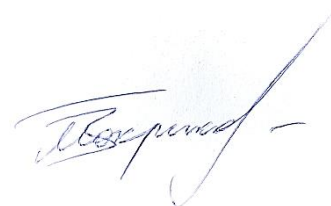


Федеральное государственное автономное образовательное  
учреждение высшего образования  
«ЮЖНЫЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

*На правах рукописи*



**МОКРИКОВ ГРИГОРИЙ ВАСИЛЬЕВИЧ**

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

4.1.3. Агрехимия, агропчвоведение, защита и карантин растений  
(биологические науки)

**Автореферат**  
диссертации на соискание ученой степени  
**доктора** биологических наук

Ростов-на-Дону  
2025

Работа выполнена на кафедре экологии и природопользования  
Академии биологии и биотехнологии им. Д. И. Ивановского  
Южного федерального университета

Научный консультант: **Казеев Камиль Шагидуллович**,  
доктор географических наук, профессор  
ФГАОУ ВО «Южный федеральный университет»,  
Академия биологии и биотехнологии им. Д.И.  
Ивановского, директор

Официальные оппоненты: **Умарова Аминат Батальбиевна**  
доктор биологических наук, профессор  
ФГБОУ ВО «Московский государственный универ-  
ситет имени М.В. Ломоносова, факультет почвове-  
дения, кафедра физики и мелиорации почв, заведу-  
ющий

**Цховребов Валерий Сергеевич**,  
доктор сельскохозяйственных наук, профессор  
ФГБОУ ВО «Ставропольский государственный  
аграрный университет», факультет агробиологии и  
земельных ресурсов, кафедра почвоведения им.  
В.И. Тюльпанова, заведующий

**Новиков Алексей Алексеевич**,  
доктор сельскохозяйственных наук, профессор  
Новочеркасский инженерно-мелиоративный инсти-  
тут имени А.К. Кортунова – филиал ФГБОУ ВО  
«Донской государственный аграрный университет»,  
кафедра кадастра и мониторинга земель, профессор

Защита диссертации состоится **27 ноября 2025 г. в 15:00** на заседании диссертационного совета ЮФУ 801.01.13 по биологическим наукам на базе Академии биологии и биотехнологии им. Д. И. Ивановского Южного федерального университета по адресу: 344090, г. Ростов-на-Дону, пр. Стачки, 194/1, к. 3.

С диссертацией можно ознакомиться в Зональной научной библиотеке им. Ю. А. Жданова Южного федерального университета по адресу: 344090, г. Ростов-на-Дону, ул. Р. Зорге, 21ж, и на сайте Южного федерального университета <https://hub.sfedu.ru/diss/show/1346212/>

Автореферат разослан «\_\_» \_\_\_\_\_ 2025 г.

Отзыв на автореферат в двух экз. (с указанием даты, полностью ФИО, ученой степени со специальностью, звания, организации, подразделения, должности, адреса, телефона, e-mail), заверенный печатью организации, просим направлять по адресу: 344090, г. Ростов-на-Дону, пр. Стачки, 194/1, ученому секретарю диссертационного совета ЮФУ 801.01.13 Бурачевской М. В., а также в формате pdf на e-mail: mburachevskaya@sfedu.ru.

Ученый секретарь  
диссертационного совета,  
к.б.н.



Бурачевская Марина Викторовна

**Актуальность темы исследований.** 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; Слюсарев и др., 2013; Власенко и др., 2016; Цховребов и др., 2016; Шеуджен и др., 2019). Традиционная обработка (ST) почв со вспашкой приводит к активизации этих процессов (Вальков и др., 2008). 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 и др., 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. 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; Busari et al., 2015; Мокриков и др., 2017, 2020; Struijk et al., 2020; Холодов и др., 2021). Улучшение гидротермических и биологических свойств почв связано прежде всего с формированием мульчирующего слоя из пожнивных остатков сельскохозяйственных растений на поверхности (Soane et al., 2012; Акименко и др., 2016; Поляков, Бакиров, 2020; Холодов и др., 2021). 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; Мокриков и др., 2017, 2020; Дридигер и др., 2020, 2021).

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.

**Степень разработанности темы.** Изучению генезиса, свойств, плодородия и экологического состояния черноземов юга России посвящены труды Ф. Я. Гаврилюка (1955), Е. С. Блажного (1951, 1959), В. Ф. Валькова (1977, 1996, 2008), М. Т. Куприченкова (1982, 2013), В. И. Тюльпанова (1998), В. С. Цховребова (2004, 2016), А. Н. Есаулко (2007, 2015), А. И. Подколзина (2008) и ряда других ученых. Исследования влияния прямого посева на качество и плодородие почв России появились только в последние годы (Власенко и др., 2011, 2013; Зеленский и др., 2012; Власенко и др., 2013; Акименко и др., 2016; Власенко, Власенко, 2015; Дридигер и др., 2016, 2020; Казеев и др., 2017, 2020; Чевердин и др., 2017; Холодов и др., 2019, 2021; Белобров и др., 2021; Есаулко и др., 2021; Цховребов и др., 2022; Okolelova et al., 2022). 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.

**В задачи** исследований входило:

1. Оценить влияние прямого посева на биологическую активность, физические, химические свойства черноземов и урожайность. Оценить эффективность прямого посева в зависимости от типа почв, длительности применения, видов сельскохозяйственных культур и природной зоны.
2. Определить влияние минимизации обработки почвы с формированием мульчирующего слоя на экологическое состояние почвы в условиях Ростовской области.
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 по адаптации 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 минимизацией 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 с целью 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 положительная динамика изменения 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.

**Соответствие паспорту специальности.** Диссертация соответствует пунктам 2.1, 2.2, 2.6, 2.9, 2.11, 2.13, 2.15, 2.16, 2.18 паспорта специальности 4.1.3. Агрохимия, агропочвоведение, защита и карантин растений, направлению исследований 2. Агропочвоведение.

**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.

**Публикации.** Результаты диссертации опубликованы более чем в 90 научных работах, из них 20 статей в журналах, входящих в Перечень рецензируемых научных изданий ВАК, 4 монографии и 6 РИД.

**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.

**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 благодарен 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 м. н. с. В. А. Ерину.

## ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

### 1. НУЛЕВАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ОБРАБОТКИ ПОЧВ В МИРЕ И РОССИИ

В этом разделе представлен литературный обзор российских и зарубежных источников, посвященных опыту применения технологии прямого посева, а также воздействию разных технологий обработки почв на физические, физико-химические, агрохимические и биологические свойства почв. Приведен критический анализ последствий применения технологии прямого посева на плодородие и экологическое состояние почв.

### 2. ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

В данном разделе рассмотрены свойства почв юга России, выбранные для исследования. Для сравнения биологической активности и плодородия почв разных сельскохозяйственных районов Ростовской области были исследованы черноземы разных подтипов в Песчанокопском (ЗАО им. С. М. Кирова), Октябрьском и Красносулинском (хозяйства ИП Мокрикова В. И. и СПК «Зодиак»), Сальском районах (ООО «Агро-Мичуринское»). Также были проведены исследования в Ипатовском районе Ставропольского края (с. Кевсала). В каждом районе проводили исследования на полях с разными способами обработки почвы: прямого посева и традиционной вспашки в сравнении с целинными участками без обработки почв. Эталонами сравнения были наиболее близко расположенные к исследуемым агроценозам ООПТ, описанные в Красной книге почв Ростовской области (Чернова, Безуглова, 2018). Расположение точек отбора проб представлена на рисунке 1. Все участки расположены на выровненных плакорных участках.

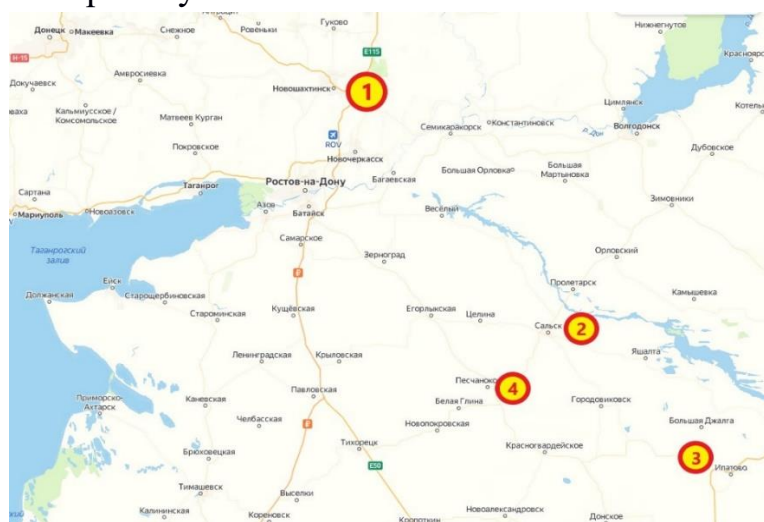


Рис. 1. Карта-схема расположения исследуемых участков: 1 – Октябрьский р-н, Ростовская обл.; 2 – Сальский р-н, Ростовская обл.; 3 – Песчанокопский р-н, Ростовская обл.; 4 – Ипатовский р-н, Ставропольский край

Почвы ИП Мокрикова В. И. относятся к черноземам обыкновенным среднемошным слабогумусированным. По Классификации почв России (2004) эти почвы относятся к черноземам сегрегационно-миграционным, по международной классификации World Reference Base for Soil Resources (WRB) – *Naptic Chernozem Loamic*. Черноземы хозяйства различаются по степени выщелоченности от карбонатов, мощности и гумусированности.

Всего было исследовано более 20 участков на расстоянии от нескольких сотен метров до 30 км друг от друга. Для оценки действия прямого посева (NT) в качестве контрольных полей были использованы поля других хозяйств, применяющих традиционную технологию обработки почв (ST), 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. Полевые исследования и отбор образцов проводили из нескольких слоев 3–6 раз за сезон в 3–5-кратной повторности, в некоторых случаях использовали смешанные образцы почв.

В настоящее время в хозяйстве по технологии прямого посева выращиваются: озимая пшеница, озимый ячмень, горох, нут, лен, кориандр, яровой рапс, подсолнечник, кукуруза, гречиха. Структура посевных площадей (в процентах от времени в севообороте): зерновые колосовые – 49 %; кукуруза на зерно – 10 %; подсолнечник – 10–13 %; зерновые бобовые (нут, чечевица, горох) – 8 %; озимые крестоцветные (рыжик, рапс, горчица) – 6,5 %; кориандр – 6 %; лен – 4 %; гречиха – 2,0 %; многолетние травы – 2 %.

Лабораторно-аналитические исследования проводили на базе Академии биологии и биотехнологии Южного федерального университета. Среди исследуемых параметров были: плотность, температура, влажность, твердость почв (сопротивление пенетрации), структурно-агрегатное состояние; водопрочность (водоустойчивость) агрегатов, численность и видовой состав мезофауны и микроартропод, численность бактерий (аммонификаторы, амилолитические, азотфиксирующие и актиномицеты), обилие микромицетов, общая численность бактерий и спор микромицетов прямым микроскопированием, дыхание почв, целлюлозолитическая активность, активность ферментов, содержание общего и активного углерода, фракционно-групповой состав гумуса, фитотоксичность почв, валовой состав, реакция почвенной среды (pH) и др. В 2016 г. провели сравнительную диагностику эколого-биологического состояния почв по активности 11 ферментов класса оксидоредуктаз (каталаза, дегидрогеназы, полифенолоксидаза, пероксидаза, ферриредуктаза, аскорбатоксидаза) и гидролаз (уреаза,  $\beta$ -фруктофуранозидаза,  $\beta$ -амилаза, фосфатаза, протеаза). В после-

дующие годы количество исследуемых ферментов ограничились наиболее информативными. Для оценки качества и состояния почв по показателям ферментативной активности почв каждого класса рассчитывали средние геометрические для ферментов каждого класса ( $GME_{ox}$ ,  $GME_{hd}$ ) в абсолютных единицах (Hinojosa et al., 2004; García-Ruiz et al., 2008; Raiesi, Kabiri, 2016). Также использовали интегральный показатель биологического состояния почв (ИПБС), рассчитанный с использованием комплекса биологических показателей (Казеев, 1996; Колесников и др., 2020; Казеев и др., 2002, 2016; Kozun et al., 2022).

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.). Статистическая обработка данных проводилась с использованием программ STATISTICA 10 и Python 3.6.5 пакет Matplotlib.

## **ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ**

Приведено подробное описание погодных условий в период динамических наблюдений за экологическим состоянием исследуемых почв в Октябрьском районе Ростовской области. Метеорологические параметры представлены согласно данным сайтов <http://rostovmeteo.ru> и <http://weatherarchive.ru>.

### **КОЛИЧЕСТВО ПОЖНИВНЫХ ОСТАТКОВ НА ПОЛЯХ С ПРЯМЫМ ПОСЕВОМ**

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 особенно разнообразие почвенных организмов. Кроме того, существенно изменяются физические свойства почв, особенно ее гидротермический режим. Растительных остатков сельскохозяйственных культур поступает в почву в 2,6–3,5 раза меньше, чем остатков естественной растительности (Новиков, Кисаров, 2012).

Проведенные исследования показали наличие значительного объема растительных остатков после уборки основной продукции на всех полях прямого посева (рис. 2). Исследования были направлены на изучение пожнивных остатков разных сельскохозяйственных культур с полей хозяйства ИП Мокрикова В. И. Пожнивные остатки 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., 2017).

