контрольном поле урожай ячменя был собран еще в июле, и вода в почве расходовалась только на испарение. Это привело к выравниванию запасов влаги в исследуемых почвах.

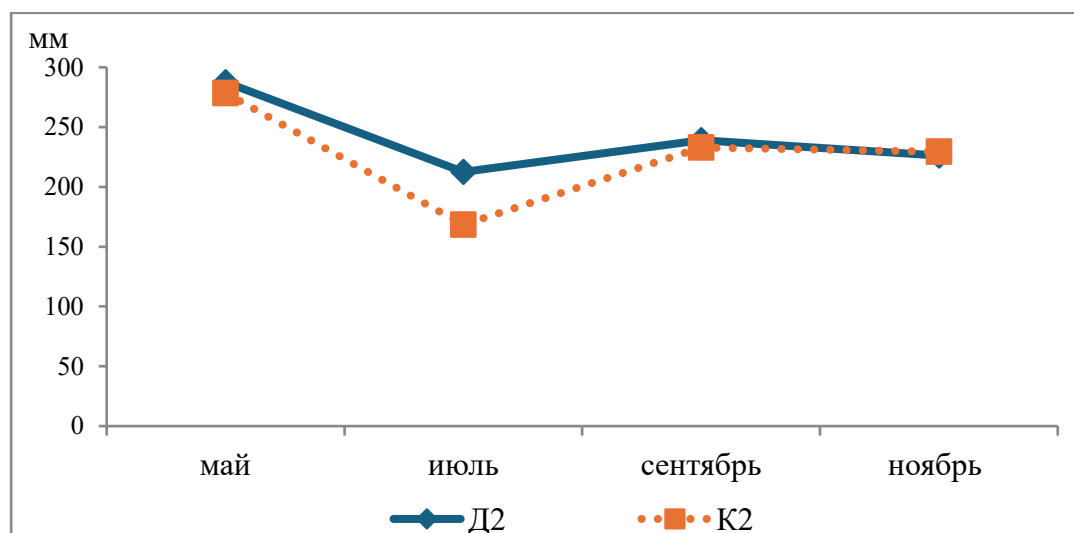


Рис.75. Изменение влажности почв в слое 1 м при применении технологии прямого посева, в процентах относительно контрольных почв

Таким образом, в 2017–2018 годах показано большее накопление и особенно сохранение влаги в сухой период в почвах полей с прямым посевом по сравнению с традиционной технологией обработки почв. Влияние почвозащитной технологии прямого посева сохраняется как для верхнего горизонта, так и для запасов влаги в метровом слое. Особенно это показательно в сухом 2018 году, когда весенне-летнее количество осадков в среднем соответствует среднегодовым значениям. Полученные результаты согласуются с литературными данными, свидетельствующими о преимуществах технологии No-Till в аридных зонах, а также в сухие годы в умеренных широтах. Часто бывают периоды, в течение которых количество осадков может быть значительно выше или ниже среднего. Если исследования проводятся в период «ненормальной» погоды, результаты и их интерпретация могут быть ошибочны (Soane et al., 2012). Исследования, проведенные в аномально влажный 2017 год, гораздо

менее показательны по сравнению с более типичными условиями увлажнения 2018 года.

Исследование плотности почв в мае 2018 года подтвердило результаты предыдущих исследований в весенние месяцы 2016-го и 2017 годов. Плотность поверхностного горизонта почв в весенний период во всех исследуемых вариантах не достигала критических отметок, способных затруднить рост корней и развитие растений (табл. 114).

Таблица 114. Плотность почв, май 2018 г.

Участок	M	дисперсия	m	ошибка, %
Д1	0,96	0,0	0,02	2
К1	1,05	0,0	0,04	3
Д2	1,02	0,0	0,11	11
К2	1,03	0,0	0,04	4
Д3	1,04	0,0	0,07	7
К3	1,00	0,0	0,04	4
Д4	1,06	0,1	0,19	18
К4	1,01	0,0	0,02	2
Д5у	0,81	0,0	0,13	15
Д6	0,99	0,0	0,03	3
К6	0,98	0,0	0,06	6
Д7	1,12	0,0	0,06	5
К7	1,05	0,0	0,05	5
Д8	1,04	0,0	0,04	4
К8	1,03	0,0	0,06	5
Д9	1,00	0,0	0,01	1
К9	1,12	0,0	0,07	6
Д10	1,09	0,0	0,12	11
К10	0,90	0,0	0,08	9
Д11	1,03	0,0	0,04	4
К11	1,13	0,0	0,01	1
Д12	1,04	0,0	0,05	4
К12	1,11	0,0	0,05	5
Д13	1,03	0,0	0,15	14
Д14	0,87	0,0	0,10	11
К14	1,06	0,0	0,02	2
Д16	0,99	0,0	0,04	4

Это характерно для влажного сезона, когда прошедшая зима с циклами замерзания-оттаивания и высокая влажность способствует разуплотнению почв. Плотность почвы всех исследуемых полей была на уровне 0,9–1,1 г/см³. При исследовании плотности не было обнаружено какой-либо одной

зависимости показателя от способа возделывания агрокультур. То есть однозначного увеличения плотности при прямом посеве по сравнению с традиционной обработкой не обнаружено. Только на свежееудобренном органическим удобрением (компост на основе птичьего помета) в дозе 40 т/га поле №5Ду плотность почв была снижена до уровня 0,81 г/см³. Как и для предыдущих исследований 2016-го и 2017 годов, для плотности почв характерно возрастание значений в период иссушения почв (табл. 115, рис. 76). Однако для всех исследуемых полей не было зафиксировано существенного возрастания значений показателя. Только для контрольного поля №К9 и опытного поля №Д1 в июле было зафиксировано повышение значений до высокого уровня – 1,34–1,40 г/см³. Позже плотность поля №Д1 вернулась к оптимальным значениям.

Таблица 115. Плотность почв в мае и июле 2018 г.

Участок	май	июль
Д1	0,96	1,34
К1	1,05	1,21
Д2	1,02	1,10
К2	1,03	1,12
Д3	1,04	1,21
К3	1,00	1,12
Д4	1,06	1,04
К4	1,01	0,97
Д5у	0,81	1,12
Д6	0,99	1,12
К6	0,98	1,16
Д7	1,12	1,27
К7	1,05	1,11
Д8	1,04	1,00
К8	1,03	1,24
Д9	1,00	1,12
К9	1,12	1,40
Д10	1,09	1,16
К10	0,90	1,10
Д11	1,03	1,22
К11	1,13	1,08
Д12	1,04	0,87
К12	1,11	1,15
Д13	1,03	1,04
Д14	0,87	1,09
К14	1,06	0,91
Д16	0,99	1,15

Значения сопротивления пенетрации в мае 2018 года значительно варьировали в почвах исследуемых полей (табл. 116). В этот еще влажный период значения показателя редко выходили за критические пределы, в целом для 50-сантиметрового слоя, составляя 1,4–3,5 МПа. В поверхностном слое 0–20 см значения составили 0,8–2,4 МПа. Однако в некоторых случаях (поля Д6, Д7, Д8) усредненные значения сопротивления пенетрации возрастали до 4,4–5,1 МПа.

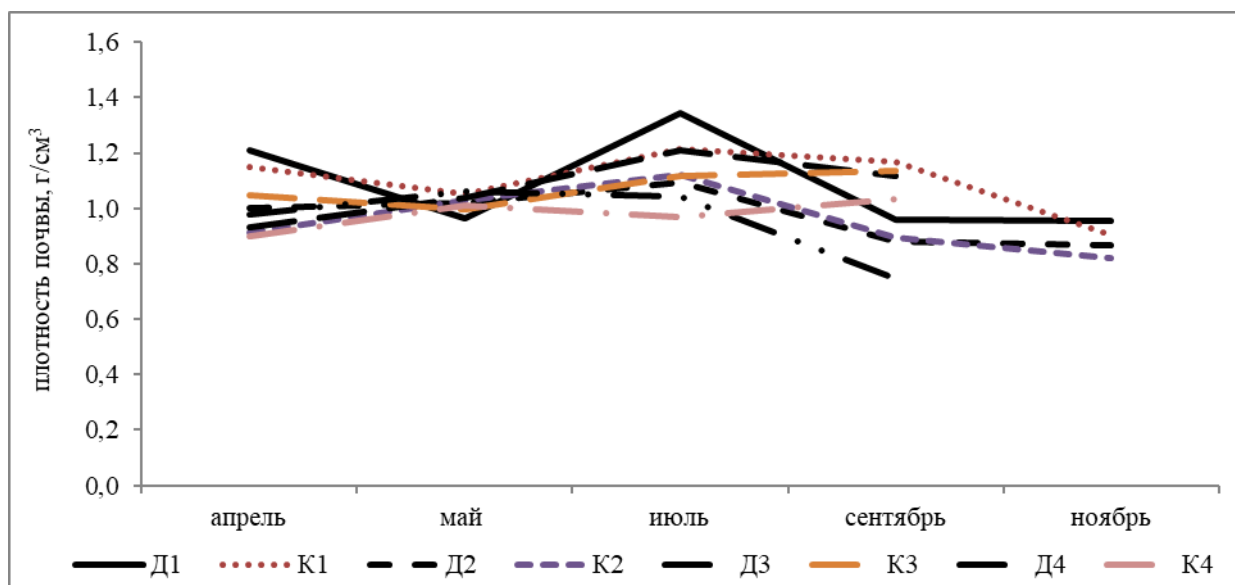


Рис.76. Динамика плотности почв в 2018 г.

Следует отметить, что на этих полях в предыдущий сезон выращивали кориандр. Эта же культура имела максимально зарегистрированные значения сопротивления пенетрации и в почвах полей в 2016 году. Отсюда следует вывод о влиянии этой культуры на переуплотнение почвы даже в период последующего действия на следующий сезон. С глубиной значения исследуемого показателя плавно повышаются. Ни разу не было зафиксировано случая резкого повышения значений сопротивления пенетрации, что можно было бы объяснять наличием плужной подошвы. Максимально зарегистрированное значение было на глубине 45–50 см на поле Д8 – 7,8 МПа. Средние для всех полей значения для этой глубины составили 3,5 МПа. Были выявлены различные варианты поведения значений сопротивления пенетрации в зависимости от способа

обработки почвы. Повышенные значения показателя в почвах полей прямого посева по сравнению с полями традиционной обработки отмечали на участках №6–8, 14, пониженные – на участках №2, 3, 9, 10, 12, равные значения – на участках №1, 4, 11. Усредненные значения показателя для всего 50-сантиметрового слоя почв всех исследованных участков показали равные показания для контрольных и опытных полей – 2,5–2,6 МПа. В июле значения сопротивления пенетрации исследуемых почв значительно возросли из-за иссушения почв (табл. 117).

Уже с глубины 5–10 см в некоторых случаях значения показателя были на критическом для растений уровне. При этом большие значения сопротивления пенетрации были в поверхностном 10-сантиметровом слое почв с прямым посевом. Однако за счет повышения значений показателя в средней части контрольных полей (25–50 см) усредненные для всех полей значения были на одном уровне независимо от способа обработки почв. Максимальные средние для 50-сантиметрового слоя значения были отмечены для полей Д6 и К8 – 7,0 и 7,2 МПа соответственно. Минимальные значения были отмечены в почвах полей К9, Д12, Д14 – 3,8–3,9 МПа. Наиболее благоприятные значения (3,4 МПа) были зафиксированы в почве агроценоза кукурузы 5Ду, на поверхность которого была внесена высокая доза птичьего помета, что оптимизировало ее влажность, плотность и структурное состояние.

Исследования, проведенные в 2017-м и 2018 годах, подтвердили закономерности, выявленные в первый год наблюдений 2016 г. Влажность почвы в значительной мере определяла ее значения сопротивления пенетрации. Это влияние было намного сильнее, чем применяемая технология обработки. За исключением, естественно, случаев, когда почва распахивалась или культивировалась непосредственно перед измерением. Различия в технологиях обработки почв были минимальными в мае в 2016–2018 гг.

Таблица 116. Сопротивление пенетрации (твёрдость) почв ИП Мокрикова В.И. и сопредельных хозяйств, май 2018 г.

Глубина, см	K1	Д1	K2	Д2	K3	Д3	K4	Д4	Д5у	K6	Д6	K7	Д7	K8	Д8	K9	Д9	K10	Д10	K11	Д11	K12	Д12	Д13	Д14	Д15	Д16
0	0,4	1,3	0,1	0,4	1,4	0,9	0,3	0,9	0,9	0,8	1,6	0,5	2,4	0,2	0,5	1,2	0,3	0,4	0,5	1,3	0,4	0,9	1,5	1,2	1,2	0,2	1,2
5	1,3	1,6	0,8	0,8	1,7	1,5	1,0	1,2	1,3	1,6	3,0	1,5	3,3	0,9	2,4	3,2	1,1	0,7	1,2	2,0	1,1	1,8	1,6	1,6	1,6	0,5	1,6
10	1,6	1,6	1,6	1,0	2,5	1,6	1,5	1,5	1,5	2,3	4,3	1,7	3,5	1,8	3,7	4,0	1,7	2,4	1,6	1,8	1,6	3,2	1,6	1,9	1,7	0,9	1,8
15	1,6	1,7	2,4	1,3	3,5	1,8	1,8	1,8	1,7	2,5	5,4	2,0	4,0	2,5	4,7	2,9	1,9	3,8	1,7	2,2	1,4	3,8	2,1	2,2	2,0	1,2	2,2
20	1,6	3,1	2,8	1,4	4,2	1,7	2,0	2,0	1,8	2,9	5,6	2,2	4,8	3,4	5,7	3,2	2,1	4,6	1,9	2,2	1,4	3,9	2,1	2,3	2,1	1,2	2,2
25	1,8	1,7	3,5	1,5	4,2	1,7	2,7	2,0	2,1	2,5	6,0	2,5	5,6	4,3	5,6	3,1	2,1	5,1	1,9	2,3	1,8	4,2	1,9	2,2	2,2	1,4	2,0
30	1,8	1,7	3,3	1,3	4,7	1,8	2,4	1,8	1,9	2,4	6,4	2,9	5,5	4,7	6,2	3,6	2,4	5,3	2,0	2,5	2,5	4,3	2,1	2,3	2,5	1,7	2,1
35	2,0	1,7	3,5	1,7	4,5	2,0	2,3	1,9	2,3	2,5	6,4	3,3	4,5	4,5	6,3	3,9	2,1	5,5	2,5	2,4	3,2	4,6	2,1	2,7	2,7	2,0	2,4
40	2,2	1,7	3,6	1,9	4,0	2,3	2,4	2,2	2,6	2,7	5,3	2,7	5,5	4,3	7,0	4,3	2,2	5,7	2,7	2,3	3,3	5,0	2,2	2,7	2,6	2,4	2,7
45	2,5	1,9	3,5	2,3	4,0	2,4	2,5	2,2	2,7	2,9	6,8	2,8	5,2	4,4	7,8	4,2	2,3	5,9	2,7	2,5	3,4	5,6	2,6	3,1	2,9	2,7	2,9

Таблица 117. Сопротивление пенетрации (твёрдость) почв ИП Мокрикова В.И. и сопредельных хозяйств, июль 2018 г.

Глубина, см	K1	Д1	K2	Д2	K3	Д3	K4	Д4	Д5у	K6	Д6	K7	Д7	K8	Д8	K9	Д9	K10	Д10	K11	Д11	K12	Д12	Д13	K14	Д14	Д16
0	0,8	4,7	0,7	1,5	0,7	1,3	0,8	2,5	1,8	1,8	2,4	0,3	1,0	0,9	0,5	0,3	2,0	0,4	0,5	2,6	1,7	1,8	2,8	0,4	0,8	1,0	1,5
5	2,6	6,1	2,5	2,8	1,3	4,7	1,3	4,9	3,4	4,8	5,6	1,4	3,3	3,2	2,3	1,2	4,2	2,0	2,7	5,6	5,9	2,8	4,7	1,8	2,0	2,7	2,7
10	6,9	4,7	5,1	3,8	2,1	7,0	1,9	5,5	3,9	7,2	8,3	4,7	5,9	6,1	4,7	3,1	5,5	3,4	5,1	3,3	7,0	4,3	5,2	3,9	4,1	3,5	4,2
15	6,2	4,8	6,8	4,5	4,7	5,7	4,0	4,2	3,3	8,1	7,9	5,9	6,5	6,5	5,8	2,6	5,8	3,7	5,1	3,9	6,4	4,9	4,6	4,7	3,2	3,9	4,7
20	6,0	4,8	7,0	5,1	6,1	5,3	4,1	4,1	3,2	7,4	7,3	5,1	6,2	8,0	5,4	3,2	5,2	4,2	4,2	4,5	5,6	6,3	4,5	5,6	3,7	4,0	4,7
25	5,5	4,4	7,8	5,6	5,9	5,1	4,8	4,2	3,3	6,1	7,0	5,5	6,1	9,0	6,6	4,4	5,1	4,8	4,6	6,0	6,8	6,5	4,2	6,5	5,0	3,9	5,7
30	5,6	5,2	7,4	5,4	6,3	5,6	5,5	3,8	3,6	6,3	7,4	6,2	6,4	8,2	7,3	5,3	5,6	6,3	4,8	6,5	7,4	6,7	3,5	6,9	5,3	4,2	6,2
35	6,8	6,1	8,8	5,4	6,4	5,8	7,0	4,0	3,9	6,7	7,6	6,3	6,9	10,0	6,4	6,0	5,8	6,5	5,5	6,4	6,7	6,7	2,8	7,0	6,3	4,5	6,8
40	7,8	7,5	7,4	6,0	6,5	6,1	7,9	4,0	4,2	7,2	8,2	6,5	7,2	10,0	7,1	6,0	6,1	7,4	5,8	6,5	6,6	7,0	3,4	7,3	6,5	4,8	7,0
45	8,6	7,3	8,0	6,3	7,2	7,0	7,6	4,2	3,7	7,5	8,9	6,9	7,7	9,8	7,1	6,4	6,7	7,8	6,3	6,7	6,4	7,3	3,2	7,0	6,5	5,2	7,0

Таким образом, выявлено, что сопротивление пенетрации почв находится в тесной зависимости от ее влажности. Во влажной почве значения сопротивления пенетрации находятся на оптимальном для растений уровне независимо от способа ее обработки. Технология прямого посева в целом в 2018 году не привела к повышению сопротивления пенетрации по сравнению с традиционной вспашкой. Разница между технологиями практически нивелируется в весенний сезон года. Изменения сопротивления пенетрации затрагивают в первую очередь верхний слой почвы, который при вспашке разрыхляется. Однако эти изменения минимальны в средней и нижней части профиля почв. Однако в июле 2018 года было зафиксировано повышение значений твердости контрольных почв в средней части профиля. Причиной этого было значительное различие влажности почв на этих глубинах.

При анализе структурно-агрегатного состава почвы в мае было установлено (табл. 118) преобладание агрегатов > 10 мм (20,0–63,3%), исключение составляют участки К4, К7, К8, К9, К12, К14, где наблюдается наибольший процент агрегатов 1–0,5 (23,1–26,7 %). На участке Д11 преобладает наибольший процент агрегатов 2–1 (28,7%). Количество агрономически ценных агрегатов в пахотном горизонте 0–10 см при сухом просеивании колеблется в пределах от 35,5 до 84,4% (рис. 77). При сравнении опытных с контрольными участками происходит как увеличение, так и уменьшение агрономически ценных агрегатов в пахотном горизонте 0–10 см. Достоверные отличия не отмечены для участков № 2, 7, 8, 9.

Агрегатное состояние исследованных участков характеризуется как отличное и хорошее, а на участках №Д1, Д3, Д5 – как неудовлетворительное. По коэффициенту структурности $K_{стр}$, который основан на количестве агрономически ценных агрегатов, наблюдается такая же закономерность.

Таблица 118. Результаты определения агрегатного состава, май 2018 г.

№ поля	Размер фракций, мм; содержание, %									К _{стр}
	>10	10–7	7–5	5–3	3–2	2–1	1–0,5	0,5–0,25	<0,25	
Д1	63,3	6,5	6,0	8,0	2,9	6,6	3,6	1,9	1,3	0,6
К1	29,5	5,4	5,6	9,2	2,4	11,7	20,0	9,4	7,0	1,7
Д2	38,6	9,4	10,7	9,5	5,4	12,6	7,8	3,6	2,3	1,4
К2	38,3	6,4	6,0	7,9	3,4	9,2	14,6	8,6	5,6	1,3
Д3	60,0	6,6	5,2	7,1	2,2	7,4	6,3	3,0	2,1	0,6
К3	42,4	5,6	4,8	7,6	3,4	10,4	13,8	6,7	5,3	1,1
Д4	46,3	7,1	7,7	11,9	4,5	11,0	7,0	2,8	1,8	1,1
К4	13,9	4,6	4,7	8,8	4,7	16,6	26,0	12,0	8,6	3,4
Д5	60,1	7,2	6,7	8,4	2,6	5,9	4,7	2,4	1,9	0,6
Д6	41,2	8,1	7,0	11,9	3,8	10,6	8,8	5,0	3,5	1,2
К6	50,6	6,0	4,4	7,6	2,4	14,7	6,8	4,4	3,0	0,9
Д7	41,0	5,7	6,2	14,3	4,5	14,6	5,3	6,1	2,3	1,3
К7	23,9	5,4	4,3	5,6	2,3	11,1	24,5	13,5	9,5	2,0
Д8	28,0	8,9	10,1	16,2	2,8	12,8	11,8	5,4	3,8	2,1
К8	12,6	5,0	4,1	6,9	3,7	20,6	26,2	12,5	8,5	3,7
Д9	24,8	7,9	6,4	11,2	4,3	13,6	17,8	8,5	5,6	2,3
К9	13,6	6,1	4,7	7,0	3,5	17,9	25,0	13,1	9,1	3,4
Д10	20,0	6,3	6,8	12,8	5,6	17,0	16,9	8,8	5,8	2,9
К10	49,4	3,9	3,3	4,8	1,6	18,6	9,0	5,5	3,7	0,9
Д11	11,8	3,7	4,0	7,7	11,4	28,7	18,3	8,7	5,6	4,7
К11	36,8	4,7	4,5	13,3	4,1	14,5	11,7	6,3	4,2	1,4
Д12	57,7	6,3	6,3	10,7	2,6	7,7	5,4	2,2	1,0	0,7
К12	14,6	5,3	6,0	10,6	5,4	17,7	23,1	10,0	7,4	3,5
Д13	43,1	6,3	6,7	13,4	4,2	12,6	7,9	3,6	2,3	1,2
Д14	31,1	6,0	8,0	16,0	5,2	13,6	10,4	5,7	4,0	1,8
К14	9,6	4,4	4,8	9,2	4,1	20,6	26,7	14,6	6,1	5,4
Д16	23,5	11,5	8,0	14,2	4,7	16,5	12,2	5,8	3,5	2,7

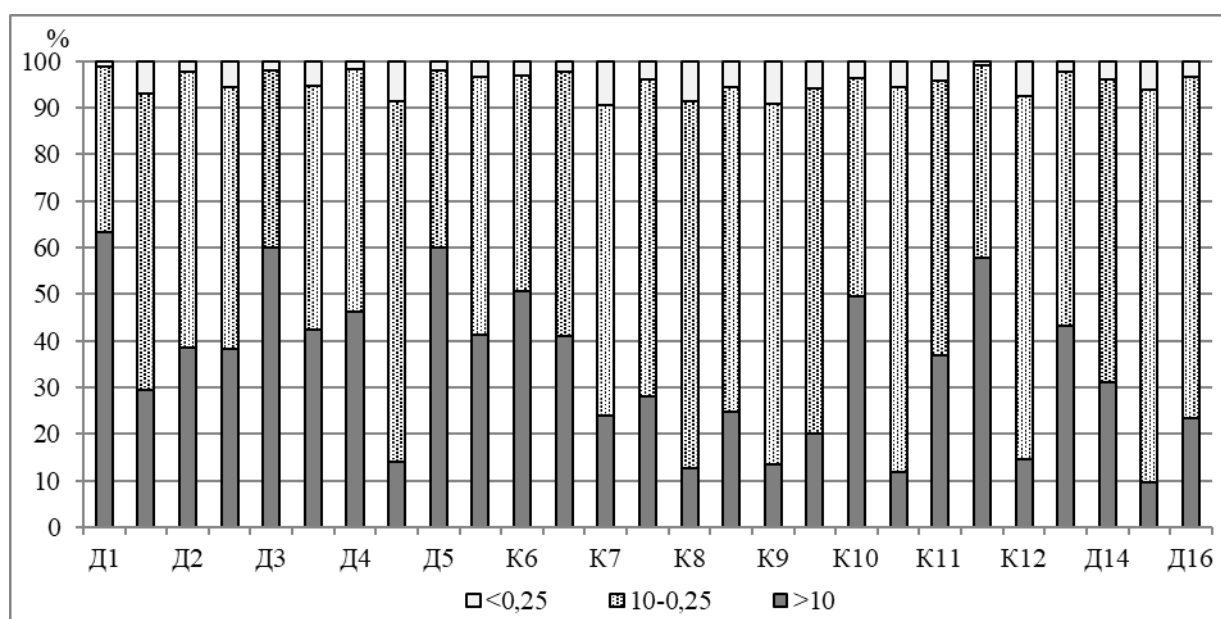


Рис. 77. Структурно-агрегатный состав почвы в слое 0–10 см, май

При анализе структурно-агрегатного состава почвы в июле было установлено (табл. 119) преобладание агрегатов > 10 мм (21,4–76,4%), исключение составляют участки К1, Д4, Д6, К7, К9, К12, где наблюдается наибольший процент агрегатов 2–1 (19,4–42,6 %). Наиболее важными в агрономическом смысле являются структурные отдельности размером 10–0,25 мм, так как именно они влияют на почвенное плодородие и придают почве уникальный вид комочков.

Таблица 119. Результаты определения агрегатного состава, июль 2018 г.

№ поля	Размер фракций, мм; содержание, %									К _{стр}
	>10	10–7	7–5	5–3	3–2	2–1	1–0,5	0,5–0,25	<0,25	
Д1	43,9	8,3	7,9	13,1	4,3	9,7	6,6	3,4	2,9	1,1
К1	14,3	2,8	3,4	8,6	3,2	42,6	13,0	7,9	4,1	4,4
Д2	66,9	5,4	4,9	6,4	1,7	5,3	4,8	2,7	1,9	0,5
К2	50,3	2,8	2,6	3,9	1,9	24,7	7,7	3,5	2,8	0,9
Д3	47,6	7,2	6,6	11,0	3,7	15,3	3,5	2,8	2,3	1,0
К3	28,1	5,6	5,5	8,7	3,1	18,5	15,3	10,1	5,1	2,0
Д4	17,5	7,0	9,9	17,3	5,1	19,4	14,4	5,4	3,9	3,7
К4	34,0	7,1	5,9	8,9	3,0	14,9	15,9	6,2	4,1	1,6
Д5	63,4	6,6	4,9	7,1	2,2	6,5	3,9	2,6	2,7	0,5
Д6	22,5	9,8	9,4	12,5	4,1	23,9	8,0	5,6	4,1	2,7
К6	47,2	9,0	6,7	8,3	2,5	12,5	6,9	3,9	3,0	1,0
Д7	31,9	11,5	10,7	15,5	4,8	14,7	5,9	2,8	2,3	1,9
К7	16,7	4,9	5,2	7,5	2,3	36,5	15,4	7,3	4,3	3,8
Д8	65,8	8,1	5,4	6,1	1,4	4,4	4,4	2,6	1,8	0,5
К8	15,1	5,3	4,5	7,5	3,0	34,3	18,7	6,8	4,7	4,1
Д9	31,4	6,6	5,8	10,6	6,7	19,0	12,2	4,7	3,0	1,9
К9	20,0	3,1	3,2	6,4	4,0	42,0	9,9	6,2	5,1	3,0
Д10	34,0	5,1	6,0	11,2	3,3	17,5	11,0	7,8	4,0	1,6
К10	76,4	1,6	1,5	2,4	0,9	4,1	6,6	4,2	2,3	0,3
Д11	66,2	3,4	2,9	4,3	1,6	7,4	5,6	6,6	2,0	0,5
К11	65,1	2,1	2,2	3,8	2,4	9,3	8,7	3,7	2,7	0,5
Д12	41,3	4,8	6,8	14,2	4,0	8,3	10,9	5,6	4,1	1,2
К12	15,6	4,0	3,2	6,1	2,2	38,7	16,6	8,9	4,6	3,9
Д13	63,3	5,8	5,0	7,2	2,3	7,2	4,2	2,8	2,2	0,5
Д14	21,4	5,8	8,2	14,8	4,1	20,3	11,1	9,3	5,0	2,8
К14	48,5	3,7	3,3	4,8	2,6	19,9	8,7	5,0	3,6	0,9
Д16	59,9	4,6	4,8	8,1	2,9	8,6	5,7	3,0	2,4	0,6

Структурный анализ показал (рис. 78), что количество агрономически ценных агрегатов в пахотном горизонте 0–10 см при сухом просеивании колеблется в пределах от 21,4 до 81,6%. При сравнении опытных с контрольными участками происходит как увеличение, так и уменьшение

агрономически ценных агрегатов в пахотном горизонте 0–10 см. Достоверные отличия не отмечены для участков № 7, 9, 11.

Агрегатное состояние исследованных участков характеризуется как отличное и хорошее, а на участках №Д2, Д5, Д8, К10, Д11, К11, Д13, Д16 – как неудовлетворительное. По коэффициенту структурности $K_{стр}$, который основан на количестве агрономически ценных агрегатов, наблюдается такая же закономерность.

Анализ структурно-агрегатного состава почвы на участках №1–4 был проведен также в апреле, сентябре, ноябре. Исследования, проведенные в апреле, сентябре и ноябре, показали также (рис. 79) преобладание агрегатов >10 мм (21–43%), исключение составляют в апреле К2, в сентябре К1, ноябре Д4. На участках К3 и К4 преобладают во все сроки исследования агрегаты размером 2–1, либо 1–0,5. Количество агрономически ценных агрегатов в пахотном горизонте 0–10 см при сухом просеивании также превышает 60% и колеблется в пределах от 62,1 до 84,8%, исключение составляет участок К2 в сентябре.

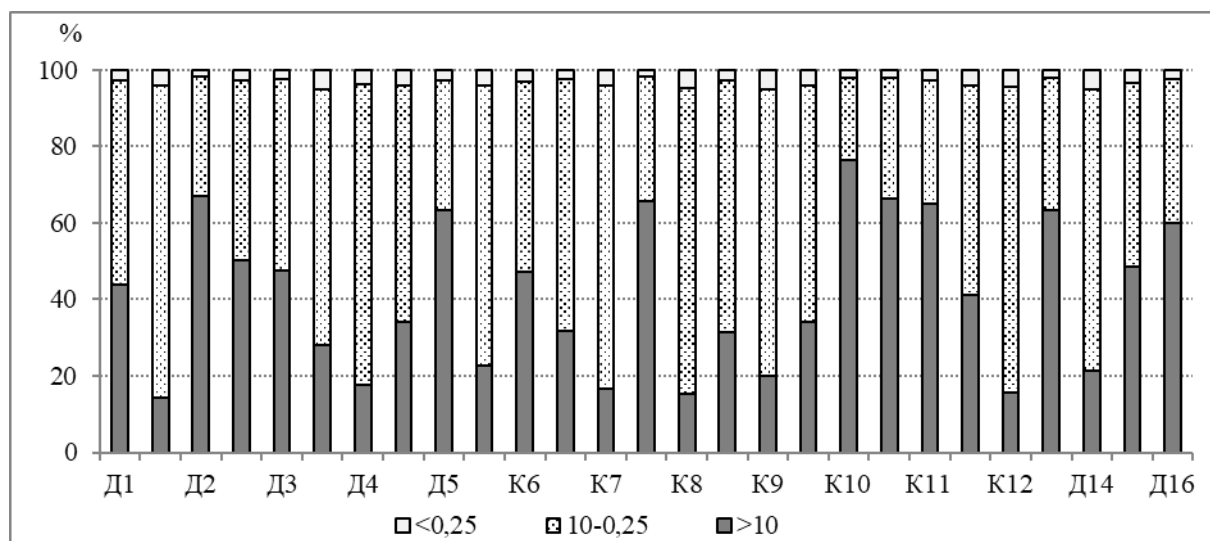


Рис.78. Структурно-агрегатный состав почвы в слое 0–10 см, июль

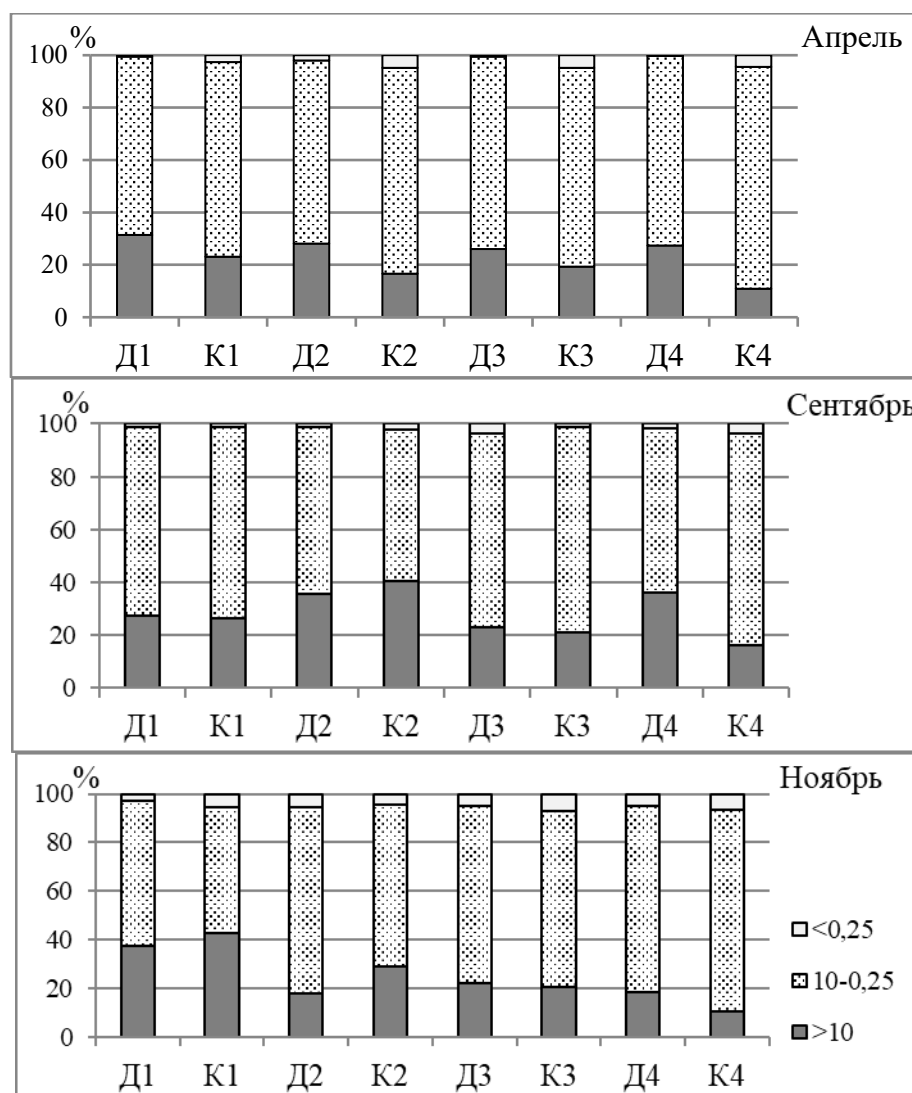


Рис. 79. Структурно-агрегатный состав почвы в слое 0–10 см

При сравнении коэффициента структурности $K_{стр}$ на участках №1–4 в течение всего периода исследования максимальные значения отмечены в апреле и ноябре (рис. 80), исключение составляет участок K1, где максимальное значение данного коэффициента наблюдалось в июле.

Водопрочность агрегатов исследованных почв варьировала от 30 до 88%, что позволяет их отнести к почвам с хорошей и отличной структурой, исключение составляют участки D1 и D5 в мае, где водопрочность избыточно высокая (88 и 85% соответственно) (табл. 120).

При сравнении опытных участков с контрольными отмечены незначительные отличия. Максимальные отличия отмечены на участке №2 в апреле, где повышается водопрочность на 103%.

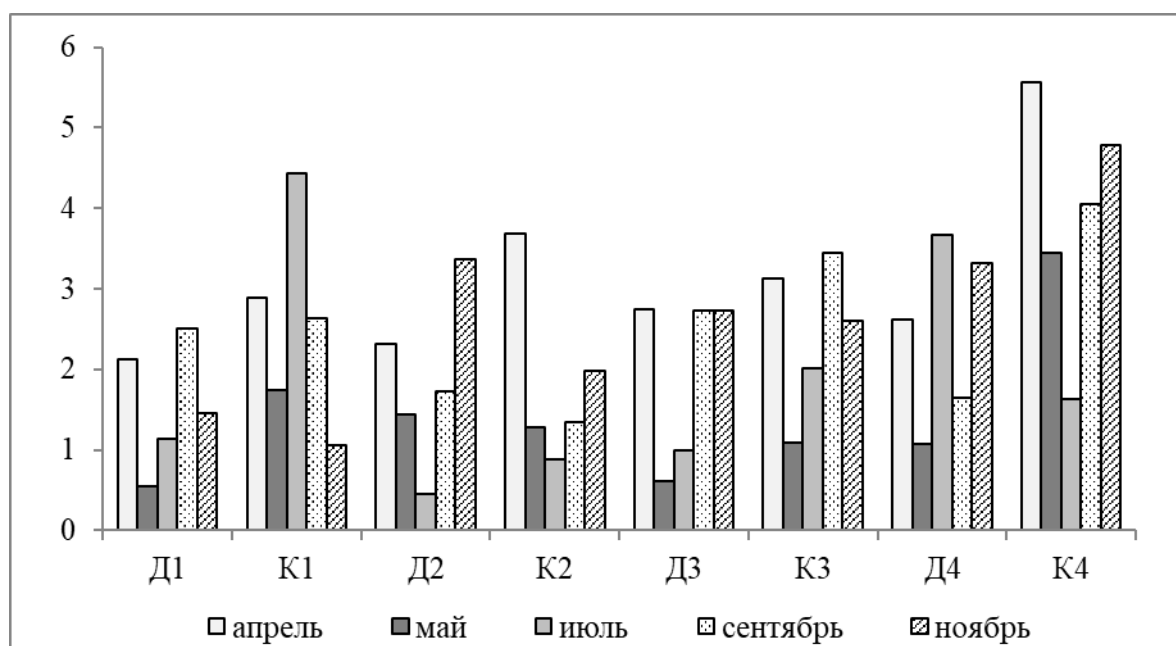


Рис. 80. Коэффициент структурности почвы в слое 0–10 см

Таблица 120. Содержание водопрочных агрегатов (%), 2018 г.

Поле	Апрель	Май	Июль	Сентябрь	Ноябрь
Д1	71	85	62	75	73
К1	64	80	70	57	70
Д2	77	73	77	57	65
К2	38	62	72	72	73
Д3	71	75	66	69	76
К3	62	57	56	71	81
Д4	56	54	77	71	70
К4	64	66	74	72	71
Д5	не опр.	88	56	не опр.	не опр.
Д6	не опр.	63	59	не опр.	не опр.
К6	не опр.	75	53	не опр.	не опр.
Д7	не опр.	66	62	не опр.	не опр.
К7	не опр.	79	45	не опр.	не опр.
Д8	не опр.	67	66	не опр.	не опр.
К8	не опр.	64	46	не опр.	не опр.
Д9	не опр.	53	59	не опр.	не опр.
К9	не опр.	49	56	не опр.	не опр.
Д10	не опр.	65	47	не опр.	не опр.
К10	не опр.	71	53	не опр.	не опр.
Д11	не опр.	52	30	не опр.	не опр.
К11	не опр.	67	52	не опр.	не опр.
Д12	не опр.	67	65	не опр.	не опр.
К12	не опр.	64	50	не опр.	не опр.
Д13	не опр.	52	71	не опр.	не опр.
Д14	не опр.	72	58	не опр.	не опр.
К14	не опр.	68	76	не опр.	не опр.
Д16	не опр.	71	75	не опр.	не опр.

Исследование интенсивности выделения почвами углекислого газа показало существенное различие на разных участках (табл. 121).

Таблица 121. Полевое дыхание почв, май 2018 г. (ppm CO₂/10мин/150см²)

Поле	M	дисперсия	m	ошибка, %
K1	338,8	5391,2	24,5	7
Д1	214,4	3178,3	18,8	9
K2	321,2	5095,7	23,8	7
Д2	229,4	934,3	10,2	4
K3	332,8	4432,2	22,2	7
Д3	185,0	773,0	9,3	5
K4	441,8	21177,2	48,5	11
Д4	63,6	2198,3	15,6	25
Д5у	339,2	6981,7	27,9	8
K6	219,4	6198,3	26,2	12
Д6	272,6	1581,3	13,3	5
K7	432,6	11989,3	36,5	8
Д7	327,4	34152,3	61,6	19
K8	284,4	3710,8	20,3	7
Д8	442,4	35251,3	62,6	14
K9	454,6	11252,3	35,4	8
Д9	127,4	1955,3	14,7	12
K10	675,8	36769,2	63,9	9
Д10	159,8	15234,9	41,1	26
K11	267,2	3850,2	20,7	8
Д11	373,4	31598,3	59,3	16
Д14	216,7	4361,3	22,0	10

Были выявлены повышенные значения эмиссии углекислого газа почвами полей с традиционной обработкой. Средние значения выделения углекислого газа по всем участкам с традиционной технологией составили 377 ppm CO₂/10мин/150 см², в то время как почвы полей с прямым посевом в среднем выделяли 253 ppm CO₂. Различия между полями с разной обработкой составили 33%. Даже на удобренном компостом из птичьего помета поле №5Ду дыхание было на 10% ниже средних значений для полей традиционной обработки. Причин этих различий может быть несколько. Однако наиболее существенный вклад вносит повышенный нагрев поверхности почв с традиционной обработкой, в среднем для всех полей 36 против 30 градусов. Также этому способствует результат минерализации органических остатков, запаханых в прошлом году. В июле 2018 года значения интенсивности выделения углекислого газа из почв значительно уменьшились по сравнению с маем (табл. 122).

Таблица 122. Полевое дыхание почв, июль 2018 г. (ppm CO₂/10мин/150см²)

Поле	М	дисперсия	m	ошибка, %
К1	215,4	3522	29,7	14
Д1	172,8	1001	15,8	9
К2	159,4	820	14,3	9
Д2	336,2	17486	66,1	20
К3	126,2	480	11,0	9
Д3	324,6	6619	40,7	13
К4	260,8	593	12,2	5
Д4	129,0	1901	21,8	17
Д5у	109,6	629	12,5	11
К6	176,2	1628	20,2	11
Д6	89,6	395	9,9	11
К7	129,6	1473	19,2	15
Д7	129,0	4801	34,6	27
К8	119,0	609	12,3	10
Д8	196,4	3424	29,3	15
К9	67,2	1138	16,9	25
Д9	116,0	96	4,9	4
К10	135,8	818	14,3	11
Д10	102,0	967	15,5	15
К11	204,8	1709	20,7	10
Д11	96,4	451	10,6	11
К12	163,2	23645	76,9	47
Д12	196,4	3816	30,9	16
Д13	155,0	2084	22,8	15
К14	199,6	601	12,3	6
Д14	177,6	2066	22,7	13
Д16	143,4	3066	27,7	19

Это связано со снижением интенсивности биологических процессов при снижении влажности почвы. В большинстве случаев сохранилась тенденция пониженных значений показателя в почвах опытных полей с прямым посевом, отмеченная во влажном периоде. В сентябре значения интенсивности дыхания вновь повысились до 380–460 ppm CO₂/10мин/150см² с сохранением отмеченной разницы между полями с разной обработкой.

Влияние технологии прямого посева на микробиологические свойства почв ИП Мокрикова

Анализ результатов изменения численности аммонификаторов (май 2018 г.) при разных технологиях возделывания сельскохозяйственных культур показал, что численность данной группы бактерий варьирует в диапазоне 3,5–6,9 млн КОЕ/г почвы на полях с применением технологии No-Till и 3,0–7,3 млн КОЕ/г с использованием традиционной технологии возделывания

сельскохозяйственных культур (табл. 123). При сравнении численности аммонификаторов верхних почвенных горизонтов (0–10 см) опытных и контрольных полей, как правило, численность бактерий данного рода на порядок выше на опытных полях по сравнению с контрольными.

Таблица 123. Численность аммонифицирующих бактерий на полях с разными технологиями (май, 2018 г.)

№ поля	Культура	М, млн КОЕ/г	S ²	S	m	V, %
1К	Яровой ячмень	4,02	2,89	2,08	0,98	7
1N	Нут	6,32	42,89	8,02	3,78	28
2К	Яровой ячмень	4,31	21,56	5,69	2,68	24
2N	Подсолнечник	5,69	56,00	9,17	4,32	31
3К	Озимая пшеница	3,05	59,56	9,45	4,46	26
3N	Подсолнечник	4,36	6,89	3,21	1,52	8
4К	Яровой ячмень	3,64	4,22	2,52	1,19	12
4N	Подсолнечник	6,65	37,56	7,51	3,54	24
5Ny	Кукуруза	6,90	34,89	7,23	3,41	13
6К	Ячмень	3,49	32,67	7,00	3,30	20
6N	Озимый ячмень	5,08	49,56	8,62	4,06	25
7К	Яровой ячмень	4,79	48,67	8,54	4,03	32
7N	Озимая пшеница	5,83	8,67	3,61	1,70	16
8К	Яровой ячмень	3,68	16,22	4,93	2,33	13
8N	Озимая пшеница	3,49	90,89	11,68	5,50	32
9К	Горох	3,75	40,67	7,81	3,68	33
9N	Озимый рапс	4,30	48,22	8,50	4,01	29
10К	Озимая пшеница	7,27	20,22	5,51	2,60	12
10N	Озимый рапс	6,10	6,22	3,06	1,44	6
11К	Озимый рапс	5,95	24,22	6,03	2,84	19
11N	Подсолнечник	6,54	8,22	3,51	1,66	8
12К	Озимая пшеница	5,05	12,67	4,36	2,05	16
12N	Озимый рапс	5,38	13,56	4,51	2,13	14
13N	Лен	5,45	14,00	4,58	2,16	13
14К	Кукуруза	5,31	6,22	3,06	1,44	11
14N	Кукуруза	6,05	24,22	6,03	2,84	17
16N	Кориандр	4,20	28,67	6,56	3,09	16

Примечание: М – среднее арифметическое, m – ошибка средней, S² – дисперсия, S – среднее квадратичное отклонение, V – коэффициент вариации (%).

Численность аммонификаторов значительно варьирует по вариантам опыта, что, скорее всего, связано с качеством поступающих растительных остатков предшествующей культуры. Для этой группы микроорганизмов очень важное значение имеет количество поступающих в почву органических веществ, богатых белками или аминокислотами.

Наименьшее количество бактерий-аммонификаторов наблюдается на контрольном поле №3 (озимая пшеница) – 3,1 млн КОЕ/г, контрольном поле №6 (ячмень) – 3,5 млн КОЕ/г и опытном поле №8 (озимая пшеница) – 3,5 млн КОЕ/г. Наибольшее количество – на опытном поле №5 (кукуруза) – 6,9 млн КОЕ/г. и контрольном поле №10 (озимая пшеница) – 7,3 млн КОЕ/г.

Вариационно-статистический анализ численности бактерий- аммонификаторов показал, что численность бактерий значительно варьирует на всех полях, как опытных, так и контрольных, однако на полях, с применением технологии No-Till колебания численности бактерий в целом меньше, чем на контрольных полях с традиционной технологией.

Например, на опытных полях №3, 10, 11 коэффициент вариации (V) показателя составил 8, 6 и 8%, на контрольных полях 26, 12 и 19% соответственно.

Согласно шкале для оценки степени обогащенности почв микроорганизмами (Звягинцев, 1978), большинство контрольных полей относятся к средней степени обогащенности по количеству бактерий на МПА (2–5 млн/г), тогда как большинство опытных полей – к богатой степени обогащенности (5–10 млн/г).

Результаты профильного распределения аммонифицирующих бактерий свидетельствует о неравномерном распределении по слоям почвы как контрольных, так и опытных полей (рис. 81).

Наблюдается снижение бактерий по профилю. При технологии нулевой обработки снижение численности бактерий по профилю более резкое, тогда как на контрольных полях статистически достоверной разницы в численности бактерий в слое 0–10 и 10–20 не наблюдается, что связано с «перемешиванием» почвенных слоев. Разница в численности аммонификаторов (как опытных, так и контрольных полей) слоев 10–20 и 20–30 менее выражена, в слое 30–50 наблюдается заметно резкое их снижение. Примерно 50–60% аммонифицирующих бактерий опытных полей сосредоточено в верхнем слое (0–10 см). Такое развитие данной группы микроорганизмов можно объяснить

большим наличием в этом слое почвы растительных остатков по сравнению со вспашкой.

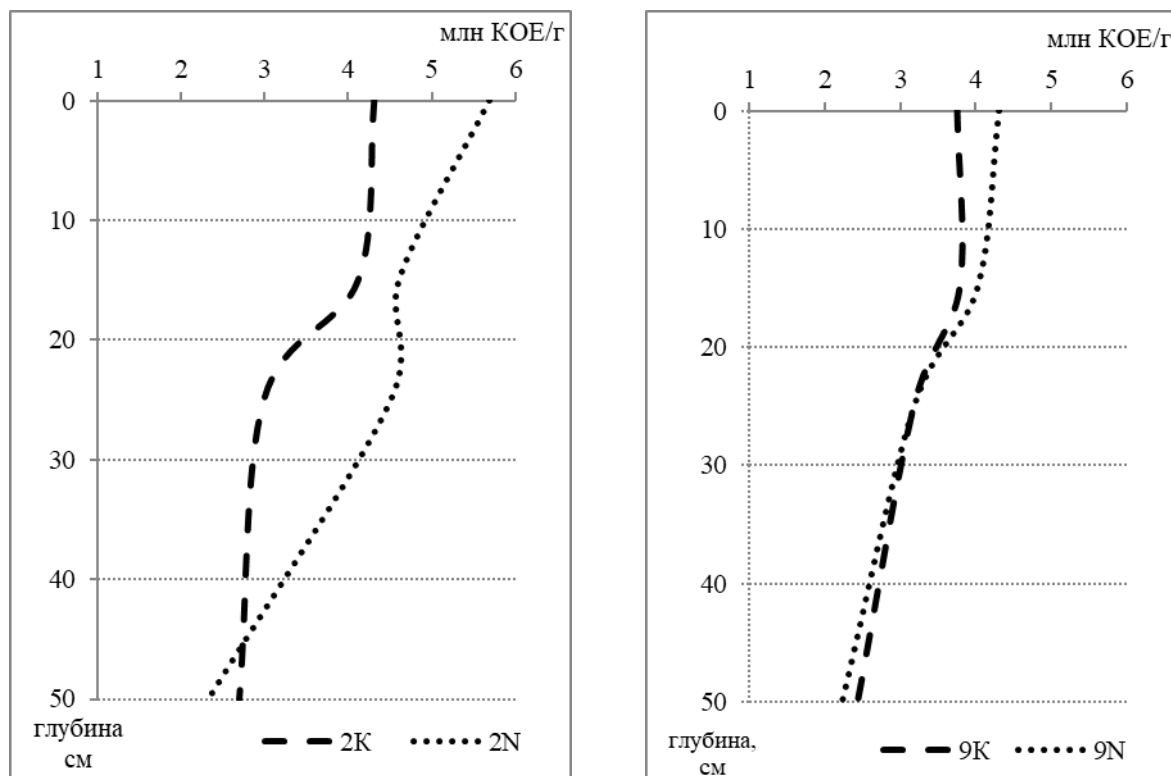


Рис. 81. Распределение аммонифицирующих бактерий по профилю черноземов контрольных (К) и опытных (N) полей (май, 2018 г.)

Численность бактерий-аммонификаторов в июле 2018 г. в верхних горизонтах 0–10 см как контрольных, так и опытных полей была снижена практически в два раза по отношению к их численности в апреле, что связано с высокими температурами. Наибольшее снижение численности бактерий наблюдается на контрольных полях по отношению к опытным. Численность бактерий варьирует в диапазоне 3,0–6,1 млн КОЕ/г почвы на полях с применением технологии No-Till и 2,2–5,1 млн КОЕ/г – с использованием традиционной технологии возделывания сельскохозяйственных культур (табл. 124).

При сравнении численности аммонификаторов верхних почвенных горизонтов (0–10 см) опытных и контрольных полей численность бактерий данного рода на 10–50% выше на опытных полях по сравнению с контрольными, за исключением контрольных полей №1, 7. На опытном поле

№4 численность бактерий-аммонификаторов на составляет 54% от контрольного поля.

Таблица 124. Численность аммонифицирующих бактерий на полях с разными технологиями возделывания с/х культур (июль, 2018 г.)

№ поля	Культура	М, млн КОЕ/г	S ²	S	m	V, %
1К	Яровой ячмень	3,10	2,89	2,08	0,98	7
1N	Нут	2,98	42,89	8,02	3,78	28
2К	Яровой ячмень	2,51	21,56	5,69	2,68	24
2N	Подсолнечник	3,18	56,00	9,17	4,32	31
3К	Озимая пшеница	3,78	59,56	9,45	4,46	26
3N	Подсолнечник	4,27	6,89	3,21	1,52	8
4К	Яровой ячмень	2,17	4,22	2,52	1,19	12
4N	Подсолнечник	3,35	37,56	7,51	3,54	24
5Ny	Кукуруза	6,07	34,89	7,23	3,41	13
6К	Ячмень	3,71	32,67	7,00	3,30	20
6N	Озимый ячмень	3,64	49,56	8,62	4,06	25
7К	Яровой ячмень	2,85	48,67	8,54	4,03	32
7N	Озимая пшеница	2,44	8,67	3,61	1,70	16
8К	Яровой ячмень	3,89	16,22	4,93	2,33	13
8N	Озимая пшеница	3,91	90,89	11,68	5,50	32
9К	Горох	2,54	40,67	7,81	3,68	33
9N	Озимый рапс	3,14	48,22	8,50	4,01	29
10К	Озимая пшеница	5,08	20,22	5,51	2,60	12
10N	Озимый рапс	5,24	6,22	3,06	1,44	6
11К	Озимый рапс	3,38	24,22	6,03	2,84	19
11N	Подсолнечник	4,54	8,22	3,51	1,66	8
12К	Озимая пшеница	2,88	12,67	4,36	2,05	16
12N	Озимый рапс	3,33	13,56	4,51	2,13	14
13N	Лен	3,83	14,00	4,58	2,16	13
14К	Кукуруза	3,04	6,22	3,06	1,44	11
14N	Кукуруза	3,87	24,22	6,03	2,84	17
16N	Кориандр	4,44	28,67	6,56	3,09	16

Варьирование аммонификаторов по вариантам опыта, скорее всего, связано с качеством поступающих растительных остатков, так как для этой группы микроорганизмов очень важное значение имеет количество поступающих в почву органических веществ, богатых белками или аминокислотами.

Наименьшее количество бактерий-аммонификаторов наблюдается на контрольных полях №4 (яровой ячмень) – 2,2 млн КОЕ/г, №2 (яровой ячмень) – 2,5 млн КОЕ/г и №8 (горох) – 2,5 млн КОЕ/г и опытном поле №7 (озимая пшеница) – 2,4 млн КОЕ/г. Наибольшее количество – на опытном поле №5

(кукуруза) – 6,1 млн КОЕ/г. и контрольном поле №10 (озимый рапс) – 5,2 млн КОЕ/г.

Вариационно-статистический анализ численности бактерий- аммонификаторов показал, что численность бактерий значительно варьирует на всех полях, как опытных, так и контрольных, однако на полях с применением технологии No-Till колебания численности бактерий в целом меньше, чем на контрольных полях с традиционной технологией.

Согласно шкале для оценки степени обогащенности почв микроорганизмами (по Звягинцеву, 1978), большинство контрольных полей относятся к бедной и средней степени обогащенности по количеству бактерий на МПА (≥ 2 , 2–5 млн/г), опытные поля – к средней степени обогащенности по количеству бактерий на МПА (2–5 млн/г), за исключением полей №5, 10, которые относятся к богатой степени обогащенности (5–10 млн/г) – поля №5, 10.

Результаты профильного распределения аммонифицирующих бактерий в июле 2018 г. свидетельствует о неравномерном распределении по слоям почвы как контрольных, так и опытных полей (рис. 82). Наблюдается снижение бактерий по профилю с инверсиями в слое 10–20 см. В связи с высокими температурами и разогревом верхнего горизонта, как на опытных, так и на контрольных полях наблюдается увеличение содержания бактерий в слое 10–20 см. Общая численность аммонифицирующих бактерий, распределенных по профилю черноземов опытных полей №2, 9, выше аналогичной в почве контрольных полей.

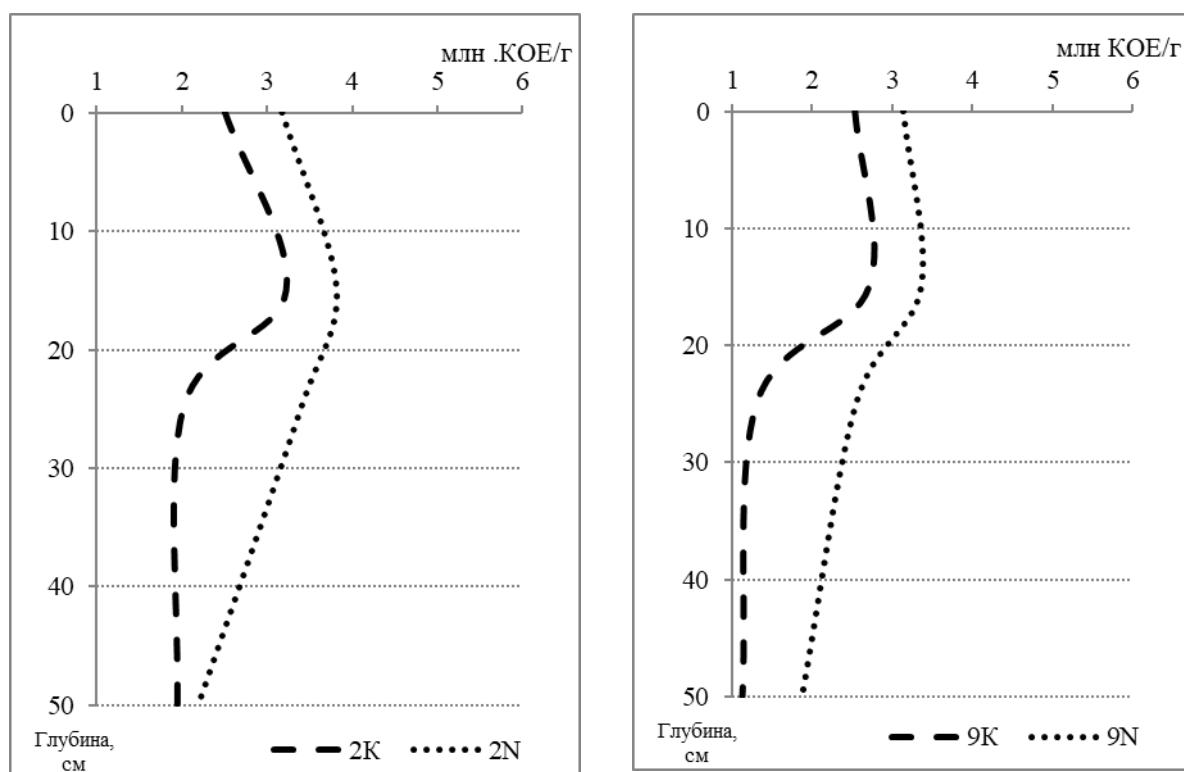


Рис. 82. Распределение аммонифицирующих бактерий по профилю черноземов контрольных (К) и опытных (N) полей (июль, 2018 г.)

Результаты исследований микромицетов в мае 2018 г. показали наибольшее обилие на контрольных полях по сравнению с опытными (табл. 125). В то время как в 2016 году (Акименко и др., 2016) не удалось обнаружить однозначного расхождения между опытными и контрольными полями, в 2017 г. наибольшее обилие микромицетов наблюдалось на контрольных полях (Мокриков и др., 2017). Многие специалисты утверждают, что в пахотных почвах происходит снижение содержания микроскопических грибов, что является одним из наиболее значимых нарушений почвенной биоты. Грибы являются основным разрушителем органического вещества (85 % органического вещества почвы разлагается совместным влиянием грибов и бактерий), и уменьшение их количества и биомассы в пахотных почвах – одна из главных причин уменьшения содержания гумуса в пахотных почвах, утраты почвой структуры, так как основным цементирующим звеном ее являются гуминовые кислоты, которые образуются также при значительном участии грибов.

Таблица 125. Обилие микроскопических грибов на полях с разными технологиями (май, 2018 г.)

№ поля	Культура	М, тыс. КОЕ/г	S ²	S	m	V, %
1К	Яровой ячмень	32,19	24,89	6,11	2,88	21
1N	Нут	37,09	20,22	5,51	2,60	18
2К	Яровой ячмень	40,71	18,67	5,29	2,49	16
2N	Подсолнечник	22,45	6,00	3,00	1,41	15
3К	Озимая пшеница	30,90	44,67	8,19	3,86	30
3N	Подсолнечник	25,82	6,22	3,06	1,44	14
4К	Яровой ячмень	27,66	24,89	6,11	2,88	26
4N	Подсолнечник	32,82	24,00	6,00	2,83	23
5Ny	Кукуруза	50,28	13,56	4,51	2,13	11
6К	Ячмень	42,87	4,22	2,52	1,19	7
6N	Озимый ячмень	37,93	10,89	4,04	1,91	12
7К	Яровой ячмень	23,41	11,56	4,16	1,96	20
7N	Озимая пшеница	23,89	14,00	4,58	2,16	24
8К	Яровой ячмень	37,92	6,89	3,21	1,52	10
8N	Озимая пшеница	30,44	16,67	5,00	2,36	20
9К	Горох	14,93	4,67	2,65	1,25	20
9N	Озимый рапс	26,21	9,56	3,79	1,78	17
10К	Озимая пшеница	20,30	2,89	2,08	0,98	15
10N	Озимый рапс	15,56	6,22	3,06	1,44	24
11К	Озимый рапс	31,19	20,22	5,51	2,60	22
11N	Подсолнечник	30,20	42,67	8,00	3,77	33
12К	Озимая пшеница	18,36	8,67	3,61	1,70	23
12N	Озимый рапс	23,87	16,89	5,03	2,37	26
13N	Лен	31,47	14,00	4,58	2,16	18
14К	Кукуруза	18,46	18,67	5,29	2,49	33
14N	Кукуруза	18,93	6,22	3,06	1,44	20
16N	Кориандр	12,42	8,22	3,51	1,66	36

Разница в вариантах опыта по обилию микроскопических грибов на опытных и контрольных полях связана, скорее всего, с занятостью полей различными сельскохозяйственными культурами. Максимальное обилие микромицетов установлено на опытном поле №5 (с/х культура – кукуруза, технология возделывания No-Till) – 50,3 тыс. КОЕ/г, наименьшая – на опытном поле №16 (кориандр, No-Till) – 12,4 тыс. КОЕ/г и контрольном поле №9 (с/х культура – горох, традиционная технология) – 14,9 тыс. КОЕ/г. На опытных полях с технологий возделывания культур No-Till обилие микромицетов меньше в 1–1,5 раза по сравнению с контрольными полями.

Наибольшее количество микромицетов – по кукурузе, ячменю. Преобладание грибов можно объяснить и особенностями их физиологии: по

сравнению с бактериями грибы отличаются более экономным обменом веществ в сочетании с более высокой биохимической активностью. Относительно высокое содержание этих микроорганизмов на посевах после подсолнечника, кукурузы можно объяснить богатым разнообразием корневых и пожнивных остатков этих культур.

Морфологический анализ колоний показал, что в сапрофитном грибном населении черноземов преобладает *p. Penicillium*, на их долю приходится до 80% от общей численности плесеней. До 15% составляют грибы рода *Aspergillus*. Также представлены роды *Dematium*, *Torula*, *Trichoderma*. Грибы этих родов начинают активное разложение свежих растительных остатков и легко переносят дефицит влаги, но могут активно размножаться только в условиях хорошей аэрации. Таким образом, видно, что уменьшение механической нагрузки на почву не привело к серьезным изменениям ее аэрации.

На контрольных полях наблюдали неравномерное распределение микроскопических грибов по профилю (рис. 83). На большинстве же опытных полей распределение микромицетов по профилю более равномерное, основная доля микроскопических грибов сосредоточена в слое 0–10 см. Это объясняется тем, что механическая обработка почвы приводит к неодинаковому распределению растительных остатков по профилю. При нулевой обработке наибольшее количество корней растений и органических остатков сосредоточено в верхней части пахотного слоя. Поскольку органическое вещество служит для большинства микроорганизмов источником энергии и питательных веществ, при нулевой обработке они концентрируются в верхних слоях, при глубокой – по всему корнеобитаемому слою.

Согласно шкале для оценки степени обогащенности почв микроорганизмами (Звягинцев, 1978), большинство контрольных полей относятся к средней степени обогащенности по количеству микроскопических грибов на Чапеке, тогда как большинство опытных полей – к бедной степени обогащенности.

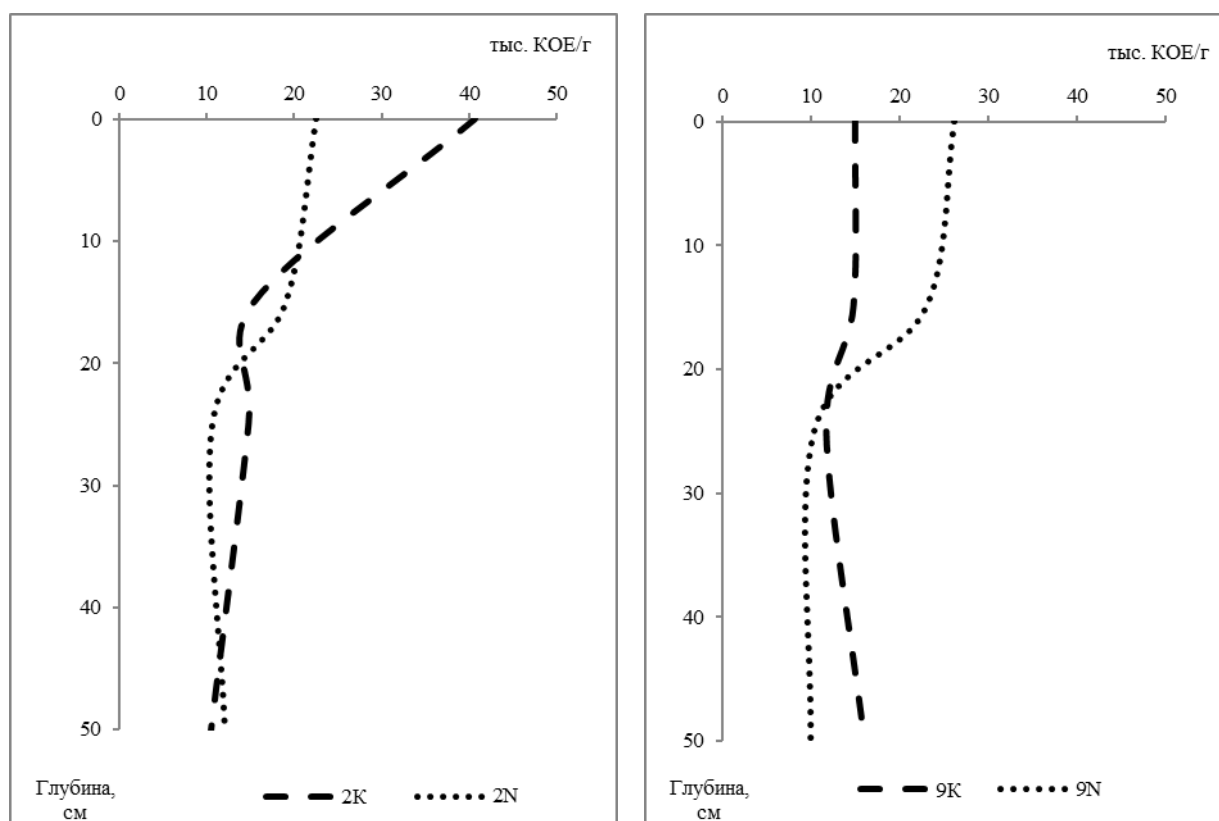


Рис. 83. Распределение микроскопических грибов по профилю черноземов контрольных (К) и опытных (N) полей (май, 2018 г.)

Вариационно-статистический анализ обилия микроскопических грибов показал, что обилие микромицетов значительно варьирует по вариантам опытных и контрольных полей. Наибольший процент вариации наблюдается на контрольном поле №14 (кукуруза) – 33%, опытном поле №11 (подсолнечник) – 33% и контрольном поле №3 (озимая пшеница) – 30%. Наименьший – на опытном поле №5 (кукуруза) – 11% и контрольном поле №6 (ячмень) – 7%.

В июле 2018 г. по обилию микромицетов на контрольных и опытных полях получены неоднозначные результаты. На опытных полях №1, 3, 6, 8, 11, 12 обилие микромицетов верхнего слоя 0–10 см было выше, чем на контрольных полях (от 7% от контроля на опытном поле №11 до 71% на опытном поле №6) (табл. 126), на остальных исследованных полях наблюдали обратную закономерность. Максимальное обилие микроскопических грибов в слое 0–10 см установлено на опытных полях №5 (кукуруза, технология возделывания No-Till) – 34,7 тыс. КОЕ/г и №1 (нут, технология возделывания No-Till) – 33,7 тыс. КОЕ/г, наименьшее – на контрольных полях №6 ячмень, традиционная

технология) – 15,9 тыс. КОЕ/г и поле №12 (с/х культура – озимая пшеница, традиционная технология) – 17,4 тыс. КОЕ/г. Наибольшее количество микромицетов – по кукурузе, нуту, льну. Относительно высокое содержание микроскопических грибов на посевах после кукурузы можно объяснить богатым разнообразием корневых и пожнивных остатков этой культуры.

Таблица 126. Обилие микроскопических грибов на полях с разными технологиями (июль, 2018 г.)

№ поля	Культура	М, тыс. КОЕ/г	S ²	S	m	V, %
1К	Яровой ячмень	31,01	13,56	4,51	2,13	15
1N	Нут	33,66	10,67	4,00	1,89	13
2К	Яровой ячмень	22,58	24,22	6,03	2,84	28
2N	Подсолнечник	20,82	20,22	5,51	2,60	28
3К	Озимая пшеница	20,84	1,56	1,53	0,72	8
3N	Подсолнечник	25,06	21,56	5,69	2,68	24
4К	Яровой ячмень	27,00	38,22	7,57	3,57	30
4N	Подсолнечник	19,38	8,22	3,51	1,66	19
5Ny	Кукуруза	34,66	8,67	3,61	1,70	12
6К	Ячмень	15,90	6,00	3,00	1,41	20
6N	Озимый ячмень	27,23	22,89	5,86	2,76	23
7К	Яровой ячмень	27,46	10,67	4,00	1,89	15
7N	Озимая пшеница	22,30	4,67	2,65	1,25	13
8К	Яровой ячмень	22,96	2,89	2,08	0,98	10
8N	Озимая пшеница	25,62	20,67	5,57	2,62	23
9К	Горох	24,65	34,89	7,23	3,41	31
9N	Озимый рапс	22,56	6,89	3,21	1,52	15
10К	Озимая пшеница	29,11	4,22	2,52	1,19	9
10N	Озимый рапс	20,54	38,22	7,57	3,57	39
11К	Озимый рапс	24,56	14,00	4,58	2,16	20
11N	Подсолнечник	26,25	24,89	6,11	2,88	25
12К	Озимая пшеница	17,43	6,89	3,21	1,52	20
12N	Озимый рапс	25,17	20,22	5,51	2,60	23
13N	Лен	29,47	37,56	7,51	3,54	27
14К	Кукуруза	23,00	8,22	3,51	1,66	16
14N	Кукуруза	22,70	11,56	4,16	1,96	20
16N	Кориандр	18,68	4,22	2,52	1,19	14

Вариационно-статистический анализ обилия микроскопических грибов показал, что обилие микромицетов значительно варьирует в июле 2018 г. по вариантам опытных и контрольных полей. Наибольший процент вариации наблюдается на контрольном поле №9 (горох) – 31%, опытном поле №10

(рапс) – 39% и контрольном поле №4 (яровой ячмень) – 30%. Наименьший – на опытном поле №5 (кукуруза) – 11% и контрольных полях №3, 10 (озимая пшеница) – 8 и 9% соответственно.

На контрольных и опытных полях в июле 2018 г. наблюдается неравномерное распределение микроскопических грибов по профилю (рис. 84).

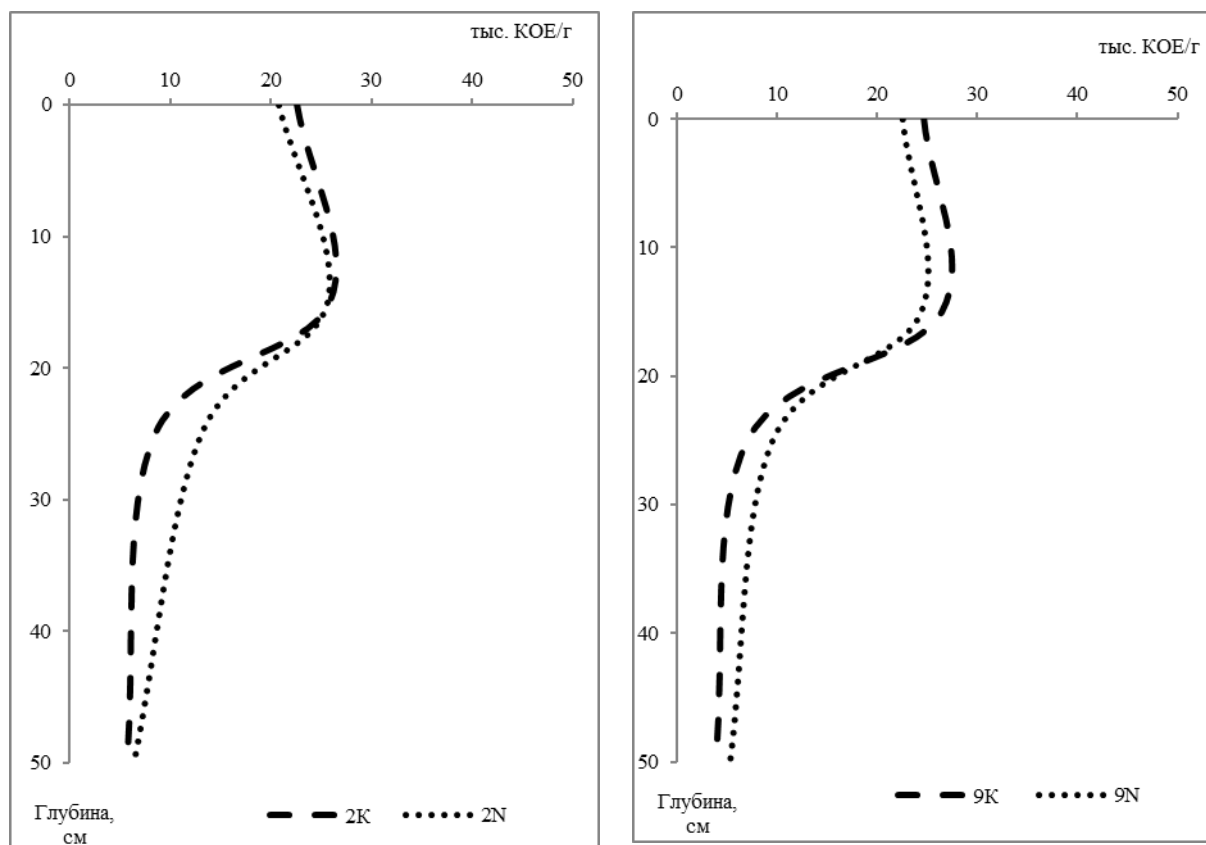


Рис. 84. Распределение микроскопических грибов по профилю черноземов контрольных (К) и опытных (N) полей (июль, 2018 г.)

