

Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего образования
«Красноярский государственный аграрный университет»

На правах рукописи

Колесников Алексей Сергеевич

**ВЛИЯНИЕ ПРИЕМОВ ОСНОВНОЙ ОБРАБОТКИ НА ПЛОДОРОДИЕ
АГРОЧЕРНОЗЕМА КРАСНОЯРСКОЙ ЛЕСОСТЕПИ
И ПРОДУКТИВНОСТЬ ЗЕРНОПАРОВОГО СЕВООБОРОТА**

Специальность 06.01.01 – общее земледелие, растениеводство

Диссертация на соискание ученой степени
кандидата сельскохозяйственных наук

Научный руководитель:
доктор биологических наук,
профессор
Кураченко Наталья Леонидовна

Красноярск – 2022

Оглавление

ВВЕДЕНИЕ.....	3
1.2 Теоретические основы применения минимальной обработки почв	16
1.3 Влияние системы основной обработки на плодородие почв.....	20
ГЛАВА 2 ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ ПОЧВООБРАЗОВАНИЯ КРАСНОЯРСКОЙ ЛЕСОСТЕПИ.....	34
ГЛАВА 3 УСЛОВИЯ И МЕТОДИКА ПРОВЕДЕНИЯ ИССЛЕДОВАНИЙ	43
3.1 Объекты и методика проведения исследований	43
3.2 Погодные условия в годы проведения опыта.....	47
ГЛАВА 4 ВЛИЯНИЕ ПРИЁМОВ ОСНОВНОЙ ОБРАБОТКИ	50
НА АГРОФИЗИЧЕСКОЕ СОСТОЯНИЕ АГРОЧЕРНОЗЕМА	50
4.1 Запасы продуктивной влаги	50
4.2. Плотность сложения	56
4.3 Структурный состав.....	67
ГЛАВА 5 ПИЩЕВОЙ РЕЖИМ АГРОЧЕРНОЗЕМА В УСЛОВИЯХ ОСНОВНОЙ ОБРАБОТКИ.....	83
5.1 Нитратный азот.....	83
5.2 Подвижный фосфор	93
5.3 Обменный калий.....	101
ГЛАВА 6 ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ ФИТОСАНИТАРНОГО И ПРОДУКЦИОННОГО ПОТЕНЦИАЛА АГРОЦЕНОЗОВ	111
6.1 Состав и структура сорного компонента агроценозов.....	111
6.2 Фитопатологическое состояние почвы	114
6.3 Урожайность сельскохозяйственных культур	116
6.4 Экономическая оценка ресурсосберегающих технологий возделывания зерновых культур	119
ВЫВОДЫ	122
ПРЕДЛОЖЕНИЕ ПРОИЗВОДСТВУ	125
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....	126
ПРИЛОЖЕНИЯ.....	151

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность темы исследования. В последние годы сельскохозяйственная наука большое внимание уделяет вопросам эффективности различных приемов основной обработки почвы с точки зрения минимизации земледелия и снижения прямых затрат на получение продукции земледелия (Власенко и др., 2003; Краснощеков, 2010; Немченко и др., 2011; Кирюшин, 2011; Каштанов, 2011; Трофимова, Коржов, 2014; Защепкин, Шушко, Есаулко, 2015; Ивченко, Михайлова, 2019; Власенко, Утенков, 2021; Choudhary, Meena, 2022; Casas et al., 2022). Создание благоприятных условий для роста растений неразрывно связано с обработкой почвы. Наиболее важные ее задачи – создание оптимального сложения почвы, благоприятного водного, воздушного, пищевого режимов, борьба с засоренностью полей. Качественная обработка почвы повышает ее эффективное плодородие и урожайность сельскохозяйственных культур.

Внедрение ресурсосберегающих технологий основной обработки почвы выступает в качестве приоритетного направления ведения растениеводства, является залогом развития сельскохозяйственного производства Красноярского края. Однако на современном этапе еще нет достаточного обоснования целесообразности и периодичности рыхления и оборачивания пахотного слоя при обработке почвы под различные культуры севооборота. Выбор основной обработки почвы определяется разнообразием почвенно-климатических условий, требованиями сельскохозяйственных культур и уровнем интенсификации производства, в частности обеспеченностью агрохимическими ресурсами. При оценке способа и глубины основной обработки почвы необходимо учитывать их влияние на процессы накопления влаги, улучшения агрофизических и агрохимических свойств почвы, сохранения почвенного плодородия.

Таким образом, изучение параметров плодородия агрочерноземов и продукционного потенциала сельскохозяйственных культур на фоне различных приемов основной обработки является актуальным исследованием.

Степень разработанности темы. В современном земледелии существует необходимость в перспективных ресурсо- и энергосберегающих технологиях производства сельскохозяйственной продукции, разработанных с учетом научных достижений и имеющегося опыта. Исследования сибирских ученых (Лисунов, Тимин, 1970; Яковлев, 1975; Берзин, Бекетов, Репа, 1982) позволяют сделать вывод о том, что длительное применение как безотвальных, так и отвальных обработок менее эффективно, чем их рациональное сочетание и чередование. Установление периодичности способов, глубины обработки почв в полях севооборота с учетом агроэкологических типов земель, предшественников, погодных условий и материально-технических ресурсов – одна из главных задач систем обработки (Лисунов, 1997; Едигеичев, Романов, 2009; Едигеичев и др., 2016; Едигеичев, Шпедт, 2020). В последнее десятилетие ресурсосберегающим технологиям возделывания сельскохозяйственных культур уделяется большое внимание. Изучена динамика водно-физических свойств черноземов Красноярской лесостепи в условиях ресурсосберегающих технологий основной обработки (Картавых, 2014); эффективность различных приемов основной обработки почвы при различных уровнях интенсификации на продуктивность зерновых культур (Ивченко, Михайлова, 2017); оценена структура и запасы гумусовых веществ в условиях основной обработки почвы (Кураченко, Колесник, 2017); показано влияние способов обработки почвы на агрофизические показатели чернозема (Ивченко, Полосина, Штеле, 2019), засоренность посевов яровой пшеницы (Ивченко и др., 2020), микроагрегатный состав черноземов (Кураченко и др., 2020) и особенности пространственного распределения подвижных элементов питания (Кураченко, Колесник, 2020). Однако в научной литературе нет единого мнения о влиянии различных систем обработки в севообороте на агрофизические свойства и пищевой режим почвы, что и определило необходимость проведения исследований.

Цель исследований – оценить влияние приемов основной обработки на плодородие агрочернозема и продуктивность зерновых культур в условиях Красноярской лесостепи.

Задачи исследований:

1. Изучить влияние различных приемов основной обработки на изменение агрофизических и агрохимических свойств агрочернозема.
2. Определить степень дифференциации 0-20 см слоя агрочернозема по показателям плодородия.
3. Установить влияние приемов основной обработки на сорный компонент агроценозов и фитопатологическое состояние почвы.
4. Оценить урожайность зерновых культур и экономическую эффективность их возделывания в севообороте на фоне отвальной обработки и ресурсосберегающих технологий.

Научная новизна. Получены новые материалы по оценке плодородия агрочерноземов в условиях ресурсосберегающих технологий основной обработки. Впервые в условиях Красноярской лесостепи установлено, что краткосрочная минимизация определяет сохранение оптимальных агрофизических параметров почвы. Прием обработки в большей степени влияет на содержание в агрочерноземе нитратного азота. Содержание подвижного фосфора и обменного калия на 33-55 % определялось взаимодействием факторов «агроценоз – способ обработки». Установлено, что урожайность зерновых культур на отвальной и минимальной обработке имеет близкие величины. Прямой посев снижает урожайность зерновых культур на 31-51 % по сравнению с отвальной обработкой.

Теоретическая значимость работы. Полученные результаты расширяют представления о возможности применения ресурсосберегающих технологий основной обработки на агрочерноземах Красноярской лесостепи. Материалы исследований необходимы при организации и проведении экологического мониторинга антропогенно-измененных экосистем.

Практическая значимость работы. Экспериментальные данные по изучению влияния приемов основной обработки на плодородие агрочернозема и продуктивность зерновых культур служат основой для разработки и внедрения технологии возделывания сельскохозяйственных культур в севооборотах в

условиях Красноярской лесостепи. Предложенные теоретические и практические положения являются основой рационального использования почв региона и управления их плодородием. Материалы диссертации используются в учебном процессе при изучении дисциплин «Агрочвоведение», «Агрохимия», «Управление плодородием почв», «Устойчивость почв» при подготовке бакалавров и магистров в Красноярского государственном аграрном университете (прил. 21). Результаты диссертационного исследования прошли производственную проверку и внедрены в ООО «Учхоз «Миндерлинское» (прил. 22).

Методология и методы исследований. Для проведения исследований был заложен полевой опыт в Красноярском научно-исследовательском институте сельского хозяйства в трехкратной повторности в течение трех лет. Полученные данные не противоречат известным положениям агрономических и биологических наук и базируются на доказанных выводах многолетних исследований. Статистическая обработка полученных экспериментальных данных проведена методом описательной статистики и дисперсионного анализа по Е.А. Дмитриеву (1995) и Б.А. Доспехову (2014) на персональном компьютере в специализированной программе Microsoft Excel и показали высокую степень достоверности.

Защищаемые положения:

1. Краткосрочное применение ресурсосберегающих технологий основной обработки агрочерноземов Красноярской лесостепи способствует повышению плотности сложения 0-20 см слоя на 0,03-0,07 г/см³ с сохранением оптимальных параметров (0,97-1,05 г/см³) и отличного структурного состояния (68-74 %).

2. Обработка пара и возделывание зерновых культур по ресурсосберегающим технологиям определяют дифференциацию 0-20 см слоя агрочернозема по содержанию агрономически ценных агрегатов и поверхностную локализацию подвижного фосфора и обменного калия.

3. Нулевая обработка агрочернозема обуславливает сильную степень засорения паровых полей, высокую заселенность почвы в посевах зерновых культур возбудителями гельминтоспориозной корневой гнили *Bipolaris sorokiniana*, низкую обеспеченность нитратным азотом и снижение урожайности на 31-51 %.

Апробация работы. Материалы диссертации опубликованы в 9 научных работах, в том числе в изданиях «Перечня...» ВАК РФ - 2. Результаты исследований представлялись и обсуждались: на международной научно-практической конференции «Модернизация аграрного образования: технологический аспект» (Томск, 2013); Всероссийской научно-практической конференции «Почвенно-экологические процессы в естественных и антропогенно-преобразованных ландшафтах Сибири и Дальнего Востока» (Красноярск, 2014); Всероссийской научно-практической конференции молодых ученых «Развитие научной, творческой и инновационной деятельности молодежи» (Курган, 2014); Международной научно-практической конференции молодых ученых «Инновационные тенденции развития российской науки (Красноярск, 2015); Международной научно-практической конференции молодых ученых «Инновационные идеи молодых исследователей для агропромышленного комплекса России» (Пенза, 2016); Всероссийской научно-практической конференции «Почвенные ресурсы и их рациональное использование» (Красноярск, 2022). Ежегодно результаты исследований заслушивались и обсуждались на заседаниях кафедры почвоведения и агрохимии ФГБОУ ВО Красноярский ГАУ (2012-2014 гг.).

Структура диссертационной работы. Диссертация изложена на 172 страницах, включая 34 таблицы, 29 рисунков, 22 приложения. Состоит из введения, 6 глав, выводов, списка литературы, который представлен 266 источниками, в том числе 24 на иностранном языке.

Личный вклад автора. Диссертация является результатом исследований автора, проведенных в 2013 - 2015 гг. Автором лично осуществлен отбор почвенных образцов и выполнены аналитические лабораторные исследования,

подбор научной литературы по теме диссертационной работы, ее анализ и написание теоретических глав, выполнена статистическая обработка данных и написание текста диссертации. В соавторстве с Н.Л. Кураченко, В.Н. Романовым, А.В. Заушинценой, И.В. Кожевниковым, А.А. Колесник получены результаты по агрофизическому состоянию почвы в условиях основной обработки и энергетической оценке ресурсосберегающих технологий возделывания зерновых культур. В соавторстве с Н.Л. Кураченко, В.Н. Романовым и А.В. Шарпатовой интерпретированы данные по влиянию приемов основной обработки на пищевой режим и урожайность ячменя.

ГЛАВА 1 МИНИМИЗАЦИЯ ОСНОВНОЙ ОБРАБОТКИ И ПЛОДОРОДИЕ ПОЧВ (ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ)

1.1 Состояние и эффективность применения минимальной обработки почвы

В практике сельского хозяйства выбор системы обработки почвы лежит в широком диапазоне всевозможных решений (Немченко и др., 2011; Федоренко, 2012), все шире применяются различные варианты минимизации (Петрова, 2008; Смирнов, Кирасиров, Курятникова, 2008; Казаков, Марковский, 2011; Максютлов, Жданов, 2011), а также прямой посев (Каличкин, 2008; Савоськина, Чебаненко, Манишкин, 2011).

Существенным недостатком обработки почвы плугом является повышенная опасность эрозии (Chilcutt, Matocha, 2007). И.Е. Овсинский, эмоционально критикуя вспашку, утверждал, что «пушки Крупа принесли меньше вреда, чем плуг Сакса (плуг с предплужником, изобретенный в 1870 г. немецким кузнецом Р. Саксом) (Сдобников, 1994).

Г.Ф. Копосов, Н.В. Печенкина, Р.В. Мифтахов (2007) основной причиной трансформации физических свойств почв и развития процессов ее деградации считают многократные проходы по полям сельскохозяйственной техники при традиционной технологии обработки почвы. Чередование уплотнения и рыхления приводит к разрушению структуры пахотного горизонта, снижению его способности к впитыванию осадков и созданию предпосылок для его эрозионного разрушения.

Деградация почвы из-за эрозионных процессов представляет большую экологическую проблему. По оценкам специалистов в мире безвозвратно потеряно 6 млн га сельскохозяйственных угодий вследствие водной и ветровой эрозии. В Российской Федерации третья часть пашни подвержена эрозии, т.е. из 50 млн га, занятых под зерновыми культурами, около 17 млн га эродированы (Научные основы технологий ..., 2004).

По материалам А.Я. Глушко (2011), активная эксплуатация земельного фонда Ставропольского края привела к ухудшению состояния почвенного покрова вследствие интенсивного проявления деградационных процессов, запасы гумуса в эродированных почвах снизились на треть (32,7 %), водопрочность уменьшилась в 2 раза (на 44 %). Ущерб от деградации земель сельскохозяйственного назначения в регионе достигает 5 млрд рублей ежегодно. Н.А. Максютов, В.М. Жданов (2011) отмечают, что в Оренбургской области в зависимости от типа почв на 1 га ежегодные потери гумуса достигают: на черноземах южных до 1 т, на черноземах обыкновенных – 0,83, темно-каштановых почвах – 0,62 т. В работе Н.А. Зеленского с соавт. (2006) показано, что в постоянной защите от эрозии нуждается свыше 4 млн га пашни Ростовской области. В Северо-Кавказском федеральном округе водной эрозии подвержено 18 % пашни, дефляции - 7,8 %, совместному действию водной и ветровой эрозии – 1,7 % (Кулинцев, 2011).

Высокая эрозионная опасность пахотных земель отмечается и в Красноярском крае. Так, по расчетам Ю.Ф. Едимеичева (2011), площадь таких земель составляет 32,8 %, или около 1 млн га. Проявление дефляции, водной и комплексной эрозии в крае усугубляется наличием склоновых земель. На склонах от 1 до 3° расположено 47 % пашни, от 3 до 5° – 14,5 % и от 5 до 7° - 10 %.

По данным А.А. Танасиенко (2003), в Сибири уже сформировано более 7 млн га эродированных почв. В результате эрозионных потерь 25 % гумуса слабосмытыми почвами, около 40 % - среднесмытыми и более 50 % - сильносмытыми – полнопрофильные тучные либо среднегумусные черноземы трансформировались в малогумусные или низкогумусные.

В России 35 % посевных площадей находится в засушливых условиях, где количество осадков за год составляет 250-400 мм. Дефицит почвенной влаги обусловлен не только малым количеством атмосферных осадков, но и потерями на сток, испарение, снос снега, транспирацию сорняками, а на песчаных почвах – на инфильтрацию. Важнейшим условием, а иногда единственной возможностью предотвращения гибели посевов во влагодефицитных районах является

накопление в почве влаги осенне-зимних осадков, составляющих более 40 % их годового количества (Жук, 2012). По мнению И.В. Свисюка (2004), влагообеспеченность зерновых культур в основном зависит от накопления влаги в почве за счет осадков холодного периода.

Предотвращению потерь влаги на испарение в осенний и ранневесенний периоды способствуют стерня и мульча на поверхности поля, при весенне-летней обработке - рыхление верхнего слоя почвы (разрушение капиллярной влагопроводности), уменьшение выноса влажной почвы на поверхность, сокращение площади испарения за счет выравнивания микрорельефа поля и уплотнения разрыхленного слоя почвы, исключение конвективного выноса влаги из глубоких слоев по трещинам и крупным межкомковым пустотам. Традиционные технологии обработки почвы, основанные на вспашке, не позволяют снизить потери влаги. В борьбе со стоком и эрозией почв наиболее эффективным приемом является плоскорезная обработка. По данным А.Н. Каштанова с соавт. (1977), смыв почвы со склона крутизной 2,5-3°, обработанного плоскорезом, был в 3 раза меньше, чем после обработки отвальным плугом.

Дополнительным и существенным основанием для внедрения новых технологий возделывания сельскохозяйственных культур послужил высокий уровень цен на топливно-смазочные материалы, высокий процент износа имеющегося машинно-тракторного парка и более значительные темпы роста цен на технику по отношению к другим материально-техническим средствам. Но самыми дефицитными и трудновосполняемыми ресурсами в настоящий период являются трудовые кадры.

Таким образом, разрушение почвенного покрова под действием водной и ветровой эрозий, снижение почвенного плодородия и влагообеспеченности, а также социальные и экономические проблемы в агропромышленном комплексе диктуют необходимость поиска альтернатив плужной обработке.

В первой половине XX в. технологии бережливого земледелия начинают внедрять в Австралии, во второй – в США, где впервые была научно обоснована система производства зерновых культур при нулевой обработке (Elking, 1983; On-

farm research..., 2015). Определено, что потери почвы за счет эрозионных процессов при ее применении сократились на 95 %, экономия горючего достигает 80 %, рабочей силы – 60 %.

В основных зернопроизводящих провинциях Канады почвозащитные технологии обработки почвы используют около 40 лет, и они наиболее перспективны. Минимальная обработка почвы применяется на 25 % площадей, на остальной части пашни – прямой посев. Доказано, что сохранение растительных остатков на поверхности почвы приводит к уменьшению содержания эродируемых агрегатов (диаметром менее 0,84 мм). Для предупреждения ветровой эрозии на поле необходимо сохранять 1,3 - 1,7 т/га растительных остатков.

В Мексике стимулом для перехода к минимальной обработке почвы послужило сокращение уровня субсидирования сельского хозяйства на фоне роста затрат на производство сельскохозяйственной продукции при одновременном падении цен на нее.

В Бразилии решение экологической проблемы, связанной с вырубкой лесов и смывом плодородного слоя почвы ливнями, было найдено в переходе на технологии минимизации, что позволило на 60 % сократить потери влаги, на 80 % - развитие эрозии почвы, при этом урожайность сельскохозяйственных культур увеличилась на 30 %.

Экономические проблемы в Аргентине, сложившиеся в начале 90-х гг. прошлого столетия (отсутствие государственной поддержки сельского хозяйства, катастрофическое снижение плодородия почвы по причине водной эрозии), поставили отрасль растениеводства перед необходимостью перехода на берегающие технологии, площадь под которыми в 2002 г. составила 14,5 млн га и продолжает существенно увеличиваться.

В целом в Северной Америке вспашке подвергаются менее 10 % сельскохозяйственных угодий, в Латинской Америке площадь под берегающим земледелием насчитывает более 35 млн га.

В Европе минимальная обработка почвы проводится на 10 % площади пашни. Причины низкой доли их внедрения заключаются в развитой системе государственного субсидирования фермеров (что снижает мотивацию к переходу на новые технологии), а также в достаточном режиме увлажнения почв в большинстве стран.

Сдерживающими факторами применения прямого посева и минимальной обработки в странах Африки является отсутствие достаточного количества мульчи, так как растительные остатки используются на корм скоту, а также нехватка средств на приобретение химических средств защиты растений (Научные основы технологий ..., 2004).

По данным В.А. Телегина и др. (2011), в центральной лесостепной зоне Зауралья в пятипольном зернопаровом севообороте при комплексном применении удобрений и гербицидов минимальная система обработки незначительно уступает отвальной в части формирования продуктивности зерновых культур.

Учет урожайности за три ротации десятипольного севооборота на черноземах ЦЧЗ продемонстрировал, что наибольший сбор кормовых единиц в целом по севообороту получен при ежегодной вспашке на 20 см. Применение плоскорезной и безотвальной обработок привело к снижению продуктивности севооборота. Такая закономерность получена как на фоне удобрений, так и без них (Турусов, Новичихин, 2012).

По результатам исследований влияния различных систем основной, предпосевной обработок на урожайность озимой пшеницы в условиях лесостепной зоны Тюменской области выявлено, что максимальная урожайность культуры (4,1 т/га) обеспечена отвальной обработкой почвы на глубину 28-30 см. Переход на безотвальную технологию (рыхление стойками СибИМЭ на глубину 28-30 см) и прямой посев негативно отражаются на урожайности озимой пшеницы: получено 3,5 и 2,67 т/га соответственно. Наиболее экономически эффективным является выращивание озимой пшеницы на полях с отвальной обработкой почвы – себестоимость 1 т зерна составляет 2 273 руб. при уровне рентабельности 54,0-61,6 %. Несмотря на уменьшение затрат при прямом посеве с

9 320 до 8 574 руб/га, стоимость получаемой продукции снижается, что делает выращивание озимой пшеницы малоэффективным (Еремина, Чекмарева, Фисунов, 2013).

В этом же регионе на черноземе выщелоченном тяжелосуглинистом маломощном среднегумусном, сформировавшемся на карбонатном покровном суглинке, отказ от осенних обработок в пользу прямого посева приводит к стабильному снижению урожайности яровой пшеницы в 1,5-2 раза (Еремин, Шахова, 2010). Данные, полученные в этом же регионе Н.В. Абрамовым, С.А. Семизоровым (2012) по дифференцированной обработке почвы, в системе которой предусматривается после отвальной исключение осенней обработки в течение 3 лет; использование чизельной на глубину 45 см и поверхностной обработок на глубину 10-12 см в течение 2 лет доказывают ее преимущество при внесении минеральных удобрений из расчета на получение зерна 3 т/га с применением средств защиты растений.

Производственное использование системы мульчирующей минимальной обработки почвы под озимую пшеницу, включающей одну или несколько мелких обработок, проводимых комбинированными орудиями до глубины 8-10 см, при которых создается мульчирующий слой из измельченной соломы и стерни, показало преимущества как по урожайности (на 5,3 %, или на 0,3 т/га), так и по экономии ТСМ (на 21,3 %), повышению производительности труда (на 18,3 %) и снижению трудозатрат (на 26,2 %) по сравнению со вспашкой (Васюков, Цыганков, Кулик, 2011).

Известно, что для кукурузы, доминирующей силосной культуры, необходима хорошо окультуренная почва, которая гарантирует беспрепятственное развитие корневой системы в пахотном и подпахотном слоях (Справочник агронома., 1978; Бенц, Кашеваров, Демарчук, 2001; Кашеваров и др., 2004). По данным В.И. Дмитриева, А.В. Кваши (2011), на легкосуглинистом слабовыщелоченном черноземе Омской области наибольшая урожайность кукурузы (2,38 т/га) получена по фону безотвальной обработки почвы, проведенной глубокорыхлителем Джон Дир 512 (глубина обработки 30-35 см),

что на 14,5 % выше по отношению к отвальной вспашке на глубину 20-22 см. Данный способ подготовки почвы позволяет влаге беспрепятственно проникать на большую глубину в осенний период, создавая лучшую влагозарядку, и решает проблему избыточного увлажнения почвы в микропонижениях весной. Однако эксперимент В.М. Гармашова (2011) в десятипольном зернопропашном севообороте в условиях Центрально-Черноземной зоны показал, что наибольшая урожайность кукурузы была получена при отвальной вспашке на глубину 20-22 см. Она составила 3,85 т/га, что на 5,2 % больше, чем на участках с разноглубинной плоскорезной обработкой.

Для степного земледелия И.Ф. Храмцов (2008) оценивает вспашку как неадаптированный прием, приводящий к уменьшению урожайности яровой пшеницы, снижению эффективного плодородия и в целом полеводства. Автор показывает, что после зяблевой обработки на глубину 20-22 см пшеница по пару сформировала урожай 20,9 ц/га, что на 6,2 % меньше, чем при плоскорезной обработке на 12-14 см, и на 5,3 % меньше по отношению к «нулевой» технологии. Однако в засушливой зоне Прикаспия для получения стабильных урожаев зерновых культур рекомендуется применять отвальную вспашку плугом ПН-4-35 на глубину 25-27 см, эта обработка более рентабельна для яровой пшеницы и ячменя (116,5 и 82,6 %), так как именно при этом способе обработки затрачивается минимальное количество энергии на производство 100 кг зерна (1013,3 и 1551,9 МДж) (Туманян, Тютюма, 2012).

А.Н. Власенко и др. (2003), Н.А. Максютков, Г.А. Кремер, В.М. Жданов (2001) варьирование эффективности поясняют различиями физических, химических, биологических свойств почвы, расположением на рельефе, пространственной и временной изменчивостью гидротермических условий, уровнем применения средств интенсификации производства продукции растениеводства (органических и минеральных удобрений, агротехнических, биологических и химических средств защиты растений и др.).

Почвенно-климатические условия даже одного региона чрезвычайно разнообразны. Поэтому единой технологии возделывания сельскохозяйственных

культур, обеспечивающей равную продуктивность и экономическую эффективность, не может быть. Для обоснования системы основной обработки почвы в определенных условиях необходимо экспериментальным путем выяснить, каким образом механическое воздействие на почву влияет на ее свойства и фитосанитарное состояние агроценозов.

1.2 Теоретические основы применения минимальной обработки почв

Применению и широкому распространению систем минимальной обработки почвы способствовало создание соответствующей сельскохозяйственной техники, применение эффективных агрохимикатов и пестицидов.

Классиками российского земледелия в конце XIX и в начале XX в. были предприняты попытки теоретического осмысления системы обработки почвы. П.А. Костычев (1885) показал, что вспашка земли приводит к ее иссушению, а «в сухой земле гниение идет гораздо слабее: стало быть, частой обработкой мы будем только мешать ему, будем работать во вред себе». П.В. Ротмистров (1913) заметил, что рыхлое сложение верхнего слоя почвы, создаваемое глубокой вспашкой, не всегда является наилучшим для растений, и на уплотненной почве их продуктивность чаще оказывалась выше. Д.И. Менделеев (1954) предвосхитил мульчирование почвы для достижения такого же эффекта, который получается при вспашке, он писал: «Если прокрыть почву листвой, соломой или вообще чем бы то ни было оттеняющим и дать ей спокойно полежать некоторое время, то она и без всякого пахания достигнет зрелости».

Первое обоснование бесплужной обработки дал И.Е. Овсинский. В работе «Новая система земледелия», изданной в 1889 г., он отмечает, что в естественном сложении черноземная почва воздухо- и водопроницаема, вспашка же ухудшает водно-воздушный режим, уничтожая сеть каналов в почве. Автор рекомендует бесплужную обработку: для уничтожения прорастающих сорняков и создания рыхлого поверхностного слоя, предотвращающего испарение почвенной влаги, землю обрабатывать поверхностно не глубже двух дюймов (дюйм = 2,54 см).

Корни культурных растений хорошо развиваются в необработанном слое почвы, а газообмен почвы между нагретым в жаркую погоду атмосферным и почвенным воздухом нижнего, менее нагретого слоя вызывает конденсацию паров, что пополняет запасы почвенной влаги (Власенко и др., 2003). Благодаря наличию капиллярности образующаяся вода будет подниматься к корням растений. При таком «подъемном орошении» улучшается не только водный, но и питательный режим, так как в этом случае создаются более благоприятные условия для развития полезных почвенных бактерий, влияющих на почвенное плодородие. При этом И.Е. Овсинский подчеркивал, что при поверхностной обработке создаются исключительно благоприятные условия для активного роста сорной растительности, для борьбы с которой советовал применять постоянную поверхностную обработку по мере появления всходов сорняков от уборки предшествующей культуры до посева.

С критикой глубокой культурной вспашки в России выступал А.Г. Дояренко (1925), доказав, что мелкая обработка способствует сбережению влаги и улучшению пищевого режима почвы.

В 1932 г. были опубликованы работы М.З. Журавлева, В.А. Хоробрых, Н.М. Тулайкова, в которых было показано преимущество мелких обработок почвы в засушливых районах Сибири. Но в этот период такие обработки не только не получили распространения, но были запрещены вследствие отсутствия средств борьбы с сеgetальной растительностью.

Большой вклад в теоретическое обоснование безотвальной обработки внес Т.С. Мальцев (1949; 1951; 1953; 1964). Первичное переосмысление сущности почвообработки в опытах Т.С. Мальцева касалось ее роли в регулировании физических свойств почв. Необходимость повсеместной регулярной глубокой обработки почвы традиционно преувеличивалась, поскольку оптимальная плотность пахотного слоя для зерновых культур на многих почвах, особенно черноземах, близка к равновесной. Излишняя рыхлость почвы в условиях проявления засухи приводит к увеличению расхода влаги вследствие испарения. Минимизация почвообработки способствует улучшению водного режима

агроценозов в засушливых условиях (Кирюшин, 2011). Чем реже пахотный горизонт подвергается обработке, тем быстрее он восстанавливает свою структуру как важнейший фактор почвенного плодородия, и тем меньше происходит его распыление (Власенко и др., 2003).

В работе «Предположения относительно возможности ускорения и упрочения восстановления структуры почвы и ее плодородия» Т.С. Мальцев пишет: «Неоднократно в специально поставленных опытах яровая пшеница, посеянная по стерне, не паханной ни осенью, ни весной, а лишь два раза продискованной весной, давала приличные урожаи – 16-17 ц/га. А разве яровой сев по пару и зяби не есть посев тоже по уплотненной почве, где, как известно, хлеб растет лучше, чем в рыхлой, только что вспаханной земле? Отсюда следует вывод, что периодическое чередование глубокой обработки почвы с обработкой поверхностной может дать неожиданные результаты и вызовет необходимость внедрения новых экономически выгодных мероприятий. Могут быть найдены такие способы обработки земли, которые позволят расходовать меньше средств и времени, но принесут лучший результат». В труде «Пути борьбы за непрерывное повышение плодородия почвы» Т.С. Мальцев ставит как основную задачу развития растениеводства – найти пути к быстрому восстановлению структуры почвы и повышению ее плодородия. «Ежегодно высевая однолетние злаки по свежевспаханной земле, мы тем самым как бы заставляем их разрушать структуру почвы, лишая их тех условий, при которых она, наоборот, могла бы поддерживать ее. Чередование глубокой обработки (пахоты) с поверхностной обработкой (лушение), несомненно, предотвратит чрезмерное распыление и разрушение почвы. Однолетники способны подготавливать условия для создания структуры почвы многолетникам, а затем, следуя после них, снова оказывать то же влияние». Также он предположил, что анаэробное разложение корневых и пожнивных остатков однолетних культур при условии периодического безотвального рыхления будет способствовать гумусообразованию.

Система обработки почвы «мальцевскими» плугами без оборота пахотного слоя получила широкое производственное испытание в Зауралье, Сибири и в

Северном Казахстане. Суть системы земледелия Т.С. Мальцева заключалась в отказе от ежегодной культурной вспашки, безотвальная обработка почвы проводилась дважды в паровом поле пятипольного севооборота, а в последующих полях после уборки культур применялись только поверхностные обработки дисковыми луцильниками на глубину 7 - 8 см (Немченко и др., 2011).

Положительные результаты внедрения данной системы земледелия были получены в севооборотах с чистыми парами и при поздних сроках сева яровых зерновых культур, позволяющих в предпосевной период уничтожать всходы сорных растений поверхностными обработками, однако при необходимости ранних сроков сева яровых культур данная система не обеспечивала чистоту посева от сорняков (Холмов, Юшкевич, 2010). Развитие этого направления показало, что успешная реализация безотвальных и мелких приемов обработки возможна только при высокой доле чистых паров в севооборотах или применении и удобрений и гербицидов, кроме того, в степных районах она недостаточно защищала почву от ветровой эрозии. Итак, по образному выражению А.Н. Власенко и др. (2003), «... мальцевская система основной обработки почвы пошатнула традиционные взгляды, но не сломила устоявшийся консерватизм».

Отвальная вспашка при освоении целинных и залежных земель в нашей стране в 60-х годах прошлого столетия привела к дефляции почв на млн га в Сибири и Казахстане, что явилось стимулом для разработки почвозащитной системы земледелия, которой руководил А.И. Бараев. Основу ее составляла плоскорезная обработка почвы с оставлением максимального количества стерни на поверхности почвы (Бараев, Зайцева, Хорошилов, 1970).

В 80-х годах в Западной Сибири была развернута масштабная работа по изучению систем обработки при различных уровнях химизации во всех почвенно-климатических зонах – от степной до южнотаежно-лесной. Руководил исследованиями В.И. Кирюшин. В результате экспериментов было установлено, что в годы, благоприятные по влагообеспеченности, отмечена тенденция к снижению урожайности сельскохозяйственных культур от вспашки до «нулевого» посева. В засушливые годы при высокой осенней влагозарядке плоскорезная

обработка на 10-12 см имела явное преимущество перед отвальной вспашкой, особенно на фоне комплексной химизации. Роль мелкой плоскорезной обработки возрастала при крайне низких осенних запасах влаги (Власенко, 1994).

В.Н. Слесаревым, В.Е. Синещековым, В.В. Смеловским (2012) предложены принципиально новые плоскорезная разноглубинная (двухслойное рыхление на 10-12 и 28-30 см) и полосная плоскорезно-нулевая зяблевая обработка почвы (плоскорезное рыхление на 10-12 см через лапу (нулевая полоса). Данные способы обработки имеют дополнительные преимущества по отношению к минимальным версиям и нулевому посеву: снижение объема почвенных деформаций (от 56 до 18 %), эффективное использование механизма капиллярной миграции почвенной влаги.

Ю.А. Козыченко (2012) подчеркивает, что при минимизации необходим дифференцированный подход к глубине основной обработки с учетом предшественника и биологических особенностей культур. Кроме того, целесообразность внедрения приемов минимализации основной обработки почвы должна быть связана с агрофизическими свойствами различных типов почв.

1.3 Влияние системы основной обработки на плодородие почв

Длительное применение прямого посева, плоскорезной обработки приводит к дифференциации агрофизических, агрохимических и биологических свойств почвенного слоя по профилю (Зинченко, 2006; Придворев и др., 2011; Турусов, Новичихин, 2012; Черкасов и др., 2012; Malhi et al, 2018).

От характера и частоты механической обработки почвы зависит интенсивность процессов минерализации органического вещества. Как известно, глубокие отвальные обработки способствуют усилению минерализации гумуса и большим его потерям, а минимальная, напротив, ослабляет эти процессы (Кирюшин, 2000). Аналогичное мнение выражено в работе А.А. Юскина, В.И. Макарова, А.И. Венчикова (2009): в результате 7-летнего эксперимента обнаружено значительное снижение гумуса дерново-подзолистой почвы при

использовании ежегодной вспашки по сравнению с плоскорезной обработкой и дискованием. При этом отмечено существенное снижение содержания фульвокислот.

По мнению Н.А. Максютова, В.М. Жданова (2011), основная глубокая обработка черного пара отвальным плугом под яровую пшеницу приводила к ежегодным потерям 3,4 т/га гумуса, что в 2 раза превышает показатель при безотвальной обработке. Минимальная обработка замедляла процесс минерализации гумуса с высвобождением нитратного азота и уменьшала его вымывание из почвы на 30 %.

Решающее влияние на изменение потенциального и формирование эффективного плодородия при минимизации почвообработки, по данным В.И. Турусова, А.М. Новичихина (2012), оказывает распределение растительных остатков: аккумуляция основного количества корневых остатков в верхнем слое почвы, значительная часть пожнивных остатков и удобрений остается незаделанной. Ежегодная обработка почвы плоскорезом и плугом без отвалов привела к снижению содержания гумуса на 0,28 и 0,22 %, при этом наиболее заметное снижение плодородия произошло в нижележащих слоях (20-40 см). При обработках почвы без оборота пласта биологические процессы трансформации органического вещества смещаются в сторону снижения гумусообразования и усиления минерализации.

В опытах Г.Н. Черкасова с соавт. (2012) без применения удобрений в слое почвы 0-10 см содержание гумуса при поверхностной обработке и отвальной вспашке существенно не различалось. Наиболее заметные изменения количества гумуса в этом слое отмечены при нулевой обработке. По сравнению с отвальной вспашкой и поверхностной обработкой оно увеличилось соответственно на 0,20 и 0,18 %. Причина заключается в том, что при нулевой обработке в поверхностный слой почвы поступало больше пожнивных и корневых остатков. Однако в слое 10-20 см как при поверхностной, так и нулевой обработке содержание гумуса уменьшилось по сравнению с верхним слоем на 0,07-0,20 %. При внесении минеральных удобрений на всех способах основной обработки почвы отмечена

тенденция к увеличению данного показателя, что связано с повышением урожайности культур и, следовательно, увеличением массы растительных остатков.

В исследованиях Д.В. Дубовика с соавт. (2021) на черноземе типичном установлено, что применение безотвальных приемов обработки почвы привело к повышению содержания гумуса, азота, фосфора и калия в слое 0-10 см по отношению к слою 10-20 см. Ряд авторов (Александрова, 1980; Витер и др., 2011; Абрамов, Семизоров, 2012) отмечают, что при безотвальных обработках меняется химизм разложения стерневых остатков, при котором не происходит ни образования гумуса, ни поступления в почву минерального азота, что обусловлено отсутствием контакта жнивья с минеральной частью почвы.

Активность почвенной биоты формирует плодородие и продуктивность растений. Антропогенные нагрузки любого характера изменяют физические и биологические параметры почв. Растительные остатки накапливаются на поверхности почвы, активность микроорганизмов увеличивается в верхних слоях почвы и снижается с глубиной. Высокая концентрация микроорганизмов-целлюлозолитиков в верхнем слое почвы обеспечивает наиболее высокие показатели минерализации целлюлозы в слое 0-20 см (более 40 %) [Зинченко и др., 2011].

Исследования А.Ф. Туманяна, Н.В. Тютюмы (2012) в полупустынной зоне Астраханской области на светло-каштановой почве выявили четкую зависимость микробиологической активности почвы от способа ее обработки. Отвальная вспашка на глубину 25-27 см способствует увеличению численности целлюлозоразрушающих микроорганизмов (11,6 % убыли сухой массы полотна за трехлетний период) и приводит к образованию мощного биологически активного пахотного слоя. Комбинированная обработка с помощью БДТ-3,0 и последующим рыхлением стойкой СибИМЭ увеличивает численность целлюлозоразрушающих микроорганизмов по всему профилю почвы. Убыль сухой массы полотна составляет 10,8 %, что на 0,8 % меньше, чем в варианте со вспашкой.

Минимальная обработка на 10-12 см с помощью БДТ-3,0 увеличивает активность микрофлоры только в поверхностном (0-10 см) слое почвы.

Накопление растительных остатков в верхнем слое при плоскорезной и минимальной обработках на черноземе малогумусном малокарбонатном, маломощном суглинистом в Забайкальском крае обуславливало интенсивное размножение бактерий, усиливающих процессы минерализации органического вещества в почве. В этих вариантах за вегетационный период были получены самые высокие показатели выделения углекислоты (1,533-1,666 кг/га за 1 ч) и содержания нитратов (29-33 мг/кг почвы). При отвальной обработке почвы, вследствие небольшого поступления органического вещества и низкого содержания влаги, выделение CO_2 было минимальным – 1,143-1,268 кг/га за 1 ч, как и показатели мобилизации нитратов (24-26 мг/кг почвы) (Пилипенко, Днепровская, 2012).

От приемов обработки почвы зависит распределение доступных элементов минерального питания по профилю почвы. При ежегодной вспашке на 20 см наибольшее содержание доступного фосфора и обменного калия сосредотачивается в слое 0-20 см. По безотвальным обработкам основное количество подвижных фосфора и калия аккумулируется в поверхностном слое 0-10 см, что ухудшает их использование растениями при иссушении верхнего слоя, даже при непродолжительном отсутствии дождей. Анализируя динамику накопления нитратов за период с конца апреля до второй половины июля на паровых участках, где отсутствует его потребление растениями, авторы отмечают, что в ранневесенний период наибольшее содержание нитратов в слое почвы 0-40 см наблюдается по плоскорезной обработке. По вспашке на 20 см их количество немного меньше. Однако уже в первой декаде июня прирост содержания нитратов по плоскорезной обработке практически прекращается, а по отвальной обработке продолжается. Для озимых культур, которые используют элементы питания из почвы главным образом в позднеосенний и ранневесенний периоды, плоскорезная или поверхностная обработки вполне подходят, хотя получить качественное зерно по этим видам обработки все-таки проблематичнее,

чем по вспашке. К периоду налива и созревания зерна продуцирование нитратов в почве по плоскорезной обработке практически прекращается. Для культур с длинным вегетационным периодом (сахарная свекла, подсолнечник и кукуруза) более предпочтительнее глубокая вспашка (Турусов, Новичихин, 2012).

Г.Н. Черкасовым с соавторами (2012), установлено, что содержание нитратного и аммонийного азота в слое 0-10 см при нулевой обработке было соответственно на 0,5 и 0,28 мг/100 г больше, чем при вспашке. При поверхностной обработке количество минерального азота в этом же слое также повышалось по сравнению с отвальной вспашкой. Противоположная картина наблюдалась в слое 10-20 см. При отвальной вспашке нитратного и аммонийного азота в этом слое больше, чем в верхнем. При поверхностной обработке запасы нитратного азота здесь снизились на 0,64 мг, аммонийного – на 0,25 мг на 100 г почвы, а при нулевой – на 0,73 и 0,23 мг/100 г соответственно. И.Н. Шарков и др. (2007) такие различия между почвенными слоями объясняют неодинаковыми резервами в них легкоминерализуемых азотсодержащих соединений.