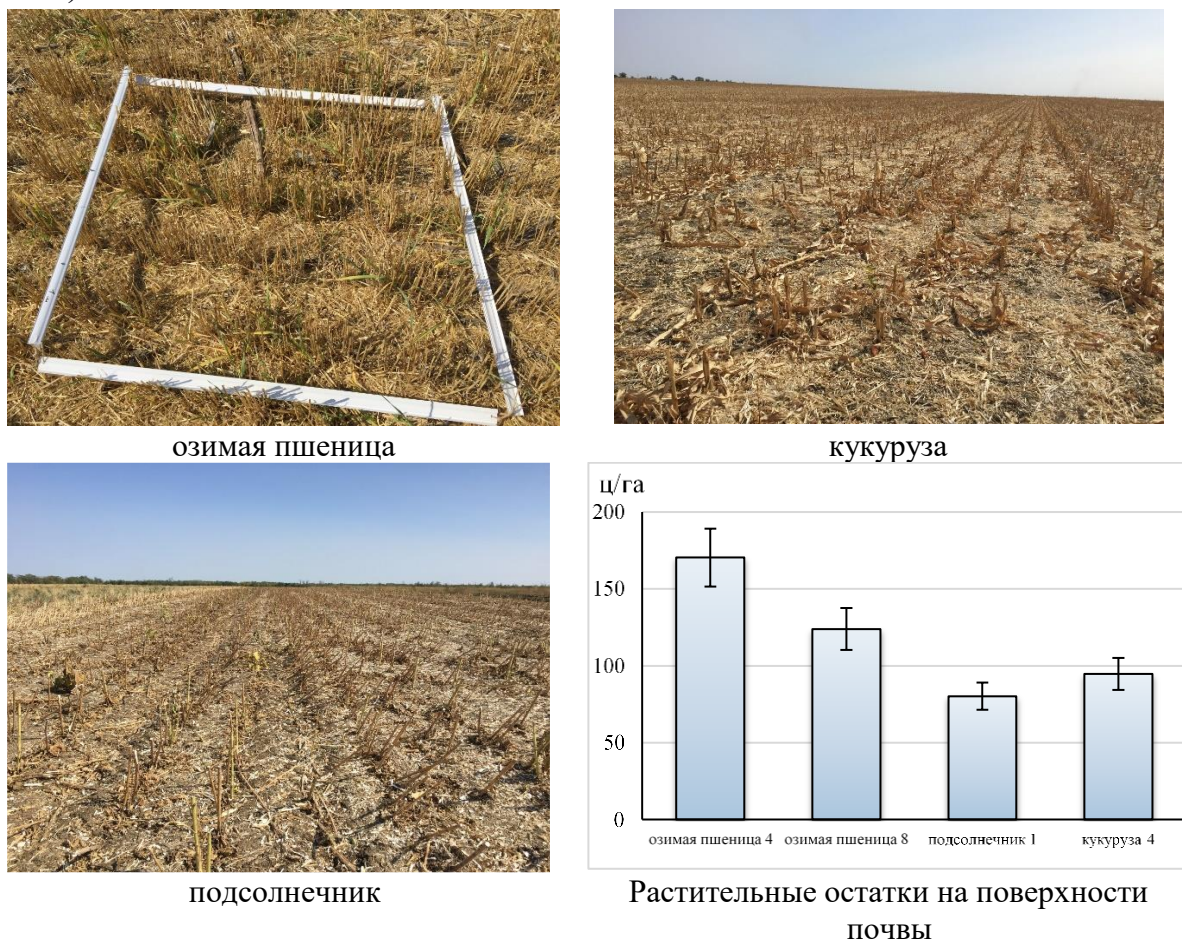


Рис. 2. Пожнивные остатки на полях прямого посева почв хозяйства ИП Мокрикова В. И., август 2020 г.

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. 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.

Сбор растительных остатков был проведен для озимой пшеницы 19 августа 2020 г., для подсолнечника и кукурузы – 22 сентября 2020 г. Полученные результаты свидетельствуют об очень высоких значениях оставшихся на полях растительных остатков. Количество остатков на полях озимой пшеницы более чем в два-три раза, а на полях с пропашными культурами в два раза превосходит данные в литературных источниках (Новиков, Кисаров, 2012). 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 %.

Высокая стерня способствует сохранению снега на полях прямого посева. Мульчирующий слой предохраняет 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.

## **ИЗМЕНЕНИЕ СВОЙСТВ ЧЕРНОЗЕМА ОБЫКНОВЕННОГО В ПЕРВЫЕ ГОДЫ ПЕРЕХОДА НА НУЛЕВУЮ ТЕХНОЛОГИЮ**

### **Краткосрочные изменения свойств почв в опыте ФРАНЦ**

Местом проведения полевых опытов является стационар агрохимии и защиты растений ФГБНУ «Федеральный Ростовский аграрный научный центр». До 2022 г. почвы ФРАНЦ обрабатывали традиционной технологией отвальной вспашки. Полевые исследования и отбор почвенных образцов проводили в 2023-м и 2024 гг. Дополнительные исследования краткосрочных изменений при прямом посеве были проведены в 2024 г. на черноземах обыкновенных хозяйства ИП Мокрикова В. И. около хутора Гривенного Красносулинского района Ростовской области. В опыте ФРАНЦ в первый год после перехода с традиционной пахотной на нулевую технологию в марте 2023 г. установлено незначительное, но достоверное увеличение полевой влажности относительно контроля на участках с посевами пшеницы. В июле 2023 г. отмечено незначительное снижение влажности почвы в вариантах прямого посева. Снижение влажности на полях севооборота под льном и подсолнечником связано с отсутствием в первый год на поверхности почвы мульчирующего слоя из растительных остатков, который формируется при альтернативной технологии обработки и предохраняет почву от высыхания (Поляков, Бакиров, 2020). Разрыхление почвы при пахотной обработке на первом этапе наблюдения лучше сохраняет влагу в почве. При длительном использовании прямого посева влажность почвы и запасы влаги повышаются, что подтверждается исследованиями на территории Ростовской области (Казеев и др., 2019, 2020). Достоверное превышение (на 0,14 г СО<sub>2</sub>/м<sup>2</sup>/час) интенсивности эмиссии углекислого газа на участке прямого посева по сравнению с контролем зафиксировано только на участке озимой пшеницы. Достоверной корреляции между интенсивностью эмиссии углекислого газа и уровнем влажности не выявлено.

Исследуемые почвы обладают средним уровнем содержания гумуса, характерным для почв региона. В 2023 г. в среднем по вариантам применения нулевой технологии содержание гумуса незначительно ниже в слое 10–20 см в сравнении с традиционной технологией (табл. 1). В 2024 г. не выявлено значи-

тельной разницы содержания гумуса в почвах с разной обработкой. Значительное влияние оказывают выращиваемые культуры. Их влияние было больше, чем разница, обусловленная разной обработкой почвы. Только при сравнении нескольких вариантов, засеянных озимой пшеницей, выявлено незначительное расслоение бывшего пахотного горизонта по содержанию гумуса. Однако отмеченные изменения минимальны для такого показателя, для которого значительны пространственное варьирование и ошибка определения.

Таблица 1. Содержание активного углерода и гумуса в почве, ФРАНЦ, 2023 г.

Варианты		Глубина отбора, см	Активный углерод, мг С/кг		Гумус, %
			М	m	М
Пшеница озимая	No-Till	0–10	723,5	28,6	<b>4,0</b>
		10–20	<b>659,7</b>	<b>6,7</b>	<b>3,8</b>
	Отвальная вспашка	0–10	810,7	43,2	4,3
		10–20	766,9	1,1	4,2
Подсолнечник	No-Till	0–10	849,9	44,1	4,5
		10–20	798,2	85,1	4,2
	Отвальная вспашка	0–10	833,8	9,0	4,4
		10–20	689,4	7,6	4,2
Лён	No-Till	0–10	850,8	60,6	<b>4,5</b>
		10–20	<b>680,0</b>	<b>17,1</b>	4,1
	Отвальная вспашка	0–10	726,4	40,9	4,2
		10–20	751,6	10,8	4,1
Горох	No-Till	0–10	<b>681,2</b>	<b>11,6</b>	4,1
		10–20	706,6	20,7	<b>3,9</b>
	Отвальная вспашка	0–10	781,8	33,9	4,3
		10–20	666,3	21,3	4,1

*Примечание.* Жирным шрифтом выделены достоверные отличия.

В первый год применения прямого посева в вариантах с посевами пшеницы, льна и гороха отмечается достоверное снижение содержания активного углерода на 14%, 10% и 13% соответственно (табл. 1). В 2024 г. на второй год применения прямого посева содержание активного углерода было в среднем на 19% меньше, чем в вариантах со вспашкой. Однако ранее (Мокриков и др., 2020) было установлено, что многолетнее использование прямого посева приводит к увеличению доли активного углерода по сравнению с традиционной технологией обработки при слабой и средней степени гумификации. Различия между разными по глубине слоями почвы отмечены для всех вариантов независимо от способа обработки почвы. Между показателями, характеризующими углеродный баланс почвы, отмечается достоверная положительная корреляция ( $r = 0,80$ ), а между содержанием активного углерода и интенсивностью эмиссии углекислого газа – средняя отрицательная корреляция ( $r = -0,55$ ).

Значительных достоверных изменений ферментативной активности в первые два года после перехода на прямой посев не отмечено. Активность ферментов различалась в зависимости от выращиваемой культуры, глубины почвы, технологии обработки (рис. 3). Активность гидролаз была более чувствительной, чем активность дегидрогеназ. Активность инвертазы в слое 10–20 см на участках прямого посева достоверно выше, чем при обработке отвальной вспашкой. На площадке с посевом озимой пшеницы по NT данный показатель превышает контроль на 15%. Такой вывод согласуется с полученными ранее результатами для почв с длительным применением прямого посева (Mokrikov et al., 2019). Расслоения ферментативной активности по глубине, связанного только с применением прямого посева, не выявлено.

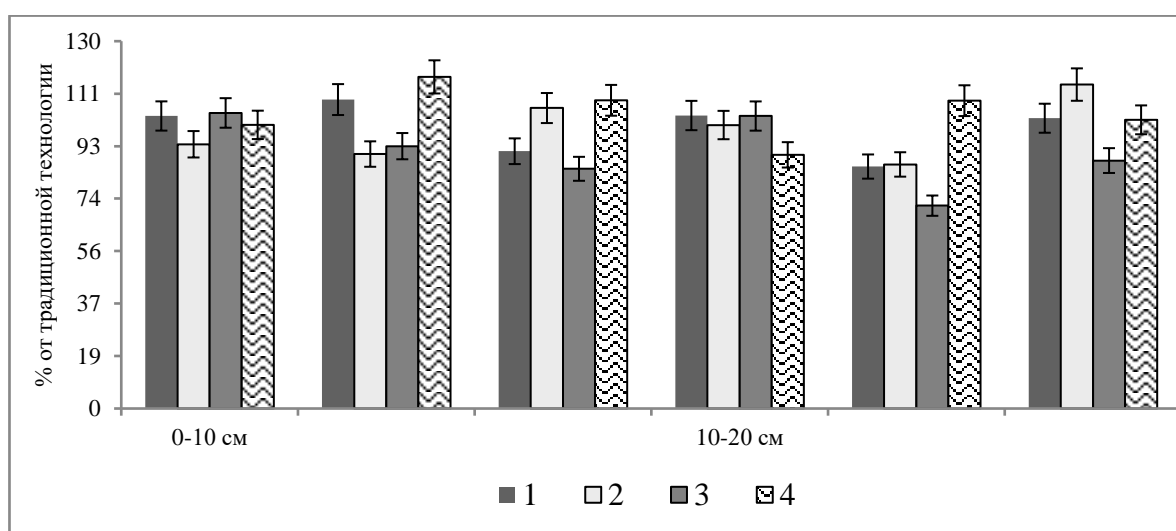


Рис. 3. Ферментативная активность почв опыта ФРАНЦ: 1 – озимая пшеница, 2 – подсолнечник, 3 – лен масличный, 4 – горох яровой, 2024 г.

В опыте ФРАНЦ в первый год перехода с традиционной на нулевую обработку почвы происходит достоверное повышение урожайности возделываемых культур в сравнении с контролем: подсолнечника (на 48%) и гороха (на 19%). При длительном применении технологии прямого посева повышение урожайности подсолнечника может составить 127–192% относительно традиционной технологии (Mokrikov et al., 2019). Урожайность озимой пшеницы, наоборот, в опыте ФРАНЦ снизилась на 9%. Вероятно, это связано с уплотнением почвы, на которое плохо реагирует озимая пшеница. Аналогичное снижение урожайности озимой пшеницы на 41–52% при одновременном повышении плотности почвы по сравнению с отвальной вспашкой получено на черноземе типичном Краснодарского края (Кравченко и др., 2022). Сравнительный анализ данных урожайности озимой пшеницы в Краснодарском крае в период с 2015-го по 2022 г. показал, что применение нулевой технологии возделыва-

ния озимой пшеницы на черноземе выщелоченном является малоэффективным (Загорулько и др., 2022). Однако на черноземе Ставропольского края урожайность гороха и озимой пшеницы в вариантах с нулевой обработкой была выше на 8–25% по сравнению с пашней (Цховребов и др., 2021). Повышение урожайности авторы связали с большими влагозапасами почвы на участках без обработки. В разных условиях влагообеспеченности Ставропольского края нулевая технология показала разную эффективность. В засушливых условиях продуктивность повышалась, а в условиях умеренного увлажнения, напротив, снижалась (Есаулко и др., 2018). На черноземе обыкновенном Ростовской области урожайность озимой пшеницы при использовании технологии прямого посева была на 18% выше и с большей рентабельностью, чем при традиционной технологии (Зеленский и др., 2012). Урожайность льна в опыте ФРАНЦ не зависела от применения различных агротехнологий и находилась в пределах от 5,4 до 5,7 ц/га. Полученные разными исследователями противоречивые результаты подтверждают необходимость полного представления условий проведения исследований на почвах с разной обработкой с указанием типа и свойств почв, длительности применения нулевой технологии, особенностей используемой техники и севооборотов, применения удобрений и средств защиты растений, количества растительных остатков и др. (Derpcsh et al., 2014; Юдин и др., 2019), иначе представляемая разными авторами информация и дальше будет противоречивой.