В слое 10–20 см большее обилие микромицетов как на контрольных, так и на опытных полях, чем в слое 0–10 см. Данная инверсия, скорее всего, связана с высокими температурами в верхнем слое. Начиная с глубины 20 см, наблюдается снижение обилия микромицетов, на контрольных полях снижение более резкое относительно опытных полей. Это объясняется тем, что механическая обработка почвы приводит к неодинаковому распределению растительных остатков по профилю. На контрольных полях №2, 9 обилие микромицетов выше, чем на опытных в слоях 0–10 и 10–20 см, однако в слоях 20–30

см и 40–50 см, наоборот, обилие микромицетов выше, чем на контрольных. Таким образом, уменьшение интенсивности обработки способствует более равномерному распределению микромицетов по слоям почвы.

Видовой и количественный состав микроорганизмов не является постоянной величиной и может колебаться в значительных пределах. На этот показатель влияет целый ряд факторов, в том числе и агротехнических (удобрения, обработка почвы).

На большинстве опытных полей общая численность спор грибов, определенная методом люминесцентной микроскопии в мае 2018 г., выше на 3–23% по сравнению с контрольными. Разница в обилии грибов по вариантам опытных и контрольных полей, скорее всего, связана с занятостью полей различными сельскохозяйственными культурами (табл. 127).

Наибольшее обилие грибов отмечено на опытном поле №5 (кукуруза) – $3,5 \pm 0,5$ млн спор/г ($p < 0,05$) и контрольном поле №10 (озимая пшеница) – $3,8 \pm 0,9$ млн спор/г ($p < 0,05$), наименьшее – на контрольном поле №6 (ячмень) – $2,6 \pm 0,5$ млн спор/г ($p < 0,05$). На большинстве опытных полей общая численность спор грибов, определенная методом люминесцентной микроскопии в июле 2018 г., выше на 3–34% по сравнению с контрольными. Разница в обилии грибов по вариантам опытных и контрольных полей, скорее всего, связана с занятостью полей различными сельскохозяйственными культурами (табл. 128).

Наибольшее обилие грибов отмечено на опытном поле №5 (кукуруза) – $4,6 \pm 0,7$ млн спор/г ($p < 0,05$) и контрольном поле №14 (кукуруза) – $4,4 \pm 0,4$ млн спор/г ($p < 0,05$), наименьшее – на опытном поле №7 (озимая пшеница) – $3,0 \pm 0,04$ млн спор/г ($p < 0,05$) и контрольном поле №7 (яровой ячмень) – $3,1 \pm 0,1$ млн спор/г ($p < 0,05$).

Таблица 127. Общая численность спор грибов на полях с разными технологиями (май, 2018 г.)

№ поля	Культура	M, млн спор/г	S ²	S	m	V, %
1K	Яровой ячмень	2,63	1,32	1,41	0,81	13,46
1N	Нут	3,22	1,23	1,36	0,78	10,62
2K	Яровой ячмень	2,78	0,54	0,90	0,52	8,16
2N	Подсолнечник	2,96	0,03	0,20	0,12	1,71
3K	Озимая пшеница	3,29	0,54	0,90	0,52	6,86
3N	Подсолнечник	3,07	0,04	0,25	0,15	2,06
4K	Яровой ячмень	3,13	0,93	1,18	0,68	9,47
4N	Подсолнечник	2,77	0,08	0,35	0,20	3,18
5Ny	Кукуруза	3,46	0,41	0,79	0,45	5,72
6K	Ячмень	2,61	0,59	0,94	0,54	9,04
6N	Озимый ячмень	3,05	1,07	1,27	0,73	10,45
7K	Яровой ячмень	2,85	0,96	1,20	0,69	10,61
7N	Озимая пшеница	3,09	0,14	0,46	0,27	3,78
8K	Яровой ячмень	2,76	0,06	0,31	0,18	2,84
8N	Озимая пшеница	2,88	0,28	0,65	0,38	5,68
9K	Горох	3,23	2,83	2,06	1,19	16,07
9N	Озимый рапс	3,24	1,94	1,70	0,98	13,23
10K	Озимая пшеница	3,77	1,55	1,53	0,88	10,18
10N	Озимый рапс	3,21	0,10	0,38	0,22	2,96
11K	Озимый рапс	2,96	0,00	0,03	0,02	0,25
11N	Подсолнечник	3,30	2,33	1,87	1,08	14,27
12K	Озимая пшеница	3,05	0,71	1,03	0,59	8,51
12N	Озимый рапс	2,78	0,57	0,93	0,53	8,39
13N	Лен	2,96	0,59	0,94	0,54	8,01
14K	Кукуруза	3,08	0,48	0,85	0,49	6,96
14N	Кукуруза	3,43	1,31	1,40	0,81	10,27
16N	Кориандр	2,74	0,49	0,85	0,49	7,84

Анализ результатов общей численности бактерий в апреле 2018 г. методом люминесцентной микроскопии показал, что на всех исследуемых полях (и опытных и контрольных) численность бактерий верхнего почвенного горизонта не превышает 7 млрд/г. На всех исследуемых опытных полях общая численность бактерий верхнего слоя 0–10 см превышает таковую контрольных полей (табл. 129).

Таблица 128. Общая численность спор грибов на полях с разными технологиями, (июль, 2018 г.)

№ поля	Культура	М, млн спор/г	S ²	S	m	V, %
1K	Яровой ячмень	3,59	1,23	1,36	0,78	9,51
1N	Нут	3,64	1,03	1,25	0,72	8,60
2K	Яровой ячмень	3,43	0,22	0,58	0,33	4,23
2N	Подсолнечник	3,54	0,14	0,45	0,26	3,23
3K	Озимая пшеница	3,77	1,00	1,23	0,71	8,17
3N	Подсолнечник	4,11	0,72	1,04	0,60	6,38
4K	Яровой ячмень	3,30	1,13	1,30	0,75	9,95
4N	Подсолнечник	3,57	0,57	0,93	0,54	6,53
5Ny	Кукуруза	4,58	0,84	1,13	0,65	6,17
6K	Ячмень	3,70	0,11	0,40	0,23	2,73
6N	Озимый ячмень	3,97	1,78	1,64	0,94	10,37
7K	Яровой ячмень	3,13	0,04	0,25	0,15	2,03
7N	Озимая пшеница	3,01	0,00	0,08	0,04	0,64
8K	Яровой ячмень	3,79	2,29	1,85	1,07	12,30
8N	Озимая пшеница	3,18	0,00	0,06	0,03	0,46
9K	Горох	3,13	0,01	0,13	0,07	1,01
9N	Озимый рапс	3,69	0,09	0,38	0,22	2,56
10K	Озимая пшеница	3,48	1,47	1,48	0,86	10,72
10N	Озимый рапс	3,11	0,72	1,04	0,60	8,42
11K	Озимый рапс	3,44	0,72	1,04	0,60	7,62
11N	Подсолнечник	3,54	0,64	0,98	0,57	6,97
12K	Озимая пшеница	3,64	0,19	0,53	0,31	3,70
12N	Озимый рапс	3,80	0,55	0,91	0,53	6,03
13N	Лен	3,29	1,26	1,38	0,79	10,51
14K	Кукуруза	4,40	0,25	0,62	0,36	3,52
14N	Кукуруза	3,48	1,01	1,23	0,71	8,91
16N	Кориандр	3,02	0,06	0,31	0,18	2,55

Самая большая разница в численности бактерий установлена на опытном поле №3 (превышение по отношению к контролю составляет 60%). Большее содержание бактерий в верхнем слое опытных полей связано с тем, что при нулевой обработке наибольшее количество органического вещества (корней растений и органических остатков), необходимого для жизнедеятельности микроорганизмов, сосредоточено в верхней части пахотного слоя: таким образом, создаются более благоприятные условия для функционирования микроорганизмов.

Таблица 129. Общая численность бактерий на полях с разными технологиями (апрель, 2018 г.)

№ поля	Культура	М, млрд/г	S ²	S	m	V, %
1K	Яровой ячмень	4,14	0,30	0,68	0,39	4,10
1N	Нут	5,53	0,22	0,57	0,33	2,59
2K	Яровой ячмень	5,85	0,13	0,45	0,26	1,93
2N	Подсолнечник	6,32	0,16	0,49	0,28	1,96
3K	Озимая пшеница	3,89	0,32	0,69	0,40	4,49
3N	Подсолнечник	6,22	0,94	1,19	0,69	4,81
4K	Яровой ячмень	5,44	1,69	1,59	0,92	7,36
4N	Подсолнечник	6,81	1,09	1,28	0,74	4,72

Наибольшая численность бактерий отмечена на опытном поле №4 (подсолнечник) – $6,8 \pm 0,7$ млрд/г ($p < 0,05$), наименьшая – на контрольном поле №3 (озимая пшеница) – $3,9 \pm 0,4$ млрд/г ($p < 0,05$).

Согласно шкале для оценки степени обогащенности почв микроорганизмами (Звягинцев, 1978), все опытные поля №1, 2, 3, 4 относятся к богато обогащенной по количеству бактерий почвам (5–10 млрд/г), тогда как контрольные поля №1, 3 относятся к средне обогащенной (2–5 млрд).

Наблюдается равномерное распределение бактерий по профилю опытного и контрольного поля №2 (рис. 85), на опытном поле изменение численности бактерий по слоям более выражено.

Анализ результатов общей численности бактерий (май, 2018 г.) методом люминесцентной микроскопии показал, что на всех исследуемых полях (и опытных и контрольных) численность бактерий верхнего почвенного горизонта не превышает 8 млрд/г. По большинству полей опытных и контрольных установлена достоверная разница в численности бактерий верхних горизонтов (табл. 130). Общая численность бактерий верхнего горизонта опытных полей на 20–30% выше, чем таковая на контрольных полях, что связано с технологией обработки почв. При нулевой обработке наибольшее количество органического вещества (корней растений и органических остатков), необходимого для жизнедеятельности микроорганизмов, сосредоточено в верхней части пахотного слоя.

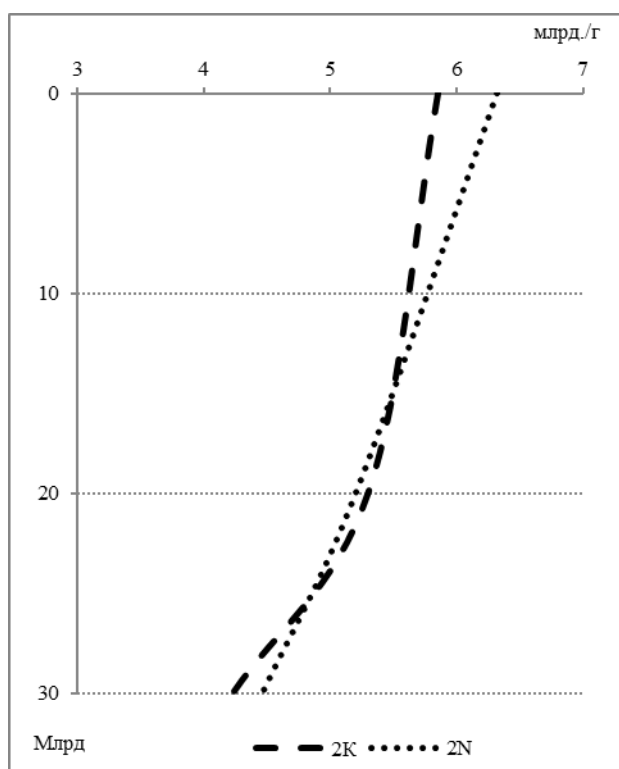


Рис. 85. Распределение общей численности бактерий по профилю черноземов контрольных (К) и опытных (N) полей (апрель 2018 г.)

Наибольшая численность бактерий отмечена на опытном поле №5 (кукуруза) – $7,9 \pm 2,4$ млрд/г ($p < 0,05$), наименьшая численность бактерий – на контрольном поле №3 (озимая пшеница) – $4,7 \pm 1,1$ млрд/г ($p < 0,05$).

Согласно шкале для оценки степени обогащенности почв микроорганизмами (люминесцентно-микроскопический метод) (Звягинцев, 1978), большинство опытных полей относятся к богато обогащенной по количеству бактерий (5–10 млрд/г), тогда как большинство контрольных полей – к средне обогащенной (2–5 млрд/г).

По профилю черноземов наблюдается снижение общей численности бактерий. На опытных полях снижение более выражено, чем на контрольных (рис. 86). На всех исследуемых полях в июле 2018 г. (и опытных и контрольных) численность бактерий верхнего почвенного горизонта не превышает 6 млрд/г. На опытных и контрольных полях установлена достоверная разница в численности бактерий верхних горизонтов (табл. 131). Общая численность бактерий верхнего горизонта опытных полей, за исключением поля №9, выше, чем контрольных полей, что связано с технологией обработки почв. При

нулевой обработке наибольшее количество органического вещества (корней растений и органических остатков), необходимого для жизнедеятельности микроорганизмов, сосредоточено именно в верхней части пахотного слоя.

Таблица 130. Общая численность бактерий (май, 2018 г.)

№ поля	Культура	М, млрд/г	S ²	S	m	V, %
1К	Яровой ячмень	5,10	2,93	2,10	1,21	10,34
1N	Нут	6,51	1,71	1,60	0,92	6,19
2К	Яровой ячмень	6,36	1,32	1,41	0,81	5,58
2N	Подсолнечник	6,82	0,14	0,45	0,26	1,66
3К	Озимая пшеница	4,70	2,30	1,86	1,07	9,96
3N	Подсолнечник	6,67	1,42	1,46	0,84	5,49
4К	Яровой ячмень	5,79	0,88	1,15	0,66	5,00
4N	Подсолнечник	6,94	4,36	2,56	1,48	9,27
5Ny	Кукуруза	7,89	11,83	4,21	2,43	13,43
6К	Ячмень	5,71	0,54	0,90	0,52	3,97
6N	Озимый ячмень	6,00	2,20	1,82	1,05	7,62
7К	Яровой ячмень	4,95	2,17	1,81	1,04	9,17
7N	Озимая пшеница	6,62	13,70	4,53	2,62	17,22
8К	Яровой ячмень	5,15	3,05	2,14	1,23	10,45
8N	Озимая пшеница	5,61	0,01	0,10	0,06	0,45
9К	Горох	6,42	2,36	1,88	1,09	7,37
9N	Озимый рапс	6,58	1,35	1,43	0,82	5,45
10К	Озимая пшеница	6,72	0,78	1,08	0,63	4,06
10N	Озимый рапс	6,05	1,29	1,39	0,80	5,79
11К	Озимый рапс	5,66	0,28	0,64	0,37	2,86
11N	Подсолнечник	6,62	2,10	1,78	1,03	6,75
12К	Озимая пшеница	5,36	0,52	0,88	0,51	4,14
12N	Озимый рапс	6,53	7,89	3,44	1,99	13,25
13N	Лен	6,17	0,64	0,98	0,57	4,00
14К	Кукуруза	5,52	0,90	1,16	0,67	5,28
14N	Кукуруза	6,23	0,34	0,71	0,41	2,86
16N	Кориандр	6,72	11,82	4,21	2,43	15,77

Наибольшая численность бактерий отмечена на опытном поле №5 (кукуруза) – $6,0 \pm 2,1$ млрд/г ($p < 0,05$), наименьшая численность бактерий – на контрольном поле №6 (ячмень) – $4,4 \pm 0,3$ млрд/г ($p < 0,05$).

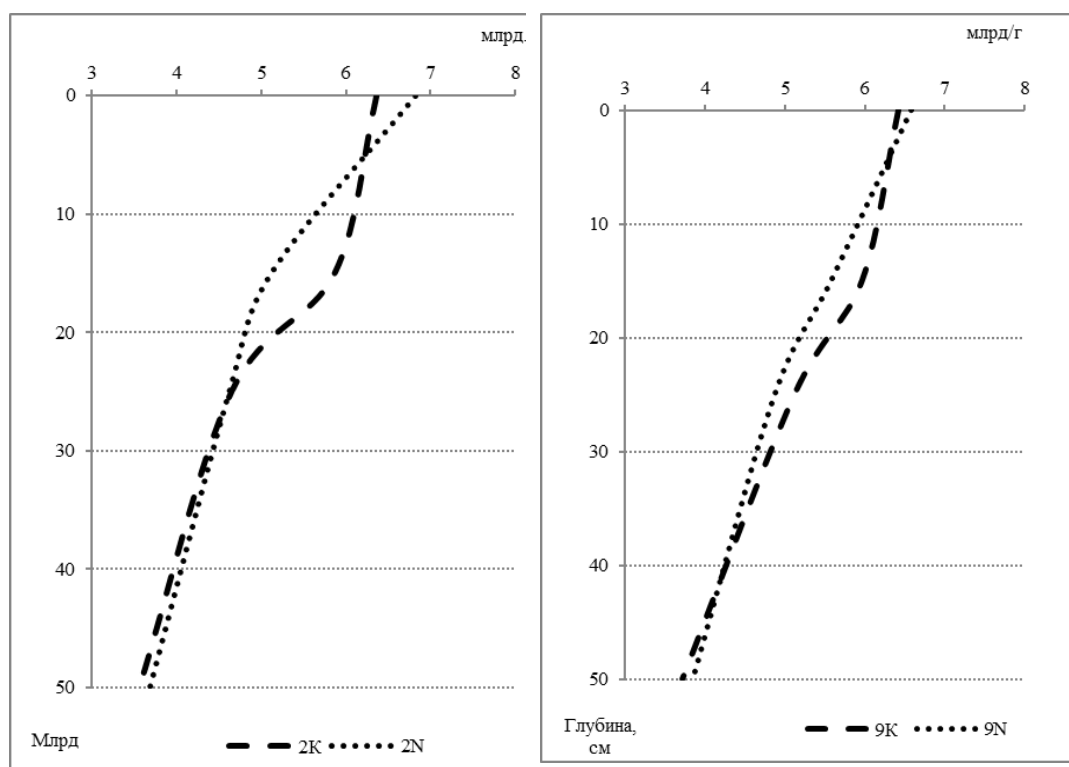


Рис. 86. Распределение общей численности бактерий по профилю черноземов контрольных (К) и опытных (N) полей (май, 2018 г.)

Таблица 131. Общая численность бактерий на полях с разными технологиями (июль, 2018 г.)

№ поля	Культура	М, млрд/г	S ²	S	m	V, %
1К	Яровой ячмень	4,74	1,35	1,43	0,82	7,56
1N	Нут	5,41	0,17	0,51	0,29	2,35
2К	Яровой ячмень	5,08	1,13	1,30	0,75	6,44
2N	Подсолнечник	5,31	4,37	2,56	1,48	12,14
3К	Озимая пшеница	4,98	0,43	0,80	0,46	4,04
3N	Подсолнечник	5,58	2,49	1,93	1,12	8,71
4К	Яровой ячмень	5,06	0,02	0,18	0,10	0,87
4N	Подсолнечник	5,49	4,12	2,48	1,43	11,39
5Ny	Кукуруза	5,95	9,11	3,70	2,13	15,62
6К	Ячмень	4,44	0,13	0,43	0,25	2,45
6N	Озимый ячмень	4,67	8,46	3,56	2,06	19,19
7К	Яровой ячмень	5,19	0,38	0,75	0,44	3,66
7N	Озимая пшеница	5,88	1,64	1,57	0,90	6,71
8К	Яровой ячмень	4,49	0,65	0,98	0,57	5,51
8N	Озимая пшеница	4,62	0,11	0,40	0,23	2,20
9К	Горох	4,97	1,63	1,56	0,90	7,91
9N	Озимый рапс	4,86	0,02	0,16	0,09	0,83
10К	Озимая пшеница	5,55	2,74	2,03	1,17	9,18
10N	Озимый рапс	5,82	0,04	0,26	0,15	1,11
11К	Озимый рапс	5,49	0,13	0,44	0,25	2,00
11N	Подсолнечник	5,84	6,20	3,05	1,76	13,15
12К	Озимая пшеница	5,12	3,70	2,36	1,36	11,58
12N	Озимый рапс	5,32	2,94	2,10	1,21	9,93
13N	Лен	5,66	2,46	1,92	1,11	8,54
14К	Кукуруза	4,75	10,55	3,98	2,30	21,07
14N	Кукуруза	5,70	3,32	2,23	1,29	9,86
16N	Кориандр	5,77	2,47	1,93	1,11	8,39

Согласно шкале для оценки степени обогащенности почв микроорганизмами (Звягинцев, 1978), большинство опытных полей относятся к богато обогащенной по количеству бактерий (5–10 млрд/г), тогда как большинство контрольных полей – к средне обогащенной (2–5 млрд/г). По профилю черноземов наблюдаются вариации распределения общей численности бактерий (рис. 87).

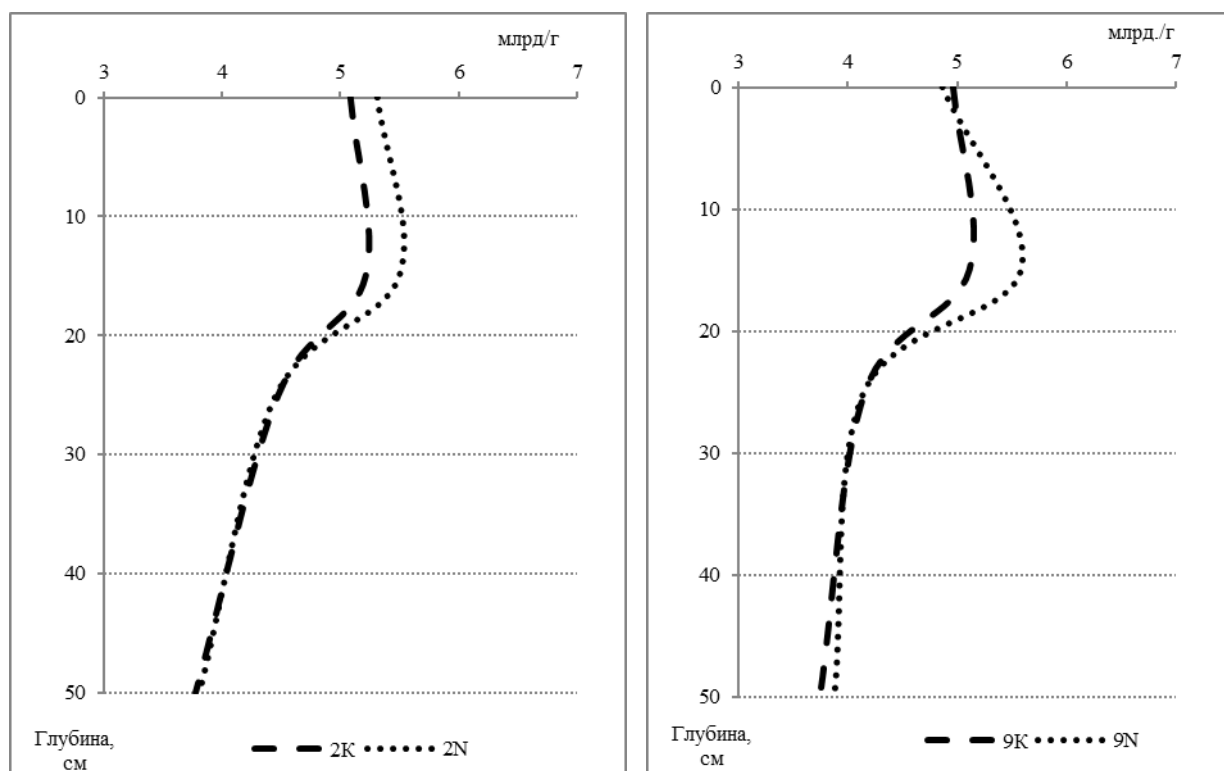


Рис. 87. Распределение общей численности бактерий по профилю черноземов контрольных (К) и опытных (N) полей (июль, 2018 г.)

На опытных и контрольных полях наблюдается неравномерное распределение по слоям, наибольшее количество бактерий сосредоточено в слое 10–20 см, чем в 0–10, что связано с высокими температурами (эффект стерилизации) в июле, когда на поверхности почвы температура, по данным пирометра, могла достигать до 70°C. Однако даже при таких высоких температурах поверхности почвы большее общее количество бактерий в слое 0–10 см наблюдается на опытных полях, нежели на контрольных, что свидетельствует о более благоприятных условиях для функционирования почвенного микробиоценоза в экстремально засушливых условиях.

В сентябре 2018 г. метод люминесцентной микроскопии показал, что на всех исследуемых полях (и опытных и контрольных) численность бактерий верхнего почвенного горизонта не превышает 5,5 млрд/г. На всех исследуемых опытных полях общая численность бактерий верхнего слоя 0–10 см превышает таковую контрольных полей (табл. 132). Самая большая разница в численности бактерий установлена на опытном поле №6 (превышение по отношению к контролю составляет 24%). Большее содержание бактерий в верхнем слое опытных полей связано с тем, что при нулевой обработке наибольшее количество органического вещества (корней растений и органических остатков), необходимого для жизнедеятельности микроорганизмов, сосредоточено в верхней части пахотного слоя: таким образом, создаются более благоприятные условия для функционирования микроорганизмов.

Таблица 132. Общая численность бактерий на полях с разными технологиями (сентябрь, 2018 г.)

№ поля	Культура	М, млрд/г	S ²	S	m	V, %
1К	Яровой ячмень	4,78	0,57	0,93	0,53	4,87
1N	Нут	5,00	1,00	1,22	0,71	6,14
2К	Яровой ячмень	5,15	2,22	1,82	1,05	8,90
2N	Подсолнечник	5,42	0,49	0,86	0,50	4,00
3К	Озимая пшеница	4,24	0,96	1,20	0,69	7,13
3N	Подсолнечник	5,25	2,14	1,79	1,03	8,58
4К	Яровой ячмень	5,04	0,23	0,58	0,34	2,91
4N	Подсолнечник	5,30	0,02	0,19	0,11	0,90

Наибольшая численность бактерий отмечена на опытном поле №2 (подсолнечник) – $5,4 \pm 0,5$ млрд/г ($p < 0,05$), наименьшая численность бактерий – на контрольном поле №3 (озимая пшеница) – $4,2 \pm 0,7$ млрд/г ($p < 0,05$).

Согласно шкале для оценки степени обогащенности почв микроорганизмами (Звягинцев, 1978), опытные поля №1, 3 и опытные и контрольные поля №2, 4 относятся к богато обогащенной по количеству бактерий почвам (5–10 млрд/г), остальные исследованные контрольные поля относятся к средне обогащенной (2–5 млрд/г).

Наблюдается равномерное распределение бактерий по профилю опытного поля по слоям №2, в отличие от контрольного поля (рис. 88).

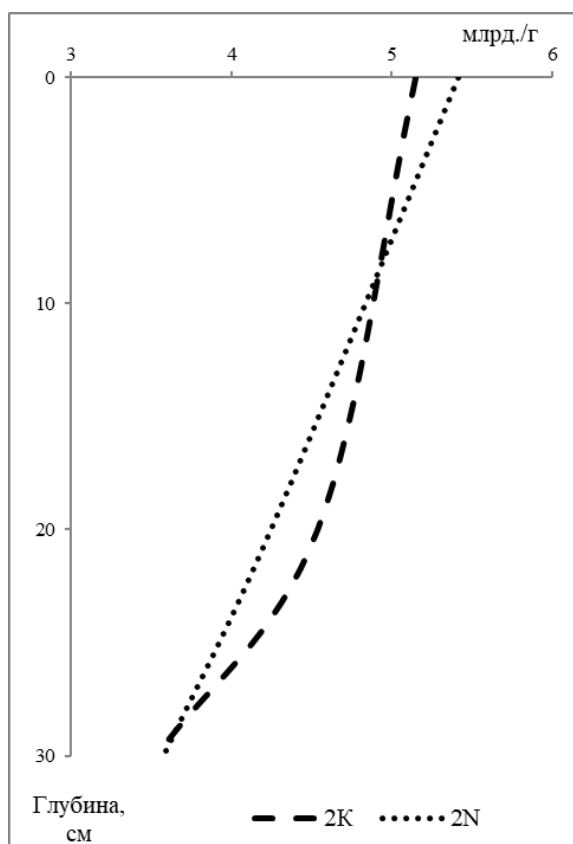


Рис. 88. Распределение общей численности бактерий по профилю черноземов контрольных (К) и опытных (N) полей (сентябрь, 2018 г.)

На всех исследуемых полях (и опытных и контрольных) в ноябре 2018 г. численность бактерий верхнего почвенного горизонта не превышает 5 млрд/г. На большинстве опытных полей общая численность бактерий верхнего слоя 0–10 см превышает таковую контрольных полей (табл. 133). Самая большая разница в численности бактерий установлена на опытном поле №1 (превышение по отношению к контролю составляет 13%).

Наибольшая численность бактерий отмечена на контрольном поле №2 (яровой ячмень) – $4,7 \pm 0,7$ млрд/г ($p < 0,05$) и опытном поле №2 (подсолнечник) – $4,6 \pm 0,2$ млрд/г ($p < 0,05$), наименьшая численность бактерий – на контрольном поле №1 (яровой ячмень) – $3,9 \pm 0,5$ млрд/г ($p < 0,05$).

Согласно шкале для оценки степени обогащенности почв микроорганизмами (Звягинцев, 1978), все исследованные в ноябре 2018 г. опытные и

контрольные поля относятся к средне обогащенной по количеству микроорганизмов почве (2–5 млрд/г).

Наблюдается более выраженное распределение бактерий по слоям профиля опытного поля №2, в отличие от контрольного поля (рис. 89).

Таблица 133. Общая численность бактерий на полях с разными технологиями (ноябрь, 2018 г.)

№ поля	Культура	M, млрд/г	S ²	S	m	V, %
1К	Яровой ячмень	3,87	0,41	0,79	0,45	5,11
1N	Нут	4,37	0,12	0,43	0,25	2,45
2К	Яровой ячмень	4,72	1,01	1,23	0,71	6,57
2N	Подсолнечник	4,57	0,04	0,25	0,15	1,39
3К	Озимая пшеница	4,13	0,48	0,85	0,49	5,18
3N	Подсолнечник	4,37	0,48	0,85	0,49	4,89
4К	Яровой ячмень	4,21	0,18	0,52	0,30	3,12
4N	Подсолнечник	4,50	1,55	1,53	0,88	8,54

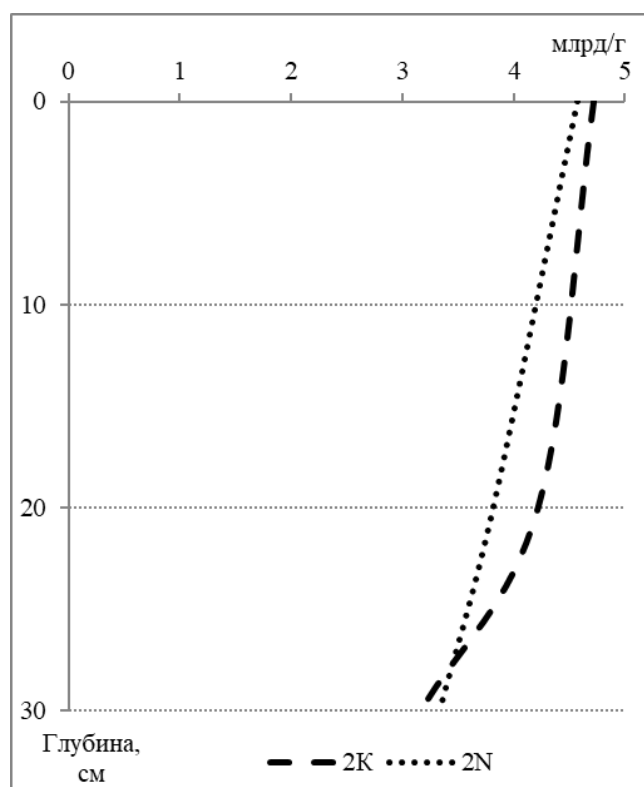


Рис. 89. Распределение общей численности бактерий по профилю черноземов контрольных (К) и опытных (N) полей, ноябрь 2018 г.

Изучение динамики общей численности бактерий по срокам определения позволило выявить волнообразный характер изменения общей численности бактерий (рис. 90, 91).

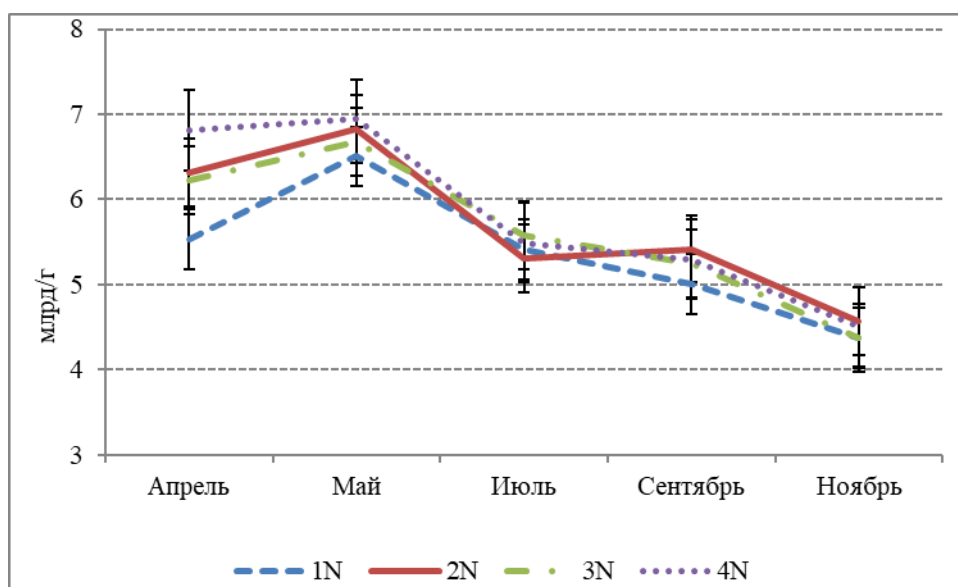


Рис. 90. Динамика изменения общей численности бактерий чернозема NT в верхнем слое (0–10 см) по срокам исследований, 2018 г.

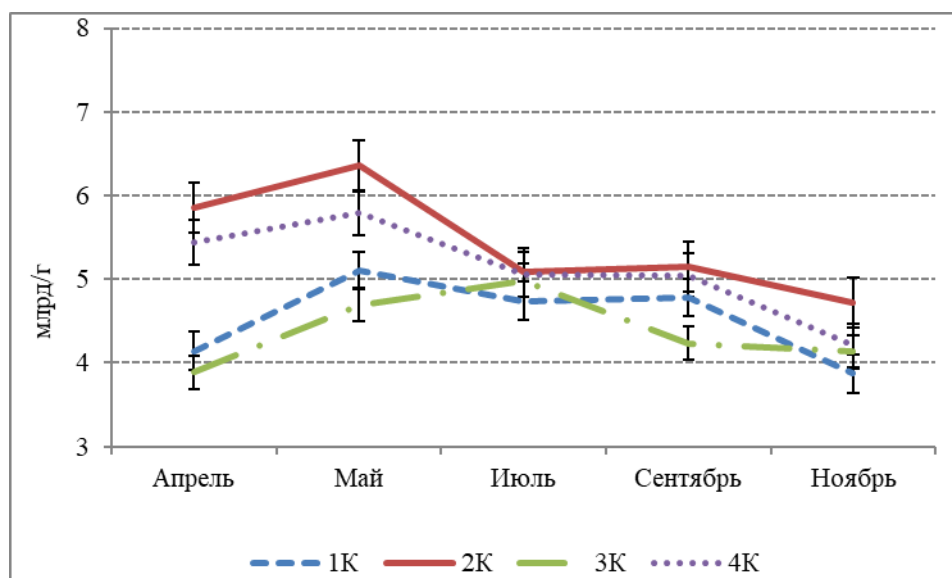


Рис. 91. Динамика изменения общей численности бактерий чернозема ST в верхнем слое (0–10 см) по срокам исследований, 2018 г.

Данные колебания численности, скорее всего, связаны со складывающимися метеорологическими условиями. Наименьшая численность бактерий большинства контрольных и опытных полей наблюдается на пятом (холодный и влажный) сроке исследований (ноябрь). Максимальная численность бактерий – на втором (теплый и влажный, май) сроке исследований. В июле (жаркий и сухой) общая численность бактерий верхнего слоя 0–10 см оказалась меньше, чем в апреле, что, скорее всего, связано с высокими температурами в

июле 2018 г., когда, по данным пирометра, температура поверхности почвы могла достигать 60–70°C. Можно предположить, что в результате резкого отклонения температуры и влажности от оптимальных параметров данный микробный комплекс в июле находился в зоне стресса, то есть наблюдались количественные изменения численности и временное угнетение жизнедеятельности микроорганизмов. В сентябре (прохладный и влажный срок исследований) общая численность бактерий меньше, чем в июле.

На опытных полях наблюдается более плавное изменение общей численности бактерий на протяжении всех сроков исследований относительно контрольных полей, на которых наблюдаются значительные инверсии резкого увеличения и снижения численности бактерий по разным вариантам опыта. Кроме того, общая численность бактерий верхнего слоя опытных полей на всех сроках исследований превышает таковую контрольных в 1–1,5 раза. Разница в общей численности бактерий верхних горизонтов опытных полей может быть связана с качеством поступающих растительных остатков.

Анализ корреляционных данных в мае и июле 2018 г. по исследованным микробиологическим показателям (верхний слой 0–10 см) с температурой, влажностью полевой и весовой показал слабую и среднюю корреляцию между исследуемыми показателями (рис. 92). Положительные средние корреляционные связи в мае 2018 г. отмечены между влажностью (весовой) и следующими микробиологическими показателями: численностью аммонифицирующих бактерий ($r=0,62$), общей численностью бактерий ($r=0,61$) и обилием грибов, определенным методом люминесцентного микроскопирования ($r=0,48$), для которых также отмечена положительная средняя корреляция с влажностью полевой ($r=0,45$).

Май, 2018 г.	Аммонифицирующие бактерии	Микроскопические грибы	Обилие спор грибов	Общая численность бактерий	t, пирометр	Влажность полевая
Аммонифицирующие бактерии						
Микроскопические грибы	–0,02					
Обилие спор грибов	0,49	–0,18				
Общая численность бактерий	0,59	0,08	0,34			
t, пирометр	0,11	–0,05	0,12	0,21		
Влажность полевая, влагомер	0,37	–0,02	0,09	0,45	0,26	
Влажность весовая	0,62	–0,10	0,48	0,61	–0,05	0,30

Июль, 2018г.	Аммонифицирующие бактерии	Микроскопические грибы	Обилие спор грибов	Общая численность бактерий	t, пирометр	Влажность полевая
Аммонифицирующие бактерии						
Микроскопические грибы	0,19					
Обилие спор грибов	0,30	0,24				
Общая численность бактерий	0,42	0,18	–0,17			
t, пирометр	–0,10	0,02	0,15	0,11		
Влажность полевая	0,33	0,14	0,29	0,49	0,04	
Влажность весовая	0,57	0,31	0,44	0,36	–0,11	0,65

Рис. 92. Корреляционная матрица микробиологических показателей, температуры и влажности (май, июль, 2018 г.)

Аналогичная тенденция корреляционных зависимостей установлена и в июле 2018 г. Положительные средние и слабые корреляционные связи отмечены между влажностью (весовой) и численностью аммонифицирующих бактерий ($r=0,57$), общей численностью бактерий ($r=0,36$) и обилием грибов, определенным методом люминесцентного микроскопирования ($r=0,39$), для которых также отмечена положительная средняя корреляция с влажностью полевой ($r=0,49$).

Выявлена средняя положительная корреляционная зависимость между общей численностью бактерий (люминесцентная микроскопия) и влажностью весовой по срокам исследований: апрель ($r=0,72$) и ноябрь 2018 г. ($r=0,71$), в мае и июле корреляции с влажностью (по верхним горизонтам) не

установлено, в сентябре наблюдается слабая обратная корреляционная связь ($r = -0,33$).

Корреляционная связь между гидротермическими показателями и ферментативной активностью черноземов Ростовской области при использовании различных агротехнологий также была установлена в работе Т.В. Минниковой с соавторами (2018).

Изменение ИПБС черноземов при применении различных систем земледелия

ИПБС рассчитывали по следующим показателям: численность аммонификаторов, микроскопических грибов, актиномицетов, бактерий *p. Azotobacter*, олигонитрофильных бактерий, общая численность бактерий.

Анализ данных ИПБС (май, 2018 г.) показал, что наименьшая микробиологическая активность наблюдается на большинстве контрольных полей по сравнению с опытными (рис. 93, 94).

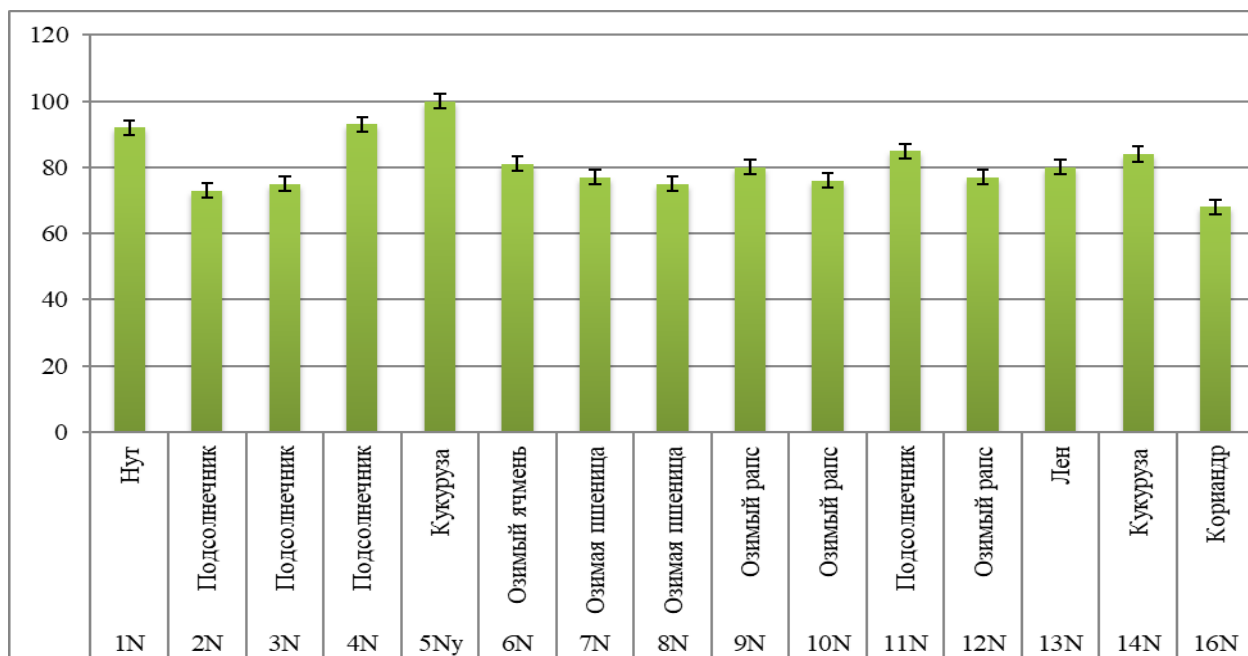


Рис. 93. ИПБС (%) на полях с No-Till, май, 2018 г.

Наибольшая микробиологическая активность отмечена на опытных полях № 1, 4, 5 под посевами кукурузы, подсолнечника и нута (92, 93 и 100%, соответственно), в то время как микробиологическая активность контрольных

ниже на 15 и 20 %. Наименьший процент ИПБС наблюдается на контрольном поле №9 (горох) – 71% и опытном поле №16 (кориандр) – 68%.

Диапазон колебаний ИПБС в мае 2018 г. составил 71–89% для контрольных полей и 68–100% для опытных полей.

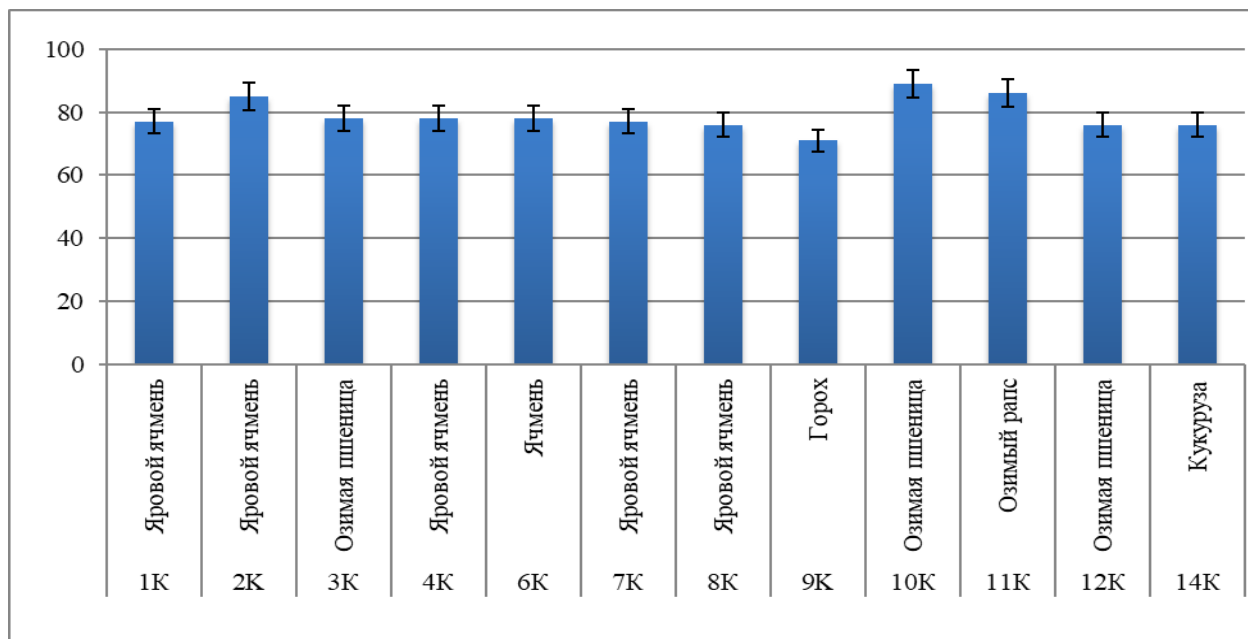


Рис. 94. ИПБС (%) на контрольных полях ST, май, 2018 г.

Анализ данных ИПБС (июль, 2018 г.) показал, что наименьшая микробиологическая активность наблюдается на большинстве контрольных полей по сравнению с опытными (рис. 95, 96). Наибольшая микробиологическая активность отмечена на опытных полях № 5 под посевами кукурузы (100%), №3 (подсолнечник) – 82%, №11 (подсолнечник) – 81%, в то время как микробиологическая активность контрольных полей ниже 75%, за исключением контрольного поля №10 (озимая пшеница) – 84%. Наименьший процент ИПБС наблюдается на контрольных полях №9 (горох), №6 (ячмень) – по 66%, №2 (яровой ячмень) – 67% и опытном поле №7 (озимая пшеница) – 67%.

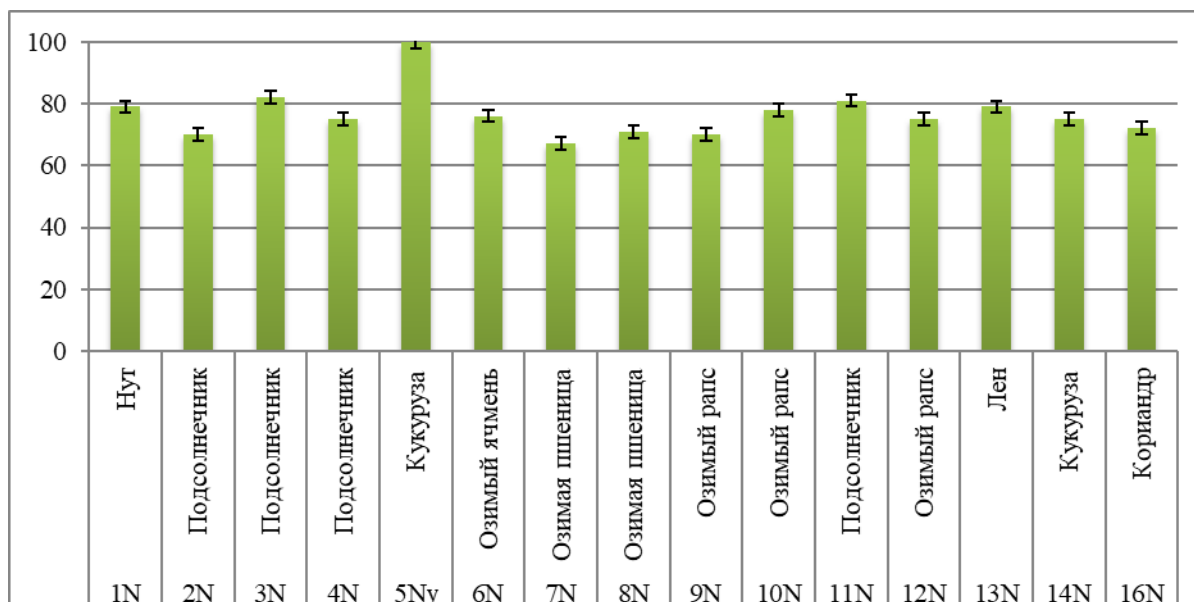


Рис. 95. ИПБС (%) на полях с технологией No-Till, июль, 2018 г.

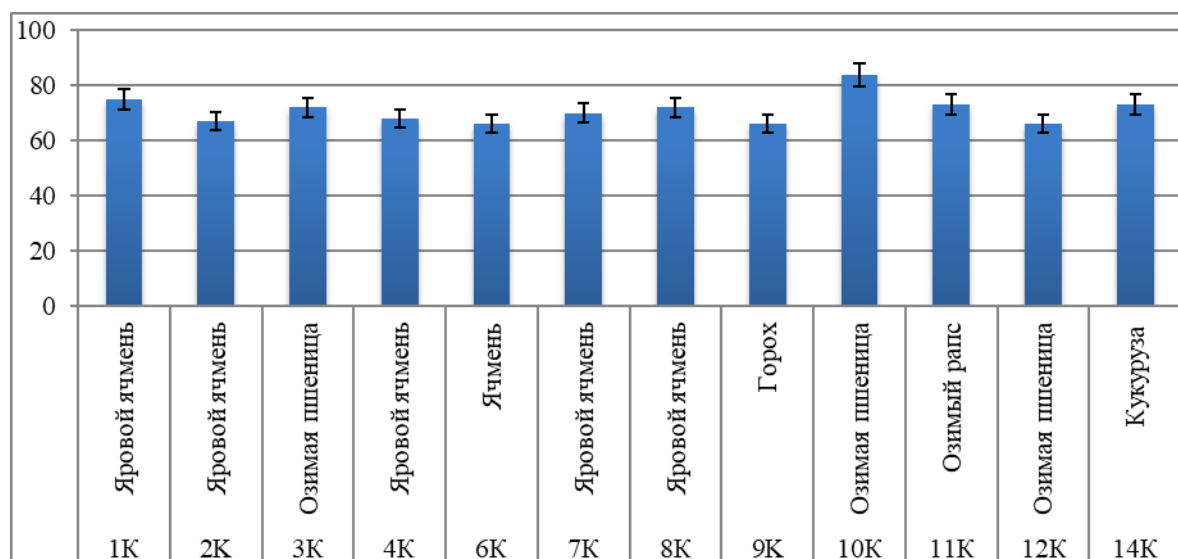


Рис. 96. ИПБС (%) на контрольных полях ST, июль, 2018 г.

Диапазон колебаний ИПБС в июле 2018 г. составил 67–84% для контрольных полей и 66–100% для опытных полей.

Влияние прямого посева на почвенную мезофауну

На большей части полей (участки №1–4, 6, 7, 9, 11, 12) количество таксонов больше на контрольных полях, на участке 8 количество таксонов на контрольных и опытных полях одинаково, а на участках №10 и 14 количество таксонов на контрольных участках больше (рис. 97). Таким образом, гораздо чаще количество таксонов было больше на контрольных участках.

На большей части контрольных полей (участки №1–4, 6, 7, 9, 11, 12, 14) обилие герпетобионтов выше (рис. 98). На остальных участках (№8, 10) обилие герпетобионтов выше на опытных полях. Таким образом, существенно чаще обилие было выше на контрольных участках.

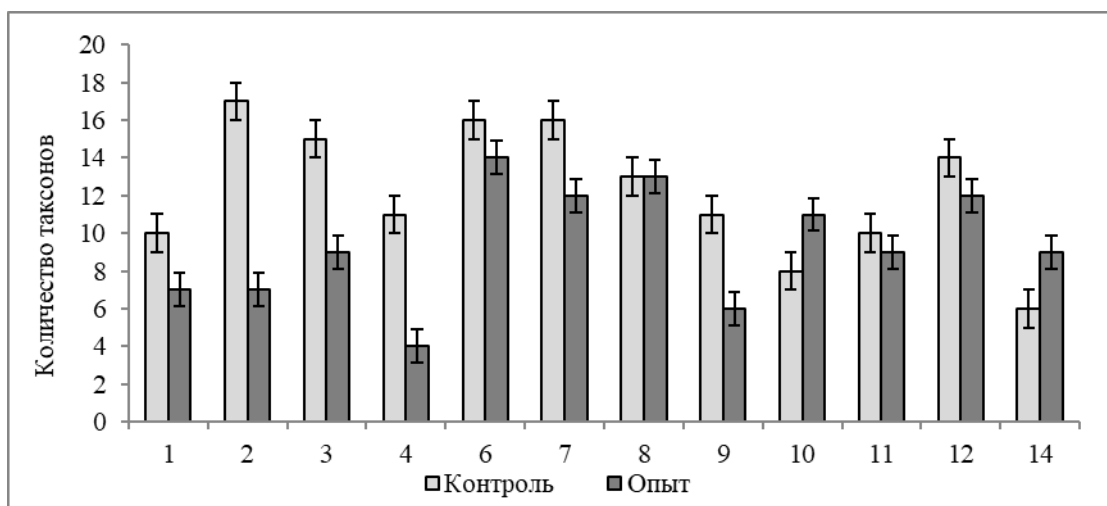


Рис. 97. Количество таксонов герпетобионтов, май, 2018 г.

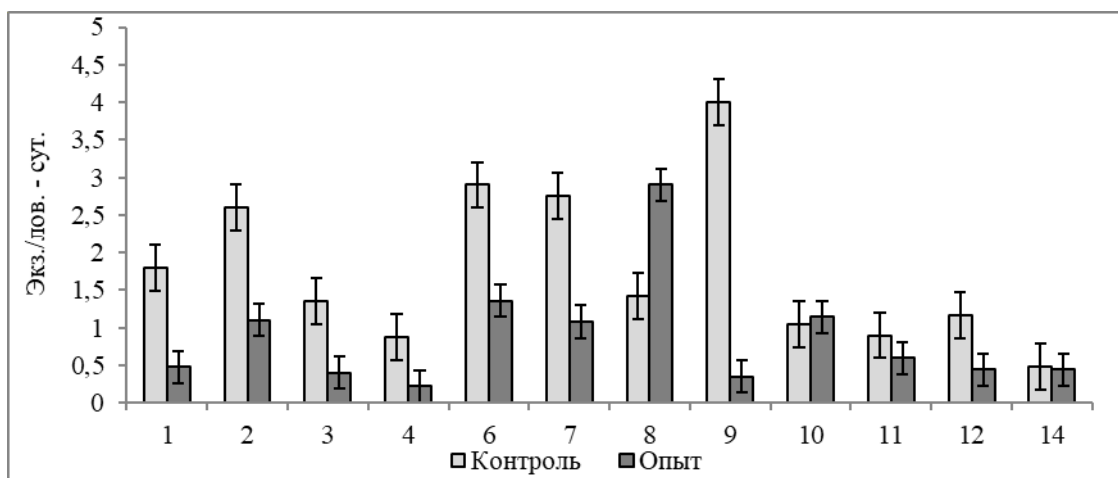


Рис. 98. Обилие герпетобионтов, май, 2018 г.

В июле практически на половине участков (№1, 3, 6) количество таксонов на контрольных и опытных полях одинаково. На участках №2 и 4 количество таксонов больше на опытных полях, а на участке №7 – на контрольном поле. Таким образом, учитывая весь срок, можно сказать, что по количеству таксонов опытные и контрольные поля практически равны. На большей части контрольных полей (участки №1, 2, 6, 7) обилие герпетобионтов выше. На остальных участках (№3, 4) обилие герпетобионтов выше на опытных полях (незначительно).

В сентябре на большей части опытных полей (участки №1 и 4) обилие герпетобионтов выше. На участке №1 обилие герпетобионтов выше на контрольном поле. Однако, учитывая незначительную разницу в обилии на полях второго участка, можно сказать, что обилие на контрольных и опытных полях одинаково. На участках №1, 2, 7, 8 и 12 количество таксонов геобионтов одинаково. На участках №4, 6, 9 и 10 количество таксонов больше на контрольных полях, а на участках №3 и 11 – на опытных. Таким образом, учитывая весь срок, можно сказать, что по количеству таксонов опытные и контрольные поля практически равны.

Численность мелких почвенных беспозвоночных животных – микроартропод в исследуемых почвах значительно варьировала (табл. 134).

Значительную роль в составе микроартропод играют ногохвостки (40% от общей численности), панцирные (28%) и гамазовые (26%) клещи. При этом на разных полях доля той или иной группы микроартропод значительно изменялась. В почвах полей с прямым посевом численность микроартропод, в целом, была выше, чем в почвах полей с традиционной обработкой. В среднем в верхнем 5-сантиметровом слое почв агроценозов прямого посева обитает 28,2 тыс. экз./м², в то время как в контрольных почвах численность микроартропод составила 12,9 тыс./м².

Таблица 134. Численность микроартропод (тыс./м²) в верхнем слое (0–5см) почв агроценозов с разным способом обработки почв (май, 2018 г.)

Поля	Панцирные клещи	Гамазовые клещи	Акароидно-тромб. клещи	Ногохвостки	Прочие б/п	Итого
Д1	3,4	2,4	0	4,2	0,2	10,2
К1	0,3	0	0	0	0	0,3
Д2	0	2,0	0	0	0	2,0
К2	7,5	2,3	0	1,8	0,5	12,0
Д5	12,5	6,3	0	2,3	0	21,0
К5	1,0	0	0	0	0	1,0
Д6	12,3	1,0	0	0,8	12,3	26,3
К6	2,3	22,3	0	0,5	–	25,0
Д7	9,8	8,3	0	14,8	4,3	37,0
К7	20,5	2,0	0	1,8	0,2	24,5
Д8	7,3	6,8	0	13,5	4,3	31,8
К8	9,5	16,8	0	6,3	0,3	32,8
Д9	9,4	3,6	0	21,4	0,4	34,8
К9	1,0	4,2	0,2	5,0	0,2	10,6
Д10	4,0	8,0	0	32,0	0,8	44,8
К10	4,6	2,4	0	1,2	0,4	8,6
Д11	2,5	7,0	0	10,5	0,3	20,3
К11	1,0	2,8	0	1,5	0,5	5,8
Д13	5,4	5,0	2	48,6	1,4	62,4
Д14	5,2	6,0	0	8,4	0,6	20,2
К 14	2,0	6,6	0	0,4	0	9,0

Влияния технологии прямого посева на свойства почв ИП Мокрикова В.И.

Результаты исследования содержания общего гумуса в исследованных почвах представлены в таблице 135. Значения данного показателя варьируют от 2,5 % до 6,3 %. Максимальное значение отмечено в июле на участках Д7 и Д12. Выявлено, что исследуемые почвы относятся к разным видам черноземов: малогумусным с градацией 4–6%, слабогумусированным с содержанием гумуса менее 4%. При этом расположенные рядом поля с разной обработкой могут быть отнесены к разным видам, например, в мае контрольный вариант (К8) отнесен к слабогумусированному чернозему (3,7%), а расположенное в 50 м опытное поле с прямым посевом (Д8) – к малогумусному чернозему (4,7%).

Таблица 135. Содержание гумуса в слое 0–10 см (%), 2018 г.

Поле	Апрель	Май	Июль	Сентябрь	Ноябрь
Д1	3,6	3,5	2,7	3,3	3,3
К1	2,9	2,5	3,0	2,6	3,1
Д2	4,2	4,4	4,5	4,2	4,0
К2	4,0	4,0	3,3	4,2	4,3
Д3	4,0	4,4	4,5	4,8	4,6
К3	3,9	4,7	4,7	4,3	3,9
Д4	4,0	3,9	3,9	4,3	3,8
К4	4,5	4,1	5,3	4,5	4,6
Д5	не опр.	3,9	4,6	не опр.	не опр.
Д6	не опр.	4,8	4,3	не опр.	не опр.
К6	не опр.	4,7	4,3	не опр.	не опр.
Д7	не опр.	5,5	6,3	не опр.	не опр.
К7	не опр.	5,7	5,6	не опр.	не опр.
Д8	не опр.	4,7	4,9	не опр.	не опр.
К8	не опр.	3,7	3,9	не опр.	не опр.
Д9	не опр.	5,2	4,8	не опр.	не опр.
К9	не опр.	4,6	4,4	не опр.	не опр.
Д10	не опр.	4,3	4,5	не опр.	не опр.
К10	не опр.	4,7	5,0	не опр.	не опр.
Д11	не опр.	4,4	3,9	не опр.	не опр.
К11	не опр.	4,8	3,7	не опр.	не опр.
Д12	не опр.	5,2	6,3	не опр.	не опр.
К12	не опр.	4,6	4,6	не опр.	не опр.
Д13	не опр.	5,4	5,6	не опр.	не опр.
Д14	не опр.	3,0	4,3	не опр.	не опр.
К14	не опр.	4,5	4,4	не опр.	не опр.
Д16	не опр.	4,5	4,2	не опр.	не опр.

При сравнении содержания гумуса верхних почвенных горизонтов (0–10 см), на которых произрастает одна и та же культура, четких закономерностей не выявлено. Можно отметить, что под культурами гороха, кориандра, льна данный показатель варьировал незначительно в период май-июль. Почва одного участка в течение сезона может значительно варьировать по содержанию гумуса. В работе Е.В. Даденко с соавторами (2014) отмечено, что содержание органического вещества снижается в апреле–мае и затем, немного повысившись, остается одинаковым на протяжении летне-осеннего периода. В наших исследованиях содержание гумуса слабо варьировало в течение срока наблюдения (Д2, Д4, Д5у, Д6, К7, Д8, К8 и т. д.). На некоторых участках наблюдалось пониженное содержание гумуса во второй срок наблюдения в мае (варианты К1, К4, Д7, Д12, Д14). Это связано с повышенной влажностью почвы с интенсивными минерализационными процессами вследствие высокой

биологической активности. При этом преобладают процессы минерализации гумуса в почвах. В сухие месяцы содержание гумуса было на более высоком уровне, что связано с аккумуляцией органического вещества и его консервацией вследствие сухости почвы и консервации при этом биологической активности. А в некоторых случаях отмечено повышенное содержание гумуса в мае по сравнению с другими сроками наблюдения (К2, Д6, К11). Различия в сезонной динамике гумуса связаны как с погодными особенностями, так и с видом почвы, выращиваемой культуры и типа обработки земель.

При сравнении опытных участков с контрольными наблюдали как повышение содержания общего гумуса, так и снижение. В большинстве случаев изменения недостоверны. Достоверные отличия отмечены на участке № 1 в апреле, мае, сентябре; на участках №2, №4 в июле; на участке № 8 в оба месяца исследования; на участке № 12 в июле, а на 14-м участке, наоборот, только в мае.

В некоторых случаях (варианты № 10) на содержание гумуса могли повлиять эрозионные процессы, распространенные здесь ранее ввиду ощутимых уклонов к линейным потяжинам и ложбинам. Однако на длинном эрозионно-опасном склоне на смытых почвах участка №1 прямой посев существенно ослабил эрозионное разрушение и повысил содержание гумуса по сравнению с участком традиционной отвальной вспашки.

Как показывают литературные данные (Soane et al., 2012; Mangalassery et al., 2015), при прямом посеве содержание органического вещества возрастает по сравнению с традиционной и минимальной системами обработки. Это связывают с уменьшением воздействия на почвы после прекращения избыточного турбирования при вспашке и других видах обработки почвы.

Также большую роль играет формирование мульчирующего слоя на поверхности почвы из растительных остатков после уборки основной продукции. Сохранение мульчи на поверхности почвы улучшает свойства почвы и увеличивает ее устойчивость к эрозийным процессам. Как ранее было

отмечено, это достигается за счет повышения биологической активности почвы, улучшения экологического состояния и гидротермических условий.

При исследовании сезонных изменений содержания гумуса на участке №9 было отмечено, что отличие между контрольным и опытным участком сильнее в мае с глубины 20–30 см и составляет 60–90% (рис. 99). На участке №2 отличия между контрольным и опытным полями незначительные по всей глубине, исключение составляет образец на глубине 0–10 см в июле.

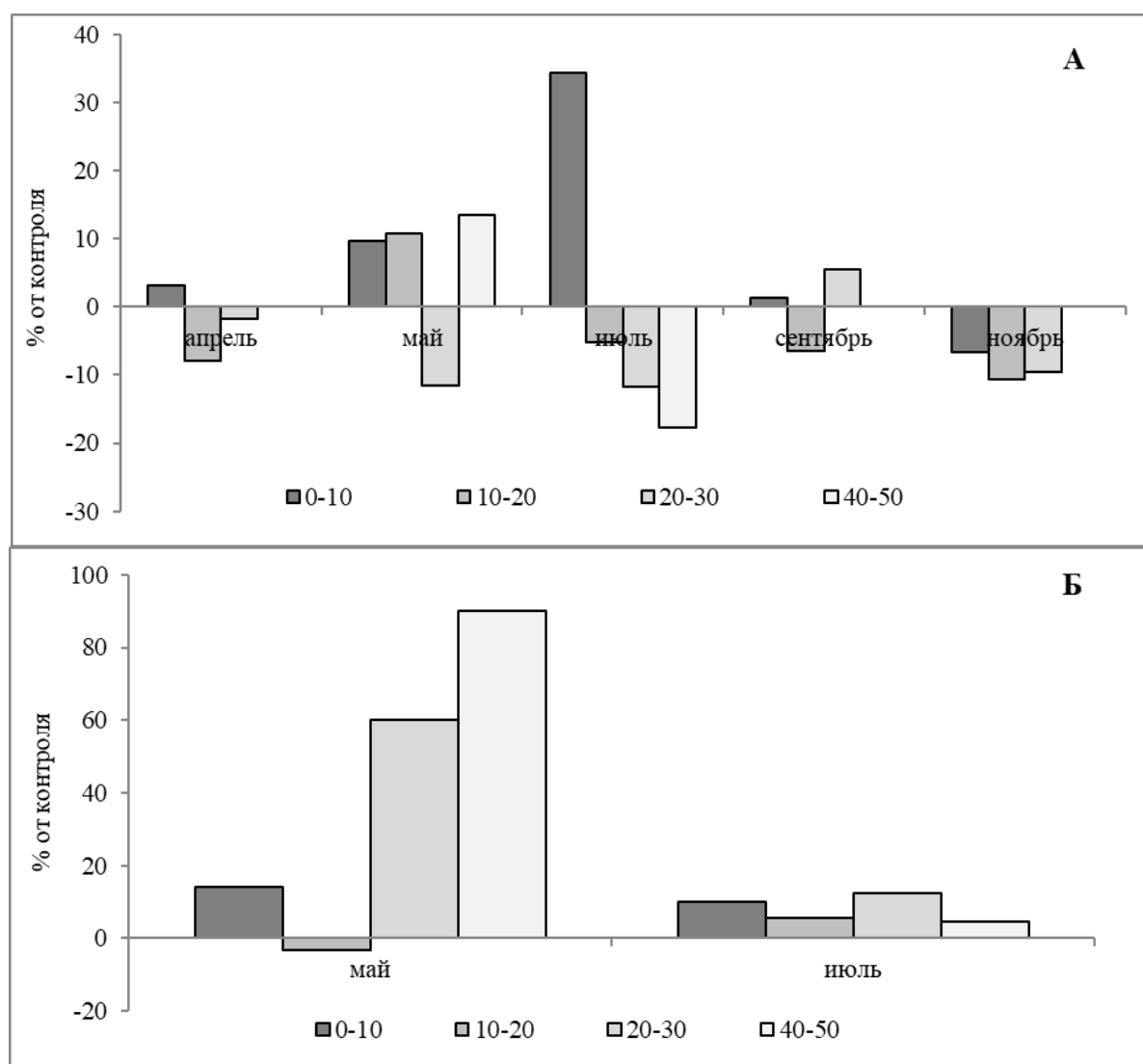


Рис. 99. Динамика сезонного изменения содержания гумуса в вариантах с прямым посевом (в процентах от контрольных участков), №2 (А) и №9 (Б) участки исследования

Исследования показали достаточно высокое варьирование содержания активного углерода от 484 до 1211 мг С/кг почвы (табл.136). Все

исследованные участки наблюдения можно поделить на четыре группы: с низким, средним, высоким и очень высоким содержанием активного углерода в зависимости от месяца исследования. На всех исследованных участках независимо от культуры происходит снижение содержания активного углерода в июле по сравнению с маем, причем на многих полях данный показатель уменьшился почти в 2 раза. Максимальное снижение активности наблюдалось на полях К2 (яровой ячмень), К6 (ячмень), Д12 (озимый рапс), Д13 (лен).

Таблица 136. Содержание активного углерода в слое 0-10 см (мг/кг), 2018 г.

Участок	Апрель	Май	Июль	Сентябрь	Ноябрь
Д1	590	664	580	610	608
К1	618	688	514	507	545
Д2	636	604	580	555	612
К2	582	1211	663	547	558
Д3	630	737	568	582	639
К3	569	738	577	525	540
Д4	560	818	577	610	518
К4	599	961	549	540	580
Д5	не опр.	755	617	не опр.	не опр.
Д6	не опр.	938	522	не опр.	не опр.
К6	не опр.	1155	572	не опр.	не опр.
Д7	не опр.	963	675	не опр.	не опр.
К7	не опр.	684	562	не опр.	не опр.
Д8	не опр.	846	524	не опр.	не опр.
К8	не опр.	680	524	не опр.	не опр.
Д9	не опр.	953	568	не опр.	не опр.
К9	не опр.	678	642	не опр.	не опр.
Д10	не опр.	867	587	не опр.	не опр.
К10	не опр.	881	578	не опр.	не опр.
Д11	не опр.	833	553	не опр.	не опр.
К11	не опр.	855	546	не опр.	не опр.
Д12	не опр.	1023	580	не опр.	не опр.
К12	не опр.	851	560	не опр.	не опр.
Д13	не опр.	1196	524	не опр.	не опр.
Д14	не опр.	792	484	не опр.	не опр.
К14	не опр.	851	523	не опр.	не опр.
Д16	не опр.	954	534	не опр.	не опр.

Примечание: Д– опытные поля, технология No-Till; К – контрольные поля, традиционная технология.

При сравнении опытных участков с контрольными наблюдали как уменьшение, так и увеличение содержания активного углерода. В большинстве

случаев изменения недостоверны. Достоверные отличия отмечены только в мае на участках №2, 7, 9 ($p<0,01$) и № 8, 12 ($p<0,05$).

При исследовании сезонных изменений активного углерода на участках №2 и 9 существенных отличий не отмечено между опытными и контрольными участками, кроме мая (рис. 100). В мае на глубине 0–10 см на участке №9 отмечено повышение активности на 40%, а на участке №2 – уменьшение на 50%.

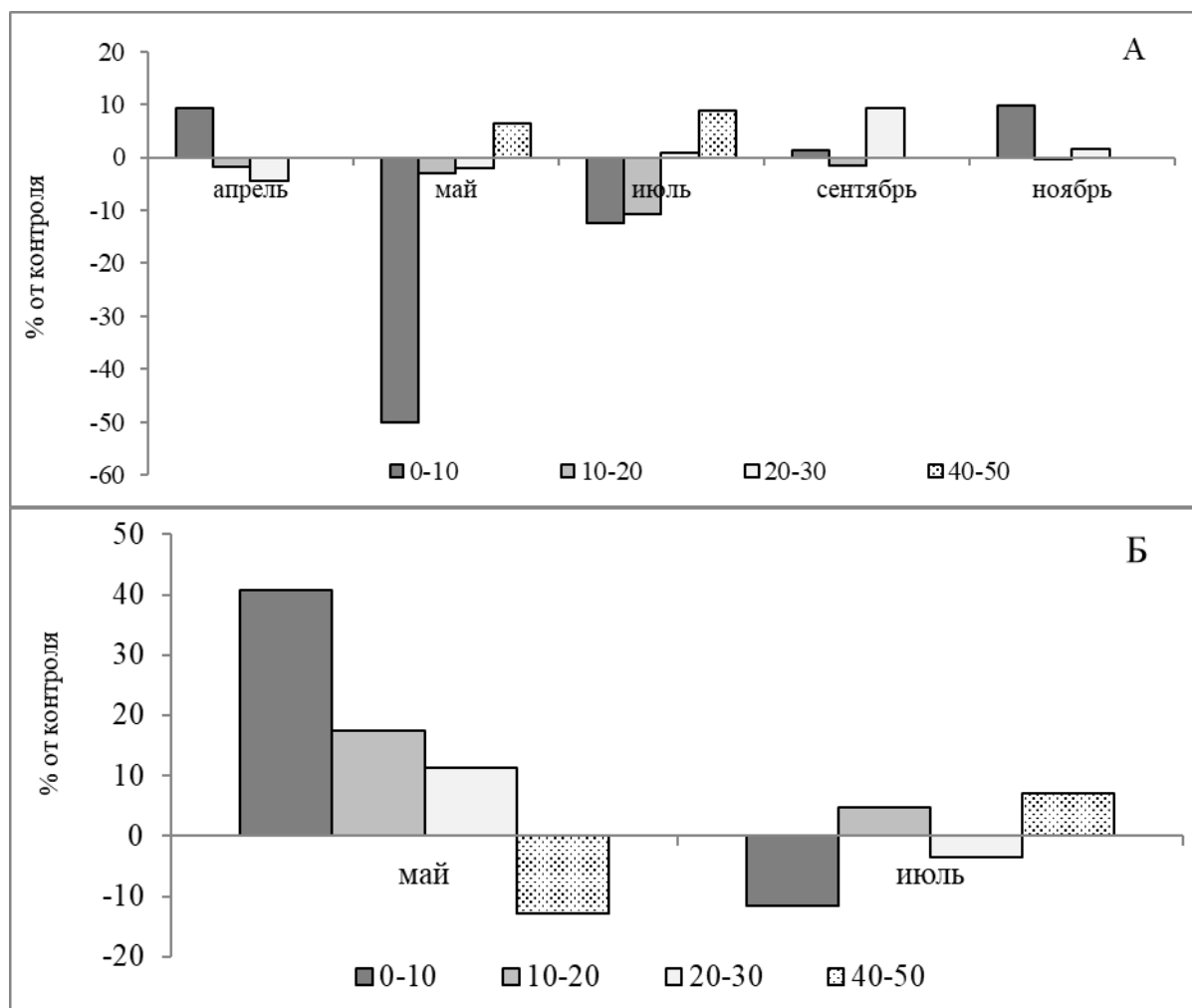


Рис. 100. Динамика сезонного изменения содержания активного углерода в вариантах с прямым посевом (в процентах от контрольных участков), №2 (А) и №9 (Б) участки исследования

В результате исследований в поверхностных горизонтах почвы (0–10 см) концентрации карбонатов кальция либо не выявлено, либо выявлено, но не в высоких концентрациях. Данный показатель на исследованных участках в поверхностных горизонтах варьировал от 0,3 до 5,7%.

Биологические свойства почв ИП Мокрикова В.И.

Результаты исследования по изучению дыхания почв ИП Мокрикова В.И. показали незначительное варьирование данного показателя (табл. 137). Как видно из полученных данных, показатель варьирует от 0,7 до 4,3 мг $\text{CO}_2/10\text{г/сут}$, что говорит об очень слабой активности почв. Минимальное значение данного показателя отмечено в мае для участков Д2, Д7. В мае и июле дыхание почв находилось на одном уровне, а в апреле и сентябре наблюдалось его повышение. На некоторых участках в сентябре дыхание почв выше почти в 2 раза по сравнению с летними месяцами.

Таблица 137. Дыхание почв (потенциальное), мг $\text{CO}_2/10\text{ г/сут}$.