В.Е. Синещековым с соавторами (2012) рассмотрены результаты многолетних исследований по изучению особенностей мобилизации подвижного фосфора в черноземах выщелоченных лесостепи Приобья при разных системах основной обработки в полях зернопарового севооборота. За период парования в вариантах с глубокой безотвальной и минимальной обработками отмечено увеличение содержания этого элемента в почве, особенно в черном пару по сравнению с черным паром со вспашкой. Наибольший расход фосфора за вегетацию зерновых культур зафиксирован по черным и раннему парам. По зерновым предшественникам потребление фосфора растениями без средств химизации резко снижалось на вспашке, особенно по минимальной и «нулевой» зяблевым обработкам. Выявленные изменения в потреблении подвижного фосфора зерновыми культурами в полях полевого севооборота обусловлены особенностями формирования их урожая. С учетом фосфатного фонда черноземов использование комплексной химизации приводило к увеличению урожая зерна в

1,2-1,3 раза при возделывании зерновых культур по пару и в 1,9-3,2 раза по зерновым предшественникам в сравнении с контролем (без средств химизации).

Для получения наибольшей урожайности сельскохозяйственных растений в конкретных условиях первой половины вегетационного периода необходимо агротехническими приемами достичь сохранения влажности почвы в диапазоне ВРК (влажность разрыва капилляров) – НВ (наименьшая влагоемкость), при которой растения, обеспеченные сбалансированным питанием, способны максимально эффективно развиваться (Абрамов, 1992).

Исследованиями М.М. Абдуллина, Я.З. Каипова (2011) на обыкновенном черноземе Южного Урала доказано влияние способа обработки почвы на ее водопроницаемость. В поле севооборота с травосмесью вики с овсом водопроницаемость на 5 % выше при минимальной обработке по сравнению с плужной (2,25 и 2,14 мм/мин соответственно). В опыте А.А. Романенко, Н.К. Мазитова (2011) установлено, что максимальные запасы продуктивной влаги в весенний период под озимой пшеницей накапливались после разуплотняющей чизельной мульчирующей обработки на глубину 38-40 см и комбинированной мульчирующей обработки (чизельная мульчирующая на 38-40 см раз в 3 года под пропашные культуры + безотвальная мульчирующая обработка на 12-14 см под озимые колосовые). Содержание влаги на варианте со вспашкой на глубину 20-22 см ниже на 32,8 и 22,2 % соответственно. Более благоприятный режим влажности при энергосберегающей системе основной обработки авторы объясняют лучшим сохранением ее запасов: обработка почвы без оборота пласта с оставлением пожнивных остатков на поверхности (мульчирование) сводит к минимуму испарение влаги с поверхности почвы, снижает ее температуру и защищает почву от дефляции. С.И. Смуров, Е.В. Дубенцев, Г.С. Агафонов (2011) провели ранжирование запасов продуктивной влаги в слое почвы 0-30 см в зависимости от способов основной обработки почвы в период уборки сои. В порядке уменьшения варианты расположились следующим образом: вспашка (32,8 мм), чизелевание (29,7 мм), без зяблевой обработки (27,7 мм) и культивация (26,3 мм).

На тяжелосуглинистых выщелоченных черноземах северо-западной зоны Курганской области в среднем за 1973-1975 гг. потери влаги в метровом слое за период от первого боронования до посева составили: на глубокой безотвальной обработке (30-40 см) – 52 мм, отвальной (22-24 см) – 29 мм, обработанной на глубину 6-8 см – 18 мм. Обыкновенные солонцеватые черноземы восточной зоны в предпосевной период в среднем за 1972-1978 гг. на отвальной обработке теряли 40 мм продуктивной влаги, на глубокой плоскорезной – 32 мм и на мелкой плоскорезной 26 мм. Потери почвенной влаги в выщелоченных черноземах центральной природной зоны за ранневесенний период составили: на отвальной обработке – 40 мм, мелкой плоскорезной – 20 мм (Глухих, 2003). В.А. Телегин и др. (2013) подчеркивают, что в засушливых и острозасушливых условиях вегетации Зауралья, на которые в регионе приходится около 60 % лет, мульчирующие, минимальные и нулевые системы подготовки паровых полей по накоплению и сохранению влаги не уступали традиционной отвальной системе.

Наблюдения за динамикой почвенной влаги в опытах Д.И. Еремина, О.А. Шаховой (2010) позволили сделать вывод о том, что отвальная обработка почвы плугом ПН-4-35 на глубину 28-30 см способствовала сохранению более высокой влажности в корнеобитаемом слое и подтягиванию питательных веществ из нижележащих горизонтов. Вспашка позволяет уменьшить мощность горизонта, в котором отсутствует движение воды (влажность меньше ВРК), до 25 см, тогда как при нулевой обработке этот слой составляет 35 см. Использование нулевой обработки приводит к дополнительному иссушению почвы на 3-4 % относительно варианта с отвальной обработкой, что может негативно отразиться на процессах прорастания зерновых культур. Отрицательный эффект особенно усиливается в годы с сухой и жаркой весной.

В результате исследований А.А. Погуленко (2012) получены новые количественные показатели водопроницаемости чернозема выщелоченного на Приобском плато в центрально-лесостепной зоне Западной Сибири при разных системах основной обработки почвы. Эксперимент проведен в условиях длительного полевого опыта, заложенного в 1981 г., в четырехпольном

зернопаровом севообороте пар – пшеница – пшеница – пшеница методом заливных площадок. Скорость впитывания влаги в 1-й час варьирует от 117 мм в варианте с глубоким безотвальным рыхлением до 19 мм без основной обработки почвы. Скорость фильтрации за 6 ч изменяется от 291 мм в варианте с глубоким безотвальным рыхлением до 50 мм на нулевом варианте. Установлено, что использование безотвальной глубокой обработки почв создает наилучшие условия для впитывания и последующей фильтрации влаги в почвенном профиле. Степень водопроницаемости почв в зависимости от способов обработки уменьшается в ряду безотвальное глубокое рыхление – вспашка – мелкая плоскорезная обработка – без основной обработки («нулевая»).

Одной из значимых физических характеристик почвы является ее плотность, изменение которой ведет к трансформации водного, воздушного и теплового режимов, что впоследствии отражается на развитии корневой системы сельскохозяйственных растений. Каждой культуре для реализации продуктивного потенциала необходима своя оптимальная плотность почвы. При соответствии равновесной плотности почвы требованиям культуры регулирующее механическое воздействие на почву можно минимизировать, вплоть до полного отказа от обработки (Заболотских, Власенко, 2012).

На черноземе типичном тяжелосуглинистом в Курской области исследования показали, что систематическое проведение той или иной обработки почвы изменяет ее плотность. Через три года эксперимента оптимальная плотность отмечена на вариантах с отвальной вспашкой. Наибольшая плотность почвы наблюдалась при нулевой обработке, несколько ниже – при поверхностной. Причем, если в первом случае почва уплотнена как в слое 0-10 см, так и в слое 10-20 см, то при поверхностной обработке наибольшая плотность зафиксирована в слое 10-20 см (Черкасов и др., 2012).

Плотность сложения серой лесной среднесуглинистой почвы в зернотравяном севообороте на следующих вариантах основной обработки: ежегодное глубокое рыхление на 20-22 см культиватором КПП-250, ежегодная отвальная вспашка на 20-22 см плугом ПЛН-4-35, комбинированная, состоящая из

ярусной вспашки на 28-30 см плугом ПЯ-3-35 под озимую рожь и безотвальной обработки на 6-8 см культиватором КПС-4 под остальные культуры севооборота – составила 1,35-1,38 г/см³. На делянках с ежегодной мелкой обработкой в отдельные годы увеличивалась до 1,46-1,50 г/см³ (Зинченко и др., 2011).

По мнению В.М. Гармашова (2011), безотвальные способы обработки приводили к увеличению плотности сложения верхнего (0-40 см) слоя.

Результаты экспериментов А.В. Дедова, Т.А. Трофимовой, Д.А. Болучевского (2013) показывают, что на черноземе выщелоченном тяжелосуглинистом дискование приводит к увеличению плотности почвы в слое 0-30 см по сравнению со вспашкой. Авторы делают вывод, что успешное внедрение приемов минимизации обработки возможно на почвах, устойчивых к уплотнению. На деградированных черноземах полный отказ от отвальной обработки или глубокого рыхления ведет к сильному переуплотнению почв.

Наиболее требовательная культура к плотности сложения пахотного слоя – горох, так как для фиксации воздуха клубеньковыми бактериями необходимы аэробные условия и достаточная влагообеспеченность (Растениеводство, 1986; Чураков, Валиулина, 2013). Влияние плотности сложения пахотного слоя почвы на урожайность гороха в условиях засушливой степи Северного Казахстана В.В. Заболотских, Н.Г. Власенко (2012) изучали в посевах гороха, возделываемого по разным технологиям в пятипольном севообороте (горох – пшеница – пшеница – рапс – ячмень). Наблюдения показали, что при снижении интенсивности обработки увеличивается объемная масса почвы. Так, перед посевом гороха наиболее рыхлое сложение (1,15 г/см³) отмечено в варианте глубокой плоскорезной обработки на 25-27 см. Более уплотненной (1,29 г/см³) оказалась необработанная с осени почва. Мелкое плоскорезное рыхление на 12-14 см и щелевание занимали промежуточное положение. Однако решающим фактором в формировании урожайности в аридной зоне послужила влагообеспеченность почвы. Наиболее высокими запасами влаги от посева до уборки гороха отличалась технология прямого посева, что, видимо, и обеспечило более высокую продуктивность гороха на этом варианте: в условиях засухи (дефицит осадков 64

% от нормы) 0,82 т/га, на остальных вариантах урожайность была ниже на 0,12-0,27 т/га. В годы, когда осадков выпадало в пределах нормы, небольшое преимущество имел вариант с применением щелевания.

Оценка элементов агротехники гречихи в Орловской области на темно-серой лесной среднесуглинистой почве показала, что оптимальные агрофизические свойства для культуры создавались при минимизации обработки почвы под нее в сочетании с глубокой отвальной вспашкой в севообороте. При этом было установлено, что объемная масса слоя почвы 0-30 см за период вегетации находилась в пределах биологических требований культуры (1,18-1,20 г/см²), и особых различий между способами обработки (отвальная вспашка на 20-22 см, поверхностная на 10 см, плоскорезная на 10 и 20 см) не отмечалось. По безотвальным обработкам коэффициент структурности под посевами гречихи был выше (3,15-4,32), чем по отвальным (2,97-3,18), агрономически ценных агрегатов (размером 5-1 мм) было больше на 2,2-6,1 % и водопрочных агрегатов – на 1,0-2,1 %, чем на вспашке, и составило соответственно 42,6-48,7 и 85,7-87,7 % (Глазова, Новиков, 2012).

В опытах Н.В. Абрамова, С.А. Семизорова (2012) установлено положительное влияние вспашки на содержание агрономически ценных агрегатов. Так, в слое 0-30 см содержание агрегатов размером 10-0,25 мм в диаметре составило 60,3 % и было больше относительно безотвальных обработок почвы по всем фонам минерального питания на 4,6-11,6 %. Однако водопрочность агрегатов, что является качественным показателем в структурообразовании, была выше у чернозема выщелоченного по изучаемым системам обработки почвы по сравнению с отвальной. Количество водопрочных агрегатов в среднем за три года в слое 0-30 см было больше по чизельной поверхности и «нулевой» обработке на 6-11 % по сопоставлению с контрольным вариантом. Водно-физические и биологические факторы почвенного плодородия при обработке с чизелеванием на глубину 45 см и периодическом чередовании с поверхностной на глубину 10-12 см обеспечили формирование водопрочной структуры до 84,3 %, что соответствует отличному ее состоянию.

Наиболее благоприятные агрофизические свойства чернозема типичного в Белгородской области при возделывании гороха на зерно складывались при применении традиционной вспашки: коэффициент структурности, выражающий отношение мезоагрегатов (размером 0,25-10 мм) к сумме макро- (> 10 мм) и микроагрегатов (< 0, 25 мм), находился в пределах 5,89-6,76. Использование дисковой борона снизило этот показатель на 2,10-2,51, а исключение обработки – на 3,40-3,69 (Котлярова О.Г., Котлярова Е.Г., Лубенцов, 2012).

Изменения структурно-агрегатного состава чернозема выщелоченного при переходе к технологии No-Till в условиях лесостепи Приобья изучены Н.А. Коротких, Н.Г. Власенко, С.П. Кастючик (2012). Авторами установлено, что при этой технологии возделывания на поверхности почвы растительных остатков накапливается примерно в 1,5 раза больше в сравнении с традиционной технологией на основе глубокого безотвального рыхления. Значения коэффициентов структурности почвы, определенные методом фракционирования мокрым и сухим просеиванием, при прямом посеве выше на 12-17 % в сравнении с рыхлением почвы.

На черноземах Воронежской области в стационарном 30-летнем опыте выявлено, что изменение глубины вспашки, поверхностная и безотвальные обработки хотя и обеспечивали некоторое варьирование агрофизических свойств чернозема (плотность сложения, скважность, пористость аэрации и др.), но эти показатели не выходили за пределы оптимальных диапазонов и практически не оказывали влияния на урожайность полевых культур. По накоплению весенних запасов влаги в почве и их расходованию в течение вегетации сельскохозяйственных культур достоверных различий между приемами обработки также не наблюдалось (Турусов, Новочихин, 2012). Аналогичные данные зафиксированы Н.В. Абрамовым, С.А. Семизоровым (2012).

Засоренность посевов сорняками в большинстве случаев является одним из значимых факторов снижения урожайности сельскохозяйственных культур. По данным, представленным К.С. Артохиным (2010), уровень потерь от сорной растительности в России на разных культурах составляет около 15 % урожая, а

потенциальные потери оцениваются в размере 46 млн т зерновых единиц. Результаты оценки засоренности сельскохозяйственных угодий России показали, что практически вся площадь пашни засорена в средней (21 %) и сильной (72,2 %) степени (Баздырев, Зотов, Полин, 2004). Гербологическая ситуация, сложившаяся в Красноярском крае, более благоприятна: площади, засоренные в средней, сильной и очень сильной степени составляют около 10 %, доминирует слабая и очень слабая степень засоренности (Химическая защита зерновых..., 2009).

В опытах (Шурупов, Полоус, 2011) по мере снижения глубины основной обработки почвы возрастала засоренность посевов. Так, количество однолетних сеgetальных растений по поверхностной (на 6-8 см) и нулевой основным обработкам на пропашных культурах было в 1,5-2,4 раза больше, чем по вспашке (на 22-24 см), и на 16-40 % - чем по минимальной обработке (на 12-14 см), что требует ежегодного применения гербицидов.

В ряде работ отмечено, что при переходе на ресурсосберегающие технологии происходит накопление семян сорных растений, насекомых, возбудителей болезней в верхнем слое почвы (Чулкина В.А., Крицкая В.И., Холмов В.Г., 1982; Горьковенко, Шаповалова, 1996; Енкина, Коробской, 1999; Lizowicz Trancizek, 1999; Boguzas et al., 2006; Kursjens., 2007; Чулкина, Торопова, Стецов, 2009; Химическая защита зерновых ..., 2009; Гармашов, 2011; Романенко, Мазитов, 2011; Телегин и др., 2011; Придвореви др., 2011; Савоськина, Чебаненко, Манишкин, 2011; Дедов, Трофимова, Болучевский, 2013; Еремина, Чекмарева, Фисунов, 2013; MacLaren et al., 2021). В то же время результаты исследований L.V. Gusta et al. (1994) и G. Brzozowski (1997) показывают, что поражение озимой пшеницы септориозом на участках со вспашкой с оборотом пласта выше.

Т.С. Мальцев (1953) предупреждал, что «... посев по лущенной, непаханной стерне можно проводить только на хорошо обработанных и очищенных от многолетних сорняков землях».

Пожнивные остатки на поверхности почвы, в большей степени накапливающиеся на полях с обработкой почвы без оборота пласта, служат одним из основных источников патогенных микромицетов – возбудителей корневой гнили, септориоза, мучнистой росы, фузариоза колоса. Заделка в почву пожнивных остатков способствует частичной их минерализации, а значит, и уменьшению количества инокулюма (Глазунова и др., 2012).

Использование пестицидов уменьшает значение почвообработки в борьбе с вредными объектами (Каличкин, 2008). При интенсивной схеме применения гербицидов под кукурузу (после уборки предшественника – озимой пшеницы – двукратное дискование на глубину 5-6 и 7-8 см и через две недели после отрастания сорняков) вносили гербицид сплошного действия Глифос (2,5 л/га); на следующий год под предпосевную культивацию – почвенный гербицид Трофи 90 (2,5 л/га), в фазе 3-5 листьев у кукурузы – гербицид Прима (0,5 л/га)) отвальная вспашка, чизельное рыхление и дискаторная обработка обыкновенного чернозема Краснодарского края – равноценные приемы основной обработки почвы (Толорая и др., 2012).

В.П. Буренок, Л.А. Язева, Т.П. Кукшенева (2011) показывают, что применение сидерального пара и соломы при ресурсосберегающих способах обработки почвы способствует снижению засоренности посевов зерновых культур на 8-10 % за счет уменьшения площади питания всходов сорняков, конкурирующих с сидеральной культурой.

Т.А. Трофимова, В.А. Маслов, С.И. Коржов (2011) отмечают, что в системе зяблевой обработки почвы при средней и сильной засоренности многолетними и малолетними сорняками эффективно сочетание двукратного лущения и вспашки на глубину 25-27 см. Безотвальную обработку плоскорезом или параплау в сочетании с лущениями авторы рекомендуют только при слабой засоренности.

Резюмируя, отметим обобщение, сделанное А.Н. Каштановым (2011): «Многолетними (около 60 лет) исследованиями, проведенными в научных учреждениях Зауралья, Западной, Восточной Сибири и других регионов, установлено, что безотвальная обработка позволяет лучше бороться с засухами,

сохранять черноземы и другие почвы от ветровой и водной эрозии, накапливать больше влаги и пищи, не снижать запасы гумуса, улучшать микробиологические процессы, получать стабильные урожаи зерновых и других культур». Минимальные технологии почвообработки предъявляют требования к плотности почвы, повышают потребность в применении минеральных удобрений и химических средств защиты растений.

ГЛАВА 2 ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ ПОЧВООБРАЗОВАНИЯ КРАСНОЯРСКОЙ ЛЕСОСТЕПИ

Красноярская лесостепь представляет собой самостоятельный природный район, имеющий ряд своеобразных черт. В ландшафтном отношении – это один из лесостепных островов, вкрапленных среди лесной зоны Средней Сибири. Она протянулась узкой полосой по левому берегу Енисея и ограничена крупными горными сооружениями Енисейского кряжа – с востока, отрогами Восточного Саяна – с юга-востока и юга, Кемчугского нагорья – с юго-запада. На севере лесостепь открыта к таежным пространствам Западно-Сибирской низменности. С юга на север лесостепь простирается на 110 км. Протяженность с запада на восток составляет не более 80 км. По данным В.В. Топтыгина с соавт. (2002), площадь лесостепи составляет 777 тыс. га. Здесь расположены северо-восточная часть Емельяновского района, основная территория Сухобузимского, южная часть Большемуртинского и северо-западная Березовского районов (Пути воспроизводства ..., 2002).

Изучению природных условий данного района посвящены работы С.А. Коляго (1953), Л.М. Черепнина (1961), Б.Н. Лиханова, М.Н. Хаустовой (1961), Л.В. Громова, И.Н. Лобовой (1961), Ю.П. Вередченко (1961), М.П. Брициной (1962), Н.Н. Галахова (1962), Е.В. Семиной (1962), М.П. Брициной и др. (1962).

Сложное строение *рельефа*, многообразие его форм обусловлены причинами, которые заложены в геологической истории. В конце палеогена эта территория была вовлечена в область поднятия систем Восточного Саяна, а в последствии она подвергалась денудации и глубокому эрозионному расчленению. Это придало ее поверхности облик крупнотеррасной денудационной равнины. Для современного рельефа Красноярской лесостепи характерна асимметрия долин и междуречий. Степень расчленения поверхности неодинаковая. Наиболее сильное эрозионное расчленение наблюдается в южной приподнятой части лесостепи. Рельеф здесь приобрел холмисто-увалистый характер; сохранились

значительные останцовые возвышенности, например Дрокина гора (359 м н.у.м.), гора Бадалыкская (380 м н.у.м.), которые возвышаются над окружающей местностью на 100-150 м. На основной части территории рельеф характеризуется более мягкими очертаниями и представляет чередование узких и широких плоских увалов (Кураченко, 2010).

Почти повсеместно распространен западно-бугристый мезо- и микрорельеф. Такой рельеф, создавая неоднородность водно-теплового режима почв, приводит к большой пестроте почвенного покрова. Довольно сильная расчлененность территории обуславливает хороший дренаж почв, исключая явления массового залужения и заболачивания водораздельных пространств. Вместе с этим мягкие и плоские формы рельефа способствуют наиболее полной утилизации почвами атмосферной влаги и более или менее равномерному распределению ее по поверхности, следовательно, хорошему увлажнению почв, а на отдельных участках и сильному их промыванию (Кураченко, 2010).

В *геологическом* отношении Красноярская лесостепь расположена на стыке трех структурных областей: Среднесибирской платформы, Западно-Сибирской низменности и горной системы Восточного Саяна. На территории Красноярской лесостепи развиты палеозойские, мезозойские кайнозойские отложения. Палеозойские отложения занимают значительную площадь в южной части территории, в районе города Красноярска, где они непосредственно примыкают с юга и юго-востока к древним метаморфическим толщам Восточного Саяна. Самыми древними являются девонские отложения, представленные тремя отделами. Вместе с отложениями нижнего карбона они именуются Качинской свитой. По литологическому составу все три отдела девона близки между собой и представляют мощную толщу (около 5000 м) пестроокрашенных осадочных пород – конгломератов, песчаников, мергелей и известняков. В окраске толщи преобладают красные тона.

К северу от линии с. Березовское – урочище Нанжуй обширные площади слагают юрские отложения, которые состоят из чередующихся маломощных пластов песчаников, глинистых сланцев, аргилитов, конгломератов и бурого угля.

Наиболее древними кайнозойскими отложениями являются рыхлые образования, покрывающие водораздельные пространства в предгорной части территории к востоку от реки Бугач. Более молодые четвертичные отложения (голоцен) плащеобразно покрывают почти все элементы рельефа и представлены пролювиально-делювиальными и делювиальными глинами и суглинками, аллювием и болотными отложениями. Мощность покровных суглинков непостоянна и колеблется от 15-20 м на склонах до 1-2 м на вершинах увалов. Эти отложения и являются преимущественно почвообразующими породами современных почв (Картавых, 2014).

Почвообразующие породы различны по своему генезису и физико-химическим свойствам. Формирование их тесно связано с развитием рельефа. Наблюдается приуроченность различных их групп к определенным разновозрастным уровням поверхности, соответствующим определенным этапам в истории ее формирования (Брицина, 1962). Наиболее древней поверхностью является расчлененное четвертичное плато, наиболее молодой – террасы рек.

Почвообразование в Красноярской лесостепи происходит на четвертичных аллювиально-делювиальных отложениях. Здесь отмечается разнообразный характер почвообразующих пород при сравнительно небольшой их мощности. По гранулометрическому составу и характеру распространения Е.В. Семина (1962) объединяет их в следующие группы:

- песчано-галечниковые и супесчаные, плохо отсортированные аллювиальные отложения пойм и двух нижних надпойменных террас Енисея и его притоков; местами прикрыты маломощными (1-2 м) лессовидными суглинками и супесями;
- лессовидные суглинистые отложения средних террас Енисея и его притоков мощностью от 2-5 до 20 м;
- легкие и средние желто-бурые иловато-пылеватые лессовидные глины с редкой галькой;
- бурые глины, покрывающие высокие, обычно узкие водоразделы на западе территории; имеют неширокое распространение;

- коричнево-бурые глины, также распространенные на вершинах водораздельных увалов, но приуроченные главным образом к восточной и южной частям территории;

- красно-бурые делювиальные глины.

Ю.П. Вередченко (1961) для Красноярской лесостепи выделяет следующие основные почвообразующие породы:

- палево-бурые лессовидные суглинки и глины;
- светло-бурые иловато-пылеватые суглинки и глины;
- тяжелые темно-бурые пылевато-иловатые суглинки и глины;
- красно-бурые и коричнево-бурые делювиальные глины с наличием гальки;
- песчано-галечниковые и супесчаные аллювиальные и пролювиальные отложения.

Первые три почвообразующие породы являются господствующими в Красноярской лесостепи. Палево-бурые лессовидные суглинки и глины широко распространены и приурочены главным образом к средним аккумулятивным террасам р. Енисей и его притоков. Мощность их измеряется от 3 до 20 м, и, как правило, они подстилаются песчано-галечниковыми отложениями. Лессовидные суглинки и глины сравнительно рыхло сложены, имеют палево-бурый цвет с расплывчатыми белесыми пятнами карбонатов. Они содержат до 32 % крупно-пылеватых фракций и сравнительно небольшие количества илистой фракции (31-34 %). В этих породах обнаруживаются карбонаты кальция и магния (CO_2 в них до 3-4 %) и относительно большие количества Fe_2O_3 и Al_2O_3 . Лессовидные суглинки имеют слабощелочную реакцию и в них отсутствуют легкорастворимые соли. Плотность сложения лёссовидных пород сравнительно низкая (1,3-1,4 г/см³), причем на глубине 2-4 м встречаются пустоты диаметром в 5-10 см, и возможно термокарстово-суффозионного происхождения. Водопроницаемость пород сравнительно хорошая, примерно равна 40-50 см/сутки (Солодченко, 2008).

Светло-бурые иловато-пылеватые суглинки и глины имеют наибольшее распространение, покрывая водораздельные пространства и верхние террасы. Некоторые физические свойства их сходны с физическими свойствами

лессовидных пород. По валовому же составу они отличаются от лессовидных суглинков большим содержанием полуторных окислов (24,4 %) и меньшим содержанием СаО и MgO (1,9-2,67 %). Плотность сложения этих пород 1,4-1,5 г/см³, т.е. они несколько плотнее, чем лессовидные суглинки и глины. Водопроницаемость их 25-30 см/сутки при легкоглинистом гранулометрическом составе. Эти породы в результате почвообразования более выщелочены от карбонатов. На них в основном располагаются выщелоченные, оподзоленные черноземы и темно-серые лесные почвы Красноярской лесостепи.

Темно-бурые пылевато-иловатые тяжёлые суглинки и глины обычно включают в себя гальку диаметром 2-5 см. От светло-бурых суглинков и глин они отличаются не только более тёмной окраской, большей плотностью (плотность сложения 1,5-1,6 г/см³) и глыбистостью, но и значительно большим содержанием ила (фракция ила обычно около 50-60 %). Они содержат меньше R₂O₃ (примерно 24 %) и больше SiO₂ (69,9 %). Эти породы обычно покрывают плоские водоразделы или пологие склоны и сравнительно широко распространены в северной части лесостепи. Так как темно-бурые глины обладают наименьшей водопроницаемостью из всех рассмотренных пород (3-5 см/сутки), то они являются в период снеготаяния и сильных дождей в некоторой мере водоупором. Поэтому на них наблюдается более интенсивное развитие глеевых процессов. В лесостепи на этих породах формируются светло-серые и серые лесные слабogleеватые почвы (Солодченко, 2008).

Красноярская лесостепь расположена в глубине материка, в большом удалении от действия морских и океанических факторов, чем и определяется основная особенность ее *климата* – относительная резкая его континентальность. Она проявляется в первую очередь в больших амплитудах температур между месяцами – самым холодным январем и самым теплым июлем. По данным Н.Н. Галахова (1962), мера континентальности достигает 64-68 %.

Красноярская лесостепь по агроклиматическому районированию относится к умеренному поясу прохладной зоны. Сумма положительных температур на этой территории выше 10°С составляет 1400-2000°С (Агрохимическая

характеристика..., 1971). Т.Н. Буторина (1979) установила, что на этой территории продолжительность теплого периода составляет 208-221 дней (57-61 % года), холодного – 144 - 157 дней (39-43 %).

Средняя годовая температура положительна лишь на юге Красноярской лесостепи ($0,3^{\circ}\text{C}$), а в остальной части лесостепи довольно низкая ($-1,6\dots-1,8^{\circ}\text{C}$). Красноярская лесостепь значительно вытянута в меридиальном направлении, поэтому климатические условия на её территории значительно варьируют. Северная часть лесостепи (Сухобузимское, Большая Мурта) вследствие расположения в котловинном понижении характеризуется теплым летом, с суммой температур 1700°C и средним минимумом за летние месяцы 11°C . Продолжительность безморозного периода также изменяется с севера на юг и составляет 85-120 дней.

Годовое количество осадков составляет 360-400 мм. Отмечается довольно резкое различие в увлажнении летнего и зимнего сезонов: зимой осадков выпадает в два с лишним раза меньше (70 мм), чем летом (180 мм). Гидротермический коэффициент равен 1,1. Количество осадков, выпадающих в отдельные годы, значительно изменяется. Причем на юге лесостепи отмечается некоторая тенденция к случаям недобора осадков (Кураченко, 2010).

Зима в Красноярской лесостепи продолжительная и суровая. Снежный покров появляется с половины октября или в третьей декаде и устанавливается на зиму в конце октября, в первых числах ноября. Наибольшая высота снежного покрова отмечается в первую половину зимы, в соответствии с циклоническим характером погоды в это время. Наибольшая мощность снежного покрова в феврале-марте составляет 20-40 см. Продолжительность периода с устойчивым снежным покровом – 160-165 дней. Сход снежного покрова весной на территории Красноярской лесостепи растягивается по времени почти на месяц. На юге снег исчезает в начале апреля, на севере – в конце его. Лето, хотя и более короткое, но и жаркое. Средняя месячная температура самого теплого месяца июля изменяется от $17,6$ до $18,2^{\circ}\text{C}$. Максимальные температуры воздуха наблюдаются в июле и достигают $38-39^{\circ}\text{C}$ (Агроклиматический..., 1961).

Устойчивое промерзание почвы начинается в конце октября - начале ноября до выпадения снега и заканчивается в марте-апреле (Шугалей, 1981). Среднегодовая температура почвы в лесостепи составляет плюс 2,7°C. Глубина промерзания почв в основном зависит от величины снежного покрова. Наибольшая мощность снежного покрова (20-40 см) в Красноярской лесостепи приводит к длительному и глубокому промерзанию почв, на открытых участках до 2,5-3,5 м в течение 9-10 месяцев, а под лесом – до 2 м в продолжение 7-8 месяцев (Вередченко, 1961). Длительное сезонное промерзание почв является важным фактором формирования их физических свойств и водного режима. Наличие мерзлого слоя, являющегося конденсатором влаги, приводит к образованию постоянного сильноувлажненного слоя, с существованием которого связаны процессы оглеения. Признаки этого процесса на глубине более 100 см имеются во всех почвах лесостепи. Своеобразие водно-теплового режима почв и оглеенность почв в нижней части профиля являются одними из характерных особенностей почв Средней Сибири вообще и Красноярской лесостепи в частности (Семина, 1962).

Растительный покров Красноярской лесостепи представляет собой сочетание лугово-степных массивов, обычно распаханых с участками, занятыми березой, лиственницей, иногда сосной (Черепнин, 1961). Общая картина распределения растительности подчинена концентрической зональности, характерной для «островных» степей межгорных котловин Сибири: центральное положение занимает степь, к северу она сменяется южной лесостепью, а затем северной лесостепью.

Участки лесов (перелески, колки) имеют или смешанный древостой, или образованы какой-либо породой (береза, реже лиственница, иногда сосна). В центральных районах лесостепи преобразуют березовые перелески. Под древостоями, как правило, хорошо развит травяной покров из разнотравья. В южной части лесостепи леса приурочены к северным склонам, ложкам и другим понижениям. Е.Л. Любимовой (1962) установлено, южная лесостепь

выделяется как комбинация преобладающих степных ландшафтов с лесными. Леса образованы молодыми порослевыми березами с примесью осины и сосны и имеют вид колков и перелесков. Они встречаются по вершинам самых высоких увалов и их северным склонам, а также понижениям рельефа.

В целом Красноярская лесостепь представлена сочетанием участков луговой степи с перелесками. Луговые степи в большинстве случаев представлены разнотравными формациями, злаки играют подчиненную роль. Составлены они растениями, требующими большого увлажнения с примесью чисто луговых видов. Эти степи отличаются большой видовой насыщенностью (до 66 видов на 100 м²), довольно плотным травостоем и красочностью, особенно в период массового цветения (Кураченко, 2010).

Ведущими растениями (эдификаторами) значительной части красноярских луговых степей по данным Е.Л. Любимовой (1962), являются прострел желтеющий (*Pulsatilla flavescens*) и ирис-узик (*Iris ruthenica*). Большую роль в травостое играют: из злаков – тимофеевка степная (*Phleum phleoides*), мятлики – узколистый, степной и луговой (*Poa angustifolia*, *P. stepposa*, *P. pratensis*), овсец Шелля (*Heliototrichon Schellianum*); из разнотравья – крестовник цельнолистный (*Senecio integrifolius*), полыни – пижмолистная, сизая и широколистная (*Artemisia tanacetifolia*, *A. glauca*, *A. latifolia*), володушка многонервная (*Bupleurum multinerve*), экспарцет сибирский (*Onobrychis sibirica*). Встречаются участки с большим обилием перистых ковылей (*Stipa joannis*, *S. rubens*).

Широко распространены в лесостепи кустарники, иногда образующие небольшие заросли. Наиболее часто встречаются: кизильник черноплодный (*Cotoneaster melanocarpa*), шиповник иглистый (*Rosa aciaelaris*), акация желтая (*Canagana arborescens*), боярышник кроваво красный (*Crataegus sanguinea*).

Почвенный покров Красноярской лесостепи отличается довольно значительным разнообразием и тесно связан с характером поверхности территории и историей ее формирования (Вередченко, 1961; Бугаков, 1964; Семина, 1962; Лебедева, Семина, 1974; Бугаков, Горбачева, Чупрова, 1981; Бугаков, Чупрова, 1995; Крупкин, 2002).

На территории Красноярской лесостепи существуют две почвенно-географические зоны, закономерно сменяющиеся от центра котловины к периферии: зона степи с преобладанием обыкновенных черноземов и зона лесостепи с двумя подзонами – южной лесостепи с преобладанием выщелоченных и обыкновенных черноземов и северной с преобладанием серых лесных почв, среди которых встречаются оподзоленные черноземы (Бугаков и др., 1981). В пределах южной степи местами встречаются сосновые боры с дерново-подзолистыми почвами. Среди почв гидроморфного ряда здесь распространены лугово-черноземные и луговые почвы, солонцы луговые и болотные почвы.

По данным П.И. Крупкина (2002), среди распаханых массивов в Красноярской лесостепи господствуют черноземы (69,4 %), в том числе черноземы выщелоченные занимают 38,9 % распаханых массивов, обыкновенные – 26,8, оподзоленные – 3,5, солонцеватые – 0,1 %. Значительные площади заняты серыми лесными почвами (19,3 %), преимущественно темно-серыми (15,4 %). Среди интразональных почв существенный удельный вес в структуре почвенного покрова пашни занимают луговые и лугово-черноземные (6,6 %), а также пойменные почвы (3,2 %).

Черноземы обыкновенные располагаются в южной степной части лесостепи. Около г. Красноярска они образуют самостоятельную подзону, на остальной части встречаются на более высоких отметках, а в условиях бугристого микрорельефа развиваются на верхушках бугров (Картавых, 2014). Гумусированный слой подразделяется на два горизонта: А – темный, равномерно окрашенный, зернистый или комковато-зернистый, и АВк – темный, с усиливающимся книзу бурым оттенком и с более крупными агрегатами. Горизонт Вк характеризуется неоднородной палево-серой окраской серыми пятнами и языками, неявно выраженной структурой и наличием карбонатов. Вскипание обычно наблюдается в нижней части В или АВ. Плодородие обыкновенных черноземов оценивается гораздо ниже, чем выщелоченных, в связи с их неудовлетворительной влагообеспеченностью.

ГЛАВА 3 УСЛОВИЯ И МЕТОДИКА ПРОВЕДЕНИЯ ИССЛЕДОВАНИЙ

3.1 Объекты и методика проведения исследований

Исследования проведены в 2013-2015 гг. в условиях полевого опыта на стационаре «Минино» Красноярского научно-исследовательского института сельского хозяйства, расположенного в Красноярской лесостепи.

Объекты исследования – агрочернозем криогенно-мицелярный маломощный среднесуглинистый и пятипольный полевой севооборот (пар – пшеница – рапс – ячмень – овес).

Почва опытного участка в слое 0-20 см характеризуется высоким содержанием гумуса (7,9-9,6 %), слабощелочной реакцией среды (pH_{H_2O} – 7,1-7,8), высокой суммой обменных оснований (40,0-45,2 м-экв/100г). Морфологическое описание и основные показатели почвы представлены ниже (табл. 1, рис. 1). Морфологическое описание почв проведено по генетическим горизонтам (Розанов, 1983). Почвенные образцы на химические показатели и гранулометрический состав отбирали из средней части каждого горизонта.



Рисунок 1 – Профиль агрочернозема криогенно-мицелярного

Почва – агрочернозем криогенно-мицелярный маломощный среднесуглинистый на красно-бурой глине. Заложен на ровном участке междуречья Бугач-Караульная в 2 км южнее п. Монино. Рельеф широко-увалистый с микропонижениями. Паровое поле.

PU 0-22 см. Черный, свежий, рыхлый, комковато-глыбистый, среднесуглинистый, тонкопористый, тонкотрециноватый. Умеренное количество корней, вскипает от HCl. Переход резкий по цвету.

AU 22-31 см. Неоднородный по цвету: красно-бурый с черными гумусовыми затеками. Свежий, тяжелосуглинистый, рыхлый, глыбистый, тонкопористый, тонкотрециноватый. Встречаются единичные корни. Вскипает от HCl. Карбонаты в форме псевдомицелия. Переход ясный. Встречается дресва и щебень.

BCA 31-59 см. Красно-бурый, свежий, комковато-глыбистый, глинистый, пористый, тонкотрециноватый, переход резкий по цвету. Вскипает от HCl. Дресва и щебень.

BCAmc 59-100 см. Красно-бурый с белесоватым оттенком, свежий, пористый, тонкотрециноватый, глинистый. Обильно карбонаты в мучнистой форме, встречается дресва и щебень.

Таблица 1 – Некоторые химические свойства и гранулометрический состав агрочернозема криогенно-мицелярного

Горизонт	Глубина, см	Гумус, %	S, м-экв/100г	pH _{H₂O}	Сумма фракций, %, мм<0,01
PU	0-22	9,5	43,0	7,3	36,7
AU	22-31	4,7	-	7,7	42,5
BCA	31-59	3,2	-	7,8	51,0
BCAmc	59-100	0,9	-	8,2	51,7

- не определялось.

Данные табл. 1 показывают, что агрочерноземы криогенно-мицелярные опытного поля незначительной мощностью гумусового горизонта с очень

высоким содержанием гумуса в гор. РU (10 %). С глубиной содержание гумуса резко убывает. Верхняя граница окарбонированной зоны, характеризующаяся слабощелочной реакцией почвенного раствора, в профиле агрочернозема криогенно-мицелярного находится в горизонте РU. С глубиной реакция почвенного раствора становится щелочной, что обусловлено повышенной карбонатностью почвы. Среднесуглинистый гранулометрический состав в пахотном гор. РU с глубиной становится легкоглинистым.

Исследования проведены на трех блоках основной обработки почвы: I – отвальная обработка на глубину 20-22 см; II – минимальная обработка дискатором на глубину 10-12 см; III – нулевая обработка (прямой посев). Последовательность технологических операций при возделывании сельскохозяйственных культур представлена в табл. 2.

Таблица 2 – Технологические операции при возделывании сельскохозяйственных культур

Отвальная	Минимальная	Нулевая
1. Вспашка ПЛН 4-35 на глубину 20-22 см	1. Осеннее дискование культиватором Rubin 9600 KU на глубину 10-12 см	-
2. Ранневесеннее боронование	2. Ранневесеннее боронование	-
3. Предпосевная культивация КТС-4	3. Предпосевная культивация КТС-4	-
4. Посев сеялкой Джон-Дир + внесение удобрений + прикатывание	4. Посев сеялкой Джон-Дир + внесение удобрений + прикатывание	1. Посев сеялкой Джон-Дир + внесение удобрений + прикатывание
5. Обработка посевов гербицидами	5. Обработка посевов гербицидами	2. Обработка посевов гербицидами
6. Уборка	6. Уборка	3. Уборка

Культуры размещены на фоне применения минеральных удобрений со стартовой дозой $N_{30}P_{30}$. Посевы зерновых культур с учетом доминирования широколиственных сорняков в фазу кущения обрабатывали гербицидом Магнум, ВДГ в дозе 0,01 кг/га. В опыте использовали сорта, рекомендованные к

возделыванию в Красноярском крае: пшеница – Алтайская 70, ячмень – Буян, овес – Саян. Поля севооборота представлены на рис. 2.



Рисунок 2 – Вид полевого опыта (2014 г.)

Размещение вариантов опыта – систематическое, повторность – 3 кратная. Учетная площадь делянки – 100 м². Повторность отбора образцов и аналитических определений – 3-х кратная. Почвенные образцы отбирали в слоях 0-10, 10-20 см. Сроки отбора образцов были приурочены к фазам развития зерновых культур: июнь (всходы), июль (колошение), август (молочная спелость).

Основные химические показатели по характеристике почвы получены при помощи общепринятых методов (Аринушкина, 1970; Агрохимические методы..., 1975):

- реакция почвенного раствора определялась потенциометрическим методом;
- сумма обменных оснований – по Каппену-Гильковицу;
- гумус – по Тюрину;
- нитратный азот – с помощью ион-селективного электрода;

- подвижный фосфор – по Мачигину;
- обменный калий – по Мачигину.

Агрофизические показатели определялись следующими методами:

- гранулометрический состав – по Качинскому (1965);
- структурный состав – по Саввинову (Методическое руководство..., 1969);
- плотность почвы – по Качинскому (Александрова, Найденова, 1967);
- влажность – термовесовым методом (Практикум..., 1986).

Анализ почвенных образцов на заселенность возбудителем гельминтоспориозной корневой гнили зерновых культур *Bipolaris sorokiniana* проводили в вегетационный сезон 2014-2015 гг. перед посевом и после уборки культур методом флотации (Ledingham, Chinn, 1955).

Учет сорняков проводили количественным методом в фазу кущения зерновых культур. Видовой состав сорняков и их количество по видам определяли с учетных делянок площадью 0,25 м² в 4 кратной повторности. Рассчитывали средний показатель из 4 подсчетов и пересчитывали на 1 м².

Учет урожая зерновых осуществляли в фазу полной спелости методом прямого комбайнирования. Урожайность приводили к стандартной 14 % влажности и 100 % чистоте.

Результаты аналитических определений обработаны методами дисперсионного анализа и описательной статистики (Дмитриев, 1995; Доспехов, 2014).

3.2 Погодные условия в годы проведения опыта

Погодные условия вегетационного сезона 2013 г. характеризовались как избыточно увлажненные (рис. 3). Сумма осадков за период июнь-август составила 308 мм, что составляет 156 % к норме. Средняя температура воздуха за период

наблюдений составила 16°C и соответствовала среднегодовым данным (рис. 4).