### **Влияние прямого посева на биологические свойства почв Красносулинского района Ростовской области**

На участке около хутора Гривенного выявлены существенные различия в интенсивности дыхания почв в зависимости от применяемой технологии обработки почв. Минимальные значения выявлены на пахотном участке, несмотря на оптимальные условия увлажнения почвы на нем (34,5%), по сравнению с участками полей прямого посева (7,3–9,5%). Максимальные значения (почти в три раза больше, чем на пахотном участке) зафиксированы на поле первого года смены технологии с традиционной вспашки на прямой посев. Участок длительного применения прямого посева (16 лет) имеет вдвое большие значения дыхания по сравнению с пашней. Возможно, сниженные значения дыхания на пахотном поле связаны с его использованием под паром. При этом произошло накопление влаги, однако отсутствие растительности лишило почву автотрофной составляющей. Гетеротрофное дыхание парующей почвы не достигло значений почвы на полях прямого посева, на которых благодаря корневым экссудатам озимой пшеницы был активизирован почвенный микробиом, вызвавший повышение интенсивности дыхания.

Выявлено значительное повышение активности каталазы и дегидрогеназ в обоих почвенных слоях на полях прямого посева относительно пахотного участка со стандартной обработкой (рис. 4). Для активности уреазы подобный факт выявлен 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.

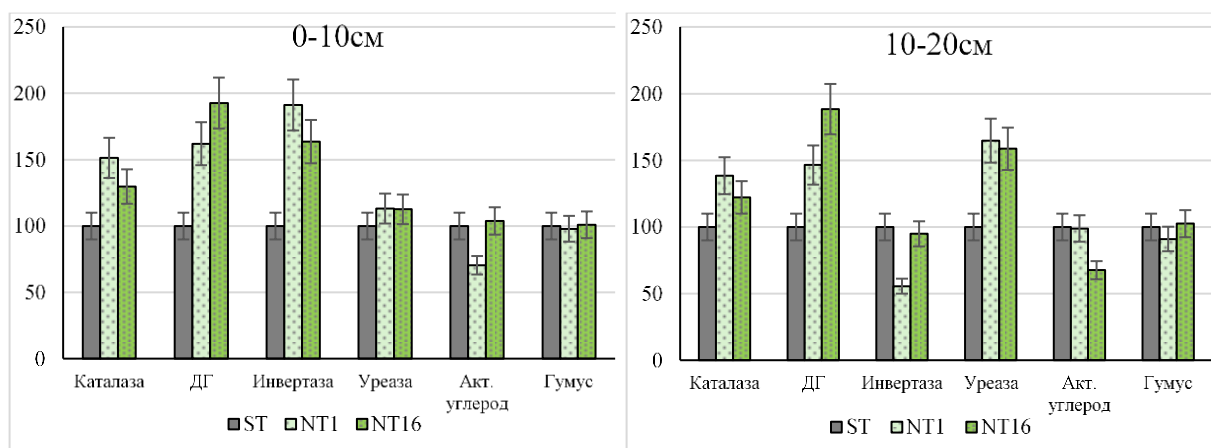


Рис. 4. Влияние времени использования прямого посева на ферментативную активность и содержание углерода, хут. Гривенный, 2024 г.

ST– пашня, Гривенный; NT1 – прямой посев, первый год; NT16 – прямой посев, 16 лет

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.

### ВЛИЯНИЕ ДЛИТЕЛЬНОГО ПРИМЕНЕНИЯ ПРЯМОГО ПОСЕВА НА СВОЙСТВА ПОЧВ

Содержание гумуса в почвах с длительной нулевой обработкой на полях хозяйства ИП Мокрикова В. И. было различным и зависело от обработки почвы, глубины взятия образца и генезиса почвы. Участок на водораздельной выровненной территории с полями NT2 и ST2 в слое 0–30 см обладает типичным для большинства обрабатываемых черноземов обыкновенных содержанием гумуса – 4,1–4,3% при мощности гумусового слоя A + AB, равном 90 см (табл. 2). Здесь содержание гумуса практически не зависит от способа обработки почв. Расположенный в километре участок находится на нижней части длинного пологого склона перед поймой реки Грушевки.

Таблица 2. Содержание гумуса и активного углерода в почвах мониторинговых участков, целины «Персиановской степи» и залежных участков, 27 июля 2021 г.

Площадка	Глубина, см	Гумус, %		Активный углерод, мг/кг
		M	m	M
Прямой посев NT1	0–10	3,45	0,17	490,4
	10–20	2,67	0,11	342,1
	20–30	2,32	0,03	291,8
Пашня ST1	0–10	1,52	0,07	342,2
	10–20	1,52	0,08	290,3
	20–30	1,41	0,05	265,4
Прямой посев NT2	0–10	4,51	0,07	523,3
	10–20	3,79	0,19	132,6
	20–30	4,02	0,02	134,7
Пашня ST2	0–10	4,16	0,12	130,1
	10–20	4,52	0,05	123,1
	20–30	4,08	0,03	137,8
Целина «Персиановская степь»	0–10	8,96	0,32	228,5
	10–20	5,65	0,14	136,9
	20–30	5,64	0,14	135,3

Поэтому в результате эрозии почвы характеризуются пониженной мощностью гумусового слоя ( $A + AB =$  около 60 см). На площадке пахотного поля ST1 зафиксированы минимальные значения гумуса – 1,5% в слое 0–30 см. Расположенное рядом поле NT1 содержит почти в два раза больше гумуса – 2,8%. Содержание гумуса в почвах, длительное время обрабатываемых по технологии прямого посева, приблизилось к длительно залежным почвам Ботанического сада ЮФУ и ООПТ «Персиановская степь», которые были изучены в качестве эталонных участков сравнения. Целинный чернозем ООПТ «Персиановская степь» содержит в два раза больше гумуса в дерновом горизонте, чем в поверхностном слое исследуемых агрогенных почв. Дегумификация типична для всех пахотных черноземов юга России (Орлов и др., 1995; Безуглова, 2001; Казеев и др., 2004; Вальков и др., 2008; Даденко и др., 2014).

Содержание активного углерода, которое отражает доступное для микроорганизмов лабильное органическое вещество, в почвах полей прямого посева ИП Мокрикова В. И. значительно выше (на 30–75%), чем в пахотных почвах соседних хозяйств (см. табл. 2).

В качестве характерной особенности почв полей NT1 и NT2, 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 NT обладали максимальными значениями в поверхностном слое, а далее вниз содержание существенно уменьшалось (см.

табл. 2), особенно это заметно на поле NT1, где содержание гумуса уменьшалось от 3,5% в поверхностном слое 0–10 см до 2,3% – в слое 20–30 см.

Для активного углерода отмечено еще более выраженное профильное убывание значений в почвах прямого посева по сравнению с пахотными почвами и даже с почвой эталонного участка.

В целинном участке памятника природы «Персиановская степь» профильное распределение биологических параметров типично для степных почв (Казеев и др., 2004; Даденко и др., 2014). Однако выявлены некоторые различия в степени дифференциации. Наибольшее уменьшение значений от поверхности до глубины 20–30 см отмечено для гумуса и активного углерода, активности инвертазы и уреазы, в меньшей степени – для активности фосфатазы и дегидрогеназ; для каталазы не выявлено уменьшения активности по глубине.

Длительное применение нулевой обработки в целом увеличило ферментативную активность в черноземе относительно контрольных пахотных полей на исследуемом участке, особенно на участке со смытыми черноземами. Наибольшее увеличение, как ранее уже было отмечено (Минникова и др., 2020; Федоренко и др., 2023), выявлено для активности инвертазы. Среди ферментов для разных участков выявлены различия в распределении активности по глубине пахотного горизонта в слое 0–30 см. В смытой почве участка № 1 при длительном использовании прямого посева наибольшая дифференциация активности инвертазы, уреазы происходит с максимумом в слое 0–10 см. Активность фосфатазы и дегидрогеназ дифференцирована по слоям независимо от способа применяемой обработки почв. В мощном черноземе плакорного участка № 2 дифференциация отмечена только для активности каталазы и уреазы, в меньшей степени – инвертазы. Для остальных ферментов 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 (Акименко и др., 2016; Завалин и др., 2018; Казеев и др., 2019, 2020; Поляков, Бакиров, 2020; Minnikova et al., 2022). Различия в свойствах между разными слоями чернозема отмечены ранее в засушливой зоне Ставропольского края (Есаулко и др., 2018). Такое распределение по профилю может служить индикатором – отличительной особенностью почв прямого посева. В результате соотношение между поверхностным слоем (0–10 см) и слоем 20–30 см приближается к соотношению в естественных почвах. Ранее (Белобров и др., 2023) установлено, что восьмилетнее применение прямого посева привело к изменениям даже устойчивых морфометрических параметров

типичных черноземов, однако выявленные изменения статистически не значимы и отражают устойчивость черноземов к вариабельности природных и антропогенных факторов почвообразования.

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 на пашне (табл. 3) (Mokrikov et al., 2019; Мокриков и др., 2020).

Таблица 3. Урожайность озимой пшеницы и подсолнечника (ц/га) в хозяйстве ИП Мокрикова В. И. в сравнении со средними показателями Октябрьского района Ростовской области

Объекты сравнения	Сельскохозяйственный год								
	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
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
Подсолнечник									
ИП Мокриков В.И.	22,0	25,0	22,0	31,0	31,0	30,0	21,0	30,0	18,6
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

\* – [www.don-agro.ru/index.php/apk/rastenievodstvo/operativnaya-informatsiya](http://www.don-agro.ru/index.php/apk/rastenievodstvo/operativnaya-informatsiya), [don-agro.ru/old/mcx.donland.ru/activity/30434/](http://don-agro.ru/old/mcx.donland.ru/activity/30434/)

### ВЛИЯНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ПРЯМОГО ПОСЕВА НА ФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ЧЕРНОЗЕМОВ РОСТОВСКОЙ ОБЛАСТИ

**Динамика количества осадков и температуры.** Среднемноголетнее количество осадков, по справочным данным, составляет 423 мм (Научно-прикладной справочник по климату СССР, 1990; Хрусталева и др., 2002). При этом ГТК Селянинова в 2015-м и 2017 гг. находился на уровне нормального увлажнения – 2,1 и 1,8 соответственно. Во влажном 2016 г. индекс ГТК составил 3,2. В целом по многолетней динамике (с 2015-го по 2018 г.) отмечают превышение нормы по осадкам только в 2016 г. Сумма положительных температур в сезоне 2017 г. составила 3200 °С и достоверно не отличалась от периодов 2016-го и 2015 гг. Средние температуры в сентябре на протяжении этих лет держатся в диапазоне 16–21 °С. Количество осадков, выпавших с мая по август, существенно разнится год от года, размах колебаний составляет от 49 мм в 2018 г. до 232 мм в 2023 г. Прошедший 2024 г. был еще более засушливым – всего 17 мм осадков за указанные месяцы (табл. 4).

Соответственно, урожайность основных сельскохозяйственных культур также изменяется (табл. 3).

Таблица 4. Количество осадков, выпавших за период вегетации озимой пшеницы на территории хозяйства ИП Мокрикова В.И., мм

Сельскохозяйственный год	Месяцы									
	сентябрь	октябрь	ноябрь	декабрь	январь	февраль	март	апрель	май	
2017–2018	27	41	43	77	45	45	28	0	20	
2018–2019	20	26	26	50	84	6	29	31	68	
2019–2020	16	22	22	16	23	89	0	11	44	
2020–2021	0	28	15	26	61	15	90	51	84	
2021–2022	41	3	48	108	47	50	19	43	12	
2022–2023	63	48	40	49	24	37	36	72	105	
2023–2024	61	46	108	57	75	73	7	5	0	

**Температура и влажность почв.** Температура почв при прямом посеве ниже, чем на пахотных участках. Влажность поверхностного слоя почвы весной была на высоком уровне на всех исследуемых полях (рис. 5). Исследования показали большее накопление влаги на полях с почвозащитной технологией прямого посева (Мокриков и др., 2017). Это особенно важно в период дефицита влаги после длительного отсутствия осадков. Понижение температуры и повышенная влажность почвы при прямом посеве обусловлены прежде всего наличием мульчирующего слоя растительных остатков, препятствующего испарению влаги из почвы.