Участок	Апрель	Май	Июль	Сентябрь	Ноябрь
Д1	1,6	1,4	1,3	3,6	1,5
К1	3,0	0,8	1,4	3,2	1,4
Д2	2,4	0,7	1,6	3,3	3,3
К2	2,6	1,5	1,5	4,3	2,2
Д3	2,2	1,3	1,4	4,2	1,9
К3	2,4	0,7	1,5	3,5	1,9
Д4	2,3	1,6	1,3	2,5	2,5
К4	1,4	1,4	1,6	4,0	2,3
Д5	не опр.	1,2	2,2	не опр.	не опр.
Д6	не опр.	1,0	1,7	не опр.	не опр.
К6	не опр.	1,4	1,9	не опр.	не опр.
Д7	не опр.	0,7	1,9	не опр.	не опр.
К7	не опр.	0,9	1,6	не опр.	не опр.
Д8	не опр.	1,2	1,4	не опр.	не опр.
К8	не опр.	1,3	1,4	не опр.	не опр.
Д9	не опр.	1,3	1,9	не опр.	не опр.
К9	не опр.	1,4	1,4	не опр.	не опр.
Д10	не опр.	1,1	1,6	не опр.	не опр.
К10	не опр.	1,3	2,1	не опр.	не опр.
Д11	не опр.	1,6	1,6	не опр.	не опр.
К11	не опр.	1,5	1,5	не опр.	не опр.
Д12	не опр.	0,9	1,9	не опр.	не опр.
К12	не опр.	1,5	1,3	не опр.	не опр.
Д13	не опр.	1,6	1,8	не опр.	не опр.
Д14	не опр.	1,5	1,5	не опр.	не опр.
К14	не опр.	1,2	1,3	не опр.	не опр.
Д16	не опр.	1,2	1,2	не опр.	не опр.

Происходит как уменьшение, так и увеличение дыхания при прямом посеве по сравнению с традиционной обработкой почвы. Даже на одном участке исследования закономерности меняются в зависимости от месяца

исследования. Максимальные отличия наблюдаются на участках №1 и 3 в мае и на участке №4 в апреле, где происходит повышение данного показателя на 83%, 73% и 63% соответственно.

При профильном рассмотрении изменения дыхания почвы на участке №2 четких закономерностей не выявлено. На некоторых участках наблюдается увеличение данного показателя с глубиной, что может быть связано с нагревом верхних горизонтов (рис. 101).

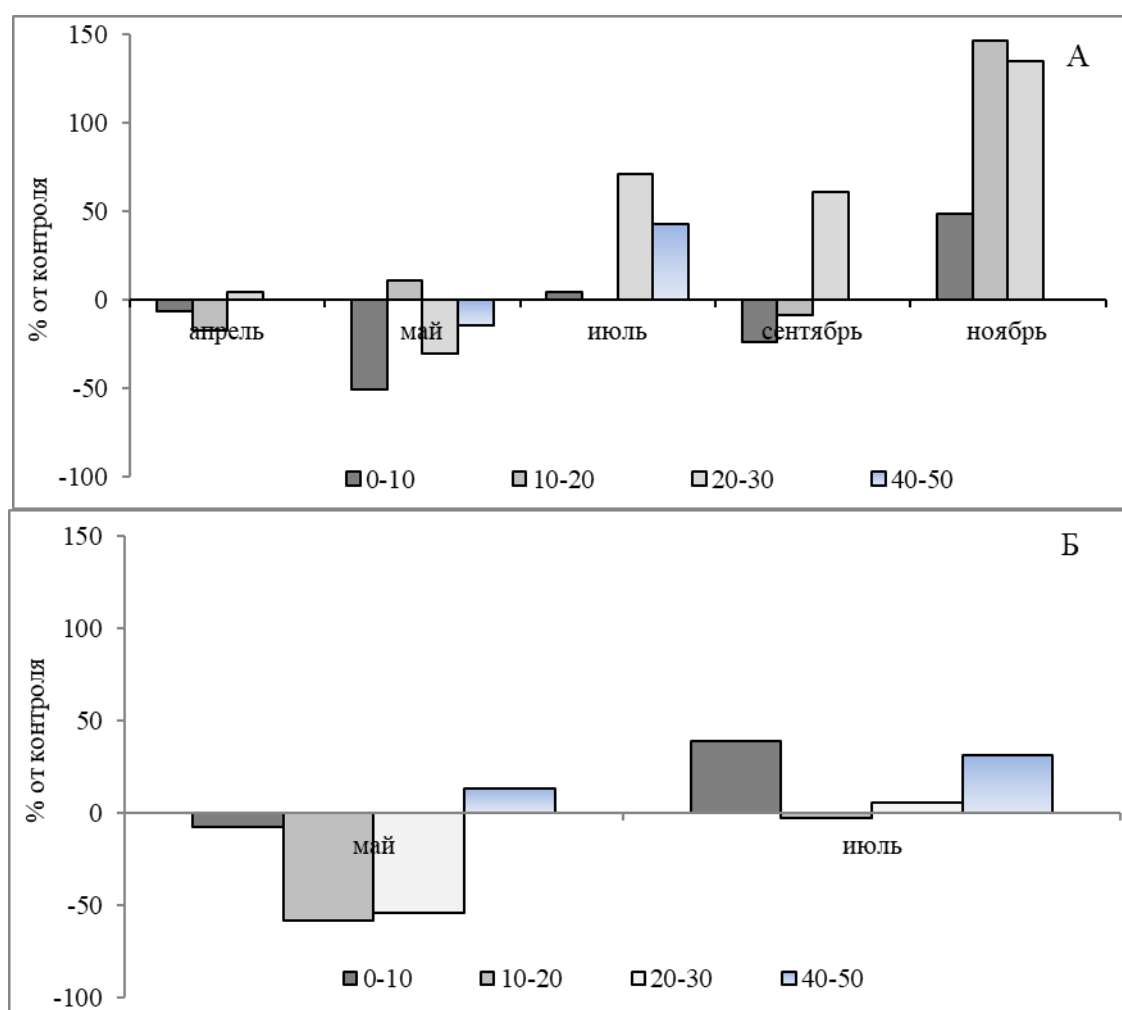


Рис. 101. Динамика сезонного изменения дыхания почвы в вариантах с прямым посевом (в процентах от контрольных участков), №2 (А) и №9 (Б) участки исследования

Активность каталазы на исследованных участках варьировала от 5,8 до 33,7 мл O_2 /г/мин (табл. 138).

Таблица 138. Активность каталазы в почвах ИП Мокрикова В.И., мл О₂/г/мин

Участок	Апрель	Май	Июль	Сентябрь	Ноябрь
Д1	23,2	17,8	11,0	10,4	9,8
К1	15,4	17,9	9,3	11,5	7,2
Д2	25,2	16,3	10,6	10,7	8,9
К2	28,8	22,3	13,0	15,1	11,1
Д3	21,2	15,9	10,5	12,2	8,6
К3	30,4	22,7	12,7	14,2	10,4
Д4	27,5	18,9	10,6	11,0	8,8
К4	33,7	21,4	13,2	12,9	9,6
Д5	не опр.	17,0	9,8	не опр.	не опр.
Д6	не опр.	12,2	9,8	не опр.	не опр.
К6	не опр.	15,1	11,8	не опр.	не опр.
Д7	не опр.	16,8	9,8	не опр.	не опр.
К7	не опр.	15,4	11,9	не опр.	не опр.
Д8	не опр.	11,8	10,0	не опр.	не опр.
К8	не опр.	19,4	14,9	не опр.	не опр.
Д9	не опр.	10,6	10,3	не опр.	не опр.
К9	не опр.	20,1	15,5	не опр.	не опр.
Д10	не опр.	17,5	11,8	не опр.	не опр.
К10	не опр.	13,3	11,9	не опр.	не опр.
Д11	не опр.	13,1	11,9	не опр.	не опр.
К11	не опр.	17,4	10,6	не опр.	не опр.
Д12	не опр.	11,1	5,8	не опр.	не опр.
К12	не опр.	16,7	12,2	не опр.	не опр.
Д13	не опр.	13,6	9,5	не опр.	не опр.
Д14	не опр.	20,7	9,2	не опр.	не опр.
К14	не опр.	21,8	13,1	не опр.	не опр.
Д16	не опр.	20,8	12,1	не опр.	не опр.

По шкале Д.Г. Звягинцева, для оценки ферментативной активности почв все участки можно отнести к богатой почве по активности каталазы во все сроки исследования, кроме июля, где на участке Д12 происходит снижение данного показателя до 5,8 мл О₂/г/мин (средне обогащенные почвы). В июле происходит снижение активности каталазы почти в 2 раза на всех исследованных участках. При сравнении участков №1–4 можно отметить, что активность каталазы выше в апреле и в мае, чем в остальные месяцы исследования. При сравнении опытных полей с традиционной обработкой наблюдается снижение активности каталазы, исключение составляют несколько участков в разные сроки исследования. Повышение активности данного фермента достоверно только на участке №1 в апреле и ноябре ($p < 0,01$).

При исследовании сезонных изменений активности каталазы на участках №2 и 9 отмечено снижение данного показателя на опытных участках по сравнению с контрольными по всему профилю (рис. 102).

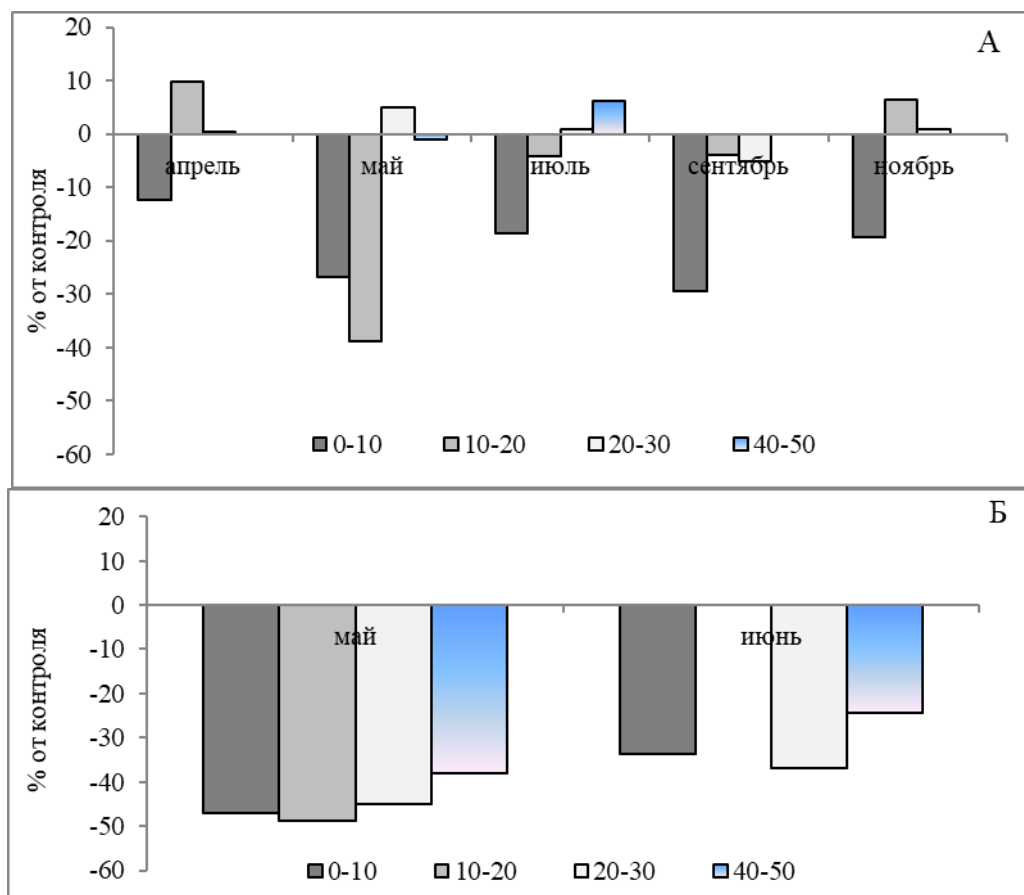


Рис. 102. Динамика сезонного изменения активности каталазы в вариантах с прямым посевом (в процентах от контрольных участков), №2 (А) и №9 (Б) участки исследования

Максимальные отличия отмечены на участке №9, где снижение данного показателя достигает 49%. Также можно отметить, что активность каталазы ниже в июле на всех участках исследования по сравнению с другими месяцами.

Активность дегидрогеназ на исследованных участках варьировала от 8,2 до 60,1 мг ТФФ/10г/сут (табл. 139). По шкале Д.Г. Звягинцева для оценки ферментативной активности почв все участки можно поделить на две группы: богатая (10–30 мг ТФФ) и очень богатая (>30 мг ТФФ), только участок Д8 в июле относится к средне обогащенной почве. В июле также происходит снижение активности дегидрогеназы в 2–2,5 раза по сравнению с маем.

Таблица 139. Активность дегидрогеназ, мг ТФФ/10г/сут

Участок	Апрель	Май	Июль	Сентябрь	Ноябрь
Д1	23	39	10	17	24
К1	28	22	20	19	20
Д2	27	31	16	14	19
К2	20	38	17	20	17
Д3	15	21	12	16	15
К3	19	30	23	24	17
Д4	25	39	17	26	20
К4	26	27	18	24	19
Д5	не опр.	60	41	не опр.	не опр.
Д6	не опр.	42	20	не опр.	не опр.
К6	не опр.	41	13	не опр.	не опр.
Д7	не опр.	26	10	не опр.	не опр.
К7	не опр.	21	19	не опр.	не опр.
Д8	не опр.	14	8	не опр.	не опр.
К8	не опр.	46	21	не опр.	не опр.
Д9	не опр.	10	15	не опр.	не опр.
К9	не опр.	30	16	не опр.	не опр.
Д10	не опр.	34	25	не опр.	не опр.
К10	не опр.	25	11	не опр.	не опр.
Д11	не опр.	33	13	не опр.	не опр.
К11	не опр.	49	20	не опр.	не опр.
Д12	не опр.	17	14	не опр.	не опр.
К12	не опр.	22	16	не опр.	не опр.
Д13	не опр.	28	10	не опр.	не опр.
Д14	не опр.	49	22	не опр.	не опр.
К14	не опр.	29	13	не опр.	не опр.
Д16	не опр.	43	21	не опр.	не опр.

При сравнении опытных полей с традиционной обработкой наблюдается как снижение, так и повышение активности дегидрогеназы. В разные месяцы исследования сохраняются закономерности на каждом исследованном участке, кроме участков № 1, 7, на данных участках изменения активности зависят от месяца исследования. Максимальные отличия отмечены на участке №10, где повышается активность данного фермента на 136%.

При исследовании сезонных изменений активности дегидрогеназы по профилю на участках №2 и 9 отмечено снижение данного показателя на опытных участках по сравнению с контрольными, исключение составляет участок №2 в апреле, где повышается данный показатель на 16–36% (рис. 103), также на глубине 40–50 см в июле данный показатель возрастает на 46–67%.

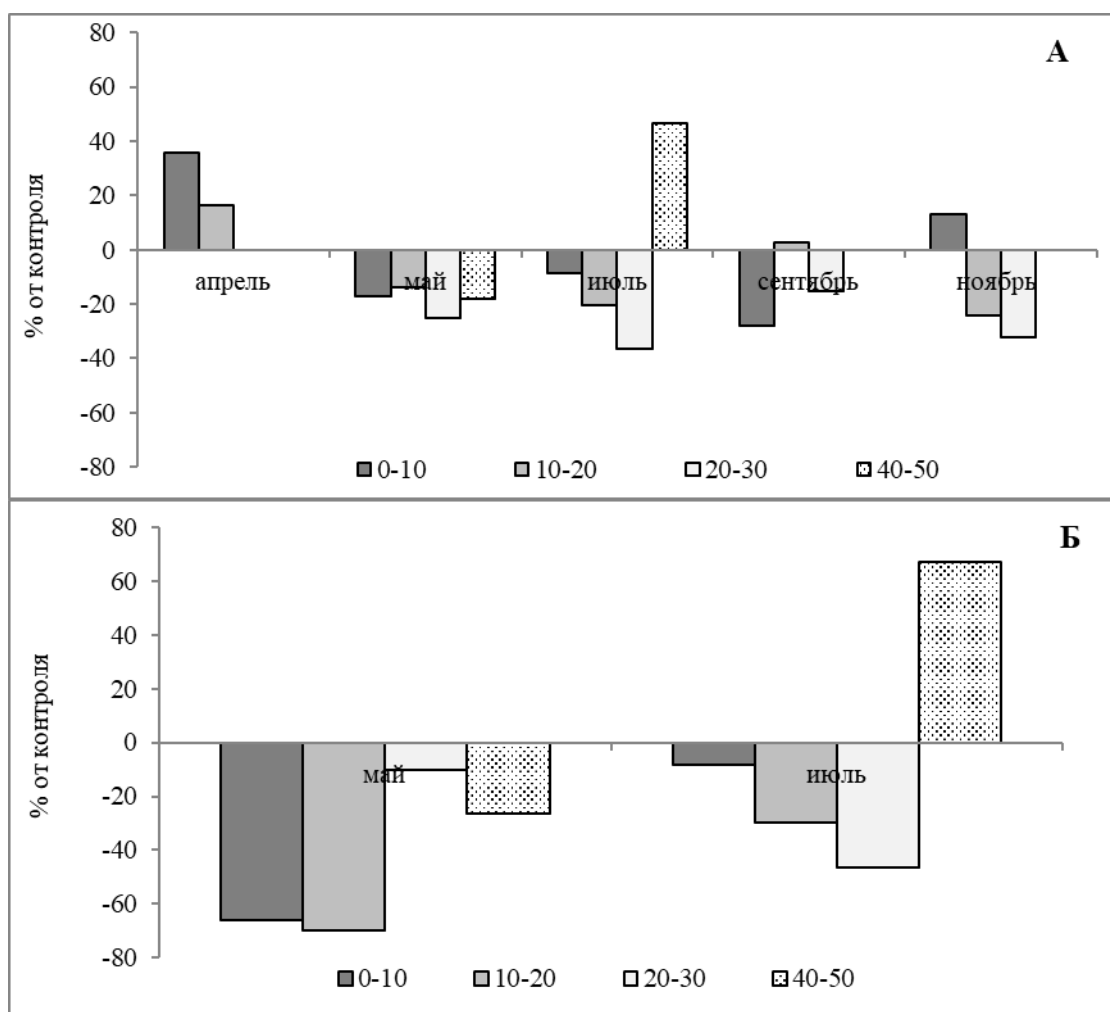


Рис. 103. Динамика сезонного изменения активности дегидрогеназы в вариантах с прямым посевом (в процентах от контрольных участков), №2 (А) и №9 (Б) участок исследования

Как показали проведенные исследования, активность инвертазы на исследованных участках варьировала от 10 до 69 мг глюкозы/г/24ч (табл. 148). По шкале Д.Г. Звягинцева для оценки ферментативной активности почв все участки можно поделить на три группы: бедная (5–15 мг глюкозы/г/24ч); к богатой (50–150 мг глюкозы/г/24ч); все остальные участки относятся к почвам со средней обогащенностью (15–50 мг глюкозы/г/24ч). В отличие от активности каталазы и дегидрогеназы, в июле не наблюдается такого снижения активности инвертазы по сравнению с маем. При сравнении участков №1–4 максимальное значение данного фермента в большинстве случаев наблюдается в апреле.

При сравнении опытных полей с традиционной обработкой наблюдали повышение активности инвертазы, исключение составляет участок №11 в мае, где данный показатель снижается на 69%. Достоверные отличия не отмечены

только для участков №4, 6 и 10. Максимальные отличия отмечены для участков № 8, 9 ($p<0,001$), активность фермента на данных участках в мае увеличилась соответственно на 267 и 257%, а в июле на участке № 3 на 232% ($p<0,001$).

Таблица 148. Активность инвертазы, мг глюкозы/г/24ч

Участок	Апрель	Май	Июль	Сентябрь	Ноябрь
Д1	39	34	28	54	40
К1	33	14	10	35	34
Д2	44	19	25	51	35
К2	34	11	26	38	27
Д3	54	41	51	62	49
К3	39	20	15	42	30
Д4	39	21	14	48	46
К4	46	21	14	44	48
Д5	не опр.	48	27	не опр.	не опр.
Д6	не опр.	30	23	не опр.	не опр.
К6	не опр.	25	21	не опр.	не опр.
Д7	не опр.	46	55	не опр.	не опр.
К7	не опр.	37	20	не опр.	не опр.
Д8	не опр.	55	48	не опр.	не опр.
К8	не опр.	14	37	не опр.	не опр.
Д9	не опр.	46	41	не опр.	не опр.
К9	не опр.	13	21	не опр.	не опр.
Д10	не опр.	38	45	не опр.	не опр.
К10	не опр.	38	52	не опр.	не опр.
Д11	не опр.	16	41	не опр.	не опр.
К11	не опр.	53	19	не опр.	не опр.
Д12	не опр.	51	48	не опр.	не опр.
К12	не опр.	37	27	не опр.	не опр.
Д13	не опр.	69	45	не опр.	не опр.
Д14	не опр.	44	23	не опр.	не опр.
К14	—	16	23	—	—
Д16	—	29	15	—	—

При исследовании сезонных изменений активности инвертазы по профилю на участках №2 и 9, в отличие от активности каталазы и дегидрогеназы, наблюдается повышение данного показателя на опытных полях по сравнению с контрольными. Максимальные отличия отмечены на участке №9 в мае на глубине 0–20, где повышается активность на 178–257% (рис. 104).

Снижение активности наблюдается только в апреле на участке 2 с 10 см и в июле на глубине 40–50 см.

Как показали проведенные исследования, активность фосфатазы на исследованных участках варьировала от 0,7 до 3,3 мг P_2O_5 /10 г/24 часа (рис. 105). По шкале Д.Г. Звягинцева для оценки ферментативной активности почв все участки можно поделить на две группы: почвы со средней обогащенностью (1,5 – 5,0 мг P_2O_5) и бедные почвы (0,5 – 1,5 мг P_2O_5). Причем значение данного

показателя в июле было выше, чем в мае, почти на всех участках исследования. Участки Д6, К6, Д7, Д9, К10 в оба срока исследования относятся к почвам со средней обогащенностью, в то время как участки Д3, К3, Д5, Д8, К8, Д12, Д13 в мае относятся к бедным почвам, а в июле средне обогащенным, обратная закономерность отмечается на участке К12. Все остальные участки в оба срока исследования отнесены к бедным почвам.

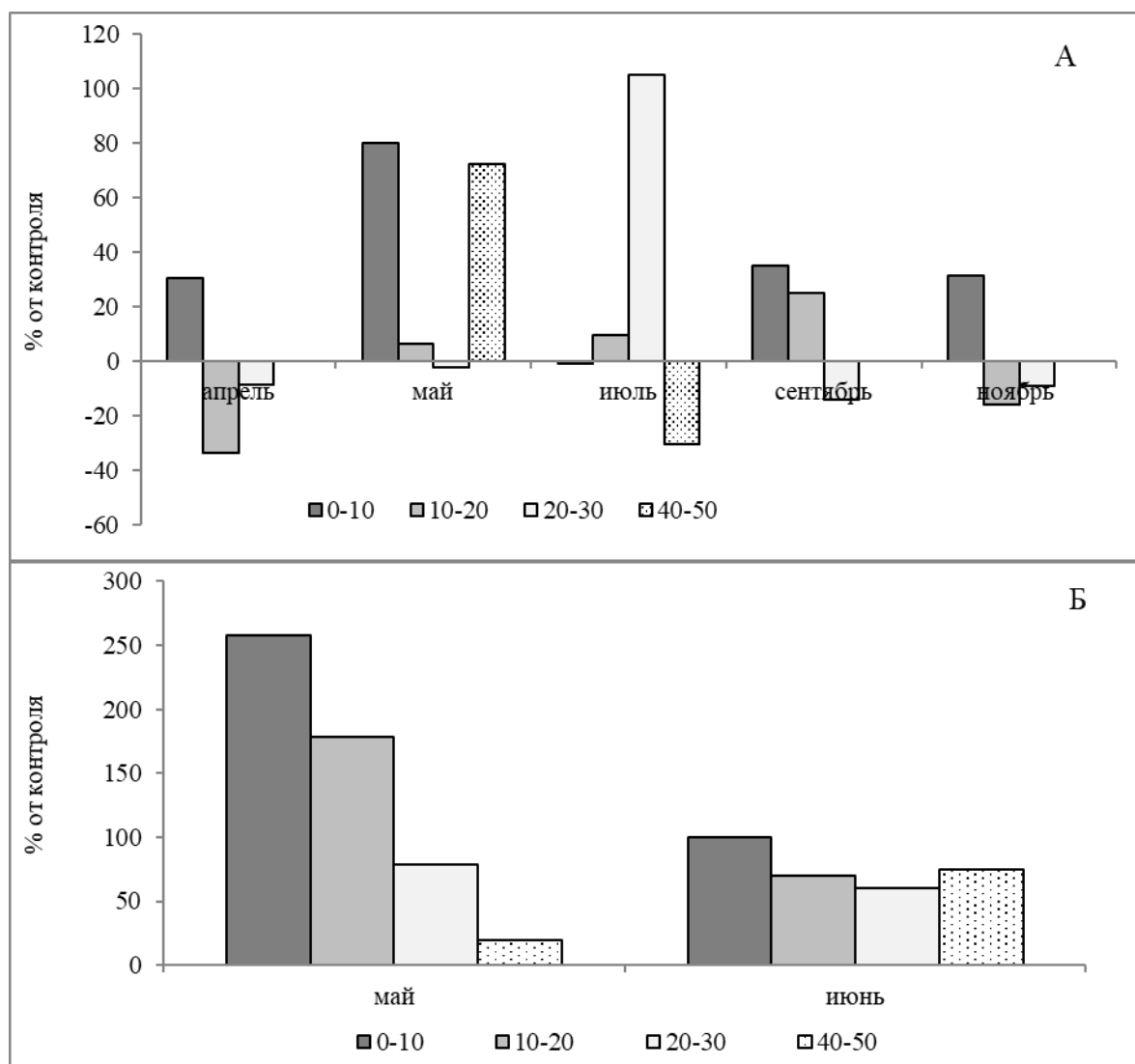


Рис. 104. Динамика сезонного изменения активности инвертазы в вариантах с прямым посевом (в процентах от контрольных участков), №2 (А) и №9 (Б) участки исследования

При сравнении опытных полей с традиционной обработкой наблюдали преимущественно повышение активности фосфатазы, исключение составляет участок № 10, где в оба срока исследования наблюдается снижение данного показателя на 49–53%.

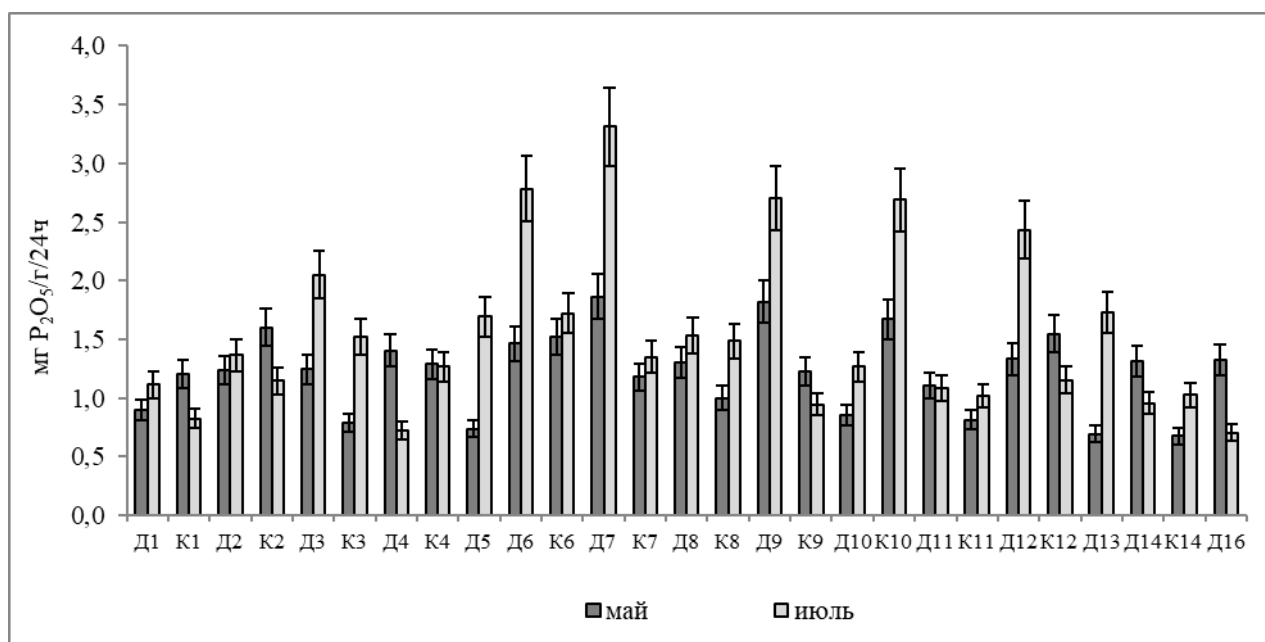


Рис. 105. Активность фосфатазы в исследованных почвах

Достоверные отличия в мае не отмечены только для участков №4, 6 и 12. Максимальные отличия отмечены для участков № 14, 3 и 7, активность фермента на данных участках увеличилась соответственно на 95% и 58%. В июле достоверные отличия не отмечены только для участков № 2, 8, 11, 14. Максимальные отличия отмечены для участков № 7, 9, 12, где активность увеличилась соответственно на 146%, 186% и 111%

Как показали проведенные исследования, активность уреазы на исследованных участках варьировала от 10,4 до 24,6 мг NH₃/10г/24ч (рис. 106). По шкале Д.Г. Звягинцева для оценки ферментативной активности почв все участки относятся к средне обогащенным почвам.

При сравнении опытных полей с традиционной обработкой в мае наблюдали преимущественно понижение активности уреазы, исключения составляют только участки №4, 9, 14. В большинстве случаев отличия были незначительны и недостоверны. Достоверные отличия отмечены на участке № 1 ($p < 0,01$), где активность уреазы уменьшилась на 30%, а на участках № 4 и 14 ($p < 0,01$) активность данного фермента повысилась на 45 и 30% соответственно.

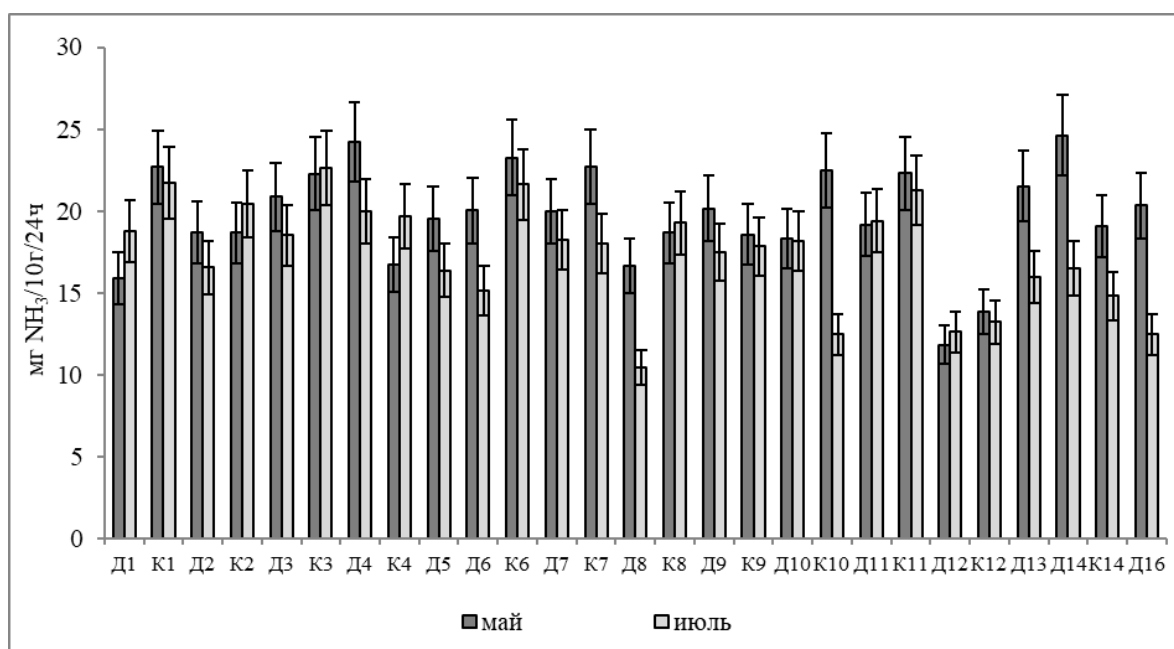


Рис. 106. Активность уреазы в исследованных почвах

В исследованиях, проведенных в июле, прослеживаются такие же закономерности, как и в мае. Достоверные отличия отмечены на участках № 6 и 8 ($p < 0,01$), где активность уреазы уменьшилась на 30 и 46% соответственно, а на участке № 10 ($p < 0,01$) активность данного фермента повысилась на 46%.

Характер профильного распределения активности фосфатазы и уреазы различен (рис. 107, 108).

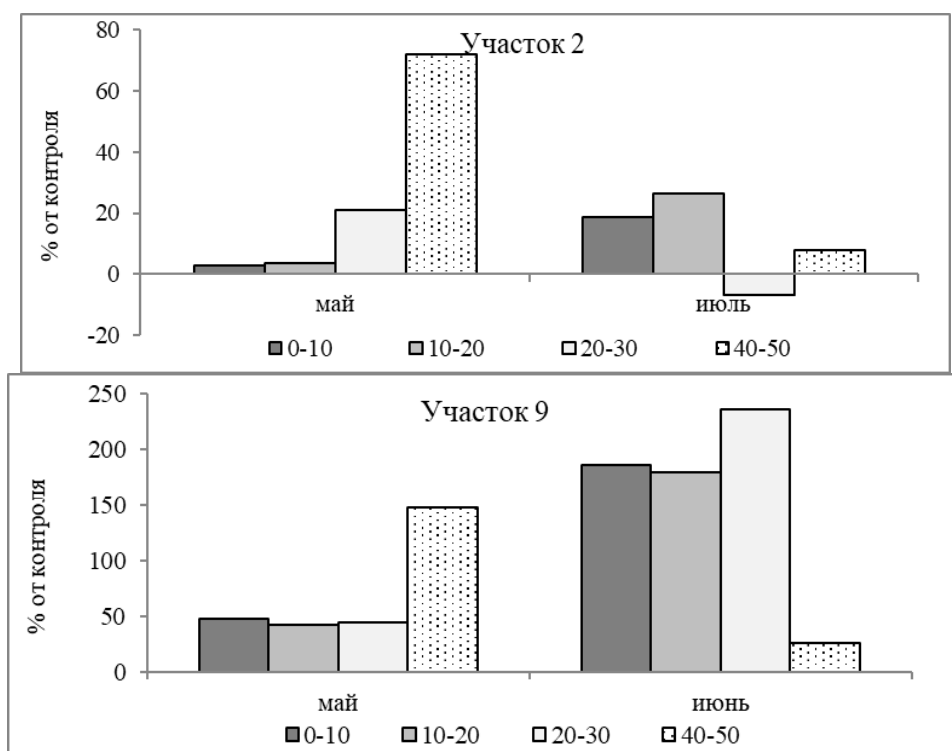


Рис. 107. Изменение активности фосфатазы при использовании технологии прямого посева, в % относительно полей с традиционной обработкой

Отмечены случаи повышения активности фосфатазы в средней и нижней частях профиля.

При исследовании сезонных изменений активности фосфатазы по профилю на участках №2 и 9 наблюдается повышение данного показателя на опытных полях по сравнению с контрольными. Максимальные отличия отмечены на участке №9 в июле на глубине 0–30, где повышается активность данного показателя на 180–237%. При исследовании сезонных изменений активности уреазы по профилю на участках №2 и 9 существенных отличий не отмечено, кроме июля на участке №9, где наблюдается снижение данного показателя на глубине 10–20 см на 44%, а на глубине 40–50 см повышается на 37%.

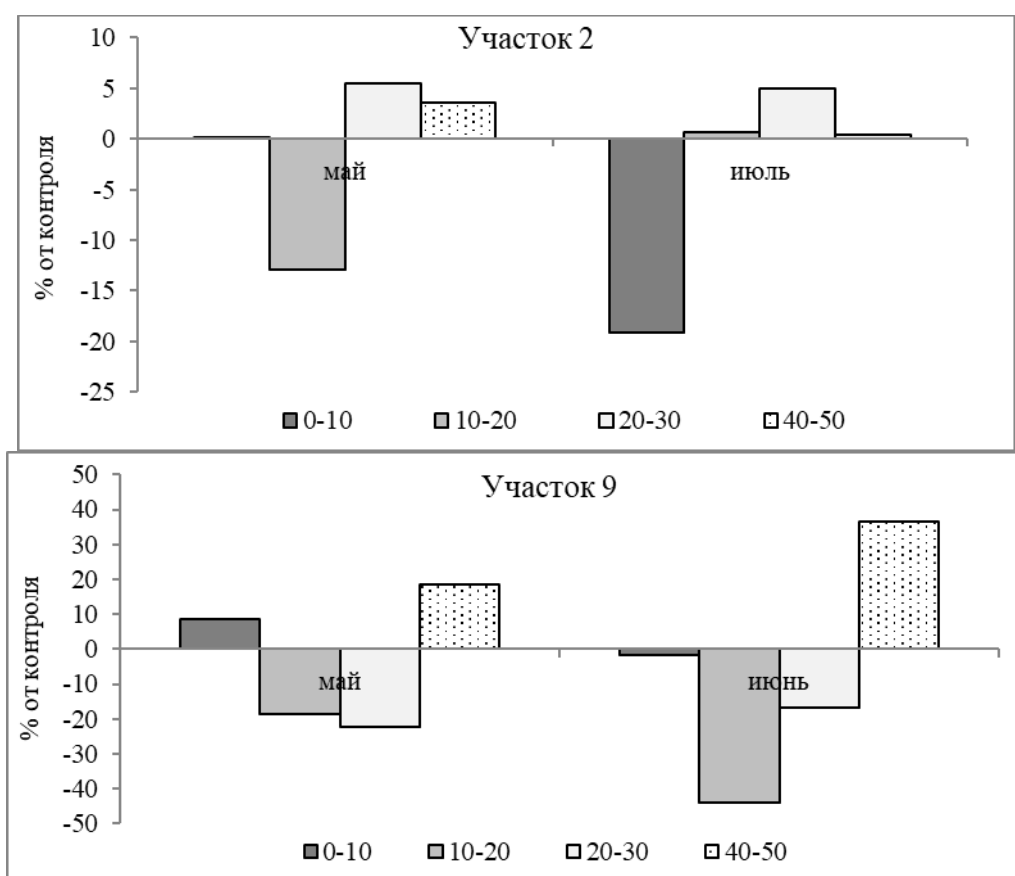


Рис. 108. Изменение активности уреазы при использовании технологии прямого посева, в % относительно полей с традиционной обработкой

При сравнении ферментативной активности верхних почвенных горизонтов (0–10 см), на которых произрастает одна и та же культура, четких закономерностей не выявлено. Но можно отметить, что каталазная активность в мае ниже под озимым рапсом, чем под остальными культурами, в июле такой закономерности не выявлено. Активность дегидрогеназы в мае выше под

кукурузой, в то же время в июле по сравнению с маем снижение активности данного фермента сильнее под кукурузой и подсолнечником (в 2–2,5 раза).

Большое значение для растений имеет наличие нитратного азота в зоне расположения корневой системы. Нитрифицирующая способность почвы отражает ее потенциальные возможности в накоплении минерального азота. При сравнении нитрифицирующей способности всех участков исследования видно, что она варьирует от 4,7 до 52,3 мг N–NO₃/кг почвы (рис. 109). В исследованиях отмечено уменьшение нитрифицирующей способности в мае на всех опытных полях по сравнению с контролем (на 14–86%), исключение составляют участки № 2, 7, 11, 14. Причем на данных участках происходит значительное увеличение данного показателя – на 85–137%. В июле наблюдается как повышение, так и снижение активности данного показателя. Достоверные отличия не отмечены для участков № 3, 4, 7, 14.

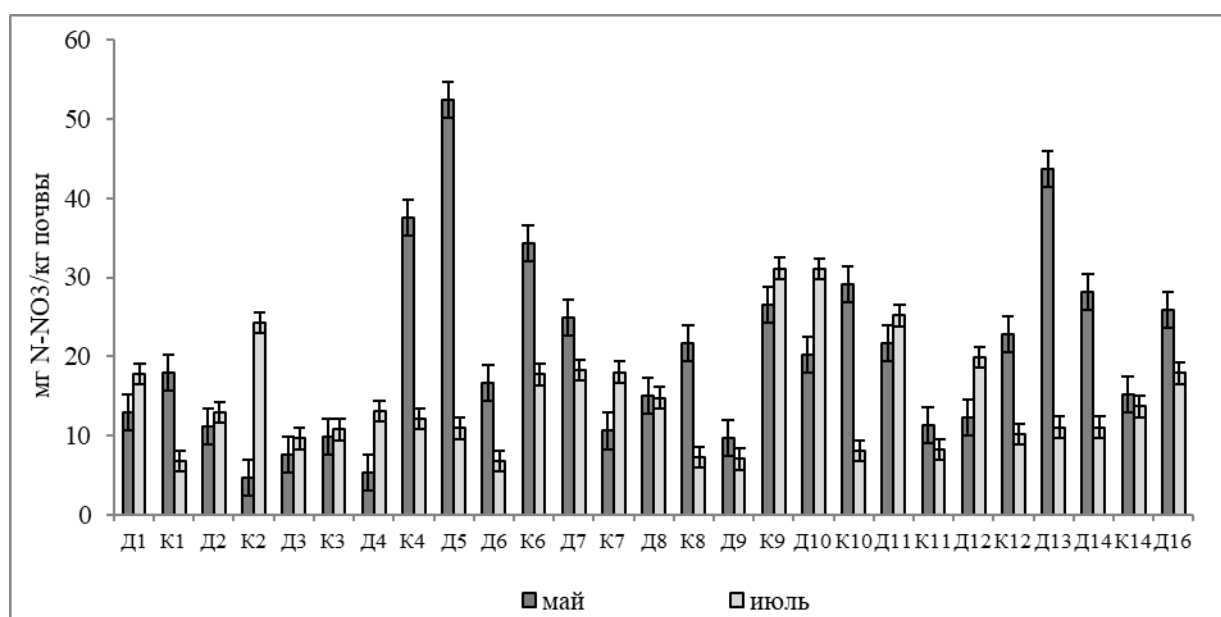


Рис. 109. Нитрифицирующая способность исследованных почв

Как показали исследования, происходит понижение целлюлозолитической активности на опытных полях по сравнению с контрольными участками, исключение составляет участок № 9 (рис. 110). Причем увеличение данного показателя на участке №10 происходит более чем на 400%. Следует обратить внимание, что разложение полотна сильно зависит от влажности почвы, которая в значительно большей степени лимитирует биологическую активность в условиях региона исследований, чем температура почвы. Кроме того, при высыхании почвы крайне сложно правильно заложить полотна в почву,

поскольку на полях с пропашными культурами почва сильно уплотняется и становится глыбистой. Это приводит к тому, что зачастую площадь соприкосновения полотна с почвой в разных вариантах различна, что сильно сказывается на результатах. Полотна были заложены с 26 мая по 12 июля, данный период характеризовался высокими температурами, отсутствием осадков.

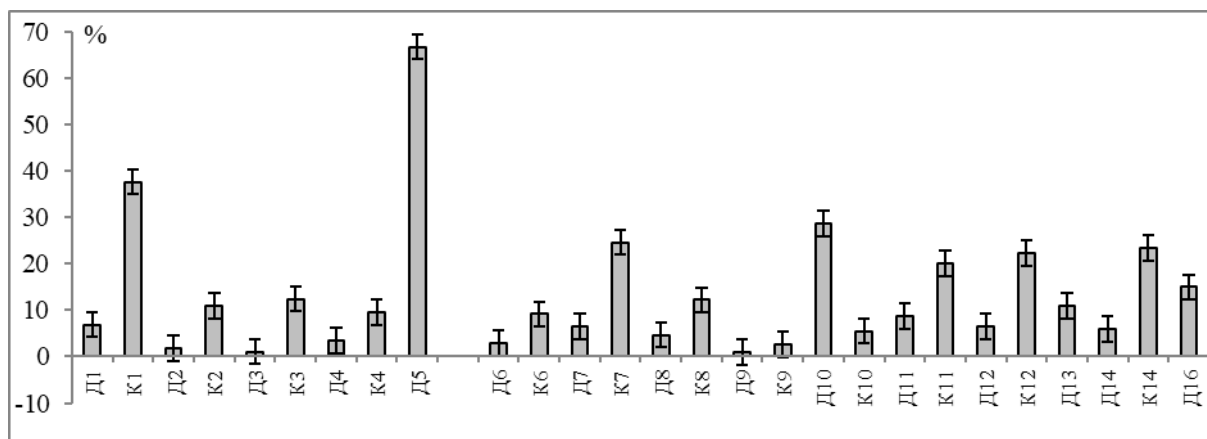


Рис. 110. Целлюлозолитическая активность исследованных почв, май 2018 г.

Повторно были заложены полотна на участках Д1, Д2, К2, Д3, Д4 на период с 12 июля по 18 сентября, данный период был более влажный. Как видно из рисунка 111, в этот период целлюлозолитическая активность была выше на всех участках, чем в первый период исследования. В работе Власенко Н.Г. с соавторами (2013) отмечается, что убыль массы льняного полотна составила 28%, сильное влияние на этот показатель оказали условия года (доля вариации 30%). Интенсивность разложения целлюлозы в слое 0–20 см изменялась от 21% в условиях засухи до 37% в переувлажненном периоде.

Изменение таких показателей интенсивности начального роста, как длина побегов и корней пшеницы, – важный показатель токсичности почв для растений. В проведенных исследованиях отмечено как уменьшение, так и увеличение данных показателей на всех опытных полях по сравнению с контролем (рис. 112). В большинстве случаев отличия были незначительные.

При сравнении длины побегов достоверные отличия в мае были отмечены для участков № 3 и 14 ($p < 0,01$), 12 ($p < 0,05$). На участках № 3 и 12 происходит увеличение побега на 48 и 21%, а на участке № 14 уменьшается на 37%. В июле достоверные отличия отмечены для участков №2 ($p < 0,01$), №3, 9 ($p < 0,05$), в сентябре – только на участке №4 ($p < 0,05$).

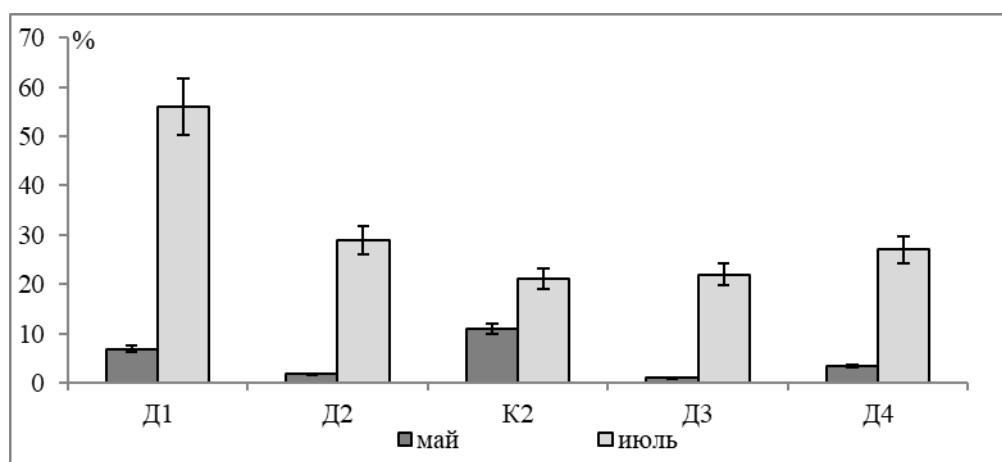


Рис. 111. Целлюлозолитическая активность почв, 2018 г.

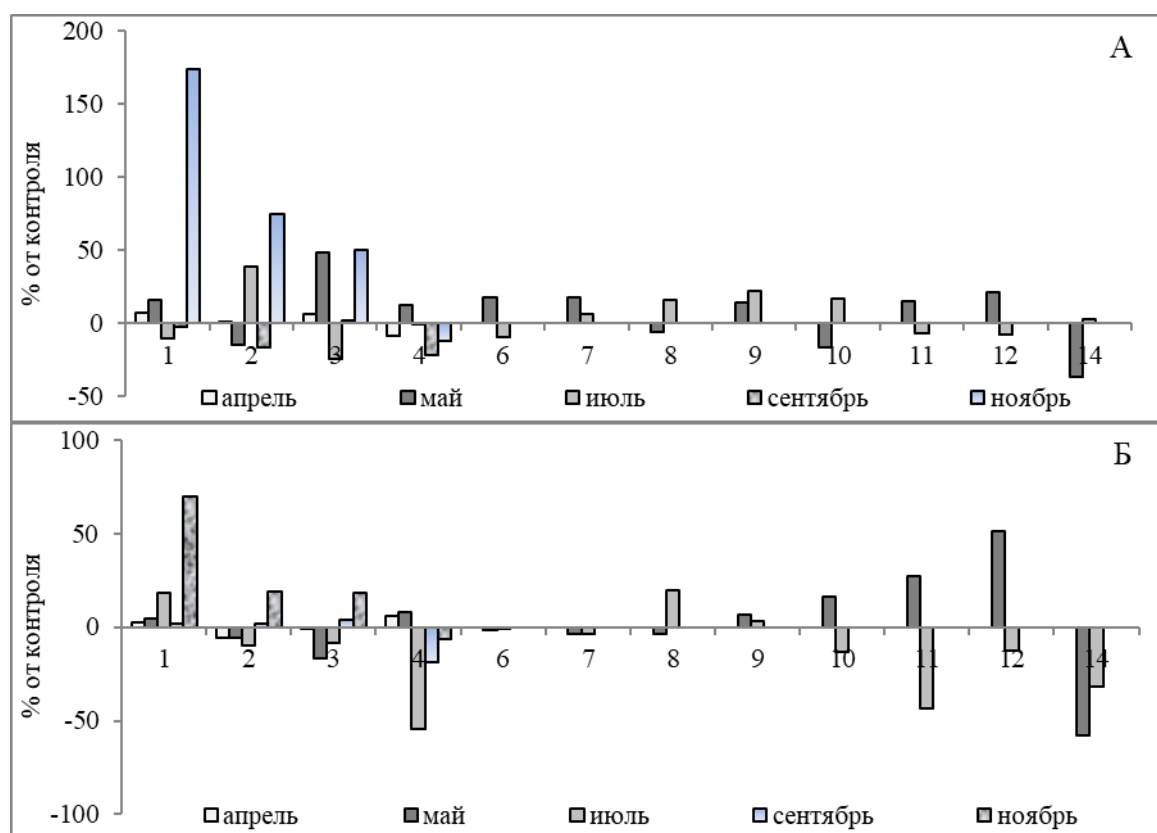


Рис. 112. Изменение длины побегов (А) и корней пшеницы (Б), % от контроля

При сравнении длины корней отличия были отмечены в мае для участков №12 и 14 ($p < 0,001$), 11 ($p < 0,05$). На участках №11 и 12 происходит увеличение побега на 28 и 51%, а на участке №14 уменьшается на 58%. В июле достоверное уменьшение длины побегов наблюдали на участках №4 ($p < 0,001$), 11, 14 ($p < 0,01$). На поле №8 увеличилась длина корня на 20%.

Обобщение результатов исследований почв ИП Мокрикова В.И. 2018 г.

Зафиксировано накопление и сохранение влаги в сухой период в почвах полей с прямым посевом по сравнению с традиционной технологией

обработки почв. Влияние почвозащитной технологии прямого посева сохраняется как для верхнего горизонта, так и для запасов влаги в метровом слое. Полученные результаты согласуются с литературными данными, свидетельствующими о преимуществах технологии No-Till в аридных зонах, а также в сухие годы в умеренных широтах. Исследования, проведенные в аномально влажный 2017 год, гораздо менее показательны по сравнению с более типичными условиями увлажнения 2018 года. Плотность и твердость (сопротивление пенетрации) почв находится в тесной зависимости от ее влажности. Во влажной почве значения этих показателей находятся на оптимальном для растений уровне независимо от ее способа обработки.

Технология прямого посева в целом в 2018 году не привела к повышению сопротивления пенетрации по сравнению с традиционной вспашкой. Разница между технологиями практически нивелируется в весенний сезон года. Изменения сопротивления пенетрации затрагивают в первую очередь верхний слой почвы, который при вспашке разрыхляется. Однако в июле 2018 года было зафиксировано повышение значений твердости контрольных почв в средней части профиля. Причиной этого было значительное различие влажности почв на этих глубинах.

В результате исследований микробоценоза черноземов Ростовской области при использовании разных систем земледелия установлено, что использование технологии No-Till способствует созданию более оптимальных условий функционирования микробного ценоза почв, особенно в засушливые сезоны года. Показатели общей численности бактерий, спор грибов, аммонифицирующих бактерий, микроскопических грибов почв большинства полей с технологией нулевой обработки превышают таковые почв полей с традиционной технологией, особенно данные различия выражены в верхнем слое 0–10 см, что связано с отсутствием механической обработки и большим содержанием органического вещества, ведь центром основной деятельности микроорганизмов по переработке растительного опада является подстилка и примыкающий к ней верхний гумусовый почвенный горизонт. В этих биогеоценологических горизонтах сосредоточены все группы микроорганизмов, которые тесно связаны в единые детритные пищевые цепи. Причем стратификация этих горизонтов является отражением конвейерной переработки растительного опада и соответствует определенным стадиям сукцессии. Кроме того, по интегральному

показателю биологического состояния более оптимальные условия черноземов формируются при нулевой обработке почвы.

Не выявлено одной закономерности влияния прямого посева на содержание гумуса, активного углерода, количество агрономически ценных агрегатов, дыхание почвы, длину побегов и корней. Однако выявлено, что технология прямого посева препятствует эрозионным потерям гумуса и активного углерода. Агрегатное состояние исследованных участков характеризуется как отличное и хорошее, в некоторые месяцы исследования агрегатное состояние участков было неудовлетворительное. Водопрочность агрегатов исследованных почв варьировала от 30 до 88%, что позволяет их отнести к почвам с хорошей и отличной структурой. Выявлено значительное варьирование численности и разнообразия почвенных беспозвоночных. В 2018 году было собрано и определено более 50 видов герпетобионтов, принадлежащих к различным классам беспозвоночных. Обилие и разнообразие герпетобионтов в почвах контрольных полей выше в мае, но различия снижаются к июлю и выравниваются в сентябре. Численность и разнообразие почвообитающих животных – геобионтов не зависела от вида обработки почв. Численность микроартропод в целом более чем в два раза выше на полях с прямым посевом.

Выявлена значительная динамичность активности исследуемых ферментов. Характер динамики различался для разных исследуемых ферментов.

Таким образом, отсутствие механической обработки и оставление растительных остатков на поверхности почв приводит к повышению запасов влаги, улучшению физических свойств, увеличению общей численности бактерий, численности бактерий отдельных эколого-трофических групп, более равномерному их распределению по слоям пахотного горизонта, способствуя тем самым увеличению плодородия почв и повышению урожайности сельскохозяйственных культур. Следовательно, энергосберегающие технологии No-Till в сочетании со средствами комплексной химизации могут служить одним из радикальных средств сохранения и повышения плодородия почв.

МОНИТОРИНГ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ПОЧВ ПРИ ДЛИТЕЛЬНОМ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ПРЯМОГО ПОСЕВА

Биологическая активность почв в 2020 г.

Для оценки влияния технологии прямого посева и применения современных гербицидов на экологическое состояние черноземов были проведены комплексные исследования на территории ИП Мокрикова В.И. в сравнении с расположенными рядом полями с традиционной технологией на основе вспашки и целинным эталоном ООПТ «Персиановская степь» появились кавычки. В исследуемый период целинный участок степи восстановился после мартовского пала травы, который уничтожил высохшую растительность прошлого года (см. рис. 4–6). Пожар был достаточно сильным, затронул почти всю территорию степи. Однако негативных последствий для почвенного покрова практически не выявлено. Морфологически в июне было отмечено только отсутствие ветоши на поверхности почвы и чуть более разреженный растительный покров, лишь местами имеющий 100% проективное покрытие. Биологические свойства почв не были затронуты пожаром. Активность каталазы, высокочувствительная к пирогенному воздействию (Казеев и др., 2020), достоверно не различалась с контрольным участком, не затронутым пожаром.

Исследуемые агроценозы были заняты различными культурами. На поле №1 была отмечена дифференциация роста подсолнечника на разных участках в результате применения гербицида Евро-Ленд. Евро-Ленд – гербицид системного и почвенного действия для уничтожения однолетних двудольных и злаковых сорняков в посевах подсолнечника (сорта, устойчивые к веществам группы имидазолинонов). В июне часть поля подсолнечника, обработанная гербицидом Евро-Ленд, была в значительной мере оголена. Растения подсолнечника здесь были сильно угнетены или погибли. К августу положение немного улучшилось, но восстановления посевов не произошло. Участок, обработанный гербицидом, в значительной мере зарос сегетальной растительностью.

Полевые исследования показали типичную для данного времени года температуру воздуха и почвы (табл. 149). На поверхности почвы температура почвы колебалась в широких пределах в зависимости от интенсивности солнечной инсоляции и затенения растительностью (табл. 150). В целом, в агроценозах температура почвы была выше, однако и здесь она не достигала

критических температур, которые бы серьезно ограничивали биологические процессы в почве. Влажность почв была на невысоком уровне (табл. 151). Влажность почв на полях с прямым посевом была существенно выше, чем на соседних полях со вспашкой. Влагосбережение является одним из важных преимуществ прямого посева и это было неоднократно доказано ранее, в том числе и на исследуемой территории (Мокриков и др., 2018, 2020, 2024; Казеев и др., 2018, 2019, 2022; Минникова и др., 2018, 2019, 2020).

Таблица 149. Температура исследуемых почв, 2020 г.

Участок	t воздух	t ₀	t ₅	t ₁₀
Целина	33,0	35,3	23	21
Д1	34,3	35,9	24,2	23,3
К1	34,3	55,3	36,3	26,2
Д2	35,5	36,5	27,4	25,6
К2	35,5	41,2	28,2	24,1
Д5у	31,5	33,5	26,2	24,7

Таблица 150. Температура поверхности почвы, 2020 г.

Участок	М	дисперсия	m	ошибка, %	% от целины
Целина	41,8	10,3	1,1	3	100
Д1	49,6	63,3	2,7	5	119
К1	53,1	7,6	0,9	2	127
Д2	54,8	54,6	2,5	4	131
К2	51,3	37,6	2,0	4	123
Д5у	41,0	37,0	2,0	5	98

Таблица 151. Влажность почв, определенная влагомером (%), 2020 г.

Участок	М	дисперсия	m	ошибка, %	% от целины
Целина	9,5	1,6	0,4	4	100
Д1	5,5	8,5	1,0	18	58
К1	6,1	2,7	0,6	9	64
Д2	15,6	27,5	1,7	11	164
К2	8,0	1,7	0,4	5	84
Д5у	15,9	8,2	1,0	6	168

Интенсивность выделения почвой углекислого газа была на среднем уровне на целинном участке (табл. 152). Почвы агроэкосистем обладали меньшими значениями эмиссии углекислого газа. Исключением был только участок №5у на поле, ранее очень сильно удобренном птичьим пометом. После

внесения помета здесь ранее отмечали улучшение физических свойств почв (плотности сложения, влажности, структурно-агрегатного состояния). Даже спустя два года после внесения высоких доз индюшиного помета (около 40 т/га) здесь сохранилась высокая биологическая активность, превышающая средний уровень.

Таблица 152. Дыхание почв, 2020 г. Testo 535, ppm CO₂/10мин/150см²

Участок	М	дисперсия	m	ошибка, %	% от целины
Целина	566	6848,2	41,4	7	100
Д1	336	11695,0	54,1	16	59
К1	не опр.	не опр.	не опр.	не опр.	не опр.
Д2	293	10191,5	50,5	17	52
К2	221	645,7	12,7	6	39
Д5у	664	2102,3	22,9	3	117

Дыхание почв было несколько повышено на полях прямого посева по сравнению с полем с обработкой вспашкой. Ранее были отмечены разные тенденции в поведении этого показателя на полях с разной агротехникой (Казеев и др., 2019; Мокриков и др., 2019).

Исследования структурно-агрегатного состояния почв показало значительное различие почв исследуемых участков (табл. 153).

Таблица 153. Структурно-агрегатный состав исследуемых почв, 2020 г.

Участок	Размер агрегатов, мм							ценные агрегаты, %	сумма >10 и <0,25мм	Коэф. структурности
	>10	5–7	3–5	1–2	0,5–1	0,25–0,5	<0,25			
Персиановская степь	34,8	18,0	29,1	9,6	2,8	2,9	2,8	62	38	1,7
Д1	66,8	15,3	11,0	4,1	1,2	1,0	0,5	33	67	0,5
К1	22,0	16,4	30,6	17,5	4,9	5,6	3,1	75	25	3,0
Д2	75,1	11,9	7,6	3,2	1,0	0,7	0,4	24	76	0,3
К2	30,0	18,8	31,1	13,2	3,1	2,7	1,2	69	31	2,2
Д5у	70,0	13,7	9,9	3,9	1,1	0,9	0,5	29	71	0,4
Д1 гербицид	42,8	20,2	21,5	9,4	2,7	2,2	1,2	56	44	1,3

Было выявлено, что выращивание пропашных культур приводит к значительному уменьшению количества ценных агрегатов и снижению коэффициента структурности почв. Это вполне согласуется с данными других исследователей (Вальков и др., 2008а). Контрольные участки были под паром (К1) или заняты культурой сплошного сева – озимой пшеницей (К2). Поэтому их

структурность лучше, чем на полях сплошного сева с пропашными культурами. Ранее было выявлено, что структурность почвы, плотность сложения и сопротивление пенетрации больше зависят от гидротермических условий и выращиваемой культуры, чем от применяемой агротехнологии (Мокриков и др., 2017; Казеев и др., 2018). В зимне-весенний период происходит разуплотнение даже сильно переуплотнённых почв.

Количество агрономически-ценных агрегатов является не единственным показателем структурно-агрегатного состава. Водопрочность агрегатов показывает их устойчивость к воздействию влаги и также отражает физическое состояние почв. В таблице 154 приведены данные, свидетельствующие, что почвы на полях прямого посева значительно лучше по этому показателю, чем почвы с традиционной обработкой, особенно это касается поля с озимой пшеницей К2, где водопрочность агрегатов минимальна. Только на целинном участке ООПТ «Персиановская степь» показатели водопрочности выше, чем в почвах полей с прямым посевом.

Таблица 154. Физические и агрохимические свойства почв, 2020 г.

Участок	Сумма ценных агрегатов, %	Водопрочность агрегатов	pH	Содержание карбонатов, %	Содержание гумуса, %	Содержание активного углерода, мг/кг	Содержание поглощенного аммония, мг/кг	Содержание нитратов, мг/кг	Содержание подвижного фосфора, мг/кг
Целина	62	89	7,1	1,7	8,0	948	10,4	7,8	0,7
Д1	33	60	7,6	3,1	3,7	523	5,2	4,7	1,3
К1	75	57	7,9	5,6	3,3	426	7,1	6,4	0,8
Д2	24	51	7,5	1,2	4,4	690	6,5	4,5	1,5
К2	69	26	7,7	1,9	3,6	559	5,5	8,0	0,5
Д5у	29	52	7,4	1,1	4,0	527	4,6	5,2	3,0
Д1 гербицид	56	76	7,6	3,7	3,3	491	7,7	3,6	1,4

Реакция почвенной среды исследуемых участков практически не зависит от применяемой технологии обработки почвы (см. табл. 9). Можно отметить, что только для целинной почвы отмечена нейтральная реакция среды. Для агрогенных почв pH находится в нейтральном и слабощелочном диапазоне. Эти значения благоприятны для произрастания большинства

выращиваемых в степной зоне сельскохозяйственных культур (Вальков и др., 2004, 2007, 2008).

Достаточно высокое содержание свободных карбонатов в почвах исследуемых участков позволяет отнести к карбонатному роду все почвы (Вальков и др., 2008).

Важнейший показатель почвенного плодородия – содержание общего гумуса – был максимальным в целинной почве ООПТ «Персиановская степь». Здесь в поверхностном дерновом горизонте значения показателя составили 8% (табл. 155). Ранее на такие высокие значения в целинном черноземе указывали и другие исследования (Казадаев и др., 2004; Казеев и др., 2004, 2020; Даденко и др., 2014). Пахотные почвы Ростовской области содержат в среднем 3–4% гумуса в пахотном слое (Безуглова, 2001; Новиков, 2001; Казеев и др., 2004; Вальков и др., 2012).

Таблица 155. Биологическая активность исследуемых почв, 2020 г.

Участок	Фитотоксичность почвы (длина корней, см)	Дыхание почвы по Галстяну, мл CO ₂ /кг	Активность каталазы, мл O ₂ /1г/1 мин	Активность дегидрогеназ мг ТФФ/10 г/24 ч	Активность пероксидаз, мг бензохинона/10 г/30 мин	Активность инвертазы, мг глюкозы/г/24 ч	Активность уреазы, мг NH ₃ /10 г/24 ч	Бактерии, млрд/г
Целина	13,7	2,5	19,4	40,7	0,7	43,2	12,6	5,1
Д1	9,3	2,4	17,0	33,8	1,3	27,9	11,0	4,3
К1	8,1	1,5	15,7	32,8	1,1	21,9	6,6	4,2
Д2	6,3	2,8	17,4	42,5	1,3	29,0	7,4	4,4
К2	14,5	3,2	21,7	39,1	1,4	28,6	0,4	4,4
Д5у	18,8	2,1	13,2	46,7	1,3	27,7	0,7	4,4
Д1 гербицид	11,8	3,1	13,4	47,1	1,3	38,2	4,3	4,1

Значительное уменьшение содержания гумуса в агрогенных черноземах Предкавказья и Нижнего Дона по сравнению с целинными аналогами является установленным фактом (Вальков, 1977; Вальков и др., 1996; 2001; 2008; Цховребов, 2003; Даденко и др., 2014; Горобцова и др., 2015, 2016; Терпелец и др., 2015; Цховребов и др., 2016, 2017; Азаренко и др., 2020; Казеев и др., 2020; Безуглова и др., 2022). В пахотных горизонтах исследуемых почв

содержится 3,3–4,4%, что в среднем в два раза ниже, чем в целинной почве Персиановской степи. В полях с прямым посевом содержание гумуса выше, чем на полях с применением вспашки. Такая разница в значениях позволяет утверждать о накоплении гумуса в полях с прямым посевом. Ранее, спустя 7–8 лет после начала применения новой агротехнологии на исследуемой территории, можно было утверждать только о тенденциях к сохранению гумуса в почвах полей прямого посева (Мокриков и др., 2017; Казеев и др., 2018; Минникова и др., 2020; Мокриков и др., 2020). Возможно больший период применения технологии прямого посева привел к более выраженному гумусонакоплению. Такое явление было установлено ранее для черноземов южных Сальского района Ростовской области (Мокриков и др., 2019).

Содержание активного углерода, которое широко используют за рубежом для оценки плодородия (Comprehensive ..., 2016), как и содержание общего гумуса, максимально в целинной почве (табл. 154). Здесь оно выше почти в два раза, чем в сельскохозяйственных почвах исследуемой территории. Также содержание активного углерода выше в почвах полей с прямым посевом, чем в почвах пахотных участков.

Исследования агрохимических показателей не показало однозначных закономерностей распределения нитратов, обменного аммония и подвижного фосфора в почвах разных участков (см. табл. 154). Если содержание подвижных форм азота выше в целинной почве, то содержание подвижного фосфора выше в агрогенных почвах. Последний факт, по-видимому, связан с особенностями применения удобрений на каждом конкретном поле. Также отмечено, что пахотные почвы в большей степени обогащены формами азота, а почвы полей прямого посева богаче подвижным фосфором.

Исследования показателей биологической активности в почвах разных исследуемых участков показали неоднозначные результаты, которые зависели от ряда параметров: природа показателя, тип землепользования, особенности применения средств химизации (см. табл. 155). Подавляющего превосходства целинной почвы над агрогенными не было установлено для фитотоксичности, интенсивности дыхания и активности ферментов оксидоредуктаз. Однако для всех этих показателей в целинной почве были отмечены значения выше средних в сравнении со всеми другими участками. А по активности ферментов гидролаз и количеству бактерий целинная почва превосходила все остальные исследуемые почвы.

Наименее информативным оказался показатель активности пероксидазы – фермента, участвующего в превращениях органических веществ и гумусообразовании (Казеев и др., 2016). Общая численность бактерий также слабо различалась в почвах разной агротехники и с разными выращиваемыми культурами.

Слабо повышена в почвах прямого посева была активность дегидрогеназ, еще больше инвертазы и, особенно сильно, активность уреазы. Активность уреазы, наряду с активностью каталазы и количеством бактерий, негативно реагировала на применение гербицида Евро-Ленд на участке поля Д1. Подавление роста посеянного подсолнечника гербицидом привело и к снижению значений этих показателей. Вероятно, это произошло не прямым действием гербицида, а опосредованно через его действие на растения.

Исследования интегрального показателя биологического состояния почв провели, объединив комплекс показателей, включая данные по содержанию общего и активного углерода, активности каталазы, дегидрогеназ, пероксидазы, инвертазы, уреазы и обилию бактерий. В результате установлено, что биологическая активность агрогенных почв значительно хуже, чем целинной почвы ООПТ «Персиановская степь» (рис. 113).

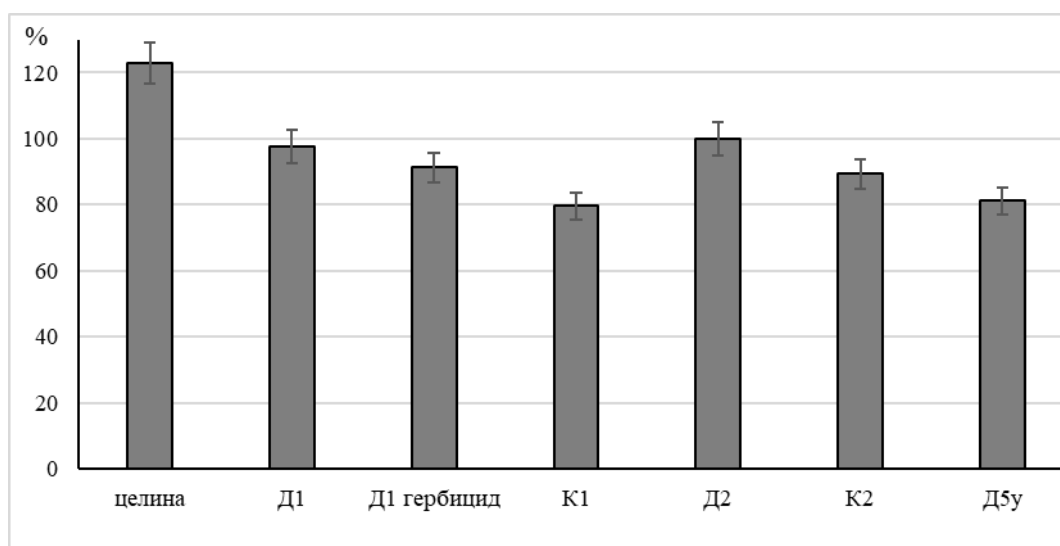


Рис. 113. Значения ИПБС в почвах с разными обработками, 2020 г.

Из выделяемых почв наибольшие значения, принятые за 100%, рассчитаны для почвы участка Д2. Здесь значения ИПБС выше, чем в почвах других полей с прямым посевом (Д1 и Д5у). Минимальные значения ИПБС выявлены в почве участка К1, обрабатываемой с применением отвальной вспашки в

качестве основной обработки почвы. Здесь значения ИПБС меньше на 20%. В пахотной почве участка К2 значения ИПБС меньше на 11%, чем на расположенной в нескольких десятках метров почве с прямым посевом (участок Д2). Применение гербицида на части поля Д1 в чрезмерной дозе привело к уменьшению значений ИПБС на 9% по сравнению с необработанной частью этого поля. Такое снижение ИПБС весьма существенно для этого комплексного показателя. Возможно, снижение биологической активности связано не с прямым действием гербицида, а с опосредованным влиянием через угнетение и гибель части посевов подсолнечника при чрезмерной дозе препарата.

Таким образом, по ИПБС установлены в целом более благоприятные условия для биологической активности в почвах с прямым посевом и чувствительность ИПБС к высоким дозам гербицида.

Биологическая активность почв в 2021 г.

Температурные условия в июле 2021 г. в целом соответствовали климатической норме. Температура воздуха колебалась в пределах 28+34 градусов Цельсия (табл. 156). Температура почвы на глубине 5 и 10 см была умеренно высокой – 23–26°C. Существенных расхождений температуры не отмечено для почв разных участков. На полях со вспашкой температура была на 1–2 градуса больше, чем на расположенных рядом полях со вспашкой.

Таблица 156. Температура почвы, 27 июля 2021 г.

Поле	t _{воздух}	Глубина, см		
		поверхность	5	10
Д1	28,4	29,5	23,7	23,0
К1	30,6	30,2	24,8	24,5
Д2	33,6	37,4	23,6	23,0
К2	32,5	31,0	26,5	25,5

Более существенные расхождения были отмечены для другого важного показателя – влажности почвы, которую определяли полевым влагомером (табл. 157).

Таблица 157. Экологические параметры почв, 27 июля 2021 г.

Показатели	Д1	К1	Д2	К2
Температура поверхности, пирометр	33,9	34,9	39,5	42,5
Влажность почвы полевая, %	21,2	8,8	33,1	19,4
Дыхание полевое, PP System, ΔС	26,4	39,6	27,6	45,8

Поля прямого посева характеризовались большими значениями влажности почвы по сравнению с полями с традиционной обработкой почвы. Минимальная влажность – 8,8% была обнаружена в почве поля К1, на другом поле с такой же обработкой почва была значительно влажнее – 19,4%. Поля, обрабатываемые по технологии прямого посева, обладают повышенной влажностью почвы – 21–31%. Это связано с образованием мульчирующего слоя на поверхности почвы при многолетней обработке почвы прямым посевом. Этот эффект ранее был неоднократно отмечен как в литературе, так и при мониторинговых исследованиях этих участков (Мокриков и др., 2018; Казеев и др., 2020; Минникова и др., 2020, 2021; Поляков, Бакиров, 2020).

В результате проведения исследования эмиссии углекислого газа с поверхности исследуемых почв портативным газоанализатором установлено существенное различие этого параметра в почвах с разной обработкой (рис. 114).

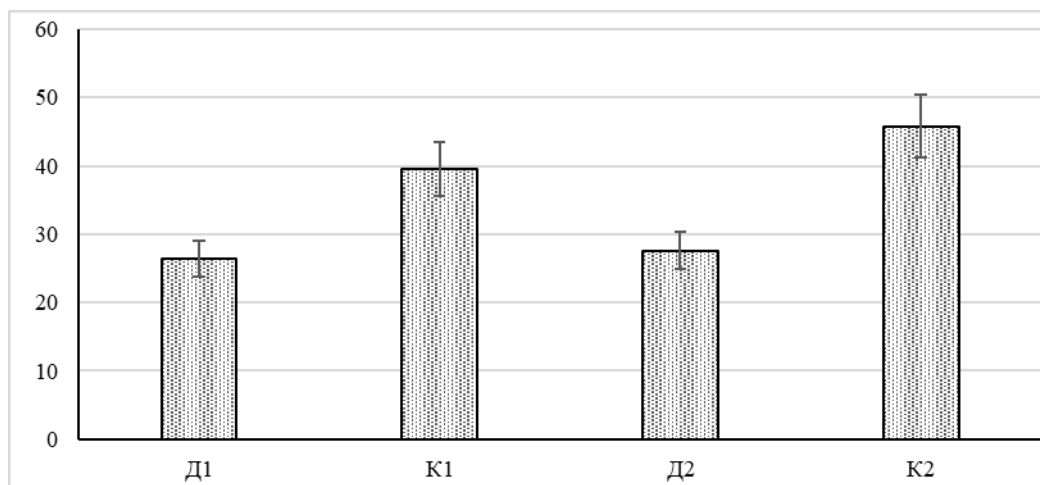


Рис. 114. Эмиссия углекислого газа (ΔС) с поверхности почв при разной обработке, 27 июля 2021 г.

Почвы с традиционной обработкой выделяют достоверно больше углекислого газа по сравнению с почвами полей прямого посева. При этом почвы разных полей с применением технологии прямого посева обладают близкими

значениями исследуемого показателя, в то время как на участках со вспашкой различия существенно выше. Более плодородные почвы (по содержанию гумуса и мощности гумусовых горизонтов) участка К2 обладают большими значениями интенсивности дыхания почв. Различия между полями со вспашкой могут быть вызваны также повышенной влажностью поля К2 по сравнению с полем К1. При этом на полях прямого посева не отмечено зависимости интенсивности дыхания ни от температуры, ни от влажности почвы.