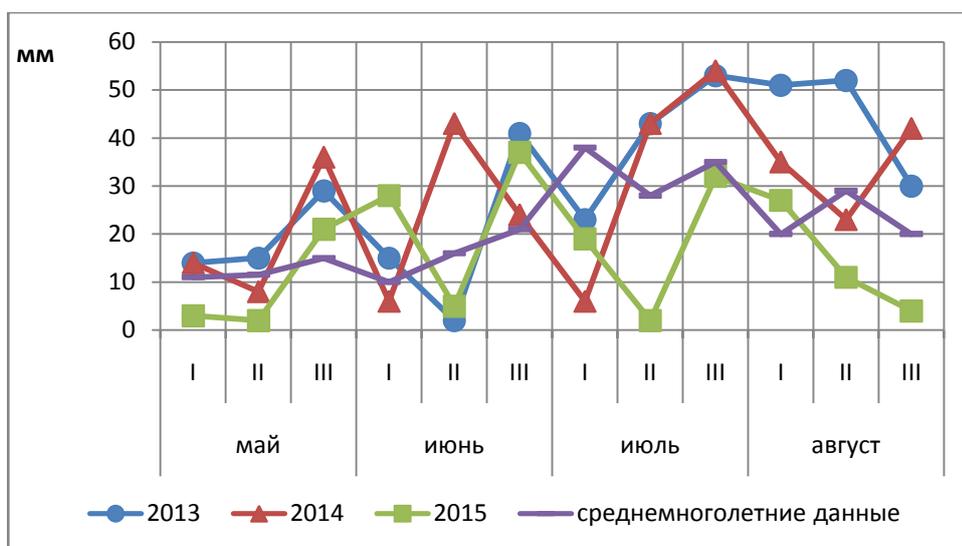


Рисунок 3 – Сумма осадков по декадам вегетационного периода (агрометеорологическая станция «Минино», 2013-2015 гг.), мм

Условия вегетационного сезона 2014 г. характеризуются также избыточным увлажнением в мае-августе (среднее превышение нормы на 30-40 мм) и резким снижением количества осадков в сентябре (16 мм ниже нормы). Весна была холодной, средняя температура мая $7,3^{\circ}\text{C}$, что ниже нормы на $2,7^{\circ}\text{C}$. В остальные месяцы вегетационного периода температура атмосферного воздуха была на уровне среднегодового показателя.

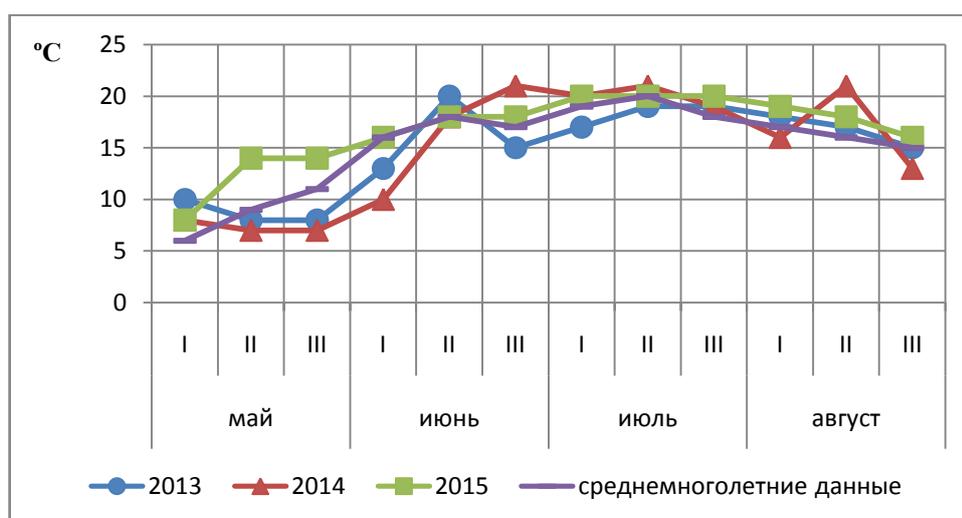


Рисунок 4 – Среднесуточная температура воздуха по декадам вегетационного периода (агрометеорологическая станция «Минино», 2013-2015 гг.), $^{\circ}\text{C}$

Вегетационный сезон 2015 г. по температурному режиму соответствовал среднемноголетним данным. Средняя температура воздуха за период наблюдений составила 15°C, что превышает среднемноголетнее значение на 1°C. Сумма осадков за период май-сентябрь составила 207 мм, что ниже нормы на 26 мм. Избыточное увлажнение отмечалось только в июньский период (среднее превышение нормы на 27 мм).

ГЛАВА 4 ВЛИЯНИЕ ПРИЁМОВ ОСНОВНОЙ ОБРАБОТКИ НА АГРОФИЗИЧЕСКОЕ СОСТОЯНИЕ АГРОЧЕРНОЗЕМА

4.1 Запасы продуктивной влаги

Вода является одним из важнейших и необходимых факторов жизни растений, а влажность почвы – один из показателей ее плодородия. Уровень урожая сельскохозяйственных культур находится в прямой зависимости от влагообеспеченности растений. Она во многом определяется метеорологическими условиями, способами обработки почвы, биологическими особенностями возделываемых культур и другими условиями (Балабанов и др., 2013).

В сохранении и правильном использовании влаги исключительно большая роль принадлежит системе обработки почвы. Анализ современной литературы показывает расхождение в оценке влияния разных систем обработки на содержание продуктивной влаги в почве. По мнению

Г.И. Казакова с соавт. (1990), отвальная вспашка увеличивает водопроницаемость пахотного слоя, что приводит к увеличению запасов продуктивной влаги. И.А. Чуданов, Л.Ф. Лигастаева (2007), Н.И. Придворев и др. (2011), А.А. Романенко, Н.К. Мазитов (2011), А.Н. Ильин с соавт. (2015) отмечают преимущества мелкой и нулевой обработки в накоплении влаги. Согласно результатам исследований Р.Я. Рамазанова, Ф.Х. Хазиева (1994), В.М. Новикова с соавт. (2006), Н.Н. Чумановой, В.В. Гребенниковой (2011), Н.Л. Кураченко с соавт. (2014), поверхностные обработки равноценны по влиянию на содержание влаги в почве. Исходя из этого следует, что к реализации минимальных и нулевых обработок следует подходить осмотрительно, с учетом почвенно-климатических условий региона (Каличкин, 2008).

Для сельскохозяйственного производства основной интерес представляет та часть почвенной влаги, которая обладает лабильностью, достаточной не только для поддержания жизни растения, но и создания надлежащего урожая (Вериги, Разумова, 1963). В связи с этим для характеристики влагообеспеченности сельскохозяйственных культур целесообразно учитывать лишь продуктивную

влагу. Запасы продуктивной влаги, накопленные в 0-20 см слое агрочернозема криогенно-мицелярного среднесуглинистого гранулометрического состава, свидетельствуют об удовлетворительной влагообеспеченности почвы в годы исследований (20-36 мм) (табл. 3).

Таблица 3 – Статистические показатели запасов продуктивной влаги в агрочерноземе полей севооборота (0-20 см), мм

Агроценоз	2013 г. (n = 3)		2014 г. (n = 3)		2015 г. (n = 3)	
	X	Cv, %	X	Cv, %	X	Cv, %
Пар	<i>Отвальная</i>					
	30,5	16	25,1	27	27,3	21
	<i>Минимальная</i>					
	32,6	19	26,6	21	22,8	28
	<i>Нулевая</i>					
	26,4	21	35,8	13	26,0	28
Пшеница	<i>Отвальная</i>					
	23,5	10	27,2	29	23,9	25
	<i>Минимальная</i>					
	26,0	20	25,4	13	21,6	26
	<i>Нулевая</i>					
	25,2	21	27,4	19	26,9	24
Ячмень	<i>Отвальная</i>					
	27,2	14	25,5	5	21,0	18
	<i>Минимальная</i>					
	28,9	5	24,7	18	22,5	28
	<i>Нулевая</i>					
	32,6	8	25,9	31	27,8	28
Овес	<i>Отвальная</i>					
	28,0	17	24,2	12	19,9	25
	<i>Минимальная</i>					
	31,0	13	31,5	12	26,9	17
	<i>Нулевая</i>					
	27,3	12	26,3	25	24,6	22

Примечание. Здесь и далее: X – среднее арифметическое; Cv – коэффициент варьирования.

При близких средних значениях запасов доступной для растений влаги установлено расхождение в оценке влияния разных приёмов обработки на ее накопление по годам. Так, в условиях избыточного увлажнения вегетационного

сезона 2013 г. максимальное накопление продуктивной влаги в 0-20 см слое агрочернозема зафиксировано на фоне отвальной и поверхностной минимальной обработки чистого пара (31-33 мм; $НСР_{05} = 2-3$; прил. 1), что на 4-6 мм больше по сравнению с нулевой обработкой (химическим паром) (Колесников, 2014). Минимальная и нулевая обработка агрочернозема в посевах пшеницы и ячменя создавала лучшие условия увлажнения по сравнению с отвальной вспашкой. Особенно эти различия достоверны в период от начала выхода в трубку до созревания зерновых культур, где количество продуктивной влаги превышало вспашку на 4-10 мм при $НСР_{05} = 3-5$. В агроценозе овса лучшие условия увлажнения создавались в поле, обработанном дискатором (31 мм). При этом различия по фонам основной обработки были несущественными в течение вегетационного сезона ($F_{ф} < F_{т}$).

Динамические изменения запасов продуктивной влаги в вегетационный сезон 2014 года имели более выраженный характер ($C_v = 5-31$ %). Нулевая обработка паровых полей способствовала существенному накоплению влаги в течение вегетационного сезона до 36 мм, что превышало отвальную вспашку на 11 мм ($НСР_{05} = 6-9$; прил. 2). Ресурсосберегающие технологии основной обработки почвы под пшеницу и ячмень на фоне избыточного увлажнения вегетационного сезона 2014 года не давали явных преимуществ в накоплении запасов влаги по сравнению с отвальной вспашкой. Среднесезонные запасы продуктивной влаги на всех фонах основной обработки оценивались близкой величиной (25-27 мм). В агроценозе овса поверхностная минимальная обработка почвы способствовала сохранению и накоплению влаги на уровне 32 мм. Хорошо известно, что обработка почвы без оборота пласта с оставлением пожнивных остатков на поверхности почвы сводит к минимуму испарение влаги с поверхности. Мульчирующий слой, состоящий из измельченной соломы и растительных остатков, снижает интенсивность конвекционно-диффузного испарения почвенной влаги и способствует накоплению и сохранению влаги. Однако роль стерневых фонов для улучшения

влагообеспеченности растений повышается с увеличением засушливости климата и с облегчением гранулометрического состава почвы (Кравченко, Тронева, 2011).

Удовлетворительная влагообеспеченность полей зернопарового севооборота отмечена в начале вегетационного сезона 2015 г. (22-36 мм, прил. 3). С началом активного роста и развития сельскохозяйственных культур севооборота динамика запасов продуктивной влаги в большей степени определялась метеорологическими факторами. Засушливые условия августа 2015 г. способствовали постепенному снижению запасов влаги к концу вегетационного периода до плохих (21-16 мм) ($C_v = 17-28\%$). Анализ динамики запасов влаги в 0-20 см слое почвы агроценозов зерновых культур и пара показал неоднотипный ход изменчивости. Так, к июлю под зерновыми культурами, которые в это время находятся в фазе кущение-выход в трубку, запасы влаги составили по блокам основной обработки 17-28 мм; в паровых полях запасы влаги достигали 30-34 мм. Исследованиями установлено, что ресурсосберегающие технологии основной обработки почвы под агроценозы зерновых культур определили пополнение запасов продуктивной влаги в 0-20 см слое агрочернозема. Максимальные значения среднесезонных запасов влаги при возделывании пшеницы и ячменя отмечены на нулевом фоне (27-28 мм), овса – на минимальном (27 мм). Такие закономерности согласуются с рядом исследований (Рябов, Бурыкин, Белозеров, 1993; Васюков, 2003). Нулевой посев обеспечивает сохранение растительных остатков на поверхности почвы, что способствует ее защите от солнечного перегрева, а также задерживает осадки зимнего периода. Исследования Т.С. Мальцева (1988) показывают, что в посевах на дискованной почве большая часть корней злаковых культур размещается в верхнем разрыхленном слое, а общее количество корневых остатков в пролущенной почве в ряде случаев больше, чем во вспаханной.

Оценивая в среднем запасы продуктивной влаги за вегетационные сезоны 2013-2015 гг., следует отметить, что роль основной обработки почвы в сохранении и накоплении запасов влаги определялась типом агроценоза (рис. 5).

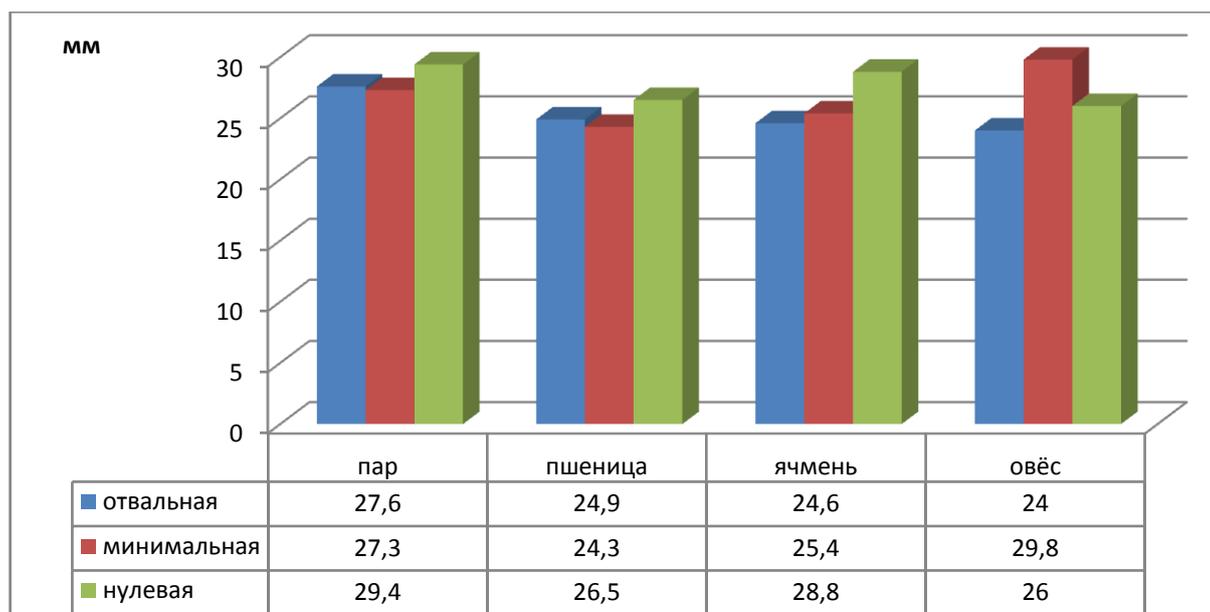


Рисунок 5 – Запасы продуктивной влаги в 0-20см слое агрочернозема (2013-2015 гг.); (HCP_{05} пар = $Fф < Fт$; HCP_{05} пшеница = $Fф < Fт$; HCP_{05} ячмень = 3,1; HCP_{05} овёс = 3,8), мм

Нашими исследованиями установлено, что нулевая обработка паровых полей и возделывание пшеницы на этом фоне определили повышение запасов продуктивной влаги в 0-20 см слое в среднем на 2 мм ($Fф < Fт$) по сравнению со вспашкой и поверхностной минимальной обработкой (Колесников, Кураченко, 2022). В посевах ячменя величина накопления продуктивной влаги на нулевой обработке оценивалась уже на достоверном уровне с повышением на 3-4 мм. В агроценозе овса запасы продуктивной влаги на фоне ресурсосберегающих технологий основной обработки почвы достигали 30-26 мм, что на 6-2 мм больше, чем на отвальной обработке.

Изложенное выше позволяет заключить, что запасы продуктивной влаги и их сезонная динамика в 0-20 см слое паровых полей и агроценозов зерновых культур определялись погодными условиями, способом основной обработки и особенностями возделываемых культур. Эти предположения подтверждаются данными двухфакторного дисперсионного анализа (табл. 4).

Таблица 4 - Оценка вклада агроэкологических факторов в изменение запасов продуктивной влаги 0-20 см слоя агрочернозема

Год	Фактор	Показатель степени влияния (ПСВ), %
2013	Прием обработки (А)	10,3
	Агроценоз (В)	30,1
	Взаимодействие (АВ)	28,0
	Неучитываемые факторы	31,6
2014	Прием обработки (А)	29,9
	Агроценоз (В)	15,3
	Взаимодействие (АВ)	29,1
	Неучитываемые факторы	25,7
2015	Прием обработки (А)	32,3
	Агроценоз (В)	14,5
	Взаимодействие (АВ)	30,8
	Неучитываемые факторы	22,4

Результаты показывают, что в первый год внедрения ресурсосберегающих технологий основной обработки почвы существенную роль в содержание запасов продуктивной влаги вносили факторы, которые не были предметом изучения (32 %), и характер агроценоза (30 %). На второй и третий год использования минимальной и нулевой обработки почвы достаточно весомый вклад в запасы продуктивной влаги вносили фактор «прием обработки» (30-32 %) и взаимодействие этого фактора с агроценозом (29-31 %). Полученные закономерности позволяют утверждать, что регулирование запасов продуктивной влаги в корнеобитаемом слое почвы определяется особенностями возделываемой культуры и сроками внедрения ресурсосберегающих технологий основной обработки. Исследования А.М. Гребенникова с соавт. (2019) на черноземах Воронежской области показали, что влияние фактора «приём обработки почвы» по сравнению с фактором «фаза вегетации» было менее выраженным. Это характеризовалось меньшей долей вклада в вариабельность запасов продуктивной влаги в слоях 0-20, 20-50 и 50-100 см. Однако доля вклада способа обработки почвы в запасы продуктивной влаги, в отличие от фактора фаз вегетации, была

больше при благоприятных условиях роста и развития озимой пшеницей по сравнению с неблагоприятными погодными условиями.

4.2. Плотность сложения

Изучение физических свойств почв, динамики их изменения при агрогенных воздействиях тесно связано с рациональным использованием почв и управлением их плодородия (Sandal, Acharya, 1997; Tebrugge, 2000; Alonso et al., 2022). Считается, что именно физические свойства почв являются лимитирующим фактором не только для развития сельскохозяйственных культур, но и для успешного применения агрохимических, мелиоративных и других почвоулучшающих мероприятий (Qin, Noukas, Herrera, 2018).

Показательной характеристикой физического состояния почв является плотность сложения. По мнению П.Н. Березина и И.И. Гудимы (1994), она представляет собой прямое отражение текстурной пористости, стабильной структурной пористости, плотности твердой фазы, набухаемости и в силу этого может быть принята за некоторый показатель физического состояния почв. Плотность почвы не подменяет другие физические параметры и представляет собой функцию от вышеперечисленных показателей, имеет самостоятельное значение как оценочная величина. По И.Б. Ревуту (1972), это основная, наиболее существенная физическая характеристика, накладывающая отпечаток на весь комплекс почвенных условий.

Внедрение минимальных и нулевых обработок должно быть увязано с агрофизическими свойствами различных типов почв и требованиями различных культур к сложению почвы (Mnatsakanyan et al., 2022). На тяжело- и среднесуглинистых черноземах диапазон оптимальных значений для зерновых культур колеблется в пределах 1,05-1,30 г/см³. Однако следует отметить, что для почв земледельческой зоны Красноярского края, как правило, характерна пониженная плотность сложения, которая не достигает даже рекомендованных для них значений – 1,10-1,20 г/см³. Это подтверждается исследованиями Ю.П.

Верещенко (1961), А.Д. Бекетова с соавт. (1975), П.С. Бугакова с соавторами (1981) и А.М. Берзина (2002). Сформированная В.В. Чупровой и Н.Л. Ерохиной (1999) база данных почв земледельческой территории края позволила выяснить, что для целинных пахотных черноземов плотность сложения составляет в среднем 0,95-1,10 г/см³ и она близка к оптимальным параметрам. Фактором рыхлости почв региона является длительное пребывание их в мерзлотном состоянии, хорошая оструктуренность и значительная степень гумусированности.

Исследованиями установлено, что агрочернозем криогенно-мицелярный Красноярской лесостепи в условиях основной обработки, как правило, характеризовался рыхлым и нормальным сложением 0-20 см слоя (Колесников, 2013). В отдельные периоды минимальная и нулевая обработка определяла уплотненное состояние почвы, достигающее 1,16-1,20 г/см³ (прил. 4-6). Сезонный ритм плотности 0-20 см слоя в полях севооборота имел различную изменчивость, определяемую типом основной обработки и характером агроценоза. В поле чистого пара, обработанного по различным технологиям, величина плотности сложения агрочернозема в вегетационные сезоны 2013-2015 гг. не превышала 1,05 г/см³ при незначительном и небольшом варьировании показателя ($C_v = 2-16\%$) (табл. 5). Наиболее рыхлое сложение 0-20 см слоя поддерживалось поверхностной обработкой дискатором в вегетационные сезоны 2013 и 2015 гг. (0,83-0,94 г/см³). Снижение плотности 0-10 см слоя пара, обработанного с осени по минимальной технологии, на 0,07-0,08 г/см³ по сравнению с отвальной обработкой отмечено в июньский период и подтверждено результатами дисперсионного анализа ($HCp_{05} = 0,03-0,07$). Дифференциация пахотного горизонта по показателям плодородия рассматривается как основной недостаток ресурсосберегающих приемов обработки почвы, что подтверждается рядом исследователей (Халиуллин, 2007; Митрофанов, 2010; Черкасов и др., 2012; Дорожко и др., 2013; Дубовик и др., 2021).

Таблица 5 – Статистические показатели плотности сложения агрочернозема в паровых полях (0-20 см), г/см³

Прием обработки	Слой почвы, см	2013 г. (n=3)		2014 г. (n=3)		2015 г. (n=3)	
		X	Cv, %	X	Cv, %	X	Cv, %
Отвальная	0-10	0,90	11	0,87	11	0,92	2
	10-20	0,95	6	0,93	8	1,05	4
Минимальная	0-10	0,83	15	0,95	15	0,84	8
	10-20	0,86	10	0,98	8	0,94	3
Нулевая	0-10	0,94	6	0,94	14	0,98	16
	10-20	0,91	2	0,99	17	0,99	10

Авторами установлено, что ежегодная минимальная обработка на одном и том же поле приводит к переуплотнению верхних слоев почвы в результате образования большого количества пылевой фракции или, наоборот, к уплотнению 10-20 см слоя. При применении безотвальных обработок, особенно мелких и нулевых, происходит дифференциация пахотного слоя на прослойки, отличающиеся по физическим параметрам и содержанию питательных веществ (Казаков, 1997; Бакиров, 2019; Akhtyrsev, Lepilin, 2001), более выраженная, чем она формируется через 2-3 месяца после вспашки (Лебедевцев, 1960). Анализ среднесезонной величины сложения агрочернозема парового поля показал, что отвальная и минимальная обработки в равной степени определили дифференциацию 0-20 см слоя почвы (рис. 6). Разница между 0-10 и 10-20 см слоями по величине показателя оценивалась на уровне 0,08-0,06 г/см³ (НСР₀₅ =0,04). Отсутствие основной обработки парового поля в осенний период и в течение лета (химический пар) определило гомогенность 0-20 см слоя агрочернозема (0,95-0,96 г/см³).

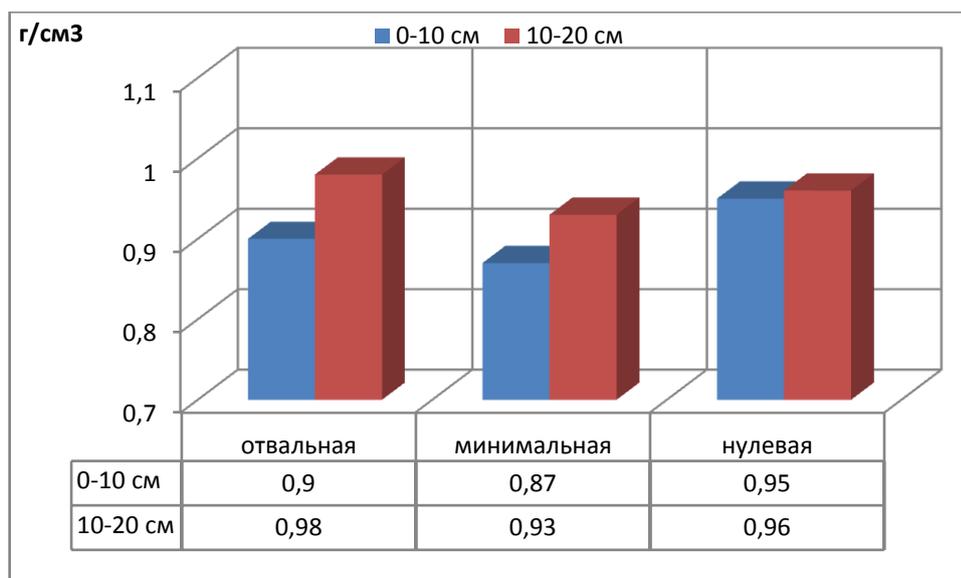


Рисунок 6 – Плотность сложения агрочернозема в паровых полях (2013-2015 гг.); ($НСР_{05}$ фактор А – обработка = 0,05; фактор Б – слой = 0,04), г/см³

Плотность сложения агрочернозема в посевах яровой пшеницы изменялась в течение вегетационных сезонов по вариантам опыта от 0,71 до 1,19 г/см³ (табл. 6; прил. 4-6).

Таблица 6 – Статистические показатели плотности сложения агрочернозема в посевах пшеницы (0-20 см), г/см³

Прием обработки	Слой почвы, см	2013 г. (n=3)		2014 г. (n=3)		2015 г. (n=3)	
		X	Cv, %	X	Cv, %	X	Cv, %
Отвальная	0-10	1,02	16	0,92	24	0,99	8
	10-20	0,88	14	0,97	14	0,98	4
Минимальная	0-10	0,93	14	0,95	9	0,90	16
	10-20	1,08	7	0,98	15	0,98	3
Нулевая	0-10	1,09	6	1,10	7	0,83	12
	10-20	1,11	5	1,02	4	0,96	1

Динамика плотности сложения почвы, обработанной по отвальной, минимальной и нулевой технологиям, в вегетационные сезоны 2013 и 2014 гг. имела схожую направленность, но различную количественную оценку. В агроценозе пшеницы, возделываемой по вспашке и минимальной обработке, плотность почвы существенно увеличивалась к июлю до 1,07-1,14 г/см³

(Кураченко и др., 2018). Более выраженный диапазон изменений сложения 0-20 см слоя агрочернозема установлен на вспашке с коэффициентом варьирования по слоям, достигающим 14-24 %. Диапазон изменений плотности почвы в вегетационные сезоны 2013 и 2014 гг. на фоне нулевой обработки не превышал 0,09-0,08 г/см³ и соответствовал незначительному варьированию показателя ($C_v = 4-7\%$). Посевы пшеницы, возделываемой по пару в 2015 г., характеризовались незначительным варьированием плотности сложения ($C_v = 1-16\%$) на всех фонах обработки, с постепенным снижением показателя к уборке.

Оценка среднесезонной величины плотности сложения агрочернозема в посевах пшеницы, возделываемой по различным технологиям основной обработки, показала, что вспашка формирует рыхлое сложение почвы 0-20 см слоя почвы (0,95 г/см), минимальная и нулевая обработка нормальное (0,97-1,02 г/см³) (рис. 7). Поверхностная обработка почвы дискатором определила существенную дифференциацию 0-20 см слоя почвы по исследуемому параметру ($НСР_{05} = 0,05$). Здесь отмечено увеличение плотности 10-20 см слоя по сравнению с вышележащей толщей на 0,08 г/см³.

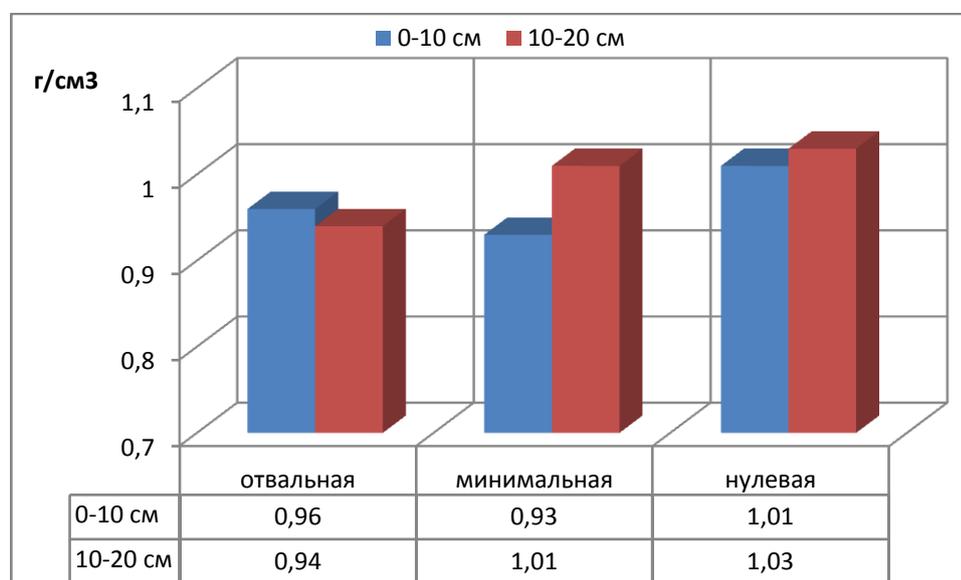


Рисунок 7 – Плотность сложения агрочернозема в посевах пшеницы (2013-2015 гг.); ($НСР_{05}$ фактор А – обработка = 0,06; фактор Б – слой = 0,05), г/см³

Динамические изменения плотности корнеобитаемого слоя агрочернозема в посевах ячменя, возделываемых по отвальной обработке в вегетационный сезон 2013 г. характеризовались незначительной выраженностью ($C_v = 1-11 \%$) с рыхлым сложением ($0,85-0,95 \text{ г/см}^3$) (табл. 7). На фоне минимальной обработки формировалось нормальное сложение почвы ($0,96-1,00 \text{ г/см}^3$), превышающее вспашку на $0,11-0,05 \text{ г/см}^3$. При этом существенные различия по типам основной обработки почвы проявлялись в период всходов ячменя ($HCP_{05 \text{ 10-20 см}} = 0,06$) и к его созреванию ($HCP_{05 \text{ 0-10 см}} = 0,21$) (прил. 4).

Таблица 7 - Статистические показатели плотности сложения агрочернозема в посевах ячменя (0-20см), г/см^3

Прием обработки	Слой почвы, см	2013 г. (n=3)		2014 г. (n=3)		2015 г. (n=3)	
		X	$C_v, \%$	X	$C_v, \%$	X	$C_v, \%$
Отвальная	0-10	0,85	7	0,94	15	1,04	4
	10-20	0,95	1	0,94	6	1,08	8
Минимальная	0-10	0,96	11	0,99	14	1,00	10
	10-20	1,00	5	0,98	15	0,99	13
Нулевая	0-10	0,90	1	1,10	7	0,99	18
	10-20	0,97	2	1,02	4	1,00	1

В вегетационные сезоны 2014-2015 гг. выявлено увеличение сезонного варьирования плотности почвы в посевах ячменя ($C_v = 1-18 \%$) и тенденция к увеличению показателя до $0,94-1,10 \text{ г/см}^3$. Достоверное увеличение плотности сложения до $1,17-1,19 \text{ г/см}^3$ ($HCP_{05} = 0,10-0,23$) в посевах ячменя отмечено в начальную стадию развития культуры на нулевом фоне. Значения плотности почвы в вегетационный сезон 2015 г. по фонам обработки варьировали в пределах $0,99-1,08 \text{ г/см}^3$.

Исследованиями установлено, что при возделывании ячменя по минимальной и нулевой технологии формируется однородный по плотности сложения 0-20 см слой почвы (рис. 8).

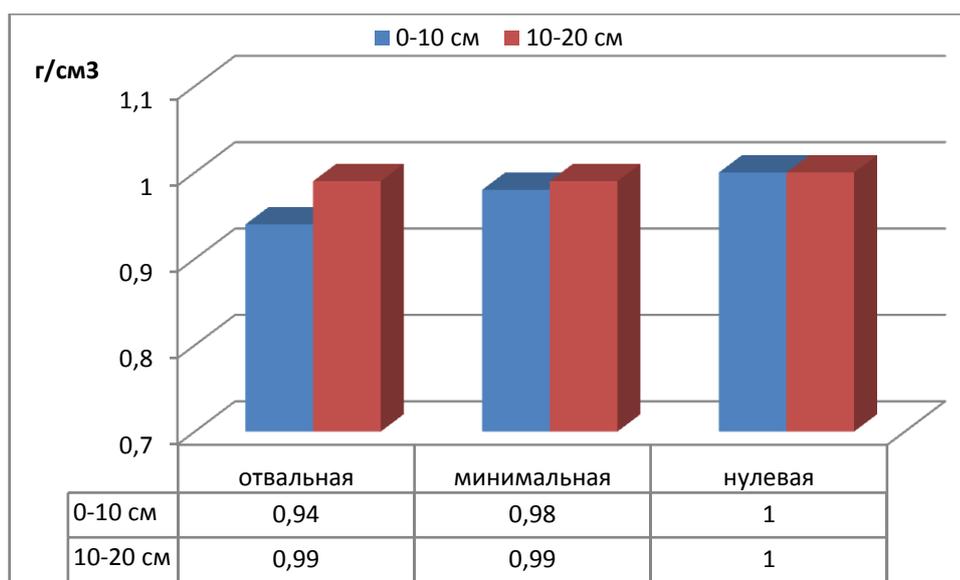


Рисунок 8 – Плотность сложения агрочернозема в посевах ячменя (2013-2015 гг.); ($НСР_{05}$ фактор А – обработка = 0,03; фактор Б – слой = 0,04), $г/см^3$

На фоне вспашки отмечено достоверное увеличение плотности 10-20 см слоя на $0,05 г/см^3$ по сравнению в вышележащим 0-10 см слоем ($НСР_{05} = 0,04$). Выраженная гомогенность 0-20 см слоя агрочернозема при возделывании ячменя по ресурсосберегающим технологиям обусловлена влиянием предшествующей культуры – ярового рапса. Мощная корневая система культуры и поступление в почву значительных запасов органического вещества обуславливают разуплотнение почвы. Нашими исследованиями (Кураченко и др., 2015) установлено, что применение ресурсосберегающих технологий на рапсе определяет повышение плотности сложения на $0,03-0,11 г/см^3$. Несмотря на проявленные тенденции изменения агрофизического состояния почвы, величина исследуемого параметра не выходит за пределы оптимальных значений. Подобные результаты получены и в исследованиях А.С. Бушнева (2013). Автором установлено, что плотность почвы в слое 0-30 см весной на отвальной вспашке составляла $1,29 г/см^3$, на минимальной и поверхностной обработке – $1,33-1,35 г/см^3$. К концу вегетации во всех вариантах опыта произошло уплотнение, особенно в вариантах с глубокой безотвальной, минимальной и поверхностной обработками почвы. Однако при посеве озимой пшеницы после ярового рапса

плотность почвы была близкой по всем системам основной обработки и не превышала предельно допустимой величины для этой культуры.

Тенденция к уплотнению 10-20 см слоя агрочернозема отмечена в агроценозе овса (табл. 8). В отличие от парового поля и агроценозов пшеницы и ячменя, плотность почвы в посевах овса уже в вегетационный сезон 2013 г. отличалась нормальным сложением ($0,95-1,09 \text{ г/см}^3$), что обусловлено лучшим развитием корневой системы культуры.

Таблица 8 – Статистические показатели плотности сложения агрочернозема в посевах овса (0-20 см), г/см^3

Прием обработки	Слой почвы, см	2013 г. (n=3)		2014 г. (n=3)		2015 г. (n=3)	
		X	Cv, %	X	Cv, %	X	Cv, %
Отвальная	0-10	0,95	13	0,97	5	0,91	1
	10-20	1,00	5	1,05	5	0,98	6
Минимальная	0-10	1,02	10	1,00	9	0,93	9
	10-20	1,03	3	1,08	8	1,01	15
Нулевая	0-10	1,09	9	1,07	5	0,91	7
	10-20	1,05	5	1,11	4	1,07	8

Качественная оценка ($0,91-1,11 \text{ г/см}^3$) и сезонный ритм плотности сложения агрочернозема ($Cv = 1-15 \%$) сохранялись в вегетационные сезоны 2014 и 2015 гг. При этом отмечается более выраженное уплотнение 10-20 см слоя по всем типам основной обработки. Данные рис. 9 показывают, что дифференциация 0-20 см слоя почвы в посевах овса, возделываемых по вспашке, минимальной и нулевой обработке, проявляется с одинаковой закономерностью ($0,06-0,07 \text{ г/см}^3$) ($НСР_{05} = 0,03$). По мнению А.Н. Данилова с соавт. (2015), временная изменчивость оптимальных параметров плотности сложения чернозема имеет определенную зависимость. Как правило, весной эти параметры имеют более низкие значения, а перед уборкой пшеницы – более высокие. Несмотря на некоторое увеличение плотности сложения чернозема, от посева до конца

вегетации она находилась в оптимальных пределах на всех типах основной обработки и не оказывала отрицательного влияния на плодородие почвы.

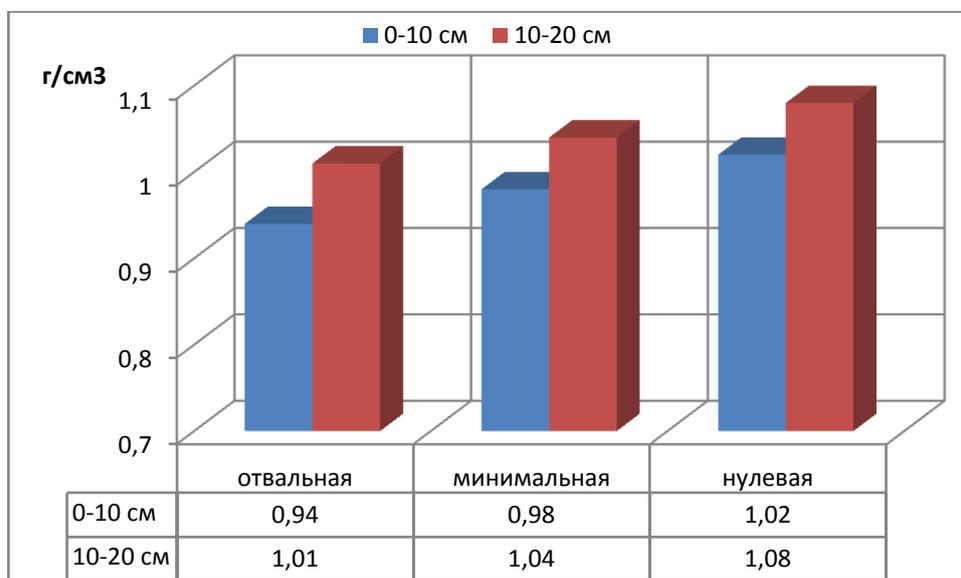


Рисунок 9 – Плотность сложения агрочернозема в посевах овса (2013-2015 гг.); (НСР₀₅ фактор А – обработка = 0,07; фактор Б – слой = 0,03), г/см³

Исследованиями установлено, что величина плотности сложения 0-20 см слоя агрочернозема на 19-28 % определяется влиянием характера агроценоза (табл. 9). При этом в наибольшей степени это влияние выражено в слое 10-20 см (26-37 %). Поля севооборота по величине плотности сложения на всех фонах основной обработки можно расположить в следующий возрастающий ряд: пар (0,90-0,96 г/см³) – пшеница (0,95-1,02 г/см³) – ячмень (0,97-1,00 г/см³) – овес (0,98-1,05 г/см³). Влияние способа обработки почвы на величину плотности сложения оценивается по годам исследований на 9-19 %. Установлено, что возделывание сельскохозяйственных культур и парование поля на фоне отвальной вспашки формируют плотность на уровне 0,94-0,98 г/см³. Обработка почвы дискатором в посевах зерновых культур повышает сложение до 0,97-1,01 г/см³; нулевой посев – до 1,00-1,05 г/см³. При этом величина исследуемого параметра не выходит за пределы оптимальных значений.

Таблица 9 – Оценка вклада агроэкологических факторов в изменение плотности сложения 0-20 см слоя агрочернозема

Год	Фактор	Показатель степени влияния (ПСВ), %	
		0-10 см	10-20 см
2013	Прием обработки (А)	13,5	4,4
	Агроценоз (В)	11,7	26,3
	Взаимодействие (АВ)	26,6	27,3
	Неучитываемые факторы	48,2	42,0
2014	Прием обработки (А)	24,7	13,0
	Агроценоз (В)	18,7	36,9
	Взаимодействие (АВ)	38,6	16,9
	Неучитываемые факторы	18,0	33,2
2015	Прием обработки (А)	14,4	9,9
	Агроценоз (В)	22,4	28,2
	Взаимодействие (АВ)	29,9	24,4
	Неучитываемые факторы	33,3	37,5

Таким образом, уплотнение почвы на $0,03-0,07 \text{ г/см}^3$ проявляется только при возделывании зерновых культур. В.Г. Холмовым (2012) показано, что при длительном применении минимально-нулевых обработок в течение 20 лет необрабатываемый слой 12-27 см, даже на черноземах, переуплотняется и пребывает в таком состоянии с осени до весны на уровне $1,14-1,12 \text{ г/см}^3$. При такой плотности в почве при поверхностных минимально-нулевых обработках резко ослабевают водопроницаемость и уменьшаются запасы продуктивной влаги в метровом слое после снеготаяния. Исследования Л.В. Юшкевич (2012), проведенные в засушливых районах Омской области доказали, что длительное (19 лет) применение ресурсосберегающих минимальных обработок черноземных почв в лесостепных агроландшафтах способствует оптимизации газообразной и жидкой фазы в верхнем 0-30 см слое. Плотность почвы при поверхностных обработках поддерживается в более оптимальном состоянии, чем на отвальной, к посеву зерновых и составляет $1,04-1,10 \text{ г/см}^3$. Более благоприятные условия жизнеобеспечения растений зерновых культур, в сочетании с систематическим внесением измельченной соломы на поверхность поля, являются важными

слагаемыми факторами, определяющими перспективу освоения минимальных обработок на черноземах.