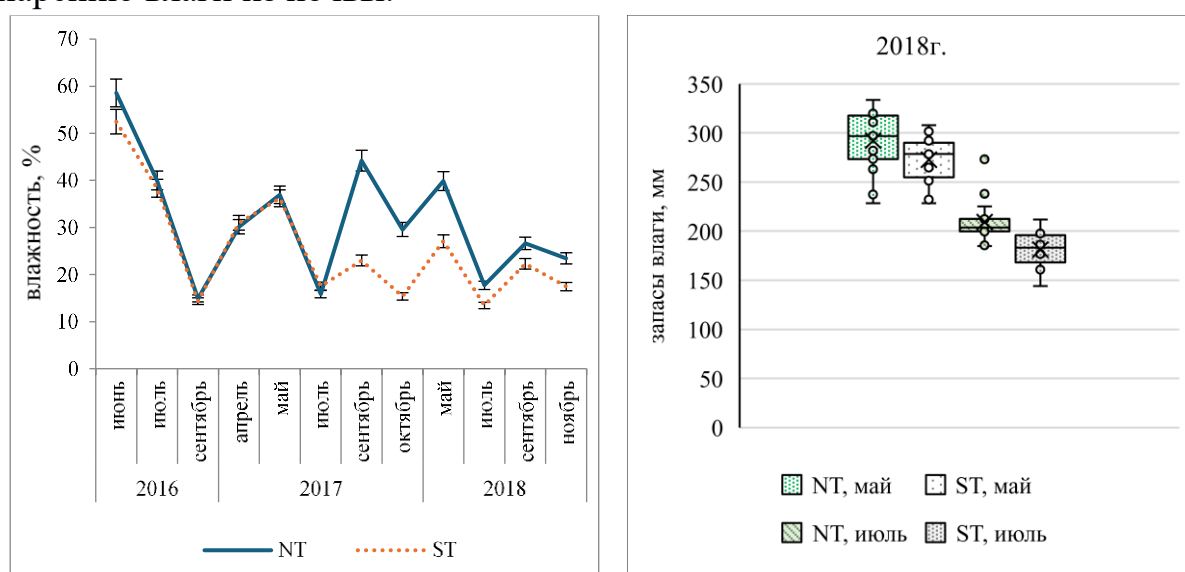


Рис. 5. Влажность почв при NT (слева), запасы влаги (справа), усредненные данные по 16 участкам, 2018 г.

**Плотность почв.** Почвы с NT в 2016 г. в значительном большинстве обладали оптимальными для растений параметрами плотности (рис. 6).

Чаще всего на полях с NT отмечена такая же плотность, как с ST, или незначительное повышение значений. Плотность поверхностного горизонта

почв во всех исследуемых вариантах не достигала критических отметок, способных затруднить рост корней и развитие растений.

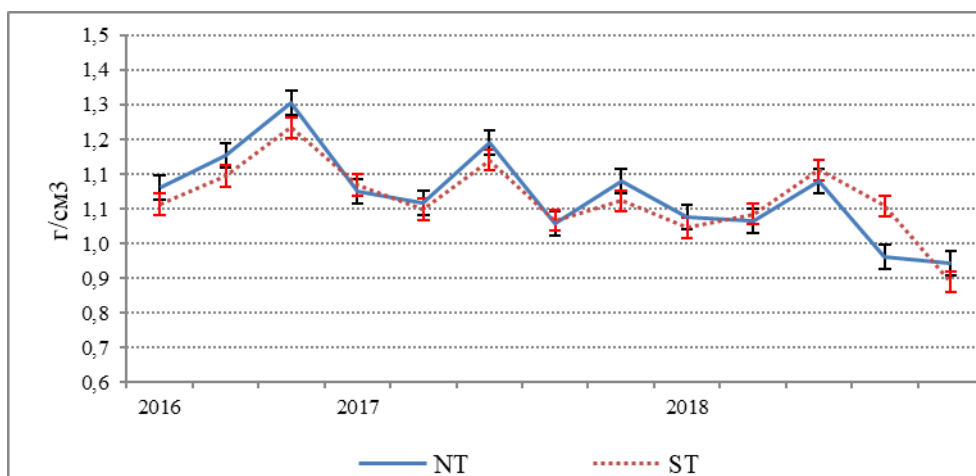


Рис. 6. Динамика плотности почв хозяйства ИП Мокрикова В. И. с разной обработкой, в среднем по всем участкам, 2016–2018 гг.

Это характерно для влажного сезона 2016 г., когда высокая влажность способствует разуплотнению структурных почв. Для плотности не было обнаружено зависимости от способа возделывания озимой пшеницы. Только в сентябре 2016 г. было отмечено увеличение плотности до  $1,3 \text{ г/см}^3$  независимо от обработки. Повышение плотности было связано с сезонным иссушением поверхностного слоя почвы в жаркий период года и уплотнением почв после сбора урожая. В 2017 г. не наблюдали достоверных отличий в плотности почв при всех способах обработки. В течение сезона плотность была одинаковой. В 2018 г., как и в мае и июле 2017 г., достоверных отличий от ST не выявлено. В сентябре на участках с прямым посевом наблюдали большую (на 12%) плотность почв по сравнению с ST.

Динамика изменения плотности поверхностного слоя почвы за трехлетний период выявила четкую зависимость от сезона года (см. рис. 6). Максимальные значения плотности отмечены в летние и осенние месяцы в условиях дефицита влаги. Во время высокой влажности плотность почвы характеризуется минимальными значениями независимо от способа обработки почвы.

Большую роль играет возделываемая культура: чаще всего на полях с пропашными культурами плотность почвы была выше, чем на полях с культурами сплошного сева, особенно с зерновыми (озимая пшеница и ячмень). В целом плотность почвы на пахотных полях была меньше, чем на полях NT, за счет механического турбирования почвы при вспашке и культивациях. Однако высокие значения в летние месяцы редко превышали  $1,3 \text{ г/см}^3$ . Но в отдельных случаях при длительной засухе в агроценозах пропашных культур плотность повышалась до  $1,4 \text{ г/см}^3$  и более.

**Изменение сопротивления пенетрации почв.** Выявлена значительная сезонная динамичность сопротивления пенетрации. В мае 2016 г. превышений по сопротивлению пенетрации не обнаружено при всех приемах обработки почвы (рис. 7).

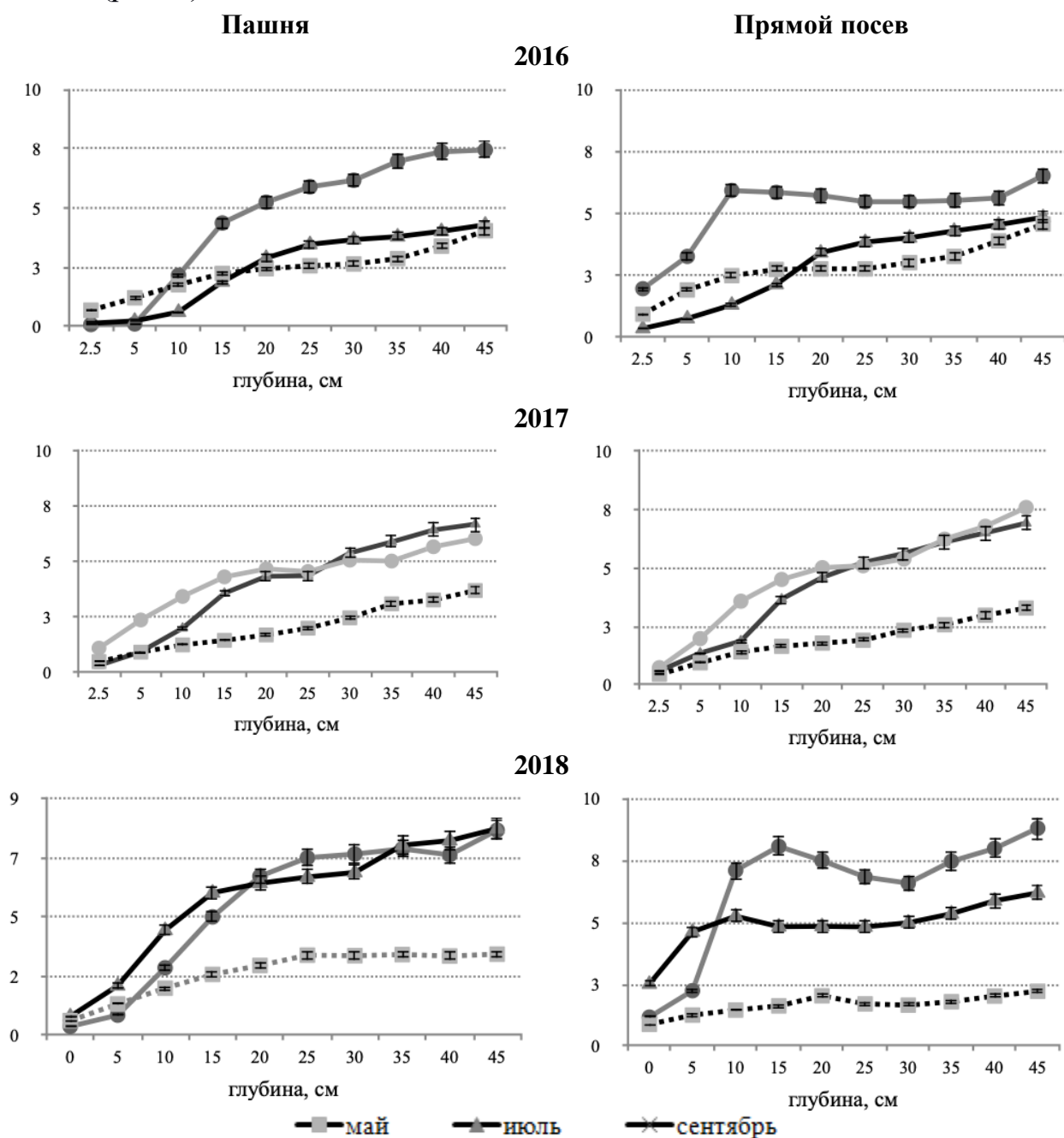


Рис. 7. Изменение сопротивления пенетрации почв участков с прямым посевом и традиционной технологией в сезонной динамике 2016–2018 гг., Мпа

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). Критическая твердость почвы, превышающая 5 МПа, отмечена в 27 из 50 определяемых значений показаний. В сентябре твердость

увеличилась как на участках с ST, так и на участках с NT. Верхние слои почв участков с ST на большинстве полей были разрыхлены в результате обработки (вспашки, боронования). Однако существенное переуплотнение на участках с NT наблюдали уже с поверхности, что помимо отсутствия перепахки связано с небольшим количеством осадков и высокой температурой воздуха.

Повышение сопротивления пенетрации достигло сверхвысоких значений 10–12 МПа. Весной 2017 г. не было выявлено переуплотнения почвы ни на одном из исследуемых участков (рис. 8).

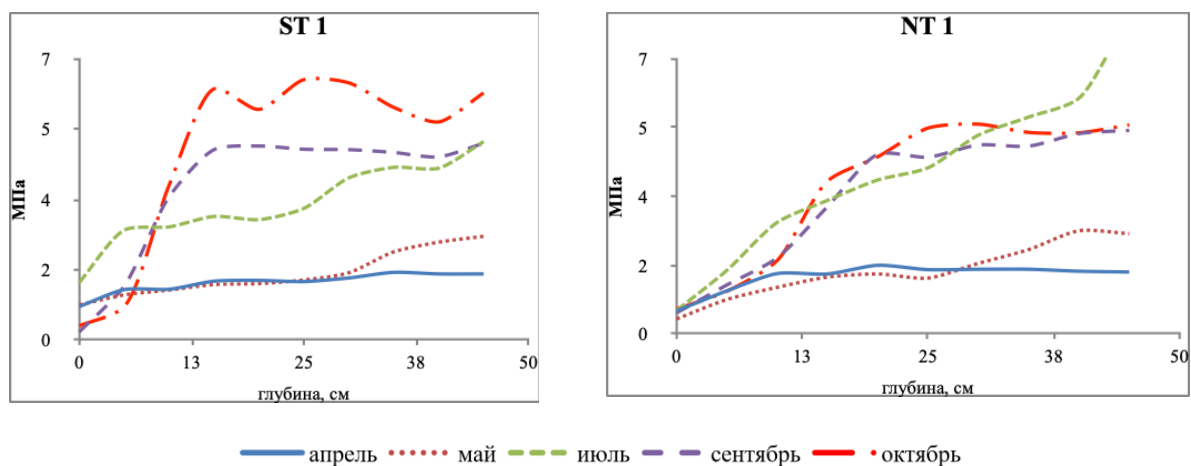


Рис. 8. Динамика сопротивления пенетрации почв мониторинговых площадок № 1 и № 2 хозяйства ИП Мокрикова В. И. в 2017 г.

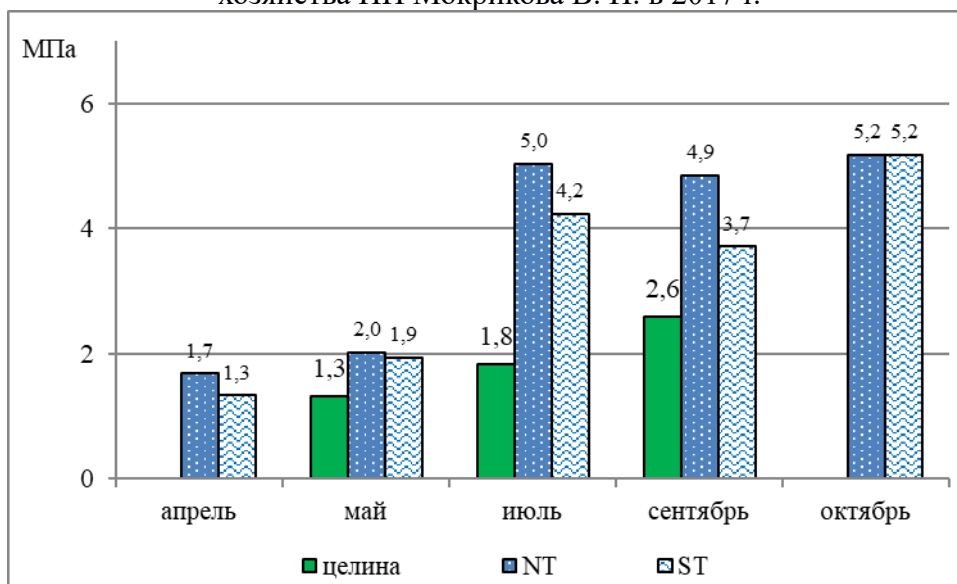


Рис. 9. Сопротивление пенетрации почв хозяйства ИП Мокрикова В. И. в 2017 г., обобщенные данные по всем полям в слое 0–50 см

Это связано с высокой степенью влажности почв в исследуемый период. Повышение значений сопротивления пенетрации в мае 2017 г. 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 (рис. 9). 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 2018 г. 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). Таким образом, по результатам трехлетних сезонных исследований сопротивления пенетрации установлено: наибольшее повышение твердости почвы бывает в июле – сентябре, в то время как весной почва разуплотняется (рис. 10).