Исследования структурно-агрегатного состава почв показали существенное влияние способа обработки почв. Применение прямого посева способствует повышению структурности почв и водопрочности агрегатов (табл. 158). Поверхностный слой почв полей с минимальной обработкой характеризуется отличной структурностью (78–80% ценных агрегатов), в слое 10–30 см – хорошая и средняя (62–79%). На полях со вспашкой в поверхностном слое структурность почвы хорошая 64–73%, а в слое 10–30 см – средняя (58–73%).

Таблица 158. Физические свойства и реакция среды почв, 27 июля 2021 г.

Поле, глубина, см	Содержание ценных агрегатов, %	Водопрочность агрегатов, %	pH
Д1 (0–10)	80	85	7,4
Д1 (10–20)	67	85	7,5
Д1 (20–30)	79	82	7,6
К1 (0–10)	73	59	7,5
К1 (10–20)	59	50	7,1
К1 (20–30)	58	36	8,0
Д2 (0–10)	78	86	7,9
Д2 (10–20)	62	74	7,2
Д2 (20–30)	79	70	7,2
К2 (0–10)	64	33	7,5
К2 (10–20)	62	50	7,4
К2 (20–30)	73	35	7,4
Целина Персиановская степь (0–10)	39	78	7,2
Целина Персиановская степь (10–20)	32	64	7,0
Целина Персиановская степь (20–30)	44	58	7,1
Залежь 80 лет Ботсад (0–10)	не опр.	не опр.	7,5
Залежь 90 лет Недвиговка (0–10)	не опр.	не опр.	7,4

Водопрочность агрегатов почв с полей прямого посева была значительно лучше, чем на полях со вспашкой. При этом это применимо не только к поверхностному слою, но и ко всему слою 0–30 см. Колебание содержания водопрочных агрегатов на полях Д1 и Д2 составляет 70–86%, в то время как на поле К1 – 36–59%, и еще хуже на поле – К2 – 33–50%, что соответствует неудовлетворительному уровню в большей части пахотного горизонта. Показатели структурности на полях прямого посева даже лучше, чем в целинном черноземе Персиановской степи. И это при том, что предшественниками зерновых культур на полях прямого посева были пропашные культуры, негативно влияющие на структурность почвы: на поле Д1 – подсолнечник, на поле Д2 – кукуруза. На полях со вспашкой предшественниками были зерновые, которые оказывают улучшающее воздействие на структуру почв по сравнению с пропашными (Вальков и др., 2004, 2008). Это свидетельствует о благотворном влиянии технологии прямого посева на структурно-агрегатное состояние почв.

Исследование реакции почвенной суспензии свидетельствовало о незначительных различиях исследуемых почв (см. табл. 158). Независимо от технологии обработки почвы характеризовались нейтральной или слабощелочной реакцией среды, что типично для карбонатных родов черноземов.

Содержание общего гумуса в почвах было различным и зависело от: обработки почв, глубины взятия образца и генезиса почвы. Почвы первого участка расположены в нижней части склона перед поймой реки Грушевки. Поэтому они характеризуются пониженной мощностью в результате эрозии и близостью подстилающей породы. Особенно это касается пахотного участка К1, на поверхности и особенно в профиле почвы отмечены обломки песчаника. Поэтому здесь зафиксированы минимальные значения гумуса в пахотном слое (0–30 см) – всего 1,5% (табл. 159). Расположенный рядом участок с прямым посевом Д1 содержит более чем в два раза больше гумуса – 3,4% в слое 0–10 см и 2,3–27% – в слое 10–30 см. Расположенные в километре от первого участка поля Д2 и К2 обладают характерным для обрабатываемых черноземов юга России содержанием гумуса – 4,0–4,5%. Здесь содержание гумуса практически не зависит от характера обработки почв.

Таблица 159. Содержание углерода и результаты фитотестирования почв,
27 июля 2021 г.

Участок, глубина	Гумус, %	Активный углерод, мг/кг	Длина проростков тест культуры. мм	Длина корней тест культуры, мм
Д1 (0–10)	3,4	490	27,9	24,8
Д1 (10–20)	2,7	342	24,7	34,2
Д1 (20–30)	2,3	292	19,6	23,9
К1 (0–10)	1,5	342	25,6	13,5
К1 (10–20)	1,5	290	33,3	17,5
К1 (20–30)	1,4	265	20,0	11,3
Д2 (0–10)	4,5	523	40,2	33,7
Д2 (10–20)	3,8	133	24,3	24,5
Д2 (20–30)	4,0	135	31,0	26,5
К2 (0–10)	4,2	130	36,2	26,9
К2 (10–20)	4,5	123	27,8	25,6
К2 (20–30)	4,1	138	25,6	19,4
Целина Персиановская степь (0–10)	9,0	229	35,8	20,3
Целина Персиановская степь (10–20)	5,7	137	31,7	22,4
Целина Персиановская степь (20–30)	5,6	135	30,7	61,9
Залежь 80 лет Ботсад (0–10)	4,2			
Залежь 90 лет Недвиговка (0–10)	4,8			

В качестве характерной особенности почв участков Д1 и Д2, длительное время обрабатываемых по технологии прямого посева, следует отметить дифференциацию бывшего пахотного горизонта по содержанию гумуса. Если пахотные участки характеризовались практически равномерным содержанием гумуса в слое 0–30 см, то почвы с прямым посевом обладали максимальными значениями в поверхностном слое, а далее вниз содержание существенно снижалось (рис. 115).

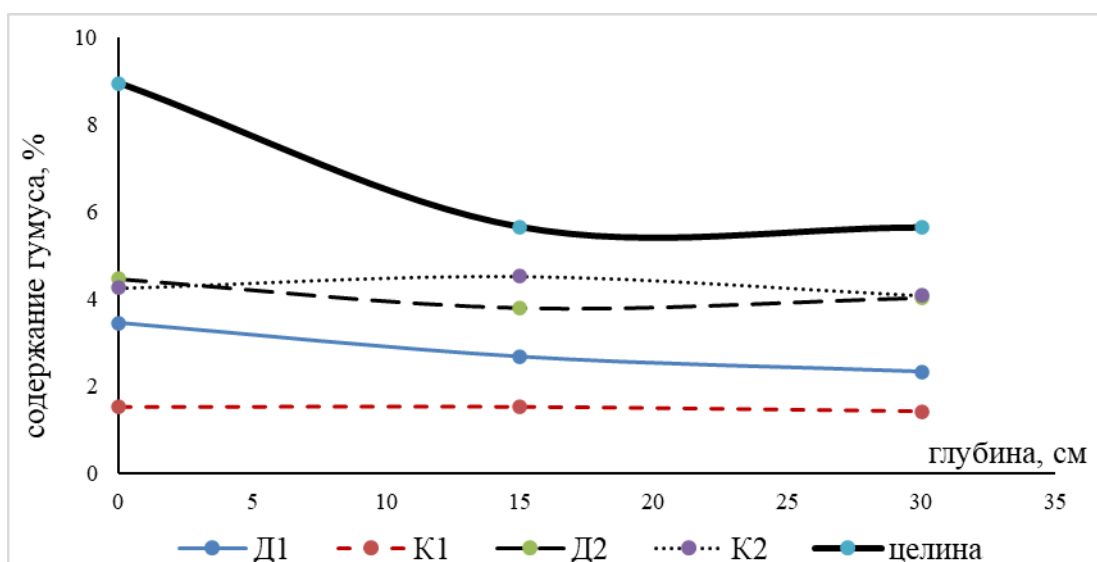


Рис. 115. Дифференцирование пахотного слоя по содержанию гумуса при разной обработке почв, 2021 г.

Это связано с отсутствием перемешивания почвы плугом и характером поступления растительных остатков преимущественно на поверхность почв. Также большое влияние оказывает локализация значительного количества органических остатков в виде мульчирующего слоя (Акименко и др., 2017; Мокриков и др., 2018). Содержание гумуса в почвах, длительное время обрабатываемых по технологии прямого посева, приблизилось к его содержанию в длительно залежных почвах Ботанического сада ЮФУ и ООПТ «Приазовская степь», которые были изучены в качестве контрольных участков. Почвы эталонного участка Персиановской степи содержат значительно больше органического углерода гумуса, чем агрогенные почвы. Это типичное явление для всех обрабатываемых почв юга России (Вальков и др., 1996, 2008; Орлов и др., 1996; Казеев и др., 2004; Даденко и др., 2014; Азаренко и др., 2020).

Содержание активного углерода, который является показателем лабильности, подвижности гумуса, в почвах полей, обрабатываемых прямым посевом, значительно выше, чем в пахотных почвах (см. табл. 159). Отмечено еще более выраженное профильное убывание значений в почвах прямого посева по сравнению с пахотными почвами и даже с почвой эталонного участка (рис. 116). Объяснение этого факта такое же, как и для содержания общего гумуса. Такое распределение по профилю, по-видимому, может служить индикатором – отличительной особенностью почв прямого посева.

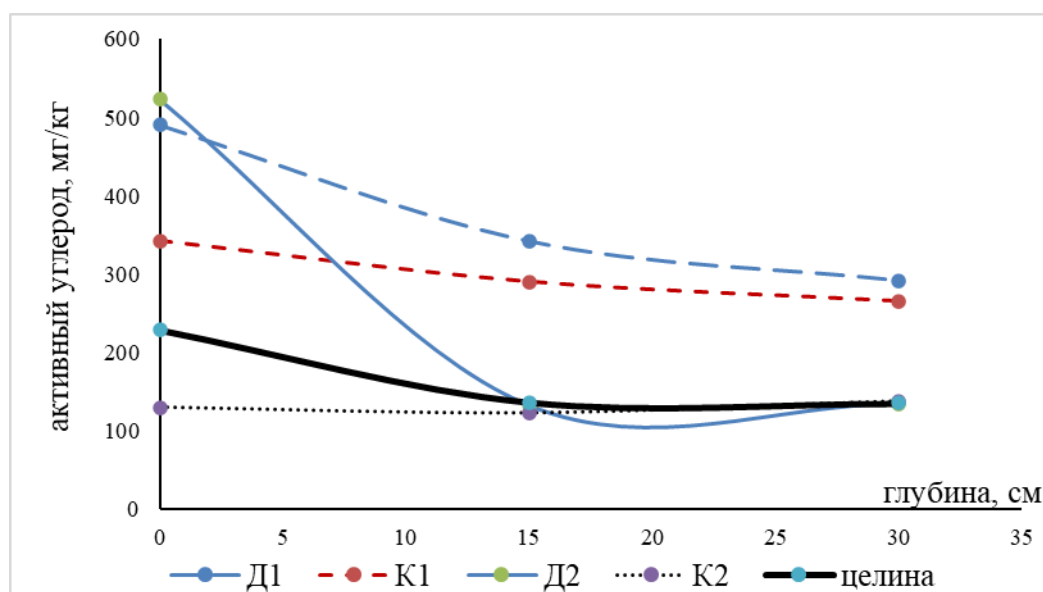


Рис. 116. Дифференцирование содержания активного углерода при разной обработке почв, 2021 г.

Использование растительной тест-культуры показало более благоприятные условия в почвах прямого посева по сравнению с рядом расположенными пахотными участками (табл. 160). Так, на участке №1 длина корней тест-культуры почти вдвое выше в почве прямого посева по сравнению с почвой пахотного участка.

Таблица 160. Ферментативная активность почв мониторинговых участков, целины Персиановской степи и залежных участков, 27 июля 2021 г.

Участок, глубина, см	каталаза, мл О ₂ /г/мин	дегидрогеназы мг ТФФ/10г/24 ч	инвертаза, мг глюкозы/г/24ч	уреаза, мг NH ₃ /10 г/24ч	фосфатаза, мкг нитрофенола/г/ч
Д1 (0–10)	4,5	40,7	5,9	17,6	214
Д1 (10–20)	6,3	35,6	3,6	15,5	183
Д1 (20–30)	4,4	32,3	3,0	17,0	168
К1 (0–10)	2,2	36,3	4,0	16,3	176
К1 (10–20)	1,7	29,2	3,9	12,6	147
К1 (20–30)	2,3	27,2	3,5	16,1	128
Д2 (0–10)	10,3	44,5	7,2	15,5	230
Д2 (10–20)	7,4	44,4	5,2	12,8	217
Д2 (20–30)	6,9	44,1	5,3	12,4	219
К2 (0–10)	8,9	44,6	5,3	14,3	223
К2 (10–20)	8,8	45,2	4,9	13,7	201
К2 (20–30)	8,0	42,8	4,1	20,4	218
Персиановская степь (0–10)	9,1	41,3	7,3	34,8	458
Персиановская степь (10–20)	9,2	39,0	5,6	28,9	440
Персиановская степь (20–30)	11,5	39,8	4,4	19,0	427

На участке №2 различие между почвами с разной обработкой составляет «всего» 20%. Особняком стоит почва целинного участка, где в двух поверхностных слоях длина корней была ниже, чем в почве поля Д1 (вариант сравнения), однако в слое 20–30 см в целинной почве продуктивность была выше в 2,5 раза по сравнению с контрольным вариантом. Возможно, в этом слое содержится меньше токсинов, выделяемых растениями и микроорганизмами. Эти вещества в максимальном количестве содержатся в поверхностных слоях почв с высокой биогенностью (подстилках, ветоши, дерновых и грубогумусовых горизонтах) и могут оказывать негативное воздействие на прорастание семян и интенсивность начального роста растений.

Активность ферментов в исследуемых почвах различается в зависимости от природы фермента и вида обработки. Активность каталазы зависит от свойств почв в не меньшей степени, чем от характера использования почв. Так, среднемощные черноземы участка №1 обладают пониженной активностью каталазы по сравнению с другими исследованными почвами (участка №2 и целины). Минимальные значения (около 50% от Д1) отмечены для пахотного варианта этого участка (К1). На участке №2 различия менее значительные. Профильное распределение значений активности этого фермента или не выражено, или незакономерно. Исключением является почва поля Д2, где распределение активности каталазы убывающее.

Практически такие же закономерности можно указать и для активности дегидрогеназ (см. табл. 160). Об этом свидетельствует и высокая связь между этими ферментами, коэффициент корреляции составляет 0,76. В целом активность дегидрогеназ менее чувствительна к типу землепользования, чем содержание гумуса и структурность почвы. При этом степень зависимости этих каталазы и дегидрогеназ от содержания гумуса достаточно высока ($R=0,73$ для каталазы и $0,60$ – для дегидрогеназ). Активность дегидрогеназ отражает различия только для участка №1 (поля Д1 и К1). Здесь почва прямого посева обладает достоверно более высокими значениями, чем на пашне.

Активность инвертазы максимальна в дерновом горизонте целины. Этот параметр наиболее тесно связан с плодородием почв и содержанием в ней органического вещества (Казеев и др., 2003, 2004, 2016; Даденко и др., 2014; Мясникова и др., 2015, 2021). В нашем случае корреляционная связь тоже отмечена, хоть и не такая тесная, как можно было ожидать ($R=0,74$). Профильное распределение активности инвертазы заметно убывающее на участках целины

и прямого посева, а на пашне обоих участков в пахотном слое распределение равномерное вследствие регулярного турбирования почвы. Прямой посев благоприятнее для активности инвертазы по сравнению со вспашкой, которая способствует уменьшению активности.

Активность уреазы также максимальна в дерновом горизонте Персиановской степи, где ее значение более чем вдвое превосходит таковые для всех обрабатываемых участков. На целине характер распределения типичен для почв юга России. На глубине 20–30 см активность уже почти в два раза меньше, чем в дерновом горизонте (0–10 см). Использование почв в растениеводстве снижает активность этого фермента и делает более равномерным распределение в верхней исследованной части профиля. Вертикальное распределение в слое 0–30 см обрабатываемых почв также становится не закономерным. Прямой посев так же, как для других ферментов, благоприятнее для этого фермента. Но особенностью данного фермента являются повышенные значения активности на поле Д1, в то время как другие ферменты активнее на поле Д2.

Фосфатаза проявила максимальную активность также в дерновом горизонте целинного участка Персиановской степи. Здесь ее активность постепенно снижается с глубиной. Однако даже нижний горизонт этого участка почти вдвое превосходит активность для всех слоев обрабатываемых почв. Убывающий характер активности фосфатазы отмечен только на поле прямого посева Д1. На расположенном в непосредственной близости поле К1 активность существенно снижена. На участке №2 различий в активности фосфатазы, обусловленных разной обработкой почв, не отмечено.

Обобщение материала исследований позволило установить существенные различия биологической активности исследуемых почв. Максимальные значения интегрального показателя биологического состояния почв получены для эталонного степного участка ООПТ «Персиановская степь» (рис. 117). Этот участок уже более 20 лет служит эталоном сравнения при исследовании антропогенных воздействий на почвы и почвенный покров юга России (Казеев и др., 2003, 2004; Казадаев и др., 2004; Даденко и др., 2014). Выявлены основные закономерности изменений ИПБС при разном землепользовании. Прямой посев оказывает менее угнетающее воздействие на биологическую активность по сравнению с традиционной обработкой вспашкой. Выявлена дифференциация бывшего пахотного горизонта на полях с длительным применением прямого посева, в отличие от равномерного распределения на пашне.

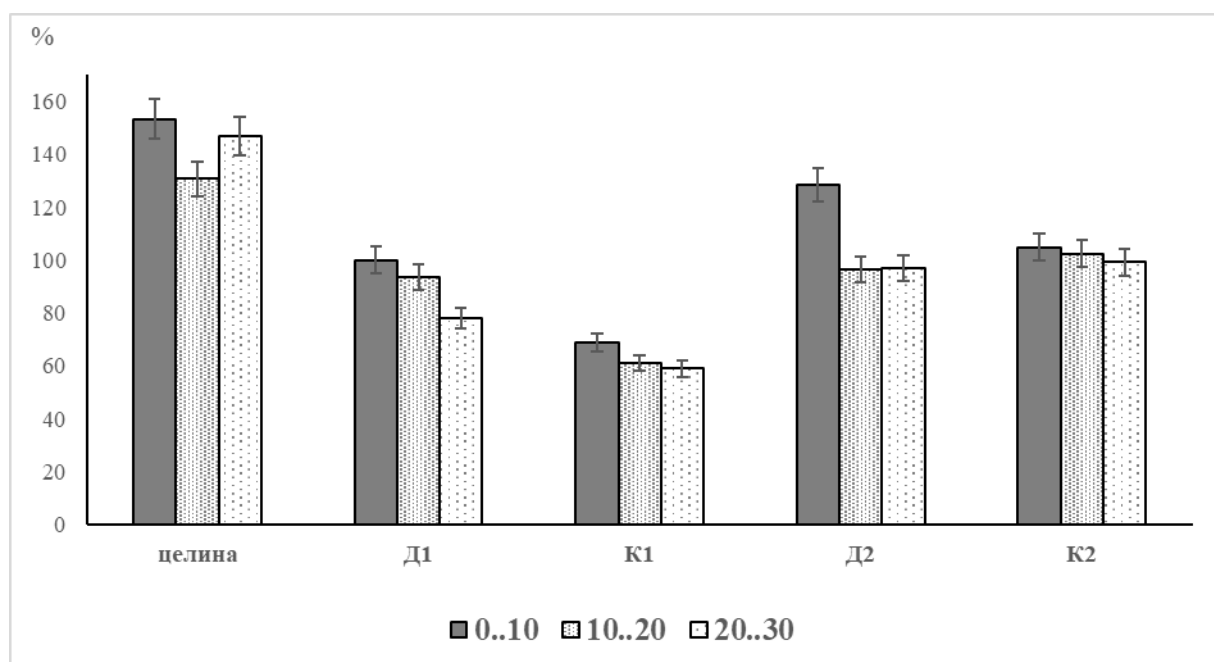


Рис. 117. ИПБС исследуемых почв

(рассчитан по содержанию гумуса и активного углерода, длины корней, активности каталазы, дегидрогеназ, инвертазы, фосфатазы, уреазы)

Проведенный корреляционный анализ не отметил существенного влияния структурно-агрегатного состава на биологические параметры (табл. 161).

Таблица 161. Корреляционная матрица исследуемых параметров для почв мониторинговых площадок, июль 2021 г.

Показатели	Водопроч- ность	pH	Гумус	С _{активный}	Корни	Каталаза	дегидроге- назы	Инвертаза	Уреаза	Фосфатаза
Структурность	0,19	0,51	-0,57	0,47	-0,17	-0,36	0,08	-0,21	-0,66	-0,76
Водопрочность		-0,04	0,19	0,55	0,23	0,09	0,12	0,36	0,15	0,17
pH			-0,41	0,51	-0,19	-0,22	-0,20	-0,12	-0,32	-0,56
Гумус				-0,31	0,34	0,79	0,60	0,74	0,74	0,88
С _{активный}					-0,09	-0,35	-0,25	0,18	-0,10	-0,31
Корни						0,66	0,32	0,10	-0,05	0,44
Каталаза							0,76	0,57	0,34	0,69
Дегидрогеназы								0,64	0,05	0,34
Инвертаза									0,45	0,55
Уреаза										0,80
Фосфатаза										

Только между содержанием ценных агрегатов и активностью гидролаз (уреаза и фосфатаза) отмечена обратная связь ($R = -0,66$ и $-0,76$). Реакция почвенной среды также не показала существенного влияния на биологическую активность, что обусловлено минимальными различиями этого параметра в исследуемых почвах. Наибольшее влияние на ферментативную активность оказало содержание гумуса. При этом положительная связь выявлена не только для активности гидролаз, что характерно для почв юга России, но и для оксидоредуктаз, которые реже коррелируют с содержанием гумуса в почвах (Казеев и др., 2003, 2004, 2016, 2020; Даденко и др., 2013, 2014; Мясникова и др., 2015; Азаренко и др., 2020). Отсутствие связи между содержанием гумуса и содержанием активного углерода объясняется значительным содержанием в почве растительных остатков после уборки, которая закончилась незадолго до пробоотбора, и наличием мульчирующего слоя на полях прямого посева.

Биологическая активность почв в 2022 г.

Полевые исследования на мониторинговых площадках проведены 20 июля 2022 г. Поля прямого посева в этот период были заняты нутом в фазе созревания. Контрольное поле К1 было исследовано после уборки зерновой культуры, поле К2 было занято подсолнечником в фазе цветения.

Результаты исследований показали, что ферментативная активность и биологические показатели почв различаются в зависимости от вида обработки.

Активность каталазы зависит от свойств почв в не меньшей степени, чем от характера использования почв. Почвы полей с использованием нулевой обработки характеризуются стабильно высокой активностью каталазы по сравнению с традиционной обработкой (рис. 118).

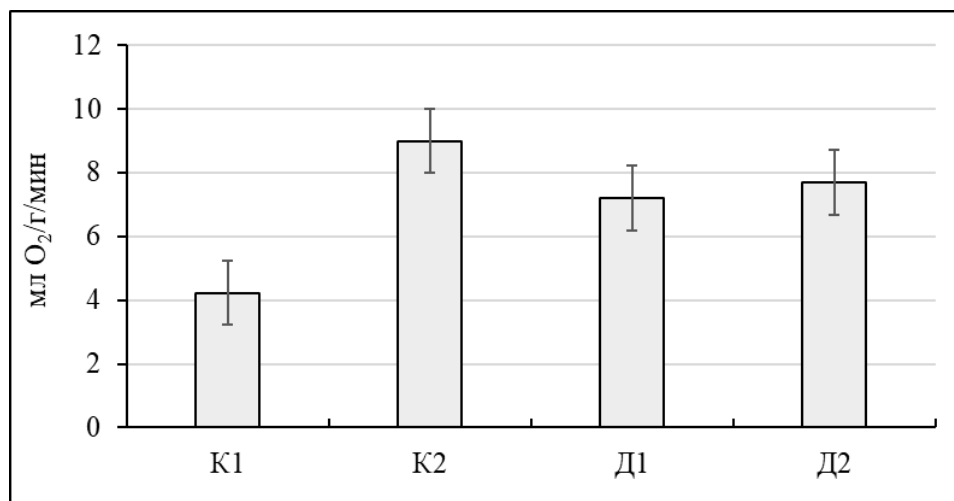


Рис.118. Активность каталазы, мл O₂/г/мин, 2022 г.

Активность дегидрогеназ оказалась более чувствительна к типу землепользования, чем активность каталазы. Почвы прямого посева обладают достоверно более высокими значениями, чем с традиционной обработкой (рис. 119).

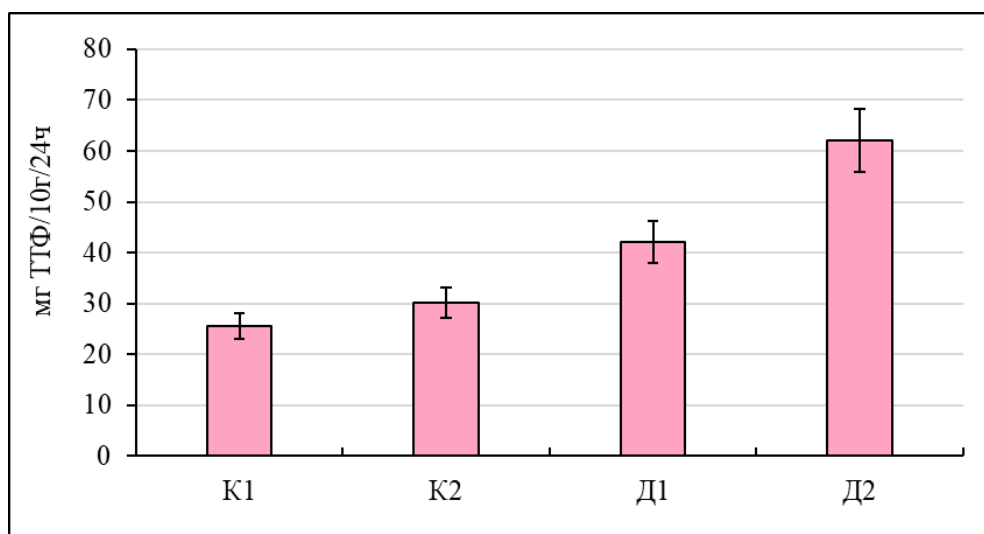


Рис. 119. Активность дегидрогеназ, мг ТТФ/10г/24ч, 2022 г.

Активность инвертазы наиболее тесно связана с плодородием почв и содержанием в ней органического вещества (Казеев и др., 2003, 2004, 2016; Даденко и др., 2014; Мясникова и др., 2015, 2021). Прямой посев благоприятнее для активности инвертазы по сравнению с традиционной вспашкой, которая способствует уменьшению активности (рис. 120).

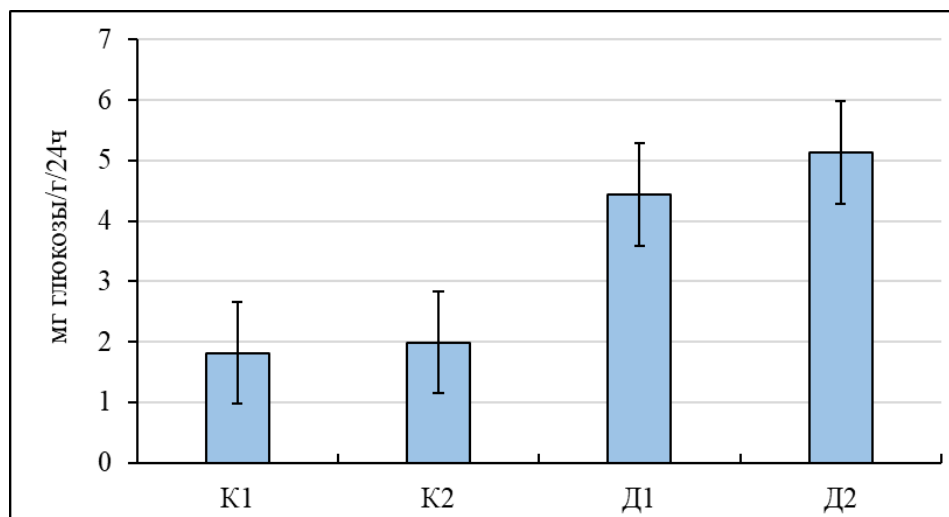


Рис. 120. Активность инвертазы, мг глюкозы/г/24ч, 2022 г.

Активность уреазы также максимальна в почвах с нулевой обработкой. Прямой посев так же, как и для других ферментов, благоприятно повлиял на ферментативную активность почв. В этом отношении поля Д1 и Д2 равны по активности уреазы (рис. 121).

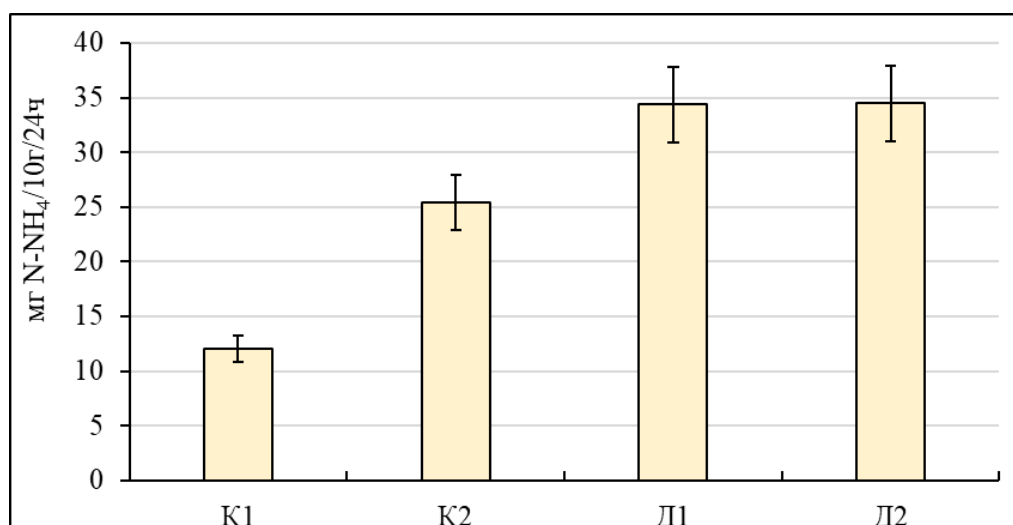


Рис. 121. Активность уреазы, мг N-NH₄/10г/24ч, 2022 г.

Активность фосфатазы также максимальна в почвах с нулевой обработкой. Прямой посев так же, как и для других ферментов, благоприятно повлиял на ферментативную активность почв. В этом отношении поля Д1 и Д2 равны по активности фосфатазы (рис. 122).

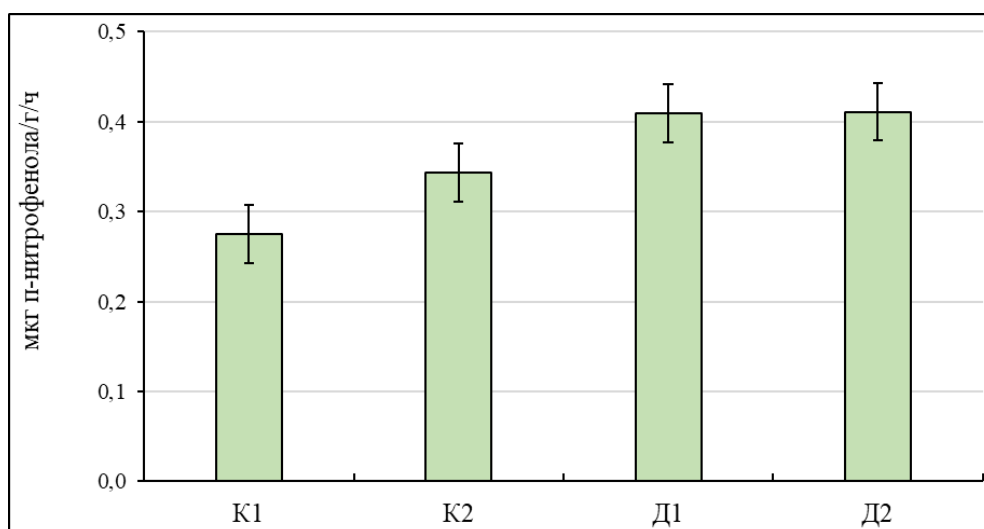


Рис. 122. Активность фосфатазы, мкг п-нитрофенола/г/ч, 2022 г.

Результаты содержания гумуса и активного углерода показали существенные отличия между видами обработки почв. Поля с нулевой обработкой имеют достоверно высокие значения, по сравнению с традиционной отличающиеся в два раза.

По результатам исследований был проведен корреляционный анализ, в ходе которого между каталазой и дегидрогеназами была выявлена низкая положительная корреляция ($R = 0,37$), а между инвертазой, уреазой и фосфатазой высокая положительная ($R = 0,71$). Также отмечена высокая корреляция между активностью ферментов и содержанием органического вещества ($R = 0,92$).

Биологическая активность почв в 2023 г.

В июле 2023 г. варьирование биологических показателей снижается вследствие уменьшения влажности почвы и нивелирования различий в фазах развития выращиваемых культур (Казеев и др., 2004). Обычно в этот период относительного покоя биологические процессы несколько затухают, что сказывается на их низком варьировании, что важно в мониторинговых многолетних исследованиях. В этот месяц чаще всего проявляются наибольшие различия между используемыми технологиями обработки почвы, что обусловлено даже небольшими различиями во влажности почвы при использовании этих технологий (Мокриков и др., 2017; Казеев и др., 2018). Все исследуемые поля ранее были заняты зерновыми сплошного сева, что существенно облегчает их корректное сравнение. В момент исследования зерновые были убраны, и почва в течение длительного времени была свободна от посевов. Различия опытных

и контрольных полей было, прежде всего, в количестве стерни и растительных остатков на поверхности почв с разной обработкой.

Необходимо отметить, что в текущем году частые осадки привели к повышению влажности почвы в течение большей части вегетационного сезона. Гидротермические условия в период мониторинговых исследований существенно различались на разных участках (табл. 162).

Таблица 162. Экологические параметры почв, 18 июля 2023 г.

Показатели	К1	Д1	К2	Д2
Температура поверхности, термометр	48,8	28,6	36,2	34,0
Влажность почвы полевая, %	30,3	42,4	32,0	33,5
Дыхание полевое, г СО ₂ м ² /ч	0,31	0,37	0,25	0,40

При комфортной температуре воздуха (+30–32°C) поверхность почвы разных участков разогревалась в разной мере. Пахотные почвы нагревались значительно больше, чем почва в агроценозах с прямым посевом, особенно на первом участке. Причина этого известна с момента проведения первых исследований в 2016 г. – защита поверхности почвы мульчирующим слоем растительных остатков, которые препятствуют инсоляции и снижают испарение влаги с поверхности почвы. Поэтому влажность почв с прямым посевом значительно выше, чем пахотных.

Для второго участка различия ниже вследствие отсутствия текущей обработки почвы на контрольном участке после уборки урожая, в то время как на контрольном поле первого участка проведена поверхностная обработка.

Дыхание почв полей с прямым посевом было выше, чем в пахотных контрольных почвах. На первом участке дыхание было выше на 17%, а на втором – на 58%. Это связано с благоприятными гидротермическими условиями в почвах прямого посева, которые активизируют биологические процессы в почве.

Активность каталазы значительно различалась на двух контрольных полях (рис. 123). В первом поле участка К1 значения активности каталазы были на низком уровне – 2,7–2,9 мл О₂/г/мин в обоих слоях почвы. На пахотном поле К2 значения активности каталазы были на очень высоком уровне обогащенности – 18,2–19,1 мл.

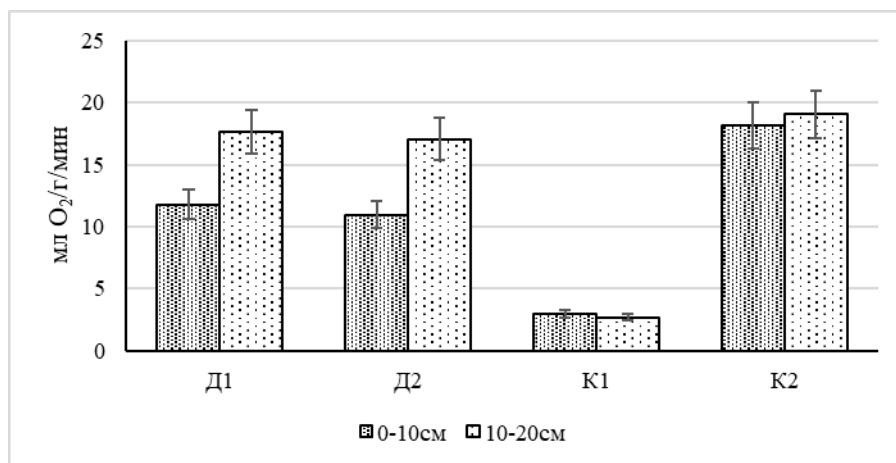


Рис. 123. Влияние длительного применения технологии прямого посева на активность каталазы, 18 июля 2023 г.

Такие различия в активности фермента связаны с более низким плодородием почвы первого участка, сформированной на элювии песчаников. В почвах прямого посева отмечены разные тенденции изменений активности каталазы. На первом участке в поверхностном слое 0–10 см отмечено четырехкратное см. ранее 4-кратное увеличение активности при использовании прямого посева. На втором участке отмечено снижение активности на 40%. В слое почвы 10–20 см на первом участке различие увеличилось до 6,5 раз, в то время как на втором участке различие сократилось до 11%.

Активность дегидрогеназ имела примерно такие же различия в почвах исследуемых полей, как и активность каталазы (рис. 124).

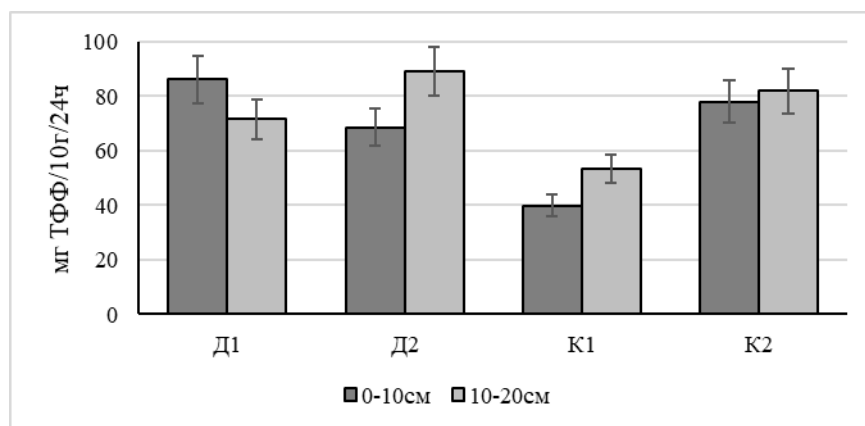


Рис. 124. Влияние длительного применения технологии прямого посева на активность дегидрогеназ, 18 июля 2023 г.

Активность дегидрогеназ в почвах прямого посева примерно одинакова на разных участках, несмотря на их различия в содержании гумуса и мощности гумусовых горизонтов. В то же время контрольные почвы сильно

контрастировали по активности дегидрогеназ, в поверхностном слое почвы второго участка активность была выше почти в два раза. Прямой посев в первом случае привел к повышению активности дегидрогеназ в 2,2 раза для поверхностного слоя и 1,3 раза для слоя 10–20 см. На втором участке в слое 0–10 см почвы прямого посева активность была меньше на 12%, а в слое 10–20 см, напротив, больше на 9%. В целом для второго участка такие различия несущественны.

Активность инвертазы в поверхностном слое почвы была максимальной в почве прямого посева на участке Д2, где ее активность вдвое превышала контрольные значения (рис. 125). На первом участке для поверхностного слоя различий не обнаружено, а во втором слое активность фермента в почве прямого посева была почти вдвое снижена.

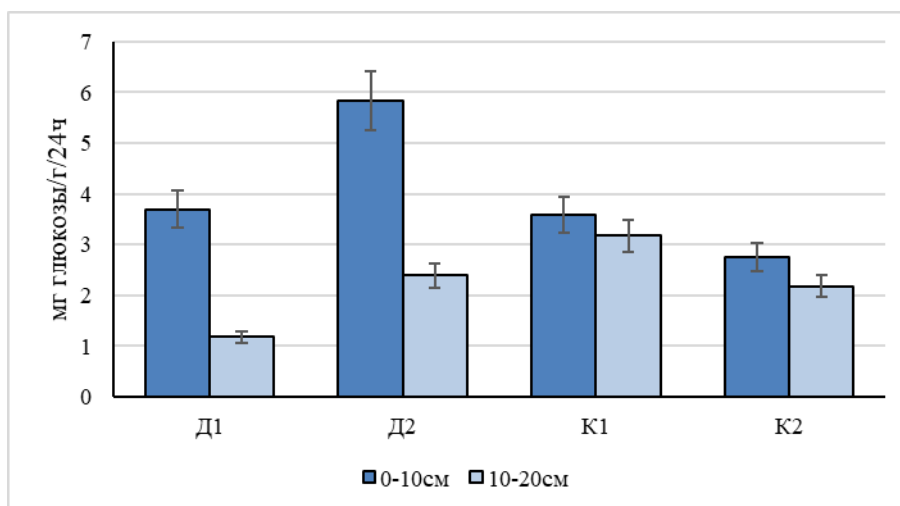


Рис. 125. Влияние длительного применения технологии прямого посева на активность инвертазы, 18 июля 2023 г.

Для активности фосфатазы выявлены такие же тенденции различий, как и для активности инвертазы. Только максимальные значения в обоих слоях были отмечены в контрольной почве первого участка (рис. 126). На втором участке достоверных различий между почвами с разной обработкой не отмечено.

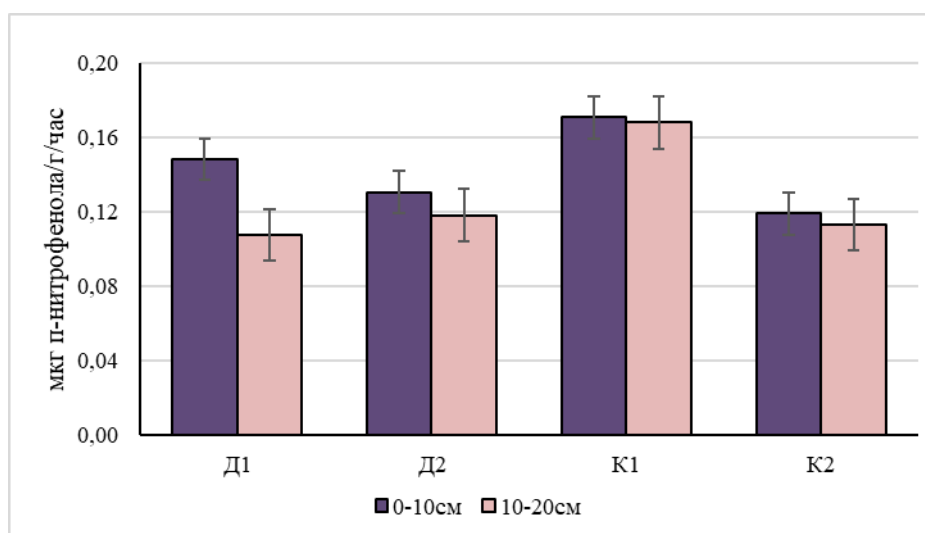


Рис. 126. Влияние длительного применения технологии прямого посева на активность фосфатазы, 18 июля 2023 г.

Активность глюкозидазы было практически равной в поверхностном слое всех исследуемых участков (рис. 127). Выявлены различия только для слоя 10–20 см, в котором во всех почвах отмечено небольшое понижение активности, за исключением почвы поля с прямым посевом на участке Д1, где отмечено снижение на 41% относительно активности этого слоя в контрольной почве.

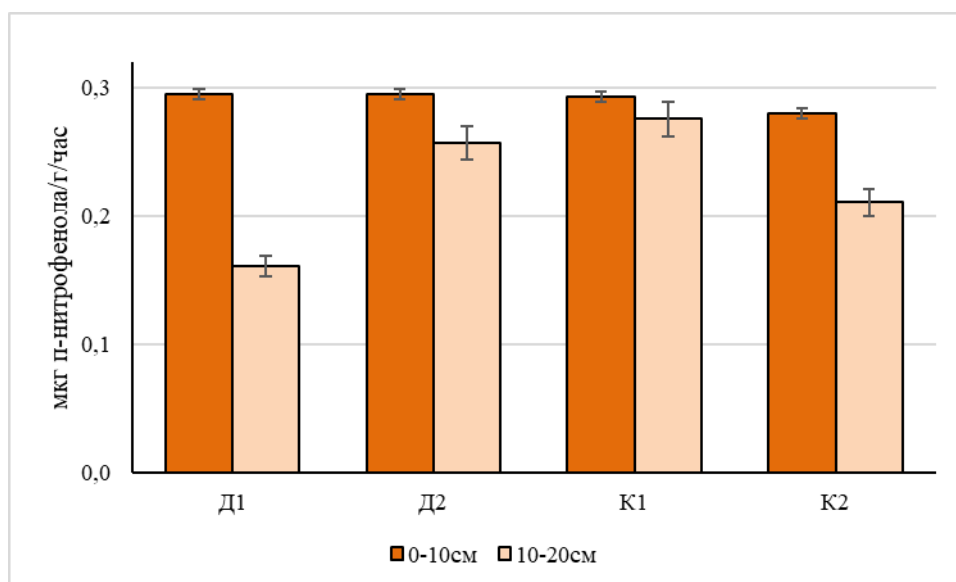


Рис. 127. Влияние длительного применения технологии прямого посева на активность глюкозидазы, 18 июля 2023 г.

Во всех исследуемых почвах для активности уреазы отмечены инверсии – повышение активности в нижележащем слое по сравнению с вышерасположенным слоем (рис. 128). Активность уреазы была практически равной в

почвах прямого посева на обоих участках, как и в случае активности каталазы, описанном выше. Прямой посев привел к повышению активности уреазы в поверхностном слое обоих участков. Особенно значительное повышение отмечено на участке Д1, где выявлено увеличение на 74%.

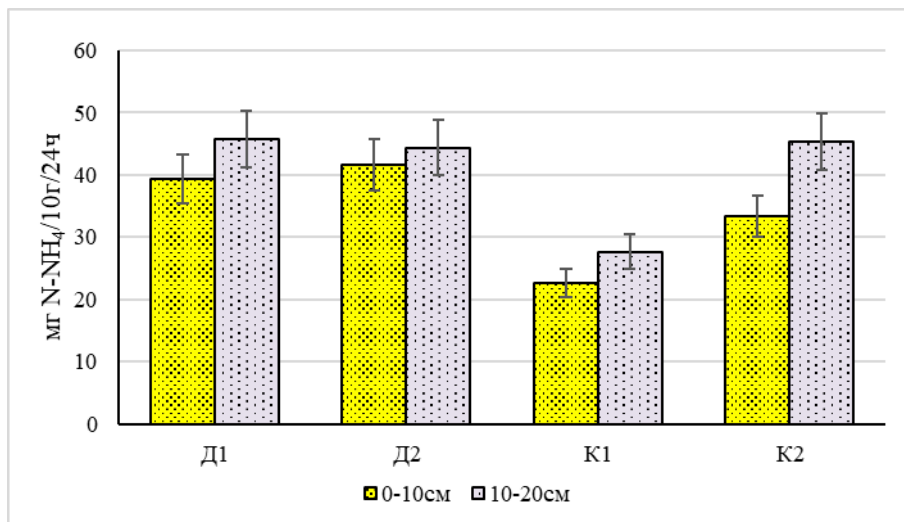


Рис. 128. Влияние длительного применения технологии прямого посева на активность уреазы, 18 июля 2023 г.

Содержание гумуса в почвах прямого посева было существенно выше на обоих участках (рис. 129).

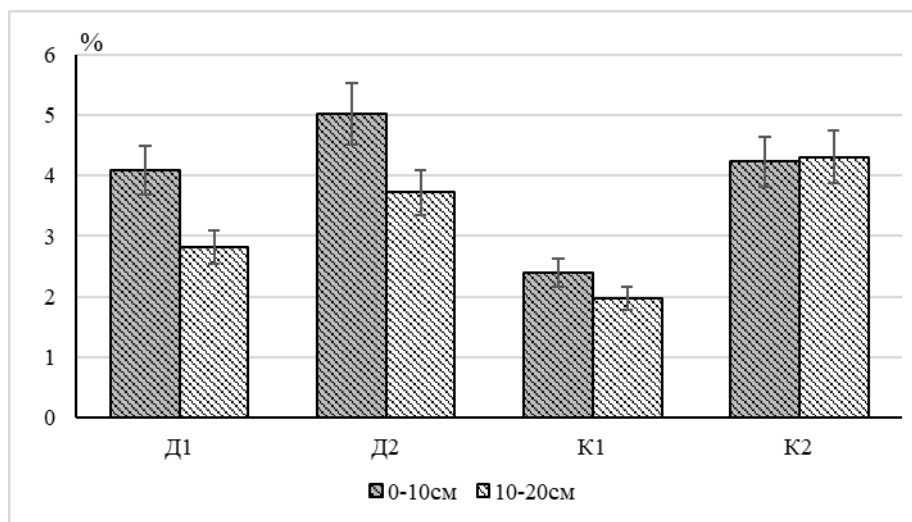


Рис. 129. Влияние длительного применения технологии прямого посева на содержание гумуса, 18 июля 2023 г.

Особенно существенное повышение отмечено на первом участке, где в слое 0–10 см содержание гумуса повышено в 1,7 раза, а в слое 10–20 см – в 1,4

раза. На втором участке повышение в поверхностном слое составило 1,12 раза, а в слое 10–20 см отмечено незначительное уменьшение. Выявлена усиливающаяся с последних измерений дифференциация бывшего пахотного слоя по содержанию гумуса на разной глубине, в то время как для пахотных почв таких различий не обнаружено ввиду их постоянных перемешиваний при обработках почвы.

Содержание активного углерода в почвах прямого посева выше, чем в контрольных пахотных почвах (рис. 130). Особенно четко эта закономерность проявляется в поверхностном слое почв, где при прямом посеве накапливаются растительные остатки мульчирующего слоя. На первом участке повышение относительно контрольных значений составляет 38%, на втором участке 53%. Во втором слое почвы четких изменений не отмечено.

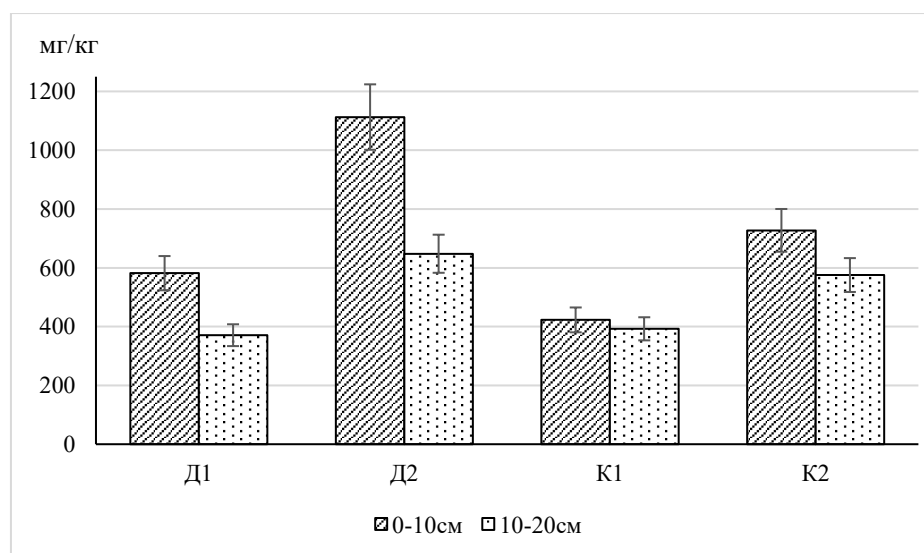


Рис. 130. Влияние длительного применения технологии прямого посева на содержание активного углерода, 18 июля 2023 г.

В результате исследований 2023 г. выявлено значительное превышение значений интегрального показателя биологического состояния черноземов при длительном использовании технологии прямого посева (рис. 131).

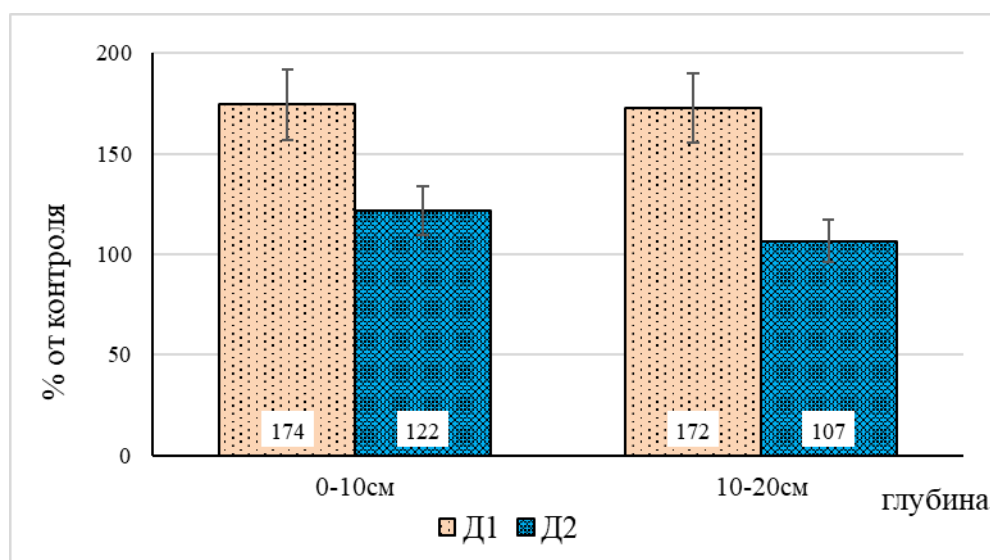


Рис. 131. Повышение значений ИПБС при длительном использовании прямого посева в сравнении с контрольными участками с традиционной технологией обработки почвы, 2023 г.

На участке Д1 отмечены более высокие значения превышения над почвой контрольного участка с традиционной обработкой. Здесь в обоих исследуемых слоях почвы ИПБС был значительно выше (на 72–74%), чем контрольные значения. На участке Д2 повышение интегрального показателя выше контрольных значений на 122% в слое 0–10 см и на 7% – в слое 10–20 см. Различие в повышении значений ИПБС между разными участками связано с проявлением эрозионных процессов на первом участке и, соответственно, меньшей мощностью гумусовых горизонтов и исходным меньшим плодородием. Поэтому почвосберегающая технология в данных условиях показала свою высокую эффективность по сравнению с традиционной технологией обработки с регулярным перемешиванием почвы в результате вспашки и культиваций. Почва второго участка характеризуется большей мощностью и потенциальным плодородием. Поэтому здесь отмечено менее значительное превышение ИПБС при прямом посеве. Также на участке Д2 отмечено значительное расхождение ИПБС между разными слоями почвы. Это связано с дифференциацией бывшего пахотного слоя при длительном использовании прямого посева, что ранее было отмечено в наших отчетах и научных статьях. Поэтому поверхностный слой 0–10 см оказывается гораздо более биологически активным по сравнению со слоем 10–20 см этой же почвы. В пахотном горизонте контрольной почвы с традиционной обработкой таких отличий не отмечено.

Биологическая активность почв в 2024 г.

В июле 2024 г. температура почв была характерной для времени периода наблюдений. Температурные условия в целом благоприятствовали активному протеканию биологических процессов в почвах (рис. 132). Однако их интенсивность была в значительной мере ограничена низкой влажностью почвы в результате длительной засухи (рис. 133). Практически воздушно-сухая почва была на всех исследуемых участках за исключением участка пашни около хутора Гривенный. Здесь повышенная влажность была обусловлена использованием поля под паром.

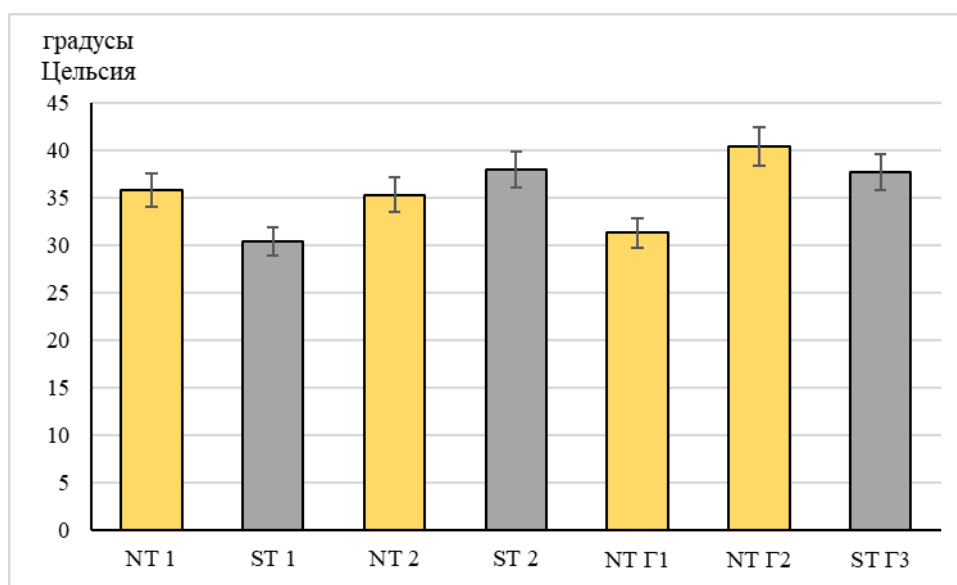


Рис. 132.– Температура поверхности почвы (пирометр), 31 июля 2024 г.

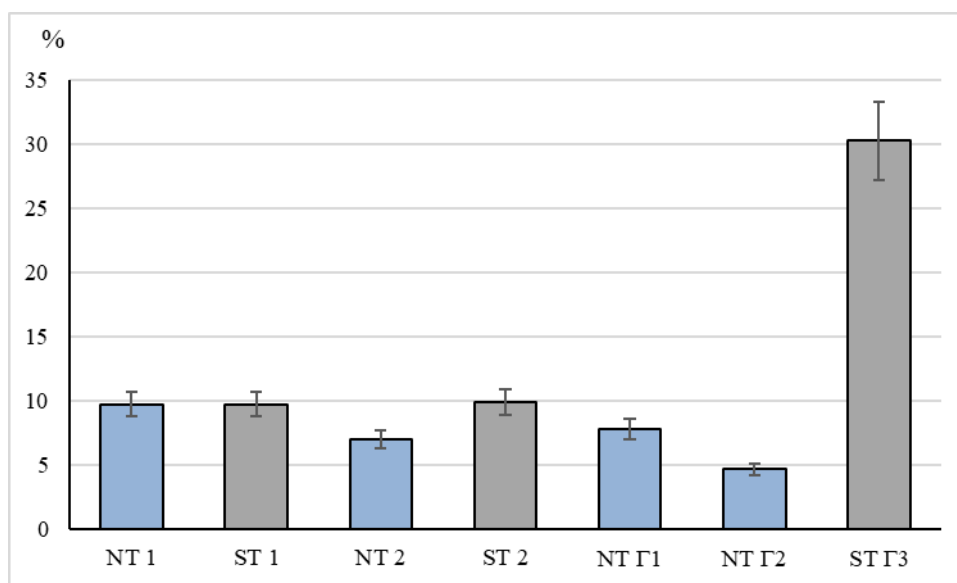


Рис. 133. Влажность почвы, 31 июля 2024 г.

В результате длительного иссушения плотность поверхностного слоя почв на всех исследуемых мониторинговых площадках была высокой (рис. 134). Наиболее высокими значениями плотности обладали почвы прямого посева на площадках Г1 и особенно Д2. На этих участках иссушение почвы привело к появлению широких и глубоких трещин на поверхности почвы.

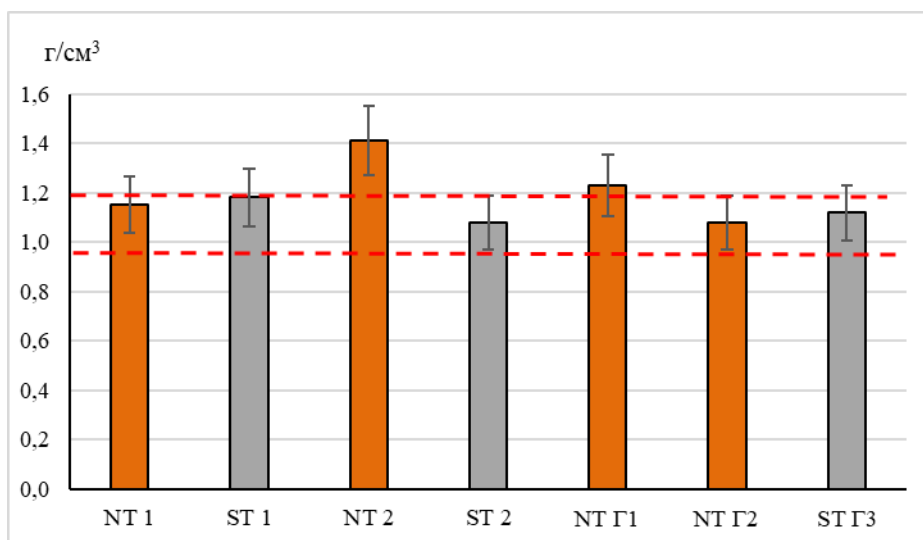


Рис. 134. Плотность почв мониторинговых участков, 31 июля 2024 г. (оптимальные параметры показателя заключены между красным пунктиром)

Максимальные значения плотности были зафиксированы на участке Д2, где значения превышали $1,4 \text{ г/см}^3$. Такая высокая плотность неблагоприятна для протекания биологических процессов в почве и произрастания растений. Ранее подобные значения плотности иногда фиксировались на исследуемых полях с разной обработкой в сухие месяцы лета и осени, особенно на полях с пропашными культурами (Мокриков и др., 2017; Казеев и др., 2018). В то же время в апреле-мае значения плотности на всех исследуемых участках возвращались к оптимальному уровню ($1,0\text{--}1,1 \text{ г/см}^3$).

Интенсивность дыхания почв была на низком уровне практически на всех исследуемых площадках (рис. 135).

Определение дыхания было осложнено исключительно высокой твердостью поверхностного слоя почвы, пересохшего в результате иссушения. В некоторых случаях было практически невозможно погрузить почвенную камеру в почву на требуемую для анализа глубину ($0,5 \text{ см}$).

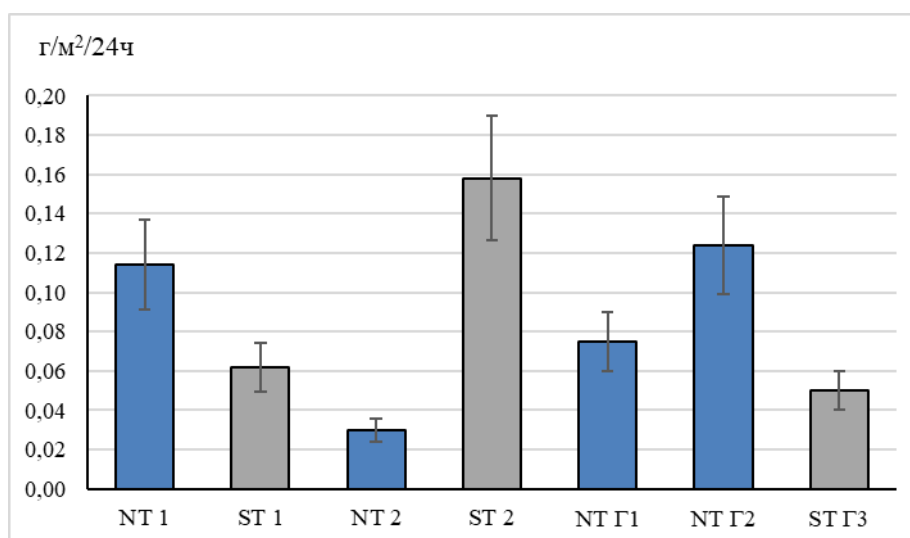


Рис. 135. Интенсивность дыхания почв, 31 июля 2024 г.

В почвах на полях с прямым посевом дыхание было выше относительно контрольных участков. Однако на участке №2 на пахотном поле дыхание было выше в результате наличия вегетирующих растений кукурузы, в то время как на поле прямого посева вегетирующих растений не было. В результате активизации автотрофного дыхания на участке К2 и твердого поверхностного слоя почвы на поле Д2 значения показателя были в несколько раз выше, хоть и находились на низком для данного показателя уровне. Повышенная плотность и твердость почвы на участках прямого посева около хутора Гривенный не помешала продемонстрировать повышенные значения интенсивности дыхания по сравнению с пахотным полем, расположенном на расстоянии нескольких десятков метров. Даже высокая влажность почвы на пахотном участке не привела к повышению дыхания почвы, что свидетельствует о том, что даже такой динамичный показатель, как дыхание почвы, определяется не только гидротермическими факторами, но и характером использования участка.

Для экологической оценки влияния нулевой технологии на плодородие почвы ИП Мокрикова В. И. были использованы несколько показателей, отражающих интенсивность протекания биологических процессов в почве (табл. 163).

Таблица 163. Биологическая активность почв исследуемых участков ИП
Мокрикова В.И. (средние значения), 31 июля 2024 г.

Вариант	Каталаза (мл O ₂ за 1 мин)	Дегидрогеназы (мг ТТФ/10г/24ч)	Инвертаза (мг глюкозы/г/24ч)	Уреаза (мг N– NH ₄ /10г/24ч)	Активный углерод (мг/кг)	Содержание гумуса, %
0–10 см						
Д1	9,0	103,9	2,6	47,7	655	3,7
Д2	9,8	102,4	7,8	42,7	603	4,3
К1	2,1	34,2	4,9	31,8	356	1,1
К2	11,0	88,1	6,4	30,2	304	3,5
Г1	8,0	73,9	8,8	26,6	700	5,8
Г2	9,3	62,1	10,3	26,7	475	5,7
Г3	6,2	38,3	5,4	23,6	674	5,8
10–20 см						
Д1	12,1	104,4	1,7	55,1	488	2,9
Д2	12,3	94,8	2,1	48,9	529	3,5
К1	1,8	64,3	7,5	37,1	342	1,0
К2	12,2	90,1	2,5	41,4	430	3,5
Г1	9,9	112,5	5,7	39,6	347	5,3
Г2	11,3	87,4	3,3	41,1	508	4,7
Г3	8,1	59,7	6,0	25,0	513	5,2

Активность каталазы в исследуемых почвах имеет существенное различие для разных участков (табл. 164).

Таблица 164. Активность каталазы (мл O₂/г/мин.), 31 июля 2024 г.

Вариант	М	Дисперсия	m	ошибка
0–10 см				
Д1	9,0	0,9	0,7	7
Д2	9,8	0,0	0,1	1
К1	2,1	0,0	0,1	5
К2	11,0	0,1	0,2	2
Г1	8,0	0,1	0,2	2
Г2	9,3	0,1	0,2	2
Г3	6,2	0,1	0,2	4
10–20 см				
Д1	12,1	0,2	0,3	2
Д2	12,3	0,1	0,2	1
К1	1,8	0,0	0,1	8
К2	12,2	0,2	0,3	3
Г1	9,9	0,0	0,0	0
Г2	11,3	0,2	0,3	3
Г3	8,1	0,2	0,3	4

На участке №1 около поселка Верхнегрушевский выявлено более чем 4–кратное повышение активности фермента на участке с нулевой технологией

по сравнению с пахотной обработкой. На участке №2 не выявлено существенных различий между почвами с разной системой обработки. На участке №3 около хутора Гривенный выявлены достоверные различия между двумя полями с нулевой технологией и пахотным полем. Активность каталазы при этом на 29–50% выше в почве, обрабатываемой по нулевой технологии.

Активность дегидрогеназ в исследуемых почвах изменяется аналогично активности каталазы, но значение изменений менее значительны (табл. 165).

Таблица 165. Активность дегидрогеназ, мг ТТФ/10г/24ч, 31 июля 2024 г.

Вариант	М	Дисперсия	m	ошибка
0–10 см				
Д1	103,9	148,6	8,6	8
Д2	102,4	36,9	4,3	4
К1	34,2	30,5	3,9	11
К2	88,1	57,0	5,3	6
Г1	73,9	1,0	0,7	1
Г2	62,1	10,2	2,3	4
Г3	38,3	0,5	0,5	1
10–20 см				
Д1	104,4	77,8	6,2	6
Д2	94,8	2,0	1,0	1
К1	64,3	45,7	4,8	7
К2	90,1	48,8	4,9	5
Г1	112,5	17,9	3,0	3
Г2	87,4	10,6	2,3	3
Г3	59,7	0,1	0,2	0

Активность инвертазы, в отличие от активности оксидоредуктаз, на первом участке выше на 88% в почве контрольного пахотного поля по сравнению с полем прямого посева (табл. 166).

А на втором участке, наоборот, поле прямого посева обладает повышенными значениями инвертазы по сравнению со значениями пашни (на 21%). То же самое можно отметить и для участка №3, где активность инвертазы была на 62–91% выше в почве полей прямого посева. Для активности уреазы выявлены менее значительные (43–50%) повышения в почвах прямого посева на участках №1 и 2 (табл. 167).

Таблица 166. Активность инвертазы (мг глюкозы/г/24ч), 31 июля 2024 г.

Вариант	М	Дисперсия	m	ошибка
0–10 см				
Д1	2,6	0,0	0,0	1
Д2	7,8	4,7	1,5	20
К1	4,9	0,1	0,2	5
К2	6,4	0,0	0,1	2
Г1	8,8	0,1	0,2	2
Г2	10,3	1,7	0,9	9
Г3	5,4	0,0	0,1	1
10–20 см				
Д1	1,7	0,1	0,2	12
Д2	2,1	0,0	0,1	5
К1	7,5	2,9	1,2	16
К2	2,5	0,0	0,0	2
Г1	5,7	0,6	0,6	10
Г2	3,3	0,0	0,1	4
Г3	6,0	0,0	0,0	0

Таблица 167. Активность уреазы (мг N–NH₄/10г/24ч), 31 июля 2024 г.

Вариант	М	Дисперсия	m	ошибка
0–10 см				
Д1	47,7	7,2	1,9	4
Д2	42,7	6,3	1,8	4
К1	31,8	19,4	3,1	10
К2	30,2	19,4	3,1	10
Г1	26,6	58,0	5,4	20
Г2	26,7	77,6	6,2	23
Г3	23,6	28,0	3,7	16
10–20 см				
Д1	55,1	7,2	1,9	3
Д2	48,9	18,2	3,0	6
К1	37,1	28,2	3,8	10
К2	41,4	2,8	1,2	3
Г1	39,6	66,0	5,7	15
Г2	41,1	15,8	2,8	7
Г3	25,0	52,1	5,1	20

Содержание активного углерода в почвах первых двух участков практически вдвое выше на участках с нулевой технологией, чем на пашне (табл. 168). На участке №3 этот показатель достоверно не изменяется.

Самый важный показатель почвенного плодородия – содержание гумуса – отражает положительное влияние нулевой технологии. Особенно значительные изменения выявлены для участка № 1, где содержание гумуса более чем

второе выше, чем в почве пахотного поля, где оно резко уменьшилось в результате эрозии (табл. 169). На участке №2 изменения менее существенны, чем на участке 1. Здесь в почве поля с нулевой технологией содержание гумуса более чем на 22% выше, чем на пахотном поле с посевом кукурузы. На третьем участке различия содержания гумуса между тремя площадками не выявлено.

Таблица 168. Содержание активного углерода (мг/кг), 31 июля 2024 г.

Вариант	М	Дисперсия	m	ошибка
0–10 см				
Д1	655	2280,9	33,8	5
Д2	603	364,1	13,5	2
К1	356	4886,4	49,4	14
К2	304	2960,2	38,5	13
Г1	700	4715,2	48,6	7
Г2	475	8497,0	65,2	14
Г3	674	1318,9	25,7	4
10–20 см				
Д1	488	3500,0	41,8	9
Д2	529	457,9	15,1	3
К1	342	1483,8	27,2	8
К2	430	798,5	20,0	5
Г1	347	2775,7	37,3	11
Г2	508	1570,7	28,0	6
Г3	513	2489,3	35,3	7

Таблица 169. Содержание гумуса (%), 31 июля 2024 г.

Вариант	М	Дисперсия	m	ошибка
0–10 см				
Д1	3,7	0,0	0,1	2
Д2	4,3	0,0	0,0	1
К1	1,1	0,0	0,1	9
К2	3,5	0,0	0,1	2
Г1	5,8	0,0	0,0	0
Г2	5,7	0,0	0,1	2
Г3	5,8	0,0	0,0	0
10–20 см				
Д1	2,9	0,0	0,1	3
Д2	3,5	0,0	0,0	1
К1	1,0	0,0	0,0	3
К2	3,5	0,1	0,2	5
Г1	5,3	0,0	0,1	2
Г2	4,7	0,0	0,1	3
Г3	5,2	0,0	0,1	2

При оценке влияния длительности применения прямого посева в черно-земе участка около хутора Гривенный установлено повышение активности уреазы во втором слое (10–20 см). Активность инвертазы была существенно выше контрольного пахотного поля только в поверхностном слое 0–10 см, в то время как во втором слое достоверных отличий не было выявлено. Содержание общего и активного углерода не имело достоверных различий на полях с разной обработкой.

Для активности каталазы, дегидрогеназ и уреазы отмечена инверсия в профилном распределении во всех почвах. Для содержания гумуса нет различия в разных глубинах. Активность инвертазы имеет типичный убывающий характер. Содержание активного углерода на пахотном и участке с длительным применением имеет нормальное распределение, а на участке первого года смены технологии обработки отмечена вертикальная инверсия.

БИОЛОГИЧЕСКАЯ АКТИВНОСТЬ ПОЧВ СТАЦИОНАРА ФРАНЦ В ПЕРВЫЕ ГОДЫ ПОСЛЕ ПЕРЕХОДА НА НУЛЕВУЮ ОБРАБОТКУ ПОЧВЫ

В опыте ФРАНЦ в первый год после перехода с традиционной пахотной на нулевую технологию (краткосрочные изменения свойств почвы) в марте 2023 г. установлено незначительное, но достоверное увеличение полевой влажности относительно контроля на участках с посевами пшеницы – на 6 %. В июле 2023 г. отмечали небольшое снижение влажности почвы в вариантах прямого посева относительно пахотных вариантов (на 7–27 %). Уменьшение влажности на полях севооборота под льном и подсолнечником связано с отсутствием в первый год на поверхности почвы мульчирующего слоя из растительных остатков, который формировался при альтернативной технологии обработки и предохранял почву от высыхания (Поляков, Бакиров, 2020). Разрыхление почвы при пахотной обработке при посеве и культивациях в мае способствовало лучшему сохранению влаги в почве. При длительном использовании прямого посева влажность почвы и запасы влаги повышаются, что подтверждено исследованиями на территории Ростовской области (Казеев и др., 2020).

Значимый рост интенсивности эмиссии углекислого газа зафиксирован только в посевах озимой пшеницы – на 0,14 г CO₂/м²/час больше в варианте No-Till по сравнению с контролем (табл. 170, рис. 136).