Многолетние исследования (Бушневу, 2009) показали, что минимизация основной обработки в севообороте не оказывает отрицательного действия на физические свойства. Хотя при замене вспашки дисковым лушением отмечается уплотнение почвы на глубине 10-20 и 20-30 см в первой и второй ротации севооборота. Важно отметить, что тенденцию к улучшению или ухудшению агрофизических показателей почв можно обнаружить только в длительных опытах. Это подтверждается исследованиями И.П. Котоврасова с соавт. (1990), где только на четвертый год наметилась устойчивая тенденция к ухудшению водно-физических свойств верхней части пахотного слоя при систематической поверхностной обработке дисковой бороной. По мнению В.Н. Слесарева (2008), зяблевые обработки вызывают радикальные изменения в сложении пахотного слоя. Они существенно деформируют его строение, повышают пористость, водо- и воздухопроницаемость, резко уменьшают ее плотность. Так, по многолетним данным, вспашка плугом разуплотняет пахотный слой с 1,06 до 0,95 г/см³, глубокая безотвальная обработка – с 1,06 до 1,00 г/см³, а мелкая плоскорезная обработка – с 1,12 до 1,06 г/см³

Полученные результаты позволяют заключить, что плотность сложения чернозема обыкновенного в агроэкосистемах Красноярской лесостепи в первые годы применения ресурсосберегающих технологий основной обработки не достигает критического порога (1,25-1,30 г/см³), когда почва утрачивает способность саморазуплотняться. Полученные результаты позволяют определить тип сложения агрочерноземов криогенно-мицелярных как устойчивый, и элементы минимизации в системе основной обработки почвы могут быть вполне целесообразны.

4.3 Структурный состав

Структурный состав почв оказывает влияние на плотность сложения почвы, водный, воздушный и тепловой режим. Обработкой почвы можно улучшить ее физические свойства, и соответственно, повысить их потенциальное и эффективное плодородие. А.Д. Воронин (1986) показал, что для этого важно в первую очередь иметь представления о реальных возможностях создания оптимального физического состояния почв в конкретных условиях.

И.Б. Ревут (1960) отмечал, что при любой обработке почвы наряду с крошением на макроагрегаты идет их же разрушение, и эффективность обработки определена тем, какой из двух процессов превалирует. По мнению В.Н. Шептухова с соавт. (1993), возможность минимизации обработки определяется направленностью изменения структуры с целью недопущения негативных последствий применения этих технологий и возможности быстрого перехода на другую агротехнику возделывания сельскохозяйственных культур.

Фракционный состав структуры пахотных почв во многом зависит от содержания гумуса, гранулометрического состава, влажности и её плотности в момент механической обработки, характера рабочего органа почвообрабатывающего орудия, скорости обработки предшествовавшей сельскохозяйственной культуры (Рамазанов, Хазиев, 1994). Устойчивость структурного состояния обрабатываемых почв реализуется за счет взаимодействия различных специфических почвенных механизмов и в большей степени за счет способности к переагрегации. Переагрегация почвенной массы происходит в результате циклов набухания – усадки при увлажнении и высыхании, замораживании и оттаивании, обработки почвы и биологических факторов (Уткаева, 2002). Нашими исследованиями установлено, что в структурном составе агрочернозема криогенно-мицелярного среднесуглинистого гранулометрического состава на различных блоках основной обработки парового поля господствуют глыбистые отдельности (рис. 10). На их долю в среднем за весь период наблюдений приходится 22-27 % от массы 0-20 см слоя. Среди

фракций агрономически ценного размера преобладают отдельности 2-1 мм, количество которых максимально в верхнем 0-10 см слое почвы (23-24 %). Количество пыли незначительное (2 %). Механизм агрегирования почвенной массы обрабатываемого слоя черноземов связан с высоким содержанием гумуса, высокой насыщенностью почвенно-поглощающего комплекса кальцием и повышенным содержанием илистой фракции. При этих условиях почва после различных типов обработок приобретает, как правило, устойчивое состояние, что отражается на характере фракционного состава структуры.



А

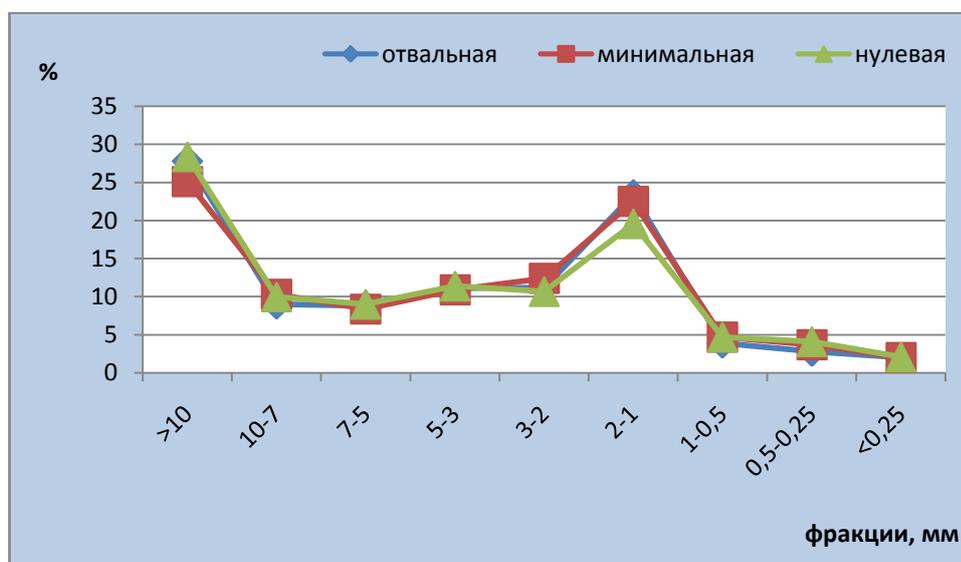


Б

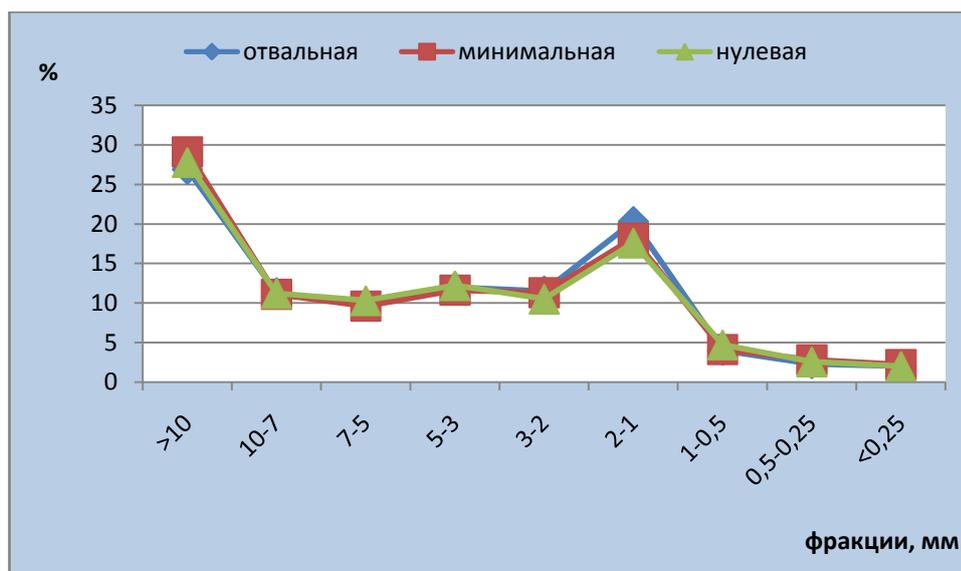
Рисунок 10 – Фракционный состав структуры агрочернозема в паровом поле: А – 0-10 см; Б – 10-20 см (2013-2015 гг., n = 9), %

Установлено, что тип основной обработки существенно не повлиял на распределение отдельных фракций структурного состава почвы парового поля. Исключение составляют структурные отдельности > 10 мм как наиболее трансформируемые агрегаты в условиях основной обработки почвы. Обработка паровых полей дискатором определила увеличение количества этой фракции в слое 0-10 см на 3 % по сравнению со вспашкой и нулевой обработкой.

В почве агроценоза яровой пшеницы содержание крупных отдельностей выше по сравнению с паровыми полями (25-29 %) (рис. 11).



А

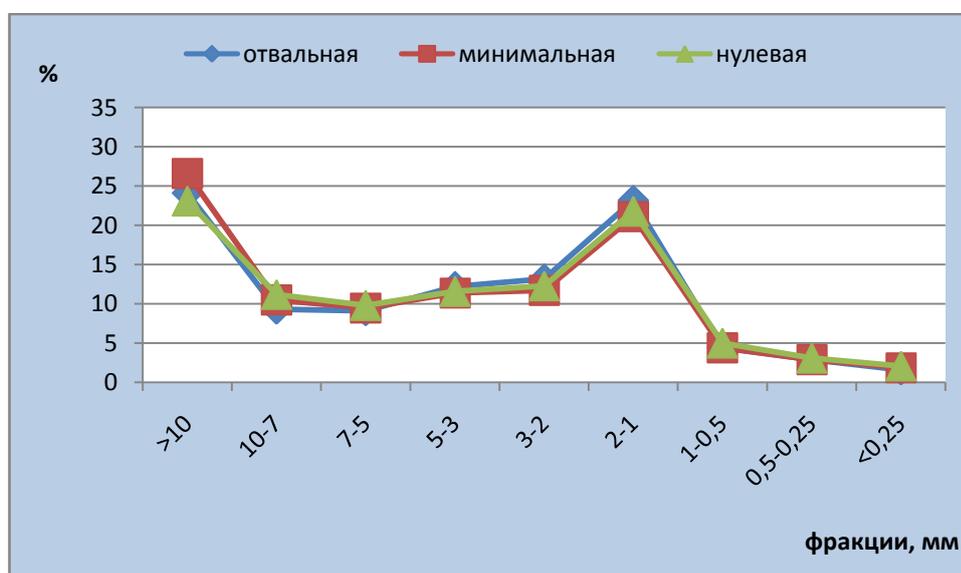


Б

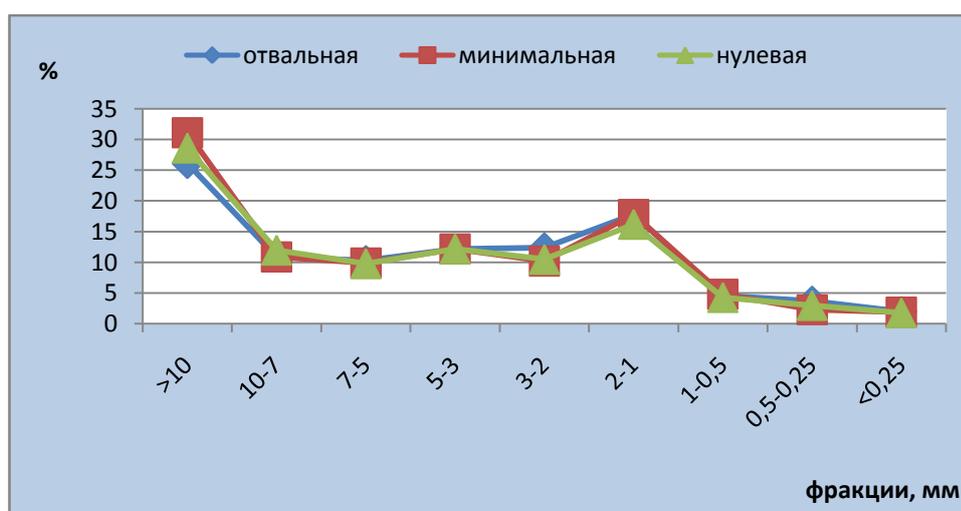
Рисунок 11 – Фракционный состав структуры агроценоза в посевах пшеницы: А – 0-10 см; Б – 10-20 см (2013-2015 гг., n = 9), %

Способ обработки почвы повлиял на распределение фракций структурного состава 0-10 см слоя агрочернозема. За весь период наблюдений установлено увеличение количества глыб > 10 мм на 3 % на минимальной и нулевой обработках по сравнению с отвальной. Отмечено снижение на 4 % количества комковато-зернистых отдельностей 2-1 мм при нулевом посеве пшеницы.

Во фракционном составе структуры агрочернозема при возделывании ячменя отмечено увеличение агрегатов > 10 мм до 27-31 % на минимальной обработке (рис. 12).



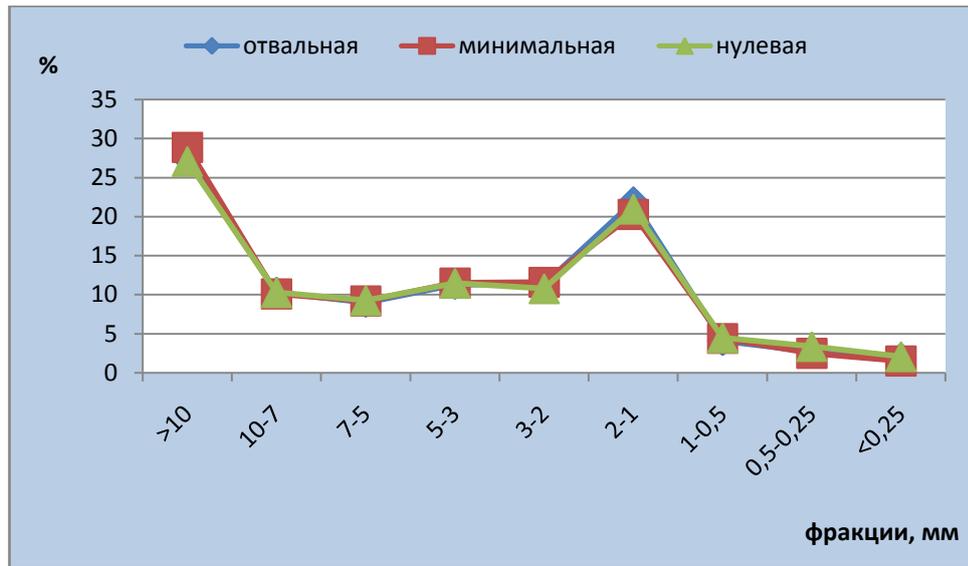
А



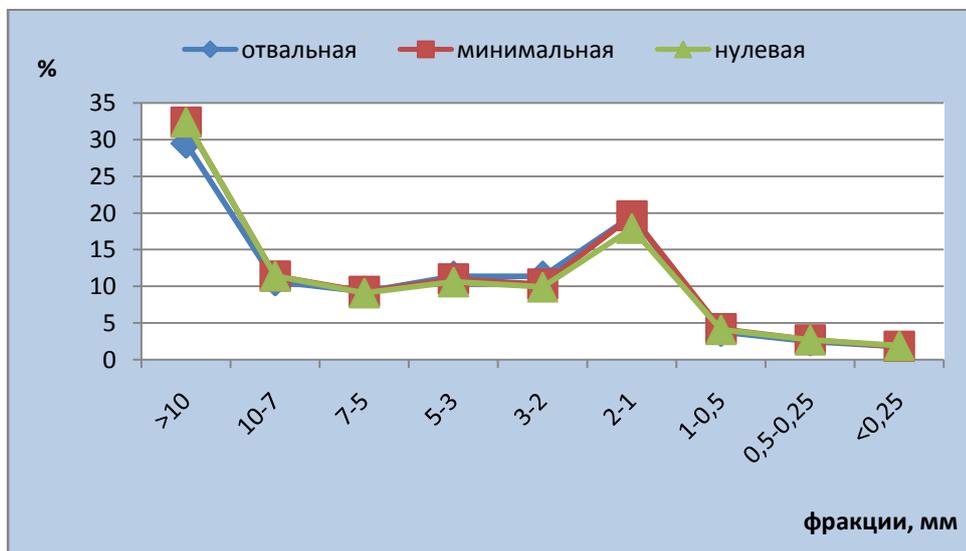
Б

Рисунок 12 – Фракционный состав структуры агрочернозема в посевах ячменя: А – 0-10 см; Б – 10-20 см (2013-2015 гг., n = 9), %

Количество глыб при нулевом посеве ячменя в слое 10-20 см на 3 % выше по сравнению со вспашкой. При близком распределении фракций структурного состава в почве агроценоза овса (рис. 13) установлено увеличение глыбистости 10-20 см слоя на фоне минимальной и нулевой обработок, достигающей 32 % в среднем за период исследований.



А



Б

Рисунок 13 – Фракционный состав структуры агроценоза овса в посевах овса: А – 0-10 см; Б – 10-20 см (2013-2015гг., n = 9), %

Полученные закономерности позволяют утверждать, что минимальная и нулевая обработки способствуют огрублению структуры 0-20 см слоя

агрочернозема криогенно-мицелярного, но эти изменения не превышают 4 % по сравнению с отвальной вспашкой. Исследованиями Н.В. Гниненко (1982), проведенными на черноземах обыкновенных Приазовской возвышенности доказано, что изменения фракционного состава структуры под отдельными культурами полевого севооборота проявляются по-разному. Непостоянство влияния разных способов обработки почвы во времени требует длительных стационарных наблюдений. В.Н. Шептуховым с соавт. (1993) доказано, что замена вспашки на дерново-подзолистой почве поверхностной обработкой приводит к резкой дифференциации пахотного слоя по плотности. При этом наблюдается ухудшение макроструктурного состава нижней части пахотного слоя с увеличением глыбистости и водопрочности почвенной структуры из-за роста плотности макроагрегатов. Более ранние исследования автора [Шептухов и др., 1987] показали, что минимальная обработка черноземов выщелоченных приводит к снижению содержания агрономически ценных агрегатов размером 3-1 мм и увеличению глыбистости 0-20 см слоя почвы. Наиболее благоприятное соотношение структурных отдельностей в пахотном слое складывается при использовании бессменной глубокой вспашки на 27-30 см.

Исследованиями установлено, что динамика структурного состава почвы по содержанию в ней агрегатов агрономически ценного размера от 10 до 0,25 мм имеет, как правило, одинаковую направленность в посевах сельскохозяйственных культур и паровых полях независимо от приема основной обработки. Ход динамики структурного состава сопровождается уменьшением содержания агрегатов ценного размера в июльский период. Далее отмечается незначительное увеличение (или снижение) ценных отдельностей перед уборкой сельскохозяйственных культур. Исключение составляет поле химического пара на нулевом фоне и при обработке его дискатором. В вегетационный сезон 2013 и 2015 гг. здесь отмечается достоверное увеличение доли агрономически ценных фракций в 0-20 см слое почвы в июльский период до 91 и 82 % соответственно ($НСР_{05} = 7,9-9,8; 11,7-5,0$) (прил. 7-9).

Содержание агрономически ценных фракций в агрочерноземе паровых полей свидетельствует об отличной оструктуренности почвы с сезонной динамикой показателя от 1 до 25 % (табл. 10). В наших исследованиях установлено (Колесников и др., 2016), что в вегетационный сезон 2013 г. максимальное количество ценных агрегатов сформировалось в поле химического пара (78-76 %). В 2014-2015 гг. лучшая оструктуренность почвы формируется в условиях вспашки парового поля (72-78 %).

Таблица 10 – Статистические показатели содержания агрономически ценных агрегатов в агрочерноземе паровых полей, %

Прием обработки	Слой почвы, см	2013 г. (n=3)		2014 г. (n=3)		2015 г. (n=3)	
		X	Cv, %	X	Cv, %	X	Cv, %
Отвальная	0-10	74,7	8	78,2	10	77,3	7
	10-20	69,3	25	77,8	13	72,1	4
Минимальная	0-10	71,3	1	75,0	7	73,0	21
	10-20	69,7	14	75,6	6	73,7	13
Нулевая	0-10	78,3	17	76,6	13	73,7	16
	10-20	75,9	12	70,4	17	68,2	6

Оценка среднесезонной величины содержания агрономически ценной фракции в агрочерноземе паровых полей, обрабатываемых по различным технологиям, показала отличную оструктуренность почвы (рис. 14). Отвальная и нулевая обработка почвы в равной степени определила дифференциацию 0-20 см слоя по содержанию АЦФ. Максимальное количество ценных агрегатов, достигающее 76 %, отмечено в поверхностном 0-10 см слое. В слое 10-20 см установлено снижение АЦФ на 4-6 %. Минимальная обработка формирует гомогенный 0-20 см слой по структурному состоянию.

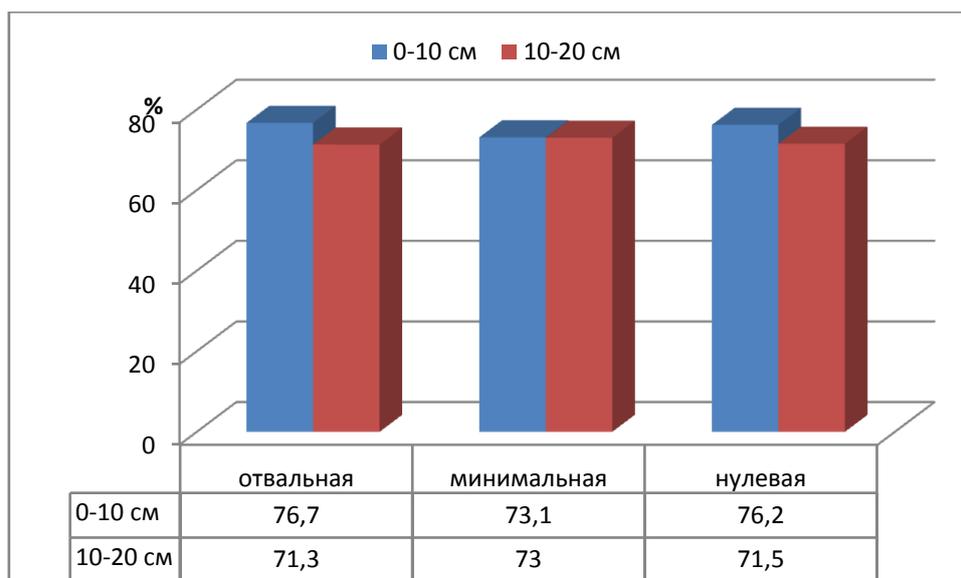


Рисунок 14 – Содержание агрономически ценных фракций в агрочерноземе паровых полей (2013-2015 гг.); ($НСР_{05}$ фактор А – обработка = $Fф < Fт$; фактор Б – слой = $Fф < Fт$), %

Структурное состояние почвы агроценоза пшеницы изменялось по годам исследований от хорошего до отличного уровня. В вегетационный сезон 2013 г. на фоне вспашки отмечается сезонное варьирование агрономически ценных фракций до 20-28 % и существенное снижение их количества до удовлетворительного уровня (47-54 %) в июльский период ($НСР_{05} = 17,9-22,0$) (табл. 11, прил. 7).

Таблица 11 - Статистические показатели содержания агрономически ценных агрегатов в агрочерноземе в посевах пшеницы, %

Прием обработки	Слой почвы, см	2013 г. (n=3)		2014 г. (n=3)		2015 г. (n=3)	
		X	$Cv, \%$	X	$Cv, \%$	X	$Cv, \%$
Отвальная	0-10	66,2	28	60,9	13	83,6	4
	10-20	66,2	20	70,5	4	76,8	5
Минимальная	0-10	65,1	23	75,9	8	77,9	11
	10-20	70,1	14	66,8	4	69,2	6
Нулевая	0-10	62,0	21	75,5	20	70,9	12
	10-20	70,5	8	69,7	17	70,6	6

Удовлетворительная оструктуренность почвы агроценоза пшеницы отмечалась и в вегетационный сезон 2014 г. В период от кушения до молочной спелости культуры содержание АЦФ не превышало 56 % в поверхностном 0-10 см слое агрочернозема. Ресурсосберегающие технологии основной обработки агрочернозема под яровую пшеницу определили лучшую оструктуренность почвы в вегетационный сезон 2013-2014 гг. Вегетационный сезон 2015 г. отличался незначительной и небольшой изменчивостью содержания АЦФ по слоям ($C_v = 4-12\%$) и отличным структурным состоянием почвы. Максимальное содержание ценных агрегатов было отмечено в условиях вспашки (84-77 %).

Исследованиями установлено, что вспашка и ресурсосберегающие технологии основной обработки под яровую пшеницу в среднем формируют близкий уровень оструктуренности (рис. 15). Однородный слой по содержанию агрономически ценных фракций формирует вспашка и нулевая обработка (70-71 %). На фоне минимальной обработки отличная оструктуренность 0-10 см слоя (73 %) сменяется в нижележащем на хорошую (69 %).

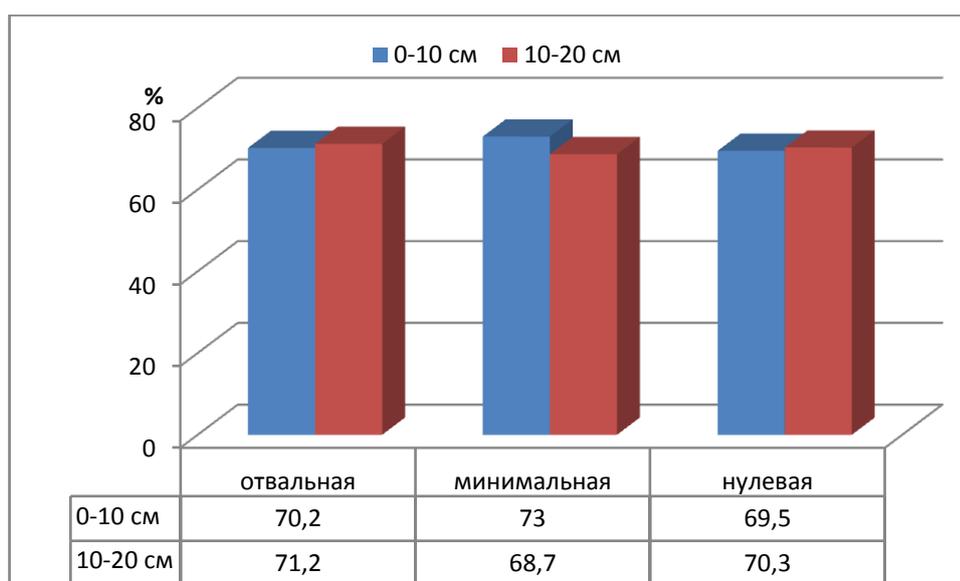


Рисунок 15 – Содержание агрономически ценных фракций в агрочерноземе в посевах пшеницы (2013-2015 гг.); (HC_{P05} фактор А – обработка = $F_f < F_t$; фактор Б – слой = $F_f < F_t$), %

Динамические изменения структурного состояния агрочернозема в посевах ячменя, возделываемых по отвальной и минимальной обработкам в вегетационный сезон 2013 г. характеризовались незначительной и небольшой выраженностью ($C_v = 3-17\%$) с отличным структурным составом 0-10 см слоя (76-80 %) и хорошим на глубине 10-20 см (69-63 %) (табл. 12). На фоне минимальной обработки формировалось хорошее структурное состояние (67-60 %). При этом существенные различия по типам основной обработки почвы проявлялись в период от всходов ячменя до его созревания (прил. 7). В вегетационный сезон 2014 и 2015 гг. при возделывании ячменя по вспашке и ресурсосберегающим технологиям формируется отличное структурное состояние при сезонном варьировании содержания агрономически ценных фракций от 2 до 14 %.

Таблица 12 – Статистические показатели содержания агрономически ценных агрегатов в агрочерноземе в посевах ячменя, %

Прием обработки	Слой почвы, см	2013 г. (n=3)		2014 г. (n=3)		2015 г. (n=3)	
		X	$C_v, \%$	X	$C_v, \%$	X	$C_v, \%$
Отвальная	0-10	76,0	7	76,0	7	70,7	7
	10-20	68,8	17	76,9	5	70,1	13
Минимальная	0-10	67,2	11	74,5	10	73,0	4
	10-20	59,8	12	70,3	10	71,0	2
Нулевая	0-10	79,7	3	70,4	4	74,1	14
	10-20	62,9	5	72,0	14	65,8	14

Оценка среднесезонной величины содержания агрономически ценных фракций в агрочерноземе в посевах ячменя, возделываемого по различным технологиям основной обработки, показала, что вспашка формирует отличное структурное состояние 0-20 см слоя почвы (74-72 %). На фоне минимальной и

нулевой обработки отличная оструктуренность формируется в 0-10 см слое почвы (72-75 %) (рис. 16).

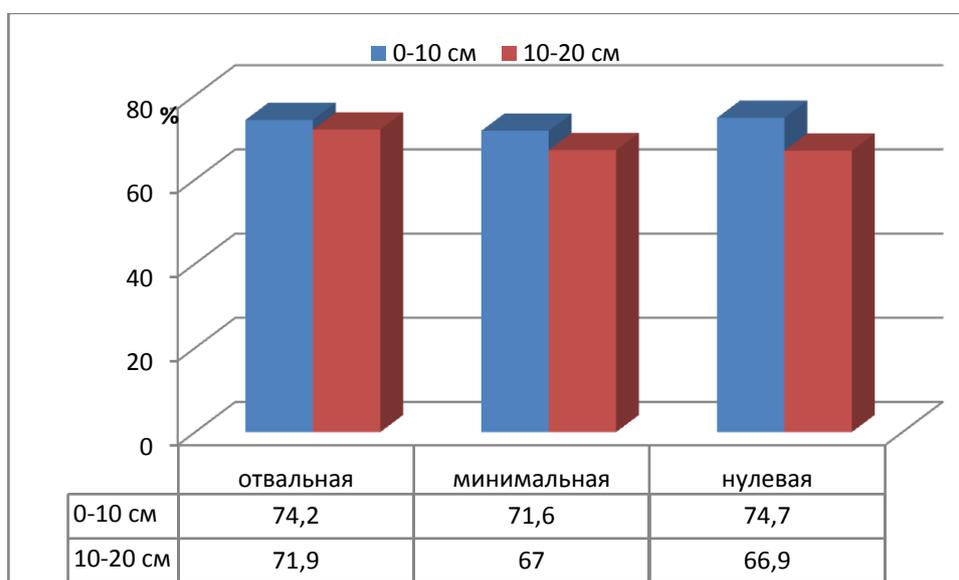


Рисунок 16 - Содержание агрономически ценных фракций в агрочерноземе в посевах ячменя (2013-2015 гг.); ($НСР_{05}$ фактор А – обработка = $F_{\phi} < F_{\tau}$; фактор Б – слой = 5), %

В нижележащем 10-20 см слое структурное состояние почвы хорошее (67 %). Ресурсосберегающие обработки почвы под посев ячменя определили существенную дифференциацию 0-20 см слоя почвы по содержанию АЦФ. Здесь отмечено снижение количества агрономически ценных агрегатов размером от 10 до 0,25 мм на 6-8 % по сравнению с поверхностным слоем 0-10 см.

В отличие от парового поля и агроценозов пшеницы и ячменя структурный состав агрочернозема в посевах овса в вегетационный сезон 2013 г. в среднем отличался только хорошим состоянием (табл.13). Некоторое уплотнение почвы определило повышенный выход структурных отдельностей > 10 мм и снижение количества агрономически ценных фракций на всех типах основной обработки. Отличная оструктуренность агрочернозема в посевах овса отмечалась только в период всходов культуры. При этом максимальное содержание АЦФ в слое 0-20 см было выявлено на вспашке и нулевой обработке (82-76 %) ($НСР_{05} = 10,2-17,3$; прил. 7-9). Далее в течение вегетации культуры структурное состояние почвы

было хорошим и удовлетворительным (57-69 %). Сезонный ритм содержания агрономически ценных фракций составляет 15-25 %.

Таблица 13 - Статистические показатели содержания агрономически ценных агрегатов в агрочерноземе в посевах овса, %

Прием обработки	Слой почвы, см	2013 г.(n=3)		2014 г. (n=3)		2015 г. (n=3)	
		X	Cv, %	X	Cv, %	X	Cv, %
Отвальная	0-10	66,5	21	72,3	1	73,3	12
	10-20	65,8	25	69,2	3	71,0	13
Минимальная	0-10	64,6	17	67,9	10	76,1	13
	10-20	63,7	15	63,7	9	69,8	16
Нулевая	0-10	67,5	18	73,8	13	61,2	23
	10-20	65,4	19	59,6	15	72,3	11

Отличная качественная оценка (72-74 %) и стабильный сезонный ритм содержания агрономически ценных фракций в 0-10 см слое агрочернозема (Cv = 1-13 %) проявились на вспашке и нулевой обработке в вегетационный сезон 2014 г. Отличное структурное состояние агрочернозема проявляется в июньский и июльский периоды в посевах овса, возделываемого на вспашке и минимальной обработке в вегетационный сезон 2015 г. (70-84 %).

Данные рис. 17 показывают, что дифференциация 0-20 см слоя почвы в посевах овса, возделываемых по вспашке, минимальной и нулевой обработке, усиливается с уменьшением глубины обработки.

Разница между 0-10 и 10-20 см слоями почвы по содержанию агрегатов ценного размера составляет на вспашке 2 %, минимальной обработке – 4 %, нулевой – 5 %. Установлено, что все типы основной обработки формируют в среднем за период наблюдений в слое 0-10 см отличную оструктуренность почвы (70-71 %), в слое 10-20 см – хорошую (66-69 %).

Существует мнение (Дрепа, Голубь, 2014), что при нулевой технологии возделывания сельскохозяйственных культур корнеобитаемый слой почвы не

испытывает механического воздействия почвообрабатывающих орудий. Поэтому остается ненарушенной его структура. Нашими исследованиями установлено, что применение отвальной обработки и ресурсосберегающих технологий основной обработки в течение трех вегетационных сезонов формирует хорошее и отличное структурное состояние агрочернозема криогенно-мицелярного.

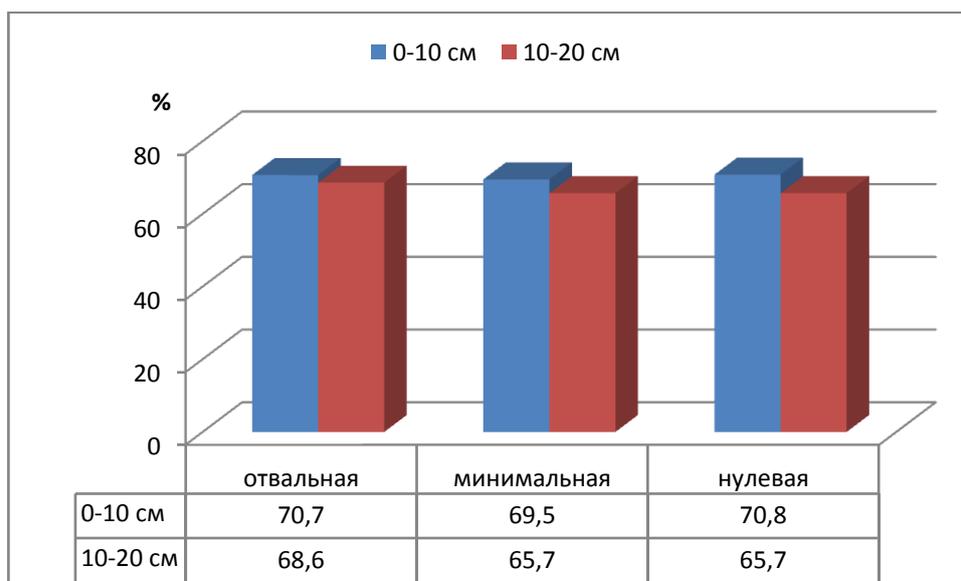


Рисунок 17 – Содержание агрономически ценных фракций в агрочерноземе в посевах овса (2013-2015 гг.); ($НСР_{05}$ фактор А – обработка = $F_f < F_t$; фактор Б – слой = 4), %

Содержание агрономически ценных агрегатов в почве паровых полей и агроценозов зерновых культур оценивается на уровне 68-74 % с дифференциацией 0-20 см слоя почвы по этому показателю на вспашке – 2-3 %, на минимальной обработке – 4-5 %, на нулевой обработке – 5-8 %. Несмотря на наличие достоверных различий по содержанию агрономически ценных агрегатов в агроценозах зерновых культур и паровом поле в отдельные периоды, в целом структурное состояние агрочернозема в большей степени определяется сочетанием «агроценоз – обработка почвы». Установлено, что максимальное содержание агрономически ценных фракций в слое 0-20 см типично для парового поля и агроценоза пшеницы на вспашке и нулевом фоне (74 %). Возделывание

овса по ресурсосберегающим технологиям создает хорошую оструктуренность почвы, не превышающую 68 %.

Исследованиями установлено, что содержание агрономически ценных фракций в агрочерноземе на 10-37 % определяется характером агроценоза (табл. 14). При этом в наибольшей степени это влияние выражено в слое 10-20 см. Влияние приема обработки на структурное состояние почвы по годам оценивается на уровне 6-28 %. Наибольшую роль в оценке вклада факторов в изменение содержания агрономически ценных фракций играет взаимодействие факторов «агроценоз – прием обработки». Для слоя почвы 0-10 см оно оценивается на уровне 22-39 %, 10-20 см – 17-32 %. Анализ научных публикаций по оценке влияния различных технологий обработки почвы на ее структурное состояние показал неоднозначность выводов. Так, исследования А.А. Борина и А.Э. Лоцининой (2015), проведенные на дерново-среднеподзолистых окультуренных почвах, показали отсутствие существенных различий по общему количеству структурных и водопрочных агрегатов по отвальной, плоскорезной и комбинированной обработке.

Таблица 14 – Оценка вклада агроэкологических факторов в изменение содержания агрономически ценных фракций 0-20 см слоя агрочернозема

Год	Фактор	Показатель степени влияния (ПСВ), %	
		0-10 см	10-20 см
2013	Прием обработки (А)	11,2	7,7
	Агроценоз (В)	26,7	15,0
	Взаимодействие (АВ)	21,5	32,3
	Неучитываемые факторы	40,6	45,0
2014	Прием обработки (А)	7,1	27,8
	Агроценоз (В)	10,4	36,9
	Взаимодействие (АВ)	35,3	17,4
	Неучитываемые факторы	47,2	39,3
2015	Прием обработки (А)	7,7	5,9
	Агроценоз (В)	15,3	25,8
	Взаимодействие (АВ)	39,1	26,6
	Неучитываемые факторы	37,9	41,7

К.И. Карпович и С.Н. Немцев (2004) доказали, что минимальная обработка черноземов в течение двух ротаций севооборота не ухудшала по сравнению со вспашкой большинство параметров почвенного плодородия, в т.ч. структуру и плотность сложения. Наблюдения за физическими свойствами почв, проведенные на Шадринской опытной станции (цит. по Немченко и др., 2011), показали, что распыляющее действие механических обработок и их отрицательный эффект является кратковременным эпизодом, негативные последствия которого полностью исчезают в течение одного года. Установлено, что количество водопрочных агрегатов крупнее 0,25 мм в слое почвы 0-35 см возрастает с уменьшением интенсивности механического воздействия на почву. Однако эти изменения агрегатного состава в среднем за каждую ротацию не превышают 5 %. В целом безотвальная, отвальная, поверхностная, глубокая и мелкая обработки черноземов выщелоченных тяжелосуглинистых оказывали одинаковое влияние на важнейшие физические параметры почвы.

Одновременно с этим в науке имеется и другое мнение, касающееся роли обработки почвы в формировании структурного состояния почв. Исследованиями Н.В. Гниненко (1982) показано, что безотвальная обработка черноземов обыкновенных, проведенная в течение 5 лет, способствовала снижению количества глыбистых агрегатов >7 мм в верхнем 0-10 см слое. А.Н. Власенко с соавторами (2013) отмечают лучшую оструктуренность 0-30 см слоя черноземов при технологии No-Till, что обусловлено большим поступлением органического вещества с корневыми и пожнивными остатками. В.Н. Шептуховым и др. (1987) доказано, что преимущественное использование минимальной обработки черноземов выщелоченных в севообороте приводит к снижению содержания агрономически ценных агрегатов размером 3-1 мм. По мнению И.П. Котоврасова с соавт. (1990), тенденцию к улучшению или ухудшению структурного состояния почвы можно обнаружить только в длительных опытах. По результатам автора, только на четвертый год наметилась устойчивая тенденция к снижению количества водопрочных агрегатов на

варианте с системой поверхностной обработки почвы дисковой бороной. Наши исследования подтвердили выводы С.Ю. Булыгина и Т.Д. Комаровой (1990) о том, что кратковременная обработка почвы не может оказать существенного влияния на внутренне строение и организацию макроагрегатов. При неправильных и чрезмерных обработках их отрицательное действие со временем накапливается и происходит качественный скачок параметров физических свойств почвы в сторону их ухудшения.

Таким образом, благоприятное структурное состояние агрочерноземов криогенно-мицелярных Красноярской лесостепи, обусловленное их генезисом и высоким естественным плодородием, сохраняется относительно стабильно в условиях кратковременного применения ресурсосберегающих технологий основной обработки.

ГЛАВА 5 ПИЩЕВОЙ РЕЖИМ АГРОЧЕРНОЗЕМА В УСЛОВИЯХ ОСНОВНОЙ ОБРАБОТКИ

5.1 Нитратный азот

Систематические обработки почв, возделывание сельскохозяйственных культур, применение удобрений, средств защиты, эрозионные процессы приводят к существенным изменениям агрохимических свойств. При этом трансформационные процессы, влияющие на плодородие почв, могут иметь как положительную, так и отрицательную направленность.

В современных условиях важным направлением совершенствования зональных технологий возделывания сельскохозяйственных культур должна стать разработка эффективных ресурсосберегающих приемов. В основу рациональных систем обработки должны быть положены принципы разноглубинности, минимизации и ресурсосбережения в зависимости от природно-климатических особенностей регионов, севооборота, засоренности посевов и других условий (Митрофанов, 2010). Кроме снижения экономических затрат целесообразность таких приемов связана прежде всего с накоплением в почве органического вещества и изменением пищевого режима почв.

Нитраты являются наиболее подвижной формой азота и представляют собой конечный продукт минерализации органического азотсодержащего вещества. Среднее содержание нитратного азота, по данным Г.П. Гамзикова (1989) в слое 0-40 см черноземов Западной Сибири составляет 13,2 мг/кг в выщелоченных, 12,7 мг/кг – в обыкновенных, 11,2 мг/кг – в южных. Однако количество нитратного азота в пахотных почвах в течение вегетационного периода сильно варьирует в зависимости от интенсивности процессов нитратообразования, которые, в свою очередь, определяются погодными и агротехническими условиями, биологическими особенностями возделываемых культур. Нитратная форма, в отличие от аммонийной, хорошо отражает перестройку биологической жизни почвы.

Наблюдения за динамикой нитратного азота в агрочерноземе криогенно-мицелярном показали, что наиболее благоприятные условия для накопления нитратного азота складывались в паровых полях (Колесников, 2014) (прил.10-12). Паровое поле, в отличие от занятого сельскохозяйственными культурами, по мнению И.Н. Шаркова с соавт. (2007), представляется наиболее подходящим местом в севообороте для сравнительного изучения процессов минерализации почвенного азота по вариантам опыта.

Обследование паровых полей, проведенное в июне месяце 2013 г., показало, что сокращение числа и глубины обработок приводит к снижению содержания нитратного азота в 0-20 см слое почвы. Так, в поле пара, обработанном с осени плугом, в этот период отмечалась очень высокая обеспеченность нитратным азотом (33 мг/кг). На минимальной обработке концентрация нитратного азота характеризовалась повышенной обеспеченностью (13 мг/кг), в поле химического пара – низкой (8 мг/кг). Высокая и очень высокая обеспеченность нитратным азотом сохранялась и в июльский период. Различия в содержании нитратного азота в почве между вариантами обработки нивелировались в августовский период (11-12 мг/кг; $F_f < F_t$; прил.10). По мнению И.Н. Шаркова с соавт. (2007), причина замедленных темпов накопления нитратного азота на безотвальных фонах обработки почвы в первую половину вегетационного периода может быть обусловлена различиями в температурном режиме почвы при относительном дефиците в ней легкоминерализуемого органического вещества.