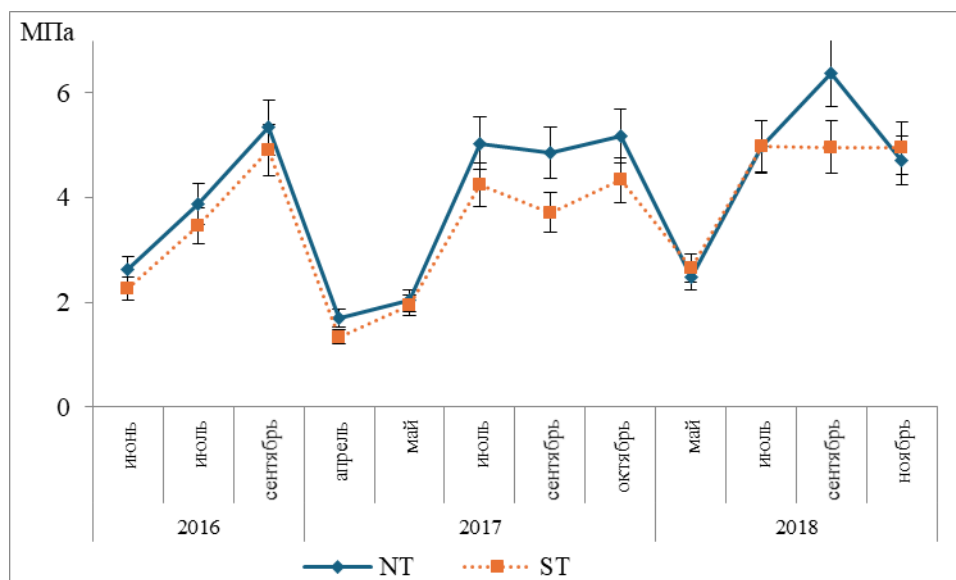


Рис. 10. Сопротивление пенетрации почв хозяйства ИП Мокрикова В. И., средние данные слоя 0–50 см за 2016–2018 гг.

Результаты исследований показали значительную зависимость исследуемого показателя от влажности почвы и глубины исследуемого слоя. 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. 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 низкие значения вследствие обработки 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 гг., чего не наблюдалось в 2016 г. (Мокриков и др., 2017; Kazeev et al., 2017).

**Структурно-агрегатное состояние.** Проведенные исследования на пяти участках с 10 полями показали, что структурный состав чернозема обыкновенного претерпевает изменения в течение вегетационного сезона. Можно отметить, что происходит уменьшение содержания глыб >10 мм, а количество пылеватой фракции <0,25 мм увеличивается. Данная закономерность характерна для всех участков исследования. При сравнении полей прямого посева с пахотными выявлено, что количество агрономически ценных агрегатов в слое 0–10 см в июле было выше на всех полях 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, 2003) агрономически ценная структура почв данных участков характеризуется как отличная, а на участке № Д11 в сентябре – как хорошая. 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).

#### **ИЗМЕНЕНИЕ СОДЕРЖАНИЯ И СОСТАВА ОРГАНИЧЕСКОГО ВЕЩЕСТВА ЧЕРНОЗЕМОВ ПРИАЗОВЬЯ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ПРЯМОГО ПОСЕВА**

**Содержание гумуса.** В период с 2007-го по 2024 г. Федеральным государственным бюджетным учреждением государственный центр агрохимической службы «Ростовский» проведено несколько туров обследования качества почв хозяйства 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 5.

Таблица 5. 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

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. 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), 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. 11). Суммарно после перехода на нулевую технологию в 2008 г. содержание гумуса увеличилось с 3,79% до 4,79%, что составило 26%.

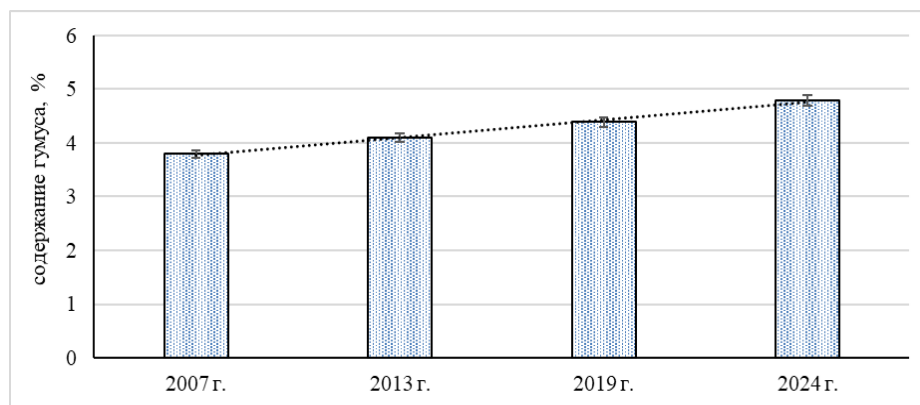


Рис. 11. Содержание гумуса в почвах (0–20 см) хозяйства ИП Мокрикова В. И. в 2007 – 2024 гг., по данным Агрохимцентра «Ростовский» (n=145–275)

Если же использовать медианные значения, содержание гумуса в поверхностном слое почвы (0–20 см) увеличилось в еще большей степени. Каждые 5–6 лет увеличение составляло 7–12% по сравнению с содержанием гумуса 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%. В то же время, по данным Агрохимцентра «Ростовский» и многочисленным литературным данным, содержание гумуса в черноземах Ростовской области неуклонно уменьшается (Вальков и др., 2011; Безуглова и др., 2011, 2013, 2020, 2022; Чернова и др., 2020; Безуглова, Назаренко, 2023). Нетипичное увеличение содержания гумуса в хозяйстве ИП Мокрикова В. И. привлекло внимание. Поэтому в 2016 г. начались подробные исследования содержания гумуса и его качественного состава почв хозяйства ИП Мокрикова В. И., 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. 12). В большинстве случаев изменения были либо недостоверны, либо незначительны. Хотя общая тенденция к повышенным значениям на полях прямого посева была отмечена в 2016 г.

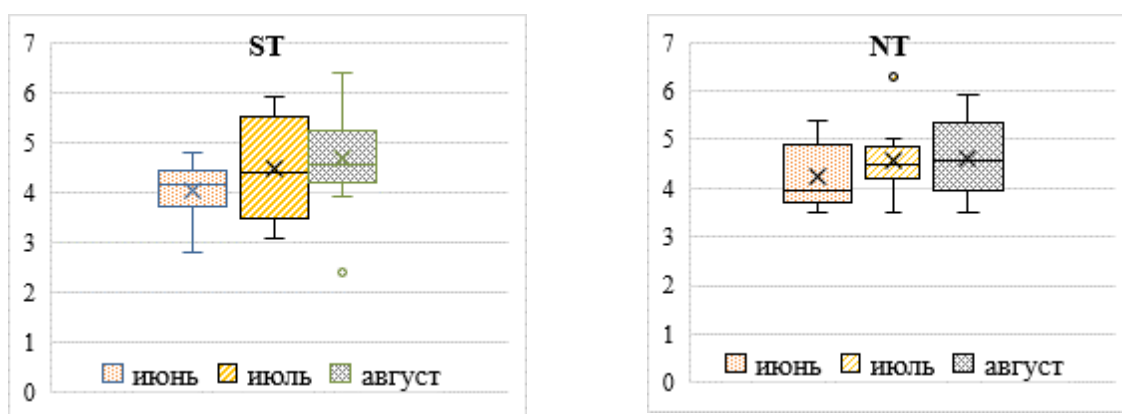


Рис. 12. Усредненное содержание гумуса (%) в верхнем слое (0–10 см) почв всех исследуемых участков хозяйства ИП Мокрикова В. И., 2016 г.

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. 13). С глубиной содержание гумуса уменьшается, что свойственно всем почвам 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.

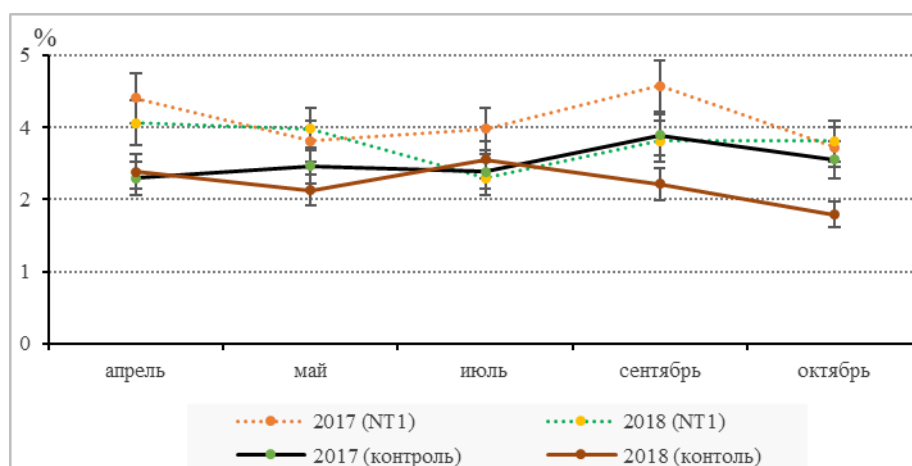


Рис. 13. Динамика сезонного изменения содержания гумуса на участке № 1 в 2017–2018 гг.

Влияние прямого посева при длительном использовании нулевой технологии обработки почвы 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. В результате здесь влияние прямого посева более выражено, чем на расположенном рядом выровненном участке № 2, где расположены более мощные и гумусированные черноземы (рис. 14).

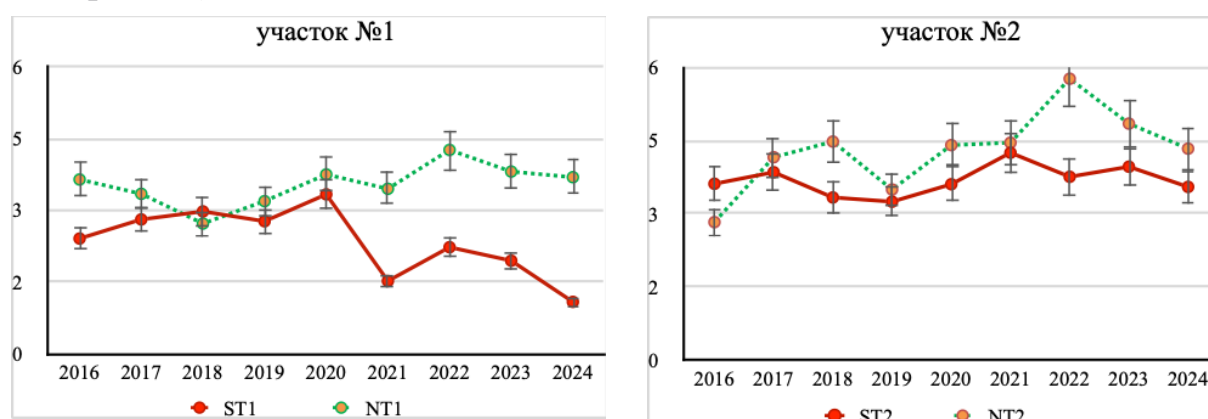


Рис. 14. Влияние прямого посева на содержание гумуса на мониторинговых участках №1 и №2 хозяйства ИП Мокрикова В. И., 2016–2024 гг.

**Фракционно-групповой состав органического вещества.** Анализ группового состава гумуса показал преобладание гуминовых кислот, содержание которых в вариантах с NT составило 32–50%, а при ST – 28–41%. В группе фульвокислот преобладающая доля соответствует ФК-III – 11–21%. В группе

гуминовых кислот участков с NT преобладали гуминовые кислоты ГК-II, связанные с кальцием, – 18–32%, и ГК-III, связанные с устойчивыми полуторными оксидами и глинистыми минералами, – 12–18%. Причем наибольший процент как гуминовых, так и фульвокислот в почвах с NT и ST наблюдали в июле. Максимальное содержание гуминовых и фульвокислот в этот период обусловлено процессами минерализации органического вещества.

**Изменение содержания активного углерода.** По содержанию активного углерода все исследованные участки, включая участки с ST, можно отнести к группе с очень низким содержанием подвижного углерода (Comprehensive assessment of soil health, 2016). Активный углерод исследуемых почв с NT показал достаточно широкий диапазон варьирования: от 846–953 в мае, июле до 128–182 мг С/кг почвы в сентябре, октябре. Причем на большинстве участков максимальные значения данного показателя наблюдали в периоды активной вегетации в мае и июле вследствие повышения корневой массы растений и выделения ими экссудатов, богатых органическими веществами. Содержание активного углерода зависит от выращиваемой сельскохозяйственной культуры.