Таблица 170. Интенсивность дыхания почвы в опыте ФРАНЦ (2023 г.),
г CO₂/м²/час

Культура	Технология	Среднее значение	Дисперсия	Ошибка среднего
Пшеница	No-Till	0,53*	0,005	0,03
	традиционная (контроль)	0,39	0,002	0,02
Подсолнечник	No-Till	0,26	0,001	0,02
	традиционная (контроль)	0,21	0,002	0,02
Лён	No-Till	0,33	0,004	0,03
	традиционная (контроль)	0,31	0,003	0,03
Горох	No-Till	0,88	0,099	0,16
	традиционная (контроль)	0,64	0,049	0,11

**Достоверное отличие относительно контроля*

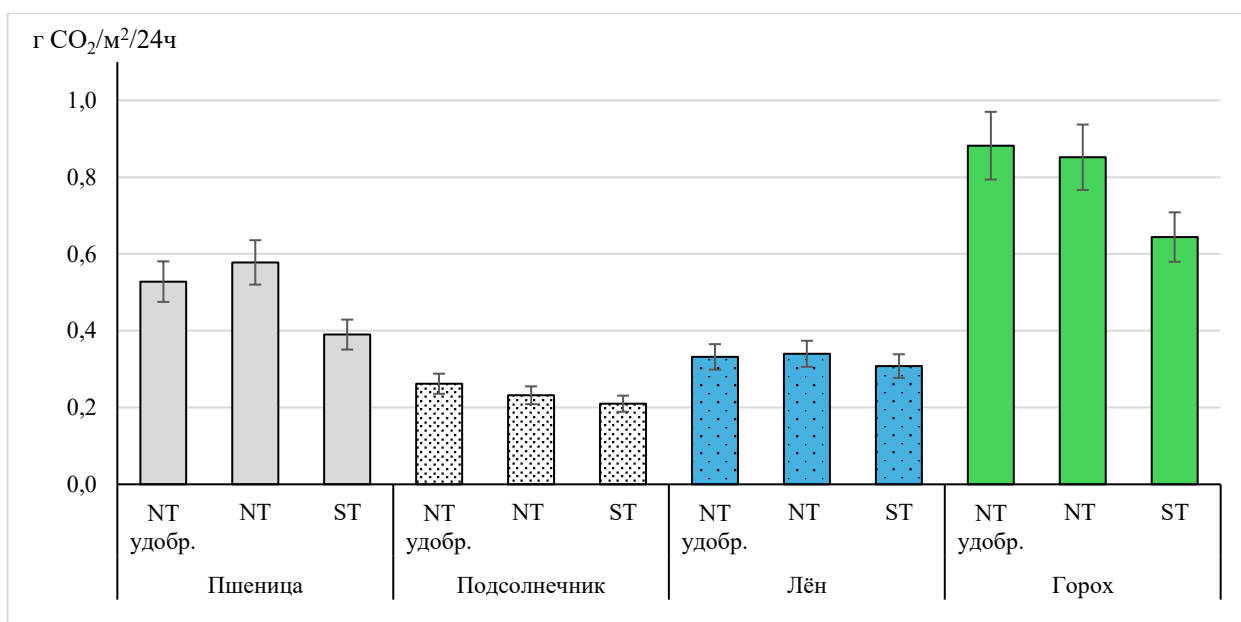


Рис. 136. Интенсивность дыхания почвы в опыте ФРАНЦ, 2024 г.

Недостоверность различий интенсивности дыхания в посевах гороха ярового объясняется большой вариабельностью показателей внутри выборки, однако эмиссия CO₂ здесь заметно превышает остальные варианты. Увеличение дыхания почвы на этой площадке может быть связано с особенностью бобовых, обеспечивающих достаточное азотное питание почвенных микроорганизмов. Достоверной корреляции между интенсивностью эмиссии углекислого газа и уровнем влажности не выявлено.

Согласно существующей градации гумусного состояния исследуемые почвы обладают средним уровнем его содержания, характерным для почв региона (Орлов и др., 2004).

В 2023 г. в среднем по вариантам применения нулевой технологии содержание гумуса на 0,3 % ниже в слое 10–20 см в сравнении с традиционной (табл. 171).

В 2024 г. не выявлено достоверной разницы в содержании гумуса в почвах с разной обработкой. Влияние выращиваемых культур больше, чем влияние применяемых в опыте технологий обработки почвы. Только при сравнении вариантов, засеянных озимой пшеницей, выявлено незначительное дифференцирование содержания гумуса по слоям бывшего пахотного горизонта. Однако отмеченные изменения минимальны для такого показателя, для которого значительны пространственное варьирование и ошибка определения.

Таблица 171. Содержание активного углерода и гумуса в почве опыта
(ФРАНЦ, 2023 г.)

Культура	Технология	Глубина отбора, см	Активный углерод, мг С/кг почвы		Гумус, %	
			М*	m	М	m
Пшеница озимая	No-Till	0–10	723,5	28,6	4,0	0,05
		10–20	659,7	6,7	3,8	0,05
	традиционная (контроль)	0–10	810,7	43,2	4,3	0,04
		10–20	766,9	1,1	4,2	0,05
Подсолнечник	No-Till	0–10	849,9	44,1	4,5	0,07
		10–20	798,2	85,1	4,2	0,10
	традиционная (контроль)	0–10	833,8	9,0	4,4	0,04
		10–20	689,4	7,6	4,2	0,02
Лён	No-Till	0–10	850,8	60,6	4,5	0,05
		10–20	680,0	17,1	4,1	0,01
	традиционная (контроль)	0–10	726,4	40,9	4,2	0,03
		10–20	751,6	10,8	4,1	0,05
Горох	No-Till	0–10	681,2	11,6	4,1	0,07
		10–20	706,6	20,7	3,9	0,04
	традиционная (контроль)	0–10	781,8	33,9	4,3	0,03
		10–20	666,3	21,3	4,1	0,04
Среднее	No-Till	0–10	776,4	50,3	4,3	0,15
		10–20	711,1	35,3	4,0	0,11
	традиционная (контроль)	0–10	788,2	26,8	4,3	0,05
		10–20	718,6	27,9	4,2	0,03

*М – среднее, m – ошибка среднего. Жирным шрифтом выделены достоверные отличия относительно контроля.

Минерализация гумуса возрастает при регулярном турбировании почвы, когда активизируются аэробные процессы. Однако в исследованиях, посвященных многолетнему опыту применения прямого посева, отмечают, что длительное использование ресурсосберегающей технологии способствует постепенной стабилизации гумусного состояния чернозёма, а в ряде случаев увеличивает его содержание по сравнению со вспашкой (Власенко и др., 2020; Ильбулова и др., 2022; Minnikova et al., 2022). Можно предположить, что в исследуемом опыте в вариантах No-Till содержание гумуса незначительно снижается из-за уплотнения бывшего пахотного горизонта, происходящего в результате прекращения вспашки и других механических обработок. Во многих работах, посвящённых изменениям агрофизических свойств почв при длительном применении технологии прямого посева, упоминают, что её плотность не зависит от технологии обработки и изменяется по тем же закономерностям, что и на пахотных территориях. Вероятно, при многолетнем применении No-Till происходит стабилизация плотности сложения и других физических

характеристик почвы. Расслоение пахотного слоя наблюдали как в вариантах с применением технологии No-Till, так и на площадках, обрабатываемых традиционным способом. В связи с этим нельзя однозначно утверждать, что применение технологии прямого посева в первый год сказывается на дифференцировании содержания гумуса в верхнем слое почвы.

В первый год применения No-Till отмечали достоверное снижение содержания активного углерода в вариантах с посевами пшеницы на 14 %, льна – на 10 % и гороха – на 13 % относительно контроля, а в 2024 г. содержание активного углерода было в среднем на 19 % меньше, чем в вариантах со вспашкой. Однако ранее установлено, что многолетнее использование прямого посева приводило к увеличению доли активного углерода, по сравнению с традиционной технологией обработки, при слабой и средней степени гумификации (Мокриков и др., 2020). Незначительные различия между разными слоями почвы отмечены для всех вариантов (0,1–0,3 %), независимо от способа обработки почвы, однако в большинстве случаев они недостоверны (см. табл. 2). Между содержанием общего и активного углерода наблюдали достоверную положительную корреляцию ($r = 0,80$). Между содержанием активного углерода и интенсивностью эмиссии углекислого газа выявлена отрицательная зависимость средней силы ($r = -0,55$).

Активность β -глюкозидазы в посевах льна и гороха в поверхностном слое 0–10 см при No-Till достоверно выше (на 1–4 %), чем в соответствующем слое на делянках, обрабатываемых отвальной вспашкой (рис. 137). На участке озимой пшеницы, напротив, происходит снижение активности фермента в этом слое на 11 %. В слое 10–20 см в среднем происходит достоверное снижение активности β -глюкозидазы по сравнению с контролем, за исключением варианта с горохом. Изменение величины показателя по слоям формируется как на участках прямого посева, так и в вариантах традиционной технологии. Следовательно, нельзя однозначно утверждать о тесной взаимосвязи перехода на прямой посев и расслоения бывшего пахотного горизонта по активности β -глюкозидазы.

Активность инвертазы в слое 10–20 см при прямом посеве достоверно выше (на 15 %), чем при обработке отвальной вспашкой только в варианте с подсолнечником. Достоверной разницы в расслоении слоя 0–30 см по активности инвертазы для почв с разной обработкой не отмечено.

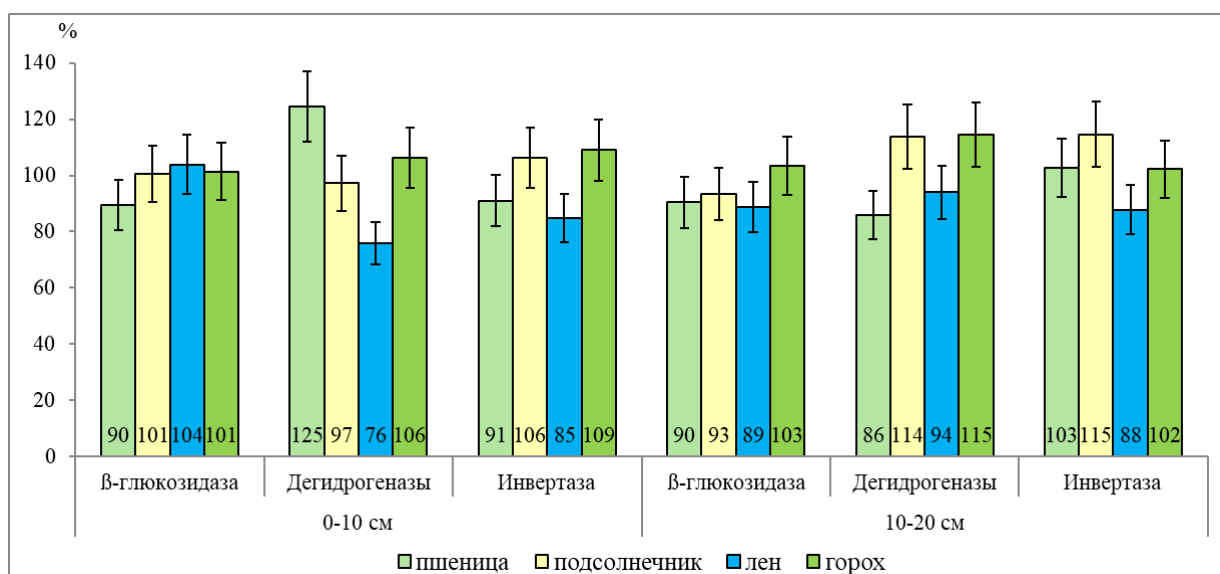


Рис. 137. Ферментативная активность почвы в вариантах прямого посева опыта ФРАНЦ, % от традиционной технологии, 2023 г.

По активности дегидрогеназ достоверные различия отмечены только в посевах озимой пшеницы, где в поверхностном слое (0–10 см) почвы при No-Till фиксировали превышение контрольной величины на 25 %. При применении традиционной технологии обработки отмечена инверсия биологической активности в бывшем пахотном горизонте: в слое 10–20 см активность дегидрогеназ на 14,8 % выше, чем в поверхностном слое 0–10 см.

В 2024 г. изменение активности ферментов и содержания общего и активного углерода в большей степени определялось видом культуры и глубиной слоя почвы, чем способом обработки (табл. 171, рис. 138, 139).

Нет одной закономерности для профильного различия биологической активности. В абсолютном большинстве случаев различие между верхним слоем и слоем 10–20 см составляет всего несколько процентов. При этом часто максимальные значения были не в поверхностном слое почвы.

В агроценозах озимой пшеницы для глюкозидазы выявлено понижение активности в слое 0–10 см на 25% и повышение на 12% в слое 10–20 см при переходе с классики на прямой посев с удобрением. Применение удобрений при прямом посеве привело к снижению активности глюкозидазы на 20% в поверхностном слое при неизменных значениях во втором слое почвы. В посевах подсолнечника использование удобрений еще сильнее снижало активность глюкозидазы в обоих слоях почвы – на 16–21%. Для льна и гороха достоверных различий активности глюкозидазы при использовании удобрений при прямом посеве не отмечено.

Таблица 171. Биологическая активность чернозема в опыте ФРАНЦ
с разной обработкой почвы, 22 июня 2024 г.

Культура	Глубина, см	Активность β-глюкозидазы, мкг нитрофенола/г/час		Активность дегидрогеназ, мкг ТФФ/10г/24ч		Активный углерод, мг/кг		Гумус, %	
		М	м	М	м	М	м	М	м
Стандартная обработка отвальной вспашкой, ST									
оз. пшеница	0–10	0,45	0,02	32,5	3,2	672,0	92,8	4,84	0,04
	10–20	0,27	0,01	31,8	3,7	604,7	27,7	4,68	0,08
лен	0–10	0,44	0,01	27,0	0,6	701,0	19,8	4,93	0,12
	10–20	0,47	0,03	39,8	2,4	611,8	28,1	4,91	0,18
оз. пшеница	0–10	0,49	0,03	36,6	4,4	596,3	74,1	4,68	0,34
	10–20	0,37	0,02	27,6	3,4	526,1	32,5	5,07	0,25
подсолнечник	0–10	0,35	0,03	32,9	6,2	453,9	38,2	5,44	0,22
	10–20	0,52	0,02	34,2	12,1	448,2	25,0	4,87	0,21
оз. пшеница	0–10	0,46	0,02	29,2	6,9	613,5	120,4	5,26	0,10
	10–20	0,44	0,00	35,3	6,1	575,2	28,2	4,33	0,15
горох	0–10	0,35	0,04	28,5	3,1	742,8	83,7	5,21	0,08
	10–20	0,47	0,01	31,2	1,4	674,6	110,1	4,79	0,36
Нулевая технология, NT, без удобрений									
оз. пшеница	0–10	0,44	0,01	31,9	6,7	678,9	26,7	5,00	0,16
	10–20	0,41	0,01	27,3	2,9	658,1	155,9	4,98	0,24
лен	0–10	0,40	0,01	32,6	6,3	758,5	72,1	4,92	0,24
	10–20	0,36	0,01	31,9	2,0	637,0	55,9	5,32	0,06
оз. пшеница	0–10	0,38	0,02	26,0	2,9	651,5	69,5	5,52	0,40
	10–20	0,42	0,02	28,7	2,1	609,1	48,8	4,91	0,09
подсолнечник	0–10	0,43	0,01	32,6	4,4	552,5	89,8	4,65	0,24
	10–20	0,32	0,03	36,3	0,3	613,7	61,6	5,01	0,05
оз. пшеница	0–10	0,45	0,03	28,1	2,8	739,9	82,4	4,73	0,21
	10–20	0,36	0,00	27,9	3,4	433,3	73,0	4,82	0,02
горох	0–10	0,41	0,01	32,7	12,5	617,2	114,7	5,47	0,30
	10–20	0,33	0,02	32,9	5,1	510,8	37,3	4,76	0,19
Нулевая технология с минеральными удобрениями, NT + удобрения									
оз. пшеница	0–10	0,36	0,03	23,8	3,9	398,1	13,7	4,86	0,18
	10–20	0,47	0,01	38,4	1,7	426,1	34,5	4,64	0,19
лен	0–10	0,42	0,02	32,9	6,5	566,0	63,4	4,98	0,56
	10–20	0,39	0,01	25,9	3,3	648,1	123,7	5,26	0,15
оз. пшеница	0–10	0,44	0,02	28,2	5,3	523,3	43,0	5,19	0,07
	10–20	0,36	0,01	34,4	5,2	524,1	75,0	4,33	0,23
подсолнечник	0–10	0,51	0,00	24,5	2,3	659,8	115,5	4,78	0,12
	10–20	0,40	0,01	28,0	7,8	332,4	19,3	4,58	0,27
оз. пшеница	0–10	0,25	0,00	37,7	12,4	526,3	21,0	5,33	0,35
	10–20	0,35	0,01	35,7	0,6	484,4	65,5	5,21	0,38
горох	0–10	0,39	0,03	30,7	2,7	352,3	21,9	5,25	0,14
	10–20	0,30	0,03	31,0	4,8	433,9	21,2	4,25	0,15

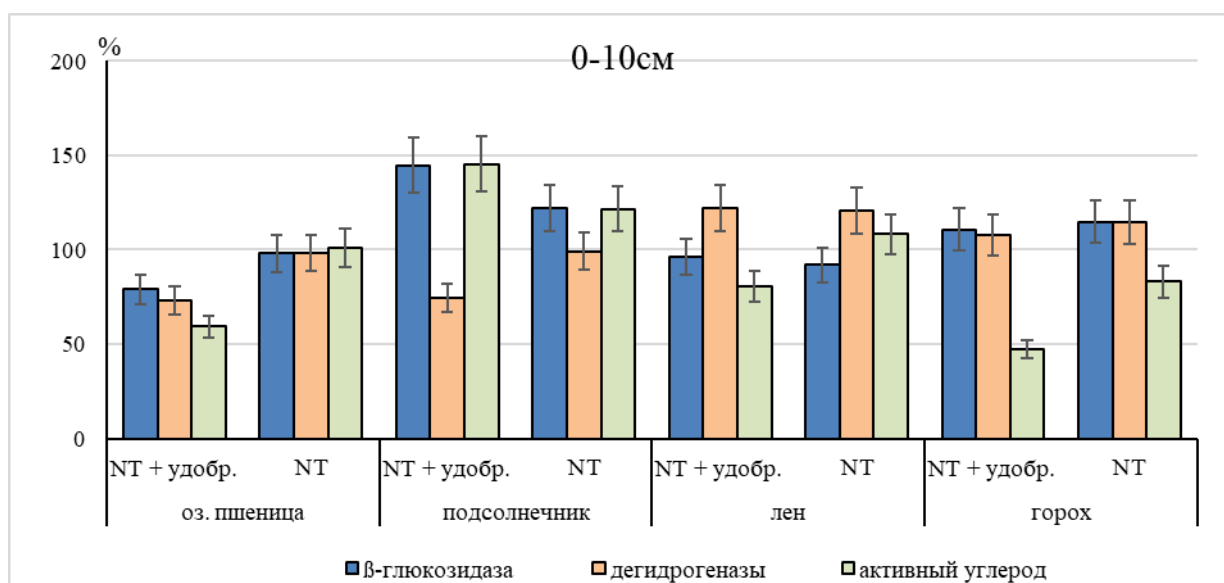


Рис. 138. Биологическая активность поверхностного слоя почвы (0–10 см) в опыте ФРАНЦ, 2024 г.

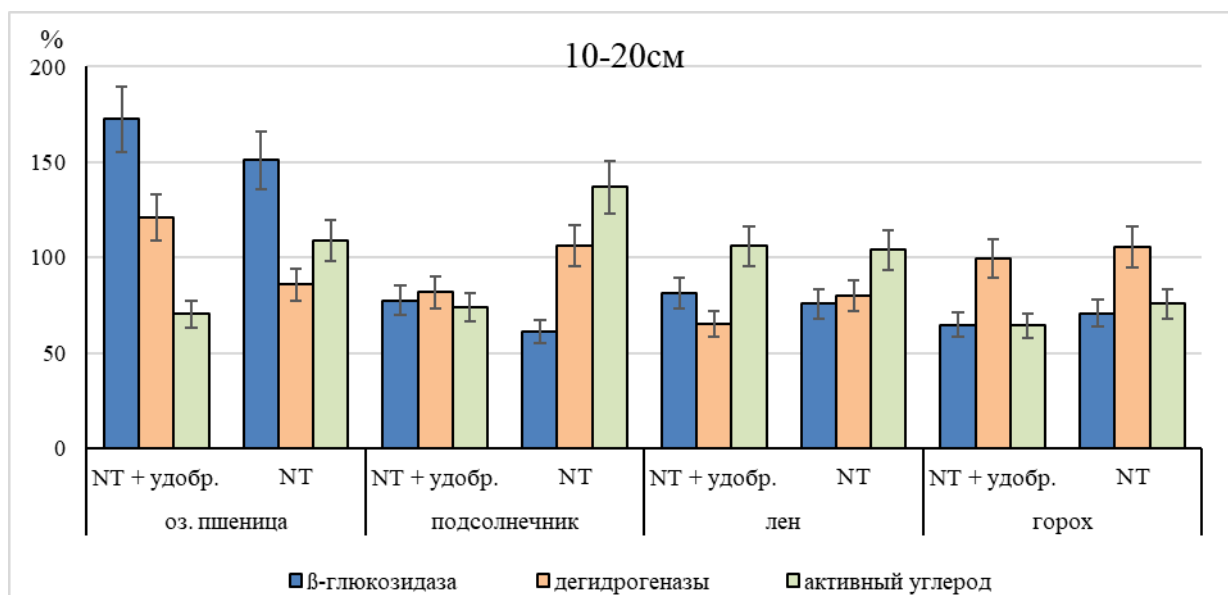


Рис. 139. Биологическая активность слоя почвы (10–20 см) в опыте ФРАНЦ, 2024 г.

Активность дегидрогеназ в агроценозах озимой пшеницы изменялась подобно активности глюкозидаз, но с меньшими отклонениями от контроля. Для разных культур выявлен различный характер изменения активности дегидрогеназ при использовании удобрений. При этом в обоих слоях почвы для подсолнечника выявлено существенное увеличение активности на 30–33%, а для озимой пшеницы в поверхностном слое было снижение активности второго слоя на 23%. В этом же слое на льне, наоборот, отмечено повышение активности дегидрогеназ на 23%. В посевах гороха достоверных изменений

активности дегидрогеназ при использовании минеральных удобрений в условиях нулевой технологии не отмечено.

Содержание активного углерода при переходе на нулевую технологию в целом приводит к снижению на 17–20% в обоих слоях почвы. При этом без применения минеральных удобрений достоверных изменений содержания активного углерода от технологии вспашки не отмечено (+1–6%).

Содержание гумуса в слоях 0–10 и 10–20 см черноземов исследуемого опыта соответствует хорошо окультуренной почве – около 5%. Достоверных отличий такого консервативного показателя, как содержание гумуса, не отмечено ни на одном из вариантов опыта, при незначительных вариациях в разных слоях, культурах и питательном режиме.

Интегрированная оценка почв выявила расхождения значений ИПБС в разных вариантах опыта (рис. 140).

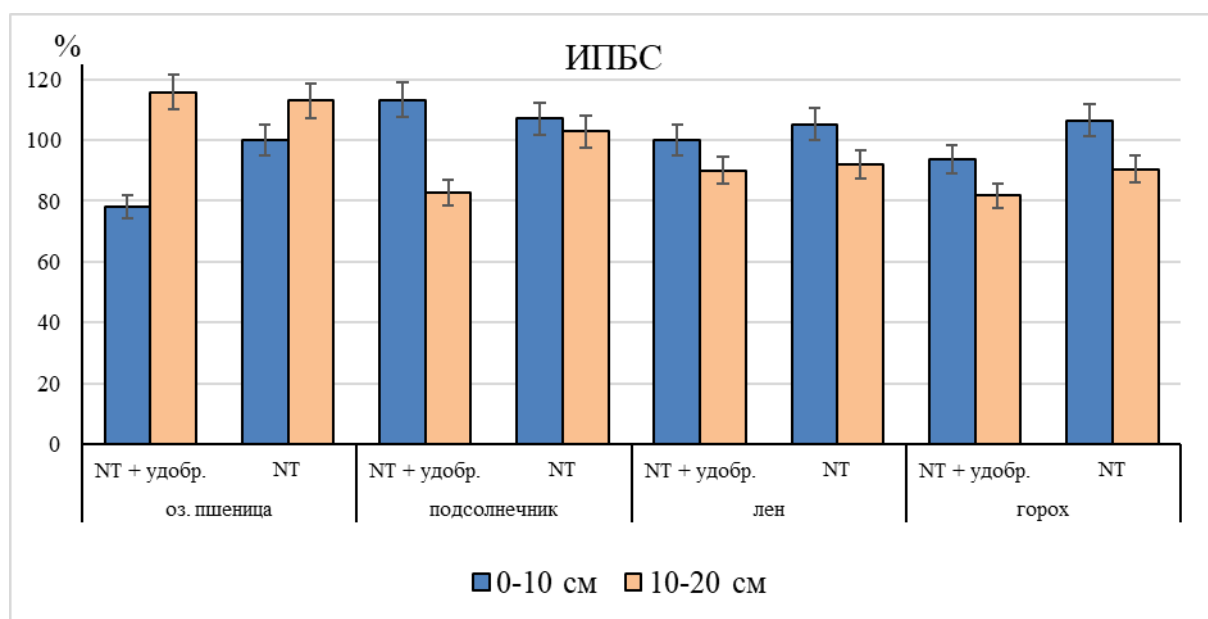


Рис. 140. Изменение ИПБС в опыте ФРАНЦ, 2024 г.

Выявить какой-то одной закономерности не удалось. Значения ИПБС меняются в зависимости от выращиваемой сельскохозяйственной культуры, слоя почвы, использования удобрений и способа обработки почвы. Чаще всего изменения незначительны, в пределах 5–10%. Только в агроценозе озимой пшеницы при использовании минеральных удобрений выявлено существенное снижение значений ИПБС в поверхностном слое – на 22% относительно контрольного значения на пахотном варианте. При этом для второго слоя, наоборот, выявлено максимальное среди всех вариантов повышение значений

ИПБС – на 16%. В остальных случаях изменение показателя менее существенно и недостоверно, в том числе в варианте использования нулевой технологии обработки почвы на озимой пшенице без использования минеральных удобрений.

В полевом опыте ФРАНЦ в первый год перехода с традиционной на нулевую обработку почвы наблюдали достоверный рост урожайности в сравнении с контролем (табл. 172): подсолнечника – на 0,64 т/га (или 48 %) и гороха – на 0,45 т/га (или 19 %) (Мокриков и др., 2024).

Таблица 172. Урожайность сельскохозяйственных культур в зависимости от применяемой технологии, опыт ФРАНЦ 2023 г. (Мокриков и др., 2024)

Культура	Технология	Урожайность, т/га	НСР ₀₅
Пшеница озимая	No-Till	4,28	0,13
	традиционная (контроль)	4,71	
Подсолнечник	No-Till	1,96	0,31
	традиционная (контроль)	1,32	
Лён масличный	No-Till	0,57	0,29
	традиционная (контроль)	0,54	
Горох яровой	No-Till	2,85	0,34
	традиционная (контроль)	2,40	

При длительном применении технологии прямого посева повышение урожайности подсолнечника может составить 127–192 % относительно традиционной технологии (Мокриков и др., 2017, 2020; Казеев и др., 2022). Сбор зерна озимой пшеницы, наоборот, снизился на 0,43 т/га (или 9 %), что связано, вероятно, с уплотнением почвы, на которое отрицательно реагирует озимая пшеница. Урожайность льна не зависела от применяемой технологии обработки почвы.

СОДЕРЖАНИЕ ГУМУСА ПРИ ПРЯМОМ ПОСЕВЕ

Динамика содержания гумуса в почвах ИП Мокрикова В.И.

Обычным инструментом мониторинга содержания гумуса являются данные отчетов региональных агрохимических лабораторий. В период с 2007-го по 2024 год Федеральным государственным бюджетным учреждением государственный центр агрохимической службы «Ростовский» проведено несколько туров обследования качества почв ИП Мокрикова В.И. Содержание гумуса определено в лаборатории Агрохимцентр «Ростовский» по методу Тюрина — ЦИНАО, ГОСТ 26213-91. Всего было проведено четыре тура агрохимических обследований, результаты которых представлены в таблице 173.

Таблица 173. Среднее содержание гумуса в почвах ИП Мокрикова В. И. по материалам Агрохимцентра «Ростовский» (Мониторинг плодородия почв..., 2007, 2013, 2019, 2024)

Показатели	2007 г.	2013 г.	2019 г.	2024 г.
Среднее	3,79	4,09	4,39	4,79
Площадь обследования	4316	1271/3865	5502	5465
n	174	145	219	275
Дисперсия	0,12	0,04	0,30	0,20
m	0,05	0,03	0,08	0,06
Ошибка опыта, %	1,28	0,68	1,78	1,32
Максимум	4,87	4,54	5,22	5,46
Минимум	3,10	3,36	3,20	3,76
Медиана	3,77	4,10	4,38	4,92

Примечание. Определение по ГОСТ 26213-91.

Смешанные почвенно-агрохимические образцы в количестве 145–275 штук отобраны со всей площади сельскохозяйственных угодий хозяйства. Каждый образец составлен из 20 индивидуальных проб, равномерно отобранных методом маршрутных ходов с площади 20–25 га.

Согласно проведенным отчетам, в хозяйстве ИП Мокрикова В. И. (ранее «Донская нива») среднее содержание гумуса в пахотном слое (0–20 см) увеличивалось с 3,79% в 2007 г., когда почву обрабатывали традиционной вспашкой, до 4,09% в 2013 г. (через пять лет после перехода на прямой посев) и 4,39% в 2019 г. (11 лет применения прямого посева) и 4,79% – в 2024 г.

Если применять средние значения для каждого тура обследования после начала использования технологии прямого посева, достоверное ($p \leq 0.01$)

увеличение содержания гумуса в поверхностном слое почвы (0–20 см) каждые 5–6 лет составляло 7–9% по сравнению с содержанием в предыдущий тур обследования (рис. 141). Суммарно после перехода на нулевую технологию в 2008 г. содержание гумуса увеличилось с 3,79% до 4,79%, что составило 26%.

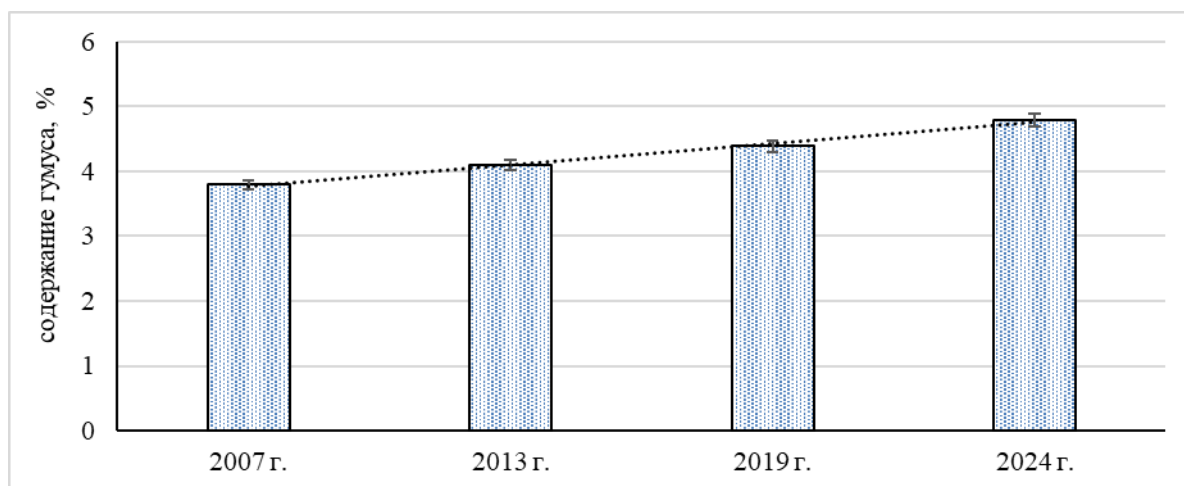


Рис. 141. Содержание гумуса в почвах (0–20 см) ИП Мокрикова В.И. В 2007–2024 гг. по данным Агрохимцентра «Ростовский»

Если же использовать медианные значения, содержание гумуса в поверхностном слое почвы (0–20 см) увеличилось еще в большей степени. Каждые 5–6 лет увеличение составляло 7–12% по сравнению с содержанием в предыдущий год наблюдения. Суммарно после перехода на нулевую технологию в 2008 г. содержание гумуса увеличилось с 3,79% до 4,92%, что составило 31%.

Более детальное рассмотрение динамики содержания гумуса по турам агрохимических обследований показало существенное варьирование показателя (рис. 142), которое определяется многими причинами: пространственной неоднородностью, рельефом, выращиваемыми культурами севооборота, степенью выраженности эрозионных процессов и другими причинами. Однако несмотря на все эти факторы, значение дисперсии низкое, что обусловлено большим количеством почвенных образцов, которые в свою очередь составляются из 20 индивидуальных. С 2007-го по 2024 год наблюдений увеличиваются не только средние значения, но и все остальные статистические показатели: медиана, минимальное и максимальное значение.

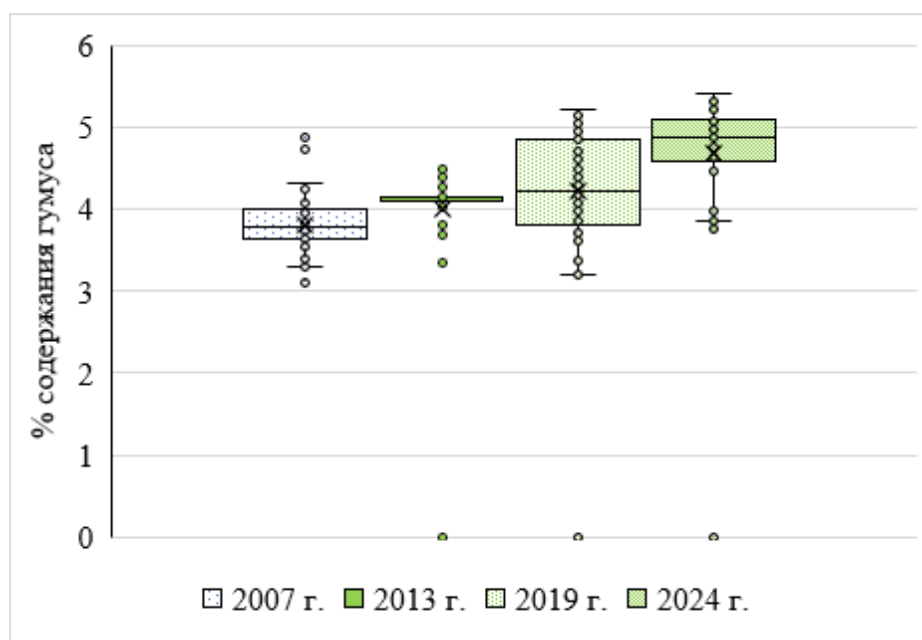


Рис. 142. Содержание гумуса в почвах (0–20 см) ИП Мокрикова В.И. в 2007–2024 гг. по данным Агрохимцентра «Ростовский»

Если рассматривать всю территорию хозяйства с точки зрения степени гумусированности почв, то можно отметить, что крайние градации с очень низкими и очень высокими значениями содержания гумуса отсутствуют в течение всего периода наблюдений. В 2007 году на территории всего хозяйства были отмечены почвы только с низкой и средней обогащенностью гумуса. Соотношение площади почв с этими градациями изменяется после перехода на почвозащитную технологию прямого посева. Площадь полей с низким содержанием гумуса в почвах уменьшается с 84,3% в 2007 году до 19,5% в 2024 году, в то время как среднее содержание гумуса изменилось с 15,7 до 41,1% территории. Кроме того, уже через 11 лет применения технологии на 14,6% территории появляются почвы высокой степени обогащенности гумусом. А в последний тур обследования площадь таких почв возрастает до 39,4%. Некоторые вопросы возникают по обследованию почв хозяйства в 2013 году. В этом туре обследования среднее содержание гумуса в почвах едва превышает нижний порог средней обогащенности – 4,1%. При этом практически все образцы обладают примерно таким содержанием, отклонения в меньшую и большую стороны минимальны (см. табл. 173). Соответственно площадь полей с такой градацией содержания гумуса составляет 84%, а с низким содержанием гумуса отмечено 16,1% территории сельскохозяйственных земель. То есть с прошедшего тура обследования в 2007 году распределение полей с двумя

градациями содержания гумуса зеркально изменились. Это стало возможным благодаря «пограничному» содержанию гумуса около 4%, которое разделяет эти две градации, что свидетельствует об искусственности этого порога. На самом деле подавляющая доля площадей пахотных черноземов обыкновенных содержит 3,5–4,5% гумуса в пахотном горизонте (Вальков и др., 1996, 2008, 2012; Казеев и др., 2004; Безуглова и др., 2001, 2008, 2012). Поэтому даже небольшое смещение содержания гумуса может «перенести» почвы в соседнюю градацию с повышенным содержанием гумуса. Таким фактором может быть переход на почвосберегающую технологию в 2008 году, которое привело к незначительному увеличению содержания гумуса, которое в условиях пограничного состояния «барьера 4%» позволило перевести почвы хозяйства «Донская нива» (позже ИП Мокриков В.И.) из категории с низкой обогащенности в категорию средней обогащенности гумусом (табл. 174). В этом можно было бы сомневаться, если бы более поздние туры обследований не подтвердили эту тенденцию, в результате которой через 16 лет после смены технологии со вспашки на прямой посев почвы всей территории хозяйства значительно изменились в лучшую сторону по обогащенности гумусом, который, по всеобщему признанию, является интегральным показателем плодородия.

Таблица 174. Распределение почв ИП Мокрикова В.И. по степени гумусированности, по данным Агрохимцентра «Ростовский»

Тур	Степень гумусированности, га				
	оч. низкая до 3%	низкая 3,01–4,0%	средняя 4,01–5,0%	высокая 5,01–6,0%	оч. высокая >6,0%
2007	0	84,3	15,7	0	0
2013	0	16,1	83,9	0	0
2019	0	30,7	54,7	14,6	0
2024	0	19,5	41,1	39,4	0

С 2007-го по 2024 гг. лишь на двух полях из 61 отмечено незначительное снижение содержание гумуса – на 2,7 и 8,7%. Во всех остальных случаях отмечено повышение содержания гумуса в среднем на 28% (медиана 27,6%). Однако на некоторых полях отмечено значительно большее положительное изменение – до 70,6%.

В то же время, по данным Агрохимцентра «Ростовский» и многочисленным литературным данным, содержание гумуса в черноземах Ростовской

области неуклонно уменьшается (Вальков и др., 1996, 2001, 2008; Безуглова и др., 2001 2008, 2020, 2022; Даденко и др., 2014; Чернова и др., 2020).

Нетипичное увеличение содержания гумуса в хозяйстве ИП Мокрикова В.И. привлекло особое внимание. Поэтому с 2016 г. при мониторинговых исследованиях экологического состояния почв ИП Мокрикова В. И. начались подробные исследования содержания гумуса и его качественного состава, а также содержания активного углерода и биологических индикаторов углеродного цикла.

В результате при сравнении полей прямого посева с пахотными контрольными полями наблюдали как увеличение, так и уменьшение содержания гумуса в почвах с нулевой технологией обработки (рис. 143). В большинстве случаев изменения были либо недостоверны, либо незначительны. Хотя общая тенденция к повышенным значениям на полях прямого посева была отмечена с 2016 г.

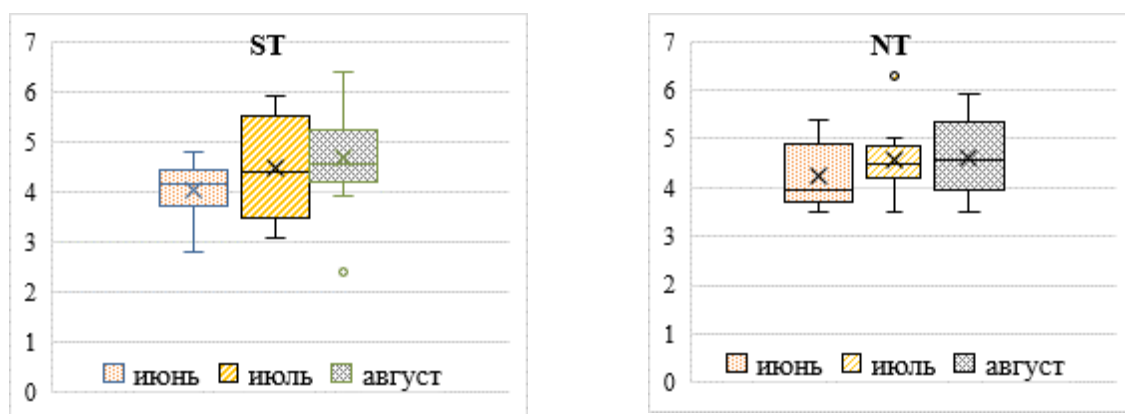


Рис. 143. Усредненное содержание гумуса (%) в верхнем слое (0–10 см) почв всех исследуемых участков ИП Мокрикова В. И., 2016 г.

Трудности интерпретации данных о гумусовом состоянии связаны с различием в составе и свойствах почв, выращиваемых культур, пространственным и временным варьированием показателя. При исследовании сезонных изменений содержания гумуса было отмечено, что данный показатель сильно варьировал. Даже если рассматривать один из множества участков, можно отметить значительную сезонную изменчивость содержания гумуса (рис. 144). С глубиной содержание гумуса уменьшается, что характерно для всех почв юга России. Однако характер профильного изменения в почвах с разной обработкой незначительно, но различается. В почвах прямого посева снижение чуть более сильное по сравнению с пахотными почвами.

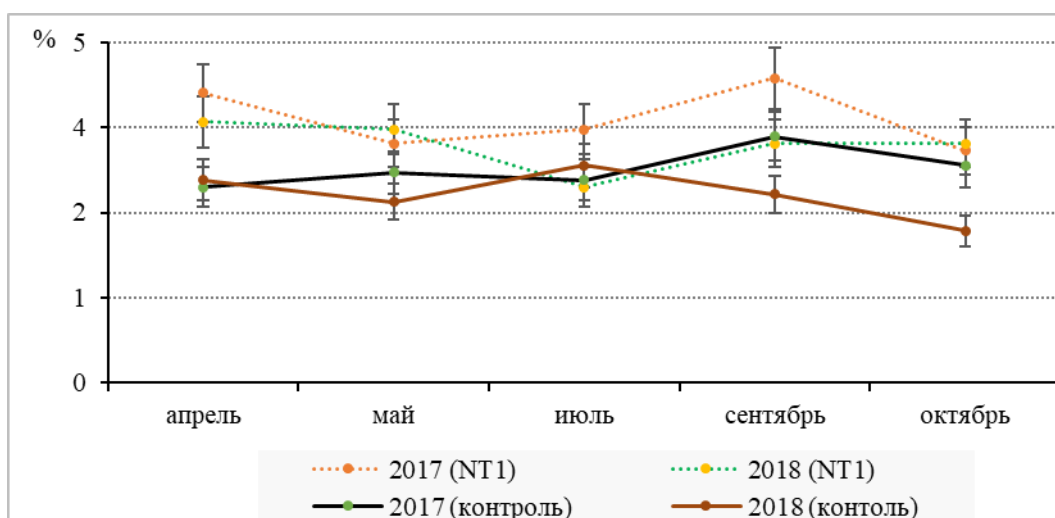


Рис. 144. Динамика сезонного изменения содержания гумуса на участке № 1 в 2017–2018 гг.

Влияние прямого посева различается в зависимости от условий рельефа и почвообразующих пород, которые влияют на состав и свойства почв. На участке № 1 вследствие относительной близости подстилающих пород из элювия песчаника выраженного пологого склона (3–5°) формируются среднemocные черноземы, подверженные эрозии. Поэтому здесь отмечено пониженное содержание гумуса, особенно на пахотном поле, где эрозионные процессы выражены сильнее, чем на поле прямого посева, на котором растительные остатки способствуют влагозадержанию и препятствуют эрозии. Поэтому здесь влияние прямого посева, несмотря на высокое варьирование, можно заметить как более выраженное, чем на расположенном рядом участке № 2, где на выровненном поле расположены более мощные и гумусированные черноземы (рис. 145).

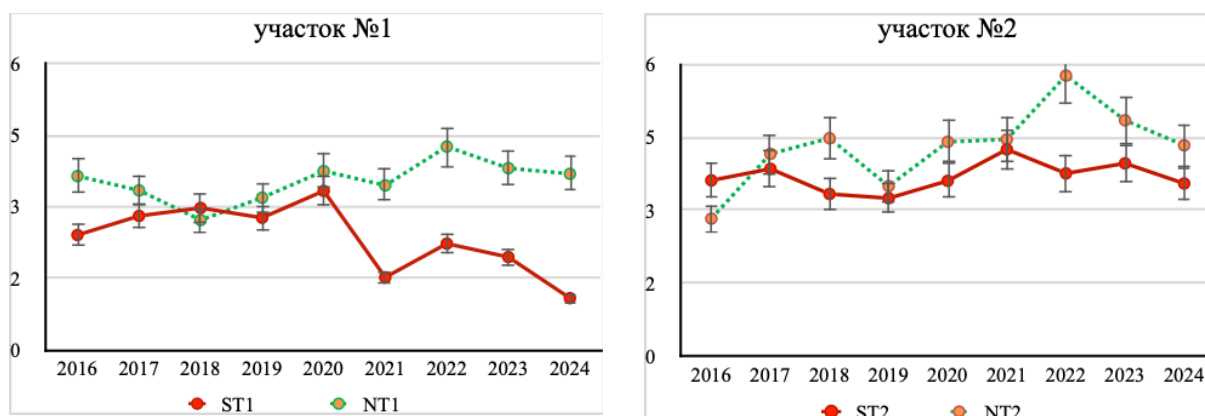


Рис. 145. Влияние прямого посева на содержание гумуса на мониторинговых участках №1 и 2 ИП Мокрикова В. И., 2016–2024 гг.

ВЛИЯНИЕ ТЕХНОЛОГИЙ ОБРАБОТКИ НА ЦИКЛ УГЛЕРОДА В ПОЧВАХ ЮГА РОССИИ

С целью сравнительной оценки содержания органического углерода при разном использовании степных почв юга России исследовано несколько регионов России, почвы которых обрабатывают стандартной технологией отвальной вспашки (ST) и нулевой обработкой (NT), а также целинные почвы (VS) (Minnikova et al., 2022). Поля участка № 1 в Октябрьском районе Ростовской области (ИП Мокриков В. И.) обрабатывают с 2008 г. по технологии NT. Участок № 2 находится в Песчанокопском районе Ростовской области, где минимальная обработка почв используется с 2000 г., а прямой посев – с 2008 г. Для сравнения отобраны образцы почвы из полнопрофильных разрезов на эталонных участках целины. На первых двух участках распространены черноземы обыкновенные. Поля участка № 3 в Сальском районе Ростовской области с черноземом южным обрабатываются по NT с 2011 г. По всем трем участкам исследования за 5 лет были проанализированы сотни образцов с более чем 40 полей по профилю в 3-5-кратной аналитической повторности.

Содержание гумуса на целинных участках является эталоном для каждого типа почв. Содержание гумуса в качестве эталонного для участков № 1 и 3 определено для почв по литературным данным (Даденко и др., 2014; Чернова, Безуглова, 2018). Для участка № 2 в качестве эталонного принята и проанализирована целинная почва рядом с площадками NT и ST.

Целинная почва участка № 1 обладает высоким содержанием гумуса в верхнем слое почвы – 4,6%, с постепенным понижением содержания до 0,9% на глубине до 70 см. На участках №№ 2 и 3 содержание гумуса в верхнем слое ниже на 26% ниже, чем в верхнем слое целинного участка № 1. Высокое содержание гумуса в целине № 1 связано с интенсивностью гумификации растительного опада. Для этой подзоны (западно-причерноморских степей) засуха наблюдается только в конце лета и начале осени, а в течение остального времени вегетации наблюдается период достаточного увлажнения. Соответственно, степень аридности для вышеуказанных районов отмечается как

наименьшая. Процессы гумификации органического вещества в таких климатических условиях происходят более интенсивно и продуктивно.

Сравнение содержания и запасов гумуса

При традиционной обработке почвы происходит агрогенное преобразование почвы. Это влечет снижение содержания гумуса в почве. Применение технологии NT позволяет избежать глубокой вспашки почв, снижения высокой скорости окисления органического вещества и снизить потребление дизельного топлива, а значит, выбросы двуокиси углерода в атмосферный воздух.

Содержание углерода гумуса в почве участка № 1 при NT и ST мало отличается и варьирует в диапазоне 2,4% и 2,2%, что меньше, чем на целине, на 32% и 37% соответственно. Для участка № 2 наблюдали отличие NT и ST от целины на 15% и 26% соответственно. Для участка № 3 наблюдали меньшее содержание гумуса по сравнению с целиной на 13% и 29% при NT и ST соответственно. Устойчивость содержания гумуса оценивали по отношению к содержанию гумуса в целине (рис. 146).

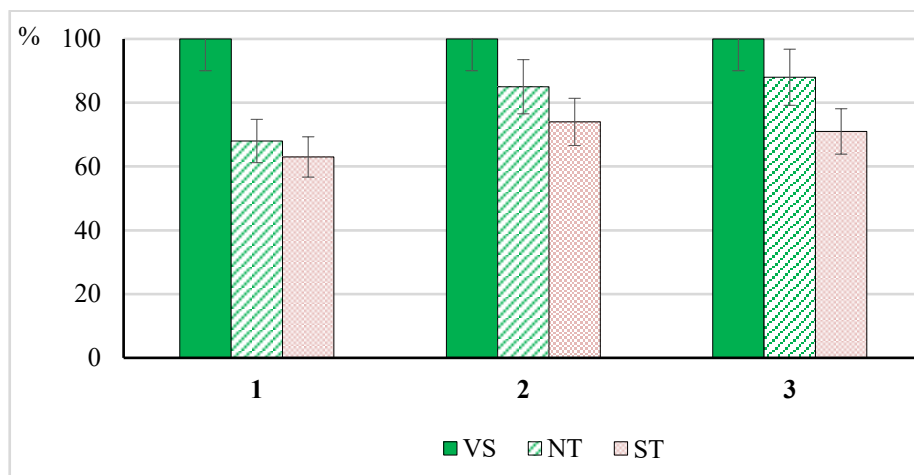


Рис. 146 – Оценка устойчивости содержания гумуса при использовании разных технологий, в % от содержания в целинных черноземах (VS)

Для североприазовского чернозема участка № 1 любой вид регулярного механического воздействия на почву (по сравнению с целиной) снижает содержание гумуса на 32-37%. На участке № 3 при ST содержание гумуса было

на 29% ниже, чем на целине. Однако к применению NT содержание гумуса в черноземе южном наиболее устойчиво: потери составляют только 13%, что меньше на 2% и 19% почв участков №№ 2 и 1 соответственно.

Влияние прямого посева на сокращение эмиссии углекислого газа

Количество технологических операций при NT и ST возделывании сельскохозяйственных культур существенно уменьшается. При возделывании сельскохозяйственных культур по технологии NT минимизируются расход топлива и применение техники. Снижение выбросов углерода при работе транспорта при использовании NT на 36% ниже, чем при ST (27 л/га при NT и 70,6 л/га при ST). При этом экономия составляет 46 литров топлива на гектар, что при пересчете на весь регион может привести к секвестированию диоксида углерода на $39 \cdot 10^9$ г С / год. Переход к повсеместному применению технологии NT только в одном регионе России – Ростовской области – на площади 5,7 млн/га может способствовать повышению содержания углерода в почве на 0,3% в слое 0-30 см. Это с учетом 5,7 млн/га площади пахотных земель этого региона приведет к депонированию $5,14 \cdot 10^{12}$ г углерода. Наряду с уменьшением использования топлива это будет способствовать существенному секвестированию атмосферного углерода. Почвозащитный и экологический эффект применения NT на юге России сопровождается повышением экономической эффективности на 21-27% при выращивании озимой пшеницы и подсолнечника.

Главным итогом многолетнего применения NT является сохранение и восстановление почвенного плодородия и здоровья почв за счет депонирования углерода в гумусе и секвестирование выбросов углерода при снижении использования моторного топлива. Применение NT в большей степени соответствует природоподобным технологиям, секвестрирует эмиссию CO_2 в атмосферу согласно инициативе международного почвенного сообщества «4 промилле». Это в конечном итоге позволит снизить парниковый эффект (Minasny et al., 2017; Национальный доклад..., 2018).

Дифференцирование содержания гумуса при прямом посеве

В качестве характерной особенности почв полей NT1 и NT2, длительно обрабатываемых по технологии прямого посева, следует отметить дифференциацию бывшего пахотного горизонта по содержанию гумуса. Для описания этого процесса использованы данные исследований в Октябрьском районе Ростовской области в 2021 г. Если пахотные участки характеризовались практически равномерным его распределением в слое 0–30 см, то почвы с технологией No-Till обладали наибольшими величинами в поверхностном слое, а далее вниз по профилю содержание существенно уменьшалось, особенно в варианте NT1 – с 3,45 % в слое 0–10 см до 2,32 % – в слое 20–30 см.

Для активного углерода отмечено еще более выраженное убывание по глубине в почвах прямого посева по сравнению с пахотными и даже относительно эталонного участка. Уменьшение содержания в слое 20–30 см, по сравнению со слоем 0–10 см, составляло при прямом посеве 40–74 %, в то время как на целине 41 %, а на пашне – 0–22 %.

На целинном участке «Персиановская степь» профильное распределение гумуса и углерода типично для степных почв. Однако выявлены некоторые различия в степени дифференциации: наибольшее уменьшение от поверхности до глубины 20–30 см отмечено для гумуса и активного углерода (на 37–41 %), активности инвертазы и уреазы (на 40–45 %); в меньшей степени – для активности фосфатазы и дегидрогеназ (на 4–7 %). Для каталазы не выявлено уменьшения активности фермента по глубине слоя почвы.

Длительное применение нулевой обработки по-разному изменяло ферментативную активность в черноземе относительно контрольных пахотных полей, особенно на участке со смытыми почвами. Значительное увеличение активности инвертазы (на 37–47 % выше, чем при вспашке) подтвердило результаты прежних исследований (Минникова и др., 2017б, 2018, 2020; Казеев и др., 2022). Для ферментов на разных участках выявлены отличия их активности по глубине пахотного горизонта (0–30 см). В смытой почве участка NT1 при длительном использовании прямого посева происходила дифференциация активности инвертазы с максимумом в поверхностном слое и минимумом (на 49 % меньше) в слое 20–30 см. При этом в пахотном аналоге ST1 снижение по

глубине активности составило не более 21 %. Активность фосфатазы и дегидрогеназ дифференцирована по слоям почвы независимо от способа применяемой обработки почв: уменьшение относительно поверхностного слоя на 22–27 % и 21–25 % соответственно ферментам. В мощном черноземе плакорного участка NT2 с нулевой технологией изменения по слоям почвы отмечены только для каталазы и инвертазы – активность меньше на 33 и 27 % относительно поверхности, и в меньшей степени для уреазы – на 20 %. Для фосфатазы расслоения большего, чем в варианте с пахотной обработкой, не выявлено. Это связано с отсутствием механического перемешивания почвы. Большое влияние оказывает локализация значительного количества органических остатков в виде мульчирующего слоя (Мокриков и др., 2017; Завалин и др., 2018; Казеев и др., 2018, 2022). Различия в свойствах между разными слоями чернозема отмечены ранее в засушливой зоне Ставропольского края (Есаулко и др., 2018). Убывающая с глубиной ферментативная активность бывшего пахотного слоя может служить индикатором – отличительной особенностью почв, где применяют прямой посев. В результате соотношение величины биологических показателей между поверхностным (0–10 см) и более глубоким слоем (20–30 см), наблюдаемое при технологии No-Till, приближается к естественным почвам. Ряд авторов отмечает тенденцию изменений даже устойчивых морфометрических параметров черноземов при восьмилетнем применении прямого посева (Белобров и др., 2023).

МОНИТОРИНГ ИЗМЕНЕНИЯ ФИЗИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ЧЕРНОЗЕМОВ ПРИ ДЛИТЕЛЬНОМ ПРИМЕНЕНИИ ПРЯМОГО ПОСЕВА

В данном разделе приведено обобщение полученных данных по ключевым физическим показателям, имеющим наибольшее влияние на экологическое состояние и в то же время подверженным влиянию разных способов обработки почвы.

Физическое состояние почв агроценозов следует учитывать при оценке плодородия почв при использовании различных технологий обработки почвы. Традиционная технология обработки почв отвальной вспашкой при

длительном применении вызывает усиление процессов эрозии, усиление деградации («выпахивания»), дегумификации с проявлением устойчиво некомпенсируемой минерализации гумуса (Вальков и др., 2008б; Gaevaа, Bezuglova, 2021; Клименко и др., 2024). Ресурсосберегающее земледелие предполагает минимальное воздействие на почвенный плодородный слой с оставлением соломы или стерни на поле после сбора урожая. Систематическое сохранение стерни, соломы и других органических остатков на поверхности поля улучшает агрофизические свойства почв, создает благоприятные условия для восстановления плодородия (Лыков и др., 2004; Derpcsh et al., 2014; Минникова и др., 2017; Зеленский и др., 2018; Комиссаров, Клик, 2020; Дубовик и др., 2022). Обработка почвы оказывает непосредственное влияние на плодородие путем изменения физических и биологических свойств и агрохимических показателей почвы. Физическое состояние почв также оказывает непосредственное влияние на ферментативную активность почв и содержание гумуса (Минникова и др., 2018; Mokrikov et al., 2018). При обработке почвы происходит нарушение физической структуры и увеличение фракции микроагрегатов вследствие выпаживания сельскохозяйственными машинами и вымывания дождевыми водами.

Динамика температуры и влажности почв

Исследование температурного режима почв показало достаточно равномерное распределение значений показателя на всех исследуемых участках (рис. 147). Была выявлена сезонная динамика хода температуры, типичная для данной территории. В мае–августе температура почвы благоприятствовала высокой скорости протекания биологических процессов. В апреле и сентябре вследствие низких температур биологические процессы были менее интенсивными. Более подробно динамика температуры приведена на рисунке 148 для нескольких глубин, в которых биологические процессы протекают наиболее интенсивно.

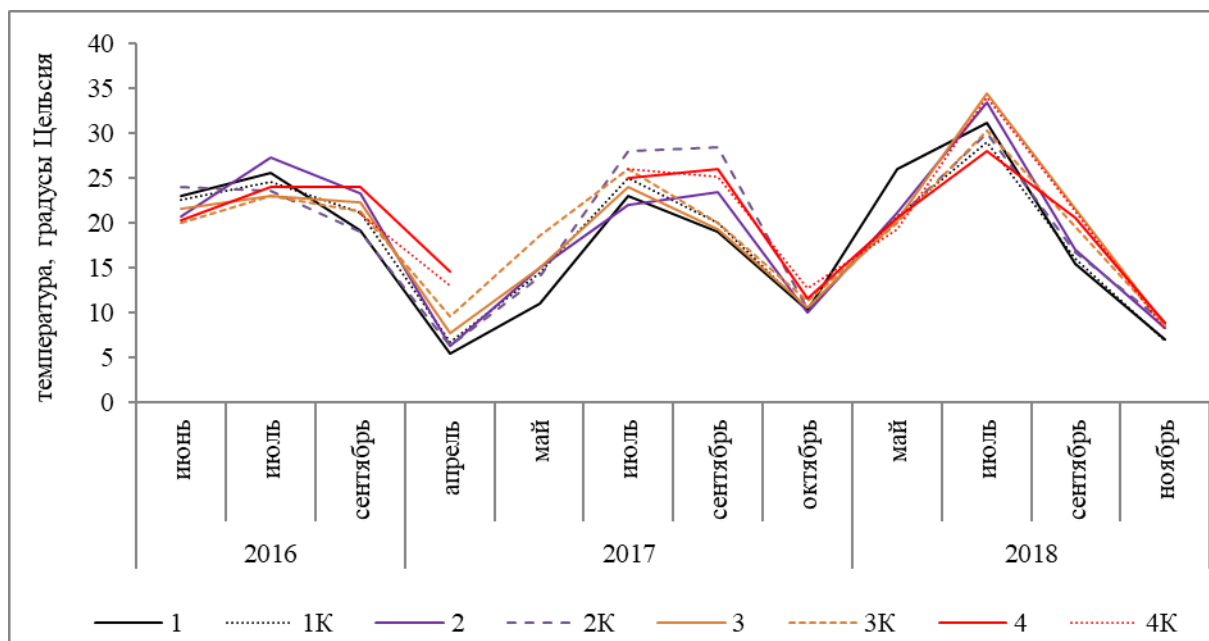


Рис. 147. Динамика температуры почв участков №1–4 на глубине 5 см

Отмечено, что с ноября по март температура на глубинах 10–30 см опускается ниже 5 градусов. В остальное время температура почвы находится на достаточном уровне для протекания биологических процессов. Максимальная амплитуда температур характерна для поверхностного слоя, с глубиной сезонные отклонения температуры менее выражены.

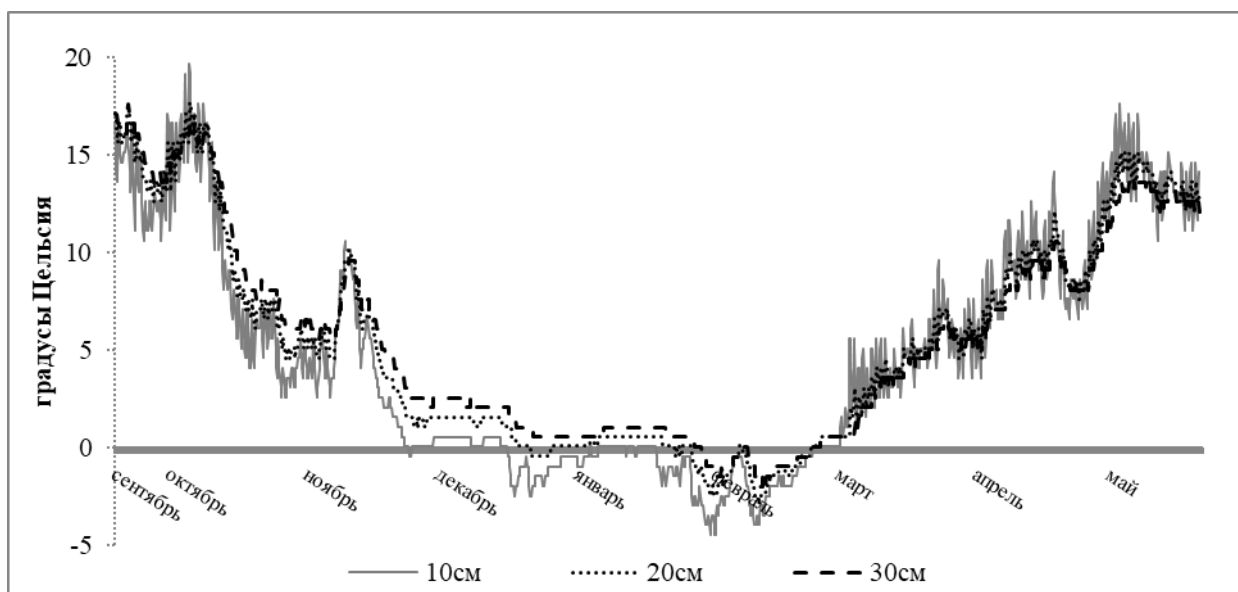


Рис. 148. Динамика температуры почвы участка прямого посева №13 в 2016–2017 гг., данные температурных логгеров

Если рассматривать изменения температуры на поверхности почвы, то можно отметить значительно более высокий размах значений для такого важного параметра, как температура. Здесь колебания температурных значений выражены значительно сильнее по сравнению с температурой в почвенном профиле (табл. 175).

Таблица 175. Температура поверхности почвы (градусы Цельсия), пирометр

Поле	17 мая 2019 г.	24 июня 2020 г.	27 июля 2021	18 июля 2023
Д1	37	50	34	29
К1	53	53	35	49
Д2	40	55	40	34
К2	50	51	43	36

В течение вегетационного периода температура поверхности почвы может превышать 55°C, что приводит к перегреву почвы и неблагоприятно сказывается на биоте и биологической активности. Кроме сезонных изменений инсоляции для этого параметра важную роль играет и проективное покрытие растений, которые при хорошем развитии затеняют почву и способствуют меньшему перегреву почвы. Поэтому повышенные значения температуры характерны для пропашных культур в мае-июне, а на культурах сплошного сева – после их уборки в июне–августе. Роль технологии обработки здесь выражена в снижении инсоляции поверхности почвы при сохранении стерни и мульчирующего слоя на поверхности почвы. Поэтому в большинстве случаев на участках прямого посева температурный режим оптимальнее по сравнению с почвами с традиционной технологией обработки.

Динамика влажности почвы

С учетом количества выпадающих атмосферных осадков в 2016 году непосредственно перед измерениями влажность участков с прямым посевом существенно изменялась (рис. 149).

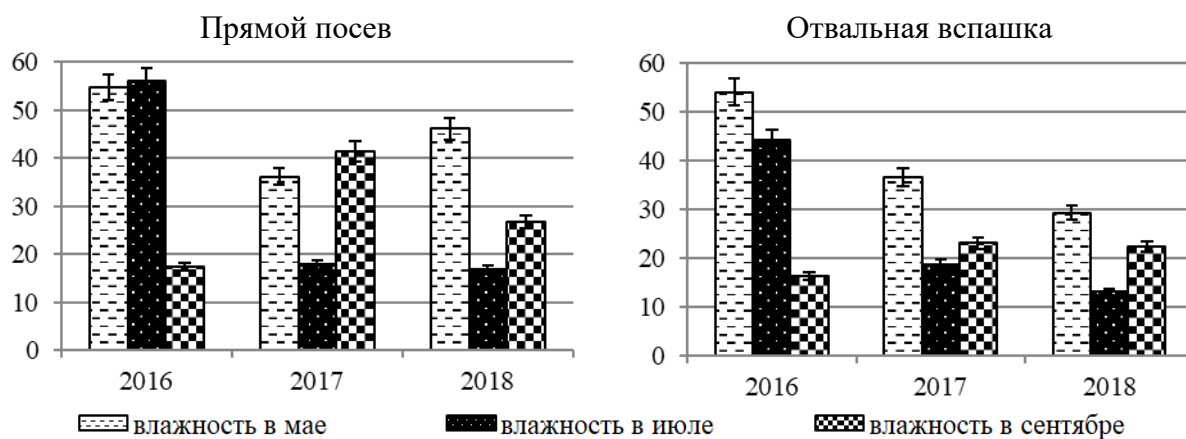


Рис. 149. Среднее изменение влажности (в %) и температуры (°C) в почвы на глубине 0–10 см при прямом посеве и отвальной вспашке (средние значения)

Влажная весна и начало лета привели к высоким зарегистрированным значениям влажности на всех без исключения участках независимо от способа их обработки. Однако большие значения были отмечены на полях прямого посева по сравнению с пахотными участками. Это свидетельствует о более высокой способности почвы на полях прямого посева к накоплению и удерживанию влаги. Второй срок наблюдения в целом был более сухим, хоть и относительно влажным для данного сезона независимо от приемов обработки – 54%. В сентябре влажность почвы была минимальна вследствие недостаточного выпадения атмосферных осадков. Иссущение почвы в сентябре значительно снизило влажность почв при всех технологиях обработки в два раза по сравнению с нормой. Среди исследуемых вариантов минимальные значения отмечены на полях с кориандром (участки №3, 4). Однако самые низкие средние значения за вегетацию были отмечены на контрольном поле кукурузы (вариант 10К).

Показан типичный ход влажности почвы в вегетационном сезоне: высокая влажность почв в мае и сентябре – 36 и 41%, с низкой влажностью в июле – 18% (рис. 150). Сезонное снижение в жарком сухом июле связано с понижением количества атмосферных осадков на 34% по сравнению с июнем и высокой температурой воздуха.

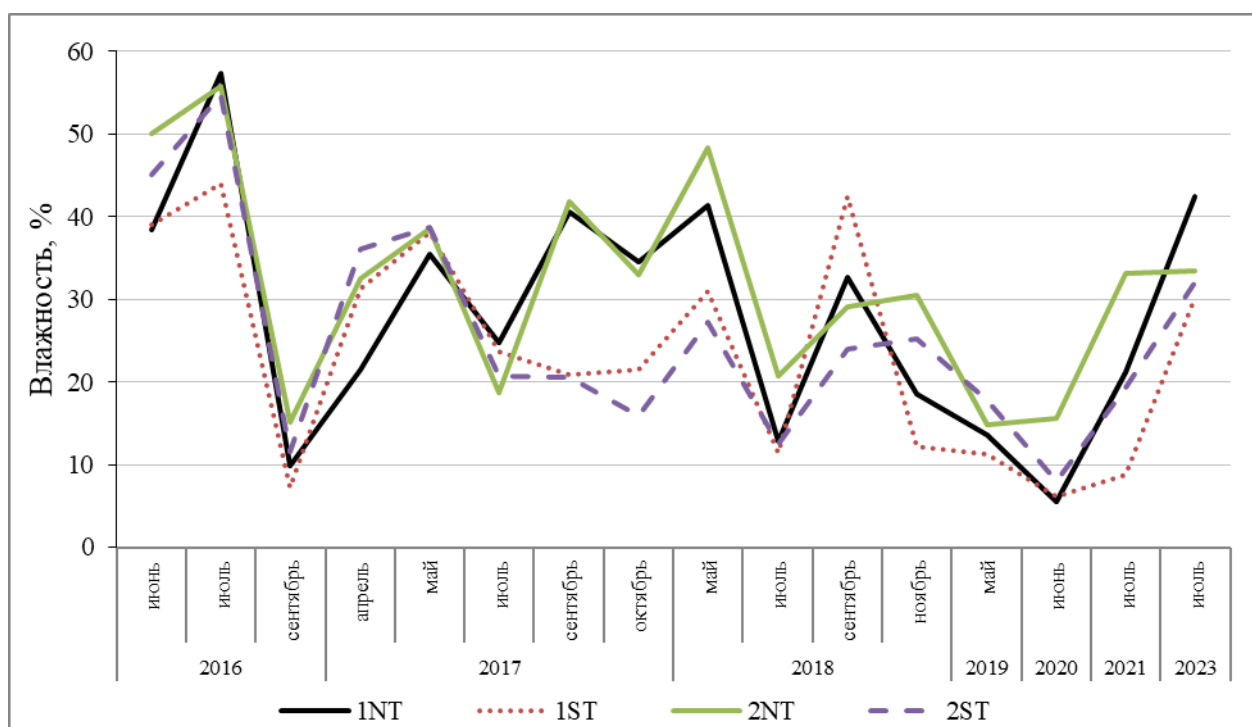


Рис. 150. Динамика влажности почв участков №1 и 2, 2016–2023 гг.

В 2018 г. отмечают оптимальные для весеннего периода условия по увлажнению почвы: в мае влажность участков с прямым посевом превышала влажность на участках с отвальной обработкой почвы на 57%. При этом по количеству атмосферных осадков, выпавших в мае, показано меньше, чем во влажном мае 2016 и 2017 годов. В июле и сентябре на участках с прямым посевом наблюдали на 28 и 19% большую влажность, чем при отвальной вспашке. Температура почв при прямом посеве и традиционной обработке слабо отличались в течение всего сезона.

Влажность поверхностного слоя почвы в мае была на высоком уровне на всех исследуемых полях. Это было связано с большим количеством атмосферных осадков в предшествующий исследованиям период. Ранние исследования показали большее накопление влаги в поверхностном слое почвы на полях с почвозащитной технологией прямого посева (Мокриков и др., 2017). Особенно это важно в период дефицита влаги после длительного отсутствия дождевых осадков. Понижение температуры и повышенная влажность почвы при прямом посеве, вероятно, обусловлены отсутствием турбирования почвы,

приводящего к интенсивному иссушению, повышенной структурностью почвы и действием мульчирующего слоя растительных остатков, препятствующего испарению влаги из почвы.

Исследования 2017–2018 гг. показали, что запасы влаги в почве имеют различия в разные годы и выраженную сезонную динамику. Во влажном 2017 г. усредненные по разным участкам запасы гумуса слабо зависели от способа обработки почвы (рис. 151).

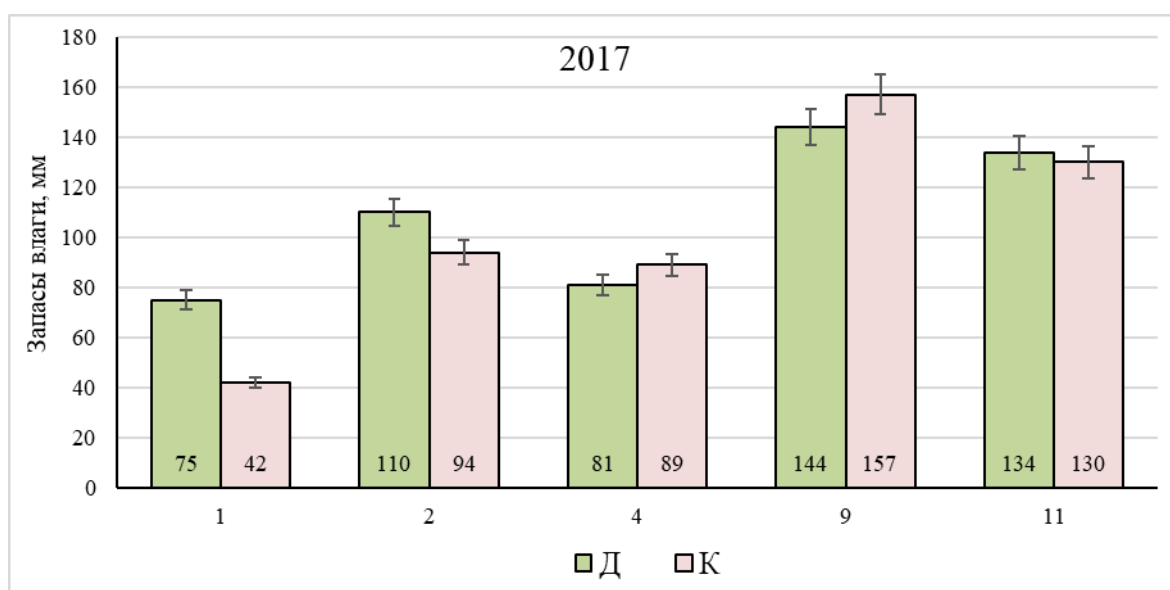


Рис. 151. Динамика запасов продуктивной влаги в метровом слое почв с разной технологией обработки, апрель 2017 г.

В более сухой 2018 г. почва полей с NT и СТ отличались в отдельные месяцы года (рис. 152,153). Существенное влияние на запасы влаги оказывает выращиваемая на разных участках культура и сезон года. В июле запасы влаги на всех участках независимо от способа обработки были значительно ниже весенних значений.

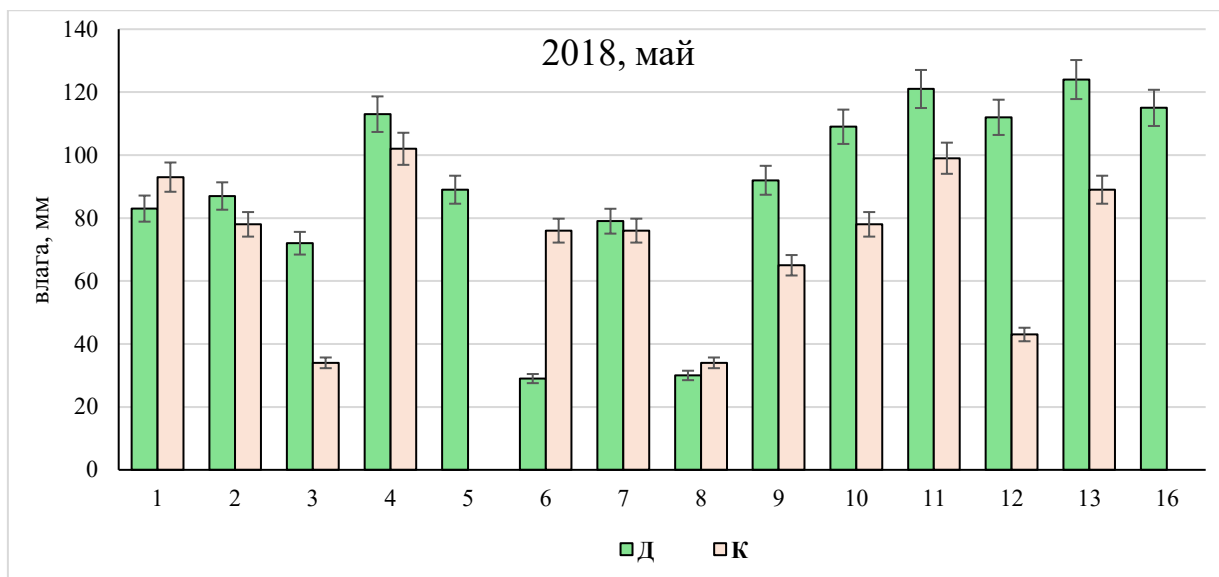


Рис. 152. Запасы продуктивной влаги в метровом слое почв в мае 2018 г.