Ход сезонной динамики нитратного азота паровых полей в вегетационный сезон 2014 и 2015 гг. имел схожую направленность. Повышенная обеспеченность нитратным азотом паровых полей установлена при обработке почвы плугом (16 мг/кг). На минимальной обработке содержание нитратного азота характеризовалось средней обеспеченностью (9 мг/кг), на нулевой – низкой (8 мг/кг). В динамике нитратонакопления выделяется июльский период с очень высокой обеспеченностью паровых полей

(14-33 мг/кг) и отсутствием достоверных различий между вариантами основной обработки почвы в 2014 г. (прил. 11; $F_f < F_T$).

Определение статистических показателей содержания нитратного азота в агрочерноземе в среднем за вегетационный период показало, что оно определялось способом обработки почвы. Отвальная обработка паровых полей определяет в среднем очень высокую и высокую обеспеченность нитратным азотом 0-20 см слоя агрочернозема (20-21 мг/кг), минимальная – повышенную (14-15 мг/кг), нулевая – низкую и среднюю (8-12 мг/кг) (табл. 15).

Таблица 15 – Статистические показатели содержания нитратного азота в агрочерноземе паровых полей, мг/кг

Прием обработки	Слой почвы, см	2013 г. ($n=3$)		2014 г. ($n=3$)		2015 г. ($n=3$)	
		X	$C_v, \%$	X	$C_v, \%$	X	$C_v, \%$
Отвальная	0-10	17,6	46	17,7	50	19,4	61
	10-20	24,1	50	22,1	39	20,7	48
Минимальная	0-10	14,3	33	14,3	84	13,7	77
	10-20	16,3	50	13,8	85	13,9	81
Нулевая	0-10	6,9	14	8,5	46	9,4	45
	10-20	8,0	38	15,2	107	10,3	57

З.М. Азизовым (2005) на черноземах степного Поволжья установлено, что на вариантах с минимализацией основной обработки почвы по сравнению со вспашкой отмечалось уменьшение содержания нитратного азота. Это связано с наличием пожнивных остатков в верхнем слое почвы, замедляющих её прогревание и способствующих иммобилизации доступного азота микроорганизмам при разложении растительных остатков с широким отношением C:N. На это указывают А.И. Шабаетов с соавт. (2003) и Г.П. Гамзиков (1989). По данным Г.Г. Морковкина и др. (2015), почва без обработки во влажные годы существенно замедляет нитрификационную активность, что объясняется нарушением водно-воздушного режима из-за уплотнения почвы, относительно высокой влажности и, как следствие, слабой аэрации почв. Подобные результаты

получены в исследованиях J.A. Lamb et al (1985), L.A. Spidle, E.J. Deibert (1986), G.A. Agendag, P.C.J. Marel (1989).

Исследованиями показано, что применение отвальной и нулевой обработок паровых полей привело к существенной дифференциации пахотного слоя почвы по содержанию нитратного азота (рис. 18). Такие способы основной обработки почвы определили преимущественное накопление нитратного азота в агрочерноземе на глубине 10-20 см.

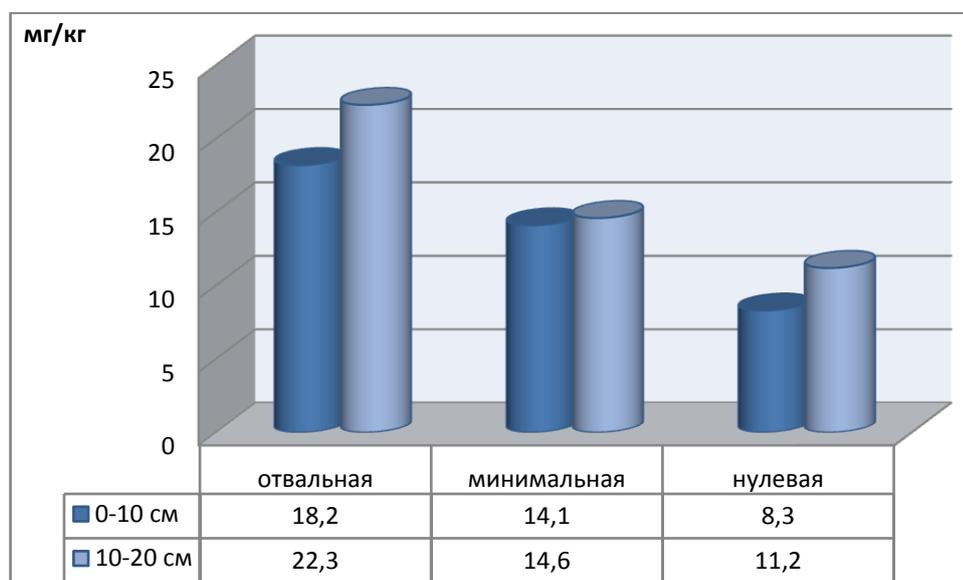


Рисунок 18 – Содержание нитратного азота в агрочерноземе паровых полей (2013-2015 гг.); (HCp_{05} фактор А – обработка = 3,7; фактор Б – слой = 3,0), мг/кг

Наблюдения за динамикой нитратного азота в агрочерноземе посевов зерновых культур показали иную картину. Содержание и динамика нитратного азота в почве агроценоза пшеницы определялись погодными условиями вегетационных сезонов. Динамика нитратного азота в 0-20 см слое агрочернозема в вегетационный сезон 2013 г. характеризовалась средней вариабельностью ($Cv = 31-48\%$) (табл. 16) и отсутствием достоверных отличий по вариантам обработки почвы (прил. 10). Средняя обеспеченность почвы в период всходов пшеницы на всех фонах основной обработки (10-11 мг/кг) сменялась на низкую (4-7 мг/кг) в период от кущения пшеницы до ее уборки.

Таблица 16 - Статистические показатели содержания нитратного азота в агрочерноземе в посевах пшеницы, мг/кг

Прием обработки	Слой почвы, см	2013 г.(n=3)		2014 г.(n=3)		2015 г.(n=3)	
		X	Cv, %	X	Cv, %	X	Cv, %
Отвальная	0-10	6,8	32	12,2	37	13,5	22
	10-20	7,4	42	16,8	17	16,1	12
Минимальная	0-10	7,5	33	8,3	48	8,0	31
	10-20	8,0	48	9,8	37	9,4	22
Нулевая	0-10	6,7	31	6,0	92	4,0	33
	10-20	6,6	48	4,3	65	4,1	49

В вегетационные сезоны 2014 и 2015 гг. складывались лучшие условия для нитрификационных процессов в почве. На фоне применения минеральных удобрений в дозе $N_{30}P_{30}$ агрочернозем в период всходов пшеницы достоверно отличался по содержанию нитратного азота ($HCp_{05} = 3,8-5,2$; прил. 11, 12). В почве, обработанной плугом, отмечалось повышенное содержание минерального азота (15-17 мг/кг), дискатором – среднее (9-11 мг/кг), на нулевом посеве – низкое (2-5 мг/кг). Интенсивный вынос нитратного азота в июльский период ($Cv = 12-92$ %) определил среднюю обеспеченность почвы. В августе низкая обеспеченность (4-8 мг/кг) отмечается в почве при возделывании яровой пшеницы по ресурсосберегающим технологиям.

Исследованиями установлено отсутствие существенной дифференциации 0-20 см слоя агрочернозема по содержанию нитратного азота на минимальной и нулевой обработках (рис. 19). На фоне отвальной обработки нитратного азота накапливалось в среднем на 9 мг/кг больше в слое 10-20 см, чем в слое 0-10 см. Анализ среднестатистических данных содержания нитратного азота в почве за период наблюдений показал повышенный уровень обеспеченности посевов пшеницы азотом на вспашке (16 мг/кг) и средний уровень на минимальной обработке (9 мг/кг). Прямой посев пшеницы определил низкую обеспеченность 0-20 см слоя почвы нитратным азотом (5 мг/кг).

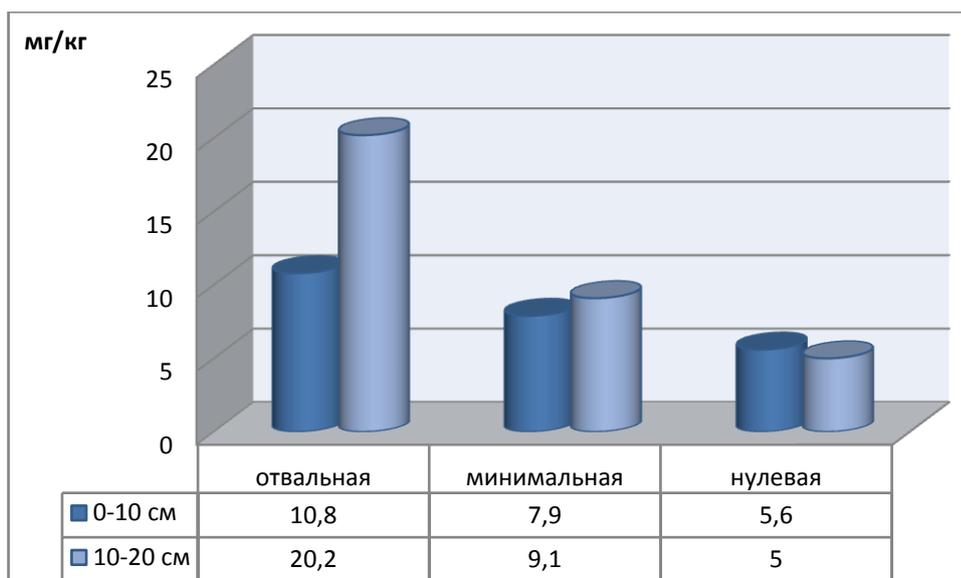


Рисунок 19 – Содержание нитратного азота в агрочерноземе в посевах пшеницы (2013-2015 гг.); (НСР₀₅ фактор А – обработка = 4,2; фактор Б – слой = 6,1), мг/кг

Почва в посевах ячменя, возделываемого в севообороте после ярового рапса, отличалась лучшими условиями для накопления нитратного азота (табл. 17).

Таблица 17 – Статистические показатели содержания нитратного азота в агрочерноземе в посевах ячменя, мг/кг

Прием обработки	Слой почвы, см	2013 г.(n=3)		2014 г.(n=3)		2015 г.(n=3)	
		X	Cv, %	X	Cv, %	X	Cv, %
Отвальная	0-10	10,3	36	14,9	43	11,1	32
	10-20	10,1	36	11,0	67	10,9	39
Минимальная	0-10	10,9	60	7,4	41	5,4	35
	10-20	7,5	57	11,9	50	5,7	39
Нулевая	0-10	7,8	24	11,5	101	5,2	62
	10-20	6,6	38	12,5	100	5,9	22

На фоне вспашки содержание нитратного азота оценивалось в среднем за вегетационные сезоны 2013-2015 гг. средней и повышенной обеспеченностью (10-15 мг/кг). В начале вегетации ячменя повышенное и высокое содержание нитратного азота фиксировалось на отвальной и минимальной обработках во все

года исследований (12-20 мг/кг; прил. 10-12). На нулевом фоне – среднее и очень низкое (1-10 мг/кг).

Под посевами ячменя содержание нитратного азота очень динамично ($C_v = 22-101\%$), что показано нашими исследованиями (Колесников и др., 2022). Наряду с накоплением нитратного азота, за счет текущей нитрификации одновременно происходит обеднение его запаса к июлю и августу в результате интенсивного потребления культурой. Уменьшение количества азота к уборке ячменя на всех вариантах опыта до 5-8 мг/кг являлось результатом выноса элемента отрастающим подгоном ячменя. По исследованиям Г.П. Гамзикова (1989), обычно в период колошение-созревание, когда прекращается интенсивное потребление питательных веществ растениями, в почве увеличиваются запасы нитратного азота за счет текущей нитрификации. В июле 2014 г. количество нитратного азота в почве полей ячменя оставалось повышенным и высоким на всех фонах основной обработки (12-26 мг/кг).

Анализ среднесезонного содержания нитратного азота в агрочерноземе посевов ячменя показал, что его возделывание по яровому рапсу формировало близкий средний уровень обеспеченности (рис. 20).

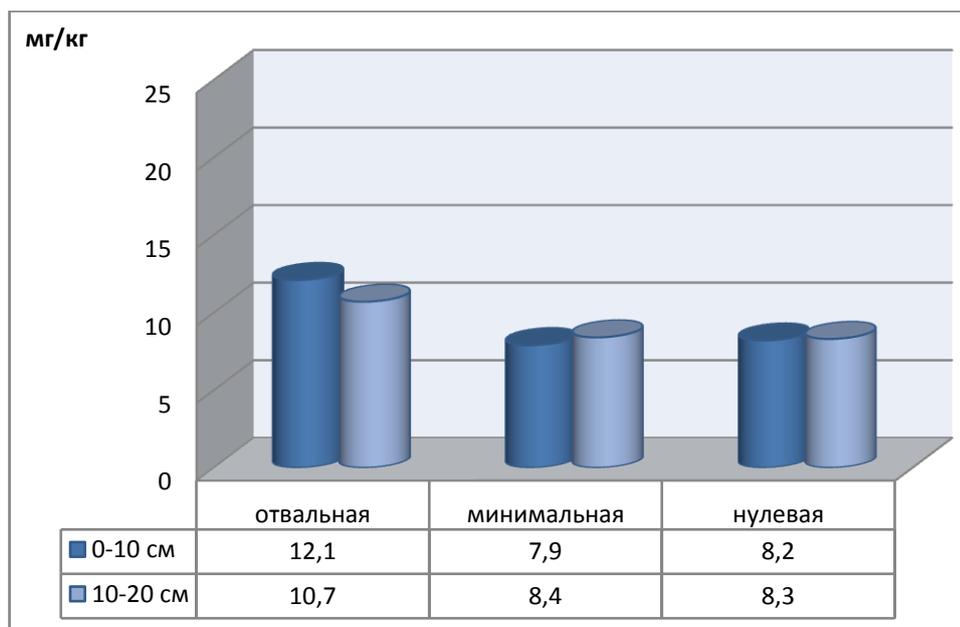


Рисунок 20 – Содержание нитратного азота в агрочерноземе в посевах ячменя (2013-2015 гг.); ($HC_{P_{05}}$ фактор А – обработка = 3,3; фактор Б – слой = $F_{ф} < F_{т}$), мг/кг

На вспашке среднее содержание нитратного азота в 0-20 см слое агрочернозема составило 11 мг/кг, на фоне ресурсосберегающих технологий – 8 мг/кг без существенной дифференциации 0-20 см слоя почвы. Роль обработки в обеспечении нитратным азотом почвы заметно проявлялась в период всходов овса в 2013 г.. В этот период отмечалась очень высокая обеспеченность азотом агрочернозема на вспашке (27 мг/кг), высокая на минимальной обработке (19 мг/кг), низкая на нулевом посеве (8 мг/кг) ($HC_{P05} = 5,6-4,7$; прил. 10). В периоды колошения и созревания овса низкое содержание нитратного азота в почве всех вариантов опыта определило высокую вариабельность признака ($Cv = 62-109 \%$) (табл. 18).

Таблица 18 - Статистические показатели содержания нитратного азота в агрочерноземе в посевах овса, мг/кг

Прием обработки	Слой почвы, см	2013 г.(n=3)		2014 г.(n=3)		2015 г.(n=3)	
		X	Cv, %	X	Cv, %	X	Cv, %
Отвальная	0-10	11,2	84	11,6	62	9,1	42
	10-20	14,3	109	12,9	58	10,2	56
Минимальная	0-10	9,9	73	18,2	49	11,2	19
	10-20	9,0	62	14,5	76	10,7	38
Нулевая	0-10	5,7	33	5,1	45	5,9	25
	10-20	8,3	24	4,6	52	5,6	29

Иной ход сезонной динамики нитратного азота отмечен в вегетационный сезон 2014 г. Обеспеченность нитратным азотом от повышенной до очень высокой на вспашке и минимальной обработке сохранялась до периода созревания овса (15-25 мг/кг). В августе отмечено существенное снижение концентрации азота до 4-7 мг/кг в агрочерноземе всех вариантов опыта ($Cv = 45-62 \%$). В 2015 г. повышенная и средняя обеспеченность почвы нитратным азотом фиксировалась на вспашке и минимальной обработке в период июнь-июль (9-16 мг/кг). При этом достоверное отличие по накоплению минерального азота было

выявлено только в период всходов овса ($НСР_{05} = 6,0$; прил. 12). В уборке культуры содержание нитратного азота было низким на всех типах обработки (4-8 мг/кг).

В среднем за период наблюдений отвальная и минимальная обработки определили повышенную обеспеченность агрочернозема азотом (12 мг/кг), нулевая обработка – низкую (6 мг/кг) (рис. 21).

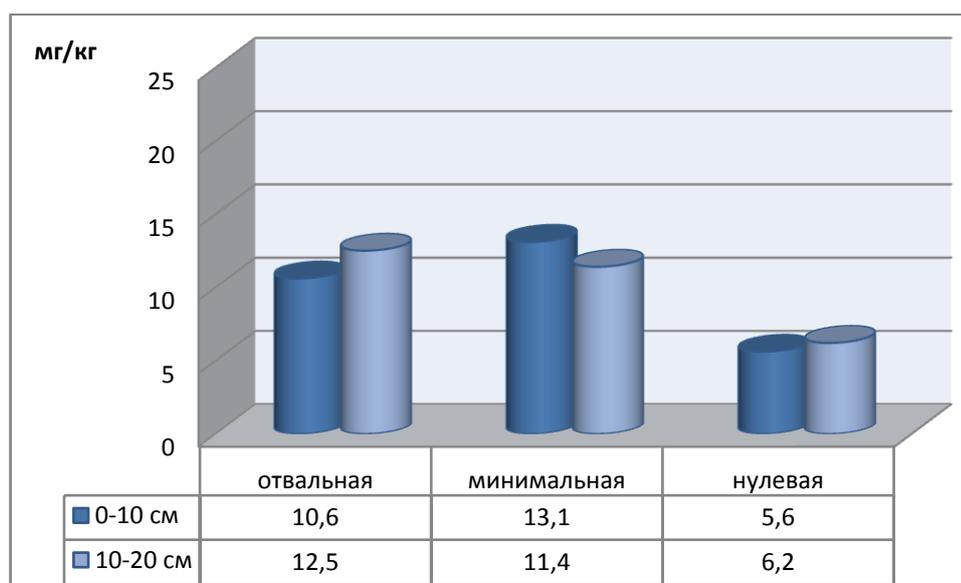


Рисунок 21 – Содержание нитратного азота в агрочерноземе в посевах овса (2013-2015 гг.); ($НСР_{05}$ фактор А – обработка = 5,7; фактор Б – слой = $F_f < F_T$), мг/кг

Таким образом, вспашка и минимальная обработки агрочерноземов создают оптимальную бактериальную обстановку и обеспечивают растения элементами питания. Н.Л. Кураченко и А.А. Колесник (2020) доказано, что перераспределение растительных остатков в пользу верхней части пахотного слоя в условиях минимальной обработки способствовало повышенному содержанию нитратного азота в 0-10 см слое почвы посевов яровой пшеницы. При применении прямого посева пшеницы 25 % объема выборке значений нитратного азота в пространстве имели показатели, приближавшиеся к минимальной величине. Исследованиями В.И. Кирюшина и др. (1991) на черноземах установлено, что замена вспашки плоскорезными и нулевыми обработками сопровождается снижением накопления нитратного азота. Это объясняется повышением плотности почвы, понижением температуры верхнего слоя почвы в осенне-весенний период, наличием большого

количества пожнивных остатков при дефиците доступных форм азота. Уменьшение глубины обработки и поступление в верхние слои почвы растительных остатков при применении ресурсосберегающих технологий существенно снижают нитрификационные процессы. Нитрификационные процессы в почве, как правило, протекают интенсивнее при отвальной системе обработки. Исследованиями В.В. Немченко с соавторами (2011) установлено, что при паровании в слое 0-10 см накопление нитратного азота на фоне безотвального рыхления было на 10 %, на нулевой обработке – на 20 % ниже, чем на вспашке. Установлено, что плоскорезная и нулевая обработки чернозема выщелоченного в первой половине вегетационного периода сдерживают минерализацию почвенного азота. Выравнивание содержания нитратов в слое 0-30 см происходит только к 20-30 июля за счет опережающих темпов минерализации почвенного азота в верхнем слое стерневых фонов. Размещение пожнивных остатков в верхней части пахотного горизонта при мелком и глубоком рыхлении почвы сдерживает прогревание почвы весной, а более плотное сложение уменьшает аэрацию. При этом усиливается деятельность целлюлозолитических микроорганизмов, а процессы нитрификации снижаются (Шабаев и др., 2007).

Полученные результаты показывают, что содержание нитратного азота в агрочерноземе Красноярской лесостепи определялось способом основной обработки почвы и характером агроценоза. В вегетационный сезон 2013 г. содержание нитратного азота в 0-20 см слое агрочернозема на 34 % зависело от возделываемых в севообороте культур, вклад фактора «обработка почвы» составил 16 % (табл. 19). В 2014 г. показатель степени влияния приема обработки на содержание нитратного азота изменялся от 29 до 37 %, в 2015 г. – от 20 до 37 % в слое 0-10 и 10-20 см. В поверхностном 0-10 см слое в наибольшей степени на содержание нитратного азота повлияло сочетание факторов «агроценоз – прием обработки» (49-52 %).

Таблица 19 – Оценка вклада агроэкологических факторов в изменение содержания нитратного азота в 0-20 см слое агрочернозема

Год	Фактор	Показатель степени влияния (ПСВ), %	
		0-10 см	10-20 см
2013	Прием обработки (А)	12,0	19,4
	Агроценоз (В)	44,5	23,7
	Взаимодействие (АВ)	22,5	29,3
	Неучитываемые факторы	21,0	27,6
2014	Прием обработки (А)	28,9	37,2
	Агроценоз (В)	19,5	33,0
	Взаимодействие (АВ)	51,5	29,8
	Неучитываемые факторы	0,1	0,0
2015	Прием обработки (А)	20,3	37,0
	Агроценоз (В)	24,2	28,5
	Взаимодействие (АВ)	49,1	24,1
	Неучитываемые факторы	6,4	10,4

Наиболее благоприятные условия для нитрификации складывались в паровом поле, где содержание нитратного азота на вспашке характеризовалось как очень высокое, на минимальной обработке – повышенное, на нулевой – среднее. Возделывание зерновых культур по вспашке и минимальной обработке определяло уровень обеспеченности нитратным азотом от повышенного до среднего. Прямой посев зерновых культур, как правило, формировал низкую обеспеченность агрочернозема нитратным азотом.

5.2 Подвижный фосфор

Фосфор является одним из основных элементов питания растений. В отличие от минеральных форм почвенного азота, которые неустойчивы и легко теряются в результате улетучивания и вымывания, почвенные фосфаты весьма устойчивы. Причиной недостатка фосфора для растений является низкая растворимость фосфорных соединений (Ульянова, Бабиченко, 2014). Содержание усвояемых фосфатов в почве – показатель довольно лабильный, изменяющийся в

зависимости от свойств почвы, приемов агротехники, возделываемой культуры и ряда других причин (Алимкулов и др., 2015). Недостаток фосфора в почвах снижает продуктивность сельскохозяйственных культур. Особенно отчетливо это проявляется при коротком вегетационном периоде растений, в обстановке холодного климата и засушливых условиях Средней Сибири (Волошин, 2014). Более всего фосфор необходим растениям в начальный период их развития, особенно при недостатке тепла. В исследованиях А.П. Аникиной (1989) показано, что дефицит фосфора в начальный период развития пшеницы вызывает резкое уменьшение урожая зерна даже при последующем внесении фосфорных удобрений.

Агрочернозем криогенно-мицелярный в паровых полях и в посевах зерновых культур характеризуется обеспеченностью подвижным фосфором от повышенной до очень высокой. Регулярное применение минеральных удобрений в дозе $N_{30}P_{30}$ под зерновые культуры севооборота приводило к накоплению остаточных фосфатов, которые могут усваиваться сельскохозяйственными культурами, снижая роль почвенных фосфатов в создании урожая (Афанасьев, Мерзлая, 2012).

Содержание подвижных фосфатов, как показали исследования, динамично как в течение вегетации, так и по годам. Высокая и повышенная обеспеченность подвижным фосфором паровых полей (41-59 мг/кг) сочетается со средним сезонным варьированием показателя на отвальной обработке ($C_v = 20-41 \%$), небольшим и незначительным – при минимальной обработке ($C_v = 5-17 \%$) (табл. 20). Нулевая обработка паровых полей (химический пар) определяет незначительную сезонную динамику P_2O_5 в 0-10 см слое агрочернозема ($C_v = 5-9 \%$). Как правило, в агрочерноземе наблюдалось уменьшение количества подвижного фосфора от начала к середине лета, а затем повышение его содержания к августу (прил. 13-15).

Таблица 20 – Статистические показатели содержания подвижного фосфора в агрочерноземе паровых полей, мг/кг

Прием обработки	Слой почвы, см	2013 г.(n=3)		2014 г.(n=3)		2015 г.(n=3)	
		X	Cv, %	X	Cv, %	X	Cv, %
Отвальная	0-10	42,1	24	50,0	20	50,2	30
	10-20	47,0	41	54,0	20	54,6	22
Минимальная	0-10	51,3	14	50,3	15	41,3	17
	10-20	45,2	16	46,9	5	42,0	17
Нулевая	0-10	57,5	5	59,1	7	54,3	9
	10-20	45,3	36	50,0	13	47,3	1

Локализация подвижного фосфора в 0-20 см слое почвы в связи с различными приемами основной обработки имеет определенный интерес. За период исследований отмечено уменьшение на 5 мг/кг содержания P_2O_5 в 0-10 см слое почвы на вспашке (рис. 22). На фоне минимальной и нулевой обработки паровых полей выявлена преимущественная локализация подвижного фосфора в поверхностном 0-10 см слое. В наибольшей степени эта закономерность проявляется в условиях химического пара.

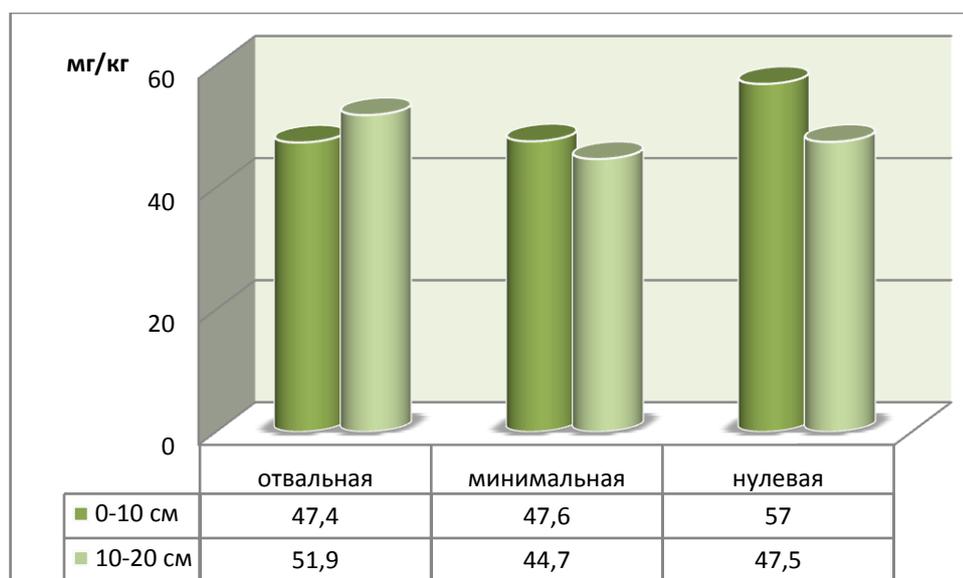


Рисунок 22 – Содержание подвижного фосфора в агрочерноземе паровых полей (2013–2015 гг.); (НСР₀₅ фактор А – обработка = Fф<Fт; фактор Б – слой = Fф<Fт), мг/кг

Поступление азотно-фосфорного минерального удобрения с посевом яровой пшеницы определило высокую и очень высокую обеспеченность P_2O_5 0-20 см слоя почвы в период всходов пшеницы (53-67 мг/кг) (прил. 13-15). Приёмы основной обработки агрочернозема не оказали существенного влияния на накопление подвижных фосфатов в этот период ($F_f < F_t$). Избыточное увлажнение вегетационных сезонов 2013 и 2014 гг. определило более выраженную сезонную динамику подвижного фосфора в посевах яровой пшеницы ($C_v = 8-24 \%$) (табл. 21).

Таблица 21 – Статистические показатели содержания подвижного фосфора в агрочерноземе в посевах пшеницы, мг/кг

Приём обработки	Слой почвы, см	2013 г.(n=3)		2014 г.(n=3)		2015 г.(n=3)	
		X	$C_v, \%$	X	$C_v, \%$	X	$C_v, \%$
Отвальная	0-10	47,3	17	65,0	8	59,0	8
	10-20	43,0	16	55,1	19	55,6	4
Минимальная	0-10	57,2	23	47,8	10	42,1	5
	10-20	50,9	23	48,0	13	46,3	4
Нулевая	0-10	52,2	24	53,2	11	53,2	19
	10-20	45,3	20	54,1	24	56,4	23

Она определяется постепенным снижением количества фосфатов, связанных с потреблением культурой, вплоть до ее уборки.

Отсутствие достоверных отличий по уровню накопления P_2O_5 в 0-20 см слое агрочернозема при различных приемах основной обработки почвы под яровую пшеницу определило близкий уровень его содержания (рис. 23). Отмечена тенденция накопления подвижного фосфора в посевах пшеницы на вспашке в 0-10 см слое почвы (57 мг/кг). На глубине 10-20 см количество P_2O_5 снижено до 51 мг/кг. Минимальная и нулевая обработки формировали близкий уровень обеспеченности подвижным фосфором без дифференциации 0-20 см слоя почвы.

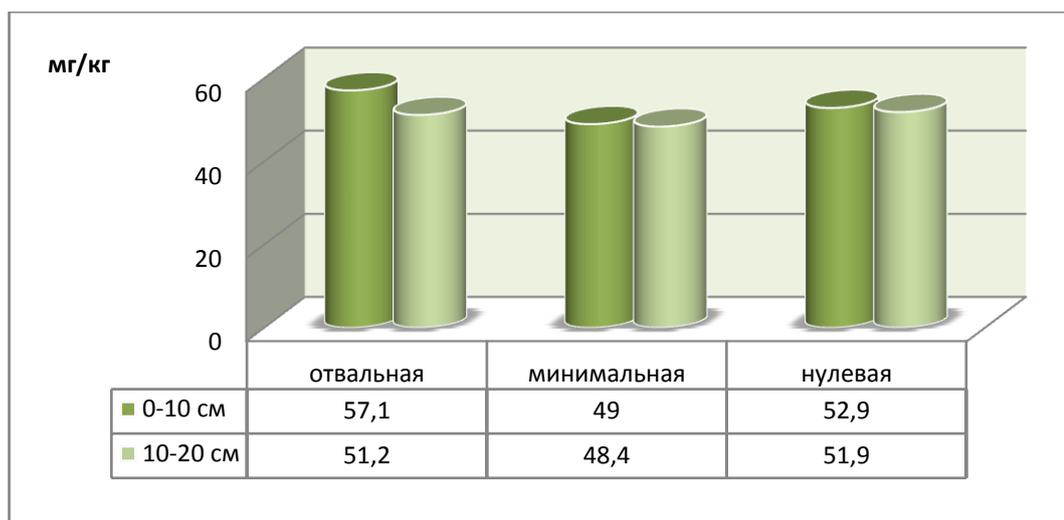


Рисунок 23 – Содержание подвижного фосфора в агрочерноземе в посевах пшеницы (2013-2015 гг.); (НСР₀₅ фактор А – обработка = Fф<Fт; фактор Б – слой = Fф<Fт), мг/кг

Почва в посевах ячменя, возделываемого в севообороте по яровому рапсу, также отличалась высокой обеспеченностью подвижным фосфором по годам исследований (45-57 мг/кг) (табл. 22). Лучшие условия для накопления подвижных фосфатов в агрочерноземе складывались на нулевой обработке. Но эти различия по сравнению со вспашкой и минимальной обработкой математически не доказываются по срокам отбора образцов (прил. 13-15).

Таблица 22 – Статистические показатели содержания подвижного фосфора в агрочерноземе в посевах ячменя, мг/кг

Прием обработки	Слой почвы, см	2013 г.(n=3)		2014 г.(n=3)		2015 г.(n=3)	
		X	Cv, %	X	Cv, %	X	Cv, %
Отвальная	0-10	52,3	13	51,0	30	50,0	8
	10-20	48,0	12	52,5	17	49,5	10
Минимальная	0-10	55,2	23	49,0	15	50,1	18
	10-20	45,4	16	46,3	18	44,3	9
Нулевая	0-10	57,0	19	56,7	16	50,0	24
	10-20	57,1	13	57,3	15	49,3	20

Характер сезонной динамики P₂O₅ имел схожую направленность и интенсивность по фонам основной обработки почвы (Cv = 8-30 %). Минимальное

содержание подвижного фосфора отмечалось в период интенсивного потребления культурой элементов питания.

Анализ среднего содержания подвижного фосфора за период исследований в агрочерноземе посевов ярового ячменя показал, что его возделывание по рапсу определило высокий уровень обеспеченности элементом питания (рис. 24).

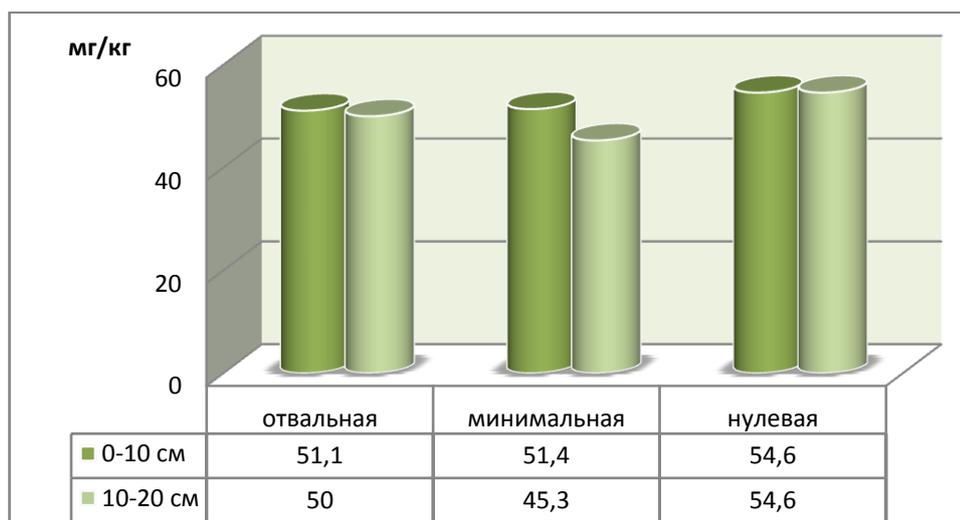


Рисунок 24 – Содержание подвижного фосфора в агрочерноземе в посевах ячменя (2013-2015 гг.) (НСР₀₅ фактор А – обработка = Fф<Fт; фактор Б – слой = 4,1), мг/кг

На вспашке и ресурсосберегающих технологиях основной обработки среднее содержание P₂O₅ в 0-20 см слое агрочернозема составило 48-55 мг/кг. Поверхностная обработка почвы дискатором определила небольшую дифференциацию 0-20 см слоя почвы по содержанию подвижного фосфора. Разница между слоями составила 6 мг/кг.

В посевах овса, возделываемого по зерновому предшественнику, небольшая и средняя сезонная вариабельность подвижного фосфора (Cv = 16-30 %) сопровождается заметным его снижением в июльский период с сохранением повышенной обеспеченности по всем фонам основной обработки в вегетационный сезон 2013 г. (35-43 мг/кг) и высокой в 2014-2015 гг. (табл. 23; прил. 13-15).

Таблица 23 – Статистические показатели содержания подвижного фосфора в агрочерноземе в посевах овса, мг/кг

Прием обработки	Слой почвы, см	2013 г.(n=3)		2014 г.(n=3)		2015 г.(n=3)	
		X	Cv, %	X	Cv, %	X	Cv, %
Отвальная	0-10	52,1	16	53,2	11	50,3	18
	10-20	52,4	22	51,3	22	50,0	18
Минимальная	0-10	55,0	27	58,5	29	55,2	24
	10-20	44,9	24	51,9	19	50,7	18
Нулевая	0-10	51,3	21	55,0	28	49,9	30
	10-20	47,4	28	45,1	20	49,8	20

Исследованиями установлено, что при возделывании овса по зерновому предшественнику с применением ресурсосберегающих технологий основной обработки почвы отмечена поверхностная локализация P_2O_5 в 0-10 см слое почвы (рис. 25). Разница между слоями почвы оценивается величиной 5-7 мг/кг. Исследованиями Н.В. Перфильева с соавт. (2015) показано, что обработка почвы без оборота пласта после зерновых предшественников приводит к обеднению подпахотного 20-40 см слоя почвы подвижным фосфором на 24-51 %.

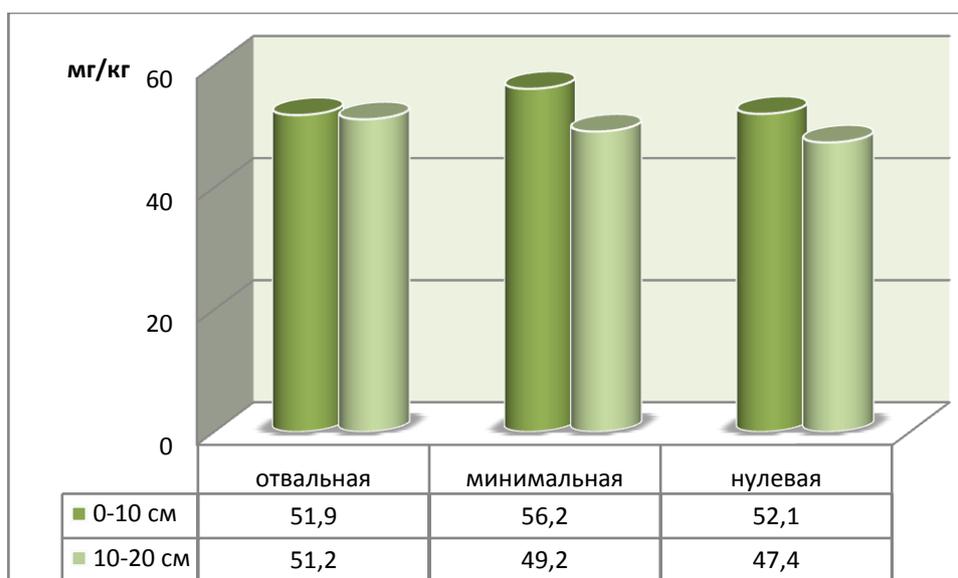


Рисунок 25 – Содержание подвижного фосфора в агрочерноземе в посевах овса (2013–2015 гг.); (НСР₀₅ фактор А – обработка = Fф<Fт; фактор Б – слой = 5,4), мг/кг

Оценка вклада исследуемых факторов в изменение содержания подвижного фосфора в агрочерноземе показала, что роль способа основной обработки почвы не велика и не превышает 24 % (табл. 24).

Таблица 24 – Оценка вклада агроэкологических факторов в изменение содержания подвижного фосфора в 0-20 см слое агрочернозема

Год	Фактор	Показатель степени влияния (ПСВ), %	
		0-10 см	10-20 см
2013	Прием обработки (А)	23,5	18,2
	Агроценоз (В)	13,0	17,5
	Взаимодействие (АВ)	40,9	40,6
	Неучитываемые факторы	22,6	23,7
2014	Прием обработки (А)	20,6	14,0
	Агроценоз (В)	36,3	28,6
	Взаимодействие (АВ)	43,1	57,4
	Неучитываемые факторы	0,0	0,0
2015	Прием обработки (А)	21,2	20,5
	Агроценоз (В)	15,8	17,2
	Взаимодействие (АВ)	42,1	39,5
	Неучитываемые факторы	20,9	22,8

Полученные результаты согласуются с исследованиями А.Н. Воронина (2014). Им доказано наиболее существенное влияние на содержание подвижных фосфатов в пахотном слое минеральных удобрений и навоза. Менее значительное действие оказали севообороты и способы обработки почвы. В наших исследованиях влияние агроценоза на содержание P_2O_5 в 0-20 см слое агрочернозема в наибольшей степени проявлялось в вегетационный сезон 2014 г. (33 %). Взаимодействие факторов «способ обработки» и «агроценоз» на 41-50 % влияло на содержание подвижных фосфатов в почве. Так, в полях пара, обработанного по нулевой технологии, высокая обеспеченность подвижным фосфором отмечена в слое 0-10 см (57 мг/кг), в посевах пшеницы в 0-10 см слое – по вспашке (57 мг/кг), в посевах овса – по минимальной обработке (56 мг/кг). Исследованиями С.И. Смурова и Н.В. Шелухиной (2013) доказано, что при

ежегодном внесении в среднем по севообороту 32,5 кг/га фосфора за 22 года увеличение содержания подвижных форм этого элемента в 0-30 см слое почвы составило 29-59 мг/кг. При этом наименьшие величины отмечены на вспашке, а наибольшие – на безотвальной обработке. Авторы объясняют этот факт тем, что внесение фосфорных удобрений на черноземах приводит к накоплению метастабильных фосфатов кальция и железа. Они обладают большей растворимостью, чем природные фосфаты. Это свойство долго сохраняется и определяет длительное последствие удобрений.

5.3 Обменный калий

Калий по сравнению с другими элементами питания не входит в состав органических соединений, но активно участвует в процессах фотосинтеза, образования белков, повышает засухоустойчивость, зимостойкость, устойчивость растений к полеганию и улучшает качество продукции. Постоянное перераспределение ионов калия в системе «твердая фаза почвы – почвенный раствор», а также трансформация их положения в твердой фазе почвы требует периодической регистрации этих изменений (Бобренко, Матвейчик, Шмидт, 2020). По данным агрохимического обследования, содержание калия в почвах Красноярского края и обеспеченность им растений выше, чем фосфором (Танделов и др., 1997). Специфика минералогического состава и большое содержание в черноземах Красноярского края ила является причиной повышенной обеспеченности их валовым калием (Бугаков, Горбачева, Чупрова, 1981). Исследованиями авторов доказано преимущественное накопление обменного калия в верхнем 0-10 или 0-20 см слое почв земледельческой части Красноярского края. Причинами накопления калия в верхнем слое являются биогенные процессы, влияние механических обработок почвы, ускоряющих выветривание калиесодержащих минералов, а также отсутствие подвижности этого элемента в тяжелых почвах. Реальную картину обеспеченности растений калием дает содержание в почве обменной формы этого элемента (Якименко,

2019). Известно, что от подвижности, степени высвобождения катионов из почвы зависит их доступность растениям. Степень подвижности обменного калия снижается с утяжелением гранулометрического состава. По мнению В.П. Серединой (2007), с десорбцией калия – переходом из прочно ассоциированного с минеральной основой состояния в более подвижные формы – связаны восстановительные функции почв по отношению к данному элементу. Калийное состояние почв обусловлено действием ряда факторов, прежде всего почвенно-климатических условий и степени нагрузки на почву.