По содержанию активного углерода в 2018 г. видно, что одинаковые посеы озимой пшеницы в 2017 г. выравнивают содержание активного углерода в течение всего вегетационного сезона. При этом обнаружили высокое содержание активного углерода на протяжении всего 2018 г. как при NT (518–953 мг С/кг почвы), так и при ST (514–1211 мг С/кг почвы).

### **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 (Minnikova et al., 2022), почвы которых обрабатывают по стандартной технологии отвальной вспашки (ST) и по нулевой (NT), а также целинные почвы (VS). 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 пять лет были проанализированы сотни образцов с более чем 40 полей по профилю в 3-5-кратной аналитической повторяемости.

## **Содержание органического углерода в целинных черноземах**

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 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. 15). 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.

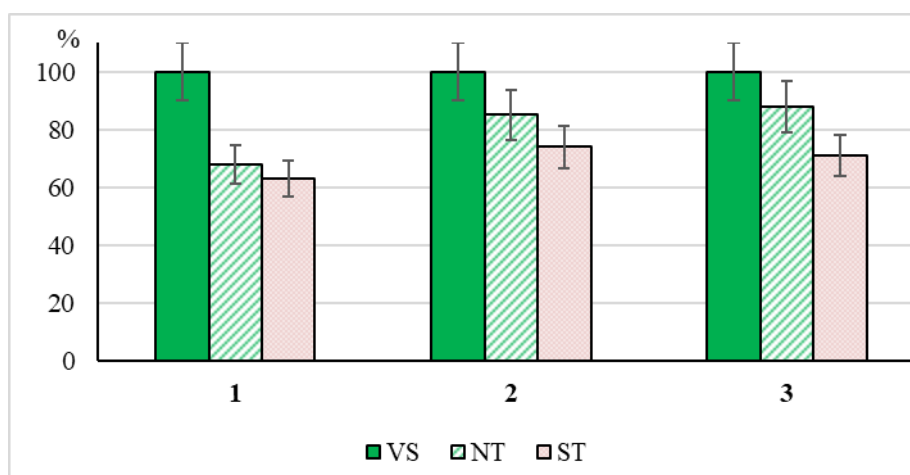


Рис. 15. Оценка устойчивости содержания гумуса при использовании разных технологий, в % от содержания в целинных черноземах (VS)

### 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  $39 \cdot 10^9$  т 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, что с учетом 5,7 млн/га площади пахотных земель данного региона приведет к депонированию  $5,14 \cdot 10^{12}$  г углерода. Наряду с уменьшением использования топлива это будет благоприятствовать 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 (Байбеков, 2018), секвестрирует эмиссию  $\text{CO}_2$  в атмосферу согласно инициативе международного почвенного сообщества «4 промилле».

## **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) 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 г. (1-й год исследования). Установлено, что NT снижает активность амилазы более чем на 30%, но стимулирует активность инвертазы на 10%. При этом в 2017-м и 2018 гг. (2-й и 3-й год 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 наиболее чувствительной к изменению технологии обработки почвы является инвертаза. Активность инвертазы как фермента углеродного цикла зависит от содержания углерода в почве и доступности его форм (рис. 16). 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 контроля (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%, по сравнению с ST.

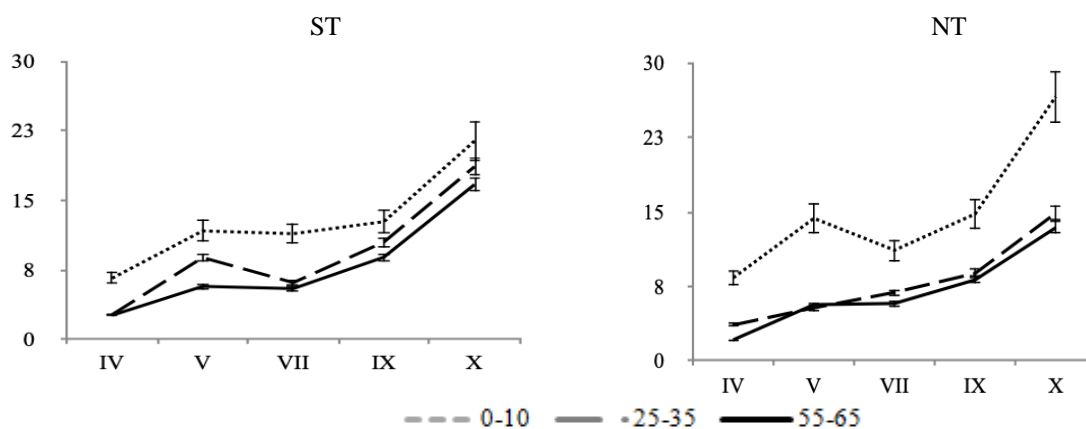


Рис. 16. Активность инвертазы при разных технологиях, мг глюкозы / г / 24 часа

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 показали существенное изменение активности ферментов, особенно для дегидрогеназ, которые, однако, в течение одного сезона достаточно стабильны (рис. 17).

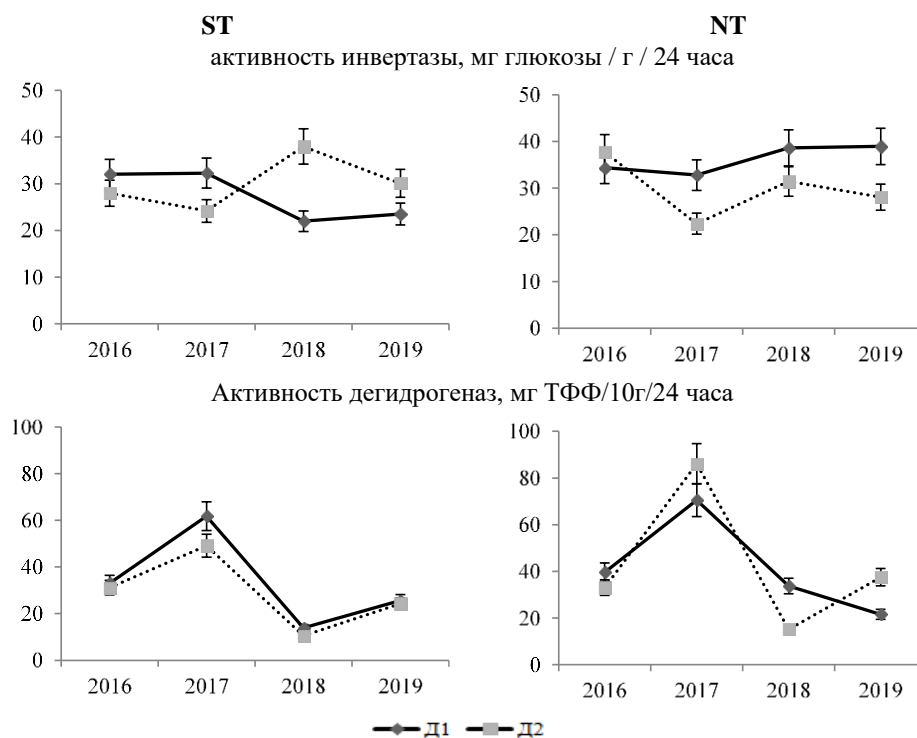


Рис. 17. Изменение активности инвертазы и дегидрогеназ в 2016–2019 гг.

Вместе с тем 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 наблюдалось 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 в среднем за три года было выявлено, что NT оказывала 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-м и 2018 г. соответственно.

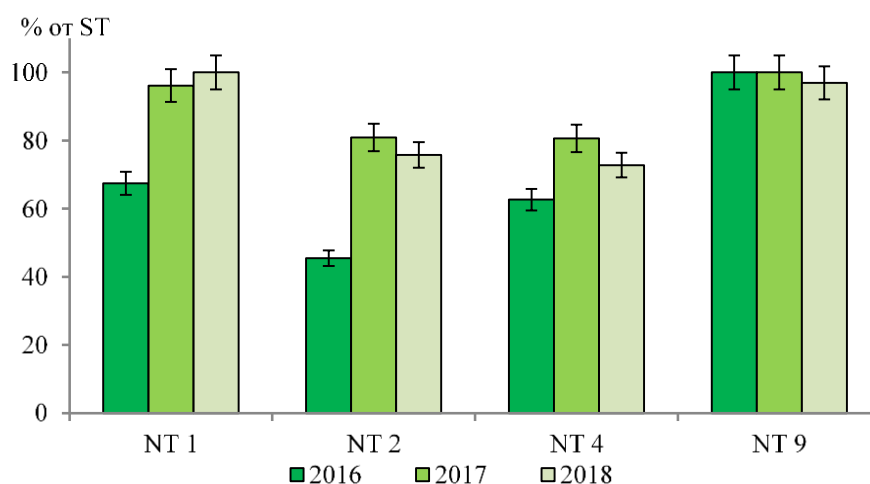


Рис. 18. ИПБС почв с NT (участки NT 1, NT 2, NT 4, NT 9), % от ST

Интегральный показатель биологического состояния почв за 2016–2018 гг. в почвах NT возрастал на 18–35% (рис. 18). 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.

### **ВЛИЯНИЕ ПРЯМОГО ПОСЕВА НА МИКРОБОЦЕНОЗЫ ЧЕРНОЗЕМОВ ОБЫКНОВЕННЫХ**

Использование микробиологических показателей в биодиагностике экологического состояния почв хозяйства ИП Мокрикова В. И. проведено в 2016–2018 гг. Огромный массив данных этих исследований был обобщен в ряде научных работ с участием автора (Акименко и др., 2016; Минникова и др., 2017; Мокриков и др., 2017, 2024; Казеев и др., 2018, 2022). Под влиянием разных технологий изменяются количество и соотношение основных экологотрофических групп микроорганизмов в разные сроки исследований. На большинстве полей NT обилие бактерий и грибов в верхнем слое 0–10 см превышает таковое на пахотных полях во всех сроках исследования. Наименьшее варьирование микробиологических показателей и достоверная разница между ними в почвах отмечены в апреле, июле и ноябре. Численность бактерий-аммонификаторов в слое 0–10 см на 10–50% выше на NT по сравнению с ST на всех сроках исследований, что связано и с отсутствием механической обработки почвы, и с использованием лучшей агротехники. При NT снижение численности бактерий по профилю более резкое, тогда как на полях ST статистически достоверной разницы в численности бактерий в слое 0–10 и 10–20 см не наблюдается, что связано с турбированием этих слоев. Разница в численности аммонификаторов в слоях 10–20 и 20–30 см менее выражена, в слое 30–50 см наблюдали заметно резкое их снижение.

В среднем на полях NT обилие микробиоты выше на 10–50% по сравнению с полями ST, особенно в верхнем слое. Разница в обилии грибов связана с занятостью полей различными сельскохозяйственными культурами. Анализ результатов общей численности бактерий, определенной методом люминесцентной микроскопии, показал, что на всех исследуемых полях численность бактерий в верхнем слое не превышает 8 млрд/г. Общая численность бактерий верхнего слоя большинства полей NT выше на 20–50%, чем на полях ST.

Динамика изменения общей численности бактерий по срокам определения носит волнообразный характер. Данные колебания численности, скорее всего, связаны со складывающимися гидротермическими условиями и внутренними особенностями микробоценозов. Наименьшая численность бактерий большинства контрольных и опытных полей наблюдается в ноябре. Максимальная численность бактерий выявлена в мае. В жарком и сухом июле общая

численность бактерий в слое 0–10 см оказалась меньше, чем в апреле, что, скорее всего, связано с высокими температурами июля 2018 г., когда, по данным пирометра, температура поверхности почвы могла достигать 60–70 °С. Однако даже при таких высоких температурах поверхности почвы обнаруживается большее количество бактерий в слое 0–10 см полей NT, нежели пахотных, что свидетельствует о более благоприятных условиях для функционирования почвенного микробоценоза в экстремально засушливых условиях. Отмечено профильное снижение общей численности бактерий независимо от способов обработки почвы.

В 2016–2018 гг. выявлено благоприятное воздействие NT на нитрификацию при выращивании льна, ячменя и озимой пшеницы (Минникова и др., 2017; Мокриков и др., 2017; Казеев и др., 2018). Значения нитрификации при использовании технологии NT выше для посевов льна и ячменя в 2–3 раза по сравнению с традиционной технологией.

#### **ВЛИЯНИЕ ПРЯМОГО ПОСЕВА НА БИОТУ И БИОЛОГИЧЕСКУЮ АКТИВНОСТЬ ЧЕРНОЗЕМОВ ЮЖНЫХ**

Исследования выполнены в Сальском районе Ростовской области и Ипатовском районе Ставропольского края (табл. 6). Почвы исследуемой территории – черноземы южные карбонатные среднеспонные тяжелосуглинистые на желто-бурых тяжелых карбонатных суглинках (агрочерноземы текстурно-карбонатные). Агроценозы Сальского района Ростовской области расположены на территории хозяйства «Агро-Мичуринское», где с 2011 г. обрабатываются по технологии NT. ST применяют в соседнем хозяйстве на участке № С5, расположенном в непосредственной близости от полей NT. В качестве контроля исследовали соседний залежный участок с разнотравно-типчаково-ковыльной растительностью. Поля в Ипатовском районе Ставропольского края, занятые озимой пшеницей, обрабатывают по традиционной технологии

Таблица 6. Исследуемые участки черноземов южных

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	–
Ставропольский край, Ипатовский р-он, 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

Установлены благоприятные значения тепла и влаги в исследуемый период. Выявлено преимущество NT над ST по этим показателям. Почвы с пропашными культурами № С1 и № С2 характеризуются повышенными значениями плотности почв – около 1,3 г/см<sup>3</sup>. Озимая пшеница способствует снижению плотности почв до уровня чуть ниже 1,2 г/см<sup>3</sup>. Такие же значения обнаружены в почве контрольного участка № С6 под естественной растительностью. Минимальные значения зафиксированы на поле с горохом.