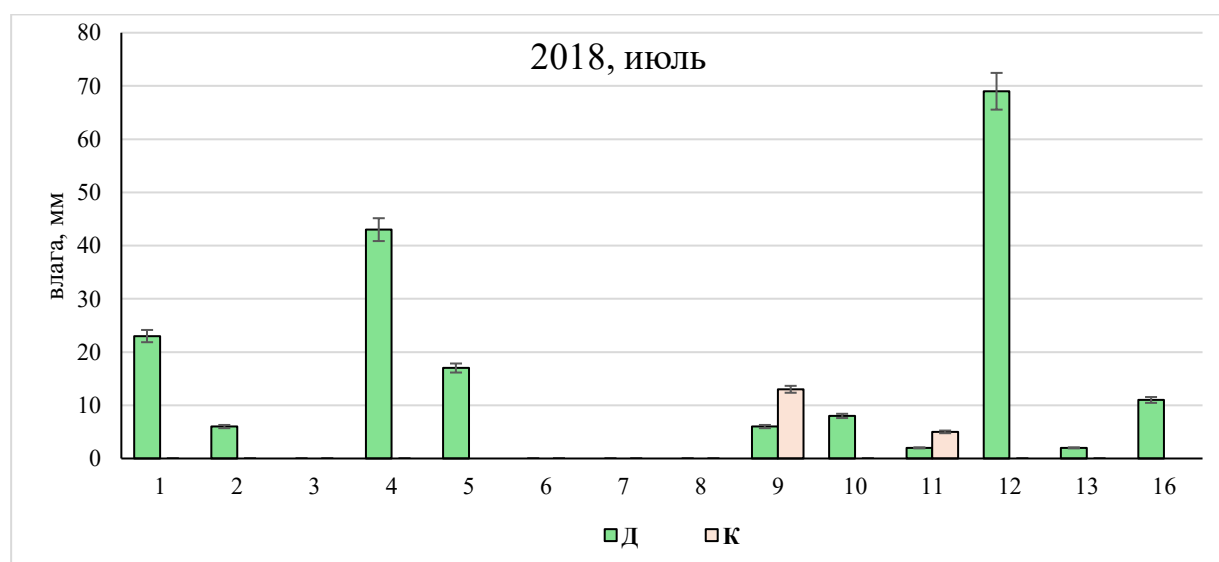


Рис. 153. Запасы продуктивной влаги в метровом слое почв в июле 2018 г.

При обобщении данных по 15 полям выявлено, что прямой посев приводит к повышению содержания продуктивной влаги в метровом слое почвы, что особенно важно – в сухой сезон накопление влаги более заметно (рис. 154).

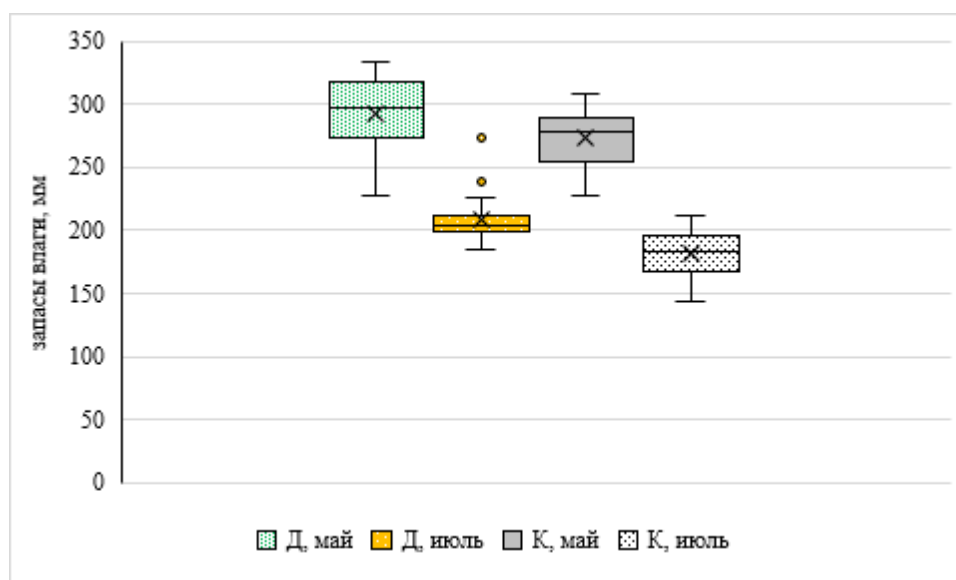


Рис. 154. Влажность в метровом слое почв 15 участков, 2018 г.

На примере мониторингового участка №2 можно подробнее рассмотреть различия в разных технологиях (рис. 154). В ранневесенний период запасы влаги в слое почвы 0–100 см в варианте NT были выше на 16 мм, а к севу подсолнечника – на 20 мм. В конце весны в мае, сентябре и ноябре содержание запасов влаги на полях с NT варьировалось на уровне СТ и выше (в июле) – 226–288 мм.

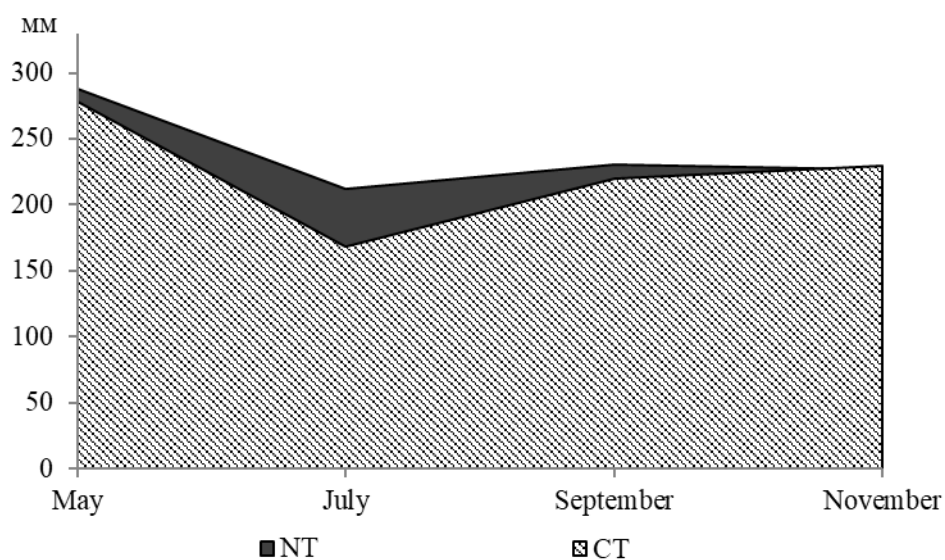


Рис. 155. Влажность в метровом слое почвы участка №2 при использовании ресурсосберегающей NT и традиционной (СТ) технологий обработки, 2018 г.

С мая по июль в почве с NT обнаружено на 26% большее содержание влаги, чем на полях с СТ. Сохранение влаги в почве способствует оптимизации микробиологических процессов, а также повышению ферментативной активности почв и других биохимических показателей, характеризующих состояние почв. Есть противоположные результаты использования прямого посева со снижением увлажнения почвы при использовании прямого посева относительно пашни (Чевердин и др., 2016; Кравченко и др., 2021).

Изменение плотности почв

Плотность почвы относится к ведущим факторам, определяющим ее экологическое состояние (Шеин, 2005). Максимальной продуктивности культурные растения достигают при оптимальной плотности сложения почвы, которая зависит от гранулометрического состава, содержания гумуса, структуры, количества внесения органических и минеральных удобрений, влажности почвы и других факторов (Шеуджен, 2003; Вальков и др., 2008а). В зависимости от гранулометрического состава почвы имеют следующую равновесную плотность в пахотном слое: дерново-подзолистые почвы от 1,3 до 1,6 г/см³, серые лесные – 1,1–1,4 г/см³, черноземы – 1,0–1,3 г/см³ (Казаков, Корчагин, 2009). В свою очередь плотность почвы влияет на водный, газовый, тепловой и питательный режимы в почве и ее микробиологическую активность. В зоне черноземных почв юга России с засушливым климатом рыхлое состояние почвы приводит к большим потерям воды за счет испарения и ветровой эрозии. В работах ряда авторов по изучению минимизации обработки черноземов Поволжья продемонстрировано, что при естественном сложении почвы наблюдали плотность близкую к оптимальной для большинства сельскохозяйственных культур (Казаков, Корчагин, 2009). Кроме того, изменение водно-физических условий влияет на режим роста и развития культурных растений путем изменения влажности завядания и доступных растениям элементов питания.

Нормальной плотностью при выращивании зерновых культур в черноземе считается диапазон 1,2–1,3 г/см³, пропашных – 1,0–1,3 г/см³ (Вальков и др., 2004, 2008а). Так в годы с бóльшим количеством атмосферных осадков оптимальная плотность черноземов должна быть ниже нормы на 0,05 г/см³, в засушливые – больше на 0,08 г/см³.

Некоторые исследования (Чевердин и др., 2018; Кравченко и др., 2022) отмечают повышение плотности почв при использовании технологии прямого посева при сравнении с традиционными технологиями обработки. Это связано с прекращением механического воздействия на поверхностный слой почвы. Вспашка, боронование и культивации разрыхляют пахотный горизонт при традиционной технологии обработки почвы.

Почвы хозяйства ООО «Донская нива» в 2016 г., в значительном большинстве, обладали оптимальными для растений параметрами плотности (1,0–1,2 г/см³) (рис. 156).

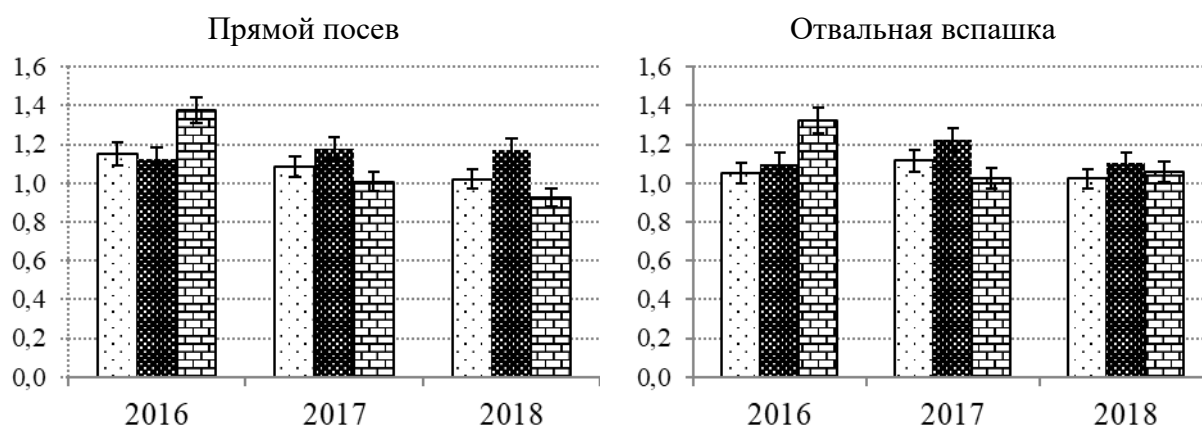


Рис. 156. Среднее изменение плотности почв (средние значения) при выращивании озимой пшеницы при прямом посеве и традиционной технологии, г/см³, 2016–2018 гг.

Чаще всего на полях с прямым посевом отмечена такая же плотность, как на контрольных участках, или незначительное повышение значений. Такие же результаты при сравнении разных технологий обработки курских черноземов получены и другими исследователями (Дубовик и др., 2022). Однако плотность целинной почвы ООПТ «Персиановская степь» обладает меньшими

значениями плотности по сравнению в исследуемыми почвами агроценозов (рис. 157). Это связано с хорошей оструктуренностью целинной почвы и высоким ее задержанием.

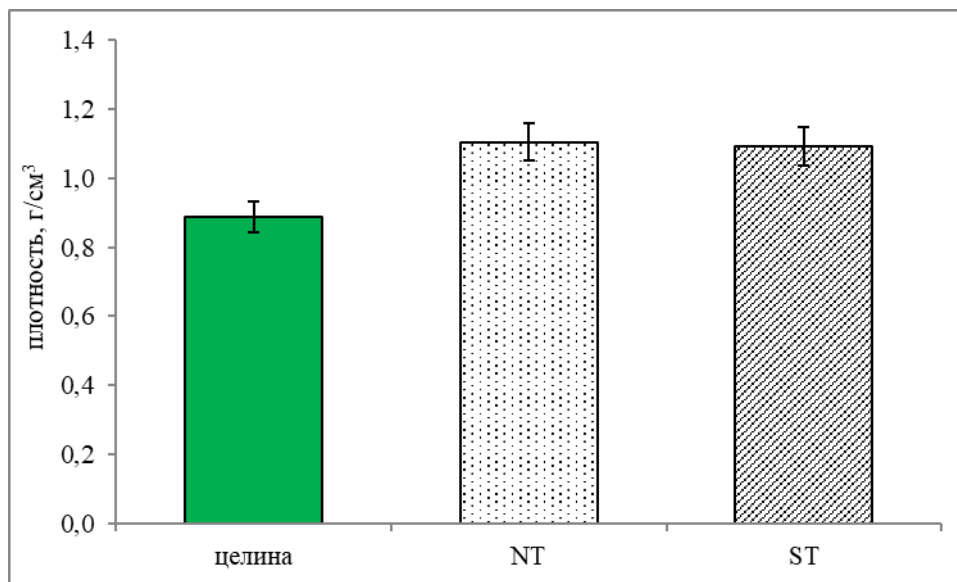


Рис. 157. Плотность почв разного землепользования, 2017 г.

Плотность поверхностного горизонта почв во всех исследуемых вариантах не достигала критических отметок, способных затруднить рост корней и развитие растений. Это характерно для влажного сезона 2016 г., когда высокая влажность способствует разуплотнению структурных почв. В период возобновления весенней вегетации отмечено снижение плотности чернозема по сравнению с периодом уборки (Чевердин и др., 2018). При этом для почвы поля с прямым посевом была отмечена бóльшая степень варьирования плотности сложения ($1,08\text{--}1,41\text{ г/см}^3$) по сравнению со вспашкой ($1,02\text{--}1,16\text{ г/см}^3$).

Существенное влияние на значения плотности оказывают возделываемые культуры и влажность почвы (Шейн, 2005). Поэтому в основном сравнивали поля с одинаковыми культурами. При исследовании плотности не было обнаружено какой-либо одной зависимости показателя от способа возделывания озимой пшеницы.

В засушливом сентябре 2016 г. в агроценозах озимой пшеницы (после уборки) было отмечено увеличение плотности до $1,3 \text{ г/см}^3$ (рис. 158).

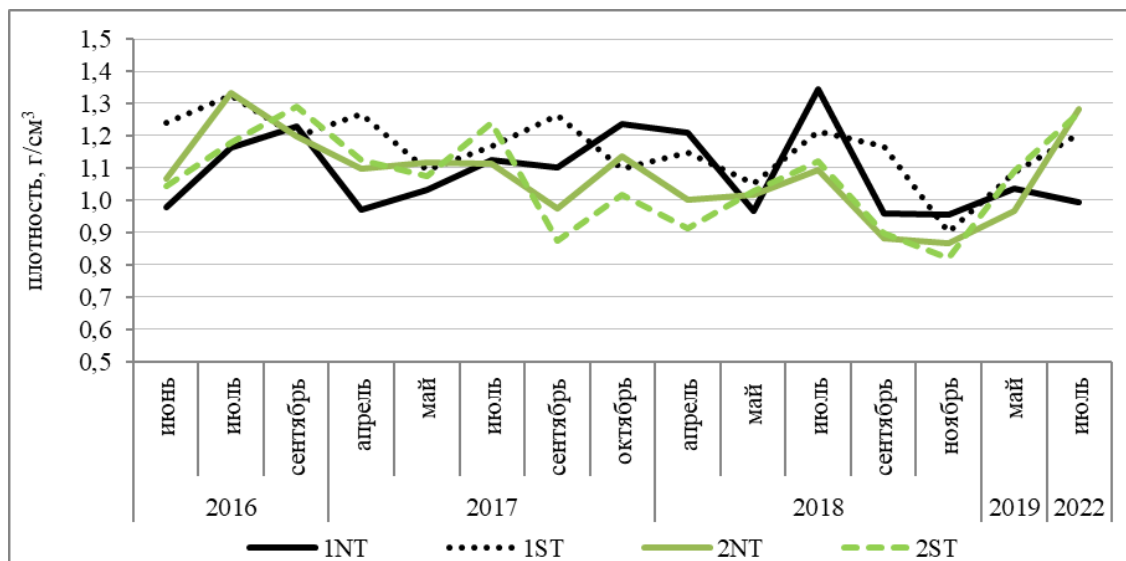


Рис. 158. Сезонная динамика плотности почв с разной технологией обработки, на мониторинговых участках №1 и 2, 2016–2018 гг.

При возделывании других культур отмечали существенное варьирование показателей плотности сложения почвы (рис. 159). Самыми плотными в сентябре были почвы на участках прямого посева на полях под подсолнечником, нутом и кориандром. В этот период плотность была неблагоприятно высокой (до $1,40\text{--}1,53 \text{ г/см}^3$).

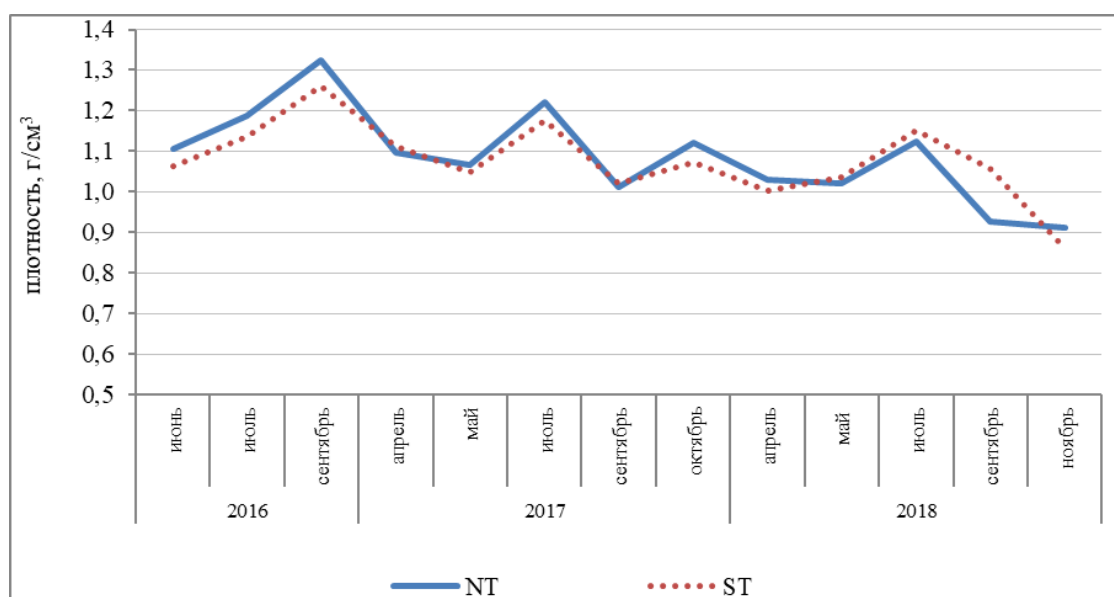


Рис. 159. Сезонная динамика плотности почв с разной технологией обработки, усреднение по 30 полям с разными культурами, 2016–2018 гг.

Повышение плотности было связано с сезонным иссушением поверхностного слоя почвы в жаркий период года (апрель, июль) и уплотнением почв после сбора урожая (сентябрь). По сравнению с первым сроком (июнь), когда был самый влажный период, третий срок (сентябрь) был самым сухим, что привело к возрастанию плотности в среднем на 20% (при учете всех площадок). При этом плотность возросла на всех участках опытных и контрольных полей. В 2017 г. не наблюдали достоверных отличий в плотности почв при всех приемах обработки. В течение сезона плотность была одинаковой. В 2018 г., как и в мае и июле 2017 г., достоверных отличий от традиционной технологии не выявлено. В сентябре наблюдали большую плотность почв на участках с прямым посевом на 12% по сравнению с традиционной обработкой.

Динамичность значений плотности почвы с ее повышением в сухие месяцы характерна и для эталонной целинной почвы ООПТ «Персиановская степь» (рис. 160).

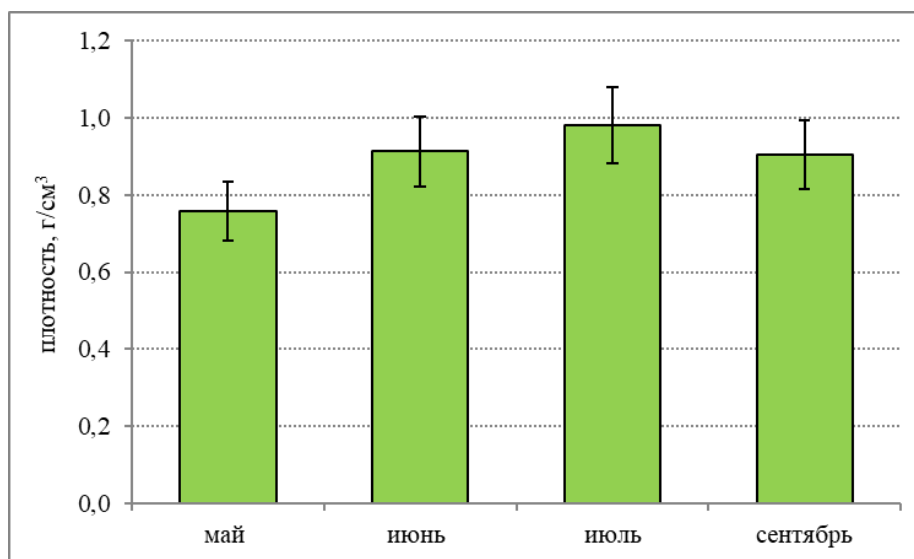


Рис. 160. Плотность почвы ООПТ «Персиановская степь», 2017 г.

Изменение сопротивления пенетрации почв

К одним из самых информативных и чувствительных индикаторов изменения свойств почв относят твердость, или сопротивление пенетрации, как способность почвы противодействовать проникновению в нее не только агротехнических орудий, но и корней растений (Шейн, 2005). Необходимо учитывать целый ряд показателей, влияющих на критические значения сопротивления пенетрации почвы для роста растений. К таким показателям относят физическую структуру, плотность, гранулометрический, минералогический и агрегатный составы, влажность почвы (Казеев и др., 2016; Кормилицина, Бондаренко, 2016; Мокриков и др., 2017, 2024). По данным различных исследователей, лимитирующее влияние твердость почвы оказывает при значениях от 2 до 5 МПа (Misra et al., 1986; Кунах, Балдин, 2011; Otto et al., 2011). По другим данным, критические значения этого параметра физического состояния для почв среднесуглинистого состава находятся в пределах 2–3 МПа. Американские источники (Comprehensive Assessment of Soil Health, 2016) для поверхностного слоя (0–15 см) критическим считают значение 1,13 МПа, а для подповерхностного (15–45 см) – 2,07 МПа. Значения ниже этого уровня считают несущественными для сельского хозяйства. Сопротивление пенетрации характеризует способность почвы противодействовать проникновению в нее не только агротехнических орудий, но и корней растений (Шейн, 2005). Начало сокращения роста корней наблюдается при сопротивлении пенетрации 0,5 МПа, значительное замедление роста корней происходит при 1,5 МПа. При значении 2,0 МПа сокращение роста корней происходит на 55–70 % от оптимальных значений. Критическим значением сопротивления пенетрации, при которой затруднено проникновение корней в почву и растения начинают заметно страдать от повышенного сопротивления проникновению корней, считается величина около 3 МПа ($\approx 30 \text{ кг/см}^2$). В западной научной литературе по работам разных авторов критические значения этого параметра физического состояния для почв среднесуглинистого состава находятся в пределах 2–3 МПа (Lhotský, 1984; Zrubec, 1998 цит. по Мазиров и др., 2012). Сокращение

роста корней на 90 % или его полное прекращение наблюдается при значениях сопротивления пенетрации почвы около 3,0–3,5 МПа (Шейн, 2005). В этом случае распространение корней возможно только по трещинам или по корневинам (ходам сгнивших корней). Согласно исследованиям (Lhotský, 1984; Zrubec, 1998 цит. по Мазиров и др., 2012), существует тесная зависимость сопротивления пенетрации почвы от гранулометрического состава. Определение сопротивления пенетрации показало сравнительно небольшие отличия исследуемых участков между собой (рис. 161). Анализ значений сопротивления на разных глубинах показал, что наибольшим варьированием значений твердости характеризуются поверхностные горизонты. Сопротивление пенетрации нарастает от поверхности вниз по профилю. Существенные различия в значениях этого показателя установлены для почвы с различными выращиваемыми сельскохозяйственными культурами. Наиболее высоким показателем сопротивления пенетрации обладает почва, засеянная кориандром (№3, 4). Причина этого явления – поздний посев не в оптимальные сроки. Низкие значения показателя пенетрации, только в 2% случаев превышающие критическую отметку в 5 МПа, обусловлены высокой влажностью почвы в первый срок наблюдения. Влажная почва обладает высокой пластичностью и низкой твердостью, хорошо проницаема сельскохозяйственными орудиями. Однако во втором сроке наблюдений установлено значительное повышение твердости почвы практически на всех исследуемых полях. Сопротивление пенетрации увеличилось в несколько раз, особенно на участке 3Д с кориандром, где она достигает 9,9 МПа уже на глубине 15 см. Критическая твердость почвы, превышающая 5 МПа, отмечена в 27 из 50 определяемых значений показаний. Установлено, что летом значения сопротивления пенетрации в опытных полях значительно отличается от контрольных почв. Например, в участке 1Д сопротивление пенетрации более чем в два раза выше, чем на участке 1К, а между участками 3Д и 3К разница увеличивается в три раза.

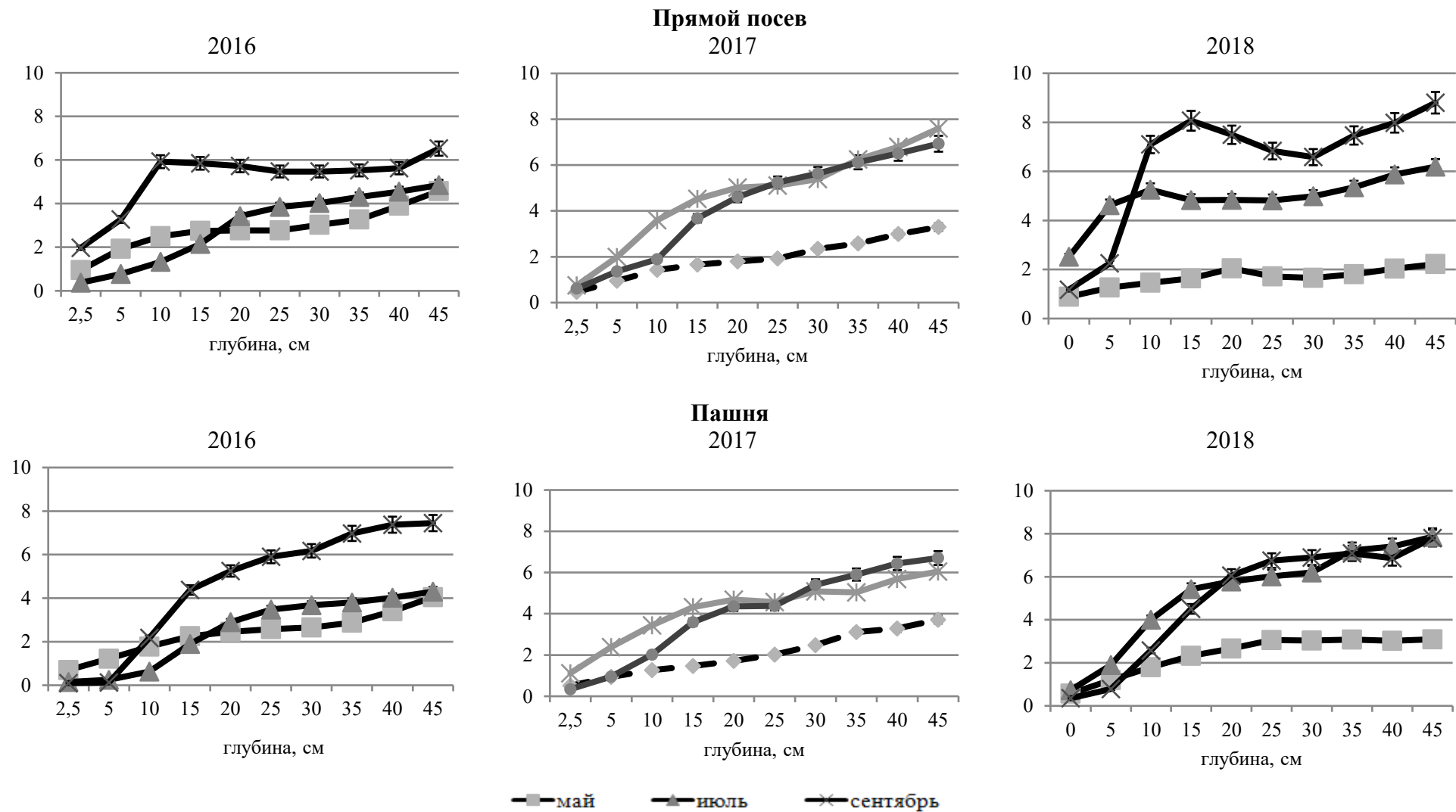


Рисунок 161 – Динамика сопротивления пенетрации почв при выращивании озимой пшеницы (средние значения, $n=10$) на полях с прямым посевом (А) и традиционной технологией (Б), МПа

Таким образом, можно сделать вывод, что технология прямого посева способствует повышению твердости почвы на исследуемых участках в сухой период. Дальнейшее высыхание почвы привело к еще большему повышению значений сопротивления пенетрации в сентябре до сверхвысоких значений 10–12 МПа. Твердость увеличилась как на контрольных участках, так и на опытных. Максимальная плотность отмечена на глубинах более 10 см на полях с пропашными культурами, независимо от обработки почвы.

В мае 2016 г. превышений по сопротивлению пенетрации не обнаружено при всех приемах обработки почвы. Однако во втором сроке наблюдений установлено значительное повышение твердости почвы. Сопротивление пенетрации увеличилось в несколько раз уже с глубины 15 см в два раза по сравнению с допустимой нормой (1 МПа). В сентябре твердость увеличилась как на участках с отвальной вспашкой, так и на участках с прямым посевом. Верхние слои почв участков с традиционной обработкой на большинстве полей были разрыхлены в результате обработки (вспашки, боронования). Однако существенное переуплотнение на участках с прямым посевом наблюдали уже с поверхности, что помимо отсутствия перепашки связано с небольшим количеством осадков и высокой температурой воздуха. Повышение сопротивления пенетрации достигло сверхвысоких значений 10–12 МПа.

В результате исследований весной 2017 года не было выявлено переуплотнения почвы ни на одном из исследуемых участков. Это связано с высокой степенью влажности почв в исследуемый период вследствие высокого количества атмосферных осадков в предшествующий исследованиям период. Повышение значений сопротивления пенетрации в мае 2017 года отмечено только на глубинах 30 и более сантиметров на половине участков независимо от условий обработки почв. В июле на большинстве исследуемых полей твердость почвы возрастала до сверхкритических значений – более 5 и даже 10 МПа. Уже в мае 2017 г. в нижних слоях почвы с глубины 30 см на некоторых участках отмечались повышенные значения показателя 2,5–3,0 МПа. Летом в июле и осенью в сентябре, когда в почве значительно снизилась влажность,

вследствие высоких температур воздуха и относительно малого количества атмосферных осадков твердость почвы значительно возросла. Максимальная твердость почвы была отмечена в июле и сентябре уже с глубины 20 см независимо от системы обработки почв. Сопротивление пенетрации участков с прямым посевом в мае 2018 г. по сравнению с 2017 г. более благоприятное для роста корневой системы озимой пшеницы (Kazeev et al., 2017). Однако в июле уже с глубины 5 см наблюдали высокое сопротивление пенетрации (4,6–4,9 МПа) при прямом посеве. В тот же период при традиционной обработке в слое 15 см наблюдали сверхвысокое сопротивление пенетрации (5,4–7,8 МПа).

В сентябре независимо от технологии обработки почвы сопротивление пенетрации было повышенным (более 4 МПа). При прямом посеве большая твердость почв наблюдалась с глубины 10 см, а при традиционной технологии – 20 см. Подобные значения пенетрации, вероятно, связаны с переувлажнением почвы в июле и августе, когда выпало 89 и 76 мм атмосферных осадков со снижением в сентябре на 65%.

В некоторых случаях в агроценозах пропашных культур прямой посев может приводить к значительному повышению сопротивления пенетрации почвы в сухой период (июль). В результате исследований выявлено, что сопротивление пенетрации определяется влажностью почвы. Обработка данных в 2017 г. по 28 полям показала, что чем ниже влажность, тем выше сопротивление пенетрации почв как при NT ($R = -0,67$), так и при ST ($R = -0,60$). В периоды с высокой влажностью почв значения сопротивления пенетрации были на минимальном уровне. В апреле значения сопротивления пенетрации были на оптимальном уровне для сельскохозяйственных растений на всех исследуемых участках. И это касается не только поверхностных слоев почвы, но и исследуемого слоя до глубины 50 см (рис. 162). Однако технология обработки почвы оказывает влияние на исследуемый параметр на глубинах до 15–20 см. Этот поверхностный слой при прямом посеве может иметь как более высокие значения сопротивления пенетрации (весной), так и низкие значения вследствие обработок почвы сельскохозяйственными орудиями. Вниз по профилю

различия между почвами разных приемов обработки менее существенны и определяются, прежде всего, различием во влажности почв. При этом были отмечены и повышенные значения сопротивления пенетрации на контрольных участках в 2017-м и 2018 г., чего не наблюдалось в 2016 году (Мокриков и др., 2017; Kazeev et al., 2017).

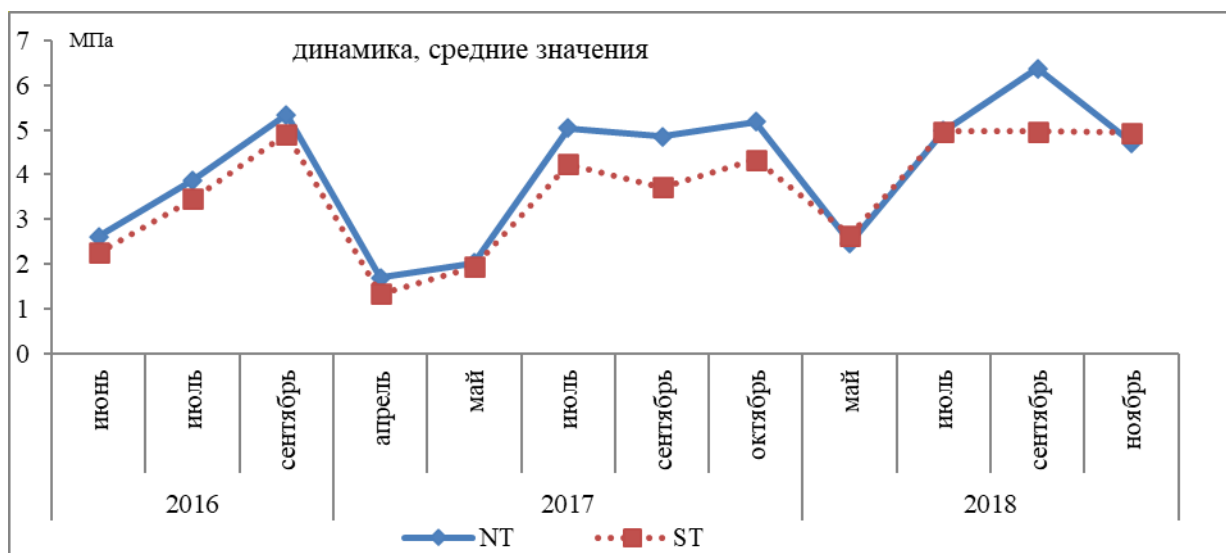


Рис. 162. Усредненные данные сопротивления пенетрации для слоя 0–50 см

Для двух наиболее изученных участков показатель сопротивления пенетрации показал разные результаты динамики для двух слоев почвы: 0–3 см и средние значения для слоя 0–50 см (рис 163).

Данные для этих двух участков показывают неоднозначность динамики сопротивления пенетрации, которая, как уже было указано, определяется прежде всего влажностью почв, которая может быть различной, не всегда определяясь только способом обработки почвы, но и выращиваемой культурой. При этом твердость поверхностного слоя чаще изменяется асинхронно, независимо от способа обработки, в то время как при учете всей мощности почвы сезонные изменения показателя изменяются синхронно для обоих вариантов обработки почвы.

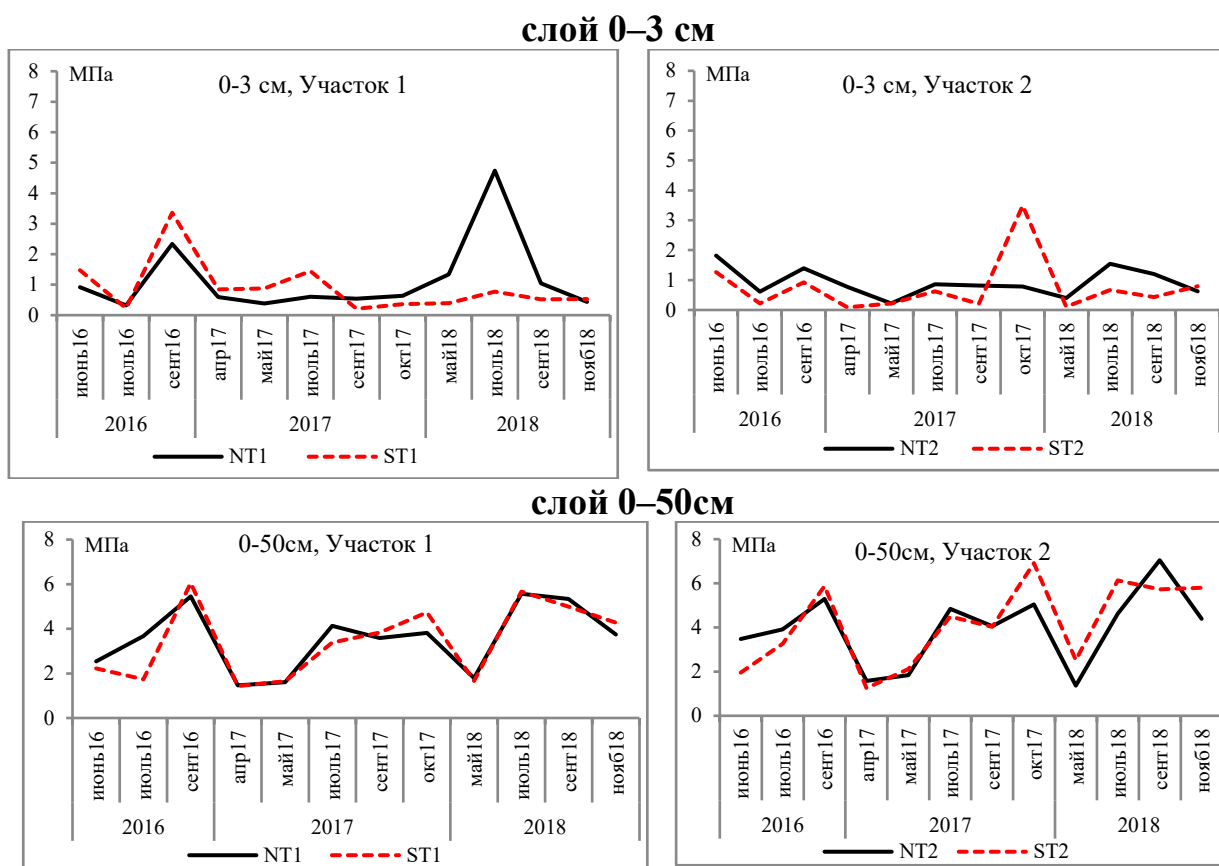


Рис. 163. Динамика сопротивления пенетрации

На рисунках 164, 165 показана сезонная и годовая динамика почв разного землепользования.

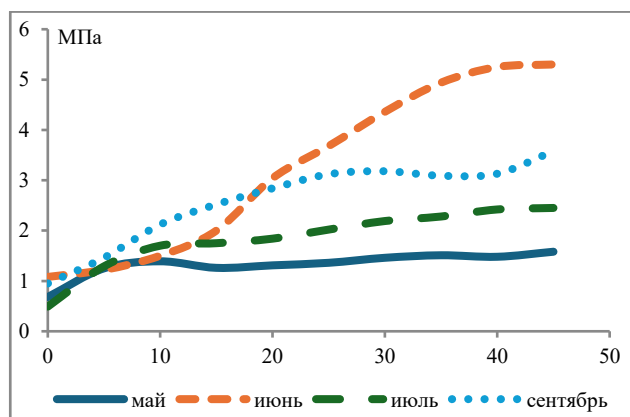


Рис. 164. Динамика сопротивления пенетрации почв ООПТ «Персиановская степь», 2017 г.

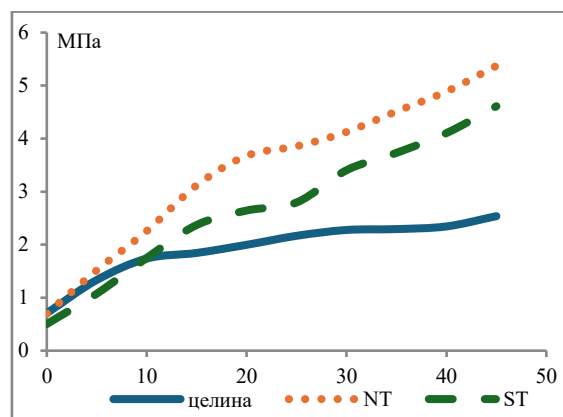


Рис. 165. Сопротивление пенетрации почв разного землепользования, усреднение по пяти срокам сезона 2017г.

Показано, что и в целинной почве варьирование сопротивления пенетрации существенно, особенно на глубинах 25–50 см. Поверхностные слои почвы до глубины 10 см практически не зависят от способа землепользования. В

целинной почве, в пашне и при прямом посеве средние за сезон значения практически идентичны. Глубже целинная почва оказывается более проницаемой.

В годовой динамике сопротивление пенетрации может существенно меняться год от года в 2017 г. независимо от способа обработки, а в 2016-м и 2018 г. повышенными значениями отличаются поверхностные слои почв полей прямого посева (см. рис.166).

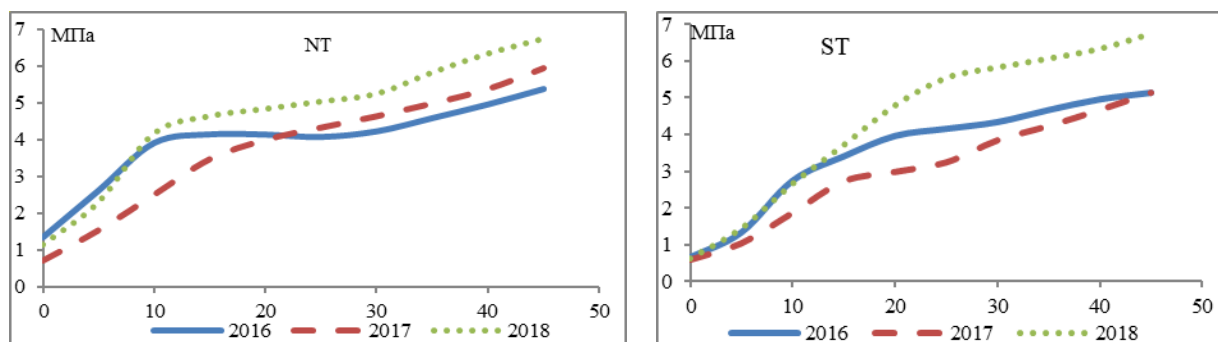


Рис. 166. Сопротивление пенетрации почв разного землепользования, усреднение данные

В результате обобщения данных исследования физических свойств почвы (температуры, влажности, плотности, сопротивления пенетрации) установлена зависимость показателя сопротивления пенетрации от влажности почв, которая определяется как сезонными факторами (атмосферными осадками), так и выращиваемыми сельскохозяйственными культурами и способами обработки почвы. На полях с прямым посевом наблюдали повышение влажности почв в сентябре на 83% по сравнению с традиционной технологией. Сопротивление пенетрации почв при прямом посеве только во влажные месяцы в слое 0–50 см не отличалось от традиционной технологии. В течение сезона наблюдали повышение плотности и сопротивления пенетрации, как на целине, при прямом посеве и отвальной вспашке. Технология прямого посева способствует лучшему сохранению влаги в почве, не влияет на плотность почв, но способствует повышению твердости почвы в верхнем слое почвы.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ФЕРМЕНТАТИВНОЙ АКТИВНОСТИ В ОЦЕНКЕ НУЛЕВОЙ ТЕХНОЛОГИИ НА ЮГЕ РОССИИ

Из многочисленных показателей биологической активности почвы для биодиагностики почв большое значение имеют почвенные ферменты (Казеев и др., 2004; 2016; Даденко и др., 2013). Их разнообразие и богатство делают возможным осуществление последовательных биохимических превращений поступающих в почву органических остатков. Ферментативная активность служит одним из важных показателей экологического состояния и плодородия почв (Галстян, 1974; Хазиев, 1982, 1990; Казеев и др., 2003, 2005, 2006; Sinsabaugh et al., 2008; Trasar-Cepeda et al., 2008; Hugh, 2012; Burns et al., 2013; Raiesi, Salek-Gilani, 2018; Li et al., 2024; Serrano-Grijalva et al., 2024).

Сравнение ферментативной активности почв с разной обработкой

Активность оксидоредуктаз (пероксидаз, полифенолоксидаз и ферриредуктаз) в почвах прямого посева изменялась относительно ST как в сторону стимуляции на 8-44%, так и ингибирования (дегидрогеназы, каталаза и аскорбатоксидаза) на 8-15%. Активность ферментов класса гидролаз изменялась по другому принципу. Так, активность ферментов углеродного цикла – инвертазы и амилазы сравнивали в 2016 году (1-й год исследования). Установлено, что NT снижает активность амилазы более чем на 30%, но стимулирует активность инвертазы на 10%. При этом в 2017 и 2018 гг. исследования была достигнута еще большая стимуляция активности инвертазы на 33-34%. Такой эффект обусловлен повышением концентрации органических веществ в верхнем слое почвы вследствие перегнивания органических остатков сельскохозяйственных культур.

Профильное изменение активности большинства оксидоредуктаз (каталазы и дегидрогеназ) при NT не отличалось от ST по сравнению с гидролазами. Среди гидролаз к наиболее чувствительным к изменению технологии обработки почвы относят инвертазу. Активность инвертазы как фермента углеродного цикла зависит от содержания углерода в почве и доступности его форм (рис. 167).

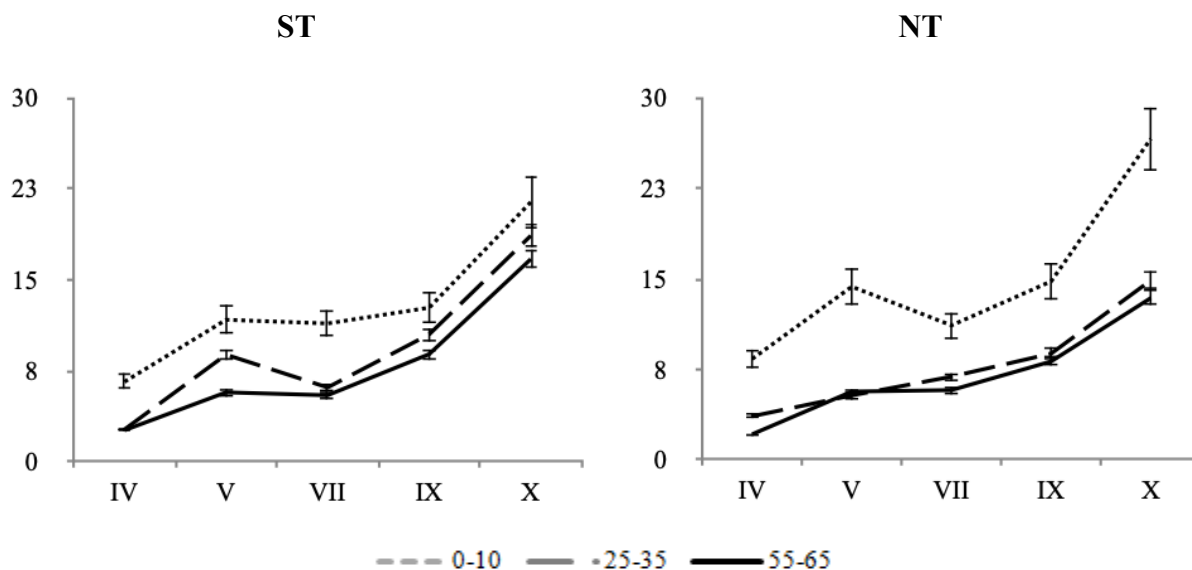


Рис. 167 – Активность инвертазы при разных технологиях, мг глюкозы /г/24часа

Активность фермента снижается в нижних горизонтах при всех видах обработки почв при NT на 81-293%, при ST – на 28-152%. В слое 0-10 см активность фермента была выше при NT на 16-27% (в апреле, мае, сентябре и октябре). В июле в период максимального недостатка влаги в почве и отсутствия атмосферных осадков достоверного отличия активности инвертазы от ST не выявлено. В весенние месяцы в начале интенсивной вегетации получены различные результаты. В апреле на глубине 25-35 см наблюдали повышение активности фермента на 35% выше, чем ST. В мае, напротив, наблюдали ингибирование активности фермента на 40%. В сентябре и октябре отличие от ST на этой глубине варьировало в диапазоне 16-20%. Это обусловлено, тем, что при NT сохраняется поверхностный корнеобитаемый слой. Поэтому активность инвертазы была простимулирована повышением влажности. В нижележащих слоях активность снизилась до 40%. На глубине 55-65 см отличия от ST установлены только в апреле и октябре – на 19-20% выше, чем в аналогичные месяцы при ST.

Мониторинговые исследования, проведенные в течение 2016-2019 гг., показали существенное изменение активности ферментов, особенно для

дегидрогеназ, которые, однако, в течение одного сезона достаточно стабильны (рис. 168).

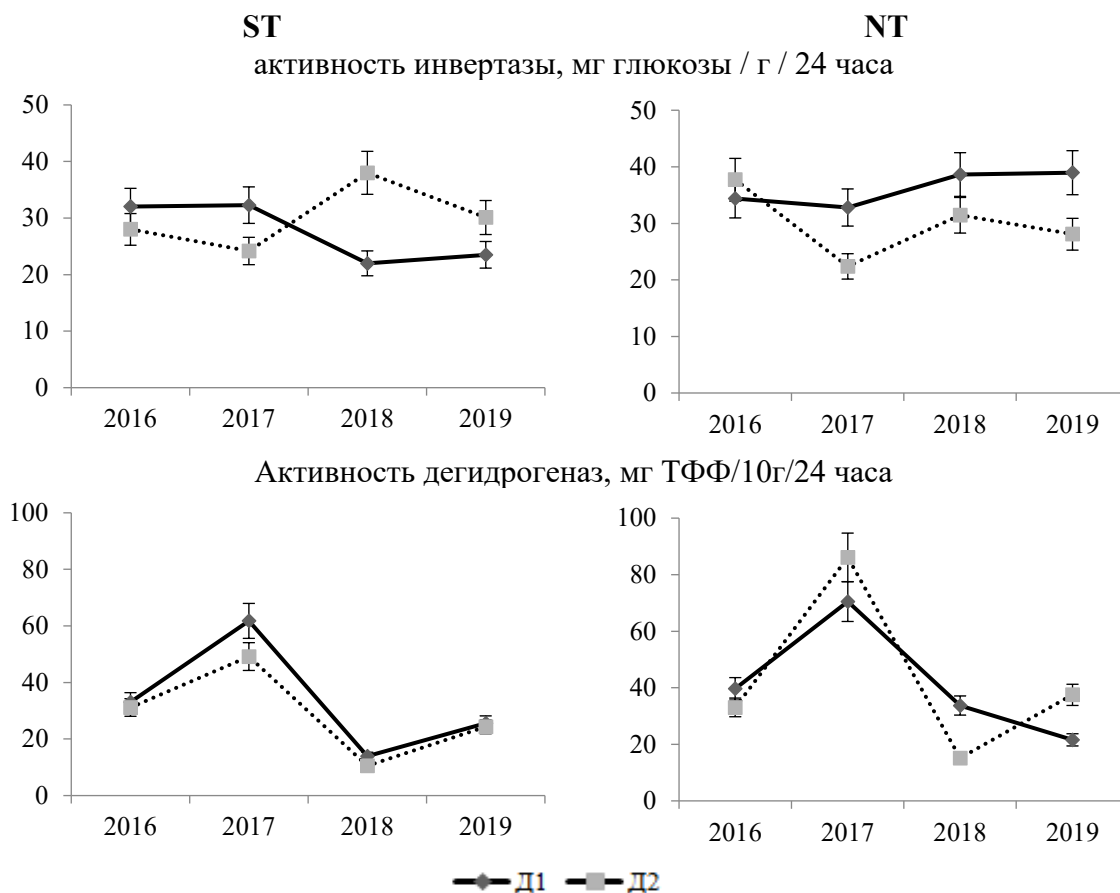


Рис. 168 – Изменение активности инвертазы и дегидрогеназ в 2016-2019 гг.

Однако амплитуда варьирования выражена в гораздо меньшей степени, чем для микробиологических показателей. Среди ферментов активность инвертазы варьировала в меньшей степени по сравнению с активностью дегидрогеназ. Также различается и характер динамики активности этих ферментов, на которую оказывают влияние свойства почв на разных участках, условия увлажнения и выращиваемые культуры. Активность дегидрогеназ была максимальной в 2017 г., когда было отмечено максимальное количество осадков в течение вегетационного периода. В более засушливые годы активность дегидрогеназ уменьшалась.

Оценка состояния почвы с помощью индекса качества здоровья почвы

Для оценки состояния почв по всем показателям ферментативной активности использовали индексы на основе среднего геометрического по каждому

классу ферментов (оксидоредуктазы и гидролазы). По данным активности ферментов каждого класса рассчитали среднее геометрическое по всем гидролазам (GME_{hd}) и всем оксидоредуктазам (GME_{ox}). Было установлено, что в июле по сравнению с маем наблюдали снижение значений GME_{ox} на 16%, а по гидролазам GME_{hd} – на 60%. При этом значения индекса для оксидоредуктаз раза в 2-4 меньше, чем для гидролаз.

При сравнении технологий обработки за 3 года в среднем было выявлено, что NT оказывал либо нейтральное, либо стимулирующее воздействие. Активность оксидоредуктаз при NT только в 2017-2018 гг. была ниже, чем при ST, на 10% и 13%. По гидролазам, напротив, GME_{hd} был выше на 12% и 14% в 2017 и 2018 гг. соответственно.

Интегральный показатель биологического состояния почв за 2016-2018 гг. в почвах NT возрастал на 18-35% (рис. 169). Только на одном поле ИПБС не изменился: его уровень близок к ST на протяжении всего периода наблюдения. Наибольшее увеличение значений ИПБС в 2016-2018 гг. наблюдали на поле NT 1 и NT 2 – 33% и 30% от ST. На поле с NT 4 рост значений показателя составил 10%. Подобное увеличение служит индикатором улучшения состояния почв при использовании технологии NT.

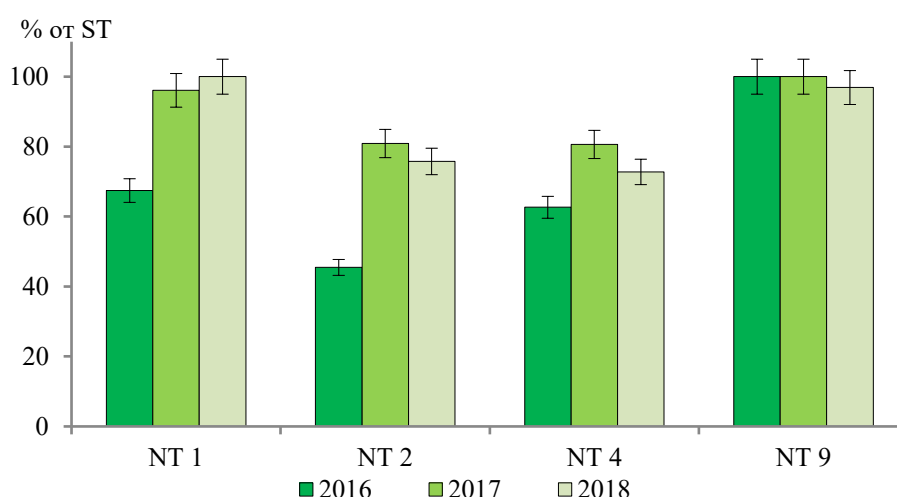


Рис. 169 – ИПБС почв с NT (участки NT 1, NT 2, NT 4, NT 9) за 2016-2019 гг., % от ST

В июне 2017 г. активность каталазы тесно коррелировала с температурой почвы по всей глубине, в то время как активность дегидрогеназ имела

обратные связи с влажностью и температурой. Для активности гидролаз также получены тесные обратные корреляционные связи с температурой и влажностью почв аналогично активности дегидрогеназ. Сильная зависимость оксидоредуктаз от гидротермических показателей почвы выявлена на полях с почвозащитной технологией и активности фосфатазы при традиционной технологии обработки в июле.

В третий период отбора наиболее тесные связи показаны между активностью дегидрогеназ с влажностью ($R = -0,74$), температурой на поверхности, глубине 5 см и 10 см ($R = 0,72-0,95$). Активность инвертазы наиболее тесно связана с влажностью почв как при прямом посеве, так и при традиционной технологии обработки почвы.

Более тесные связи показаны в почвах агроценозов при прямом посеве, чем при традиционной технологии обработки почвы. Вероятно, этот процесс обусловлен разложением растительных остатков и интенсификаций процессов образования органического вещества, что ранее было показано при исследовании целинных и залежных почв (Галстян, 1974; Даденко и др., 2014; Мясникова и др., 2015) и нитрификационной активности черноземов при использовании различных агротехнологий (Минникова и др., 2017). По данным собственных исследований, максимальная активность гидролаз (уреазы, фосфатазы и инвертазы) отмечена в жарком и холодном периодах, минимальная – в сухом жарком периоде, что непосредственно связано с корневыми выделениями сорных растений, влияющих на ферментативную активность почв, и выделением токсических веществ, в том числе природных антибиотиков, подавляющих ферментативную активность (Галстян, 1974; Гончарова и др., 1990). Такой эффект проявляется в почве во второй половине лета и имеет тенденцию к восстановлению активности в осенние месяцы, что подтверждено в нашей работе. Относительно активности каталазы и дегидрогеназ показаны противоположные активности гидролаз тенденции: чем выше температура и ниже влажность почв (июль), тем выше активность.

УРОЖАЙНОСТЬ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ КУЛЬТУР ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ПРЯМОГО ПОСЕВА

Урожайность озимой пшеницы в хозяйстве ИП Мокрикова В.И. в период 2015–2023 гг. на 28% выше, а подсолнечника на 27% выше, чем в среднем по Октябрьскому району Ростовской области (табл. 176).

Таблица 176. Урожайность озимой пшеницы и подсолнечника в хозяйстве ИП Мокриков В.И. – глава КФХ в сравнении со средними показателями Октябрьского района Ростовской области за годы исследований, ц/га

Объекты сравнения	Сельскохозяйственный год									Средняя урожайность, ц/га
	2015–2016	2016–2017	2017–2018	2018–2019	2019–2020	2020–2021	2021–2022	2022–2023	2023–2024	
Озимая пшеница										
ИП Мокриков В.И.	54,2	54,0	29,0	37,0	46,0	53,0	46,0	63,0	31,2	45,9
В среднем по Октябрьскому району Ростовской области*	н/д	н/д	30,9	37,3	35,6	39,4	36,0	44,2	30,1	36,2
Подсолнечник										
ИП Мокриков В.И.	22,0	25,0	22,0	31,0	31,0	30,0	21,0	30,0	18,6	25,6
В среднем по Октябрьскому району Ростовской области*	н/д	н/д	16,7	24,0	20,6	19,8	17,7	26,8	15,2	20,1

* – www.don-agro.ru/index.php/apk/rastenievodstvo/operativnaya-informatsiya, don-agro.ru/old/, mcx.donland.ru/activity/30434/

Кроме качества почв и применяемой агротехники важное значение для урожая имеет количество осадков, особенно в условиях дефицита влаги в отдельные годы. Динамика количества атмосферных осадков в период с 2016-го по 2024 г. показала значительные различия как для годовой суммы, так и для характера их выпадения в сельскохозяйственном году (табл. 177, 178). При этом для озимой пшеницы не выявлено коррелятивной зависимости от количества осадков в период ее выращивания ($R=0,33$), в то время как для подсолнечника была отмечена высокая зависимость урожая от суммы осадков за период его выращивания ($R=0,82$). Для пшеницы критично количество осадков, выпадающих в мае ($R=0,89$), для подсолнечника связь урожая с количеством осадков в мае тоже высока ($R=0,85$).

Таблица 177. Количество осадков, выпавших за период вегетации озимой пшеницы в хозяйстве ИП Мокрикова В.И. – глава КФХ, мм

Сельскохозяйственный год	месяцы									всего
	сентябрь	октябрь	ноябрь	декабрь	январь	февраль	март	апрель	май	
2017–2018	27	41	43	77	45	45	28	0	20	326
2018–2019	20	26	26	50	84	6	29	31	68	340
2019–2020	16	22	22	16	23	89	0	11	44	243
2020–2021	0	28	15	26	61	15	90	51	84	370
2021–2022	41	3	48	108	47	50	19	43	12	371
2022–2023	63	48	40	49	24	37	36	72	105	474
2023–2024	61	46	108	57	75	73	7	5	0	432

Таблица 178. Количество осадков, выпавших за период вегетации подсолнечника в хозяйстве ИП Мокрикова В.И. – глава КФХ, мм

Сельскохозяйственный год	месяцы				всего
	май	июнь	июль	август	
2017–2018	20	29	0	0	49
2018–2019	68	5	44	14	131
2019–2020	44	55	39	0	138
2020–2021	84	79	23	19	205
2021–2022	12	0	11	73	96
2022–2023	105	50	17	60	232
2023–2024	0	17	0	0	17

Более подробное сравнение урожайности приведено для двух участков, почвы которых наиболее подробно исследованы в период 2016–2024 гг. (табл. 179). Анализируя данные таблицы, можно отметить, что на участке Д2 урожайность в случае совпадения выращиваемых культур (4 раза за 8 лет) лишь в одном случае (озимая пшеница) была выше на 16%, чем на участке Д1 при трех случаях равного урожая (лен, нут, озимая пшеница).

На аналогичных контрольных полях К1 (хозяйство ИП Голоднов С.В.) и К2 (хозяйство ИП Болотов Е.) со вспашкой в случае одновременного выращивания одинаковых культур (4 случая) на поле К2 урожайность ярового ячменя в 2016–2017 гг. была ниже на 10%, а озимой пшеницы в 2022–2023 гг. – на 26% ниже. Один раз в 2020–2021 гг. при выращивании озимой пшеницы урожайность совпала. А один раз при выращивании подсолнечника на поле К2 урожай был выше на 18%, чем на поле К1.

При сравнении технологий обработки почв на участке №1 при совпадении культур в сезоне 2018–2019 гг. урожай озимой пшеницы при прямом посеве была ниже на 23%, чем на поле К1 со вспашкой. На участке №2 урожай пшеницы оба раза была выше на поле Д2 с прямым посевом по сравнению со вспашкой К2 – в 2020–2021 гг. на 57% и в 2022–2023 гг. – на 58%.

Таблица 179. Сравнительная урожайность на участках №1 и №2

Год	Поля	Д1	К1	Д2	К2
2015–2016	Культура	лен	оз. пшеница	лен	подсолнечник
	Урожай, ц/га	11	н/д	11	10
2016–2017	Культура	оз. пшеница	яр. ячмень	оз. пшеница	яр. ячмень
	Урожай, ц/га	50	29	58	26
2017–2018	Культура	нут	оз. ячмень	подсолнечник	оз. пшеница
	Урожай, ц/га	4	41	22	20
2018–2019	Культура	оз. пшеница	оз. пшеница	оз. пшеница	кукуруза
	Урожай, ц/га	37	48	37	25
2019–2020	Культура	подсолнечник	кукуруза	кукуруза	оз. пшеница
	Урожай, ц/га	31	28	34	33
2020–2021	Культура	оз.ячмень	оз. пшеница	оз. пшеница	оз. пшеница
	Урожай, ц/га	43	35	55	35
2021–2022	Культура	нут	подсолнечник	нут	подсолнечник
	Урожай, ц/га	11	17	11	20
2022–2023	Культура	оз. ячмень	оз. пшеница	оз. пшеница	оз. лпшеница
	Урожай, ц/га	55	54	63	40

ВЫВОДЫ

1. В первые два года после перехода на нулевую технологию обработки почвы происходят минимальные изменения биологической активности чернозема обыкновенного. Биологическая активность в большей степени определяется пространственным варьированием и выращиваемыми культурами, чем способом обработки.
2. При длительном применении прямого посева выявлены повышенное содержание гумуса и ферментативная активность по сравнению с пахотной обработкой. Расслоение бывшего пахотного горизонта с равномерными значениями показателей приводит к его дифференциации, что приближает профильное распределение биологической активности к естественным почвам. Наибольшие изменения при изменении способа обработки почвы отмечены для содержания активного углерода и активности ферментов углеродного цикла – инвертазы и β -глюкозидазы.
3. Многолетнее применение природоподобной технологии прямого посева в условиях Ростовской области и Ставропольского края улучшает эколого-биологическое состояние черноземов, повышает урожайность сельскохозяйственных культур, рентабельность растениеводства. Наибольшая положительная разница по сравнению с традиционной технологией обработки почв выявлена в засушливые годы.
4. Установлена зависимость сопротивления пенетрации от влажности почв, которая определяется как сезонными факторами (атмосферными осадками), так и способами обработки почвы, а также выращиваемыми сельскохозяйственными культурами. Применение прямого посева способствует повышению структурности почв и водопрочности агрегатов. В поверхностном слое почвы с минимальной обработкой характеризуется отличной структурностью, в слое 10–30 см структурность хорошая и средняя. Водопрочность агрегатов почв с полей прямого посева была значительно лучше, чем на полях со вспашкой. При этом это применимо не только к

поверхностному слою 0–10 см, но и к слою 0–30 см.

5. Технология прямого посева способствует лучшему накоплению и сохранению влаги в почве, в целом слабо влияет на плотность сложения почвы, которая в большей степени зависит не от способа обработки почв, а от сезонных изменений гидротермических условий и вида выращиваемой культуры.
6. Содержание гумуса и особенно подвижной его части в почвах полей прямого посева в целом выше, чем на пахотных полях. При длительном использовании прямого посева почвы по содержанию гумуса приближаются к длительно залежным почвам Ботанического сада ЮФУ и ООПТ «Персиановская степь», которые были изучены в качестве контрольных участков. Но почвы эталонных целинных участков в трех районах Ростовской области содержат значительно больше органического углерода гумуса, чем все исследуемые агрогенные почвы.
7. На большинстве полей с технологией No-Till численность аммонифицирующих бактерий выше на 10–20% по сравнению с полями традиционной системы земледелия, что связано не только с отсутствием механической обработки почвы, но и с агротехническими приемами, сезонными изменениями и выращиваемыми культурами. При технологии нулевой обработки отмечена большая дифференциация бактерий по профилю почв с максимумом у поверхности. В среднем обилие микромицетов выше в 1,1–1,5 раза на полях с прямым посевом по сравнению с контрольными полями, что приводит к быстрой трансформации растительных остатков и повышению доступности биогенных элементов для растений. Достоверной разницы в обилии бактерий р. *Azotobacter* на полях с использованием разных технологий не установлено.
8. Активность оксидоредуктаз (каталаза и дегидрогеназы) чаще менее чувствительна к типу землепользования, чем гидролаз (инвертаза, уреазы и фосфатаза), максимальные значения которых отмечены в целине

Персиановской степи. Прямой посев в меньшей степени снижает активность ферментов по сравнению со вспашкой. Максимальной связью с плодородием почв обладает инвертаза, поэтому ее активность может служить индикатором вида землепользования почв.

9. Интегрированная оценка биологического состояния почв показала лучшие результаты для почв прямого посева по сравнению с пахотой. Выявлена дифференциация бывшего пахотного горизонта на полях с длительным применением прямого посева в отличие от равномерного распределения на пашне. Это свидетельствует о начале восстановления почв к залежным и целинным эталонам.
10. Интенсивность эмиссии углекислого газа в исследуемых почвах сильно варьирует вследствие чувствительности к вариациям температуры, влажности, культурам, количеству растительных остатков и сложению почвы, что усложняет использование данного показателя в диагностике.
11. Разработаны рекомендации по эффективному использованию ресурсосберегающей технологии прямого посева, которые способствуют повышению урожайности озимой пшеницы и подсолнечника в среднем на 28–29% при высокой рентабельности выращивания.

РЕКОМЕНДАЦИИ ПРИ ПЕРЕХОДЕ И ДАЛЬНЕЙШЕЙ РАБОТЕ ПО ТЕХНОЛОГИИ ПРЯМОГО ПОСЕВА

Рекомендации выработаны по итогам многолетних исследований, некоторые результаты которых изложены в наших РИД, научных статьях (Зеленский и др., 2008, 2012; Бакалова и др., 2012; Минникова и др., 2017, 2018, 2019, 2020; Мокриков и др., 2017-2024; Mokrikov et al., 2017, 2019, 2025; Minnikova et al., 2022; Федоренко и др., 2023, 2024), монографиях (Акименко и др., 2016; Мокриков и др., 2017, 2024; Казеев и др., 2018; Мокриков, 2025).

Возделывание полевых культур по технологии прямого посева осуществляется без обработки почвы. Поэтому возникнет вопрос: какой техникой проводить посев в необработанную почву? Следовательно, одним из главных этапов при переходе на эту систему землепользования является выбор сеялки для посева в необработанную почву. Все технологические операции по обработке почвы исключаются. Необходимо понимать, что сев – одна из важных операций в системе No-Till, но наибольшая часть технологических операций по выращиванию полевых культур в системе прямого посева приходится на уходные работы, а точнее, на опрыскивание пестицидами, стимуляторами роста, и т. д. Поэтому перед внедрением прямого посева необходимо приобрести надежный современный опрыскиватель либо до покупки сеялки, либо одновременно, если таковых нет в хозяйстве. Своевременность проведения уходных работ (опрыскивание), как и качественный посев, выходят на первый план.

Прежде чем приступить к поиску сеялки для прямого посева, рекомендуется изучить почвы хозяйства, особенно следует обратить внимание на физико-механические свойства почвы. Нужно знать, какие по механическому составу почвы хозяйства. Одно из важных свойств, на которое следует обратить внимание, – липкость почв. Необходимо понимать, что липкость почвы – это отрицательное свойство, так как при залипании рабочих органов трение металла о почву переходит в трение почвы о почву, которое значительно выше. Прилипание зависит не только от нормального давления и свойств материалов

рабочей поверхности, но и от площади контакта и проявляется даже при отсутствии нормального давления. Липкость почвы зависит от механического состава (дисперсности), влажности, материала рабочей поверхности рабочего органа и удельного давления. С увеличением дисперсности липкость возрастает, поэтому глинистые почвы более липкие, чем песчаные (Алексеев и др., 2014). Нами произведены примерные расчеты площади контакта с почвой существующих доступных для потребителя посевных комбинаций, устанавливаемых на сеялках для прямого посева (рис. 170–173):



Рис. 170. Двухдисковый сошник с колтером (дисковым ножом)

Диаметр колтера (дискового ножа) 45,7 см; площадь контакта колтера с почвой при посеве (глубина прорезания 8 см) $193 \text{ см}^2 \times 2 = 386 \text{ см}^2$; диаметр дисков сошника 34,3 см; площадь контакта с почвой дисков сошника при посеве (глубина заделки семян 5 см) – $83,4 \text{ см}^2 \times 2 = 166,8 \text{ см}^2$. Итого $386 \text{ см}^2 + 166,8 \text{ см}^2 = 552,8 \text{ см}^2$.



Рис. 171. Монодисковый (дисково-анкерный) сошник

Диаметр диска сошника 46 см; площадь контакта с почвой диска сошника при посеве (глубина заделки семян 5 см (6 см глубина проникновения в почву) – 127,6 см²; площадь контакта с почвой башмака при посеве (глубина заделки семян 5 см) – 56 см². Итого 56 см² + 127,6 см² = 183,6 см².



Рис. 172. Сошник с дифазным расположением дисков

Диаметр диска 1 сошника 38,1 см (15"); площадь контакта с почвой диска 1 сошника при посеве – 57,5 см²; диаметр диска 2 сошника 40,64 см (16"); площадь контакта с почвой диска 1 сошника при посеве (глубина проникновения в почву 5,0 см) – 91,4 см². Итого 91,4 см² + 57,5 см² = 148,9 см².



Рис. 173. Анкерный (долотообразный) сошник

Площадь контакта с почвой при посеве (глубина заделки семян 5 см) – 68,2 см².

При севе ранних яровых культур чаще возникает проблема налипания на глинистых почвах при использовании сеялок с дисковыми рабочими органами, которые имеют большую площадь контакта с почвой по сравнению с анкерными (долотовидными) рабочими органами (рис. 174).



Налипание почвы на сошник с дифазным расположением дисков при севе ранних яровых культур.



Налипание почвы и пожнивных остатков на монодисковый (дисково-анкерный) сошник при севе ранних яровых.



Налипание почвы на рабочие органы при посеве ранней весной

Рис. 174. Проблемы налипания почвы

Особенно сильно почва налипает на рабочие органы сеялок при посеве ранней весной, что отрицательно влияет на качество посева (рис. 175–178).



Рис. 175. Поверхность поля при посеве нута сеялкой с колтером и двухдисковым сошником



Рис. 176. Плохая глубина заделки семян. Часто семена лежат на поверхности почвы



Рис. 177. Поверхность поля при посеве нута сеялкой с анкерными (долото-видными сошниками)

Осенью, когда в почве отсутствует влага или почва физически спелая, хорошее качество посева обеспечивают дисковые сеялки. Сеялками с анкерными (долотообразными) рабочими органами при посеве осенью можно произвести посев хорошего качества, но существенным препятствием для проведения качественного посева является высокая стерня (стебли, стоячие пожнивные остатки) – более 25 см зерновых колосовых и более 40 см – подсолнечника и кукурузы (рис. 178).



Рис. 178. Пожнивные остатки пропашных культур

Весной при посеве этими сеялками сталкиваются с аналогичными проблемами.

Помимо знаний о своих почвах при выборе сеялки нужно учитывать вид культуры выращивания. Это необходимо, чтобы выбрать максимально универсальный агрегат, с помощью которого можно было бы сеять наибольшее количество культур.

Одним из главных аспектов успешного внедрения технологии прямого посева является севооборот. Севооборот является системным решением одной из задач ведения производственной деятельности: рационального использования земель с учетом их возможного эффективного плодородия, биологического потенциала растений и имеющихся ресурсов (тепла, климата, удобрений, сельскохозяйственных машин и агрохимикатов) с целью ведения максимально рентабельного хозяйствования, которое возможно при получении высоких урожаев, с одновременным воспроизводством плодородия и охраной окружающей среды. Разнообразие культур в структуре сева помогает снизить риски, связанные с изменчивостью погоды и другими факторами. Диверсификация в посевной структуре способствует более стабильному доходу и снижению рисков для сельхозпроизводителей. При правильном чередовании культур на поле происходит нарушение привычной для вредных организмов среды обитания и как следствие уменьшение действия вредных объектов. Следует учитывать и тот факт, что при неправильном севообороте велика вероятность поражения следующей культуры болезнями и вредителями предыдущей (Баздырев и др., 2000; Основы технологии..., 2000).

Бессменное возделывание почти всех сельскохозяйственных растений обуславливает диспропорцию в балансе минеральных питательных веществ, оказывает отрицательное влияние на количество органического вещества в почве, и т. д.

Необходимость чередования культур обусловлена их влиянием на строение, плотность, структуру, водный режим почв и устойчивость к эрозионным процессам (Баздырев и др., 2000).

Сочетание вышеперечисленных причин объясняет снижение урожайности культур при повторных посевах и бессменном выращивании на одном месте. Особое внимание следует уделить разработке и внедрению системы контроля сорно-полевой растительности в технологии прямого посева, особенно в первые годы перехода на эту технологию. Не нужно экономить на препаратах для борьбы с сорно-полевой растительностью, особенно на препаратах сплошного действия (производные глифосатов). Нами опытным путем установлено, что применение баковой смеси гербицидов на основе глифосатов (540 г/л) 1,5 л/га и препаратов на основе аминной соли 0,2–0,3 л/га эквивалентно действию 4–6 л/га чистого препарата (540 г/л). Не стоит снижать норму расхода глифосатов, т. к. это приводит к выработке у растений резистентности к препаратам на основе этого действующего вещества. Опытным путем установлено, что контролировать сорняки легче в начальные стадии их развития. На каждом поле за сезон проводится от трех до четырех обработок гербицидами сплошного действия, иногда меньше.