Результаты исследований показывают, что агрочерноземы карбонатно-мицелярные в условиях полевого опыта отличаются средней и низкой обеспеченностью обменным калием, что обусловлено среднесуглинистым гранулометрическим составом и более высокой подвижностью обменного калия.

В агрочерноземе паровых полей средняя обеспеченность обменным калием установлена в вегетационный сезон 2013 г. (табл. 25). Близкий уровень содержания обменного калия (209-227 мг/кг) отмечен на вспашке и ресурсосберегающих технологиях основной обработки.

Таблица 25 – Статистические показатели содержания обменного калия в агрочерноземе паровых полей, мг/кг

Прием обработки	Слой почвы, см	2013 г.(n=3)		2014 г.(n=3)		2015 г.(n=3)	
		X	Cv, %	X	Cv, %	X	Cv, %
Отвальная	0-10	219,0	14	185,2	16	203,3	15
	10-20	224,1	13	188,4	6	211,1	10
Минимальная	0-10	249,4	11	171,3	32	195,6	18
	10-20	205,3	20	146,8	17	170,1	12
Нулевая	0-10	211,9	24	202,0	7	200,0	8
	10-20	207,0	22	148,3	18	183,3	17

Достоверные отличия по содержанию K_2O выявлены в июльский и августовский периоды. Здесь отмечено накопление обменного калия в 0-10 см слое почвы на фоне минимальной обработки ($HCp_{05} = 53-27$; прил.16). Подобные

закономерности получены в вегетационные сезоны 2014 и 2015 гг. При низкой обеспеченности обменным калием его аккумуляция в 0-10 см слое фиксировалась при обработке паровых полей по ресурсосберегающим технологиям ($НСР_{05} = 39-53$; прил. 17, 18). Установлено, что сезонная изменчивость K_2O в почве паровых полей оценивается по слоям от 7 до 32 %. Различный характер сезонной динамики обменного калия в агрочерноземе, обработанном по различным технологиям, связан с ходом сезонной динамики влажности и процессами фиксации калия. Известно, что функционирование черноземов лесостепной зоны Красноярского края происходит в условиях умеренно сухого и континентального климата. Благодаря неравномерности выпадения осадков наблюдается чередование периодов иссушения почвы и ее увлажнения. Это способствует высвобождению и фиксации калия и, следовательно, сезонной изменчивости в т.ч. и обменного калия.

Оценка содержания обменного калия в почве паровых полей показала, что отвальная обработка определяет его аккумуляцию в слое 0-20 см (203-208 мг/кг) (рис. 26).

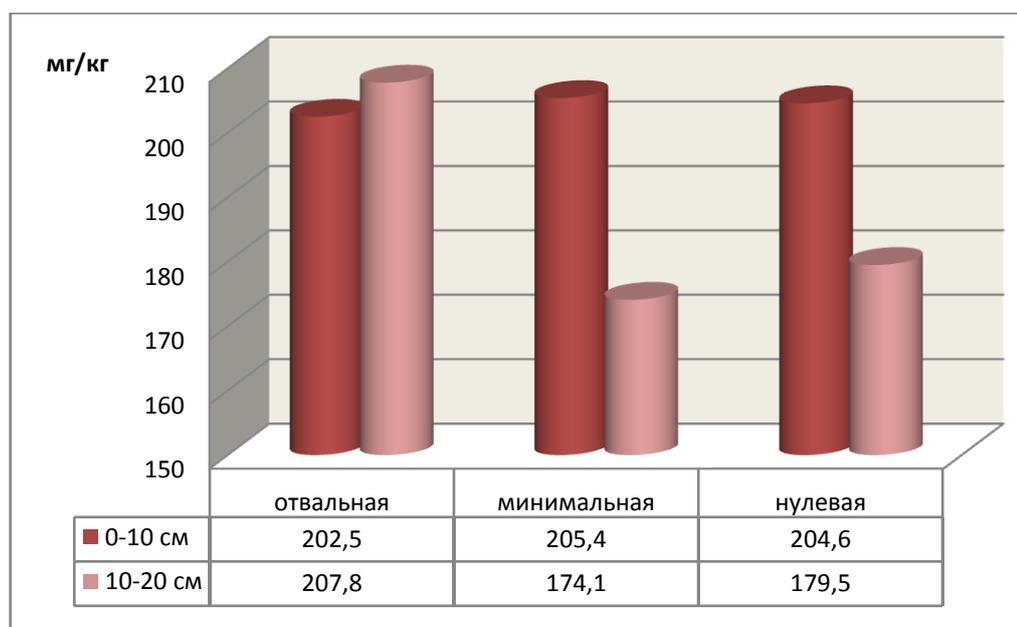


Рисунок 26 – Содержание обменного калия в агрочерноземе паровых полей (2013-2015 гг.); ($НСР_{05}$ фактор А – обработка = $Fф < Fт$; фактор Б – слой = 23), мг/кг

В условиях обработки полей дискатором и применения химического пара отмечена дифференциация 0-20 см слоя и накопление K_2O в верхнем 0-10 см слое почвы до 205 мг/кг, определяющее среднюю обеспеченность этим элементом питания. В слое 10-20 см установлена низкая обеспеченность обменным калием. В целом исследования не выявили существенного преимущества осенней обработки плугом парового поля. Разница по содержанию обменного калия в 0-20 см слое агрочернозема по вариантам опыта составила в среднем 13-15 мг/кг. Подобные результаты получены в исследованиях И.Л. Цветкова и О.В. Манылова (2014) на черноземах Приобья Алтая. Ранее работами Г.Т. Дюдюева (2001) в условиях Приобья Алтая было установлено уменьшение накопления обменного калия на вариантах поверхностной обработки почвы. При этом разница была в пределах одного класса обеспеченности. В исследованиях И.Ф. Храмцова (1997), уровень обеспеченности обменным калием на отвальной обработке повышался на 25-27 % по сравнению с плоскорезной и минимальной обработками.

Режим калия под растениями яровой пшеницы аналогичен паровым полям (табл. 26), что даёт основание считать сезонное изменение обменного калия как связанное с почвенными процессами мобилизации (высвобождения) и фиксации.

Таблица 26 – Статистические показатели содержания обменного калия в агрочерноземе в посевах пшеницы, мг/кг

Прием обработки	Слой почвы, см	2013 г.(n=3)		2014 г.(n=3)		2015 г.(n=3)	
		X	Cv, %	X	Cv, %	X	Cv, %
Отвальная	0-10	228,3	21	172,3	15	192,0	20
	10-20	226,0	21	164,4	3	180,1	18
Минимальная	0-10	245,7	15	150,1	17	177,7	12
	10-20	217,0	18	157,0	20	162,0	19
Нулевая	0-10	217,3	24	150,6	7	193,2	10
	10-20	181,5	12	145,4	3	173,3	8

При этом ритм сезонной динамики K_2O сопровождается постепенным снижением элемента питания к июлю или августу в различные годы исследований ($C_v = 3-24\%$) (прил. 16-18).

Уровень обеспеченности обменным калием в вегетационный сезон 2013 г. оценивался как средний с максимальным содержанием элемента в 0-10 см слое на фоне обработки дискатором (231 мг/кг). Минимальное содержание обменного калия под яровой пшеницей в среднем за период выявлено на нулевом фоне в 10-20 см слое почвы (182 мг/кг). Однофакторный дисперсионный анализ указывает на то, что приём основной обработки под пшеницу не оказал существенного влияния на содержание в агрочерноземе K_2O (прил. 16-17). Низкий уровень обеспеченности агрочернозема в посевах яровой пшеницы с отсутствием достоверных отличий по фонам основной обработки установлен в вегетационные сезоны 2014 и 2015 гг. (162-193 мг/кг).

Результаты полевых опытов показали тенденцию постепенного снижения обеспеченности обменным калием за период наблюдений в ряду обработок: отвальная (194 мг/кг) – минимальная (185 мг/кг) – нулевая (177 мг/кг) с увеличением степени дифференциации по элементу питания 0-20 см слоя агрочернозема (рис. 27).

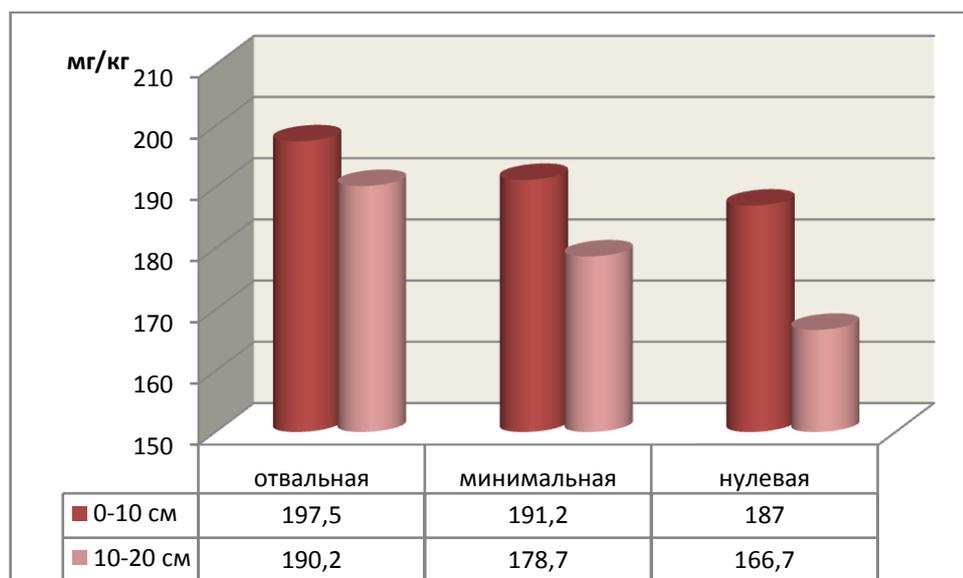


Рисунок 27 – Содержание обменного калия в агрочерноземе в посевах пшеницы (2013-2015 гг.); (HCp_{05} фактор А – обработка = $F_{f < F_t}$; фактор Б – слой = 20), мг/кг

В посевах ячменя, возделываемых по рапсу, отмечен такой же уровень содержания обменного калия, как и в посевах яровой пшеницы (143-245 мг/кг) (табл. 27). Средняя обеспеченность обменным калием отмечалась в вегетационный сезон 2013 г. на вспашке и ресурсосберегающих технологиях основной обработки (226-238 мг/кг). В период всходов ячменя и его колошения содержание K_2O в 10-20 см слое почвы на вспашке достигало 261-264 мг/кг ($НСП_{05} = 35-52$; прил. 16). Низкая обеспеченность доступным для растений калием отмечена в полевые сезоны 2014 и 2015 гг. Исключение составляет агроценоз ячменя, возделываемый по вспашке в 2015 г., где в среднем за вегетационный сезон содержание K_2O составило 211 мг/кг. Практически одинаковое содержание обменного калия по срокам определения и приемам основной обработки почвы не позволяет выделить приоритетную технологию возделывания ячменя. В сезонной динамике обменного калия в агрочерноземе ($C_v = 4-27\%$) отмечается период всходов, характеризующийся более высоким содержанием элемента. По мере роста и развития культуры содержание обменного калия несколько снижается.

Таблица 27 – Статистические показатели содержания обменного калия в агрочерноземе в посевах ячменя, мг/кг

Прием обработки	Слой почвы, см	2013 г.(n=3)		2014 г.(n=3)		2015 г.(n=3)	
		X	$C_v, \%$	X	$C_v, \%$	X	$C_v, \%$
Отвальная	0-10	240,1	14	148,2	7	213,4	10
	10-20	235,3	22	144,3	19	208,0	15
Минимальная	0-10	245,4	10	160,0	18	195,2	18
	10-20	215,1	4	157,5	13	173,3	14
Нулевая	0-10	244,8	9	162,4	25	187,4	20
	10-20	206,9	27	143,3	24	168,9	22

Существует мнение (Якименко, 2019), что содержание обменной формы калия довольно хорошо демонстрирует режим его накопления в почве, но плохо – масштабы его потребления. При длительном дефицитном балансе калия содержание в почве его подвижных форм стабилизируется на низком уровне,

несмотря на вынос элемента культурой. В таких условиях питание растений обеспечивается за счет потенциальных запасов калия.

Оценка содержания обменного калия в посевах ячменя показала, что на вспашке и ресурсосберегающих технологиях основной обработки почвы под культуру в слое 0-10 см сформирован близкий средний уровень обеспеченности элементом питания (200 мг/кг) (рис. 28). В слое 10-20 см отмечается низкая обеспеченность обменным калием. Дифференциация 0-20 см слоя по содержанию K_2O с разницей на 18-25 мг/кг выявлена при использовании минимальной и нулевой обработок под ячмень.

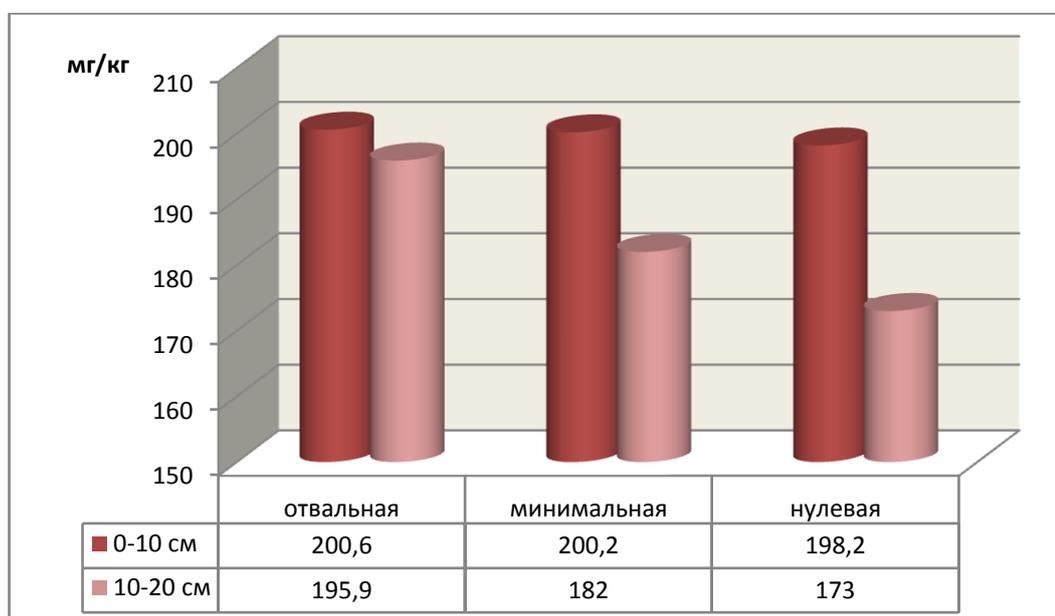


Рисунок 28 – Содержание обменного калия в агрочерноземе в посевах ячменя (2013-2015 гг.); (НСР₀₅ фактор А – обработка = Fф<Fт; фактор Б – слой = 16), мг/кг

Уровень обеспеченности обменным калием в почве агроценоза овса соответствует зерновым полям севооборота (табл. 28). Возделывание в севообороте овса второй зерновой культурой определило низкую обеспеченность 10-20 см слоя агрочернозема на минимальном и нулевом фоне в течение всего периода наблюдений (130-191 мг/кг). Отвальная обработка формировала среднюю обеспеченность K_2O только в полевой сезон 2013 г. с преимуществом этого

способа обработки в накоплении элемента питания в период всходов овса (НСР₀₅ = 40; прил. 16).

Таблица 28 – Статистические показатели содержания обменного калия в агрочерноземе в посевах овса, мг/кг

Прием обработки	Слой почвы, см	2013 г.(n=3)		2014 г.(n=3)		2015 г.(n=3)	
		X	Cv, %	X	Cv, %	X	Cv, %
Отвальная	0-10	230,2	24	154,1	6	148,1	9
	10-20	218,0	16	173,3	17	143,2	12
Минимальная	0-10	228,1	16	183,2	25	178,3	17
	10-20	193,3	24	148,4	12	151,8	12
Нулевая	0-10	200,2	23	162,0	31	167,9	24
	10-20	190,5	23	130,0	18	146,0	20

Оценка содержания обменного калия за период наблюдений показала низкую им обеспеченность (рис. 29). Установлено, что отвальная обработка агрочернозема определяет гомогенизацию 0-20 см слоя по содержанию в нем K₂O (178 мг/кг). Краткосрочное применение ресурсосберегающих технологий определяет накопление обменного калия в поверхностном слое почвы до 197-177 мг/кг, что на 32-20 мг/кг больше по сравнению с поверхностным 0-10 см слоем.

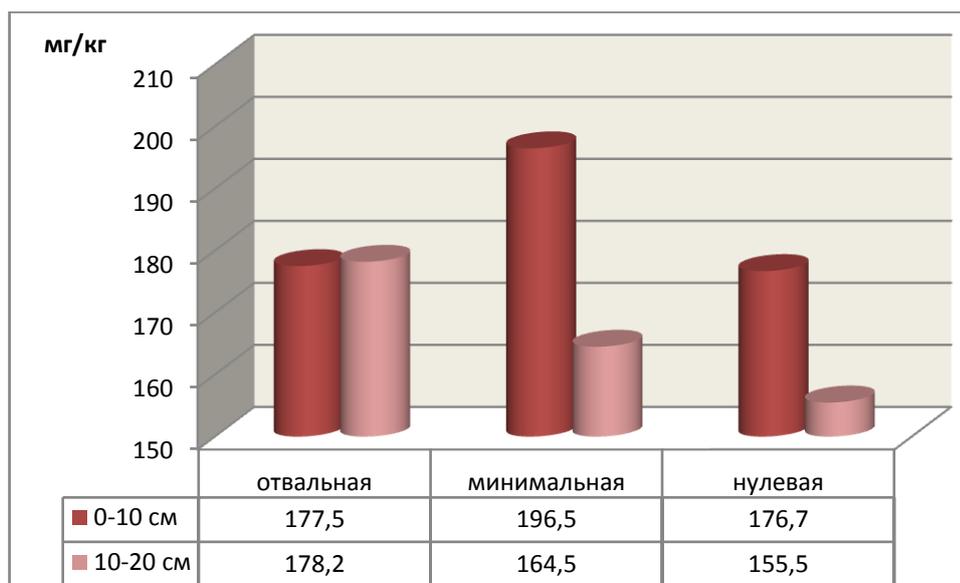


Рисунок 29 – Содержание обменного калия в агрочерноземе в посевах овса (2013-2015 гг.); (НСР₀₅ фактор А – обработка = Fф<Fт; фактор Б – слой = 24), мг/кг

Подобные результаты были получены в исследованиях А.В. Румянцевой и Л.В. Орловой (2005), С.Н. Шевченко и В.А. Корчагина (2008), В.В. Никитина и С.И. Попова (2011). Авторами было установлено более равномерное распределение K_2O на вспашке. Ресурсосберегающие технологии определили наибольшее содержание обменного калия в 0-10 см слое почв.

Нашими исследованиями установлено, что фактор «прием обработки» оказал более существенное влияние на содержание обменного калия в 10-20 см слое агрочернозема (табл. 29).

Таблица 29 – Оценка вклада агроэкологических факторов в изменение содержания обменного калия в 0-20 см слое агрочернозема

Год	Фактор	Показатель степени влияния (ПСВ), %	
		0-10 см	10-20 см
2013	Прием обработки (А)	21,3	51,0
	Агроценоз (В)	42,5	16,2
	Взаимодействие (АВ)	36,2	32,8
	Неучитываемые факторы	0,0	0,0
2014	Прием обработки (А)	14,8	28,9
	Агроценоз (В)	34,2	36,5
	Взаимодействие (АВ)	51,0	34,6
	Неучитываемые факторы	0,0	0,0
2015	Прием обработки (А)	18,6	22,5
	Агроценоз (В)	35,8	22,1
	Взаимодействие (АВ)	45,6	55,4
	Неучитываемые факторы	0,0	0,0

Его вклад оценивается на уровне 23-51 %. Содержание доступного для растений калия в поверхностном 0-10 см слое почвы на 34-43 % определяется характером агроценоза. Взаимодействие факторов «прием обработки» и «агроценоз» на 33-55 % повлияло на содержание обменного калия в 0-20 см слое агрочернозема по годам исследований. Максимальное содержание K_2O

установлено в почве паровых полей, обработанных плугом (205 мг/кг), минимальное – в посевах овса на нулевом фоне (166 мг/кг).

Таким образом, результаты исследований пищевого режима агрочернозема в условиях основной обработки позволяют утверждать, что разные приемы обработки почвы определяли существенные отличия по содержанию нитратного азота и близкие величины по подвижному фосфору и обменному калию. При этом они обуславливали неодинаковую дифференциацию 0-20 см слоя почвы по элементам питания.

ГЛАВА 6 ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ ФИТОСАНИТАРНОГО И ПРОДУКЦИОННОГО ПОТЕНЦИАЛА АГРОЦЕНОЗОВ

6.1 Состав и структура сорного компонента агроценозов

Важнейшим фактором повышения урожайности сельскохозяйственных культур, качества продукции и ее безопасности является обеспечение благоприятного фитосанитарного и эколого-токсикологического состояния почв и посевов. Засоренность посевов сорняками в большинстве случаев является одним из значимых факторов снижения урожайности сельскохозяйственных культур. По данным К.С. Артохина (2010), уровень потерь от сорной растительности в России на разных культурах составляет около 15 % урожая. Содержание основных элементов питания в сорняках выше, чем в культурных растениях, сорняки быстрее и эффективнее поглощают вносимые удобрения, в результате чего резко снижается эффективность применяемых минеральных туков.

Минимизация обработки почвы приводит к резкому ухудшению фитосанитарного состояния агроценозов (Ивенин и др., 2009; Храмцов, 2009; Малахова, 2011; Шурупов, Полоус, 2011; Нарушев и др., 2013). Уменьшение интенсивности обработки почвы приводит к увеличению засоренности в два-три раза и более, что связано с частичной заменой отвальных обработок почвы на безотвальные, поверхностные или нулевые, применением удобрений, комбинированных почвообрабатывающих и посевных комплексов.

Герботологическая ситуация в условиях Красноярской лесостепи при ресурсосберегающей обработке почвы практически не изучена. В связи с этим актуально оценить взаимосвязь блоков в системе «сорные растения – фитопатологическое состояние почв – урожайность сельскохозяйственных культур».

Результаты оценки засоренности полей показали, что степень засоренности определяется приемом основной обработки (табл. 30). Выявлено, что сильная степень засоренности типична для поля пара при нулевом посеве (54 шт/м²). В посевах пшеницы и ячменя количество сорных растений находилось в пределах

20-24 шт/м², что соответствует средней степени засоренности; в посевах овса – 16 шт/м², - слабая степень (Колесников, 2015). Поверхностное рыхление почвы дискатором и отвальная вспашка снижают засоренность до слабой. Анализ численности сорняков в полях севооборота показал, что засоренность овса по отвальной и минимальной обработкам ниже, чем в пару, на делянках пшеницы и ячменя. Вероятно, овес, сформировавший большую вегетативную массу по сравнению с другими культурами, угнетал сорные растения.

Таблица 30 – Засоренность агроценозов при различных приёмах обработки агрочернозема (2013-2015 гг.)

Прием обработки	Агроценоз	Количество сорняков, шт./м ² , в том числе			
		малолетние	многолетние	всего	степень засоренности
Отвальная	пар	9	3	12	слабая
	пшеница	7	1	8	слабая
	ячмень	17	0	17	слабая
	овес	6	1	7	слабая
Минимальная	пар	10	1	11	слабая
	пшеница	11	1	12	слабая
	ячмень	16	0	16	слабая
	овес	2	2	4	слабая
Нулевая	пар	50	4	54	сильная
	пшеница	17	3	20	средняя
	ячмень	24	0	24	средняя
	овес	14	2	16	слабая

Исследованиями Н.Н. Чумановой и В.В. Гребенниковой (2013) установлено, что снижение количества механических обработок почвы приводит к увеличению засоренности посевов. Так, при весенней поверхностной обработке численность сорняков варьировала от 75 до 96 шт/м²; при минимальной – от 110 до 163 шт/м². Максимальная численность как малолетних так и многолетних видов сорняков наблюдалась при нулевой системе обработки.

В структуре сорного компонента доминируют: конопля сорная, марь белая, одуванчик лекарственный, скерда кровельная, аистник цикутовый, сурепка, полынь, бодяк полевой и др. (табл.31). Биоморфологический спектр сорных видов свидетельствует, что на долю малолетних сорняков приходится 9 видов, многолетних – 5.

Таблица 31 – Видовой состав сорняков в агроценозах

Вид	Латинское название	Семейство	Биологическая группа
Малолетние			
Конопля сорная	<i>Cannabis ruderalis</i>	Коноплевые	Яровой
Марь белая	<i>Chenopodium album</i>	Маревые	Яровой
Скерда кровельная	<i>Crepis tectorum</i>	Сложноцветные	Зимующий
Аистник цикутовый	<i>Erodium cicutarium</i>	Гераниевые	Зимующий
Щирица запрокинутая	<i>Amarantus retroflexus</i>	Щирицевые	Яровой
Пикульник обыкновенный	<i>Galeopsis tetrahit</i>	Губоцветные	Яровой
Ярутка полевая	<i>Thlaspi arvense</i>	Капустные	Зимующий
Подмаренник цепкий	<i>Galium aparine</i>	Маревые	Яровой
Многолетние			
Одуванчик лекарственный	<i>Taraxacum officinale</i>	Сложноцветные	Стержнекорневой
Сурепка обыкновенная	<i>Barbarea vulgaris</i>	Капустные	Корнеотпрысковый
Осот желтый	<i>Sonchus arvensis</i>	Сложноцветные	Корнеотпрысковый
Полынь обыкновенная	<i>Artemisia vulgaris</i>	Сложноцветные	Стержнекорневой
Бодяк полевой	<i>Cirsium arvense</i>	Сложноцветные	Корнеотпрысковый

Материалы исследований В.Е. Синещекова с соавт. (2005) показывают, что при смене системы обработки почвы происходит и смена сорняковых формаций. Л.А. Ознобихиной и О.А. Шаховой (2012) проведен анализ влияния

систем основной обработки почвы на групповой и видовой состав семян сорняков, который показал, что применение мелкой и глубокой безотвальной обработки влечет за собой увеличение содержания в почве семян ранних и поздних яровых сорняков. Доля семян зимующих сорняков при этом уменьшается. В нашем случае наличие и численность в зерновых агроценозах и полях пара малолетних и многолетних сорняков позволяет сделать вывод о формировании корнеотпрысково-малолетнего типа засоренности по всем приемам основной обработки.

6.2 Фитопатологическое состояние почвы

Одним из существенных факторов снижения урожая и качества зерна являются вредные организмы, среди которых высокой вредоносностью отличаются возбудители корневых гнилей (*Bipolaris sorokiniana* Sacc. Shoem., грибы рода *Fusarium*), которые способны длительное время сохраняться в почве, на растительных остатках и семенах (Торопова, Стецов, Чулкина, 2002). Фитосанитарные технологии должны снижать плотность покоящихся структур возбудителей в почве и на инфицированных растительных остатках, ограничивая длительность их выживания за счет повышения супрессивности почвы. Существенное влияние на взаимодействие в системе «растение – фитопатогены – антагонисты» оказывают такие технологические приемы, как предшественники и способы обработки почвы (Семынина, 2008).

Ежегодно проводимая фитоэкспертиза семян показывает, что в Красноярском крае отмечается высокая пораженность семян болезнями, наиболее распространенными и вредоносными из которых являются корневые гнили (Малахова, 2011). При высева семян, пораженных корневыми гнилями, происходит повреждение зародышевых подземных и надземных органов, а также инфекция попадает в почву, где она может сохраняться в течение нескольких лет. Исследованиями В.В. Немченко и др. (2011); В.В. Лапиной, Н.В. Смолиной, А.В. Васильевой (2012); В.Н. Тимофеева, Н.В. Перфильева (2014); Blaise, Ravindran

(2003); Boguzas et al. (2006); Kurstjens (2007); Chilcutt, Matocha (2007); Walsh et al. (2020); MacLaren (2021) установлено, что при переходе к технологиям минимальной обработки почвы в верхнем слое происходит накопление семян сорных растений, возбудителей заболеваний и насекомых.

Анализ почвенных образцов, отобранных перед посевом культур севооборота, показал высокую заселенность почвы возбудителем гельминтоспориозной корневой гнили зерновых культур *Bipolaris sorokiniana* (табл. 32).

Таблица 32 – Заселенность почвы возбудителем гельминтоспориозной корневой гнили, шт/1 гр. почвы (2014-2015 гг.)

Агроценоз	Период отбора образцов		Убыль к концу вегетации, %
	весна	осень	
<i>Отвальная</i>			
Пар	118	35	70,3
Пшеница	114	90	21,1
Ячмень	127	50	60,6
Овес	78	38	51,3
<i>Минимальная</i>			
Пар	107	30	71,9
Пшеница	74	43	41,9
Ячмень	97	52	46,4
Овес	72	30	58,3
<i>Нулевая</i>			
Пар	119	31	74,0
Пшеница	99	60	39,4
Ячмень	103	63	38,8
Овес	96	63	34,4

Все поля севооборота заселены конидиями выше порога вредоносности, который составляет для всех культур экспериментального севооборота 20 шт/1 гр. почвы и соответствуют опасному уровню. Это связано с высокой насыщенностью севооборота зерновыми культурами, на которых идет интенсивное размножение фитопатогена, и недостаточной супрессивностью почвы, увеличивающей длительность выживания покоящихся структур в почве. Блоки основной обработки по заселенности почвы возбудителем гельминтоспориозной корневой

гнили распределяются в следующий убывающий ряд: отвальная > нулевая > минимальная. Весной, перед посевом культур, в посевах пшеницы по пару заселенность почвы возбудителем корневой гнили соответствует опасному уровню (более 100 конидий/1 гр почвы) на отвальной вспашке, критическому уровню на нулевой обработке (99 шт/1 гр почвы) и при дисковании (74 шт/1 гр. почвы). Обработка семян пшеницы фунгицидом позволила снизить показатель, фитосанитарное состояние почвы улучшилось. Аналогичная тенденция прослеживается по всем полям севооборота.

В пару на отвальной и минимальной обработках почвы заделка существенной части растительных остатков в слой почвы при их активной минерализации, а также обработка гербицидом сплошного действия участков пара без обработки почвы существенно уменьшила развитие патогена на 70 % и более. Исследованиями Е.Ю. Тороповой и М.П. Ивановой (2010) доказано, что степень влияния основной обработки почвы на численность конидий *Bipolaris sorokiniana* составляет 26 %, предшественников – 41 %. При минимальной обработке почвы и прямом посеве доля деградированных конидий выше в верхнем слое, так как при этих обработках создается мульчирующий слой из растительных остатков на поверхности почвы. В нем активно происходят микробиологические процессы, снижающие длительность выживания фитопатогенов в почве и вызывающие разложение их пропагул антагонистами. Таким образом, на развитие популяции фитопатогена *Bipolaris sorokiniana* оказывают влияние системы обработки почвы, регулирующие наличие растительных остатков и их доступность для конидий возбудителя заболевания, а также предшественники. В обеспечении фитосанитарной безопасности агрофитоценоза существенное значение имеет паровое поле.

6.3 Урожайность сельскохозяйственных культур

Системы земледелия, их элементы и принятые агроприемы возделывания сельскохозяйственных культур определяют уровни их урожайности. Различные

технологические приемы создают условия для формирования урожая сельскохозяйственных культур после посева, определяя обеспечение полевой всхожести семян, сохранности и выживаемости растений и создание условий для роста и развития культуры.

Нашими исследованиями установлено, что продуктивность зерновых культур определяется приёмами основной обработки и возделываемой культурой. Более высокая урожайность в условиях полевого опыта установлена для ячменя и овса (2,0-4,3 т/га). Холодная и затяжная весна вегетационных сезонов 2013 и 2014 гг. способствовала снижению урожайности пшеницы. Яровая пшеница только в вегетационный сезон 2015 года сформировала урожайность, достигающую 1,8-3,3 т/га (табл. 33).

Таблица 33 – Урожайность зерновых культур в зависимости от обработки почвы, т/га

Прием обработки	2013	2014	2015	Среднее за 2013-2015 гг.
<i>Пшеница</i>				
Отвальная	2,34	2,40	3,07	2,60
Минимальная	2,32	2,20	3,25	2,59
Нулевая	1,61	1,10	1,83	1,51
<i>Ячмень</i>				
Отвальная	2,64	3,11	2,92	2,89
Минимальная	3,69	4,30	4,03	4,01
Нулевая	2,72	1,10	2,31	2,04
<i>Овёс</i>				
Отвальная	4,05	4,80	3,93	4,26
Минимальная	4,37	3,90	3,89	4,05
Нулевая	3,21	1,90	2,66	2,59
НСР ₀₅ фактор А – обработка почвы = 0,80 т/га; фактор Б – культура = 1,02 т/га				

Во все годы исследований урожайность зерновых культур на отвальной и минимальной обработкам почвы, как правило, имеет близкие величины и достоверно не отличается между собой. Исключение составляет 2014 год, когда при возделывании ячменя на минимальной обработке и овса по вспашке был

сформирован максимальный урожай культур (4,3-4,8 т/га). Прямой посев снижает урожайность зерна яровой пшеницы в среднем на 42 %, ячменя – на 31-50 %, овса – на 40-51 % по сравнению с отвальной и минимальной обработками.

Обобщая литературные данные, отметим, что оценка влияния приемов основной обработки почвы на продуктивность сельскохозяйственных культур показывает неоднозначные результаты: зяблевая обработка либо превосходит по урожайности безотвальное рыхление и плоскорезную обработку, либо уступает, либо разницы не отмечается. Анализ результатов длительных опытов, проведенных Уральской ГСХА за 4 ротации севооборота, показал, что на черноземе оподзоленном, независимо от приема основной обработки продуктивность зернопропашного севооборота изменялась незначительно (1,0-3,4 %) по сравнению с традиционной вспашкой. На серой лесной и дерново-подзолистой тяжелосуглинистой почве отмечено снижение сбора зерновых единиц с урожаем культур в пределах 8,7 -13,7 % по сравнению с отвальной вспашкой (цит. по В.В. Немченко и др., 2011). По наблюдениям Н.Н. Зенина, И.С. Бызова (2009), на серой лесной почве после вспашки и глубокого рыхления культиватором урожайность зерновых культур варьировала незначительно – 33,3-34,5 ц/га. При поверхностной обработке отмечена тенденция снижения сбора зерна на 1,7-2,1 ц/га. Ж.А. Каскарбаев (2009) констатирует, что в условиях засушливой степи Северного Казахстана при минимальной и нулевой технологии возделывания продуктивность сельскохозяйственных культур не снижается по сравнению с осенней глубокой плоскорезной обработкой почвы. Исследования минимальной и нулевой обработок почвы под зерновые, масличные и кормовые культуры на черноземе обыкновенном в условиях Северного Кавказа (Шурупов, Полоус, 2011) выявили, что эти способы обработки не понижают продуктивную функцию почвы при условии применения удобрений, средств защиты растений и высокой культуре земледелия. Накопленный опыт свидетельствует, что минимальная обработка почвы при всех равных условиях обеспечивает практически одинаковый урожай сельскохозяйственных культур по сравнению с

традиционной вспашкой. Исследованиями (Кравченко, Тронева, 2011) установлено, что минимальная обработка почвы обеспечивала продуктивность гибридов кукурузы, сопоставимую с отвальной вспашкой. По данным (Скипин и др., 2014), системы обработки почвы с элементами минимизации в засушливые и благоприятные по увлажненности годы обеспечивают равную отвальной системе обработки продуктивность зернопарового севооборота на темно-серых лесных почвах Тюменской области.

6.4 Экономическая оценка ресурсосберегающих технологий возделывания зерновых культур

Обработка почвы является одним из самых энергоемких и дорогостоящих элементов современных агротехнологий. При производстве зерновых культур на нее приходится до 40 % энергетических, 25 % трудовых затрат и до половины расходуемого в земледелии горючего (Кузина, 2016). По мнению Н.В. Перфильева (2014), экономическая эффективность производства определяется уровнем урожайности. Считается, что прямые затраты не оказывают основного влияния на доходность технологий при различных способах основной обработки почвы, так как они составляют в общей структуре всего 0,4-5,6 %. А.Н. Власенко с соавт. (2010) отмечают, что снижение затрат механической энергии на обработку почвы является недостаточным условием прибыльности земледелия. Поскольку в таких условиях проявляются неблагоприятные агроэкологические изменения в агроценозе.

Исследованиями установлено, что переход к минимальной и нулевой обработкам под зерновые культуры дает значительные преимущества в экономии затрат средств на 1 гектар (табл. 34). Возделывание яровой пшеницы, ячменя и овса по минимальной обработке снижало затраты средств по сравнению с отвальной обработкой в среднем за годы исследований на 8-9 %, по нулевой технологии на 39 %. При этом существенное снижение урожайности зерновых культур зернопарового севооборота на нулевой обработке определило невысокую

прибыль. При производстве зерна пшеницы и ячменя она составила 2564-2758 руб/га, овса – 3267 руб/га.

Таблица 34 - Экономическая эффективность основной обработки почвы при возделывании зерновых культур (среднее за 2013-2015 гг.)

Показатель	Приём обработки		
	отвальная	минимальная	нулевая
<i>Пшеница</i>			
Затраты средств, руб/га	14291,2	12974,8	8660,57
Себестоимость, руб/т	5567,19	5150,42	5978,65
Прибыль, руб/га	5816,2	6865,9	2758,3
Рентабельность, %	40,1	51,5	30,5
<i>Ячмень</i>			
Затраты средств, руб/га	14386,4	13221,3	8842,9
Себестоимость, руб/т	4999,2	3311,5	4982,8
Прибыль, руб/га	3579,3	11724,4	2564,1
Рентабельность, %	24,8	88,4	25,2
<i>Овес</i>			
Затраты средств, руб/га	14861,0	13478,1	9030,9
Себестоимость, руб/т	3513,0	3334,0	3637,4
Прибыль, руб/га	5903,2	6342,3	3266,8
Рентабельность, %	39,4	46,9	34,7

Рентабельность производства зерновых культур по вспашке и ресурсосберегающим технологиям основной обработки почвы изменялась по годам (прил. 18-20). В среднем за годы исследований при производстве зерновых культур на отвальной обработке она оценивалась на уровне 25-40 %, на минимальной – 47-88 %, на нулевой – 25-35 %. Экономически более выгодным явилось производство зерна пшеницы, ячменя и овса при обработке почвы дискатором осенью, где рентабельность составила в среднем 47-88 %.

Важно отметить, что эффективность систем обработки оценивается различными авторами неоднозначно (Власенко, Коротких, 2014; Вислобокова, Скорочкин, Воронцов, 2016; Ивченко, Михайлова, 2019; Агеев, Анисимов, Калюжина, 2021). Это определяется длительностью применения способов

обработки почвы, метеорологическими условиями, возделываемыми культурами, уровнем применения удобрений и средств защиты.

Таким образом, на агрочерноземах Красноярской лесостепи, обладающих благоприятными агрофизическими и химическими свойствами, под зерновые культуры зернопарового севооборота наиболее приемлемыми по оценке экономической эффективности являются поверхностные обработки.

ВЫВОДЫ

1. Агрочернозем криогенно-мицелярный Красноярской лесостепи характеризуется удовлетворительной влагообеспеченностью (20-36 мм) в полях зернопарового севооборота. Сохранение и накопление запасов влаги в 0-20 см слое почвы стабильно на 28-31 % определялось взаимодействием факторов «прием обработки – агроценоз». Нулевая обработка паровых полей и под посевы пшеницы и ячменя определяет накопление продуктивной влаги на 2-4 мм в среднем больше, чем отвальная и минимальная. В агроценозе овса запасы продуктивной влаги на фоне ресурсосберегающих технологий обработки почвы достигают 30-26 мм, что на 6-2 мм больше, чем на вспашке.

2. Возделывание сельскохозяйственных культур и парование поля на фоне отвальной обработки формируют рыхлое и нормальное сложение агрочернозема (0,94-0,98 г/см³). Минимальная обработка почвы под посевы зерновых культур повышает плотность сложения до 0,97-1,01 г/см³; нулевой посев – до 1,00-1,05 г/см³ с сохранением оптимальных значений. Поля севооборота по величине плотности сложения на всех фонах основной обработки располагаются в следующий возрастающий ряд: пар (0,90-0,96 г/см³) – пшеница (0,95-1,02 г/см³) – ячмень (0,97-1,00 г/см³) – овес (0,98-1,05 г/см³).

3. В структурном составе агрочернозема криогенно-мицелярного на различных блоках основной обработки полей севооборота господствуют глыбистые отдельности. На их долю в среднем за весь период наблюдений приходится 22-32 % от массы 0-20 см слоя. Среди фракций агрономически ценного размера преобладают отдельности 2-1 мм (16-24 %). Минимальная и нулевая обработки способствуют огрублению структуры 0-20 см слоя агрочернозема, но эти изменения не превышают 4 % по сравнению с отвальной вспашкой.

4. Применение вспашки и ресурсосберегающих технологий основной обработки формирует хорошее и отличное структурное состояние агрочернозема. Содержание агрономически ценных агрегатов в почве паровых полей и

агроценозов зерновых культур оценивается на уровне 68-74 %. Максимальное содержание агрономически ценных фракций в слое 0-20 см типично для парового поля и агроценоза пшеницы на вспашке и нулевом фоне (74 %). Возделывание овса по ресурсосберегающим технологиям создает хорошую оструктуренность почвы, не превышающую 68 %.

5. Наиболее благоприятные условия для нитрификации складывались в паровом поле, где содержание нитратного азота в 0-20 см слое агрочернозема на вспашке характеризовалось как очень высокое (21 мг/кг), на минимальной обработке – повышенное (15 мг/кг), на нулевой – среднее (10 мг/кг). Возделывание зерновых культур по вспашке и минимальной обработке определило обеспеченность нитратным азотом от повышенной до средней (9-16 мг/кг). Прямой посев зерновых культур формировал низкое содержание нитратного азота (1-5 мг/кг). Содержание нитратного азота в поверхностном 0-10 см слое в большей степени определялось сочетанием факторов «агроценоз – прием обработки» (49-52 %).