Коэффициент структурности всех исследуемых образцов был на отличном уровне ( $K_s = 1,6-4,5$ ), что свидетельствует о хороших агрофизических свойствах черноземов исследуемых полей. Водопрочность агрегатов исследуемых почв варьировала значительно сильнее в зависимости от почвенных свойств участков. В целом на обрабатываемых полях значения водопрочности агрегатов были на хорошем и отличном уровнях. Водопрочность почв NT была значительно выше, чем на поле № С5 с ST. Это свидетельствует о большей устойчивости структурных отдельностей при использовании почвозащитной технологии No-Till.

Ввиду высокой влажности всех исследуемых почв полученные значения сопротивления пенетрации в поверхностном слое были на низком уровне (рис. 19).

Коэффициент корреляции показал тесную обратную связь между влажностью почвы и сопротивлением пенетрации ( $R = -0,90$ ). Кроме влажности, видимо, высокую роль имеет и выращиваемая культура. Плужной подошвы ни на одном из исследуемых полей не было обнаружено. Результаты измерения сопротивления пенетрации плавно нарастают вниз по профилю.

Максимальное обилие дождевых червей отмечено на участке № С2 с посевом кукурузы (1216 экз./м<sup>2</sup>).

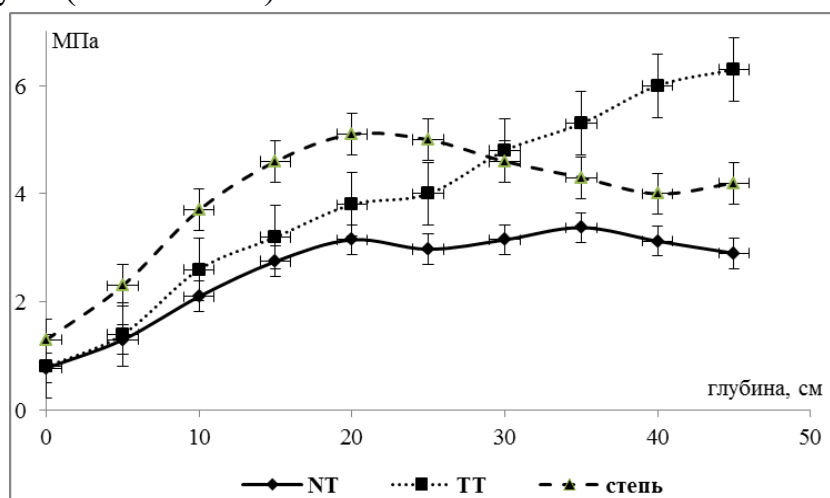


Рис. 19. Сопротивление пенетрации почв, МПа, 2017 г.

В три раза меньшая численность дождевых червей зафиксирована на поле № С1 с посевом подсолнечника. Значительно меньше дождевых червей найдено в почвах агроценозов № С3 и № С4. Причиной этого служит меньшая влажность почв на этих полях. Коэффициент корреляции численности червей и влажности почв составляет 0,82. С температурой почв численность червей связана значительно меньше ( $R = 0,41$ ). 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. Максимальное биоразнообразие отмечено на участке № С1, минимальное – на участке № С3. Разнообразие и обилие почвенной фауны на полях с NT было выше, чем в почве с ST. Положительное влияние на почвенную мезофауну NT установили и другие исследователи (Bedano et al., 2016). Почвенная мезофауна агроценозов в Ставропольском крае отмечена на меньшем уровне обилия и биоразнообразия, чем в агроценозах Ростовской области. Возможной причиной является меньшая влажность почвы. Численность дождевых червей была на минимальном уровне: от 16 экз./м<sup>2</sup> на поле № Ст1 до 48 экз./м<sup>2</sup> на полях № Ст2 и № Ст3. Численность дождевых червей в целом соответствует таковой на поле озимой пшеницы № С4 Сальского района Ростовской области.

В Сальском районе Ростовской области установлена высокая интенсивность продуцирования почвой углекислого газа (рис. 20).

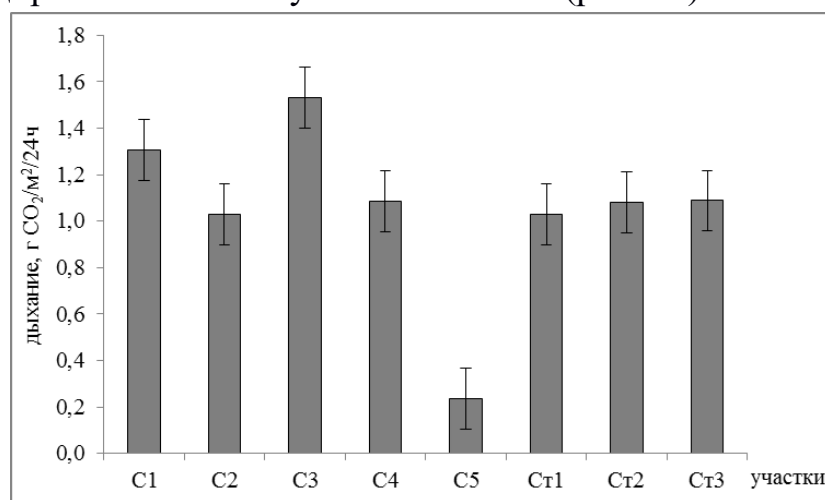


Рис. 20. Интенсивность выделения углекислого газа почвами агроценозов, г С-СО<sub>2</sub>/м<sup>2</sup>/24 ч (номера участков – в таблице 7)

Повышенная интенсивность эмиссии углекислого газа отмечена при использовании NT по сравнению с ST, где значения показателя ниже в 4,3–6,5 раза. Выделение СО<sub>2</sub> было максимальным на участке № С3 с посевом гороха. Интенсивность почвенного дыхания была слабо связана плотностью и сопротивлением пенетрации, но зависела от гидротермических свойств: от температуры почвы ( $R = 0,56$ ) и содержания в почве влаги ( $R = 0,79$ ). Повышенная

эмиссия CO<sub>2</sub> в агроценозах NT связана с формированием мульчирующего слоя на ее поверхности из большого количества органических остатков предыдущей культуры. Разложение этих остатков приводит к активизации микрофлоры и повышению интенсивности дыхания почв (Минникова и др., 2017; Есаулко и др., 2018; Мокриков и др., 2018).

Интенсивность эмиссии углекислого газа почвами Ставропольского края была на среднем уровне. Для такого динамичного показателя значения интенсивности дыхания совпали на всех исследуемых полях, что связано с выращиванием на всех полях одной культуры, находящейся в одной фазе развития.

Содержание общего гумуса в исследуемых почвах низкое (рис. 21), что типично для черноземов южных исследуемой территории (Вальков и др., 2008).

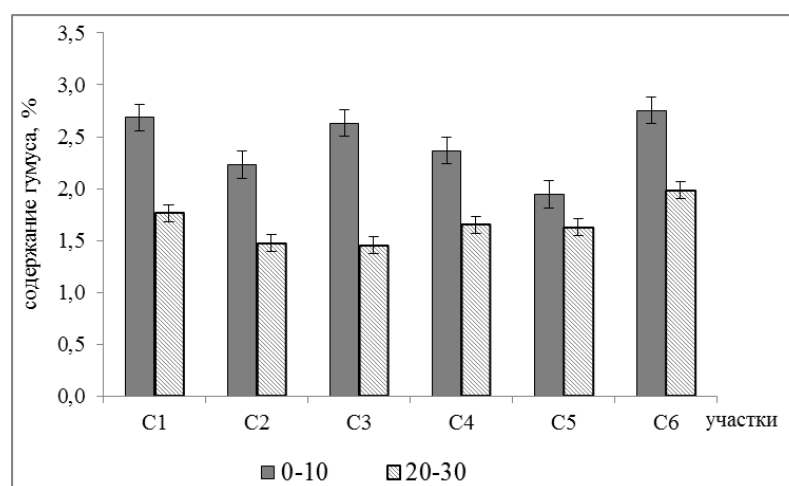


Рис. 21. Содержание гумуса в черноземах южных Ростовской области при разном землепользовании (номера участков – в таблице 7)

Минимальные значения содержания гумуса обнаружены в почве участка № С5 с СТ, которая интенсифицирует минерализацию органического вещества вследствие регулярного турбирования, которое повышает аэрацию почвы. В почвах соседних полей NT содержание гумуса было выше на 6–38%. Выявлена и более существенная дифференциация содержания гумуса по профилю, что свидетельствует о начавшейся дифференциации бывшего пахотного горизонта. Распределение содержания гумуса в почвах агроценозов с No-Till приближается к распределению в почве с естественной растительностью. Выявлены статистически значимые различия в содержании гумуса в почвах агроценозов с разной обработкой. В почвах, обрабатываемых по технологии NT, содержание гумуса в среднем составляет 2,5%, что выше, чем в почвах, обрабатываемых по традиционной технологии, где оно в среднем составляет 2,1% ( $p < 0,05$ ).

В почвах Сальского района Ростовской области обнаружена высокая активность ферментов, свидетельствующая об интенсивности биологических

процессов. Это характерно для большинства черноземов юга России (Казеев и др., 2004, 2024). Активность каталазы и дегидрогеназ находится на богатом и очень богатом уровнях (рис. 22). 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 (Казадаев и др., 2004; Казеев и др., 2005; Даденко и др., 2013).

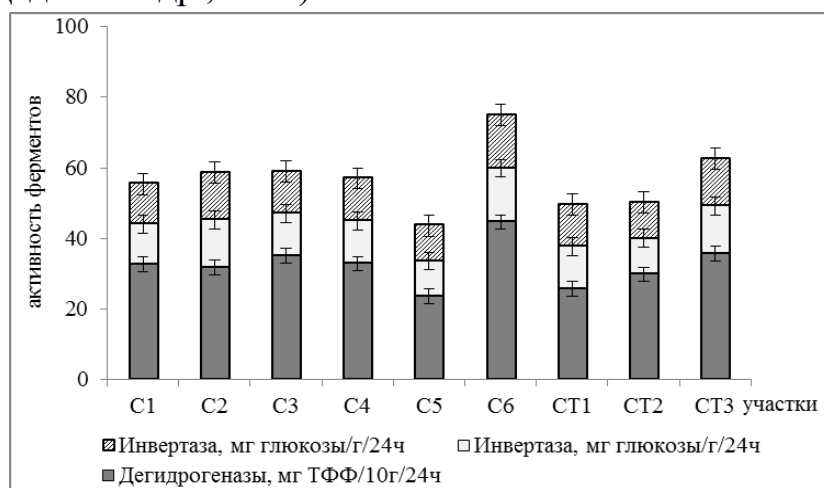


Рис. 22. Ферментативная активность черноземов южных разного землепользования (номера участков – в таблице 13)

Была выявлена повышенная активность дегидрогеназ и инвертазы в поверхностном слое почв NT, что 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 полей NT была незначительно повышена в нижнем слое по сравнению с поверхностным слоем. Активность каталазы находится в обратной зависимости от влажности почвы ( $R = -0,77$ ). Об отрицательной связи этих показателей сообщалось и ранее (Галстян, 1974; Казеев, Кузнецова, 2010). Активность инвертазы и дегидрогеназ при использовании NT была на 30–50% выше, чем в почве с ST. Аналогичные результаты повышения ферментативной активности при использовании NT по сравнению со вспашкой получены другими исследователями (Van den Bossche, 2007; Raiesi, Kabiri, 2016).

Ферментативная активность почв Ставропольского края сходна с таковой в почвах Сальского района Ростовской области. Отмечена высокая активность каталазы и дегидрогеназ и низкая активность инвертазы (см. рис. 22).

Численность бактерий по шкалам Д. Г. Звягинцева (1978) в черноземах Сальского района 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.

## РЕКОМЕНДАЦИИ ПРИ ПЕРЕХОДЕ И ДАЛЬНЕЙШЕЙ РАБОТЕ ПО ТЕХНОЛОГИИ ПРЯМОГО ПОСЕВА (NO-TILL)

Подробные рекомендации даны в диссертации и отдельно в брошюре (Мокриков, 2024). В автореферате приведен сокращенный вариант.

Возделывание полевых культур по технологии прямого посева осуществляется без обработки почвы. При выборе сеялки для посева без обработки почвы стоит обратить внимание на физико-механические свойства почвы. Одно из важных свойств, на которое следует обратить внимание, – липкость почв. 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). Особенно сильно почва налипает на рабочие органы сеялок при посеве ранней весной, что отрицательно сказывается на качестве посева. Нами были произведены примерные расчеты площади контакта с почвой существующих доступных для потребителя посевных комбинаций, устанавливаемых на сеялках для прямого посева. Установлено, что посевные комплексы (сеялки) с анкерным (долотообразным) рабочим органом (сошником) имеют меньшую площадь соприкосновения с почвой. Поэтому применение сеялок с такими рабочими органами (сошниками) при посеве ранней весной предпочтительнее, особенно на глинистых почвах. Осенью, когда в почве отсутствует влага или почва физически спелая, хорошее качество посева обеспечивают дисковые сеялки.

Севооборот, как один из главных аспектов успешного внедрения технологии прямого посева, 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 осуществления 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 (Баздырев и др., 2000). Примерный набор культур, который можно рекомендовать хозяйствам степной зоны Ростовской области для выращивания по технологии прямого посева, следующий: озимая пшеница, озимый ячмень, бобовые (горох, нут, чечевица, соя), лен, кориандр, крестоцветные (рапс, горчица, рыжик), подсолнечник, кукуруза, гречиха, люцерна, пырей.