С самого начала работы по технологии прямого посева рекомендуется увеличить дозу азотных удобрений на выращиваемых культурах севооборота примерно на 15–20%. Это связано с тем, что микроорганизмам требуется азот для разложения пожнивных остатков, который они потребляют из почвы, таким образом создавая конкуренцию культурным растениям за этот элемент. Следствием этого является снижение продуктивности растений. В системе прямого посева предпочтительнее применять жидкие азотные удобрения – КАС. КАС – это смесь водных растворов аммиачной селитры и карбамида (в соотношении 35,4% карбамида, 44,3% селитры, 19,4% воды, 0,5% аммиачной воды). Плотность жидкого удобрения до 1,34 кг/м³. Это единственное азотное удобрение, которое содержит три формы азота:

- нитратный азот (NO_3^-) – обеспечивает мгновенное действие. Нитратная форма быстро и полностью поглощается корневой системой растений (она переходит в почвенный раствор);

- аммонийный азот (NH_4^+) – связывается твёрдой фазой почвы (содержится в почвенно-поглощающем комплексе) и поглощается корневой системой;
- амидный азот (NH_2^+) – в результате деятельности почвенных микроорганизмов превращается в аммонийную форму, а затем в нитратную. Амидная форма азота достаточно легко проникает в растение через листовой аппарат, но значительно больше времени ей понадобится, чтобы проникнуть в растение через корень.

КАС – это азотное удобрение, которое эффективно на злаковых культурах и при выращивании сочных кормов. Его применение положительно сказывается на увеличении урожайности зерновых и интенсивном нарастании зелёной массы.

Преимущества внесения КАС перед гранулированными удобрениями:

- высокая эффективность применения в любых климатических зонах, в том числе засушливых;
- более равномерное внесение, точная дозировка распределения по площади;
- возможность использования на разных стадиях вегетации культур;
- быстрое проникновение в почву без необходимости обязательной заделки;
- возможность применять в системах mini-till и No-Till;
- пролонгированность действия;
- сокращение технологических затрат благодаря возможности совмещения внесения КАС в смеси с пестицидами и другими жидкими минеральными удобрениями;
- низкая стоимость единицы действующего вещества по сравнению с гранулированными формами;
- отсутствие биурета.

Недостатки:

- риск ожогов растений, обусловленный нормой внесения, фазой и особенностью вегетации культуры, погодными условиями;

- необходимы особые условия транспортировки, хранения;
- наличие специальной техники для внесения.

Однако указанные недостатки достаточно легко устраняются. Требуются особые условия перевозки КАС, которые ограничиваются перегрузом автотранспорта (ввиду высокой плотности КАС). Поэтому рекомендуется заполнять емкости не более чем на 80%. Присутствие антикоррозионных добавок сводит коррозию углеродистых сталей практически к нулю.

КАС можно использовать в такие сроки:

- осенью – под основную обработку;
- весной – под предпосевную обработку;
- в период вегетации сельскохозяйственных культур для корневой и внекорневой подкормки.

Нормы и дозы внесения КАС зависят от вида культуры, срока и способа внесения, предшественника и других факторов. Никаких специальных ограничений не существует (Михайлова, 2015).

Существенным недостатком технологии No-Till является применение удобрений на культурах сплошного сева, так как их возможно вносить только при посеве и в одну борозду с семенами. В последние годы весной наблюдается резкое повышение температуры воздуха, сопровождаемое отсутствием осадков и ветрами преимущественно восточного направления. Такие погодные условия способствуют быстрому иссушению почвы. Между семенами и удобрениями возникает конкуренция за воду, которая необходима для растворения вторых и прорастания первых. Из-за того, что гранулированные удобрения более гигроскопичны, чем семена, они быстрее поглощают воду. Таким образом создается дефицит воды, необходимой для прорастания семян, в зоне корневой системы образуется высокая концентрация солей удобрений, которые при дефиците влаги вызывают ожог корневой системы растений и дальнейшее угнетение их и, следовательно, снижение продуктивности. Опытным путем нами установлено, что применение жидких комплексных удобрений весной позволяет снизить вышеперечисленные риски. Жидкие комплексные

удобрения имеют ряд преимуществ по сравнению с гранулированными. ЖКУ (11-37) – это высокоэффективное быстродействующее удобрение. Кроме конденсированных фосфатов (70-80% от общей массы P_2O_5) и азота ЖКУ содержит серу, магний. Все питательные вещества находятся в растворе, поэтому легкодоступны растениям. ЖКУ обладают высокой эффективностью в посевах любых культур, во всех регионах, особенно на карбонатных почвах. Использование ЖКУ имеет несомненные преимущества перед твердыми туками: обеспечивается высокая равномерность внесения питательных веществ, снижаются их потери, улучшаются условия труда. Подкормку растворами ЖКУ можно совместить с обработкой почвы микроэлементами, средствами защиты растений. Применять их следует теми же способами, что и твердые удобрения: сплошным распределением по поверхности почвы перед вспашкой и культивацией, локально при посеве, а также для подкормки сельскохозяйственных культур. ЖКУ используются для капсулирования и дражжирования семян, их предпосевной обработки. Удобрение не содержит вредных примесей и полностью соответствует повышенным требованиям экологичности (Минеев и др., 2017).

На пропашных культурах имеется возможность вносить удобрения сбоку линии посева и глубже линии посева.

Технологические операции, которые внедрены в хозяйство ИП Мокрикова В.И. – глава КФХ (ранее ООО «Донская нива») на площади более 5,5 тысячи га, по выращиванию полевых культур по технологии прямого посева могут быть приняты за основу для хозяйств, планирующих или же уже работающих по этой технологии.

С 2008 года ИП Мокриков В.И. – глава КФХ (ранее ООО «Донская нива» Октябрьского района Ростовской области) выращивает полевые культуры без обработки почвы. В настоящее время в хозяйстве по технологии прямого посева выращиваются 12 культур: озимая пшеница, озимый ячмень, горох, нут, лен, кориандр, яровой рапс, подсолнечник, кукуруза, гречиха, люцерна, пырей.

Севооборот в хозяйстве выглядит следующим образом:

1. Озимая пшеница;
2. Подсолнечник;
3. Озимый ячмень;
4. $\frac{3}{4}$ кукуруза на зерно + $\frac{1}{4}$ гречиха;
5. Озимая пшеница;
6. Зерновые бобовые (горох, нут, соя, чечевица);
7. Озимая пшеница;
8. $\frac{1}{2}$ кориандр + $\frac{1}{2}$ крестоцветные (яровой или озимый рапс, горчица сарептская);
9. Озимая пшеница;
10. Лен.

Технология выращивания озимой пшеницы

В ИП Мокриков В.И. – глава КФХ озимую пшеницу возделывают по следующим предшественникам: лен, кориандр, горох, нут, яровой рапс, кукуруза на зерно, гречиха. По таким предшественникам, как кориандр, лен, нут, горох, яровой рапс и гречиха, за 10–14 дней до посева производят опрыскивание баковой смесью гербицидов: глифосаты (калийная соль) 1,5 л/га + производные 2,4 ДА 0,2–0,3 л/га, норма расхода рабочего раствора 60 л/га. По предшественникам кукуруза на зерно или подсолнечник предпосевная обработка гербицидами производится по вышеуказанной схеме, если перед посевом на поле присутствуют проблемные сорняки: эгилопс цилиндрический и виды костров. С наступлением оптимальных сроков сева для зоны приступают к посеву независимо от наличия влаги в почве. По предшественникам горох и другие бобовые, рапс и другие крестоцветные, лен, кориандр, гречиха посев производится агрегатами с анкерными рабочими органами: 1) трактор BУHLER VERSATILE 2375 + посевной комплекс Amazone DMC Primera (междурядье 18,75 см); 2) трактор CASE MAGNUM 315 + посевной комплекс Amazone DMC Primera (междурядье 25 см). При посеве одновременно вносится ЖКУ 100 л/га + КАС-32 (карбамид) 100 л/га (90 кг/га). По пропашным предшественникам (кукуруза на зерно, подсолнечник) посев производится агрегатами с дисковыми рабочими органами с междурядьем 19,1 см: 1) трактор BУHLER VERSATILE 2375 + посевной комплекс GREAT PLAINS NTA 3510; 2) трактор

CASE MAGNUM 315 + посевной комплекс GREAT PLAINS NTA 3510. При посеве вносится аммофос – 100–130 кг/га.

Норма высева семян зависит от сорта и составляет 3,5–4,0 млн всх./га. Глубина посева 3–4 см. Перед посевом семена протравливают фунгицидными и инсектицидными протравителями семян. Осенью, когда у растений озимой пшеницы, посеянной по предшественникам кукуруза на зерно или подсолнечник, образовывается 2–3 листа, производится подкормка КАС-32 – 100 л/га. Весной, когда температура почвы достигает + 50°C, производится подкормка КАС-32 – 150–220 л/га в зависимости от наличия продуктивной влаги и содержания подвижного фосфора в почве. В фазу кущения растений озимой пшеницы посевы обрабатываются баковой смесью гербицидов и инсектицидов, расход рабочей жидкости 100 л/га. Когда у растений озимой пшеницы образуется первое междоузлие, т.е. в фазу выхода в трубку, вносится КАС-32 100–150 л/га в чистом виде. Важно, чтобы удобрения вносились при температуре не выше + 18°C. Когда у растений озимой пшеницы образовывается 2–3-е междоузлие, посевы обрабатывают баковой смесью фунгицидов, инсектицидов и стимуляторов роста, расход рабочей жидкости 100–150 л/га. При появлении флагового листа делается еще одна подкормка азотом: 30 л/га КАС-32 + 170 л/га воды, расход рабочего раствора 200 л/га. По результатам полевого обследования принимается решение по обработке посевов озимой пшеницы против вредителей (жук – кузька, клоп – вредная черепашка).

В хозяйстве используется в основном двухфазный способ уборки. При влажности зерна в колосе 38% посевы озимой пшеницы скашиваются в валки. Когда влажность зерна в валках составляет 14–15%, производится подбор и обмолот валков. Выгрузка комбайнов осуществляется только на краю поля.

Технология выращивания озимого ячменя

В хозяйстве ИП Мокрикова В.И. – глава КФХ озимый ячмень возделывают по подсолнечнику. По предшественнику подсолнечник предпосевная обработка гербицидами не производится. С наступлением оптимальных сроков сева для зоны приступают к посеву независимо от наличия влаги в почве.

Посев производится агрегатами с дисковыми рабочими органами с междурядьем 19,1 см: 1) трактор BUEHLER VERSATILE 2375 + посевной комплекс GREAT PLAINS NTA 3510; 2) трактор CASE MAGNUM 315 + посевной комплекс GREAT PLAINS NTA 3510.

Норма высева семян составляет 3,0 млн всх./га. Глубина посева 3–4 см. При посеве вносится аммофос 100–130 кг/га. Перед посевом семена протравливают фунгицидными и инсектицидными протравителями семян. Осенью, когда у растений озимого ячменя образовывается 2–3 листа, производится подкормка КАС-32 100 л/га. Весной, когда температура почвы достигает +5°C, производится подкормка КАС-32 130–170 л/га в зависимости от наличия продуктивной влаги и содержания подвижного фосфора в почве.

В фазу кущения растений озимого ячменя посевы обрабатываются баковой смесью гербицидов и инсектицидов, расход рабочей жидкости 60 л/га. Когда у растений озимого ячменя образуется 1-е междоузлие, т.е. в фазу выхода в трубку, вносится КАС-32 100 л/га в чистом виде. Важно, чтобы удобрения вносились при температуре не выше + 18°C. Когда у растений озимого ячменя образовывается второе-третье междоузлие, посевы обрабатывают баковой смесью фунгицидов, инсектицидов и стимуляторов роста, расход рабочей жидкости 100–150 л/га. По результатам полевого обследования принимается решение по обработке посевов озимого ячменя против вредителей (жук – кузья, клоп – вредная черепашка).

В хозяйстве используется в основном двухфазный способ уборки. При влажности зерна в колосе 38% посевы озимого ячменя скашивают в валки. Когда влажность зерна в валках составляет 14–15%, производится подбор и обмолот валков. Выгрузка комбайнов осуществляется только на краю поля.

Технология выращивания озимого рапса

В хозяйстве ИП Мокрикова В.И. озимый рапс выращивают по озимой пшенице и озимому ячменю. Летом после уборки предшественника и по мере отрастания сорно-полевой растительности поля опрыскивают баковой смесью

гербицидов: глифосаты (калийная соль) 1,5 л/га + производные 2,4 ДА – 0,25л/га, норма расхода рабочего раствора 60 л/га.

Весной за 2–3 дня до посева ярового рапса и горчицы производится обработка глифосатами (калийная соль) 1,5 л/га+ производные 2,4 ДА 0,25 л/га, норма расхода рабочего раствора 60 л/га.

Посев озимого рапса производится с 15–20 августа.

Посев производится агрегатами с анкерными рабочими органами: 1) трактор BUNLER VERSATILE 2375 + посевной комплекс Amazone DMC Primera (междурядье 37,25 см); 2) трактор CASE MAGNUM 315 + посевной комплекс Amazone DMC Primera (междурядье 25 см). Норма высева семян ярового рапса составляет 0,7 млн всх./га. Глубина заделки семян 6–7 см.

Посев производится без удобрений. Осенью перед уходом в зиму посевы озимого рапса обрабатываются микроудобрениями, содержащими бор. При появлении сорно-полевой растительности в фазу трех-четырех листьев посевы обрабатываются против двудольных сорняков гербицидами на основе действующих веществ клопиралида, пиклорама, аминопиралида с добавлением инсектицидов. Для борьбы со злаковыми сорняками применяются граминициды, как правило, вне зависимости от фазы развития рапса. Весной при появлении первых соцветий у рапса и горчицы посевы обрабатывают инсектицидами против рапсового цветоеда и капустной моли.

Для лучшего контроля за вредителями используются желтые чашки-ловушки. В течение вегетации производится контроль за численностью следующих вредителей: стеблевого рапсового скрытнохоботника, стеблевого капустного скрытнохоботника (слоника), капустной моли, рапсового пилильщика. При превышении ЭПВ производятся соответствующие обработки инсектицидами.

Рано весной при возобновлении вегетации растений посевы озимого рапса подкармливают азотными удобрениями (КАС-32) 70 кг/га N д.в. Через 10–14 дней после первой подкормки проводят вторую азотными удобрениями (КАС-32). В течение вегетации посевы обрабатывают микроудобрениями и

стимуляторами роста, содержащими бор, магний и серу. В фазу полного цветения посевы рапса обрабатывают профилактически против комплекса заболеваний препаратами, содержащими следующие действующие вещества: тебуконазол, метконазол и боскалид.

В хозяйстве применяют двухфазную уборку и прямое комбайнирование. Приступают к скашиванию в валки, когда семена приняли черную, коричневую и светло-коричневую окраску, при надавливании делятся на две части, влажность маслосемян 30–35%. Высота среза от земли как при прямой уборке рапса, так и при укладке в валки максимальная. Подбор и обмолот валков начинают при влажности 8–10%. При влажности семян рапса 10–15% приступают к уборке прямым комбайнированием. Для уборки рапса зерноуборочные жатки дооснащаются специальными приспособлениями под названием рапсовый стол. Высота среза – максимально возможная. Выгрузка комбайнов осуществляется только на краю поля.

Технология выращивания гороха

В хозяйстве ИП Мокрикова В.И. горох выращивают по озимой пшенице. Летом по мере отрастания сорно-полевой растительности после уборки пшеницы поля опрыскивают баковой смесью гербицидов: глифосаты (калийная соль) 1,5 л/га + производные 2,4 ДА 0,25 л/га, норма расхода рабочего раствора 30 л/га. Осенью по мере прорастания падалицы пшеницы и появления сорно-полевой растительности поля опрыскивают баковой смесью гербицидов: глифосаты (калийная соль) 1,5 л/га + производные 2,4 ДА 0,25 л/га, норма расхода рабочего раствора 60 л/га. Весной за 2–3 дня до посева гороха производится обработка глифосатами (калийная соль) 1,5 л/га + производные 2,4 ДА 0,25 л/га, норма расхода рабочего раствора 60 л/га.

Посев гороха производится рано весной. До посева семена гороха протравливаются фунгицидными и инсектицидными протравителями с добавлением микроудобрений и стимуляторов роста. Посев производится агрегатом с анкерными рабочими органами: 1) трактор BUEHLER VERSATILE 2375 + посевной комплекс Amazone DMC Primera (междурядье 18,75 см); 2) трактор

CASE MAGNUM 315 + посевной комплекс Amazone DMC Primera (междурядье 25 см). Норма высева семян составляет 1,1–1,2 млн всх./га. Глубина заделки семян 5–7 см. Одновременно с посевом вносятся два вида удобрений: ЖКУ (11:37) 50 л/га + КАС (мочевина) 50 л/га (45 кг/га). В фазу 5–6 листьев у гороха посевы обрабатывают гербицидом Базагран – 2–3 л/га против двудольных сорняков. Для борьбы со злаковыми сорняками применяются граминциды, как правило, вне зависимости от фазы развития гороха. При появлении первых цветков на растениях гороха посевы, вне зависимости от того, имеются или нет в посевах вредные объекты, обрабатывают баковой смесью инсектицидов (пиретроиды), стимуляторов роста и микроудобрений. При образовании первых плодов на растениях производится обработка инсектицидами (ФОС). Норма расхода рабочей жидкости 100 л/га.

В хозяйстве применяют двухфазную уборку и прямое комбайнирование. Приступают к скашиванию в валки, когда на растениях пожелтело 70–75% бобов, а влажность семян не более 30–35%. При влажности семян 14–16% производится подбор и обмолот валков. К прямому комбайнированию приступают, когда влажность семян гороха достигнет 16–18%. Уборку гороха осуществляют комбайнами с роторным типом МСУ. Выгрузка комбайнов осуществляется только на краю поля.

Технология выращивания нута

В хозяйстве ИП Мокрикова В.И. нут выращивают по озимой пшенице. Летом по мере отрастания сорно-полевой растительности после уборки пшеницы поля опрыскивают баковой смесью гербицидов: глифосаты (калийная соль) 1,5 л/га + производные 2,4 ДА 0,2 л/га, норма расхода рабочего раствора 30 л/га. Осенью по мере прорастания падалицы пшеницы и появления сорно-полевой растительности поля опрыскивают баковой смесью гербицидов: глифосаты (калийная соль) 1,0 л/га + производные 2,4 ДА 0,25 л/га, норма расхода рабочего раствора 60 л/га. Весной за 2–3 дня до посева нута производится обработка баковой смесью гербицидов: глифосаты (калийная соль) 1,5 л/га + производные 2,4 ДА 0,25 л/га, норма расхода рабочего раствора 60 л/га.

Посев нута производится рано весной одновременно с посевом гороха. До посева семена нута протравливаются фунгицидными и инсектицидными протравителями с добавлением микроудобрений и стимуляторов роста. В день посева семена нута обрабатываются инокулянтom (Ризоторфин для нута) с добавлением биостабилизатора. Посев производится агрегатом с анкерными рабочими органами: трактор CASE MAGNUM 315 + посевной комплекс Amazone DMC Primera (междурядье 25 см). Норма высева семян составляет 0,5–0,7 млн всх./га. Глубина заделки семян 5–7 см. Одновременно с посевом вносятся два вида удобрений: ЖКУ (11:37) 100 л/га + КАС-32 100 л/га. За 2–3 дня до появления всходов поля обрабатывают баковой смесью глифосатов (калийная соль) – 2,5 л/га и гербицидов почвенного действия, норма расхода рабочего раствора 150 л/га.

Для борьбы со злаковыми сорняками применяются граминициды, как правило, вне зависимости от фазы развития нута. При появлении первых цветков на растениях нута посевы, вне зависимости от того, имеются или нет в посевах вредные объекты, обрабатывают баковой смесью инсектицидов (ФОС); биологических фунгицидов (Спорекс или Экстрасол), стимуляторов роста и микроудобрений. При образовании первых плодов на растениях производится обработка посевов по вышеописанной схеме. Норма расхода рабочей жидкости 100 л/га.

В хозяйстве применяют двухфазную уборку и прямое комбайнирование. Приступают к скашиванию в валки, когда на растениях пожелтело 70–75% бобов, а влажность семян не более 30–35%. При влажности семян 14–16% производится подбор и обмолот валков. К прямому комбайнированию приступают, когда влажность семян нута достигнет 16–18%. Уборку нута осуществляют комбайнами с роторным типом МСУ. Выгрузка комбайнов осуществляется только на краю поля.

Технология выращивания кориандра

В хозяйстве ИП Мокрикова В.И. кориандр выращивают по озимой пшенице. Летом по мере отрастания сорно-полевой растительности после уборки

пшеницы поля опрыскивают баковой смесью гербицидов: глифосаты (калийная соль) 1,5 л/га + производные 2,4 ДА 0,25 л/га, норма расхода рабочего раствора 60 л/га. Осенью по мере прорастания падалицы пшеницы и появления сорно-полевой растительности поля опрыскивают баковой смесью гербицидов: глифосаты (калийная соль) 1,5 л/га + производные 2,4 ДА 0,25 л/га, норма расхода рабочего раствора 60 л/га.

Посев кориандра производится после посева бобовых культур. Посев производится агрегатами с анкерными рабочими органами: 1) трактор BUNLER VERSATILE 2375 + посевной комплекс Amazone DMC Primera (междурядье 37,25 см); 2) трактор CASE MAGNUM 315 + посевной комплекс Amazone DMC Primera (междурядье 25 см). Норма высева семян составляет 15–20 кг/га. Глубина заделки семян 4–5 см. Одновременно с посевом вносятся два вида удобрений: ЖКУ (11:37) 100 л/га + КАС-32 100 л/га. За 2–3 дня до появления всходов поля обрабатывают баковой смесью глифосатов (калийная соль) 1,5 л/га + производные 2,4 ДА 0,25 л/га. Когда у растений кориандра образуется 1–3 настоящих листа, посевы обрабатывают гербицидом Гезагарт (прометрин) – 3 л/га с добавлением стимуляторов роста и инсектицидов, норма расхода рабочего раствора 150 л/га.

В хозяйстве применяют двухфазная уборку. Приступают к скашиванию в валки, когда побурело 60–70% плодов на растениях. Подбор и обмолот валков начинают при влажности 12–14%. Выгрузка комбайнов осуществляется только на краю поля.

Технология выращивания ярового рапса, горчицы

В хозяйстве ИП Мокрикова В.И. яровой рапс и горчицу выращивают по озимой пшенице. Летом по мере отрастания сорно-полевой растительности после уборки пшеницы поля опрыскивают баковой смесью гербицидов: глифосаты (калийная соль) 1,5 л/га + производные 2,4 ДА 0,25 л/га, норма расхода рабочего раствора 60 л/га. Осенью по мере прорастания падалицы пшеницы и появления сорно-полевой растительности поля опрыскивают баковой смесью гербицидов: глифосаты (калийная соль) 1,5 л/га + производные 2,4 ДА

0,25 л/га, норма расхода рабочего раствора 60 л/га. Весной за 2–3 дня до посева ярового рапса и горчицы производится обработка глифосатами (калийная соль) 1,5 л/га + производные 2,4 ДА 0,25 л/га, норма расхода рабочего раствора 60 л/га.

Посев ярового рапса и горчицы производится рано весной вслед за зерновыми бобовыми. Посев производится агрегатами с анкерными рабочими органами: 1) трактор BUEHLER VERSATILE 2375 + посевной комплекс Amazone DMC Primera (междурядье 37,25 см); 2) трактор CASE MAGNUM 315 + посевной комплекс Amazone DMC Primera (междурядье 25 см). Норма высева семян ярового рапса составляет 0,7 млн всх./га, горчицы 10–12 кг/га. Глубина заделки семян 3–4 см. Одновременно с посевом вносится ЖКУ (11:37) 100 л/га + КАС (мочевина) 100 л/га (90 кг/га).

В фазу 3–4 листьев посевы обрабатываются гербицидами на основе действующих веществ клопиралида, пиклорама, аминопиралида с добавлением инсектицидов. Для борьбы со злаковыми сорняками применяются граминициды, как правило, вне зависимости от фазы развития рапса и горчицы. При появлении первых соцветий у рапса и горчицы посевы обрабатывают инсектицидами против рапсового цветоеда и капустной моли. Для лучшего контроля за вредителями используются желтые чашки-ловушки. В течение вегетации производится контроль за численностью следующих вредителей: стеблевого рапсового скрытнохоботника, стеблевого капустного скрытнохоботника (слоника), капустной моли, рапсового пилильщика. При превышении ЭПВ производятся соответствующие обработки инсектицидами.

В начале стеблевания посевы рапса (горчицы) подкармливают азотными удобрениями (КАС-32) 40 кг д.в. азота. В течение вегетации посевы обрабатывают микроудобрениями и стимуляторами роста, содержащими бор, магний и серу. В фазу полного цветения посевы рапса обрабатывают профилактически против комплекса заболеваний препаратами, содержащими следующие действующие вещества: тебуконазол, метконазол и боскалид.

В хозяйстве применяют двухфазную уборку и прямое комбайнирование. Приступают к скашиванию в валки, когда семена приняли черную, коричневую и светло-коричневую окраску, при надавливании делятся на две части, влажность маслосемян 30–35%. Высота среза от земли как при прямой уборке рапса, так и при укладке в валки максимальная. Подбор и обмолот валков начинают при влажности 8–10%. При влажности семян ярового рапса (горчицы) 10–15% приступают к уборке прямым комбайнированием. Для уборки рапса зерноуборочные жатки дооснащаются специальными приспособлениями под названием рапсовый стол. Высота среза – максимально возможная. Выгрузка комбайнов осуществляется только на краю поля.

Технология выращивания льна масличного

В хозяйстве ИП Мокрикова В.И. лен выращивают по озимой пшенице. Летом по мере отрастания сорно-полевой растительности после уборки пшеницы поля опрыскивают баковой смесью гербицидов: глифосаты (калийная соль) 1,5 л/га + производные 2,4 ДА 0,2л/га, норма расхода рабочего раствора 60л/га. Осенью по мере прорастания падалицы пшеницы и появления сорно-полевой растительности поля опрыскивают баковой смесью гербицидов: глифосаты (калийная соль) 1,5 л/га + производные 2,4 ДА 0,25л/га, норма расхода рабочего раствора 60 л/га.

Весной за 2–3 дня до посева льна производится обработка баковой смесью гербицидов: глифосаты (калийная соль) 1,5 л/га + производные 2,4 ДА 0,25 л/га, норма расхода рабочего раствора 60 л/га.

Посев лена производится рано весной, сразу после посева ярового рапса. До посева семена льна протравливаются фунгицидными и инсектицидными протравителями с добавлением микроудобрений и стимуляторов роста. Посев производится агрегатом с анкерными рабочими органами: трактор CASE MAGNUM 315 + посевной комплекс Amazone DMC Primera (междурядье 25 см). Норма высева семян составляет 6,0–8,0 млн всх./га в зависимости от сорта. Глубина заделки семян 3–4 см. Одновременно с посевом вносятся два вида удобрений: ЖКУ (11:37) 100 л/га + КАС-32 100л/га. В фазу «елочки» (высота

растений 5–10 см, 5–6 пар листьев у льна) посевы обрабатывают гербицидами против двудольных сорняков с добавлением инсектицидов. Для борьбы со злаковыми сорняками применяются граминициды, как правило, вне зависимости от фазы развития льна. При появлении первых цветков на растениях льна посеы, вне зависимости от того, имеются или нет в посевах вредные объекты, обрабатывают баковой смесью инсектицидов, биологических фунгицидов, стимуляторов роста и микроудобрений. При образовании первых плодов на растениях производится обработка посевов по вышеописанной схеме. Норма расхода рабочей жидкости 100 л/га.

Посевы льна масличного убирают отдельным способом. К скашиванию приступают при созревании в массиве 50–75% коробочек. К подбору и обмо- лоту валков приступают, когда они просохнут и влажность семян снизится до 12%. Уборку льна осуществляют комбайнами с барабанным типом МСУ. Вы- грузка комбайнов осуществляется только на краю поля.

Технология выращивания кукурузы на зерно

В хозяйстве ИП Мокрикова В.И. кукурузу на зерно возделывают по ози- мому ячменю. Летом по мере отрастания сорно-полевой растительности после уборки ячменя поля опрыскивают баковой смесью гербицидов: глифосаты (ка- лийная соль) 1,5 л/га + производные 2,4 ДА 0,2 л/га, норма расхода рабочего раствора 60 л/га. Осенью по мере прорастания падалицы ячменя и появления сорно-полевой растительности поля опрыскивают баковой смесью гербици- дов: глифосаты (калийная соль) 1,0 л/га + производные 2,4 ДА 0,15 л/га, норма расхода рабочего раствора 60 л/га. Весной при появлении сорняков поля опрыскивают баковой смесью гербицидов: глифосаты (калийная соль) – 1,5 л/га + производные 2,4 ДА – 0,2 л/га, норма расхода рабочего раствора 60 л/га.

Посев кукурузы производится сразу после завершения сева ранних яро- вых. Посев производится агрегатами с анкерными рабочими органами: 1) трак- тор BUEHLER VERSATILE 2375 + посевной комплекс Amazone DMC Primera (междурядье 75 см); 2) трактор CASE MAGNUM 315 + посевной комплекс Amazone DMC Primera (междурядье 75 см). Норма высева семян составляет 60

тысяч всх /га. Глубина посева 6–7 см. Одновременно с посевом вносятся два вида удобрений: ЖКУ (11:37) 100 л/га + КАС-32 150 л/га. Сразу после посева или до всходов культуры поля опрыскивают баковой смесью гербицидов: глифосаты (калийная соль) – 2,0 л/га + производные 2,4 ДА 0,25 л/га, норма расхода рабочего раствора 60 л/га.

При образовании у растений кукурузы 3–5 листьев посевы опрыскивают баковой смесью микроудобрений (Zn), стимуляторов роста и инсектицидов, расход рабочей жидкостью 100 л/га. Через 3–5 дней проводят обработку посевов кукурузы против сорно-полевой растительности, расход рабочей жидкости, 150 л/га. При образовании у растений кукурузы 6–8 листьев посевы опрыскивают баковой смесью микроудобрений (Zn), стимуляторов роста и инсектицидов, расход рабочей жидкостью 100 л/га.

К уборке кукурузы приступают, когда влажность зерна составляет 20–18%. Зерно после комбайна доводится до стандартной влажности на стационарной сушилке. Выгрузка комбайнов осуществляется только на краю поля.

Технология выращивания подсолнечника

В хозяйстве ИП Мокрикова В.И. подсолнечник возделывают по озимой пшенице. Летом по мере отрастания сорно-полевой растительности после уборки пшеницы поля опрыскивают баковой смесью гербицидов: глифосаты (калийная соль) 1,5 л/га + производные 2,4 ДА 0,25 л/га, норма расхода рабочего раствора 60 л/га. Осенью по мере прорастания падалицы пшеницы и появления сорно-полевой растительности поля опрыскивают баковой смесью гербицидов: глифосаты (калийная соль) 1,5 л/га + производные 2,4 ДА 0,25 л/га, норма расхода рабочего раствора 60 л/га. Весной при появлении сорняков поля опрыскивают баковой смесью гербицидов: глифосаты (калийная соль) 1,5 л/га + производные 2,4 ДА 0,25 л/га, норма расхода рабочего раствора 60 л/га.

Посев подсолнечника производится после 9 мая. В хозяйстве подсолнечник выращивают по трем технологиям: классическая, Express Sun, Clearfield и Clearfield +. Посев производится агрегатами с анкерными рабочими органами:

1) трактор BUEHLER VERSATILE 2375 + посевной комплекс Amazone DMC Primera (междурядье 56,25 см); 2) трактор CASE MAGNUM 315 + посевной комплекс Amazone DMC Primera (междурядье 50 см). Норма высева семян составляет 55–65 тысяч всх./га. Глубина посева 6–7 см. Одновременно с посевом вносятся два вида удобрений: ЖКУ (11:37) 100 л/га + КАС-32 100 л/га. Сразу после посева или до всходов культуры производится обработка баковой смесью гербицидов: глифосаты (калийная соль) 1,5 л/га + производные 2,4 ДА 0,25 л/га + почвенные гербициды, норма расхода рабочего раствора 150 л/га.

На полях, где подсолнечник возделывается по технологии Express Sun, когда образовывается 2–4 пары настоящих листьев, у подсолнечника проводят обработку гербицидами на основе трибенурон-метила против двудольных сорняков. Через 7–10 дней проводят обработку посевов подсолнечника против злаковых сорняков. В промежутке между обработками гербицидами проводят подкормку растений подсолнечника микроудобрениями и стимуляторами роста, которые содержат бор. Когда растения подсолнечника образовали корзинку, но еще не зацвели, проводится обработка посевов баковой смесью фунгицидов и инсектицидов (против хлопковой совки), расход рабочей жидкости 30 л/га.

На полях, где подсолнечник возделывается по технологии Clearfield и Clearfield +, опрыскивание посевов производится в ранние фазы роста сорняков (2–4 листьев) и 4–5 настоящих листьев у культуры гербицидом Евро-Лайтинг, ВРК против двудольных и однодольных сорняков. Через 7–10 дней после обработки гербицидами проводят подкормку растений подсолнечника микроудобрениями и стимуляторами роста, которые содержат бор. Когда растения подсолнечника образовали корзинку, но еще не зацвели, проводится обработка посевов баковой смесью фунгицидов и инсектицидов (против хлопковой совки), расход рабочей жидкости 30 л/га.

К уборке подсолнечника приступают, когда влажность подсолнечника составляет 12–10%. Выгрузка комбайнов осуществляется только на краю поля.

Технология выращивания гречихи

В хозяйстве ИП Мокрикова В.И. гречиху выращивают по озимому ячменю. Летом по мере отрастания сорно-полевой растительности после уборки ячменя поля опрыскивают баковой смесью гербицидов: глифосаты (калийная соль) 1,5 л/га + производные 2,4 ДА 0,25 л/га, норма расхода рабочего раствора 60 л/га. Осенью по мере прорастания падалицы ячменя и появления сорно-полевой растительности поля опрыскивают баковой смесью гербицидов: глифосаты (калийная соль) 1,5 л/га + производные 2,4 ДА 0,25 л/га, норма расхода рабочего раствора 60 л/га. По мере отрастания сорняков весной поля опрыскивают баковой смесью гербицидов: глифосаты (калийная соль) 1,5 л/га + производные 2,4 ДА 0,25 л/га, норма расхода рабочего раствора 60 л/га. До посева таких обработок может быть две-три.

Посев гречихи производится в конце мая – начале июня после окончания сева подсолнечника. Посев производится агрегатами с анкерными рабочими органами: 1) трактор BUEHLER VERSATILE 2375 + посевной комплекс Amazone DMC Primera (междурядье 18,75 см); 2) трактор CASE MAGNUM 315 + посевной комплекс Amazone DMC Primera (междурядье 25 см). Норма высева семян составляет 70–80 кг/га. Глубина заделки семян 4–5 см. В течение вегетации гречихи при появлении злаковых сорняков поля обрабатывают граминицидами с добавлением стимуляторов роста и инсектицидов, норма расхода рабочего раствора 100 л/га.

В хозяйстве применяют двухфазную уборку. Приступают к скашиванию в валки, когда побурело 75–80% плодов на растениях. Подбор и обмолот валков начинают при влажности 16–14%. Выгрузка комбайнов осуществляется только на краю поля.

ЛИТЕРАТУРА

1. Абрамов Н.В. Совершенствование основных элементов систем земледелия в лесостепи Западной Сибири // Автореф. д-ра с.-х. наук. Омск. 1992. 32 с.
2. Агроэкологические основы воспроизводства плодородия почв: учебное пособие. Ижевск: Удмуртия, 1999. 176 с.
3. Азаренко (Мясникова) М.А., Казеев К.Ш., Ермолаева О.Ю., Колесников С.И. Изменение растительного покрова и биологических свойств черноземов в постагрогенный период // Почвоведение. 2020. № 11. С. 1412-1422.
4. Акименко Ю.В., Казеев К.Ш., Колесников С.И. Влияние антибиотиков (бензилпенициллина, фармазина, нистатина) на биологические свойства чернозема обыкновенного // Почвоведение 2014. № 9. С. 1095–1101.
5. Акименко Ю.В., Казеев К.Ш., Колесников С.И. Влияние загрязнения антибиотиками на биологические свойства чернозема обыкновенного. - Ростов-на-Дону: Издательство Южного федерального университета, 2015. - 154 с.
6. Акименко Ю.В., Казеев К.Ш., Колесников С.И. Сопоставление результатов лабораторного и полевого моделирования загрязнения чернозема антибиотиками // Агрохимия. 2016, № 12, С. 69–76.
7. Акименко Ю.В., Казеев К.Ш., Колесников С.И. Экологические последствия загрязнения чернозема антибиотиками. Ростов-на-Дону: Издательство Южного федерального университета, 2013. 103 с.
8. Акименко Ю.В., Мокриков Г.В., Казеев К.Ш., Колесников С.И. Влияние технологии прямого посева на микробиологические свойства черноземов. – Ростов-на-Дону: Издательство Южного федерального университета, 2016. 96 с.
9. Акименко Ю.В., Попова Е.А., Фастова А.С., Казеев К.Ш., Колесников С.И. Оценка экологического состояния чернозема обыкновенного при загрязнении антибиотиками тетрациклиновой группы // АгроЭкоИнфо. 2022. № 4 (52).
10. Акименко Ю.В., Чувараева О.В., Колесников С.И., Казеев К.Ш., Минникова Т.В. Оценка экологического состояния основных почв юга России в

- условиях загрязнения антибиотиками. – Ростов-на-Дону: Издательство Южного федерального университета, 2019. – 114 с.
11. Акулов П.Г. Методические подходы к воспроизводству плодородия и продуктивности черноземов ЦЧЗ // Совершенствование методологии агрохимических исследований. – М.: Изд-во МГУ, 1997. - С.16-26.
 12. Алабушев А.В., Янковский Г.Н., Овсянникова Г.В., Кравченко М.Е., Логвинов А.Я., Сухарев А.А. Основная обработка почвы и продуктивность озимой пшеницы // Земледелие. – 2009. – №4. – С. 23-24.
 13. Алексеев В.В., Максимов И.И., Васильев С.А. Получение функциональной зависимости липкости почв от основных гидрофизических почвенных параметров // Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2014. №3 (40).
 14. Андреев В.Л., Демшин С.Л., Нуризянов Р.Р. Ресурсосбережение при основной обработке почвы // Земледелие. 2008. № 1. С. 22-23.
 15. Антонова О.Д., Казеев К.Ш., Козунь Ю.С., Швец Д.С. Суточная динамика интенсивности выделения углекислого газа почвой базы практики ЮФУ «Лиманчик» / Актуальные проблемы экологии и природопользования. Ростов-на-Дону: Изд-во ЮФУ, 2014. С.11-13.
 16. Баздырев Г.И., Лошаков В.Г., Пупонин А.И. и др. Земледелие. Учебник для вузов. М.: Издательство Колос, 2000. 551 с.
 17. Байбеков Р.Ф. Природоподобные технологии основа стабильного развития земледелия // Земледелие. 2018. №2. С.5-8.
 18. Балаш А.П. Степи Донского Приазовья // Ботанический журнал. 1961. Т. 46, №8. С. 1098-1115.
 19. Батова В.М. Агроклиматические ресурсы Северного Кавказа. Л.: Гидрометеиздат, 1966. 432 с.
 20. Батова В.М. Климат // Природные условия и естественные ресурсы. Ростов н/Д: Изд-во Рост. ун-та, 1986. С. 79-117.
 21. Безкоровайная И.Н. Биологическая активность почв после несплошных рубок в сосняках Красноярской лесостепи // Хвойные бореальные зоны. 2010. XXVII, № 3. С. 238-242.

22. Безуглова О.С. Гумусное состояние почв юга России. -Изд-во СКНЦ ВШ, 2001 – 228 с.
23. Безуглова О.С., Ильинская И.Н., Закруткин В.Е., Назаренко О.Г., Литвинов Ю.А., Гаевая Э.А., Меженков А.А., Жумбей А.И. Динамика деградации земель в Ростовской области // Известия Российской академии наук. Серия географическая. – 2022. – Т. 86, № 1. – С. 41-54.
24. Безуглова О.С., Назаренко О.Г., Ильинская И.Н. Динамика деградации земель в Ростовской области // Аридные экосистемы. – 2020. – Т. 26, № 2(83). – С. 10-15.
25. Безуглова О.С., Полиенко Е.А., Горовцов А.В. Гуминовые препараты как стимуляторы роста растений и микроорганизмов (обзор) //Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2016. № 4 (60). С. 11-14.
26. Безуглова О.С., Хырхырова М.М. Почвы Ростовской области. Ростов-на-Дону: Изд-во Южного федерального ун-та, 2008. 350 с.
- 27.Белобров В.П., Шаповалов Д.А., Дридигер В.К., Юдин С.А., Ермолаев Н.Р. Почвозащитная роль прямого посева в земледелии // Международный сельскохозяйственный журнал. 2023. №3 (393). С. 255-261.
28. Белобров В.П., Юдин С.А., Ермолаев Н.Р., Айдиев А.Я. Структура почвенного покрова и трансформация морфометрических параметров типичных черноземов в технологии прямого посева // Бюллетень Почвенного института имени В.В. Докучаева. 2023. Вып. 115. С. 5-31.
- 29.Белобров В.П., Юдин С.А., Холодов В.А., Ярославцева Н.В., Ермолаев Н.Р., Дридигер В.К., Гаджиумаров Р.Г. Восстановление структуры почв при прямом посеве в засушливой зоне Ставрополя // Вестник российской сельскохозяйственной науки. 2020. № 6. С. 27-31.
30. Берестецкий О.А., Возняковская Ю.М., Доросинский Ю.М. Биологические основы плодородия почв. М.: Колос, 1984. 287 с.
31. Блажний Е.С. Почвы равнинной и предгорно-степной части Краснодарского края. Краснодар. Кн. изд-во, 1971. 276 с.
32. Блажний Е.С., Гаврилюк Ф.Я., Вальков В.Ф., Редькин Н.Е. Черноземы

- Западного Предкавказья // Черноземы СССР (Предкавказье и Кавказ). М. 1985. С. 3- 50.
33. Богомазов С.В., Ткачук О.А., Павликова Е.В., Кочмин А.Г. Роль агротехнических приемов в технологии возделывания озимой пшеницы в условиях черноземных почв Среднего Поволжья. – Пенза: Нива Поволжья, 2014. №2(31). С.2-8.
34. Бугачук М.А. Влияние длительности использования различных приемов основной обработки дерново-подзолистой среднесуглинистой почвы в севообороте на её плодородие и урожайность овса, люпина и озимой пшеницы: автореф. дис. ... канд. с.-х. наук. М., 2001. 21 с.
35. Буренок В.П., Язева Л.А., Кукшенева Т.П. Прямой посев при нулевой обработке // Достижения науки и техники АПК. 2009. №9. С. 25-27.
36. Вадюнина А.Ф., Корчагина З.А. Методы исследования физических свойств почвы.– М.: Агропромиздат, 1986. – 416с.
37. Валько В.П., Щур А.В. Особенности биотехнологического земледелия – Минск : БГАТУ, 2011. – 196 с.
38. Вальков В.Ф. Генезис почв Северного Кавказа. Ростов н/Д. Изд-во РГУ. 1977. 159 с.
39. Вальков В.Ф. Системно-биологический подход при изучении почв // Научная мысль Кавказа. 1995. №4. с. 6-10.
40. Вальков В.Ф., Денисова Т.В., Казеев К.Ш., Колесников С.И., Кузнецов Р.В. Плодородие почв и сельскохозяйственные растения: экологические аспекты. Ростов н/Д: Изд-во Южного федерального университета, 2008а. 416 с.
41. Вальков В.Ф., Елисеева Н.В., Имгрунт И.И., Казеев К.Ш., Колесников С.И. Справочник по оценке почв. Майкоп: ГУРИПП. «Адыгея», 2004. 236 с.
42. Вальков В.Ф., Казадаев А.А., Гайдамакина Л.Ф., Перемужева Л.А., Пелипенко О.Ф., Стаев А.А., Нечепуренко В.Э. Биологическая характеристика чернозема обыкновенного // Почвоведение. 1989, №7. С. 67-74.

43. Вальков В.Ф., Казеев К.Ш., Колесников С.И. Кутровский М.А. Почвообразование на известняках и мергелях. Ростов н/Д: ЗАО «Ростиздат», 2007. 198 с.
44. Вальков В.Ф., Казеев К.Ш., Колесников С.И. Определяет ли гумус плодородие черноземов // Научная мысль Кавказа. Изд-во СКНЦ ВШ. 2001. № 2. С. 52–59.
45. Вальков В.Ф., Казеев К.Ш., Колесников С.И. Почвы Ростовской области. Ростов-на-Дону: Издательство Южного федерального университета. 2012. 492 с.
46. Вальков В.Ф., Казеев К.Ш., Колесников С.И. Почвы Юга России. Ростов-на-Дону: Изд-во «Эверест», 2008б. 276 с.
47. Вальков В.Ф., Казеев К.Ш., Колесников С.И. Почвы юга России: классификация и диагностика. Ростов н/Д: Изд-во СКНЦ ВШ, 2002. – 168 с.
48. Вальков В.Ф., Колесников С.И., Казеев К.Ш., Тациев С.С. Влияние загрязнения тяжелыми металлами на микроскопические грибы и *Azotobacter* чернозема обыкновенного // Экология. 1997. № 5. С. 388-390.
49. Вальков В.Ф., Штомпель Ю.А., Трубилин И.Т., Котляров Н.С. Почвы Краснодарского края, их использование и охрана. Ростов н/Д, Изд-во СКНЦ. 1996. 191 с.
50. Вилкова В.В., Казеев К.Ш. Привизенцева Д.А., Нижельский М.С., Колесников С.И. Изменение активности ферментов постпирогенных почв заповедника «Утриш» (Россия) на ранних стадиях сукцессии // Nature Conservation Research. Заповедная наука. 2023а. 8(3). 10-23.
51. Вилкова В.В., Казеев К.Ш. Привизенцева Д.А., Нижельский М.С., Колесников С.И. Изменение активности ферментов постпирогенных почв заповедника «Утриш» (Россия) на ранних стадиях сукцессии // Nature Conservation Research. Заповедная наука. 2023б. 8(3). 10-23.
52. Вилкова В.В., Казеев К.Ш., Нижельский М.С., Привизенцева Д.А., Федоренко А.Н., Колесников С.И., Шхапацев А.К. Влияние пожаров на ферментативную активность коричневых почв и буроземов Западного Кавказа // Почвоведение. 2024. № 2. С. 275-285.

53. Вилкова В.В., Казеев К.Ш., Шхапацев А.К., Колесников С.И. Реакция ферментативной активности почв ксерофитных лесов черноморского побережья Кавказа на пирогенное воздействие // Аридные экосистемы, 2022, Т. 28, № 1 (90). С. 107-114.
54. Вилкова В.В., Нижельский М.С., Казеев К.Ш. Оценка влияния факторов пирогенного воздействия на биологические свойства почв. Ростов-на-Дону. Издательство Южного федерального университета, 2023в. – 152 с.
55. Вильный Р.П. Влияние минимизации обработки чернозема типичного на его биологическое состояние // Почвоведение и агрохимия. 2015. №1(54). С. 104-114.
56. Владимирская А.А. На пути к ресурсосбережению и гектароотдачи // Аграрный консультант. – 2012. – № 1. – С. 33-38.
57. Власенко А.Н. Ресурсосберегающие и почвозащитные технологии в земледелии Сибири // Сибирский вестник сельскохозяйственной науки. 1999. № 3-4. С. 17-20.
58. Власенко А.Н. Системы обработки черноземов лесостепи Западной Сибири при различных уровнях интенсификации земледелия. Автореф. д-ра с.-х. наук. - Новосибирск. - 1995. - 40 с.
59. Власенко А.Н., Власенко Н.Г. Возможности экологизации технологий в земледелии Сибири // Достижения науки и техники АПК. 2015. Т. 29. № 9. С. 21-24.
60. Власенко А.Н., Власенко Н.Г. Система No-Till на черноземных почвах северной лесостепи Западной Сибири // Плодородие. 2021. № 3 (120). С. 81-83.
61. Власенко А.Н., Власенко Н.Г., Коротких Н.А. Проблемы и перспективы разработки и освоения технологии No-Till на черноземах лесостепи западной Сибири // Достижения науки и техники АПК. 2013. №9. С. 16-19.
62. Власенко А.Н., Власенко Н.Г., Коротких Н.А. Разработка технологии no-till на черноземе выщелоченном лесостепи западной Сибири // Земледелие. 2011. № 5. С. 20-22.

63. Власенко А.Н., Кудашкин П.И., Власенко Н.Г. Влияние ресурсосберегающих технологий на содержание гумуса в черноземе выщелоченном северной лесостепи Западной Сибири // Земледелие. 2020. № 5. С. 3-6.
64. Власенко Н.Г., Теплякова О.И., Коротких Н.А. Интенсивность разложения целлюлозы под влиянием технологии возделывания и предшественника // Плодородие №4. 2015. С. 1-4.
65. Воробьева Л.А. Теория и практика химического анализа почв. М: ГЕОС, 2006. - 400 с.
66. Воронцов В. Почвозащитные энергосберегающие технологии основной обработки черноземных почв в адаптивно-ландшафтных системах земледелия северо-восточной части ЦЧЗ // Главный агроном. – 2012. – №10. – С. 7-10.
67. Габбасова И.М, Сулейманов Р.Р., Хабиров И.К., Либельт П., Комиссаров М.А., Гималетдинова Г.А., Хаматшин А.М. Влияние способов обработки почвы на свойства слабоэродированного чернозема выщелоченного // Экология. – 2013. – Т. 15, № 3. С. 1241 – 1245.
68. Гаврилюк Ф.Я. Черноземы Западного Предкавказья. Харьков, 1955. 146 с.
69. Галстян А.Ш. Унификация методов исследования активности ферментов почв // Почвоведение. 1978. № 2 С. 107-114.
70. Галстян А.Ш. Ферментативная активность почв Армении. Ереван: Ай-астан, 1974. 275 с.
71. Гармашов В.М., Корнилов И.М., Нужная Н.А. и др. Способы основной обработки почвы под пшеницу озимую после непаровых предшественников // Аграрная наука. 2017. № 11-12. С. 8–9.
72. Гедгафова Ф.В., Горобцова О.Н., Улигова Т.С., Цепкова Н.Л., Темботов Р.Х., Хакунова Е.М., Даова К.Х. Оценка изменения биологической активности горных лугово-степных почв пастбищ разных стадий дигрессии Центрального Кавказа // Почвоведение. 2023. № 6. С. 787-798.
73. Гедгафова Ф.В., Улигова Т.С., Горобцова О.Н., Темботов Р.Х. Биологическая активность черноземных почв Центрального Кавказа (в пределах

- терского варианта поясности Кабардино-Балкарии) // Почвоведение. 2015. № 12. С. 1474-1482.
74. Гилязова С.М., Колоскова А.В. Физические свойства светло-серых лесных почв и содержание в них низко- и высокополимерных коллоидов // Вопросы изучения почв, повышения их плодородия и эффективности применения удобрений. Куйбышев, 1972. С.87-88.
75. Гончарова Л.Ю., Безуглова О.С., Вальков В.Ф. Сезонная динамика содержания гумуса и ферментативной активности чернозёма обыкновенного карбонатного // Почвоведение. 1990. № 10. С. 86-93.
76. Горбов С. Н., Терехов И. В., Безуглова О. С., Тагивердиев С. С., Скрипников П. Н., Носов Г. Н., Васенев В. И. Многолетняя динамика эмиссии углерода в конструкторах под газонами в условиях степной зоны // Почвоведение. – 2025. – № 5. – С. 728-738.
77. Горбов С.Н., Васенев В.И., Минаева Е.Н., Тагивердиев С.С., Скрипников П.Н., Безуглова О.С. Краткосрочная динамика эмиссии CO₂ и содержания углерода в городских почвенных конструкциях степной зоны // Почвоведение. – 2023. – № 9. – С. 1103–1115.
78. Гордеев М.М., Левкина Л.М. О влиянии минеральных удобрений на альгофлору верхового болота//Биогеохимические аспекты криптоиндикации. Тез. докл. Талинн, 1982. С. 23-24.
79. Гордеева Т.Х. Разнообразие бактериальных комплексов в дерново-подзолистой почве агроценоза / Материалы Всерос. науч. конф. «Принципы и способы сохранения биоразнообразия». Йошкар-Ола, 2004. С. 80–81.
80. Горобцова О.Н., Гедгафова Ф.В., Улигова Т.С., Темботов Р.Х. Сравнительная оценка биологических свойств почв культурных и естественных ценозов Центрального Кавказа (на примере территорий терского варианта поясности в пределах Кабардино-Балкарии) // Почвоведение. 2016. № 1. С.100-106.
81. Горобцова О.Н., Хежева Ф.В., Улигова Т.С., Темботов Р.Х. Эколого-географические закономерности изменения биологической активности автоморфных почв равнинных и предгорных территорий северного макросклона

- Центрального Кавказа (в пределах Кабардино-Балкарии) // Почвоведение. 2015. № 3. С.347-359.
82. Гринченко А.М., Муха В.Д., Чешсек Г.Я. Трансформация гумуса при сельскохозяйственном использовании почв // Вестник с. - х. науки. 1979. №1. С. 36-40.
83. Гришина Л.А., Орлов Д.С. Система показателей гумусного состояния почв // Проблемы почвоведения. М., 1978. С. 42-47.
84. Даденко Е. В., Горбов С. Н., Тагивердиев С. С., Скрипников П. Н. Ферментативная активность конструкторов в условиях степной зоны // Почвоведение. – 2025. – № 5. – С. 663-673.
85. Даденко Е.В., Денисова Т.В., Казеев К.Ш., Колесников С.И. Оценка применимости показателей ферментативной активности в биодиагностике и мониторинге почв // Поволжский экологический журнал. 2013. № 4. С. 385-393.
86. Даденко Е.В., Казеев К.Ш., Колесников С.И. Методы определения ферментативной активности почв. Ростов-на-Дону: Издательство Южного федерального университета, 2021. 174 с.
87. Даденко Е.В., Казеев К.Ш., Колесников С.И., Казеев К.Ш., Вальков В.Ф. Изменение ферментативной активности почвенных образцов при их хранении // Почвоведение. 2009. № 12. С. 1481-1486.
88. Даденко Е.В., Казеев К.Ш., Колесников С.И., Мясникова М.А. Влияние распашки на биохимические свойства черноземов Юга России. – Ростов-на-Дону: Издательство Южного федерального университета, 2015. – 116 с.
89. Даденко Е.В., Мясникова М.А., Казеев К.Ш., Колесников С.И., Вальков В.Ф. Биологическая активность чернозема обыкновенного при длительном использовании под пашню // Почвоведение. 2014. № 6. С. 724 – 734.
90. Даденко Е.В., Мясникова М.А., Чернокалова Е.В., Казеев К.Ш., Колесников С.И. Сезонная динамика ферментативной активности чернозема обыкновенного // Современные проблемы науки и образования, № 6. 2013. С. 743.

91. Дементьев Ю.В., Шерер Д.В. Некоторые характерные особенности применения технологии No-Till // Вестник Кемеровского государственного сельскохозяйственного института. 2014. № 5. С. 26-33.
92. Денисова Т.В., Казеев К.Ш. Влияние переменного и постоянного магнитных полей на биоту и биологическую активность чернозема обыкновенного // Радиационная биология. Радиоэкология. 2007. Т. 47. №. 3. С. 345-348.
93. Денисова Т.В., Казеев К.Ш. Восстановление ферментативной активности чернозема после воздействия γ -излучения // Радиационная биология. Радиоэкология. 2005. Т. 45. № 6. С. 1-5.
94. Денисова Т.В., Казеев К.Ш. Чувствительность основных групп почвенных микроорганизмов чернозема обыкновенного к γ -излучению // Экология. 2008. № 2. С. 110-115.
95. Денисова Т.В., Казеев К.Ш., Колесников С.И., Вальков В.Ф. Влияние гамма-излучения на биологические свойства почвы (на примере чернозема обыкновенного) // Почвоведение. 2005. № 7. С. 877-881.
96. Денисова Т.В., Казеев К.Ш., Колесников С.И., Вальков В.Ф. Интегральная оценка электромагнитных воздействий различной природы на биологические свойства почв юга России // Почвоведение. 2011. № 11. С. 1386-1390.
97. Джогман Р.Г.Г., Тер Браак С.Дж.Ф., Ван Торгерен О.Ф.Р. Анализ данных в экологии сообществ и ландшафтов. М.: РАСХН, 1999. 306 с.
98. Дмитриев Е.А. Математическая статистика в почвоведении. М.: Изд-во МГУ, 1995. 320 с.
99. Долгов С.И., Модина С.А. Физические свойства дерново-подзолистых почв разной степени гумусированности // Вестник с.-х. науки. -1979. - №1. - С.27-33.
100. Долотин И.И. Сохранение влаги – залог урожая // Зерновые культуры. 2001. №1. С. 9-10.
101. Дорожко Г.Р., Пенчуков В.М., Власова О.И., Бородин Д.Ю. Прямой посев полевых культур – одно из направлений биологизированного земледелия // Вестник АПК Ставрополя. – 2011. – № 2(2). – С. 7-11

102. Доспехов Б.А., Пупонин А.И., Бузмаков В.В. Основные проблемы обработки почв в Нечерноземной зоне // Вопросы обработки почв. - М.: Колос. - 1975. - С. 5-13.
103. Дридигер В. К. Методические подходы к изучению систем земледелия без обработки почвы // Земледелие. 2014. № 7. С. 24–27.
104. Дридигер В. К., Белобров В.П., Антонов С.А., Юдин С.А., Гаджиумаров Р.Г., Лиходиевская С.А., Ермолаев Н.Р. Защита почв от водной эрозии и дефляции в технологии No-Till // Земледелие. 2020. Т. 6. С. 11–17.
105. Дубовик Д.В., Дубовик Е.В., Морозов А.Н., Шумаков А.В. Влияние способов основной обработки на агрофизические свойства почвы, урожайность и качество сои / // Земледелие. – 2022. – № 2. – С. 43-48.
106. Дубовик Е.В. Влияние антропогенных факторов и местоположения в рельефе на агрофизические показатели чернозема типичного в агроландшафте и особенности структурообразовательной функции органического вещества почвы: дис. ... канд. с.-х. наук. Курск, 2001. 207 с.
107. Евстегнеева Н.А., Колесников С.И., Тимошенко А.Н., Минникова Т.В., Цепина Н.И., Казеев К.Ш. Оценка экотоксичности таллия по биологическим свойствам почв // Почвоведение. 2024. № 3. С. 470-481.
108. Ермолаев Н.Р. Оценка прямого посева и параметров почвенного плодородия полевыми и дистанционными методами в засушливой зоне Ставропольского края. Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидат биологических наук. М. 2023. 24 с.
109. Ермолаев Н.Р., Юдин С.А., Белобров В.П., Дридигер В.К., Гаджиумаров Р.Г. Количественная оценка растительных остатков в прямом посеве по данным дистанционного зондирования и полевого обследования почвенного покрова // Бюллетень Почвенного института имени В.В. Докучаева. 2022. Вып. 112. С. 134-159.
110. Есаулко А.Н., Коростылев С.А., Сигида М.С. и др. Динамика показателей почвенного плодородия при возделывании сельскохозяйственных культур по технологии No-Till в условиях Ставропольского края // Агрохимический вестник. – 2018. – №4. – С. 58–61.

111. Ефремова Е.Н. Агрофизические показатели почвы в зависимости от различных обработок почвы // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование. Волгоград. 2013. № 2 (30). С. 67–72.
112. Жуков А.И., Попов П.Д. Регулирование баланса гумуса в почве. - М.: Росагропромиздат, 1988. - 39 с.
113. Забродкин А.А. Эффективность минимальной обработки почвы в звене севооборота как фактора биологической интенсификации земледелия. Автореф. дис. канд с.-х. наук. Орел, 2013. – 18 с.
114. Завалин А.А., Дридигер В.К., Белобров В.П. и др. Азот в черноземах при традиционной технологии обработки и прямом посеве (обзор) // Почвоведение. – 2018. – №12. – С. 1506–1516.
115. Заварзин Г.А. Лекции по природоведческой микробиологии. М.: Наука, 2004. 348с.
116. Загоруйко А.В., Амини Х., Осипов А.В. Агрофизические свойства чернозема выщелоченного в зависимости от интенсификации агротехнических приемов в технологии No-tillage и их влияние на урожайность озимой пшеницы // Труды Кубанского ГАУ. 2022. № 102. С. 127–138.
117. Захарченко А.Ф. Разложение целлюлозы в зональных почвах Таджикистана // Почвоведение. 1961. № 2. С. 54-62.
118. Звягинцев Д.Г. Биологическая активность почв и шкалы для оценки некоторых ее показателей // Почвоведение. 1978. № 6. С. 48-54.
119. Звягинцев Д.Г. Почва и микроорганизмы. М.: Изд-во МГУ, 1987. 256 с.
120. Зеленский Н.А., Авдеенко А.П., Шестов И.Н., Мокриков Г.В. Продуктивность сортов подсолнечника в бинарных посевах // Земледелие. 2009. № 8. С. 18-19.
121. Зеленский Н.А., Зеленская Г.М., Мокриков Г.В., Река Ю.В. Выращивание озимой пшеницы по технологии прямого посева в условиях Ростовской области// Современные проблемы науки и образования. 2012. № 6. С.670.

122. Зеленский Н.А., Зеленская Г.М., Мокриков Г.В., Шуркин А.Ю. Плодородие почвы: настоящее и будущее нашего земледелия // Земледелие. 2018. № 5. С. 4–7.
123. Зональные системы земледелия Ростовской области на 2013-2020 гг. Под общ. ред. В.Н. Василенко. Ростов-на-Дону: Донской издательский дом. 2013, ч.1. 240 с.
124. Зубкова Т.А.; Карпачевский Л.О. Матричная организация почв. М.: РУСАКИ, 2001. 296 с.
125. Ильясов М.М., Яппаров А.Х., Дегтярева И.А. Биологическая активность при ресурсосберегающих системах основной обработки выщелоченного чернозема // Плодородие. 2010. №1. С.49-50.
126. Ипатовский район. <https://ru.wikipedia.org/wiki>
127. Иутинская Г.А., Патыка В.П. Современное состояние и перспективы развития почвенной микробиологии в Украине // Бюл. Института с.-х. микробиологии. 2000. № 6. С. 7–14.
128. Кабиров Р.Р., Любина С.В. Способ оценки действия гербицидов на сообщества почвенных водорослей с помощью индикаторных видов//Агрохимия. 1988. № 3. С. 105-121.
129. Казадаев А.А., Булышева Н.И., Кременица А.М., Казеев К.Ш., Колесников С.И., Абрамова Т.И. Некоторые биологические особенности чернозема обыкновенного Нижнего Дона (целинный участок ООПТ «Персиановская степь») // Изв. вузов. Сев.-Кавк. регион. Естеств. науки. Приложение. 2004. №4. С. 91-100.
130. Казаков Г.И., Корчагин В.А. Почвозащитная обработка почвы в Среднем Поволжье // Земледелие. 2009. №1. С. 26-28.
131. Казеев Д.К. Влияние альтернативной агротехнологии No-Till на экологическое состояние Ростовской области / Экология и природопользование. Вып.14. Ростов-на-Дону: Изд-во ЮФУ. 2017. С.53-57.
132. Казеев Д.К. Изменение интенсивности дыхания чернозема в модельном опыте в зависимости от объема почвы // Актуальные вопросы экологии и природопользования. Ростов-на-Дону: Изд-во ЮФУ, 2013. С.34-36.

133. Казеев К.Ш. Изменение биологической активности почв предгорий Северо-Западного Кавказа при антропогенном воздействии. Диссертация на соискание ученой степени канд. биол. наук. Краснодар. 1996. 133 с.
134. Казеев К.Ш., Алехин С.Н., Колесников С.И., Вальков В.Ф. Изменение гумусного состояния почв Предгорий Северо-Западного Кавказа при сельскохозяйственном использовании // Агрохимия. 1999. № 4. С. 18-23.
135. Казеев К.Ш., Вальков В.Ф., Колесников С.И. Атлас почв Юга России. Ростов н/Д: Изд-во «Эверест», 2010. 128 с.
136. Казеев К.Ш., Козин В.К., Колесников С.И., Вальков В.Ф. Биологические особенности почв влажных субтропиков // Почвоведение. 2002. № 12. С. 1474-1478.
137. Казеев К.Ш., Козунь Ю.С., Колесников С.И. Использование интегрального показателя для оценки пространственной дифференциации биологических свойств почв юга России в градиенте аридности климата // Сибирский экологический журнал. 2015. Т. 22. № 1. С. 112-120.
138. Казеев К.Ш., Колесников С.И. Атлас почв Азово-Черноморского бассейна. Ростов-на-Дону: Издательство Южного федерального университета, 2015. – 80 с.
139. Казеев К.Ш., Колесников С.И. Биодиагностика почв: методология и методы исследований. Ростов-на-Дону: Издательство Южного федерального университета. 2012. 260 с.
140. Казеев К.Ш., Колесников С.И., Акименко Ю.В., Даденко Е.В. Методы биодиагностики наземных экосистем. Ростов-на-Дону: Изд-во ЮФУ, 2016. 356 с.
141. Казеев К.Ш., Колесников С.И., Вальков В.Ф. Биологическая диагностика и индикация почв: методология и методы исследований. Ростов н/Д: Изд-во Ростовского университета, 2003. 204 с.
142. Казеев К.Ш., Колесников С.И., Вальков В.Ф. Биология почв Юга России. -Ростов н/Д: Изд-во ЦВВР, 2004. 350 с.

143. Казеев К.Ш., Колесников С.И., Вальков В.Ф. Гумусовое состояние почв предгорий Северо-Западного Кавказа // Почвоведение. 1998. № 7. С. 848-853.
144. Казеев К.Ш., Креница А.М., Колесников С.И., Казадаев А.А., Булышева Н.И., Утянская Н.И., Внукова Н.В., Вальков В.Ф. Биологические свойства почв каштаново-солонцовых комплексов // Почвоведение, 2005, №4. С. 464-474.
145. Казеев К.Ш., Лосева Е.С., Боровикова Л.Г., Колесников С.И. Влияние загрязнения современными пестицидами на биологическую активность чернозема обыкновенного // Агрохимия. 2010. № 11. С. 39-44.
146. Казеев К.Ш., Мокриков Г.В., Акименко Ю.В., Мясникова М.А., Колесников С.И. Экологическая оценка применения технологии No-Till в Ростовской области. – Ростов-на-Дону ; Таганрог : Издательство Южного федерального университета, 2018. – 332 с.
147. Казеев К.Ш., Мокриков Г.В., Федоренко А.Н., Колесников С.И. Экологические аспекты применения нулевой технологии обработки почв. Ростов-на-Дону; Таганрог: Издательство Южного федерального университета, 2022. 144 с.
148. Казеев К.Ш., Одабашян М.Ю., Трушков А.В., Колесников С.И. Оценка влияния разных факторов пирогенного воздействия на биологические свойства чернозема // Почвоведение. 2020. № 11. С. 1372-1382.
149. Казеев К.Ш., Синчин А.Г., Колесников С.И., Вальков В.Ф. Биологические особенности черноземов разных фаций // Известия ВУЗов. Естественные науки. Северо-Кавказский регион. 2002. №1. С. 89-92.
150. Казеев К.Ш., Солдатов В.П., Шхапацев А.К., Шевченко Н.Е., Грабенко Е.А., Ермолаева О.Ю., Колесников С.И. Изменение свойств дерново-карбонатных почв после сплошной рубки в хвойно-широколиственных лесах Северо-Западного Кавказа // Лесоведение, 2021. №4.С. 426–436.
151. Казеев К.Ш., Стрелкова В.И., Тищенко С.А. Влияние переувлажнения на биоту и свойства почв Юга России. Ростов н/Д: Ростиздат, 2006. 143 с.

152. Казеев К.Ш., Тер-Мисакянц Т.А., Кузнецова Ю.С., Поляков А.И., Кутузова И.В., Мазанко М.С., Прудникова М.В., Колесников С.И. Влияние вырубки леса на биологические свойства горных почв Западного Кавказа // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета (Научный журнал КубГАУ). Краснодар: КубГАУ, 2012. №08(82). С. 1059-1069.
153. Казеев К.Ш., Трушков А.В., Одабашян М.Ю., Колесников С.И. Постагрогенное изменение ферментативной активности и содержания органического углерода чернозема в первые 3 года залежного режима // Почвоведение. 2020. № 7. С. 901–910.
154. Казеев К.Ш., Фомин С.Е., Колесников С.И., Вальков В.Ф. Биологические свойства локально переувлажненных почв Ростовской области // Почвоведение. 2004. № 3. С. 361-372.
155. Казеев К.Ш., Черникова М.П., Колесников С.И., Быхалова О.Н. Почвенный покров заповедника «Утриш». Ростов-на-Дону: Изд-во Южного федерального университета, 2015. 104 с.
156. Казеев К.Ш., Колесников С.И., Быхалова О.Н. Влияние рекреационной нагрузки на почвенный покров заповедника «Утриш» // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета (Научный журнал КубГАУ). 2013. № 93 (09). <http://ej.kubagro.ru/2013/09/pdf/82.pdf>.
157. Карамщук З.П. Обработка почвы, микроорганизмы и урожай. Алма-Ата: Кайнар, 1979. 104 с.
158. Карелин Д.В., Горячкин С.В., Кудиков А.В., Лопес де Гереню В.О., Лунин В.Н., Долгих А.В., Люри Д.И. Изменение запасов углерода и эмиссии CO₂ в ходе постагрогенной сукцессии растительности на серых почвах в Европейской части России // Почвоведение. 2017. №5. С. 580-594.
159. Карпец В.В. Эффективность энергосберегающих обработок почвы при возделывании ячменя на черноземах южных Поволжья: автореф. дис. ... канд. с.-х. наук. – Саратов, 2015. – 21 с.
160. Картамышев Н.И. Почвозащитная обработка почвы в Центрально-

- Черноземном районе // Науч. тр. ВНИИЗХ : Всесоюз. науч.-исслед. ин-т зернового хоз-ва, 1982. – С. 116-122.
161. Качинский Н.А. Структура почвы (итоги и перспективы изучения вопроса. – М.: МГУ, 1963. – 100 с.
162. Кираев Р.С., Сираев М.Г. Система обработки почвы в Башкортостане // Ресурсосберегающие технологии обработки почвы в адаптивном земледелии: материалы Всерос. науч.-практ. конф. – М.: РГАУ-МСХА. – 2010. – С. 252-261.
163. Кирюшин В.И. Проблемы минимизации обработки почвы: перспективы и задачи исследований // Земледелие. 2013. № 7. С.3-6.
164. Кирюшин В.И., Лебедева И.Н. Изменение содержания гумуса и азота в почвах черноземной зоны в результате их сельскохозяйственного использования // Особенности формирования и использования почв Сибири и Дальнего Востока. - Новосибирск: Наука. Сиб. отд-е, 1982. - С.180-190.
165. Кислов А.В., Васильев И.В., Васильева А.С. Влияние минимизации обработки на плодородие почвы и урожайность овса в степной зоне Южного Урала // Известия Оренбургского Государственного аграрного университета. 2012. Т. 3. № 35–1. С. 59–62.
166. Кислов А.В., Васильев И.В., Демченко П.В. Экономическая эффективность ресурсосберегающих технологий возделывания гречихи в степной зоне Южного Урала // Известия Оренбургского ГАУ. 2013. № 1. С. 28-30.
167. Классификация и диагностика почв России. Авторы и составители Л.Л. Шишов, В.Д. Тонконогов, И.И. Лебедева, М.И. Герасимова. Смоленск: Ойкумена, 2004. 343 с.
168. Классификация и диагностика почв СССР // Егоров В.В., Иванова Е.Н., Фридланд В.М. М.: Колос, 1977, 225 с.
169. Клименко А.И., Безуглова О.С., Гринько А.В., Ильинская И.Н., Фоменко М.А., Гаевая Э.А., (и др.). Почвы Ростовской области: плодородие, его деградация и восстановление в условиях аридизации климата. Ростов-на-Дону: Полиграф-Сервис, 2024. – 232 с.

170. Коваленко М.В., Касымов С.К., Сабырова А.С. Биологическая активность почвы в зависимости от способов основной обработки // Высокие технологии и инновации в науке. – Санкт-Петербург, 2019. С. 81-84.
171. Ковда В.А., Розанов Б.Г. Почвоведение и почвообразование – М.: Высш. шк., 1988. – Ч.1. – 400 с.
172. Козунь Ю.С., Казеев К.Ш., Колесников С.И., Акименко Ю.В., Мясникова М.А. Изменение биологической активности бурой лесной почвы при сельскохозяйственном использовании // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета (Научный журнал КубГАУ) [Электронный ресурс]. – Краснодар: КубГАУ, 2015. №08(112). – IDA [article ID]: 1121508053. – Режим доступа: <http://ej.kubagro.ru/2015/08/pdf/53.pdf>
173. Колесников С. И., Казеев К. Ш., Вальков В. Ф. Биоэкологические принципы мониторинга и нормирования загрязнения почв. Ростов-на-Дону: Изд-во ЦВВР, 2001. 65 с.
174. Колесников С.И., Казеев К.Ш., Вальков В.Ф. Экологические последствия загрязнения почв тяжелыми металлами. Ростов-на-Дону: Изд-во СКНЦ ВШ, 2000. 232 с.
175. Колесников С.И., Азнаурьян Д.К., Казеев К.Ш., Вальков В.Ф. Устойчивость биологических свойств почв Юга России к нефтяному загрязнению // Экология. 2010. № 5. С. 357-364.
176. Колесников С.И., Евреинова А.В., Казеев К.Ш., Вальков В.Ф. Изменение эколого-биологических свойств чернозема при загрязнении тяжелыми металлами второго класса опасности (Mo, Co, Cr, Ni) // Почвоведение. 2009. №8. С.1007-1013.
177. Колесников С.И., Жаркова М.Г., Самохвалова Л.С., Кутузова И.В., Налета Е.В., Зубков Д.А., Казеев К.Ш. Оценка экотоксичности тяжелых металлов и нефти по биологическим показателям чернозема // Экология. 2014. №3. С.163-173.

178. Колесников С.И., Казеев К.Ш., Вальков В.Ф. Влияние загрязнения тяжелыми металлами на микробную систему чернозема // Почвоведение. 1999. №4. С. 505-511.
179. Колесников С.И., Казеев К.Ш., Вальков В.Ф. Экологическое состояние и функции почв в условиях химического загрязнения. Ростов н/Д: Изд-во Ростиздат, 2006. 385 с.
180. Колесников С.И., Казеев К.Ш., Велигонова Н.В., Патрушева Е.В., Татосян М.Л., Азнаурьян Д.К., Вальков В.Ф. Изменение комплекса почвенных микроорганизмов при загрязнении чернозема обыкновенного нефтью и нефтепродуктами // Агрохимия. 2007. № 12. С. 44-48.
181. Колесников С.И., Казеев К.Ш., Татлок Р.К., Тлехас З.Р., Денисова Т.В., Даденко Е.В. Биодиагностика устойчивости бурых лесных почв Западного Кавказа к загрязнению тяжелыми металлами, нефтью и нефтепродуктами // Сибирский экологический журнал. 2014. № 3. С. 493-500.
182. Колесников С.И., Казеев К.Ш., Татосян М.Л., Вальков В.Ф. Влияние загрязнения нефтью и нефтепродуктами на биологическое состояние чернозема обыкновенного // Почвоведение. 2006. № 5. С. 616-620.
183. Колесников С.И., Пономарева С.В., Казеев К.Ш., Вальков В.Ф. Ранжирование химических элементов по степени их экологической опасности для почвы // Доклады РАСХН. 2010. № 1. С. 27-29.
184. Колесников С.И., Попович А.А., Казеев К.Ш., Вальков В.Ф. Влияние загрязнения фтором, бором, селеном, мышьяком на биологические свойства чернозема обыкновенного // Почвоведение. 2008. № 4. С. 448-453.
185. Колесников С.И., Спивакова Н.А., Везденева Л.С., Кузнецова Ю.С., Казеев К.Ш. Влияния модельного загрязнения нефтью на биологические свойства почв сухих степей и полупустынь юга России // Аридные экосистемы. 2013. Vol. 19. No. 2(55). С. 70-76.
186. Колесников С.И., Спивакова Н.А., Казеев К.Ш. Влияние модельного загрязнения Cr, Cu, Ni, Pb на биологические свойства почв сухих степей и полупустынь юга России // Почвоведение. 2011. № 9. С. 1094–1101.