6. Агрочернозем криогенно-мицелярный характеризуется обеспеченностью подвижным фосфором от повышенной до очень высокой (41-59 мг/кг). Взаимодействие факторов «приём обработки» и «агроценоз» на 41-50 % определило содержание подвижных фосфатов в почве. Высокая обеспеченность подвижным фосфором (56-57 мг/кг) отмечена в слое 0-10 см в почве пара, обработанного по нулевой технологии, в посевах пшеницы по вспашке и посевах овса по минимальной обработке.

7. Среднесуглинистый гранулометрический состав агрочернозема определил среднюю и низкую обеспеченность обменным калием. Взаимодействие факторов «прием обработки» и «агроценоз» на 33-55 % повлияло на содержание доступного для растений калия в 0-20 см слое агрочернозема по годам исследований. Максимальное содержание K_2O установлено в почве паровых полей, обработанных плугом (205 мг/кг), минимальное – в посевах овса на нулевом фоне (166 мг/кг).

8. Дифференциация 0-20 см слоя агрочернозема по показателям плодородия в связи с различными приемами основной обработки, имеет неустойчивый характер и проявляется различно в полях севооборота. Применение ресурсосберегающих технологий основной обработки почвы в течение 3 лет определило локализацию подвижного фосфора и обменного калия в 0-10 см слое почвы на 5-32 мг/кг, усилило степень дифференциации 0-20 см слоя почвы по содержанию агрономически ценных фракций размером от 10 до 0,25 мм на 4-8 %.

9. Применение прямого посева существенно ухудшает фитосанитарное состояние полей пара, характеризующихся сильной степенью засорения сорняками корнеотпрысково-малолетнего типа (54 шт/м²). Высокая заселенность почвы возбудителями гельминтоспориозной корневой гнили зерновых культур *Bipolaris sorokiniana* убывает в ряду обработок отвальная > минимальная > нулевая.

10. Продуктивность зерновых культур на блоке отвальной и минимальной обработок имеет близкие величины. В среднем за годы исследований на пшенице она составила 2,6 т/га, ячмене – 2,9-4,0 т/га, овсе – 4,1-4,3 т/га. Прямой посев снижает урожайность зерновых культур на 31-51 % по сравнению с отвальной обработкой. Экономически более выгодным является производство зерна пшеницы, ячменя и овса на минимальной обработке почвы при рентабельности 47-88 %.

ПРЕДЛОЖЕНИЕ ПРОИЗВОДСТВУ

Для получения высоких урожаев зерновых культур в зернопаровом севообороте и достижения наибольшей экономической эффективности в условиях Красноярской лесостепи рекомендуется минимальная обработка агрочернозема, сохраняющая оптимальные параметры плотности сложения, формирующая хорошее и отличное структурное состояние, определяющая обеспеченность нитратным азотом от повышенной до средней, засоренность полей в слабой степени и урожайность зерновых культур, на уровне, превышающем или близком к отвальной обработке почвы.

Не рекомендуется возделывание зерновых культур в зернопаровом севообороте по нулевой обработке, определяющей низкое содержание нитратного азота, локализацию подвижного фосфора и обменного калия в 0-10 см слое агрочернозема, усиление дифференциации 0-20 см слоя по содержанию агрономически ценных фракций, существенное ухудшение фитосанитарного состояния почвы и формирование низкой урожайности в условиях Красноярской лесостепи.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Абдуллин М.М., Каипов Я.З. Улучшение водопроницаемости лесостепных и степных черноземов Южного Урала // Земледелие. – 2011. – №1. – С. 10-11.
2. Абрамов Н.В. Совершенствование основных элементов систем земледелия в лесостепи Западной Сибири: дис....д-ра. с.-х. наук. Омск, 1992. – 13 с.
3. Абрамов Н.В., Семизоров С.А. Урожайность яровой пшеницы в зависимости от основной обработки почвы и уровня минерального питания // Аграрный вестник Урала. – 2012. – №6. – С. 4–7.
4. Агеев А.А., Анисимов Ю.Б., Калюжина Е.Л. Применение минимальных технологий и прямого посева в полевых севооборотах южного Зауралья // Сельскохозяйственный журнал. – 2021. – №5. – С. 56–62.
5. Агроклиматический справочник по Красноярскому краю и Тувинской автономной области. – Л.: Гидрометеиздат, 1961. – С.35–51.
6. Агрохимические методы исследования почв / Под ред. А.В. Соколова. – М.: Наука, 1975. – 487с.
7. Александрова Л.Н., Найденова О.А. Лабораторно-практические занятия по почвоведению. – Л.: Колос, 1967. – 350 с.
8. Александрова Л.Н. Органическое вещество почвы и процессы его трансформации – Л.: Наука, 1980. – 287 с.
9. Алимкулов С.О., и др. Использование растениями фосфора почвы и удобрений // Вестник современной науки. – 2015. – №4(4). – С. 20 – 22.
10. Аникина А.П. Фосфор, калий // Агрохимические свойства почв и эффективность удобрений. – Новосибирск: Наука, 1989. – С. 46–71.
11. Аринушкина Е.В. Руководство по химическому анализу почв. – М.: Изд-во МГУ, 1970. – 487с.
12. Артохин К.С. Сорные растения: справ. и учеб.-метод. пособие. – М.: Печатный Город, 2010. – 272 с.

13. Афанасьев Р.А., Мерзлая Г.Е. Динамика подвижного фосфора в различных почвах //Плодородие. – 2012. – № 3. – С. 16–18.
14. Баздырев Г.И., Зотов Л.И., Полин В.Д. Сорные растения и меры борьбы с ними в современном земледелии. – М.: Изд-во МСХА, 2004. – 228 с.
15. Бакиров Ф.Г. Некоторые аспекты теории беспашотной обработки почвы в засушливой степи Оренбуржья //Вестник БГАУ. – 2019. – № 4. – С. 15–19.
16. Балабанов С.С. и др. Влагообеспеченность сельскохозяйственных культур зернотравяного севооборота в условиях биологизации земледелия //Вестник Курской государственной сельскохозяйственной академии. – 2013. – № 2. – С. 46–48.
17. Бараев А.И., Зайцева А.А., Хорошилов И.И. Защита почв от ветровой эрозии. – Алма-Ата: Кайнар, 1970. – 144 с.
18. Бекетов А.Д., Берзин А.М., Таскина В.М. Влияние различных культур на структурность и плотность выщелоченного чернозема //Агрофизические исследования почв Средней Сибири. – Красноярск, 1975. – С. 145–153.
19. Бенц В.А., Кашеваров Н.И. Демарчук Г.А. Полевое кормопроизводство в Сибири / РАСХН. Сиб. отд-ние, СибНИИ кормов. – Новосибирск, 2001. – С.194–211.
20. Березин П.Н., Гудима И.И. Физическая деградация почвы: параметры состояния //Почвоведение. – 1994. – № 1. – С. 67–70.
21. Берзин А.М., Таскина В.М. Влияние обработки и севооборотов на плотность и структурность почв // Агрофизическая характеристика почв степной и сухостепной зон азиатской части СССР. – М.: Колос, 1982. – С. 93–98.
22. Берзин А.М. Зеленые удобрения в Красноярском крае. – Красноярск, 2002. – 357 с.
23. Бобренко И.А., Матвейчик О.А., Шмидт А.Г. Изменение содержания подвижного калия в почвах лесостепи Западной Сибири //Вестник Омского ГАУ. – 2020. – № 3. – С. 14–19.

24. Борин А.А., Лощина А.Э. Продуктивность севооборота и плодородие почвы при различных технологиях её обработки //Плодородие. – 2015. – № 2. – С. 25–27.

25. Брицина М.П. Рельеф и почвообразующие породы центральной части Красноярского края //Природное районирование центральной части Красноярского края и некоторые вопросы пригородного хозяйства. – М.: Изд-во АН СССР, 1962. – С.27–46.

26. Брицина М.П. и др. Схема природного районирования центральной части Красноярского края //Природное районирование центральной части Красноярского края и некоторые вопросы пригородного хозяйства. – М.: Изд-во АН СССР, 1962. – С.136–146.

27. Брылев С.В. Итоги работы и перспективы развития отрасли растениеводства Красноярского края//Инновационные технологии производства продуктов растениеводства: рекомендации. – Красноярск, 2011. – С. 3–10.

28. Бугаков П.С. Химическая характеристика почв Красноярского края //Тр. КСХИ. – 1964. – Т. 18. – С. 22–26.

29. Бугаков П.С., Горбачева С.М., Чупрова В.В. Почвы Красноярского края. – Красноярск, 1981. – 127 с.

30. Бугаков П.С., Чупрова В.В. Агрономическая характеристика почв земледельческой зоны Красноярского края. – Красноярск, 1995. – 174 с.

31. Булыгин С.Ю., Комарова Т.Д. К оценке влияния механической обработки на почву //Почвоведение. –1990. – № 6. – С. 135–138.

32. Буренок В.П., Язева Л.А., Кукшенева Т.П. Плодородие и влагообеспеченность почвы при почвозащитных системах земледелия //Земледелие. – 2011. – №4. – С. 39–40.

33. Бушнев А.С. Особенности обработки почвы под подсолнечник // Земледелие. – 2009. – № 8. – С. 13–15.

34. Бушнев А.С. Изменение плотности почвы в севообороте с масличными культурами при различных системах основной обработки почвы // Масличные культуры. – 2013. – № 1. – С. 48-57.

35. Васюков П.П. Адаптивные и энерго- и почвосберегающие технологии возделывания озимой пшеницы и кукурузы в Краснодарском крае. – Краснодар, 2003. – 181 с.
36. Васюков П.П., Цыганков В.И., Кулик В.А. Система мульчирующей минимальной обработки почвы под озимую пшеницу // Земледелие, 2011. – № 4. – С. 19–20.
37. Вартапетян Б.Б. Кислород и структурно-функциональная организация растительной клетки. – М.: Наука, 1985. – 193 с.
38. Ведрова Э.Ф. Разложение органического вещества лесных подстилок // Почвоведение. – 1997. – №2. – С. 216–223.
39. Вередченко Ю.П. Агрофизическая характеристика почв центральной части Красноярского края. – М.: Изд-во АН СССР, 1961. – 175 с.
40. Вериго С.А., Разумова Л.А. Почвенная влага и ее значение в сельскохозяйственном производстве. – Л.: Гидрометеиздат, 1963. – 288 с.
41. Вислобокова Л.Н., Скорочкин Ю.П., Воронцов В.А. Эффективность технологий различной интенсификации возделывания культур на черноземе типичном // Владимирский земледелец. – 2016. – № 4. – С. 16–19.
42. Витер А.Ф. и др. Обработка почвы как фактор регулирования почвенного плодородия. – Воронеж: Истоки, 2011. – 208 с.
43. Власенко А.Н. Научные основы минимизации систем основной обработки почвы в лесостепи Западной Сибири. – Новосибирск, 1994. – 76 с.
44. Власенко А.Н. и др. Экологизация обработки почвы в Западной Сибири. РАСХН. Сиб. отд-ние СибНИИЗХим. – Новосибирск, 2003. – 268 с.
45. Власенко А.Н. и др. Перспективы минимализации основной обработки сибирских черноземов при возделывании зерновых культур // Сибирский вестник сельскохозяйственной науки. – 2010. – № 7. – С. 5–14.
46. Власенко А.Н., Коротких Н.А. Перспективы технологии No-Till в Сибири // Земледелие. – 2014. – № 1. – С. 16–19.

47. Власенко А.Н., Власенко Н.Г., Коротких Н.А. Проблемы и перспективы разработки и освоения технологии No-Till на черноземах лесостепи Западной Сибири // Достижения науки и техники АПК. – 2013. – № 9. – С. 16–19.
48. Власенко А.Н., Утенков Г.Л. Выбор, адаптация и оценка ресурсосберегающих агротехнологий возделывания зерновых культур как сложных систем // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. – 2021. – № 7. – С. 56-60.
49. Волошин Е.И. Почвенная и растительная диагностика минерального питания сельскохозяйственных культур: учеб. пособие. – Красноярск, 2014. – 110 с.
50. Воронин А.Д. Основы физики почв. – М.: Изд-во МГУ, 1986. – 244 с.
51. Воронин А.Н. Влияние различных систем земледелия на динамику содержания подвижного фосфора в черноземе типичном // Агрохимия. – 2014. – № 5. – С. 32-37.
52. Галахов Н.Н. Климат зоны травяных лесов и островов лесостепи Красноярского края // Природное районирование центральной части Красноярского края и некоторые вопросы пригородного хозяйства. – М.: Изд-во АН СССР, 1962. – С.5–26.
53. Гамзиков Г.П. Пути рационального использования плодородия почв и удобрений // Агрохимические свойства почв и эффективность удобрений. – Новосибирск: Наука, 1989. – С.220–227.
54. Гармашов В.М., Качанин А.П. Минимизация обработки почвы в Центрально-Черноземной зоне // Земледелие. – 2008. – №6. – С. 8–10.
55. Гармашов В.М. Предшественники и основная обработка почвы под кукурузу в Центрально-Черноземной зоне // Земледелие. – 2011. – №2. – С. 23–24.
56. Глазова З.И., Новиков В.М. Оценка некоторых элементов агротехники гречихи // Земледелие, 2012. – №5. – С. 17-20.
57. Глазунова Н.Н., Романенко Е.С., Шипуля А.Н., Дергунова Е.В. Способы обработки почвы и комплекс патогенных микромицетов в агроценозе озимой пшеницы // Земледелие, 2012. – №4. – С. 31-33.

58. Глухих М.А. Влага черноземов Зауралья и пути ее эффективного использования. – Челябинск, 2003. – 358 с.
59. Гниненко Н.В. Изменение структуры чернозема обыкновенного при плоскорезной обработке //Почвоведение. – 1982. – № 3. – С. 58–65.
60. Горьковенко О.А., Шаповалова О.В. Повышение супрессивности почвы в агроценозе озимой пшеницы //Производство экологически безопасной продукции растениеводства. – Пушкино, 1996. – Вып. 2. – С. 49–50.
61. Гребенников А.М. и др. Влияние применения различных способов основной обработки на запасы продуктивной влаги в агрочерноземах //Агрехимия. – 2019. – № 8. – С. 40–47.
62. Громов Л.В., Лобова И.Н. Красноярский край //Природные условия Красноярского края. – М.: Изд-во АН СССР, 1961. – С.5-23.
63. Глушко А.Я. Деградация земельного фонда Ставропольского края в условиях интенсивного земледелия //Земледелие. – 2011. – №8. – С. 5–6.
64. Данилов А.Н., Летучий А.В., Шагиев Б.З. Влияние удобрений и обработки почвы на элементы ее плодородия и урожайность яровой пшеницы на черноземах Поволжья //Нива Поволжья. – 2015. – № 3. – С. 46–53.
65. Дедов А.В., Трофимова Т.А., Болучевский Д.А. Совершенствование основной обработки почвы в ЦЧР //Земледелие. – 2013. – №6. – С. 5–7.
66. Дорожко Г.Р., Шабалдас О.Г., Зайцев В.К., Бородин Д.Ю. Прямой посев полевых культур в Ставропольском крае //Земледелие. – 2013. – № 8. – С.20–23.
67. Доспехов Б.А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований). – М.: Альянс, 2014. 315с.
68. Дмитриев Е.А. Математическая статистика в почвоведении. – М.: Изд-во МГУ, 1995. – 319 с.
69. Дояренко А.Г. Обработка почвы. – М., 1925. – 251 с.
70. Дрепа Е.Б., Голубь А.С. Физические свойства почвы при применении технологии No-Till //Вестник АПК Ставрополя. – 2014. – № 4. – С. 181–185.

71. Дубовик Д.В. и др. Влияние минимизации основной обработки почвы на плодородие чернозема типичного // *Агрехимия*. – 2021. – № 3. – С. 22–27.
72. Едидеичев Ю.Ф., Романов В.Н. Потенциал земледелия Приенисейской Сибири. – Новосибирск, 2009. – 131 с.
73. Едидеичев Ю.Ф. Адаптация систем земледелия на эколого-ландшафтнoй основе // *Инновационные технологии производства продуктов растениеводства: рекомендации*. – Красноярск, 2011. – С. 16–31.
74. Едидеичев Ю.Ф. и др. Эколого-ландшафтнoе основы формирования систем земледелия. – Красноярск, 2016. – 162 с.
75. Едидеичев Ю.Ф. Оптимизация и экологизация зональной системы обработки почвы в Красноярском крае // *Вестник КрасГАУ*. – 2017. – № 7. – С. 16–23.
76. Едидеичев Ю.Ф., Шпедт А.А. Агроэкологические проблемы земледелия и пути решения в Красноярском крае / *Научно-практические аспекты развития АПК: мат-лы нац. научной конф.* – Красноярск, 2020. – С. 81–85.
77. Енкина О.В., Коробской Н.Ф. Микробиологические аспекты сохранения плодородия черноземов Кубани. – Краснодар, 1999. – 150 с.
78. Еремин Д.И., Шахова О.А. Динамика влажности чернозема выщелоченного при различных системах обработки под яровую пшеницу в условиях Северного Зауралья // *Аграрный вестник Урала*. – 2010. – №1. – С. 38–40.
79. Еремина Д.В., Чекмарева М.Н., Фисунов Н.В. Экономическая эффективность выращивания озимой пшеницы при различных системах основной и предпосевной обработки почвы // *Сибирский вестник сельскохозяйственной науки*. – 2013. – №2. – С.5–10.
80. Ершов Ю.И. Органическое вещество биосферы и почвы. – Новосибирск: Наука, 2004. – 104 с.
81. Жук А.Ф. Почвовлагодсберегающие агроприемы, технологии и комбинированные машины: науч. изд. – М.: ФГБНУ «Росинформагротех», 2012. – 144 с.

82. Журавлев М.З. Вопросы агротехники в степных районах Западной Сибири. – Омск, 1932. – 72 с.

83. Заболотских В.В., Власенко Н.Г. Влияние обработки почвы на урожайность гороха в условиях засушливой степи Северного Казахстана //Земледелие. – 2012. – №6. – С. 31–33.

84. Защепкин Е.Е., Шутко А.П., Есаулко А.Н. Фитосанитарное состояние посевов озимой ржи при технологии прямого посева на черноземе выщелоченном //Достижения науки и техники АПК. – 2015. – № 9. – С. 25–28.

85. Зеленский Н.А., Зеленская Г.М., Авдеенко А.П. Совместные посевы озимой пшеницы с люцерной – будущее растениеводства //Фундаментальные исследования. – 2006. – №6. – С. 53–56.

86. Зенин Н.Н., Бызов И.С. Влияние способов основной обработки почвы на агрофизические свойства серой лесной почвы и урожайность ячменя, пшеницы // Освоение адаптивно-ландшафтных систем и агротехнологий на целинных землях. – Куртамыш: ГУП «Куртамышская типография», 2009. – С. 76–80.

87. Зинченко С.И. Основы обработки черноземов. – М., 2006. – 246 с.

88. Зинченко М.К. и др. Приемы основной обработки и биологическая активность серой лесной почвы //Земледелие. – 2011. – №8. – С. 25–27.

89. Ивенин В.В. и др. Влияние минимизации обработки почвы на урожайность яровых зерновых культур и зараженность их корневыми гнилями //Земледелие. – 2009. – №1. – С. 28–29.

90. Ивенин В.В., Строкин В.А., Осипов В.В. Минимизация обработки почвы и урожайность яровой пшеницы //Земледелие. – 2010. – №5. – С.13–14.

91. Ивченко В.К., Михайлова З.И. Влияние различных приёмов обработок почвы и средств интенсификации на продуктивность зерновых культур //Вестник КрасГАУ. –2017. – № 4. – С. 3–10.

92. Ивченко В.К., Михайлова З.И. Некоторые пути снижения затрат ископаемой энергии на черноземах выщелоченных Красноярской лесостепи //Вестник КрасГАУ. – 2019. – № 4. – С. 3–9.

93. Ивченко В.К., Полосина В.А, Штеле А.А. Влияние приёмов основной обработки почвы на агрофизические показатели чернозема выщелоченного Красноярской лесостепи //Вестник КрасГАУ. – 2019. – № 7. – С. 50–58.

94. Ивченко В.К. и др. Влияние ресурсосберегающих технологий основной обработки почвы на засоренность посевов яровой пшеницы //Вестник КрасГАУ. – 2020. – № 3. – С. 35–43.

95. Ильин А.Н. и др. Влияние ресурсосберегающей технологии на плодородие серой лесной почвы //Аграрный научный журнал. – 2015. – № 7. – С. 18–22.

96. Казаков Г.И., Кабанова Н.И. Влияние основной обработки на физические свойства и влажность почвы в лесостепи Заволжья //Интенсивные технологии возделывания зерновых и кормовых культур. – Самара, 1990. – С. 38–43.

97. Казаков Г.И. Обработка почвы в Среднем Поволжье. – Самара: СамВен, 1997. – 196 с.

98. Казаков Г.И., Марковский А.А. Обработка почвы в лесостепи Заволжья //Земледелие. – 2011. – №8. С. 28–29.

99. Каличкин В.К. Минимальная обработка почвы в Сибири: проблемы и перспективы //Земледелие. – 2008. – №5. – С. 24–26.

100. Карпачевский Л.О. Лес и лесные почвы. – М.: Лесная промышленность, 1981. – 264 с.

101. Карпович К.И., Немцев С.Н. Ресурсосберегающие технологии возделывания сельскохозяйственных культур в черноземной лесостепи Ульяновской области //Доклады Российской академии сельскохозяйственных наук. – 2004. – № 6. – С. 30–33.

102. Картавых А.А. Динамика водно-физических свойств черноземов Красноярской лесостепи в условиях ресурсосберегающих технологий основной обработки: автореф. дис. ... канд. биол. наук. – Новосибирск, 2014. – 17 с.

103. Картавых А.А. Динамика водно-физических свойств черноземов Красноярской лесостепи в условиях ресурсосберегающих технологий основной обработки: дис. ... канд. биол. наук. – Новосибирск, 2014. – 150 с.

104. Каскарбаев Ж.А. Минимальная и нулевая технология как одно из главных направлений ресурсосбережения в земледелии // Ноу-тилл и плодосмен – основа аграрной политики поддержки ресурсосберегающего земледелия для интенсификации устойчивого производства. – Астана-Шортанды, 2009. – С. 98-115.

105. Качинский Н.А. Физика почвы. – М.: Высшая школа, 1965. – 322 с.

106. Кашеваров Н.И. и др. Кукуруза в Сибири. – Новосибирск, 2004. – С. 103–106.

107. Каштанов А.Н., Сильченко М.И., Столяров В.И. Некоторые результаты исследований по борьбе с водной эрозией почв // Наука – земледелию. – Барнаул, 1977. – С. 3–12.

108. Каштанов А.Н. Земледельческая философия Терентия Семеновича Мальцева //Земледелие. – 2011. – №1. – С. 12–13.

109. Кирюшин В.И. Экологизация земледелия и технологическая политика. – М.: Изд-во МСХА, 2000. – 473 с.

110. Кирюшин В.И. Теория адаптивно-ландшафтного земледелия и проектирование агроландшафтов. – М.: КолосС, 2011. – С. 37–49.

111. Козыченко Ю.А. Энергосберегающие системы основной обработки почвы для различных зон Ставропольского края //Земледелие. – 2012. – №3. – С. 23–24.

112. Колесников А.С. Динамика плотности сложения черноземов Красноярской лесостепи при минимизации основной обработки //Модернизация аграрного образования: технологический аспект: материалы международной научно-практической конференции. - Томск: РГ «Графика», 2013. – С. 106-109.

113. Колесников А.С. Влияние основной обработки на содержание нитратного азота в черноземе обыкновенном Красноярской лесостепи //Почвенно-экологические процессы в естественных и антропогенно-преобразованных

ландшафтах Сибири и Дальнего Востока: материалы Всероссийской научно-практической конференции молодых ученых. – Красноярск, 2014. – С. 30-33.

114. Колесников А.С. Запасы влаги в черноземах Красноярской лесостепи при минимизации основной обработки //Развитие научной, творческой и инновационной деятельности молодежи: материалы Всероссийской научно-практической конференции молодых ученых. – Курган, 2014. – С. 18-20.

115. Колесников А.С. Сорный компонент агрофитоценозов в условиях ресурсосберегающих технологий основной обработки //Инновационные тенденции развития Российской науки: материалы международной научно-практической конференции молодых ученых. – Красноярск, 2015. – С.33-35.

116. Колесников А.С., Колесник А.А., Кураченко Н.Л. Агрофизическое состояние паровых полей в условиях ресурсосберегающих технологий основной обработки черноземов // Инновационные идеи молодых исследователей для агропромышленного комплекса России: сборник материалов Международной научно-практической конференции молодых ученых. – Пенза, 2016. - С. 11-14.

117. Колесников А.С., Кураченко Н.Л., Романов В.Н., Шарапатова А.В. Влияние приёма основной обработки на пищевой режим агрочернозема Красноярской лесостепи и урожайность ячменя //Вестник КрасГАУ, 2022. – № 4. – С. 82-88.

118. Колесников А.С., Кураченко Н.Л. Влияние приемов основной обработки на запасы продуктивной в агрочерноземе Красноярской лесостепи //Почвенные ресурсы и их рациональное использование: материалы научно-производственной конференции. – Красноярск, 2022. – С.134-138.

119. Коляго С.А. К вопросу о происхождении коричнево-бурых глин и других покровных пород Красноярской лесостепи //Вопросы географии Сибири. – Томск, 1953. – Вып. 3. – С. 97–113.

120. Копосов Г.Ф., Печенкина Н.В., Мифтахов Р.В. Уплотнение почвы и проблемы интенсификации земледелия //Земледелие. – 2007. – №5. – С. 16–18.

121. Коротких Н.А., Власенко Н.Г., Кастючик С.П. Структурно-агрегатный состав чернозема выщелоченного при переходе к технологии NO-TILL //Сибирский вестник сельскохозяйственной науки, 2012. – №6. – С. 5–11.
122. Костычев П.А. Учение о механической обработке почвы. – СПб., 1885. – 57 с.
123. Котоврасов И.П., Павловский В.Б., Ващук В.Ф. Эффективность энергосберегающих приемов обработки почвы в зерносвекловичном севообороте //Ресурсосберегающие системы обработки почвы. – М.: Агропромиздат, 1990. – С. 51–59.
124. Котлярова О.Г., Котлярова Е.Г., Лубенцов С.М. Влияние основной обработки на агрофизические свойства чернозема типичного в посевах гороха //Земледелие. – 2012. – №4. – С.27–28.
125. Кравченко Р.В., Тронева О.В. Влияние способов основной обработки почвы на продуктивность гибридов кукурузы //Земледелие. – 2011. – № 7. – С. 27–28.
126. Краснощеков Н.И. Через 10 лет российский АПК можно будет не узнать //Аграрное обозрение. – 2010. – №1. – С. 15–21.
127. Крупкин П.И. Черноземы Красноярского края. – Красноярск, 2002. – 331с.
128. Кузина Е.В. Экономическая эффективность способов и сроков обработки почвы при возделывании зерновых культур //Пермский аграрный журнал. – 2016. – № 2. – С. 49–54.
129. Кулинцев В.В. Основные направления развития земледелия в Северо-Кавказском федеральном округе //Земледелие. – 2011. – №1. – С. 3–6.
130. Кураченко Н.Л. Оценка и динамика агрофизического состояния черноземов и серых лесных почв Красноярской лесостепи: дис. ... докт. биол. наук. – Томск, 2010. -355с.
131. Кураченко Н.Л., Картавых А.А., Ржевская Н.И. Запасы продуктивной влаги в агроценозах пшеницы, возделываемых по ресурсосберегающим технологиям //Вестник КрасГАУ. – 2014. – № 5. – С. 58–64.

132. Кураченко Н.Л. и др. Агрофизическое состояние и продуктивность рапса, возделываемого по ресурсосберегающим технологиям в Красноярской лесостепи //Плодородие. – 2015. – № 3. – С. 19–21.
133. Кураченко Н.Л., Колесник А.А. Структура и запасы гумусовых веществ агрочернозема в условиях основной обработки почвы //Вестник КрасГАУ, 2017. – № 9. – С. 149-157.
134. Кураченко Н.Л., Колесников А.С., Романов В.Н. Влияние обработки почвы на агрофизическое состояние чернозема и продуктивность яровой пшеницы //Сибирский вестник сельскохозяйственной науки, 2018. – Т. 48. – № 1. – С. 44-50.
135. Кураченко Н.Л., Колесник А.А., Парченко Е.С. Микроагратный состав агрочерноземов Красноярской лесостепи в условиях различной основной обработки //Агрофизика. – 2020. – № 2. – С. 14–20.
136. Кураченко Н.Л., Колесник А.А. Содержание и пространственное распределение подвижных элементов питания агрочерноземов в зависимости от способов основной обработки почвы //Агрохимия. – 2020. – № 7. – С. 11–16.
137. Лапина В.В., Смолин Н.В., Васильева А.В. Влияние способов обработки почвы на развитие корневых гнилей в посевах яровой пшеницы // Аграрный научный журнал. – 2012. – № 6. – С. 32–35.
138. Лебедева И.И., Семина Е.В. Почвы центрально-европейской и средне-сибирской лесостепи. – М.: Колос, 1974. – 229 с.
139. Лебединцев А.Н. Избранные труды. – М.: Сельхозгиз, 1960. – 568 с.
140. Лисунов В.В., Тимин А.А. Азбука земледелия. – Красноярск, 1970. – С. 85–86.
141. Лисунов В.В. Пути совершенствования зональных систем обработки почвы в агроландшафтах Приенисейской Сибири: автореф. дис. ... д-ра с.-х. наук. – Красноярск, 1997. – 34 с.
142. Лиханов Б.Н., Хаустова М.Н. Физико-географические различия Красноярского края //Природные условия Красноярского края. – М.: Изд-во АН СССР, 1961. – С.25–51.

143. Любимова Е.Л. Растительность лесостепи и зоны травяных лесов Красноярского края //Природное районирование центральной части Красноярского края и некоторые вопросы пригородного хозяйства. – М.: Изд-во АН СССР, 1962. – С.46–53.

144. Максютлов Н.А., Кремер Г.А., Жданов В.М. Зональные особенности основной обработки почвы в Оренбургской области // Земледелие. – 2001. – №1. – С. 17–18.

145. Максютлов Н.А., Жданов В.М. Плодородие почв и основные приемы его сохранения и повышения //Земледелие. – 2011. – №8. – С. 22–23.

146. Малахова З.В. Фитосанитарная обстановка в Красноярском крае в 2010 году и прогноз развития и распространения вредителей, болезней и сорняков в 2011 году //Инновационные технологии производства продуктов растениеводства: рекомендации. – Красноярск, 2011. – С. 59–64.

147. Мальцев Т.С. Безотвальная обработка – лучший способ защиты почв от эрозии //Защита почв от эрозии. – М.: Колос, 1964. – С. 51–67.

148. Мальцев Т.С. Система безотвального земледелия. – М.: Агропромиздат, 1988. – 128 с.

149. Мальцев Т.С. Предположения относительно возможности ускорения и упрочения восстановления структуры почвы и ее плодородия. Красный Курган, 09.03.1949 //Собр. соч.: в 2 т. – Новосибирск, 1999. – Т. 1. – С. 132–135.

150. Мальцев Т.С. Пути борьбы за непрерывное повышение плодородия почвы // Агробиология, 1951. – №1. – С. 192–197.

151. Мальцев Т.С. Агротехнические приемы получения высоких и устойчивых урожаев в Зауралье //Сельское хозяйство. –1953. – №6. – С. 222-231.

152. Менделеев Д.И. Работы по сельскому хозяйству и лесоводству. – М.: Изд-во АН СССР, 1954. – 620 с.

153. Методическое руководство по изучению почвенной структуры. – Л.: Колос, 1969. – 430с.

154. Митрофанов Ю.И. Ресурсосберегающая обработка почвы под озимую рожь на осушаемых землях //Земледелие. – 2010. – № 5. – С. 15–16.

155. Нарушев В.Б., Одинокоев Е.В., Косолапов Д.С. Влияние прямого посева на плодородие почвы и продуктивность полевых культур в степном Поволжье //Плодородие. – 2013. – №5. – С. 6–8.

156. Научные основы технологий сберегающего земледелия: рекомендации по применению технологии сберегающего земледелия. – Красноярск, 2004. – 48 с.

157. Немченко В.В. и др. Система защиты растений в ресурсосберегающих технологиях. – Куртамыш, ГУП «Куртамышская типография», 2011. – 525 с.

158. Никитин В.В., Попов С.И. Флуктуация элементов питания удобрений при разных способах основной обработки почвы //Белгородский агромир. – 2011. – № 1 (61). – С. 26–29.

159. Новиков В.М., Нечаев Л.А., Коротеев В.И. Эффективность систем основной обработки почвы при возделывании гречихи //Земледелие. – 2006. – № 2. – С. 19–20.

160. Ознобихина Л.А., Шахова О.А. Видовой состав семян сорных растений по ресурсосберегающим технологиям основной обработки в Тюменской области //АПК: регионы России. – 2012. – № 4. – С. 41–43.

161. Перфильев Н.В. Оценка эффективности систем основной обработки почвы в Северном Зауралье //Земледелие. – 2014. – № 5. – С. 17–19.

162. Перфильев Н.В., Вьюшина О.А., Скипин Л.Н. Влияние минимизации обработки на плодородие тёмно-серой лесной почвы в Северном Зауралье //Известия Оренбургского государственного аграрного университета. – 2015. – № 6. – С. 43–47.

163. Петрова Л.Н. Ресурсосбережение в земледелии //Земледелие. – 2008. – №4. – С. 7–9.

164. Пилипенко Н.Г., Днепровская В.Н. Эффективность ресурсосберегающих технологий предпосевной обработки почвы в полевом севообороте //Земледелие. – 2012. – №4. – С. 29–30.

165. Погуленко А.А. Водопроницаемость черноземных почв при разных системах их основной обработки //Сибирский вестник сельскохозяйственной науки. – 2012. – №4. – С. 29–34.
166. Практикум по почвоведению /Под ред. И.С. Кауричева. – М.: Агропромиздат, 1986. – 336 с.
167. Придворев Н.И., Родионов Е.А. Зависимость запаса влаги в почве от способа основной обработки под подсолнечник //Земледелие. – 2009. – №8. – С.16–17.
168. Придворев Н.И. и др. Эффективность разных способов основной обработки почвы под сахарную свеклу // Земледелие. – 2011. – №1. – С. 21–23.
169. Пути воспроизводства плодородия черноземов Красноярского края: рекомендации. – Красноярск: Изд-во Гротеск, 2002. – 127 с.
170. Рамазанов Р.Я., Хазиев Ф.Х. Влияние систем обработки и удобрений на агрофизические свойства типичного чернозема Предуралья //Почвоведение. – 1994. – № 6. – С. 77–84.
171. Растениеводство/П.П. Вавилов, В.В. Гриценко, С. Кузнецов и д.; Под ред. П.П. Вавилова. – 5 изд., перераб. и доп. – М.: Агропромиздат, 1986. – С. 178–183.
172. Ревут И.Б. Физика в земледелии. – М.; Л. Изд-во физ.-мат. лит., 1960. – С. 25–36.
173. Ревут И.Б. Физика почвы. – Л.: Колос, 1972. – 368 с.
174. Розанов Б.Г. Морфология почв. – М.: Изд-во МГУ, 1983. – 320 с.
175. Романенко А.А., Мазитов Н.К. Противозасушливая энергосберегающая система обработки почвы //Земледелие. – 2011. – №3. – С.30–31.
176. Романов В.Н., Колесников А.С., Заушинцена А.В., Кожевников Н.В. Энергетическая оценка ресурсосберегающих технологий возделывания зерновых культур в условиях лесостепи Красноярского края //Вестник КрасГАУ, 2018. – № 2. – С. 9-16.

177. Румянцев А.В., Орлова Л.В. Влияние ресурсосберегающих технологий на плодородие почвы // Земледелие. – 2005. – № 2. – С. 22–23.
178. Рябов Е.И., Бурыкин С.И., Белозеров А.М. Экологизация систем обработки почв // Вопросы экологии в системе земледелия: сб. науч. тр. – Ставрополь, 1993. – С. 68–79.
179. Савоськина О.А., Чебаненко С.И., Манишкин С.Г. Влияние систем обработки почвы на структуру почвенного покрова и агрофитоценоз ячменя // Земледелие. – 2011. – №8. – С. 32–33.
180. Свисюк И.В. Возделывание зерновых культур в условиях потепления климата. – Ростов-на-Дону, 2004. – С. 12–15.
181. Сдобников С.С. Пахать или не пахать? – М., 1994. – 288 с.
182. Семина Е.В. Почвенный покров Красноярской лесостепи // Природное районирование центральной части Красноярского края и некоторые вопросы пригородного хозяйства. – М.: Изд-во АН СССР, 1962. – С. 72–89.
183. Семынина Т.В. Влияние агротехнических приемов на численность конидий *Bipolaris sorokiniana* в почве // Защита и карантин растений. – 2008. – № 11. – С. 24–25.
184. Середина В.П. Геохимические особенности поведения калия в почвах // Вестник Томского государственного университета. – 2007. – № 1. – С. 106–118.
185. Синещеков В.Е., Красноперов А.Г., Красноперова Е.М. Сорные растения зерновых агрофитоценозов в почвозащитном земледелии. – Новосибирск, 2005. – 120 с.
186. Синещеков В.Е., Ткаченко Г.И., Дудкина Е.А. Особенности мобилизации подвижного фосфора в черноземах выщелоченных при минимизации основной обработки // Сибирский вестник сельскохозяйственной науки. – 2012. – №5. – С. 5–11.
187. Система защиты растений в ресурсосберегающих технологиях / Под ред. В.В. Немченко. – Куртамыш, 2011. – 525 с.
188. Скипин Л.Н. и др. Состояние почвы и урожайность культур при разных системах основной обработки // Плодородие. – 2014. – №4. – С. 24–26.

189. Слесарев В.Н. Почвенные деформации пахотного слоя сибирских черноземов //Земледелие. – 2008. – № 2. - С.22–24.

190. Слесарев В.Н., Синещиков В.Е., Смеловский В.В. Эффективность полосной минимизации зяблевой обработки черноземов лесостепи Западной Сибири //Земледелие. – 2012. – №2. – С. 22–24.

191. Смирнов А.А., Кирасиров З.А., Курятникова Н.А. Эффективные способы обработки почвы при возделывании голозерного овса //Земледелие. – 2008. – №2. – С. 26–27.

192. Смуров С.И., Дубенцев Е.В., Агафонов Г.С. Эффективность элементов технологии возделывания сои в Белгородской области //Земледелие. – 2011. – № 7. – С. 36–38.

193. Смуров С.И., Шелухина Н.В. Влияние способов основной обработки почвы на некоторые агрохимические показатели чернозема типичного //Достижения науки и техники АПК. – 2013. – № 11. – С. 24–24.

194. Солодченко С.Н. Пространственно-временная изменчивость агрофизических свойств черноземов Красноярской лесостепи: дис. ... канд. биол. наук. – Красноярск, 2008. – 212 с.

195. Справочник агронома Сибири //Под ред. И.И. Синягина, А.И. Тютюнникова. – М.: Колос, 1975. – С. 59–61.

196. Танасиенко А.А. Специфика эрозии почв в Сибири. – Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2003. – 176 с.

197. Танделов Ю.П. и др. Состояние плодородия пахотных почв Приенисейской Сибири и эффективность удобрений. – Красноярск, 1997. – 70 с.

198. Телегин В.А., Гилев С.Д., Цымбаленко И.Н., Бастрычкина О.С. Влияние способов обработки почвы на засоренность культур в зернопаровом севообороте // Земледелие, 2011. – №3. – С. 27-29.

199. Телегин В.А. и др. Роль паров и систем обработки почвы в стабилизации производства зерна яровой пшеницы в засушливых условиях Зауралья //Аграрный вестник Урала. –2013. – №7. – С.12–14.

200. Тимофеев В.Н., Перфильев Н.В. Корневые гнили яровой пшеницы в зависимости от систем основной обработки почвы в условиях Северного Зауралья // Агропродовольственная политика России. – 2014. – №3 (15). – С. 33 – 35.
201. Толорая Т.Р. и др. Влияние основной обработки почвы и гербицидов на продуктивность кукурузы // Земледелие. – 2012. – №4. – С. 36–37.
202. Топтыгин В.В., Крупкин П.И., Пахтаев Г.П. Природные условия и природное районирование земледельческой части Красноярского края. – Красноярск. Изд-во КрасГАУ, 2002. – С.86–94.
203. Торопова Е.Ю., Стецов Г.Я., Чулкина В.А. Эпифитотиологические основы систем защиты растений. – Новосибирск, 2002. – С. 578.
204. Торопова Е.Ю., Иванова М.П. Влияние основной обработки почвы и предшественников на развитие корневых гнилей яровой пшеницы в лесостепи Новосибирской области // Вестник Новосибирского государственного аграрного университета. – 2010. – № 13. – С. 12–15.
205. Трофимова Т.А., Маслов В.А., Коржов С.И. Основная обработка почвы и засоренность посевов // Земледелие. – 2011. – №8. – С. 29–31.
206. Трофимова Т.А., Коржов С.И. Ресурсосберегающие технологии обработки почвы // Лесотехнический журнал. – 2014. – № 1. – С. 200–208.
207. Тулайков Н.М. К вопросу об основной вспашке почвы // Газета «Социалистическое земледелие. – 1932. – 4 мая.
208. Тулайков Н.М. Критика травопольной системы земледелия. – М.: Изд-во с.-х.лит., 1963. – 311 с.
209. Туманян А.Ф., Тютюма Н.В. Способ обработки почвы и продуктивность зерновых культур в аридной зоне // Земледелие. – 2012. – №4. – С. 25–26.
210. Турусов В.И., Новичихин А.М. Обработка черноземов: опыт и тенденции развития // Земледелие. – 2012. – №4. – С. 7–9.
211. Ульянова О.А., Бабиченко Ю.В. Агрохимия: лабораторный практикум. – Красноярск, 2014. – 138 с.

212. Уткаева В.Ф. Устойчивость структурного состояния почв к антропогенным воздействиям //Устойчивость почв к естественным и антропогенным воздействиям. – М.: Почвенный институт им. В.В. Докучаева РАСХН, 2002. – С. 15.

213. Федоренко В.Ф. Ресурсосбережение в АПК: науч. изд. – М.: ФГБНУ «Росинформагротех», 2012. – С. 8–121.

214. Халиуллин К.З., Давлятшин М.М., Хаматшин Т.И. Минимизация обработки почвы в республике Башкортостан //Земледелие. – 2007. – № 3. – С. 18–19.

215. Химическая защита зерновых культур в Красноярском крае: рекомендации. – Красноярск, 2009. – С.17–25.

216. Холмов В.Г., Юшкевич Л.В. Особенности обработки почвы под яровую пшеницу на черноземах лесостепи Западной Сибири //Земледелие. – 2010. – №2. – С. 26–28.

217. Холмов В.Г. Роль паров, систем обработки почвы и химизации в стабилизации производства зерна в Западной Сибири //Повышение эффективности почвозащитных ресурсосберегающих систем земледелия. – Омск, 2012. – С. 10–15.