Наибольшая часть технологических операций по выращиванию полевых культур в системе прямого посева приходится на уходные работы, а точнее, на внесение жидких удобрений, пестицидов, стимуляторов 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. 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). 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. Загрязнения пестицидами при этом не выявлено ни в почве, ни в продукции.

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 (КАС) и комплексные (ЖКУ) удобрения. Комбайны для уборки полевых культур необходимо оборудовать приспособлениями, обеспечивающими равномерное распределение пожнивных остатков сельскохозяйственных культур на ширину захвата жатки.

## 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 видами выращиваемых культур, 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  $\beta$ -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 видами выращиваемых сельскохозяйственных культур. Применение прямого посева способствует повышению структурности почв и водопрочности агрегатов. В поверхностном слое почвы с минимальной обработкой характеризуются 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, что 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, и 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 видами выращиваемых культур. При технологии нулевой обработки отмечена большая дифференциация бактерий по профилю почв с максимумом у поверхности. В среднем обилие микровицетов 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 активность 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.

## **ПУБЛИКАЦИИ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ**

**Статьи в научных изданиях, входящих в Перечень ВАК по специальности**

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

1. Изменение биологических свойств чернозёма обыкновенного при разной длительности применения нулевой технологии в условиях Ростовской области / Г. В. Мокриков, А. Н. Федоренко, А. С. Собина, К. Ш. Казеев, О. Л. Кибалюк, А. В. Гринько, Р. Ф. Байбеков // Земледелие. – 2024. – № 7. – С. 3–8. – DOI 10.24412/0044-3913-2024-7-3-8. (RSCI, K1).
2. Влияние минеральных удобрений на биологическую активность почв при использовании технологии прямого посева / А. Н. Федоренко, Г. В. Мокриков, К. Ш. Казеев, М. С. Нижельский, В. В. Вилкова, С. И. Колесников // Агрохимия. – 2024. – № 3. – С. 14-22. DOI 10.31857/S0002188124030023. (RSCI, K1).

3. Оценка влияния покровных культур на биологическую активность черноземов при использовании технологии прямого посева / А. Н. Федоренко, Г. В. Мокриков, К. Ш. Казеев, А. А. Гобарова, Ю. С. Козунь, С. И. Колесников // *Земледелие*. – 2023. – № 1. – С. 23–26. – DOI 10.24412/0044-3913-2023-1-23-27. (RSCI, K1).
4. Влияние сельскохозяйственных культур на ферментативную активность черноземов Ростовской области при использовании различных агротехнологий / Т. В. Минникова, Г. В. Мокриков, К. Ш. Казеев, С. И. Колесников // *Агрохимия*. – 2020. – № 10. – С. 20–27. – DOI 10.31857/S0002188120100051. (RSCI, K1).
5. Изменение содержания и состава органического вещества черноземов Приазовья при использовании технологии прямого посева / Г. В. Мокриков, Т. В. Минникова, М. А. Мясникова, К. Ш. Казеев, С. И. Колесников // *Агрохимия*. – 2020. – № 1. – С. 18–24. – DOI 10.31857/S0002188120010093. (RSCI, K1).
6. Влияние технологии No-Till на экологическое состояние черноземов южных Ростовской области / К. Ш. Казеев, Г. В. Мокриков, Ю. В. Акименко, М. А. Мясникова, С. И. Колесников // *Достижения науки и техники АПК*. – 2020. – Т. 34, № 1. – С. 7–11. – DOI 10.24411/0235-2451-2020-10101. (RSCI, K2).
7. Влияние прямого посева озимой пшеницы на содержание в черноземе элементов питания / Т. В. Минникова, Н. Е. Кравцова, Г. В. Мокриков, К. Ш. Казеев, С. И. Колесников // *Агрохимия*. – 2019. – № 10. – С. 64–71. – DOI 10.1134/S0002188119100119. (RSCI, K1).
8. Влияние приемов обработки почв на динамику содержания элементов питания в черноземах обыкновенных Ростовской области / Н. Е. Кравцова, Г. В. Мокриков, К. Ш. Казеев, Т. В. Минникова, С. И. Колесников // *Агрохимический вестник*. – 2019. – № 1. – С. 33–36. – DOI 10.24411/0235-2516-2019-10008. (RSCI, K1).
9. Влияние технологии прямого посева на почвенную мезофауну, дыхание и ферментативную активность черноземов южных / Г. В. Мокриков, К. Ш. Казеев, М. А. Мясникова, Ю. В. Акименко, С. И. Колесников // *Агрохимический вестник*. – 2019. – № 5. – С. 31–36. – DOI 10.24411/0235-2516-2019-10071. (RSCI, K1).
10. Сравнительное исследование активности каталазы и  $\beta$ -фруктофуранозидазы в черноземах при длительном использовании почвосберегающей технологии прямого посева / Т. В. Минникова, Г. В. Мокриков, К. Ш. Казеев, М. А. Мясникова, С. И. Колесников // *Проблемы агрохимии и экологии*. – 2019. – № 4. – С. 67–74. – DOI 10.26178/AE.2019.77.92.007 (K2).
11. Оценка воздействия технологии прямого посева на физические свойства черноземов Ростовской области / К. Ш. Казеев, Т. В. Минникова, М. А. Мясникова [и др.] // *Агрофизика*. – 2019. – № 2. – С. 15–24. – DOI 10.25695/AGRPH.2019.02.03. (RSCI, K1).
12. Оценка зависимостей между гидротермическими показателями и ферментативной активностью черноземов Ростовской области при использовании различных агротехнологий / Т. В. Минникова, Г. В. Мокриков, К. Ш. Казеев [и др.] // *Агрофизика*. – 2018. – № 1. – С. 9–17. – DOI 10.25695/AGRPH.2018.01.02. (RSCI, K1).
13. Плодородие почвы: настоящее и будущее нашего земледелия / Н. А. Зеленский, Г. М. Зеленская, Г. В. Мокриков, А. Ю. Шуркин // *Земледелие*. – 2018. – № 5. – С. 4–7. – DOI 10.24411/0044-3913-2018-10501. (RSCI, K1).

14. Влияние технологии No-Till на нитрифицирующую активность черноземов Ростовской области / Т. В. Минникова, Г. В. Мокриков, К. Ш. Казеев, Ю. В. Акименко, С. И. Колесников // *Агрохимия*. – 2017. – № 9. – С. 33–38. – DOI 10.7868/S0002188117090034. (RSCI, K1).
15. Оценка фитопатологической характеристики семян зерновых колосовых культур в Ростовской области / Г. А. Бакалова, Г. М. Зеленская, В. Е. Зинченко [и др.] // *Зерновое хозяйство России*. – 2012. – № 6. – С. 55–59. (K1).
16. Продуктивность сортов подсолнечника в бинарных посевах / Н. А. Зеленский, А. П. Авдеенко, И. Н. Шестов, Г. В. Мокриков // *Земледелие*. – 2009. – № 8. – С. 18-19. (RSCI, K1).

#### **Статьи в научных изданиях, входящих в Scopus, Web of Science**

17. The Influence of Multi-Species Cover Crops on the Biological Activity of Soils in Conditions of No-Till / G. Mokrikov, A. Fedorenko, V. D. Rajput, A. Barakhov, V. Rogaleva, V. Vilkova, M. Nizhelsky, J. Kozun, A. Chauhan, K. Kazeev // *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*. – 2025. – Vol. 25, No 2. – P. 4454–4464. – DOI 10.1007/s42729-025-02408-w. (Q1, K1).
18. Soil Organic Carbon Dynamics in Response to Tillage Practices in the Steppe Zone of Southern Russia / T. V. Minnikova, K. Sh. Kazeev, A. M. Medvedeva [et al.] // *Processes*. – 2022. – Vol. 10, No. 2. – Art. No. 244. – DOI 10.3390/pr10020244. (Q2, K1).
19. Use of soil enzyme activity in assessing the effect of No-Till in the South of Russia / G. Mokrikov, T. Minnikova, K. Kazeev, S. Kolesnikov // *Agronomy Research*. – 2021. – Vol. 19, № 1. – P. 171–184. – DOI 10.15159/AR.20.240. (Q3, K1).
20. Influence of precipitation and moisture reserves on the yield of crops under different tillage / G. Mokrikov, T. Minnikova, K. Kazeev, S. Kolesnikov // *Agronomy Research*. – 2019. – Vol. 17, № 6. – P. 2350–2358. – DOI 10.15159/AR.19.202. (Q3, K1).

#### **Другие статьи в научных изданиях, входящих в Перечень ВАК**

21. Азотный режим чернозёма обыкновенного под нутом при внесении жидких минеральных удобрений в системе No-Till / В. А. Ерин, О. А. Бирюкова, К. Ш. Казеев, Г. В. Мокриков // *АгроЭкоИнфо*. – 2024. – № 3(63). – DOI 10.51419/202143303. – Режим доступа: [https://agroecoinfo.ru/STATYI/2024/3/st\\_303.pdf](https://agroecoinfo.ru/STATYI/2024/3/st_303.pdf) (дата обращения 30.07.2025). – (K3).
22. Особенности применения технологии прямого посева в агроценозах Ростовской области / Г. В. Мокриков, К. Ш. Казеев, Т. В. Минникова, С. И. Колесников // *АгроЭкоИнфо*. – 2020. – № 3(41). – URL: [http://agroecoinfo.narod.ru/journal/STATYI/2020/3/st\\_321.pdf](http://agroecoinfo.narod.ru/journal/STATYI/2020/3/st_321.pdf) (дата обращения 30.07.2025). (K3).
23. Влияние запасов продуктивной влаги и количества атмосферных осадков на урожайность при условии прямого посева сельскохозяйственных культур в Ростовской области / Г. В. Мокриков, Т. В. Минникова, К. Ш. Казеев, С. И. Колесников // *Самарский научный вестник*. – 2019. – Т. 8, № 1(26). – С. 69-75. – DOI 10.24411/2309-4370-2019-11111. (K2).
24. Экологическое состояние почв Ростовской области при использовании технологии прямого посева / Г. В. Мокриков, К. Ш. Казеев, Д. В. Борисенко, Ю. В. Акименко, С. И. Колесников // *Известия Самарского научного РАН*. – 2017. – Т. 19, № 2-3. – С. 473-477. – Режим доступа: [https://www.ssc.smr.ru/media/journals/izvestia/2017/2017\\_2\\_473\\_477.pdf](https://www.ssc.smr.ru/media/journals/izvestia/2017/2017_2_473_477.pdf) (дата обращения 30.07.2025). (K1).

25. Оценка ферментативной активности черноземов Ростовской области под бинарными посевами подсолнечника / Т. В. Минникова, Г. В. Мокриков, К. Ш. Казеев [и др.] // Известия Тимирязевской сельскохозяйственной академии. – 2017. – № 6. – С. 141-155. – DOI 10.26897/0021-342X-2017-6-141-155. К1.
26. Влияние технологии прямого посева на эколого-биологические свойства черноземов / Г. В. Мокриков, К. Ш. Казеев, Ю. В. Акименко, С. И. Колесников // Известия высших учебных заведений. Северо-Кавказский регион. Серия: Естественные науки. – 2017. – № 2(194). – С. 68-74. К2.

### **Монографии**

27. Мокриков, Г. В. Агроэкологическая оценка многолетнего использования технологии прямого посева в Ростовской области / Г. В. Мокриков, А. Н. Федоренко, К. Ш. Казеев. – Ростов-на-Дону ; Таганрог : Издательство Южного федерального университета, 2024. – 257 с. – ISBN 978-5-9275-4908-5.
28. Экологические аспекты применения нулевой технологии обработки почв / К. Ш. Казеев, Г. В. Мокриков, А. Н. Федоренко, С. И. Колесников. – Ростов-на-Дону; Таганрог: Издательство Южного федерального университета, 2022. – 144 с. – Экологические аспекты применения нулевой технологии обработки почв / К. Ш. Казеев, Г. В. Мокриков, А. Н. Федоренко, С. И. Колесников – Ростов-на-Дону ; Таганрог : Издательство Южного федерального университета, 2022. – 143, [1] с. – ISBN 978-5-9275-4389-2.
29. Экологическая оценка применения технологии No-Till в Ростовской области / К. Ш. Казеев, Г. В. Мокриков, Ю. В. Акименко, М. А. Мясникова, С. И. Колесников – Ростов-на-Дону ; Таганрог : Издательство Южного федерального университета, 2018. – 331 с. – ISBN 978-5-9275-2862-2.
30. Влияние технологии No-Till на эколого-биологическое состояние почв / Г. В. Мокриков, К. Ш. Казеев, Ю. В. Акименко, М. А. Мясникова, С. И. Колесников – Ростов-на-Дону ; Таганрог : Издательство Южного федерального университета, 2017. – 140 с. – ISBN 978-5-9275-2662-8.
31. Влияние технологии прямого посева на микробиологические свойства черноземов / Ю. В. Акименко, Г. В. Мокриков, К. Ш. Казеев, С. И. Колесников – Ростов-на-Дону : Издательство Южного федерального университета, 2016. – 95 с. – ISBN 978-5-9275-2215-6.

### **Рекомендации**

32. Мокриков, Г. В. Рекомендации по применению технологии прямого посева в степной зоне Юга России : практическое руководство / Мокриков Григорий Васильевич – Ростов-на-Дону ; Таганрог : Издательство Южного федерального университета, 2024. – 49 с. – ISBN 978-5-9275-4840-8.