187. Колесников С.И., Татосян М.Л., Азнаурьян Д.К. Изменение ферментативной активности чернозема обыкновенного при загрязнении нефтью и нефтепродуктами в условиях модельного эксперимента // Доклады РАСХН. 2007. № 5. С. 32-34.
188. Колесников С.И., Ярославцев М.В., Спивакова Н.А., Казеев К.Ш. Сравнительная оценка устойчивости биологических свойств разных подтипов черноземов юга России к загрязнению Cr, Cu, Ni, Pb (в модельном эксперименте) // Почвоведение. 2013. № 2. С. 195–200.
189. Комиссаров М.А., Клик А. Влияние нулевой, минимальной и классической обработок на эрозию и свойства почв в Нижней Австрии // Почвоведение. 2020. №1. С.473-482.
190. Коржов С.И., Трофимова Т.А., Черников А.С. Изменение физических свойств чернозема выщелоченного при сельскохозяйственном использовании // Вестник Российской академии сельскохозяйственных наук. – 2009. – № 3. – С. 34-36.
191. Кормилицина О. В., Бондаренко В. В. Мониторинг состояния почвенно-грунтовых условий озелененных территорий // Вестник Московского государственного университета леса – Лесной вестник. 2016. С. 86– 89.
192. Косолап М.П, Кротінов О.П. Система землеробства No-till: навч. посібник. К.: Логос, 2011. 352с.
193. Костенко И.В., Федоренко А.Н., Казеев К.Ш. Ферментативная активность горно-луговых почв Крыма [Электрон. ресурс] // АгроЭкоИнфо: Электронный научно-производственный журнал. – 2023. – № 3. – Режим доступа: http://agroecoinfo.ru/STATYI/2023/3/st_301.pdf.
194. Кравцова Н.Е., Мокриков Г.В., Казеев К.Ш., Минникова Т.В., Колесников С.И. Влияние приемов обработки почв на динамику содержания элементов питания в черноземах обыкновенных Ростовской области // Агрохимический вестник. 2019. Т.1. № 1. С. 33-36.
195. Кравченко Р. В., Терехова С. С., Гречищев Д. С. Влияние основной обработки почвы и минеральных удобрений на агрофизические свойства почвы и продуктивность озимой пшеницы в Центральной зоне

- Краснодарского края // Труды Кубанского государственного аграрного ГАУ. 2022. № 102. С. 151–157.
196. Кудеяров В.Н., Курганова И.Н. Дыхание почв России: анализ базы данных, многолетний мониторинг, общие оценки // Почвоведение. 2005. №9. С. 1112–1121.
197. Кудеяров В. Н. Почвенное дыхание и секвестрация углерода (обзор) // Почвоведение. 2023. № 9. С. 1011–1022.
198. Кудеяров В.Н. Дыхание почв и биогенный сток углекислого газа на территории России (аналитический обзор) // Почвоведение. 2018. №6. С. 643–658.
199. Кудеяров В.Н. Азотно-углеродный баланс в почве// Почвоведение, 1999а. №1. С.73–82.
200. Кудеяров В.Н. Азотный цикл и продуцирование закиси азота // Почвоведение, 1999б. №8, С. 988–998.
201. Кузнецова Ю.С., Казеев К.Ш. Влияние засоления на биологические свойства гидроморфных почв ильменей Астраханской области // Известия вузов. Северо-Кавказский регион. Естественные науки. 2010. № 1. С. 90–93.
202. Куликова А.Х., Карпов А.В., Вандышев И.А., Тигин В.П. Агроэкологическая оценка плодородия почв Среднего Поволжья и концепция его воспроизводства – Ульяновск, 2007. – 158 с.
203. Кунах О.Н., Балдин А.А. Экологический аспект твердости почвы в приростенной дубраве // Вісник Дніпропетровського університету. Біологія. Екологія. 2011. Вип. 19, т. 1. С. 65–74.
204. Купреченков М.Т., Антонова Т.Н., Симбирев Н.Ф., Цыганков А.С. Земельные ресурсы Ставрополя и их плодородие. Ставрополь, 2002а. 320 с.
205. Купреченков М.Т., Симбирев Н.Ф., Цыганков А.С., Петрова А.С. Мониторинг плодородия земельных ресурсов Ставропольского края. Ставрополь: ГУП «Ставропольская краевая типография», 2002б. 248 с.
206. Куприянова Ю.В., Любимов И.С., Копчик Г.Н. Биодеструкция органического вещества почв как важнейшее звено биогеохимического цикла

- углерода в лесных экосистемах Кольской Субарктики // Труды Ферсмановской научной сессии ГИ КНЦ РАН. 2017. № 14. С. 429–432.
207. Кураков А.В. Методы выделения и характеристики комплексов микроскопических грибов наземных экосистем. М.: МАКС Пресс, 2001, 92 с.
208. Курчевский, С.М., Виноградов Д.В. Изменение основных свойств дерново-подзолистой супесчаной почвы под действием органоминеральных удобрений и бактериального препарата «Байкал ЭМ-1» / Вестник УО БГСХА - 2013. - № 4. - С. 113-117.
209. Ландина М.М. Физические свойства и биологическая активность почв. Новосибирск: Наука, 1986. 144 с.
210. Ландшафтная карта СССР М 1:2 500 000 под ред. И.С. Гудилина М., ГУГК, 1987.
211. Ландшафтная карта СССР М 1:4 000 000 под ред. А.Г. Исаченко М., ГУГК, 1988.
212. Ларионова А.А., Розонова Л.Н. Влияние температуры и влажности почвы на эмиссию CO₂ / В кн.: Дыхание почвы, под ред. Г.А. Заварзина и В.Н. Кудеярова. ОНТИ. Пущино. 1993. С. 68-75.
213. Лобков В.Т. Почвоутомление при выращивании полевых культур. М.: Колос. – 1994. – 112 с.
214. Лыков А.М. Воспроизводство плодородия почв в Нечерноземной зоне. М.: Россельхозиздат, 1982. 143 с.
215. Лыков А.М. Органическое вещество пахотных почв Нечерноземья. М.: РАСХН, ВНИИТИОУ, 2004. 630 с.
216. Люри Д.И., Карелин Д.В., Кудиков А.В., Горячкин С.В. Изменение почвенного дыхания в ходе постагрогенной сукцессии на песчаных почвах в южной тайге // Почвоведение. 2013. № 9. С. 1060-1072.
217. Мазанко М.С., Денисова Т.В., Колесников С.И., Казеев К.Ш., Даденко Т.В. Влияние сочетанного химического и электромагнитного загрязнения на биологические свойства почв. Ростов-на-Дону: Издательство Южного федерального университета, 2013. 140 с.

218. Мазиров М.А., Шеин Е.В., Корчагин А.А., Шушкевич Н.И., Дембовецкий А.В. Полевые исследования свойств почв. Владимир: Изд-во ВлГУ, 2012. – 72 с.
219. Макаров В.Н. Влияние обработок почвы на рост корневой системы, биологическую активность почвы и урожай // Оптимизация условий возделывания сои в Приамурье: сб. науч. Трудов Сибирское отделение ВАСХА-НИЛ. Новосибирск, 1981. С. 14-19.
220. Мальцев Т.С. О методах обработки почвы и посевов, способствующих получению высоких и устойчивых урожаев сельскохозяйственных культур. Докл. на Всерос. совещании. – Москва, 1954. – 45 с.
221. Марковская Г.К., Баймишева Е.Х. Биологическая активность почвы при различных системах основной обработки почвы под горох / Тезисы докладов научно-практической конференции профессорско-преподавательского состава, сотрудников и аспирантов. Самара, 1999. С.47-48.
222. Марковская Г.К., Кирясова Н.А. Влияние минимализации обработки почвы на её биологическую активность. //Достижения науки и техники АПК. 2007. №1. С.16-17.
223. Матюк Н.С. Урожайность культур и плодородие почвы в зависимости от ее обработки и удобрения // Плодородие. – 2008. – № 1. – С. 38-40.
224. Матюк Н.С., Полин В.Д., Николаев В.А. Изменение агрофизических свойств почвы под действием приемов обработки и удобрений // Владимирский земледелец. – Иваново: ИПК «ПресСто», 2015. – №2 (72). – С.12-14.
225. Медведев В.В. Нульовий обробіток ґрунту в Європейських країнах. – Харків: ТОВ ЕДЕНА, 2010. – 202 с.
226. Мельников А.Г. Шаги по земле: записки крестьянина. Волгоград: Издатель, 2006. 400 с.
227. Миллер С.С. Основная и послепосевная обработка почвы при возделывании овса в северной лесостепи Тюменской области // Инновационные научные исследования: теория, методология, практика. 2017. – С. 57-61.
228. Мингалев С.К. Ресурсосберегающие технологии обработки почвы в системах земледелия Среднего Урала // Екатеринбург. - 2004. - С. 3-4.

229. Минеев В.Г. Избранное: Сборник научных статей в 2-х частях. Агрохимия и качество пшеницы. Экологические проблем и функции агрохимии. М.: Изд-во МГУ, 2005. 610 с.
230. Минеев В.Г., Сычев В.Г., Гамзиков Г.П. и др. Агрохимия. Учебник; под ред. В.Г. Минеева. М.: Изд-во ВНИИА им. Д.Н. Прянишникова, 2017. 854 с.
231. Минникова Т.В., Колесников С.И., Евстегнеева Н.А., Тимошенко А.Н., Цепина Н.И., Казеев К.Ш. Влияние загрязнения Ag, Bi, Te и Tl на ферментативную активность чернозема обыкновенного // Почвоведение. 2024. № 3. С. 412-427.
232. Минникова Т.В., Кравцова Н.Е., Мокриков Г.В., Казеев К.Ш., Колесников С.И. Влияние прямого посева озимой пшеницы на содержание в черноземе элементов питания // Агрохимия. 2019. № 10. С. 75–82.
233. Минникова Т.В., Мокриков Г.В., Казеев К.Ш., Акименко Ю.В., Колесников С.И. Оценка зависимостей между гидротермическими показателями и ферментативной активностью черноземов Ростовской области при использовании различных агротехнологий // Агрофизика. 2018. № 1. С. 9-17.
234. Минникова Т.В., Мокриков Г.В., Казеев К.Ш., Акименко Ю.В., Колесников С.И. Оценка ферментативной активности черноземов Ростовской области под бинарными посевами подсолнечника // Известия ТСХА. Выпуск 6, 2017а. С. 141-155.
235. Минникова Т.В., Мокриков Г.В., Казеев К.Ш., Акименко Ю.В., Колесников С.И. Влияние технологии No-Till на нитрифицирующую активность черноземов Ростовской области // Агрохимия. 2017б. №9. С. 33-38.
236. Минникова Т.В., Мокриков Г.В., Казеев К.Ш., Колесников С.И. Влияние сельскохозяйственных культур на ферментативную активность черноземов Ростовской области при использовании различных агротехнологий // Агрохимия, 2020, №10. С.20-27.
237. Михайлова З.И., Михайлов А.А., Вакуленко О.В. Влияние способов обработки почвы на продуктивность зерновых культур // Вестник КрасГАУ. 2016. №4 (115). С.10-15.
238. Мишустин Е.Н. Микроорганизмы и продуктивность земледелия. – М.:

Наука, 1972. – 343 с.

239. Мокриков Г.В., Казеев К.Ш., Акименко Ю.В., Колесников С.И. Влияние технологии прямого посева на эколого-биологические свойства черноземов // Известия высших учебных заведений. Северо-Кавказский регион. Серия: Естественные науки. 2017б. № 2 (194). С. 68-74.
240. Мокриков Г.В., Казеев К.Ш., Акименко Ю.В., Мясникова М.А., Колесников С.И. Влияние технологии No-Till на эколого-биологическое состояние почв. Ростов-на-Дону; Таганрог: Издательство Южного федерального университета, 2017а. 140 с.
241. Мокриков Г.В., Казеев К.Ш., Борисенко Д.В., Акименко Ю.В., Колесников С.И. Экологическое состояние почв Ростовской области при использовании технологии прямого посева // Известия Самарского научного центра РАН. 2017в. Т. 19. № 2-3. С. 473-477.
242. Мокриков Г.В., Казеев К.Ш., Минникова Т.В. и др. Особенности применения технологии прямого посева в агроценозах Ростовской области / // АгроЭкоИнфо. 2020. № 3(41). С. 22. URL: http://agroecoinfo.narod.ru/journal/STATYI/2020/3/st_321.pdf. (дата обращения 30.09.2024 г.).
243. Мокриков Г.В., Казеев К.Ш., Мясникова М.А., Акименко Ю.В., Колесников С.И. Влияние технологии прямого посева на почвенную мезофауну, дыхание и ферментативную активность черноземов южных // Агрохимический вестник. 2019а. №5. С.31-36.
244. Мокриков Г.В., Минникова Т.В., Казеев К.Ш., Колесников С.И. Влияние запасов продуктивной влаги и количества атмосферных осадков на урожайность при условии прямого посева сельскохозяйственных культур в Ростовской области // Самарский научный вестник, 2019. Т.8, №1(26), С.69-75.
245. Мокриков Г.В., Минникова Т.В., Мясникова М.А., Казеев К.Ш., Колесников С.И. Изменение содержания и состава органического вещества черноземов Приазовья при использовании технологии прямого посева // Агрохимия, 2020. № 1.С. 18–24.

246. Мокриков Г.В., Федоренко А.Н., Казеев К.Ш. Агроэкологическая оценка многолетнего использования технологии прямого посева в Ростовской области. Ростов-на-Дону; Таганрог: Издательство Южного федерального университета, 2024. – 258 с.
247. Мониторинг эффективного плодородия почв ИП глава КФХ Мокриков В.И. Октябрьский район Ростовской области, Агрохимцентр «Ростовский», пос. Рассвет. Ростовская область, 2019.
248. Мониторинг эффективного плодородия почв ИП глава КФХ Мокриков В.И. Октябрьский район Ростовской области, Агрохимцентр «Ростовский», пос. Рассвет. Ростовская область, 2024.
249. Мониторинг эффективного плодородия почв ООО «Донская Нива» Октябрьский район Ростовской области, Агрохимцентр «Ростовский», пос. Рассвет. Ростовская область, 2007.
250. Мониторинг эффективного плодородия почв ООО «Донская Нива» Октябрьский район Ростовской области, Агрохимцентр «Ростовский», пос. Рассвет. Ростовская область, 2013.
251. Моргачева А.В., Акименко Ю.В., Казеев К.Ш. Интенсивность выделения CO_2 при загрязнении почв антибиотиками / Неделя науки. Ростов-на-Дону: Изд-во ЮФУ, 2013. С. 101-103.
252. Морецкая У.Ф., Демченко М.М. Формирование микробиоценозов в почве под озимой пшеницей // Земледелие. 2008. № 2. С. 12-13.
253. Муравьева В.М., Рзаева В.В. Сорные растения - конкуренты яровой пшеницы // Научные инновации - аграрному производству. 2013. С. 104-107.
254. Мясникова М.А., Казеев К.Ш., Ермолаева О.Ю., Черникова М.П., Колесников С.И., Акименко Ю.В., Козунь Ю.С. Биологические свойства разновозрастных постагрогенных черноземов Ростовской области // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. Т. 18. №2 (2). 2016. С. 452-456.
255. Мясникова М.А., Казеев К.Ш., Колесников С.И. Влияние возраста залежей на биологические свойства постагрогенных почв Ростовской области.

- Ростов-на-Дону: Издательство Южного федерального университета, 2015. – 130 с.
256. Мясникова М.А., Черникова М.П., Казеев К.Ш., Ермолаева О.Ю., Колесников С.И., Козунь Ю.С., Акименко Ю.В., Яровая Е.В. Биологические особенности черноземов залежей ботанического сада ЮФУ // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. – Краснодар: КубГАУ, 2014. – №10(104).
257. Назарько М.Д., Лобанов В.Г. Биологическая активность почв сельскохозяйственного использования в условиях Кубани // Современные наукоемкие технологии. – 2005. – № 10. – С. 99-100.
258. Назарько М.Д., Лобанов В.Г., Щербаков В.Г. Биохимические и микробиологические аспекты окультуривания почв в зональных системах земледелия Краснодарского края. Краснодар: Изд-во Куб ГТУ, 2006. 214 с.
259. Нарциссов В.П. Научные основы систем земледелия // - М.: Колос. - 1982. - С. 328.
260. Насруллаев И.Э., Пономарева В.С., Казеев Д.К., Борисенко Д.В., Черникова М.П., Мокриков Г.В., Казеев К.Ш. Сравнительные исследования биологических свойств целинных черноземов и почв с разной технологией обработки // Биодиагностика и оценка качества природной среды. М.: ГЕОС, 2016. С.381-385.
261. Наумов А.В. Дыхание почвы: составляющие, экологические функции, географические закономерности. Автореф. докт. дисс. 2004. Томск: ТГУ. 37 с.
262. Научно-практическое руководство по освоению и применению технологий сберегающего земледелия / под ред. Л.В. Орловой, изд. 3-е доп. – М.: «Евротехника». 2006. – 183 с.
263. Нечаева Е.Х. Плодородие почвы и симбиотическая активность гороха при биологизации его возделывания в Лесостепи Заволжья. Дисс. канд. с.-х. наук, Кинель, 2003.-166с.
264. Нижельский М.С., Казеев К.Ш., Вилкова В.В., Колесников С.И. Ингибирование ферментативной активности чернозема обыкновенного

- газообразными продуктами горения растительных материалов // Почвоведение. 2022. №6. С. 728-736.
265. Нижельский М.С., Казеев К.Ш., Вилкова В.В., Федоренко А.Н., Колесников С.И. Токсичность дыма для биоты и биологической активности почв при моделировании пожаров // Поволжский экологический журнал. 2023. № 2. С. 196-213.
266. Нижельский М.С., Казеев К.Ш., Вилкова В.В., Федоренко А.Н., Сушкова С.Н., Колесников С.И. Хроническое и периодическое воздействие дыма от горения растительных остатков на ферментативную активность почв // Почвоведение. 2024. № 4. С. 595-607.
267. Никитин Д.А., Семенов М.В., Чернов Т.И., Ксенофонтова Н.А., Железова А.Д., Иванова Е.А., Хитров Н.Б., Степанов А.Л. Микробиологические индикаторы экологических функций почв (обзор) // Почвоведение, 2022. №2. С. 228–243.
268. Никифорова Л.И. Безотвальная обработка и гумусовое состояние эродированного чернозема // Земледелие. – 1989. – № 3. – С. 27-29.
269. Новиков А.А. Экологическое состояние гумуса и азота в черноземах Северного Кавказа. - Новочеркасск: НГМА, 2001. – 180 с.
270. Новиков А.А., Кисаров О.П. Обоснование роли корневых и пожнивных остатков в агроценозах // Научный журнал КубГАУ, №78(04), 2012. <http://ej.kubagro.ru/2012/04/pdf/36.pdf>.
271. Нуриев С.Ш., Ишкаев Т.Х. Проблемы бездефицитного баланса гумуса в почвах Татарской АССР // Сб. «Научные основы и практические приемы повышения плодородия почв Урала и Поволжья». - Уфа. 1988. - С.16-17.
272. Нурмухаметов Н.М., Хамидуллин М.Х., Нугманов Р.М. Влияние форм, доз и способов внесения удобрений на биологическую активность почвы // Агротехника и биология полевых культур. - Уфа, 1998. - С. 73-80.
273. Орлов Д.С., Бирюкова О.Н. Гумусное состояние почв как функция их биологической активности // Почвоведение. 1984. №8. С.39-49.

274. Орлов Д.С., Бирюкова О.Н., Розанова М.С. Реальные и кажущиеся потери органического вещества почвами Российской Федерации // Почвоведение. 1996. №2. С. 197-207.
275. Орлов Д.С., Бирюкова О.Н., Розанова М.С. Дополнительные показатели гумусного состояния почв и их генетических горизонтов // Почвоведение. 2004. №8. С. 918–926.
276. Орлов Д.С., Садовникова Л.К., Суханова Н.И. Химия почв. М.: Высшая школа. 2005. 558 с.
277. Орлова Л.В., Троц Н.М., Платонов В.И., Балашов Е.В., Сушко С.В., Колесниченко И.Н., Орлов С.В., Круглов Е.В. Оценка эмиссии парниковых газов и запасов углерода при нулевой обработке чернозема в условиях лесостепной зоны Среднего Поволжья // Агрохимия. – 2023. – № 7. – С. 44-54.
278. Основы технологии сельскохозяйственного производства. Земледелие и растениеводство. Под ред. В.С. Никляева. М.: «Былина», 2000. 555 с.
279. Павлов С.А., Попов А.С. No-Till технологическая перспектива повышения продуктивности озимой пшеницы // Зерновое хозяйство России. – 2017. - № 5(53). – С. 56-60.
280. Пати́ка В.П., Макаренко Н.А., Моклячук Л.І. и др Агроекологічна оцінка мінеральних добрив та пестицидів. К.: Основа, 2005. 300 с.
281. Пегова Н.А., Повышение продуктивности дерново-подзолистой средне-суглинистой почвы за счет биологизации и противоэрозионной обработки почвы: автореф. дис. ... канд. с.-х. наук. Пермь, 2008. 23 с.
282. Петрова Л.Н., Дри́дигер В.К., Ка́щаев Е.А. Влияние технологий возделывания сельскохозяйственных культур на содержание продуктивной влаги и плотность почвы в севообороте // Земледелие. 2015. №5. С. 16-18.
283. Плескачев Ю.Н., Ко́щев И.А., Канды́бин С.С. Влияние способов основной обработки почвы на урожайность зерновых культур // Вестник Алтайского ГАУ. - 2013. - № 1. - С. 23-26.
284. Поддымки́на Л.М. Микробоценоз дерново-подзолистой почвы при бесменном выращивании культур и в севообороте // АГРО XXI. 2010. № 41699. С. 38-40.

285. Полевые методы исследования физических свойств и режимов почв: Методическое руководство / Под ред. Е.В. Шеина М.: Изд-во МГУ, 2001, 200 с.
286. Полоус В.С. Минимизация основной обработки почвы в звене зернопашного севооборота // Достижения науки и техники АПК. – 2010. – №12. – С. 24-27.
287. Поляков Д.Г., Бакиров Ф.Г. Органическая мульча и No-Till в земледелии: обзор зарубежного опыта // Земледелие. 2020. № 1. С. 3–7.
288. Примак І.Д., Боканча А.П. Мікробіологічна активність чорнозему типового і продуктивність плодозмінної сівозміни за різних систем механічного обробітку ґрунту в Централь-ному Лісостепу України // Наук. Вісник Ужгород. ун-ту. (Сер. Біол.). – 2009. Вип. 26.
289. Пуртова Л.Н. Эмиссия углекислого газа из почв природных и антропогенных ландшафтов юга Приморья // Фундаментальные исследования. 2013. № 1. С. 585-589.
290. Путеводитель научно-полевых туров V Всероссийского съезда общества почвоведов / Под ред. К.Ш. Казеева и В.Ф. Валькова / ЗАО «Ростиздат». Ростов-на-Дону, 18-22 августа 2008. 98 с.
291. Пыхтин И. Г. Обработка почвы: действительность и мифы // Земледелие. – 2017. – №1. – С. 33–36.
292. Рассадин А.Я. Энергосберегающие приемы обработки почвы в севооборотах Нечерноземной зоны: учебное пособие М.: ТСХА, 1985. 18 с.
293. Рзаева В.В., Федоткин В.А. Качество основной обработки почвы и оценка глубины посева яровой пшеницы // Земледелие. № 5. 2013. С. 23-24.
294. Рудай, И.Д. Агроэкономические проблемы повышения плодородия почв. М.: Россельхозиздат, 1985. - 41с.
295. Рыбалкина А.В., Кононенко Е.В. Микробиологическая характеристика почвы по некоторым полям севооборота Дмитровского госсортоучастка № 93 // Сб. Плодородие дерново-подзолистых почв. – М.: Изд. АН СССР, 1958. – С. 261-270.
296. Рюбензам Э., Рауэ К. Земледелие. пер. с нем. А.М. Лыкова. – Москва : Колос, 1969. – 520 с.

297. Савоськина О.А. Изменение структурного состояния дерново-подзолистой почвы под действием разноглубинных приемов обработки // Инновационные технологии в адаптивно-ландшафтном земледелии. Иваново: ИПК «ПресСто», 2015. – С. 157-161.
298. Свистова И.Д., Стахурлова Л.Д., Щербаков А.П. Сукцессия микрофлоры чернозёма в очаге локального внесения удобрений // Агрохимия. 2003. №3. С. 45-51.
299. Селиверстова О.М., Верховцева Н.В., Степанов А.Л., Корчагин А.А. Изменение микробного сообщества серой лесной почвы под посевом злаковых культур при применении органических и минеральных удобрений // Агрохимия. 2008. № 8. С. 1-9.
300. Слюсарев В.Н., Онищенко Л.М., Осипов А.В. Современное состояние почв Северо-Западного Кавказа // Труды КубГАУ. 2013. № 42. С. 99-103.
301. Смагин А.В. Газовая фаза почв. М. МГУ. 1999. 200 с.
302. Смагин А.В. Газовая фаза почв. М.: Изд-во МГУ, 2005. 301 с.
303. Смагина Т.А., Кутилин В.С. Природно-территориальные комплексы // Природа, население и хозяйство Ростовской области. Ростов н/Д: Изд-во облИУУ, 1994. С. 112-151.
304. Соби́на А.С., Хачиков Э.А., Шмараева А.Н., Федоренко А.Н., Приходько В.Д., Казеев К.Ш. Биологическая активность чернозема обыкновенного через 5 лет после прекращения агрогенной обработки // Агрохимический вестник. 2022. №1. С. 22-26.
305. Солдатов В.П., Шхапацев А.К., Казеев К.Ш., Харитонова Т.Д., Казеев Д.К., Колесников С.И. Динамика изменения активности ферментов в почвах Адыгеи с разной степенью нарушения после сведения леса // Известия вузов. Северо-Кавказский регион. Естественные науки. 2020. №4. С.105-111.
306. Ступаков А.Г. Влияние систем обработки почвы на дыхание почвенной биоты чернозёма типичного // Вестник Курской государственной сельскохозяйственной академии. 2014. - № 7. - С. 56-58.
307. Тен Хак Мун. Микробиологические процессы в почвах островов Притихоокеанской зоны. М.: «Наука», 1977. 180 с.

308. Тер-Мисакянц Т.А., Казеев К.Ш., Колесников С.И. Деградация дерново-карбонатных почв Западного Кавказа в результате вырубки леса. Ростов-на-Дону: Изд-во Южного федерального университета, 2013. 108 с.
309. Терпелец В.И., Слюсарев В.Н., Бузоверов А.В., Осипов А.В., Швец Т.В., Баракина Е.Е., Плитинь Ю.С. Изменение свойств и гумусного состояния чернозема выщелоченного в агроценозах Азово-Кубанской низменности // Труды КубГАУ. 2015. № 53. С. 157-162.
310. Тимофеева М.В., Юдина А.В. Перманганат-окисляемый углерод в гумусовых горизонтах почв Европейской территории России // Почвоведение. – 2025. – № 4. – С. 514-527.
311. Тимошенко А. Н., Колесников С. И., Евстегнеева Н. А., Минникова Т. В., Казеев К. Ш. Влияние добычи платины на экологическое состояние бурой лесной почвы // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2024. – № 5. – С. 90–103.
312. Титова В.И., Козлов А.В. Методы оценки функционирования микробоценоза почвы, участвующего в трансформации органического вещества. – Нижний Новгород, 2012. – 64 с.
313. Тихонович И.А., Проворов Н.А. Сельскохозяйственная микробиология как основа экологически устойчивого агропроизводства: фундаментальные и прикладные аспекты // Сельскохозяйственная биология. 2011. № 3. С. 3-9.
314. Тихонович И.А., Проворов Н.А. Симбиозы растений и микроорганизмов: молекулярная генетика агросистем будущего. СПб.: Изд-во С-Пб. ун-та, 2009. 210 с.
315. Ушаков Р.Н., Виноградов Д.В., Головина Н.А. Физико-химический блок плодородия агросерой почвы // Агрохимический вестник. - 2013. - №5. – С.12-13.
316. Федоренко А.Н., Мокриков Г.В., Казеев К.Ш. и др. Оценка влияния покровных культур на биологическую активность черноземов при использовании технологии прямого посева // Земледелие. 2023. № 1. С. 24–27.

317. Федоров Г.Ю., Яковлев В.Х., Лынов В.И. Почвозащитная технология обработки почвы в системе севооборота // Земледелие. 2012. № 1. С. 24-25.
318. Хазиев Ф.Х. Методы почвенной энзимологии. М.: Наука. 2005. 252 с.
319. Хазиев Ф.Х. Системно-экологический анализ ферментативной активности почв. М.: Наука, 1982. 203 с.
320. Хазиев Ф.Х. Ферментативная активность почв. М.: Наука, 1976. 180 с.
321. Хан Д.В. Органоминеральные соединения и структура почвы. - М.: Наука, 1969, 142 с.
322. Холмов В.Г., Юшкевич Л.В. Особенности обработки почвы под яровую пшеницу на черноземах лесостепи Западной Сибири // Земледелие. – 2010. – №2. – С. 26-28.
323. Холодов В.А. Способность почвенных частиц самопроизвольно образовывать макроагрегаты после цикла увлажнения и высушивания // Почвоведение. – 2013. - №6. – С. 698-700.
324. Холодов В.А., Белобров В.П., Ярославцева Н.В., Яшин М.А., Юдин С.А., Ермолаев Н.Р., Дридигер В.К., Ильин Б.С., Лазарев В.И. Влияние технологии прямого посева на распределение органического углерода и азота во фракциях агрегатов черноземов типичных, обыкновенных и южных // Почвоведение. 2021. №2. С.240-246.
325. Хрусталеv Ю.П., Андреев С.С, Андриади Ю.Г. Биоклиматические условия Ростовской области. Ростов-на-Дону: «Батайское книжное изд-во», 2002. - 150 с.
326. Цховребов В.С. Агрогенная деградация черноземов Центрального Предкавказья. Ставрополь, 2003. - 224 с.
327. Цховребов В.С., Тетенищев А.Б., Фаизова В.И., Лысенко В.Я., Новиков А.А. Эффективность применения технологии No-Till на чернозёмах обыкновенных Ставропольского края // Земледелие. – 2021. – № 3. – С. 15-18.
328. Цховребов В.С., Фаизова В.И., Никифорова А.М., Калугин Д.В., Новиков А.А. Трансформация состава и свойств черноземов Центрального Предкавказья в результате сельскохозяйственного использования. Ставрополь: СЕКВОЙЯ, 2016. 248 с.

329. Цховребов В.С., Фаизова В.И., Никифорова А.М., Новиков А.А. Трансформация органического вещества в черноземах Ставропольского края целины и пашни // Агрохимический вестник. 2017. №4. С.13-16.
330. Чевердин Ю.И., Сапрыкин С.В., Пшеничная И.А. Влияние минимизации приемов основной обработки почвы на плотность сложения чернозема сегрегационного и урожайность озимой пшеницы // Агрохимия. 2018. №9. С. 12-26.
331. Чекмарев П.А., Лукин С.В. Система удобрения в условиях биологизации земледелия // Достижения науки и техники АПК. - 2012. - №12. – С.10-12.
332. Чекмарев П.А., Лукин С.В., Сискевич Ю.И., Юмашев Н.П., Корчагин В.И., Хижняков А.Н. Мониторинг содержания органического вещества в пахотных почвах ЦЧР. // Достижения науки и техники АПК. - 2011. –№10. – С.23.
333. Черкасов Г. Н., Дубовик Е.В., Дубовик Д.В., Казанцев С.И. Плодородие чернозема типичного при минимизации основной обработки // Земледелие, 2012. № 4. С. 23-25.
334. Черкасов Г.Н. и др. Влияние обработки почвы и минеральных удобрений на агрофизические свойства чернозема типичного // Вестник Курской госуд. сельскохозяйственной академии. 2011. Т.5. № 5. С. 39–41.
335. Чернова О.В., Алябина И.О., Безуглова О.С. и др. Современное состояние гумусированности пахотных черноземов настоящих степей (на примере Ростовской области) // Юг России: экология, развитие. – 2020. – №4(57). – С. 99–113.
336. Чернышов В.А., Вальдгауз Э.Г. Окультуривание дерново-подзолистых почв // Земледелие. – 1975. – №7. – С. 13-14.
337. Шакиров В.З. Изменение объемного веса и структурно-агрегатного состава серой лесной почвы под влиянием длительного применения удобрений и состава возделываемой в севообороте культур // Тез. докл. респуб. научно-технической конф. молодых ученых и специалистов. Казань, 1974. С.17-18.

338. Шакиров Р.С., Гиладев И.Г. Влияние систем удобрений и основной обработки почвы на пищевой режим и биологическую активность серых лесных почв в посевах яровой пшеницы // Вестник Казанского государственного университета. 2013. №1(27). С.139-143.
339. Шапиро В.Е. Изменение водно-физических свойств серых лесных почв при различных приемах основной обработки их под горох // Сб. науч. тр. Ивановского СХИ, 1971. – С. 21-23.
340. Шарков И.Н. Минимализация обработки и ее влияние на плодородие почвы // Земледелие. – 2009. – № 3. – С. 24-25.
341. Шевцова Л.К. Моделирование трансформации и баланса гумуса дерново-подзолистых почв на основе информационной базы длительных опытов // Агрохимия. 2000. № 9. С. 5-10.
342. Шеин Е.В. Курс физики почв - М.: Изд-во Моск. ун-та, 2005. - 432 с.
343. Шеин Е.В., Карпачевский Л.О. Теории и методы физики почв. М.: «Гриф и К», 2007.- 616 с.
344. Шеуджен А.Х. Биогеохимия. Майкоп: "Адыгея", 2003. 1028 с.
345. Шеуджен А.Х., Гуторова О.А., Хурум Х.Д., Есипенко С.В., Лебедевский И.А., Кащиц В.П. Современное состояние и продуктивность чернозема выщелоченного Западного Предкавказья // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. – 2019. – № 153. – С. 52-65.
346. Шикуча М.К. Відтворення родючості ґрунтів у ґрунтозахисному землеробстві / За заг. ред. М.К. Шикучи. Оранта, 1998. 680 с.
347. Шириев В.М., Сафин Х.М. Особенности внедрения технологии земледелия No-Till в Республике Башкортостан // Совершенствование системы земледелия Южного Урала. – Челябинск, 2012. – С. 11-16
348. Широких И.Г., Мерзаева О.В., Зенова Г.М. Изменение структуры ризосферного комплекса актиномицетов в онтогенезе озимой ржи // Почвоведение. 2006. № 6. С. 721-725.
349. Шхапацев А.К., Грабенко Е.А., Казеев К.Ш. Биологическая активность буроземов в молодых «окнах» полога леса Кавказского биосферного

- заповедника // Известия вузов. Северо-Кавказский регион. Естественные науки. 2022. № 4-2. С. 139–147.
350. Шхапацев А.К., Казеев К.Ш., Козунь Ю.С., Солдатов В.П., Федоренко А.Н., Вилкова В.В. Биологическая активность горных почв Западного Кавказа после сведения леса // Известия вузов. Лесной журнал. 2024. № 5. С. 119–132.
351. Шхапацев А.К., Казеев К.Ш., Солдатов В.П., Колесников С.И. Экологическое состояние горных почв Западного Кавказа после сведения леса. Ростов-на-Дону; Таганрог: Издательство Южного федерального университета, 2023. – 136 с.
352. Щербаков А.П., Свистова И.Д., Малыхина Н.В. Агроэкологический биомониторинг: влияние удобрений на структуру комплекса микромицетов чернозёма // Вест. ВГУ. Сер. Химия, биология. 2001. № 2. С. 168-171.
353. Щербакова Т.А. Ферментативная активность почв и трансформация органического вещества в естественных и искусственных фитоценозах. Минск, 1983. 222 с.
354. Щур А.В., Валько В.П., Валько О.В. Агроэкологические особенности применения биологически активных препаратов условиях радиоактивно загрязненных территорий Республики Беларусь // Исследования, результаты. - 2014. -- № 1. – С. 205-212.
355. Щур А.В., Виноградов Д.В., Валько В.П. Влияние различных уровней агроэкологических нагрузок на биохимические характеристики почвы // Юг России: экология, развитие. 2016. Т.11, N4. С.139-148.
356. Юдин С.А., Ермолаев Н.Р., Белобров В.П., Дридигер В.К., Гаджиумаров Р.Г., Ярославцева Н.В., Надуткин И.А. Восстановление структуры и почвозащитная роль прямого посева в черноземах и каштановых почвах Ставропольского края // Бюллетень Почвенного института имени В.В. Докучаева. 2024;(121). С. 86-110.
357. Юскин А.А., Макаров В.И., Венчиков А.И. Влияние систем обработки почвы и севооборотов на фракционный состав гумуса // Земледелие. – 2009. – № 1. – С. 20-21.

358. Юшкевич Л.В., Аниськов Н.И. Яровой ячмень в Западной Сибири // Земледелие. – 2010. – №6. – С. 3-5.
359. Яников А.Д. Влияние ресурсосберегающих обработок почвы и удобрений на урожайность зерна яровой пшеницы и плодородие черноземов южных. Диссертация на соискание ученой степени кандидата сельскохозяйственных наук. Саратов. 2014. 168 с.
360. Янкина К.О., Горшкова А., Казеев Д.К., Быхалова О.Н. Биологическая активность почв заповедника «Утриш» / Экология и биология почв. Ростов-на-Дону: Изд-во ЮФУ, 2014. С. 619-620.
361. Acosta-Martínez V., D. Acosta-Mercado, D. Sotomayor-Ramírez, L. Cruz-Rodríguez, Microbial communities and enzymatic activities under different management in semiarid soils, Appl. Soil Ecol. 2008. V.38. P. 249-260.
362. Acosta-Martinez V., Zobeck T.M., Gill, T.E., Kennedy A. C. Enzyme activities and microbial community structure in semiarid agricultural soil // Biology and Fertility of soils, 2003. V.38. P. 216-227.
363. Adetunji A.T., Ncube B., Mulidzi R., Lewu F.B. Management impact and benefit of cover crops on soil quality: A review // Soil and Tillage Research. 2020. Volume 204. 104717.
364. Akimenko Yu.V., Kazeev K.Sh., Kolesnikov S.I. Impact Assessment of Soil Contamination with Antibiotics (for Example, an Ordinary Chernozem) // American Journal of Applied Sciences, 2015. Vol. 12. No. 2. P. 80-88.
365. Akiyama H. N₂O and NO emissions from soils after the application of different chemical fertilizers // Chemosphere - Global Change Science. 2000. Vol. 2. P. 313-320.
366. Alvear M., A. Rosas, J. Rouanet, F. Borie, Effects of three soil tillage systems on some biological activities in an Ultisol from southern Chile, Soil Tillage Res. 82 (2005) 195—202.
367. Awale R., Chatterjee A., Franzen D. Tillage and N-fertilizer influences on selected organic carbon fractions in a North Dakota silty clay soil // Soil Tillage Res., 2013. №134. P. 213-222.

368. Aziz I., Mahmoo T., Islam K.R. Effect of long term No-Till and conventional tillage practices on soil quality // *Soil and Tillage Research*. – 2013. – V. 131. P. 28-53.
369. Bais H.P., Tiffany L.W., Laura G.P., Gilroy S., Vivanco J.M. The role of root exudates in rhizosphere interactions with plants and other organisms // *Annual Review of Plant Biology*. – 2006. – № 57. – P. 233–266.
370. Balesdent J., Mariotti A., Boissongontier D. Effect of tillage on soil organic carbon mineralization estimated from ^{13}C abundance in maize fields // *Journal of Soil Science*. – 1990. – Vol. 41, Issue 4, December. – P. 587-596.
371. Bandick A.K. Field management effects on soil enzyme activities // *Soil Biology and Biochemistry*. 1999. Vol. 31. P. 1471-1479.
372. Bedano J.C., Cantú M.P., Doucet M.E. Soil springtails (Hexapoda: Collembola), symphylans and pauropods (Arthropoda: Myriapoda) under different management systems in agroecosystems of the subhumid Pampa (Argentina) // *European Journal of Soil Biology*. 2006. V. 42. I. 2. P. 107-119.
373. Bedano J.C., Domínguez A., Arolfo R., Wall L.G. Effect of Good Agricultural Practices under No-Till on litter and soil invertebrates in areas with different soil types // *Soil and Tillage Research*, 2016. V. 158. P. 100-109.
374. Blair G.J., Lefroy R.D.B., Lise L. Soil carbon fractions based on their degree of oxidation, and the development of a carbon management index for agricultural systems // *Australian J. Agric. Res.* 1995. V. 46, P. 1459-1466.
375. Bowden R.D. Carbon dioxide and methane fluxes by a forest soil under laboratory-controlled moisture and temperature conditions // *Soil Biology & Biochemistry*. 1998. Vol. 30. P. 1591-597.
376. Bowden R.D. Chronic nitrogen additions reduce total soil respiration and microbial respiration in temperate forest soils at the Harvard Forest // *Forest Ecology and Management*. 2004. Vol. 196. P. 43-56.
377. Brookes P.C. The use of microbial parameters in monitoring soil pollution by heavy metals // *Biology & Fertility of Soils*. 1995. Vol. 19. P. 269-279.

378. Bukombe, B., Fiener, P., Hoyt, A. M., Kidinda, L. K., and Doetterl, S.: Heterotrophic soil respiration and carbon cycling in geochemically distinct African tropical forest soils // SOIL, 2021. 7. P. 639–659
379. Buragienė, S., Šarauskis, E., Adamavičienė, A., Romanekas, K., Lekavičienė, K., Rimkuvienė, D., and Naujokienė, V.: The effect of different biopreparations on soil physical properties and CO₂ emissions when growing winter wheat and oilseed rape // SOIL. 2023. V.9. P. 593–608.
380. Burns R.G., J.L. DeForest, J. Marxsen, R.L. Sinsabaugh, M.E. Stromberger, M.D. Wallenstein, M.N. Weintraub, A. Zoppini, Soil enzymes in a changing environment: current knowledge and future directions, Soil Biol. Biochem. 2013. V.58. P. 216-234.
381. Calegari A., Hargrove W.L., Rheinheimer D.S., Ralish R., Tessier D., Tourdonnet S., Guimaraes M.F. Impact of long-term No-Tillage and cropping system management on soil organic carbon in an Oxisol: A model for sustainability // Agronomy Journal, 2008. 100 (4). P. 1013-1019.
382. Carson J.K., Booney D., Cleeson D.B., Clipson N. Altering the mineral composition of soil causes shift in microbial community structure // FEMS Microbiology Ecology. – 2007. – Vol. 61. – № 3. – P. 414–423.
383. Chakraborty P., Singh N., Bansal S., Sekaran U., Sexton P., A. Bly, Anderson S.H., Kumar S. Does the duration of No-Till implementation influence depth distribution of soil organic carbon, hydro-physical properties, and computed tomography-derived macropore characteristics? // Soil and Tillage Research, Volume 222, 2022, 105426.
384. Chapin F.S., Van Cleeve K., Tieszen TT. Seasonal nutrient dynamics of tundra vegetation at Barrow, Alaska // Arctic and Alpine Research., 1975. V. 73. P. 209-226.
385. Chen H., Hou R., Gong Y., Li H., Fan M., Kuzyakov Y. Effects of 11 years of conservation tillage on soil organic matter fractions in wheat monoculture in loess plateau of China // Soil Tillage Res. 2009. №106, P. 85-94.
386. Christopher S.F., Lal R., Mishra U. Regional study on No-Till effects on carbon sequestration in the Midwestern United States // Soil Sci. Soc. Am. J., 73

- (2009), P. 207-216.
387. Comprehensive Assessment of Soil Health Training Manual. Edition 3.1, / Moebius-Clune B.N., Moebius-Clune D.J., Gugino B.K., Idowu O.J., Schindelbeck R.R., Ristow A.J., van Es H.M., Thies J.E., Shayler H.A., McBride M.B., Wolfe D.W., and G.S. Abawi. The Cornell Framework Manual. 2016. 140 p.
388. Cruvinel F. Soil emissions of NO, N₂O and CO₂ from croplands in the savanna region of central Brazil // Agriculture, Ecosystems & Environment. 2011. Vol. 144, № 1. P. 29-40.
389. Culman S.W., Snapp S.S., Freeman M.A., Schipanski M.E., Beniston J., Lal R., Drinkwater L.E., Franzluebbbers A.J., Glover D.J., Grandy A.S., Lee J., Six J., Maul J.E., Mirsky S.B., Spargo J.T., Wander M.M. Permanganate oxidizable carbon reflects a processed soil fraction that is sensitive to management // Soil Science Society of America Journal. 2012. V. 76, P. 494–504.
390. Dabney S.M., Delgado J.A., Meisinger J.J., Schomberg H.H., Liebig M.A., Kaspar T., Mitchell J., Reeves W. Using cover crops and cropping systems for nitrogen management. Advances in Nitrogen Management for Water Quality. Chapter 9, Soil water conservation society, Ankeny, Iowa. 2010. P. 230–281.
391. Dalal R. C. Effect of plant growth and addition of plant residues on the phosphatase activity in soil // Plant and soil. – 1982. – V. 66. – №. 2. – P. 265-269.
392. Daryanto S., Fu B., Wang L., Jacinthe P.A., Zhao W. Quantitative synthesis on the ecosystem services of cover crops // Earth-Science Reviews. 2018. Volume 185. P. 357–373.
393. Deng S.P., Tabatabai M.A. Effect of tillage and residue management on enzyme activities in soils: I. Aminohydrolases // Biol. Fertil Soils. 1996. V. 22. P. 202-207.
394. Derpcsh R., Franzluebbbers A.J., Duiker S.W., Reicosky D.C., Koeller K., Friedrich T., Sturny W.G., Sa J.C.M., Weiss K. Why do we need to standardize No-Tillage research? // Soil and Tillage Research. Vol. 137. 2014. P. 16-22.
395. Dexter A.R., Czyż E.A., Gałę O.P. A method for prediction of soil penetration resistance // Soil and Tillage Research. 2007. V. 93, I. 2, P. 412-419.

396. Dick R. P. Soil enzyme activities as indicators of soil quality //Defining soil quality for a sustainable environment. – 1994. – V. 35. – P. 107-124.
397. Dick W.A., Tabatabai M.A. Potential uses of soil enzymes. In: Metting F Jr (ed) Soil microbial ecology: application in agricultural and environmental management. Soil Microbial Ecology. Marcel Dekker, New York. 1992. P. 95–127.
398. DuPont S.T., Culman S.W., Ferris H., Buckley D.H., Glover J.D. No-Tillage conversion of harvested perennial grassland to annual cropland reduces root biomass, decreases active carbon stocks, and impacts soil biota // Agric. Ecosyst. Environ. 2010. №137. P. 25-32.
399. Elliott E.T. Aggregate structure and carbon, nitrogen, and phosphorus in native and cultivated soils // Soil Sci. Soc. Am. J. - 1986. - V. 50. - P. 627-633.
400. Ferreira A.O., Sá J.C. M., Lal R., Barth G., Inagaki T. M., Gonçalves D. P., Briedis C., Tomaz A. R., da Silva W. R. Why No-Till system sequesters more carbon and is more resilient and productive with contrasting fertilization regimes in a highly weathered soil? // Soil and Tillage Research. 2024, V. 244, 106179/
401. Fisk M.C. Microbial biomass and nitrogen cycling responses to fertilization and litter removal in young northern hardwood forests // Biogeochemistry. 2001. Vol. 53. P. 201-223.
402. Fuchs J.G., Thueriga B., Brandhuberc R., Brunsd C., Finckhd M.R., Fließbacha A., Mädera P., Schmidte H., Vogt–Kautef W., Wilboisb K., Luciusa T. Evaluation of the causes of legume yield depression syndrome using an improved diagnostic tool // Applied Soil Ecology. – 2014. – № 79. – P. 26–36.
403. Gaevaya E., Bezuglova O. The role of soil-protective crop rotations, tillage and fertilizers in stabilizing erosion processes and the preservation of organic carbon on the slopes of the Rostov region (Russia // Soil and Environment. – 2021. – 40(2). P. 110-118.
404. García-Marco S. No tillage and liming reduce greenhouse gas emissions from poorly drained agricultural soils in Mediterranean regions // Science of the Total Environment. 2016. P. 512–520.

405. Hall S.J. NO₂ emissions from soil: implications for air quality modeling in agricultural regions // Annual Review of Energy and the Environment. 1996. Vol. 21. P. 311-346.
406. Helms G.L., Bailey D., Glover T.F. Government programs and adoption of conservation tillage practices on non-irrigated wheat farms // American Journal of Agricultural Economics. – 1987. – Vol. 69. – No. 4. – P. 786.
407. Huang H., Tian D., Zho L. u., Su H., Ma S., Feng Y., Z. Tang, Zhu J., Ji C., Fang J. Effects of afforestation on soil microbial diversity and enzyme activity: A meta-analysis // Geoderma. 2022, V. 423, 115961.
408. Hugh H.A.L. Soil extracellular enzyme dynamics in a changing climate // Soil Biology and Biochemistry. 2012. V.47. P. 53-59.
409. Islam R., Reeder R. No-Till and conservation agriculture in the United States: An example from the David Brandt farm, Carroll, Ohio // International Soil and Water Conservation Research. 2014. V. 2, Is. 1. P. 97-107.
410. Janzen H. H. Management effects on soil C storage on the Canadian prairies // Soil & Tillage Research. 1998. Vol. 47. P. 181-195.
411. Janzen H.H. Carbon cycling in earth systems - a soil science perspective // Agric. Ecosyst. Environ., 2004. V.104. P. 399-417.
412. Jefwa J.M., Sinclair R., Maghembe J.A. Diversity of glomale mycorrhizal fungi in maize/sesbania intercrops and maize monocrop systems in southern Malawi // Agroforestry Systems. – 2006. – № 67. – P. 107–114.
413. Jones D.L., Yjdge A., Kuzyakov Y. Plant and mycorrhizal regulation of rhizodeposition / // New Phytologist. – 2004. – Vol. 163. – P. 459–480.
414. Kazeev K. Sh., Mokrikov G. V., Akimenko Yu. V., Kolesnikov S.I. Effect of No-Till on the physical properties of South Russia soil // 17th International Multidisciplinary Scientific GeoConference SGEM 2017. Conference Proceedings. Albena, Bulgaria. 2017. Vol. 17. P. 185-192.
415. Kazeev K.Sh., Poltoratskaya T.A., Yakimova A.S., Odobashyan M.Yu., Shkhapatsev A.K., Kolesnikov S.I. Post-fire changes in the biological properties of the brown soils in the Utrish state nature reserve (Russia) // Nature Conservation Research. Заповедная наука 2019. 4(Suppl.1). P. 93-104.

416. Kolesnikov S., Minnikova T., Kazeev K., Akimenko Y., Evstegneeva N. Assessment of the Ecotoxicity of Pollution by Potentially Toxic Elements by Biological Indicators of Haplic Chernozem of Southern Russia (Rostov region) // *Water, Air, & Soil Pollution*. 2022. Vol.233:18.
417. Kolesnikov S., Nevedomaya E., Kuzina A., Gaivoronskiy V., Minnikova T., Kazeev K., Minkina T., Ranjan A., Sushkova S., Shuvaev E., Antonenko E., Nemtseva A., Popov V. Rajpu, V.D. Limits of resistance of chernozems to petrol pollution: Comparative assessment of different subtypes // *Applied soil ecology*. 2024. Vol. 203. 105670.
418. Kolesnikov S.I., Timoshenko A.N., Kabakova V., Minnikova T.V., Tsepina N.I., Kazeev K.Sh., Minkina T.M., Shende S.S., Mandzhieva S.S., Tsitsuashvili V.S., Sushkova S.N. Effect of platinum nanoparticles (PTNPS) pollution on the biological properties of haplic cambisols eutric of the Caucasus forests // *Forests*. 2023. T. 14. № 1. C. 54.
419. Kolesnikov, S., Tsepina, N., Minnikova, T., Kazeev, K., Mandzhieva, S., Sushkova, S., Minkina, T., Mazarji, M., Singh, R.K., Rajput, V.D. Influence of Silver Nanoparticles on the Biological Indicators of Haplic Chernozem // *Plants*. 2021. 10. 1022.
420. Kozun Y.S., Kazeev K.Sh., Kolesnikov S.I. Climatic gradients of biological properties of zonal soils of natural lands // *Geoderma*. Vol. 425, 1 November 2022, 116031.
421. Li J., Wu J., Yu J., Wang K., Li J.P., Cui Y., Shangguan Z., Deng L. Soil enzyme activity and stoichiometry in response to precipitation changes in terrestrial ecosystems // *Soil Biology and Biochemistry*. 2024. Vol. 191, 109321.
422. Li Sh., Jiang X., Wang X., Wright A. L. Tillage effects on soil nitrification and the dynamic changes in nitrifying microorganisms in a subtropical rice-based ecosystem: A long-term field study // *Soil & Tillage Research*. 2015. V. 150. P. 132–138.
423. Lin S. N₂O emissions from different land uses in mid-subtropical China // *Agriculture Ecosystems and Environment*. 2010. Vol. 136. P. 40-48.

424. Linn D.M. Effect of water-filled pore space on carbon dioxide and nitrous oxide production in tilled and nontilled soils // Soil Science Society of America Journal. 1984. Vol. 48. P. 1267-1272.
425. Liu A., Ma B.L., Bomke A.A. Effects of cover crop on soil aggregate stability, total carbon, and polysaccharides // Soil Science Society of America Journal, 69 (6) (2005), P. 2041-2048.
426. Liu S., Wang J., Pu S., Blagodatskaya E., Kuzyakov Y., Razavi B.S. Impact of manure soil biochemical properties: A global synthesis // Science of The Total Environment. Volume 745, 25 November 2020, 141003.
427. Lopez-Garrido, R., Diaz-Espejo, A., Madejon, E., Murillo, J.M., Moreno, F., Carbon losses by tillage under semi-arid mediterranean rainfed agriculture (SW Spain). Span. J. Agric. Res. 2009. V.7. P.706–716.
428. Luo L., Meng H., Gu J.D. Microbial extracellular enzymes in biogeochemical cycling of ecosystems // Journal of Environmental Management. 2017. V.197, №15. P. 539-549.
429. Ivaro-Fuentes A.J., Lopez M.V., Arrue J.L., Cantero-Martinez C. Management effects on soil carbon dioxide fluxes under semiarid Mediterranean conditions. Soil Sci. Soc. Am. J. 2007. 72, 194–200.
430. Ivaro-Fuentes A.J., Lopez, M.V., Gracia, R., Arrue, J.L., Effect of tillage on shortterm CO₂ emissions from a loam soil in semi-arid Arago'n (NE Spain) // Opt. Mediterraneennes, 2004.Serie A 60, 51–54.
431. Lynch J.M. The Rhizosphere. John Wiley and Sons Ltd, 1990. 474 p.
432. Mangalassery S., Mooney S.J., Sparkes D.L., Fraser W.T., Sjogersten S. Impacts of zero tillage on soil enzyme activities, microbial characteristics and organic matter functional chemistry in temperate soils // European Journal of Soil Biology. 2015. 68. P. 9-17.
433. Mathimaran N. Glomus intraradices dominates arbuscular mycorrhizal communities in a heavy textured agricultural soil. / N. Mathimaran, R. Ruh, P. Vullioud, E. Frossard, J. Jansa // Mycorrhiza. – 2005. – № 16. – P. 61–66.
434. Melero S., López-Garrido R., Murillo J.M., Moreno F. Conservation tillage, short and long-term effects on soil carbon fractions and enzymatic activities

- under Mediterranean conditions // *Soil Tillage Res.* 2009. № 104. P. 292-298.
435. Mina B.L., Saha S., Kumar N., Srivastava A.K., Gupta H.S. Changes in soil nutrient content and enzymatic activity under conventional and zero-tillage practices in an Indian sandy clay loam soil. *NutrCyclAgroecosyst* 2008. V.82: P.273-281.
436. Minnikova T., Mokrikov G., Kazeev K., Medvedeva A., Biryukova O., Keswani C., Minkina T., Sushkova S., Elgendy H., Kolesnikov S. Soil Organic Carbon Dynamics in Response to Tillage Practices in the Steppe Zone of Southern Russia // *Processes*. 2022. V. 10. 244.
437. Misra R. K. Dexter A.R., Alston A.M. Penetration of soil aggregates of finite size: Plant roots // *Plant Soil*. – 1986. Vol. 95. P. 59–85.
438. Mondal S., Chakraborty D., Paul R.K., Mondal A., Ladha J.K. No-Till is more of sustaining the soil than a climate change mitigation option // *Agriculture, Ecosystems & Environment*, Volume 352, 2023, 108498/
439. Morrow J.G., Huggins D.R., Carpenter-Boggs L.A., Reganold J.P. Evaluating measures to assess soil health in long-term agroecosystem trials // *Soil Sci. Soc. Am. J.* 2016. (Publish online).
440. Narwal S. S., Palaniraj R., Sati S. C. Role of allelopathy in crop production // *Herbologia*. – 2005. – Vol. 6. – № 2. – P. 1–66.
441. Nieminen J. K., Pohjola P. Labile carbon addition affects soil organisms and N availability but not cellulose decomposition in clear-cut Norway spruce forests // *Boreal Environment Research* 19: 2014. P. 257–266.
442. Ogieriakhi M.O., Woodward R.T. Understanding why farmers adopt soil conservation tillage: A systematic review // *Soil Security*. 2022. Vol. 9. 100077.
443. Okolelova A.A., Glinushkin A.P., Sviridova L.L.; Podkovyrov I.Y., Nefedeva E.E., Egorova G.S., Kalinitchenko V.P., Minkina T.M., Sushkova S.N., Mandzhieva S.S., Rajput V.D. Biogeosystem Technique (BGT*) Methodology Will Provide Semiarid Landscape Sustainability (A Case of the South Russia Volgograd Region Soil Resources) // *Agronomy*. 2022, 12, 2765.

444. Oorts K., Merckx R., Grehan E., Labreuche J., Nicolardot B. Determinants of annual fluxes of CO₂ and N₂O in long-term No-Tillage and conventional tillage systems in northern France. *Soil Tillage Res.* 2007. V. 95, P. 133–148.
445. Otto R., Silva A.P., Franco H.C.J., Oliveira E.C.A., Trivelin P.C.O. High soil penetration resistance reduces sugarcane root system development // *Soil and Tillage Research*. 2011.V. 117. P.201-210.
446. Ovchinnikov A.S., Zozulya G.G., Petrov N.Y. Autogenic and heterogene bio-receptive reflexes as a basis for self-regulation in animal and plant organisms // *European Journal of Natural History*. – 2009. – № 4. – C. 56–57.
447. Paul E.A., Morris S.J., Conant R.T., Plante A.F. Does the acid hydrolysis-incubation method measure meaningful soil organic carbon pools? // *Soil Sci. Soc. Am. J.* 2006. V. 70. P. 1023-1035.
448. Qi Y., Xu M. Separating the effects of moisture and temperature on soil CO₂ efflux in a coniferous forest in Siena Nevada mountains // *Plant and Soil*. 2001.Vol. 237. P. 15-23.
449. Qian X., J Gu, Pan H., Zhang K., Sun W., Wang X., Gao H. Effects of living mulches on the soil nutrient contents, enzyme activities, and bacterial community diversities of apple orchard soils // *European Journal of Soil Biology*, 2015, V. 70. P. 23-30.
450. Raiesi F., Beheshti A. Soil specific enzyme activity shows more clearly soil responses to paddy rice cultivation than absolute enzyme activity in primary forests of northwest Iran // *Applied Soil Ecology*. 2014. V. 75. P. 63-70.
451. Raiesi F., Kabiri V. Identification of soil quality indicators for assessing the effect of different tillage practices through a soil quality index in a semi-arid environment // *Ecological Indicators*. 2016. V.71. P. 198-207.
452. Raiesi F., Salek-Gilani S. The potential activity of soil extracellular enzymes as an indicator for ecological restoration of rangeland soils after agricultural abandonment // *Applied Soil Ecology*. 2018. V.126. P.140-147.
453. Reichstein M., Tenchunen J.D., Roupsard O. Ecosystem respiration in two Mediterranean evergreen Holm oak forests: drought effects and decomposition dynamic // *Funct. Ecol.* 2002. Vol. 10. P. 27-39.

454. Reicosky D.C., Kemper W.D., Langdale C.W., Douglas G.W., Rasmussen P.E. Soil organic matter changes resulting from tillage and biomass production // J. Soil Water Conserv., 1995. V.50. P. 253-261.
455. Romdhane S., Spor A., Busset H., Falchetto L., Martin J., Bizouard F., Bru D., Breuil M-C., Philippot L., Cordeau S. Cover Crop Management Practices Rather Than Composition of Cover Crop Mixtures Affect Bacterial Communities in No-Till Agroecosystems // *Frontiers in Microbiology*. – 2019. – №10. – C. 1618.
456. Rosa S. M., Kraemer F. B., Soriad M. A., Guerrero L. D., Morrás H. J.M., Figuerola E. L.M., Erijman L. The influence of soil properties on denitrifying bacterial communities and denitrification potential in No-Till production farms under contrasting management in the Argentinean Pampas // *Applied Soil Ecology*. 2014. V. 75. P. 172– 180.
457. Sa J., Cerri C.C., Dick W.A., Lal R., Venske Filho S.P., Piccolo M.C., Feigl B.E. Organic matter dynamics and carbon sequestration rates for a tillage chronosequence in a Brazilian Oxisol // *Soil Science Society of America Journal*. 2001. V.65, P. 1486-1499.
458. Serrano-Grijalva L., van der Putten W.H., Ochoa-Hueso R., Margenot A.J., van Rijssel S.Q., Koorneef G.J., Veen G.F. Soil extracellular enzyme activity increases during the transition from conventional to organic farming // *Agriculture, Ecosystems & Environment*. 2024. Vol. 375, 109202.
459. Shaw L.J., Burns R.G. Enzyme Activity Profiles and Soil Quality. In *Microbiological methods for assessing soil quality* / edited by Jaap Bloem, David W. Hopkins, and Anna Benedetti. CAB International. 2005. – P. 158-183.
460. Sinsabaugh R.L., Lauber C.L., Weintraub M.N., Ahmed B., Allison S.D., Crenshaw C., Contosta A.R., Cusack D., Frey S., Gallo M.E., Gartner T.B., Hobbie S.E., Holland K., Keeler B.L., Powers J.S., Stursova M., Takacs-Vesbach C., Waldrop M.P., Wallenstein M.D., Zak D.R., Zeglin L.H. Stoichiometry of soil enzyme activity at global scale // *Ecology Letters*. 2008. V.11. P. 1252-1264.
461. Sitaula B.K. Effects of soil compaction on N₂O emission in agricultural soil // *Chemosphere - Global Change Science*. 2000. Vol. 2. P. 367-371.

462. Six J., Bossuyt, H., Degryze S., Denef K. A history of research on the link between (micro)aggregates, soil biota, and soil organic matter dynamics // *Soil Till. Res.*, 2004. V. 79. P. 7–31.
463. Snapp S. S., Swinton S. M., Labarta R., Mutch D., Black J. R., Leep R., Nyiraneza J., O'Neil K. Evaluating Cover Crops for Benefits, Costs and Performance within Cropping System Niches // *Agronomy Journal*. – 2005. – №97 (1). – C. 322-332.
464. Soane B.D., Ball B.C., Arvidsson J., Basch G., Moreno F., Roger-Estrade J. No-Till in northern, western and south-western Europe: A review of problems and opportunities for crop production and the environment // *Soil & Tillage Research*. 2012. V. 118. P. 66–87.
465. Spargo J.T., Cavigelli M.A., Mirsky S.B., Maul J.E., Meisinger J.J. Mineralizable soil nitrogen and labile soil organic matter in diverse long-term cropping systems // *Nutr. Cycl. Agroecosyst.* 2011. №90. P. 253-266.
466. Stecker J.A., Buchholz D., Hanson R.G., Wollenhaupt N.C., McVey K.A. Application placement and timing of nitrogen solution for No-Till corn // *Agronomy Journal*. – 1993. – Vol. 85. – P. 645-650.
467. Stiles C.A., Hammer R.D., Johnson M.G., Ferguson R., Galbraith J., O'Geen T., Arriaga J., Shaw J., Falen A., McDaniel P., Miles R. Validation Testing of a Portable Kit for Measuring an Active Soil Carbon Fraction // *Soil Science Society of America Journal*. 2011. V. 75, P. 2330-2340.
468. Struijk M., Whitmore A.P., Mortimer S.R., Sizmur T. Obtaining more benefits from crop residues as soil amendments by application as chemically heterogeneous mixtures // *SOIL*, 2020. Vol.6. P. 467–481.
469. Trasar-Cepeda C., Leiro M.C., Gil-Sotres F. Hydrolytic enzyme activities in agricultural and forest soils. Some implications for their use as indicators of soil quality // *Soil Biology & Biochemistry*. 2008. V.40. P. 2146-2155.
470. Tsepina N.I., Kolesnikov S.I., Minnikova T.V., Ruseva A.S., Trufanov D.A., Kazeev K.S. Assessment of ecotoxicity of silver particles different in size according to biological indicators in haplic chernozem // *Eurasian Soil Science*. 2024. T. 57. № 5. C. 865-874.

471. Upendra S., Zachary S., Ermson N., Irenus T., Reddy K. Tillage, Cropping Systems, and Nitrogen Fertilizer Source Effects on Soil Carbon Sequestration and Fractions // *Journal of environmental quality*. – 2008. – №37. – С. 880-888.
472. Vargas-Terminel M.L.; Flores-Rentería, D.; Sánchez-Mejía, Z.M.; Rojas-Robles, N.E.; Sandoval-Aguilar, M.; Chávez-Vergara, B.; Robles-Morua, A.; Garatuza-Payan, J.; Yépez, E.A. Soil Respiration Is Influenced by Seasonality, Forest Succession and Contrasting Biophysical Controls in a Tropical Dry Forest in Northwestern Mexico // *Soil Syst.* 2022. V.6. P.75.
473. Vaz C.M.P., Manieri J.M., de Maria I.C., Tuller M. Modeling and correction of soil penetration resistance for varying soil water content // *Geoderma*, V.166, Issue 1. 2011. P. 92-101.
474. Vestberg M., Saari K., Kukkonen S., Hurme T. Mycotrophy of crops in rotation and soil amendment with peat influence the abundance and effectiveness of indigenous arbuscular mycorrhizal fungi in field soil // *Mycorrhiza*. 2005. № 15. P. 447–458.
475. Veum K., Goyne K., Kremer R., Miles R., Sudduth K. Biological indicators of soil quality and soil organic matter characteristics in an agricultural management continuum // *Biogeochemistry*. 2014. №117. P. 81-99.
476. Vilкова V.V., Kazeev K.Sh., Nizhelskiy M.S., Privizentseva D.A., Fedorenko A.N., Kolesnikov S.I., Shkhapatsev A.K. Influence of Fires on the Enzymatic Activity of Cinnamonic Soils and Burozems in the Western Caucasus // *Eurasian Soil Science*, 2024, Vol. 57, No. 2 P. 266–274.
477. Wang W., Lai D.Y.F., Wang C., Pan T., Zeng C. Effects of rice straw incorporation on active soil organic carbon pools in a subtropical paddy field // *Soil & Tillage Research*. 2015. V. 152, P. 8–16.
478. Wang Y., Huang Q., Liu C., Ding Y., Liu L., Tian Y., Wu X., Li H., Awasthi M.K., Zhao Z. Mulching practices alter soil microbial functional diversity and benefit to soil quality in orchards on the Loess Plateau // *Journal of Environmental Management*. 2020. V. 271, 110985.
479. Wei H., Xiang Y., Y. Liu, Zhang J. Effects of sod cultivation on soil nutrients in orchards across China: A meta-analysis // *Soil and Tillage Research*. 2017. Volume 169. P. 16-24.

480. Weil R., Islam K. R., Stine M.A., Gruver J.B., Samson-Liebig S.E. Estimating active carbon for soil quality assessment: A simple method for laboratory and field use // Amer. J. Alternative Agric. 2003. V. 18(1), P. 3-17.
481. Weitz A.M. N₂O emissions from humid tropical agricultural soils: effects of soil moisture, texture and nitrogen availability // Soil Biology & Biochemistry. 2001. Vol. 33. P. 1077-1093.
482. World Reference Base for Soil Resources. International soil classification system for naming soils and creating legends for soil maps. 4th edition. International Union of Soil Sciences (IUSS), Vienna, Austria. IUSS Working Group WRB. 2022. 236 p.
483. Xu M., Shang H. Contribution of soil respiration to the global carbon equation // Journal of Plant Physiology. 2016. Vol 203, P. 16-28
484. Zhang Z.Y. Effects of continuous cropping on bacterial community diversity in rhizosphere soil of *Rehmannia glutinosa* / Z. Y. Zhang, H. Chen, Y. H. Yang, T. Chen, R. Y. Lin, X. J. Chen, W. X. Lin // The Journal of Applied Ecology. 2010. № 21(11). – P. 2843–2848.
485. Zheng W., Gong Q., Zhao Z., Liu J., Zhai B., Wang Z., Li Z. Changes in the soil bacterial community structure and enzyme activities after intercrop mulch with cover crop for eight years in an orchard // European Journal of Soil Biology. 2018. V. 86. P. 34-41.
486. Zozulya G.G., Leonenko I.G., Malyshev S.G., Mozharov S.N., Ovchinnikov A.S., Petrov N.Y. To question about the third alarm system // European Journal of Natural History. 2011. № 5. C. 40–41.
487. Zuber S.M., Villamil M.B. Meta-analysis approach to assess effect of tillage on microbial biomass and enzyme activities // Soil Biology and Biochemistry. 2016. Vol.97. P.176-187.
488. <http://rostovmeteo.ru>
489. <http://weatherarchive.ru>
490. <https://rp5.ru>
491. <http://infoil.ru>

ПРИЛОЖЕНИЕ. АКТЫ ВНЕДРЕНИЯ



ООО «Иррико - Холдинг»
ИНН 7703781110, КПП 263401001, ОГРН 1127747238904
355000, Россия, г. Ставрополь, ул. Маршала Жукова, д. 7.
Тел.: +7(8652)237-850, факс: +7(8652)237-851, e-mail: uk@irrico.ru

В Южный федеральный
университет

Акт
о внедрении результатов НИР
Г.В. Мокрикова

Предложения и рекомендации Григория Васильевича Мокрикова по особенностям применения технологии прямого посева используются при сельскохозяйственном производстве в агрохозяйстве ООО «Иррико-Холдинг» на общей площади 5928,67 гектар. Считаем, что результаты, полученные при написании докторской диссертации Г.В. Мокрикова «Агроэкологическая оценка состояния черноземов при применении технологии прямого посева», имеют большое прикладное значение для повышения плодородия почв и продуктивности растениеводства.

Исполнительный директор
ООО «Иррико-Холдинг»



А.Н. Горбенко



**Общество с ограниченной ответственностью
«Казачье общество х. Климовка»**

ИНН 6104000849 КПП 610401001 Адрес: 346240, Ростовская область,
Боковский район, ст. Каргинская, ул. Советская д. 54, тел.: 89286154005

Исх 4 от 09.09.2024

Южный федеральный университет

А К Т

о внедрении результатов НИР

Г.В. Мокрикова

Предложения и рекомендации Григория Васильевича Мокрикова по особенностям применения технологии прямого посева используются при сельскохозяйственном производстве в агрохозяйстве ООО «Казачье общество х. Климовка» на общей площади 3000 гектар. Считаем, что результаты, полученные при написании докторской диссертации Г.В. Мокрикова «Агроэкологическая оценка состояния черноземов при применении технологии прямого посева», имеют большое прикладное значение для повышения плодородия почв и продуктивности растениеводства.

Директор

ООО «Казачье общество х. Климовка»



Потапов С.Г.

Сельскохозяйственный производственный кооператив «ЗОДИАК»

346490, Ростовская область, Октябрьский р-н, п. Верхнегрушевский, ул. Гагарина, 14
ИНН 6125020324 КПП 612501001
ПАО КБ «Центр-инвест» г. Ростов-на-Дону
р/с 40702810900300000386 БИК 046015762 к/с 30101810100000000762
т. 8.9612772124

В Южный федеральный университет

А К Т

о внедрении результатов НИР

Г.В. Мокрикова

Предложения и рекомендации Григория Васильевича Мокрикова по особенностям применения технологии прямого посева используются при сельскохозяйственном производстве в агрохозяйстве СПК "Зодиак" на общей площади 830 гектар. Считаем, что результаты, полученные при написании докторской диссертации Г.В. Мокрикова «Агроэкологическая оценка состояния черноземов при применении технологии прямого посева», имеют большое прикладное значение для повышения плодородия почв и продуктивности растениеводства.

Председатель СПК «Зодиак» _____ Морозов В.П.



ИП Мокриков Василий Иванович Глава К(Ф)Х

346490 Ростовская обл., Октябрьский р-н, п. Верхнегрушевский,
ул. Гагарина, 2 ИНН 612500251288 КПП 0
ОГРН 304612517300011 ОКПО 137852568
Тел./факс: 8-86360-3- 80-08
Эл. почта. ipmokrikov@mail.ru

В Южный федеральный университет

А К Т

о внедрении результатов НИР

Г.В. Мокрикова

Результаты исследований Григория Васильевича Мокрикова, полученные с 2008 г. на полях крестьянско-фермерского хозяйства ИП Мокриков В.И. (ранее ООО «Донская Нива») на площади 5500 гектар в Октябрьском районе Ростовской области при адаптации и внедрению прямого посева (нулевой технологии обработки почвы) позволили повысить плодородие почвы и рентабельность сельскохозяйственного производства. Рекомендации, полученные при написании докторской диссертации Г.В. Мокрикова «Агроэкологическая оценка состояния черноземов при применении технологии прямого посева», имеют большое теоретическое и прикладное значение в почвозащитном земледелии и продовольственной безопасности страны.

Глава КФХ



В.И. Мокриков

"УТВЕРЖДАЮ"

Директор ФГБНУ «Федеральный Ростовский
аграрный научный центр»

А.И. Клименко

" " 2024 г.



AKT

о внедрении результатов НИР Мокрикова Г.В.

Рекомендации Григория Васильевича Мокрикова об особенностях проведения агротехнических работ при использовании технологии нулевой обработки почвы, изложенные в диссертационной работе «Агроэкологическая оценка состояния черноземов при применении технологии прямого посева», учтены при организации полевого опыта на территории НПП «Рассвет», ФГБНУ Федерального Ростовского аграрного научного центра.

Заместитель директора по научной работе
ФГБНУ ФРАНЦ, к.с.-х.н.

А.В. Гринько

"УТВЕРЖДАЮ"
Проректор по научной и исследователь-
ской деятельности
А.В. Метелита
2024 г.



А К Т
о внедрении результатов НИР
Г.В. Мокрикова

Результаты диссертационной работы на соискание ученой степени доктора биологических наук Мокрикова Григория Васильевича «АГРОЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА СОСТОЯНИЯ ЧЕРНОЗЕМОВ ПРИ ПРИМЕНЕНИИ ТЕХНОЛОГИИ ПРЯМОГО ПОСЕВА» использованы Южным федеральным университетом при выполнении научно-исследовательских работ по грантам Президента РФ по государственной поддержке ведущей научной школы РФ (НШ-449.2022.5) и проекту Приоритет 2030 (№СП-12-22-9 (СП03/S4_0708Приоритет_09)).

Руководитель НИР,
Директор Академии биологии
и биотехнологии им. Д.И. Ивановского
Южного федерального университета



К.И. Казеев

"УТВЕРЖДАЮ"
Проректор по научной и исследователь-
ской деятельности
А.В. Метелица
2024 г.



А К Т
о внедрении результатов НИР
Г.В. Мокрикова

Результаты диссертационной работы на соискание ученой степени доктора биологических наук Мокрикова Григория Васильевича «Агроэкологическая оценка состояния черноземов при применении технологии прямого посева» используются Южным федеральным университетом при выполнении научно-исследовательских работ по грантам Министерства науки и высшего образования РФ (№075-15-2022-1122; FENW-2023-0008).

Руководитель НИР,
Заведующая кафедрой почвоведения
и оценки земельных ресурсов
Академии биологии и биотехнологии
им. Д.И. Ивановского
Южного федерального университета



Т.М. Минкина