218. Хоробрых В.А. На борьбу с недооценкой зяби //Социалистическое земледелие. – 1932. – №7. – С. 24–29.

219. Храмцов И.Ф. Система применения удобрений и воспроизводство плодородия почв в полевых севооборотах лесостепи Западной Сибири: автореф. дис. ... д-ра с.-х. – наук. – Омск, 1997. – 32 с.

220. Храмцов И.Ф. Совершенствование ресурсосберегающих технологий в земледелии Сибири //Ресурсосбережение и диверсификация как новый этап развития идей А.И. Бараева о почвозащитном земледелии. – Астана-Шортанды, 2008. – С 21– 26.

221. Храмцов И.Ф. Ресурсосберегающие технологии производства зерна в Западной Сибири // Земледелие. – 2009. – №4. С. 5– 7.

222. Черепнин Л.М. Растительность Красноярского края //Природные условия Красноярского края. – М.: Изд-во АН СССР, 1961. – С.160 – 187.

223. Черкасов Г.Н. и др. Плодородие чернозема типичного при минимизации основной обработки //Земледелие. – 2012. – №4. – С. 23– 25.

224. Чуданов И.А., Лигастаева Л.Ф. Оптимизация режима влажности черноземных почв при ресурсосберегающих технологиях //Достижения науки и техники АПК. – 2007. – № 8. – С. 21– 23.

225. Чулкина В.А., Крицкая В.И., Холмов В.Г. Развитие обыкновенной корневой гнили яровой пшеницы при минимальной обработке почвы в системе почвозащитного земледелия южной лесостепи Западной Сибири // Борьба с болезнями сельскохозяйственных культур в Сибири и на Дальнем Востоке: сб. науч. тр. – Новосибирск, 1982. – С. 3– 25.

226. Чулкина В.А., Торопова Е.Ю., Стецов Г.Я. Интегрированная защита растений: фитосанитарные системы и технологии. – М.: Колос, 2009. – 670 с.

227. Чуманова Н.Н., Гребенникова В.В. Влияние минимальной системы обработки на агрофизические и гидрологические свойства чернозема выщелоченного в условиях Кемеровской области //Аграрная наука – сельскому хозяйству. – Барнаул, 2011. – С. 493– 495.

228. Чуманова Н.Н., Гребенникова В.В. Влияние минимально-нулевых систем обработки почвы на засоренность зерновых агрофитоценозов //Вестник Алтайского государственного аграрного университета. – 2013. – № 9. – С.14– 17.

229. Чупрова В.В., Ерохина Н.Л. База данных плотности сложения почв земледельческой территории Красноярского края //Вестник КрасГАУ. – 1999. – № 5. – С. 82– 94.

230. Чураков А.А., Валиулина Л.И. Технология возделывания гороха в Красноярском крае. – Красноярск, 2013. – 40 с.

231. Чевердин Ю.И., Титова Т.В. Региональные особенности агрофизических свойств черноземных почв //Закономерности изменения почв при антропогенных воздействиях и регулирование состояния и функционирования

почвенного покрова. – М.: Почв. ин-т им. Докучаева Россельхозакадемии, 2011. – С. 203 – 205.

232. Шабаев А.И. и др. Ресурсосберегающая почвозащитная обработка почвы в агроландшафтах Поволжья //Земледелие. – 2007. – №1. – С.20 – 22.

233. Шарков И.Н. и др. Особенности минерализации почвенного азота при минимизации зяблевой обработки выщелоченного чернозема в Западной Сибири //Агрохимия. – 2007. – №6. – С.14– 21.

234. Шевченко С.Н., Корчагин В.А. Ресурсосберегающая технология обработки почвы на черноземах Среднего Поволжья //Земледелие. – 2008. – № 3. – С. 26 – 27.

235. Шептухов В.Н. и др. Влияние обработки на структуру чернозема выщелоченного //Почвоведение. – 1987. – №5. – С. 53–60.

236. Шептухов В.Н., Коновалов С.Н., Нестерова А.В. Изменение структуры дерново-подзолистых суглинистых почв при минимизации обработки //Почвоведение. – 1993. – №5. – С. 64– 74.

237. Шугалей Л.С. Влияние сезонной мерзлоты на почвообразование в лесостепной зоне //Почвы зоны КАТЕКа. – Красноярск, 1981. – С.65 – 73.

238. Шурупов В.Г., Полоус В.С. Влияние способов основной обработки почвы и других факторов на засоренность в звене севооборота //Земледелие. – 2011. – №1. – С. 28– 30.

239. Юскин А.А., Макаров В.И., Венчиков А.И. Влияние систем обработки почвы и севооборотов на фракционный состав гумуса //Земледелие. – 2009. – №1. – С. 20–21.

240. Юшкевич Л.В. Длительное применение соломы и эффективность приемов обработки почвы в засушливом земледелии Западной Сибири //Повышение эффективности почвозащитных ресурсосберегающих систем земледелия. – Омск, 2012. – С. 40 – 50.

241. Якименко В.Н. Баланс калия, урожайность культуры и калийное состояние почвы в д-лительном полевом опыте лесостепи Западной Сибири //Агрохимия. – 2019. – № 10. – С. 16 – 24.

242. Яковлев В.Х. Изучение плоскорезных обработок в сравнении с отвальными в лесостепной зоне: рекомендации по завершённым исследованиям КНИИСХ. – Красноярск, 1975. – С.15.

243. Agenbag G.A., Maree P.C.J. The effect of tillage on soil carbon, nitrogen and soil strength of simulated surface crusts in two cropping systems for wheat (*Triticum aestivum*) // *Soil and Tillage Res.* – 1989. – Vol. 14 (1). – P. 53– 65.

244. Akhtyrtsev B.P., Lepilin I.A. Water-physical properties of intensively used typical chernozems of the Russian Plain // *Eurasian Soil Science.* – 2001. – Vol. 34. – P. 394– 403.

245. Alonso A., Froidevaux M., Iavaux M., Laloy E., Mattern S., Roisin C., Vanclooster M., Biielders C. A hybrid method for characterizing tillage-induced soil physical quality at the profile scale with fine spatial details // *Soil & Tillage Research.* 2022. – Vol. 216. – P. 105– 109.

246. Blaise D., Ravindran C.D. Influence of tillage and residue management on growth and yield of cotton grown on a vertisol over 5 years in a semi-arid region of India // *Soil and Tillage Research.* – 2003. – Vol. 70. – P. 163– 173.

247. Boguzas V., Kairyte A., Jodaugiene D. Weed and weed seed-bank response to tillage systems, straw and catch crops in continuous barley // *Journal of Plant Diseases and Protection.* 2006. – Vol. 20. – P. 297– 304.

248. Brzozowski G. WplywpestycydowImieszaninpestycydowo – nawozowychnawozowychnawartoscodzywczaziarnapszenicyozimej // *Posterboil. U technologiczny w produkcji roslonej.* – Warszawa, 1997. – S. 255– 260.

249. Choudhary V.K., Meena R.S. Assessment of diverse tillage system with mulching for water-cum-energy efficiency and soil carbon stabilization in maize (*Zea mays* L.)-rapeseed (*Brassica campestris* L.) system // *Soil and Tillage Research.* – 2022. – Vol. 219. – P. 238-251.

250. Chilcutt C.F., Matocha J.E. Effects of crop rotation, tillage, and fertilizer applications on sorghum head insects // *Journal of Economic Entomology.* – 2007. – Vol. 100. – P. 88–94.

251. Casas G.L., Ciaccia C., Iovino V., Ferlito F., Torrisi B., Lodolini E.M., Giuffrida A., Catania R., Nicolosi E., Bella S. Effects of Different Inter-Row Soil Management and Intra-Row Living Mulch on Spontaneous Flora, Beneficial Insects, and Growth of Young Olive Trees in Southern Italy // *Plants*. – 2022. – Vol. 4. – P. 545.
252. Elking D. et al. Living mulsh for no-till corn and soy beans. – *J. soil and water conserv*, 1983. – V. 38. - №5. – p. 431–433.
253. Gusta L.V., O' Connor B.I., Laford G.P., Austenson H.M. The effect of fungicides and plant growth regulators applied as a seed treatment on the freezing tolerance of winter wheat // *Canadian Journal of Plant Science*, 1994. – V. 74.1. – P. 63–69.
254. Kurstjens D. Precise tillage systems for enhanced non-chemical weed management // *Soil and Tillage Research*. – 2007. – Vol. 2. – P. 293–305.
255. Lamb J.A., Peterson G.A., Fenster C.R. Fallow nitrate accumulation in a wheat-fallow rotation as affected by tillage system // *Soil Sci. Soc. America J.* — 1985. – Vol. 49 (6). – P. 1441–1446.
256. Ledingham R.J., Chinn S.H.F. A flotation method for obtaining spores of *Helminthosporium sativum* from soil. *Canad. J. Bot.*, 1955, 33(4): 298–303.
257. Lizowicz Tranciszek. The occurrence of cereal crop diseases depending on the system of farming // *I. Plant Prot. Res.*, 1999. – V. 39. – №2. – P. 116-131.
258. MacLaren C., Labuschagne J., Swanepoel P. A. Tillage practices affect weeds differently in monoculture vs. crop rotation // *Soil and Tillage Research*. – 2021. – Vol. 205. – P. 75–82.
259. Malhi S.S., Legere A., Vanasse A., Parent G. Effects of long-term tillage, terminating no-till and cropping system on organic C and N, and available nutrients in a Gleysolic soil in Quebec, Canada // *J. Agriculture Sci.* – 2018. – Vol. 156. – P. 472–480.
260. Mnatsakanyan A.A., Chubarleeva G.V., Bykov O.B., Volkova A.S. Biometric indicators of corn and basic tillage systems // *International Scientific and Practical Conference on Development of the Agro-Industrial Complex in the Context of Robotization and Digitalization of Production in Russia and Abroad*. – 2022. – Vol. 118. – P. 305–309.

261. On-farm research in Western Siberia: Potential of adapted management practices for sustainable intensification of crop production systems / Insa Kühling, Dieter Trautz // *Geophysical Research Abstracts* Vol. 17, EGU2015-5949, 2015 (<http://meetingorganizer.copernicus.org/EGU2015/EGU2015-5949.pdf>).

262. Qin R.J., Noulas C., Herrera J.M. Morphology and distribution of wheat and maize roots as affected by tillage systems and soil physical parameters in temperate climates: an overview // *Archives of Agronomy and Soil Science*. – 2018. – Vol. 64. – P. 747–762.

263. Sandal S.K., Acharya C.L. Effect of conservation tillage on moisture conservation, soil-physical conditions, seedling emergence and grain yield of rainfed maize (*Zea mays*) and wheat (*Triticum aestivum*) // *Indian Journal of Agricultural Sciences*. 1997. – Vol. 67. – P. 227–231.

264. Spilde L.A., Deibert E.J. Crop yield, water use and soil property changes with conventional, minimum and no-till systems in the Red River Valley // *ND Farm Res.* – 1986. – Vol. 43 (4). – P. 22–25.

265. Tebrugge F. Interactions of conservation tillage and no-till on soil properties: Environmental and economic benefits / *Conservation Tillage: A Visible Option for Sustainable Agriculture in Eurasia*. – 2000. – P. 101–115.

266. Walsh M.J., Squires C.C., Coleman G.R., Widderick M.J., McKiernan A.B., Chauhan B.s., Peressini C., Guzzomi A.L. Tillage based, site-specific weed control for conservation cropping systems // *Weed Technology*. – 2020. – Vol. 34. – P. 704–710.

ПРИЛОЖЕНИЯ

Приложение 1

Таблица П.1 - Результаты дисперсионного анализа запасов продуктивной влаги в агрочерноземе в 2013 г. (0-20 см), мм

Прием обработки	Пар	Пшеница	Ячмень	Овес
<i>Июнь</i>				
Отвальная	25,2	24,3	29,7	26,6
Минимальная	27,1	20,6	29,9	32,4
Нулевая	23,4	19,3	29,9	23,8
НСР ₀₅	2,8	Fф<Fт	Fф<Fт	Fф<Fт
<i>Июль</i>				
Отвальная	31,3	20,8	22,9	24,1
Минимальная	34,2	26,8	27,3	26,4
Нулевая	23,3	26,3	32,8	27,9
НСР ₀₅	2,3	4,0	3,4	Fф<Fт
<i>Август</i>				
Отвальная	33,8	25,5	28,9	33,3
Минимальная	37,7	30,7	29,5	34,2
Нулевая	33,0	29,9	35,0	30,1
НСР ₀₅	2,7	4,7	4,1	Fф<Fт

Таблица П.2 - Результаты дисперсионного анализа запасов продуктивной влаги в агрочерноземе в 2014 г. (0-20 см), мм

Прием обработки	Пар	Пшеница	Ячмень	Овес
<i>Июнь</i>				
Отвальная	21,5	27,9	26,2	25,4
Минимальная	31,0	27,6	27,0	35,6
Нулевая	31,1	24,4	17,3	19,6
НСР ₀₅	5,7	2,1	9,0	3,5
<i>Июль</i>				
Отвальная	33,1	34,9	26,2	26,4
Минимальная	32,7	27,1	27,4	28,6
Нулевая	39,8	33,4	33,2	32,6
НСР ₀₅	7,5	7,1	Fф<Fт	Fф<Fт
<i>Август</i>				
Отвальная	20,2	18,9	24,0	20,8
Минимальная	21,6	21,6	19,6	30,3
Нулевая	36,1	24,4	27,3	26,6
НСР ₀₅	9,1	3,5	5,4	8,8

Таблица П.3 - Результаты дисперсионного анализа запасов продуктивной влаги в агрочерноземе в 2015 г. (0-20 см), мм

Приём обработки	Пар	Пшеница	Ячмень	Овес
<i>июнь</i>				
Отвальная	29,8	29,7	24,9	23,7
Минимальная	22,0	27,8	28,6	31,9
Нулевая	25,3	33,0	35,7	29,6
НСР ₀₅	3,4	4,1	2,7	4,9
<i>июль</i>				
Отвальная	31,4	17,8	17,3	21,6
Минимальная	29,7	19,8	23,0	22,6
Нулевая	33,7	27,6	27,7	18,8
НСР ₀₅	Fф<Fт	7,6	8,2	Fф<Fт
<i>август</i>				
Отвальная	20,7	24,1	20,9	14,3
Минимальная	16,7	17,1	16,0	26,3
Нулевая	19,0	20,1	20,0	25,4
НСР ₀₅	Fф<Fт	3,8	2,6	4,7

Таблица П.4 - Результаты дисперсионного анализа плотности сложения
агрочернозема в 2013 г., г/см³

Прием обработки	Слой, см	Пар	Пшеница	Ячмень	Овес
<i>Июнь</i>					
Отвальная	0-10	0,81	0,96	0,89	0,86
	10-20	0,94	0,74	1,00	0,95
Минимальная	0-10	0,70	0,90	0,87	0,92
	10-20	0,77	1,09	1,06	1,02
Нулевая	0-10	1,00	1,02	0,90	1,01
	10-20	0,92	1,09	0,99	1,00
НСР ₀₅	0-10	0,03	Fф<Fт	Fф<Fт	Fф<Fт
	10-20	0,14	0,25	0,06	Fф<Fт
<i>Июль</i>					
Отвальная	0-10	0,89	1,01	0,79	0,90
	10-20	0,90	0,92	0,87	1,04
Минимальная	0-10	0,85	1,07	0,93	1,11
	10-20	0,94	1,16	1,00	1,06
Нулевая	0-10	0,88	1,13	0,89	1,20
	10-20	0,89	1,16	0,99	1,09
НСР ₀₅	0-10	Fф<Fт	Fф<Fт	Fф<Fт	0,10
	10-20	Fф<Fт	0,25	Fф<Fт	Fф<Fт
<i>Август</i>					
Отвальная	0-10	1,02	0,90	0,88	1,08
	10-20	1,01	0,97	0,98	1,03
Минимальная	0-10	0,94	0,81	1,09	1,02
	10-20	0,87	1,00	0,96	1,00
Нулевая	0-10	0,95	1,13	0,90	1,07
	10-20	0,92	1,07	0,94	1,05
НСР ₀₅	0-10	Fф<Fт	0,06	0,21	Fф<Fт
	10-20	Fф<Fт	0,06	Fф<Fт	Fф<Fт

Таблица П.5 - Результаты дисперсионного анализа плотности сложения
агрочернозема в 2014 г., г/см³

Прием обработки	Слой, см	Пар	Пшеница	Ячмень	Овес
<i>Июнь</i>					
Отвальная	0-10	0,76	0,71	0,78	1,00
	10-20	0,87	0,86	0,88	1,05
Минимальная	0-10	0,80	0,90	0,83	0,98
	10-20	0,92	0,88	0,94	1,04
Нулевая	0-10	0,79	1,05	1,17	1,07
	10-20	0,81	1,00	1,19	1,14
НСР ₀₅	0-10	Fф<Fт	0,16	0,10	Fф<Fт
	10-20	Fф<Fт	0,10	0,23	Fф<Fт
<i>Июль</i>					
Отвальная	0-10	0,94	1,15	0,99	1,00
	10-20	0,92	1,12	0,97	1,01
Минимальная	0-10	1,08	1,06	1,11	0,92
	10-20	0,94	1,15	1,14	1,01
Нулевая	0-10	1,02	1,05	1,05	1,02
	10-20	1,02	1,07	1,09	1,07
НСР ₀₅	0-10	0,10	Fф<Fт	Fф<Fт	Fф<Fт
	10-20	Fф<Fт	Fф<Fт	Fф<Fт	0,19
<i>Август</i>					
Отвальная	0-10	0,91	0,89	1,05	0,92
	10-20	1,00	0,92	0,98	1,10
Минимальная	0-10	0,98	0,90	1,02	1,09
	10-20	1,07	0,92	1,04	1,18
Нулевая	0-10	1,00	1,19	1,03	1,11
	10-20	1,15	1,00	1,13	1,13
НСР ₀₅	0-10	Fф<Fт	0,06	Fф<Fт	0,07
	10-20	Fф<Fт	Fф<Fт	Fф<Fт	Fф<Fт

Таблица П.6 - Результаты дисперсионного анализа плотности сложения
агрочернозема в 2015 г., г/см³

Прием обработки	Слой, см	Пар	Пшеница	Ячмень	Овес
<i>Июнь</i>					
Отвальная	0-10	0,93	1,04	0,98	0,90
	10-20	1,03	1,01	1,00	0,94
Минимальная	0-10	0,80	0,90	0,90	0,84
	10-20	0,96	1,01	0,92	0,96
Нулевая	0-10	1,09	0,94	1,15	0,84
	10-20	1,10	0,96	0,98	0,99
НСР ₀₅	0-10	0,07	0,11	0,10	Fф<Fт
	10-20	Fф<Fт	Fф<Fт	Fф<Fт	Fф<Fт
<i>Июль</i>					
Отвальная	0-10	0,93	1,03	1,03	0,90
	10-20	1,03	0,99	1,05	0,96
Минимальная	0-10	0,92	1,04	1,00	0,99
	10-20	0,95	0,95	0,90	0,89
Нулевая	0-10	1,06	0,79	0,80	0,94
	10-20	0,97	0,95	0,99	1,04
НСР ₀₅	0-10	0,12	0,13	0,05	0,09
	10-20	Fф<Fт	Fф<Fт	0,12	0,08
<i>Август</i>					
Отвальная	0-10	0,89	0,90	1,12	0,92
	10-20	1,10	0,94	1,18	1,05
Минимальная	0-10	0,80	0,76	1,11	0,95
	10-20	0,90	0,97	1,14	1,17
Нулевая	0-10	0,80	0,76	1,02	0,95
	10-20	0,90	0,97	1,03	1,17
НСР ₀₅	0-10	Fф<Fт	0,11	0,06	Fф<Fт
	10-20	0,09	Fф<Fт	Fф<Fт	0,05

Таблица П.7 - Результаты дисперсионного анализа содержания агрономически ценных агрегатов в агрочерноземе в 2013 г., %

Прием обработки	Слой, см	Пар	Пшеница	Ячмень	Овес
<i>Июнь</i>					
Отвальная	0-10	78,8	68,6	71,0	81,6
	10-20	79,7	64,4	55,6	82,1
Минимальная	0-10	81,9	65,8	69,7	66,9
	10-20	81,2	72,9	52,1	54,2
Нулевая	0-10	78,9	70,6	81,7	81,3
	10-20	65,6	64,8	65,4	70,5
НСР ₀₅	0-10	Fф<Fт	Fф<Fт	6,4	10,2
	10-20	4,9	Fф<Fт	13,5	17,3
<i>Июль</i>					
Отвальная	0-10	77,5	46,8	81,4	64,3
	10-20	63,9	53,9	72,5	49,5
Минимальная	0-10	73,0	50,0	72,8	74,3
	10-20	62,1	59,6	66,8	64,3
Нулевая	0-10	90,9	68,3	80,8	57,8
	10-20	90,8	76,5	59,1	74,0
НСР ₀₅	0-10	7,9	17,9	Fф<Fт	18,0
	10-20	9,8	22,0	2,8	23,2
<i>Август</i>					
Отвальная	0-10	67,8	83,2	75,7	53,6
	10-20	48,1	80,2	78,4	65,7
Минимальная	0-10	58,9	79,4	59,2	52,6
	10-20	65,9	77,9	60,5	72,7
Нулевая	0-10	65,0	47,2	76,7	63,3
	10-20	81,1	70,2	64,1	51,6
НСР ₀₅	0-10	Fф<Fт	16,6	20,2	Fф<Fт
	10-20	33,0	Fф<Fт	16,8	12,6

Таблица П.8 - Результаты дисперсионного анализа содержания агрономически ценных агрегатов в агрочерноземе в 2014 г., %

Прием обработки	Слой, см	Пар	Пшеница	Ячмень	Овес
<i>Июнь</i>					
Отвальная	0-10	80,6	70,3	80,1	71,6
	10-20	86,1	72,4	81,6	67,5
Минимальная	0-10	77,5	81,9	83,2	75,1
	10-20	70,7	70,0	82,7	61,2
Нулевая	0-10	87,0	92,0	70,3	84,3
	10-20	84,3	82,2	79,9	67,8
НСР ₀₅	0-10	Fф<Fт	7,4	Fф<Fт	Fф<Fт
	10-20	5,2	8,6	Fф<Fт	Fф<Fт
<i>Июль</i>					
Отвальная	0-10	69,8	56,2	70,5	72,4
	10-20	66,6	67,1	73,5	71,2
Минимальная	0-10	79,2	70,0	69,7	66,8
	10-20	77,1	64,2	70,3	70,3
Нулевая	0-10	66,4	72,3	73,2	71,6
	10-20	63,3	68,3	75,8	61,2
НСР ₀₅	0-10	Fф<Fт	16,6	Fф<Fт	Fф<Fт
	10-20	Fф<Fт	Fф<Fт	Fф<Fт	3,5
<i>Август</i>					
Отвальная	0-10	84,1	56,3	77,5	72,8
	10-20	80,6	72,1	75,7	69,0
Минимальная	0-10	68,4	75,9	70,7	61,9
	10-20	78,9	66,3	57,8	59,5
Нулевая	0-10	76,5	62,2	67,6	65,5
	10-20	63,6	58,7	60,4	49,8
НСР ₀₅	0-10	12,6	14,0	Fф<Fт	2,9
	10-20	17,4	Fф<Fт	17,9	Fф<Fт

Таблица П.9 - Результаты дисперсионного анализа содержания агрономически ценных агрегатов в агрочерноземе в 2015 г., %

Прием обработки	Слой, см	Пар	Пшеница	Ячмень	Овес
<i>Июнь</i>					
Отвальная	0-10	83,0	83,0	69,9	81,5
	10-20	72,0	74,9	75,2	81,5
Минимальная	0-10	73,6	70,0	75,0	86,0
	10-20	81,8	66,0	69,7	82,8
Нулевая	0-10	85,3	80,0	71,1	73,2
	10-20	71,2	70,7	54,9	75,9
НСР ₀₅	0-10	9,8	10,0	Fф<Fт	12,1
	10-20	Fф<Fт	3,6	6,6	Fф<Fт
<i>Июль</i>					
Отвальная	0-10	76,9	80,4	75,9	74,8
	10-20	75,2	74,5	75,2	64,9
Минимальная	0-10	88,2	76,9	69,9	76,5
	10-20	75,9	67,9	72,8	64,5
Нулевая	0-10	61,3	63,2	85,8	65,1
	10-20	63,4	66,0	71,4	78,2
НСР ₀₅	0-10	11,7	8,1	9,6	2,5
	10-20	5,0	2,3	4,8	7,1
<i>Август</i>					
Отвальная	0-10	72,1	87,5	66,3	63,6
	10-20	69,2	81,1	59,9	66,6
Минимальная	0-10	57,2	86,8	74,1	65,9
	10-20	63,4	73,7	70,6	62,1
Нулевая	0-10	74,6	69,4	65,4	75,4
	10-20	70,0	75,0	71,0	62,9
НСР ₀₅	0-10	8,1	4,7	8,3	Fф<Fт
	10-20	Fф<Fт	5,3	7,2	Fф<Fт

Таблица П.10 - Результаты дисперсионного анализа содержания
нитратного азота в агрочерноземе в 2013 г., мг/кг

Прием обработки	Слой, см	Пар	Пшеница	Ячмень	Овес
<i>Июнь</i>					
Отвальная	0-10	26,7	9,3	14,3	22,2
	10-20	39,7	10,4	14,3	32,2
Минимальная	0-10	16,2	10,1	18,3	22,5
	10-20	9,7	12,2	12,4	15,3
Нулевая	0-10	6,6	9,1	9,5	7,4
	10-20	8,4	9,9	9,5	8,7
НСР ₀₅	0-10	1,3	Fф<Fт	Fф<Fт	5,6
	10-20	6,2	Fф<Fт	Fф<Fт	4,1
<i>Июль</i>					
Отвальная	0-10	14,0	5,9	7,1	5,9
	10-20	23,1	4,2	9,5	6,6
Минимальная	0-10	17,8	5,1	6,4	7,6
	10-20	25,3	4,9	5,7	3,7
Нулевая	0-10	3,5	5,2	5,8	3,6
	10-20	4,9	3,6	5,0	8,7
НСР ₀₅	0-10	2,7	Fф<Fт	Fф<Fт	Fф<Fт
	10-20	5,4	Fф<Fт	1,6	Fф<Fт
<i>Август</i>					
Отвальная	0-10	12,0	5,1	9,4	5,5
	10-20	12,6	7,7	6,6	4,1
Минимальная	0-10	8,9	7,4	7,9	6,6
	10-20	13,9	7,0	4,4	8,0
Нулевая	0-10	10,6	5,9	8,1	6,1
	10-20	10,8	6,2	5,3	7,5
НСР ₀₅	0-10	Fф<Fт	Fф<Fт	Fф<Fт	Fф<Fт
	10-20	Fф<Fт	Fф<Fт	Fф<Fт	Fф<Fт

Таблица П.11 - Результаты дисперсионного анализа содержания
нитратного азота в агрочерноземе в 2014 г., мг/кг

Прием обработки	Слой, см	Пар	Пшеница	Ячмень	Овес
<i>Июнь</i>					
Отвальная	0-10	13,1	17,1	19,4	12,2
	10-20	18,6	20,0	19,5	17,5
Минимальная	0-10	7,9	11,8	5,8	23,9
	10-20	9,6	13,9	13,4	26,7
Нулевая	0-10	6,7	1,8	1,1	2,7
	10-20	8,5	1,4	4,3	2,7
НСР ₀₅	0-10	2,5	3,8	3,3	6,3
	10-20	3,9	5,2	5,1	8,4
<i>Июль</i>					
Отвальная	0-10	28,0	8,3	17,6	18,5
	10-20	32,0	15,4	7,0	17,0
Минимальная	0-10	28,2	9,2	10,8	22,9
	10-20	27,0	7,8	17,1	11,6
Нулевая	0-10	12,9	12,3	24,4	7,2
	10-20	33,7	7,0	27,1	7,3
НСР ₀₅	0-10	5,3	1,6	4,6	4,1
	10-20	F _ф <F _т	3,3	6,2	5,3
<i>Август</i>					
Отвальная	0-10	12,1	11,3	7,6	4,2
	10-20	15,8	15,0	6,4	4,3
Минимальная	0-10	6,9	4,0	5,5	7,8
	10-20	4,8	7,6	5,3	5,3
Нулевая	0-10	5,8	4,0	9,4	5,4
	10-20	3,4	4,6	6,1	3,9
НСР ₀₅	0-10	5,2	2,6	F _ф <F _т	F _ф <F _т
	10-20	4,1	2,8	F _ф <F _т	F _ф <F _т

Таблица П.12 - Результаты дисперсионного анализа содержания
нитратного азота в агрочерноземе в 2015 г., мг/кг

Прием обработки	Слой, см	Пар	Пшеница	Ячмень	Овес
<i>Июнь</i>					
Отвальная	0-10	14,2	16,1	15,2	13,2
	10-20	15,3	18,2	15,6	16,3
Минимальная	0-10	6,3	10,2	6,5	12,3
	10-20	7,6	11,5	8,2	14,2
Нулевая	0-10	7,2	2,7	2,1	4,3
	10-20	8,5	2,1	4,5	5,2
НСР ₀₅	0-10	4,3	5,0	6,2	5,2
	10-20	3,8	4,6	4,8	6,0
<i>Июль</i>					
Отвальная	0-10	33,0	10,2	9,5	8,5
	10-20	32,1	14,2	9,8	9,2
Минимальная	0-10	25,8	8,5	3,2	12,4
	10-20	27,0	9,2	3,7	11,6
Нулевая	0-10	14,2	5,3	5,2	7,2
	10-20	16,8	6,0	7,1	7,4
НСР ₀₅	0-10	5,5	2,6	2,6	Fφ<Fт
	10-20	2,5	3,4	3,2	Fφ<Fт
<i>Август</i>					
Отвальная	0-10	11,1	14,3	8,6	5,7
	10-20	14,7	16,0	7,5	5,1
Минимальная	0-10	8,9	5,2	6,5	8,8
	10-20	7,2	7,6	5,3	6,2
Нулевая	0-10	6,8	4,0	8,4	6,3
	10-20	5,5	4,2	6,0	4,2
НСР ₀₅	0-10	3,2	3,7	Fφ<Fт	Fφ<Fт
	10-20	2,1	3,8	Fφ<Fт	Fφ<Fт

Таблица П.13 - Результаты дисперсионного анализа содержания подвижного фосфора в агрочерноземе в 2013 г., мг/кг

Прием обработки	Слой, см	Пар	Пшеница	Ячмень	Овес
<i>Июнь</i>					
Отвальная	0-10	53,1	56,0	58,2	59,1
	10-20	68,2	49,1	53,0	64,2
Минимальная	0-10	53,0	70,0	66,0	64,0
	10-20	48,2	63,8	52,7	56,7
Нулевая	0-10	60,4	65,9	64,0	62,0
	10-20	55,9	56,0	62,0	60,0
НСР ₀₅	0-10	Fф<Fт	12,1	Fф<Fт	Fф<Fт
	10-20	18,0	Fф<Fт	Fф<Fт	Fф<Fт
<i>Июль</i>					
Отвальная	0-10	32,2	41,2	45,4	43,2
	10-20	30,0	35,0	42,1	42,1
Минимальная	0-10	43,3	44,1	41,8	35,0
	10-20	36,1	42,2	40,0	35,1
Нулевая	0-10	56,0	41,0	45,1	41,8
	10-20	52,4	40,0	60,0	34,0
НСР ₀₅	0-10	21,0	Fф<Fт	Fф<Fт	Fф<Fт
	10-20	18,2	Fф<Fт	Fф<Fт	Fф<Fт
<i>Август</i>					
Отвальная	0-10	41,3	44,0	55,0	53,9
	10-20	43,0	45,2	49,2	48,7
Минимальная	0-10	56,3	58,3	42,7	63,0
	10-20	50,0	47,3	42,0	44,0
Нулевая	0-10	55,1	50,1	61,1	48,2
	10-20	27,2	40,3	47,9	46,0
НСР ₀₅	0-10	Fф<Fт	Fф<Fт	Fф<Fт	Fф<Fт
	10-20	Fф<Fт	Fф<Fт	Fф<Fт	Fф<Fт

Таблица П.14 - Результаты дисперсионного анализа содержания подвижного фосфора в агрочерноземе в 2014 году, мг/кг

Прём обработки	Слой, см	Пар	Пшеница	Ячмень	Овес
<i>июнь</i>					
Отвальная	0-10	61,0	70,2	65,2	46,1
	10-20	67,2	64,1	61,3	39,0
Минимальная	0-10	42,1	50,3	50,0	55,3
	10-20	44,0	55,2	55,1	57,2
Нулевая	0-10	62,0	52,0	61,7	37,0
	10-20	57,1	66,1	64,1	37,1
НСР ₀₅	0-10	Fф<Fт	16,2	13,0	Fф<Fт
	10-20	15,2	Fф<Fт	Fф<Fт	Fф<Fт
<i>июль</i>					
Отвальная	0-10	45,2	59,3	35,2	55,1
	10-20	46,3	44,0	52,6	61,0
Минимальная	0-10	54,5	42,0	42,4	44,2
	10-20	48,0	45,1	38,0	40,0
Нулевая	0-10	61,2	59,2	46,2	61,3
	10-20	48,1	55,0	48,2	44,5
НСР ₀₅	0-10	Fф<Fт	12,3	Fф<Fт	Fф<Fт
	10-20	Fф<Fт	Fф<Fт	Fф<Fт	Fф<Fт
<i>август</i>					
Отвальная	0-10	44,2	66,0	52,4	57,2
	10-20	50,0	57,9	44,0	52,0
Минимальная	0-10	56,3	49,8	56,2	75,4
	10-20	44,7	44,0	46,1	58,0
Нулевая	0-10	53,9	47,8	61,2	66,2
	10-20	44,0	40,0	59,0	55,3
НСР ₀₅	0-10	Fф<Fт	Fф<Fт	Fф<Fт	Fф<Fт
	10-20	Fф<Fт	Fф<Fт	Fф<Fт	Fф<Fт

Таблица П. 15 - Результаты дисперсионного анализа содержания подвижного фосфора в агрочерноземе в 2015 г., мг/кг

Прием обработки	Слой, см	Пар	Пшеница	Ячмень	Овес
<i>Июнь</i>					
Отвальная	0-10	68,2	64,3	52,1	45,2
	10-20	69,0	54,0	50,0	40,0
Минимальная	0-10	33,1	42,0	47,9	52,1
	10-20	33,8	44,9	46,0	53,9
Нулевая	0-10	52,0	50,0	61,3	37,9
	10-20	47,1	61,0	62,1	37,0
НСР ₀₅	0-10	21,3	Fф<Fт	Fф<Fт	Fф<Fт
	10-20	19,2	Fф<Fт	Fф<Fт	Fф<Fт
<i>Июль</i>					
Отвальная	0-10	42,9	57,0	45,0	45,3
	10-20	49,0	53,8	53,1	51,1
Минимальная	0-10	44,0	43,1	42,2	43,0
	10-20	47,8	48,3	39,2	40,7
Нулевая	0-10	51,1	60,0	51,0	50,9
	10-20	47,0	65,1	48,2	53,8
НСР ₀₅	0-10	Fф<Fт	11,3	Fф<Fт	Fф<Fт
	10-20	Fф<Fт	13,1	Fф<Fт	Fф<Fт
<i>Август</i>					
Отвальная	0-10	40,0	56,2	53,4	59,6
	10-20	45,1	58,0	44,1	58,0
Минимальная	0-10	45,9	40,0	59,0	69,1
	10-20	42,8	44,1	47,2	58,3
Нулевая	0-10	60,0	49,3	63,2	61,2
	10-20	46,1	41,2	59,0	56,0
НСР ₀₅	0-10	19,3	Fф<Fт	Fф<Fт	Fф<Fт
	10-20	Fф<Fт	Fф<Fт	Fф<Fт	Fф<Fт

Таблица П.16 - Результаты дисперсионного анализа содержания
обменного калия в агрочерноземе в 2013 г., мг/кг

Прием обработки	Слой, см	Пар	Пшеница	Ячмень	Овес
<i>Июнь</i>					
Отвальная	0-10	254,0	247,3	262,1	282,2
	10-20	250,1	235,5	260,1	255,6
Минимальная	0-10	232,5	249,3	270,0	265,0
	10-20	220,0	235,0	209,8	227,3
Нулевая	0-10	215,1	225,2	265,4	229,9
	10-20	250,2	202,4	260,1	238,0
НСР ₀₅	0-10	Fф<Fт	Fф<Fт	Fф<Fт	40,3
	10-20	Fф<Fт	Fф<Fт	35,2	Fф<Fт
<i>Июль</i>					
Отвальная	0-10	200,2	265,3	257,3	237,0
	10-20	228,3	270,0	270,4	215,3
Минимальная	0-10	279,9	28,1	219,6	225,4
	10-20	238,3	245,6	210,3	210,8
Нулевая	0-10	260,1	265,1	245,4	223,0
	10-20	210,4	182,0	224,7	179,9
НСР ₀₅	0-10	53,2	Fф<Fт	Fф<Fт	Fф<Fт
	10-20	Fф<Fт	49,4	52,4	Fф<Fт
<i>Август</i>					
Отвальная	0-10	203,3	172,8	202,2	172,4
	10-20	194,8	175,0	176,4	185,0
Минимальная	0-10	235,0	208,1	223,6	194,0
	10-20	158,2	171,2	162,2	141,5
Нулевая	0-10	160,1	162,6	249,1	148,3
	10-20	160,3	158,1	151,1	151,3
НСР ₀₅	0-10	26,5	Fф<Fт	Fф<Fт	Fф<Fт
	10-20	Fф<Fт	Fф<Fт	Fф<Fт	Fф<Fт

Таблица П.17 - Результаты дисперсионного анализа содержания
обменного калия в агрочерноземе в 2014 г., мг/кг

Прием обработки	Слой, см	Пар	Пшеница	Ячмень	Овес
<i>Июнь</i>					
Отвальная	0-10	220,3	175,3	160,3	160,3
	10-20	175,0	170,0	170,2	140,3
Минимальная	0-10	150,2	170,7	165,4	150,0
	10-20	150,5	198,8	179,9	150,6
Нулевая	0-10	210,3	140,0	170,0	135,2
	10-20	170,7	140,2	175,2	135,3
НСР ₀₅	0-10	54,2	Fф<Fт	Fф<Fт	Fф<Fт
	10-20	Fф<Fт	Fф<Fт	Fф<Fт	Fф<Fт
<i>Июль</i>					
Отвальная	0-10	165,3	145,3	140,0	142,3
	10-20	195,2	162,3	115,6	200,1
Минимальная	0-10	130,0	120,0	130,0	165,5
	10-20	120,5	130,4	140,5	130,3
Нулевая	0-10	209,7	149,6	110,4	130,1
	10-20	120,0	145,0	105,1	105,8
НСР ₀₅	0-10	39,6	Fф<Fт	25,3	Fф<Fт
	10-20	45,2	Fф<Fт	29,5	48,3
<i>Август</i>					
Отвальная	0-10	170,3	195,8	145,0	160,3
	10-20	195,5	160,0	147,0	178,0
Минимальная	0-10	232,0	160,1	185,6	235,4
	10-20	170,3	149,8	150,5	165,2
Нулевая	0-10	185,6	159,7	205,1	220,1
	10-20	155,7	150,0	150,3	150,0
НСР ₀₅	0-10	53,0	Fф<Fт	33,1	41,6
	10-20	35,3	Fф<Fт	Fф<Fт	Fф<Fт

Таблица П.18 - Показатели экономической эффективности производства
зерна яровой пшеницы

Показатель	Год			В среднем за 3 года
	2013	2014	2015	
<i>Отвальная обработка</i>				
Посевная площадь зерновых культур, га	100	100	100	100
Урожайность, т с 1 га	2,34	2,40	3,07	2,60
Затраты средств на 1 га посева, руб.	14200,6	14221,3	14451,7	14291,2
Себестоимость производства 1 т зерна, руб.	6068,6	5925,5	4707,4	5567,2
Средняя цена реализации 1 т зерна, руб.	7668,0	6950,0	8786,0	7801,3
Прибыль на 1 т зерна, руб.	1599,4	1024,5	4078,6	2234,1
Получено прибыли на 1 га, руб.	3742,5	2458,7	12521,3	5816,2
Уровень рентабельности производства зерна, %	26,4	17,3	86,6	40,1
<i>Минимальная обработка</i>				
Посевная площадь зерновых культур, га	100	100	100	100
Урожайность, т с 1 га	2,32	2,20	3,25	2,59
Затраты средств на 1 га посева, руб.	12881,9	12840,6	13201,8	12974,8
Себестоимость производства 1 т зерна, руб.	5552,5	5836,6	4062,1	5150,4
Средняя цена реализации 1 т зерна, руб.	7668,0	6950,0	8786,0	7801,33
Прибыль на 1 т зерна, руб.	2115,5	1113,4	4723,9	2650,9
Получено прибыли на 1 га, руб.	4907,9	2449,4	15352,7	6865,9
Уровень рентабельности производства зерна, %	38,1	19,1	116,3	51,5
<i>Нулевая обработка</i>				
Посевная площадь зерновых культур, га	100	100	100	100
Урожайность, т с 1 га	1,61	1,10	1,83	1,51
Затраты средств на 1 га посева, руб.	8693,8	8518,4	8769,5	8660,57
Себестоимость производства 1 т зерна, руб.	5399,9	7744,0	4792,1	5978,6
Средняя цена реализации 1 т зерна, руб.	7668,0	6950,0	8786,0	7801,3
Прибыль на 1 т зерна, руб.	2268,1	-794,0	3993,9	1822,7
Получено прибыли на 1 га, руб.	3651,7	-873,4	7308,9	2758,3
Уровень рентабельности производства зерна, %	42,0	-10,3	83,3	30,5

Таблица П.19 - Показатели экономической эффективности производства
зерна ячменя

Показатель	Год			В среднем за 3 года
	2013	2014	2015	
<i>Отвальная обработка</i>				
Посевная площадь зерновых культур, га	100	100	100	100
Урожайность, т с 1 га	2,64	3,11	2,92	2,89
Затраты средств на 1 га посева, руб.	14303,8	14462	14393,3	14386,37
Себестоимость производства 1 т зерна, руб.	5418,1	4650,2	4929,2	4999,2
Средняя цена реализации 1 т зерна, руб.	6967,0	5029,0	6717,0	6237,7
Прибыль на 1 т зерна, руб.	1548,9	378,8	1787,8	1238,5
Получено прибыли на 1 га, руб.	4089,1	1178,2	5220,3	3579,3
Уровень рентабельности производства зерна, %	28,6	8,1	36,3	24,8
<i>Минимальная обработка</i>				
Посевная площадь зерновых культур, га	100	100	100	100
Урожайность, т с 1 га	3,69	4,30	4,03	4,01
Затраты средств на 1 га посева, руб.	13112,3	13322,2	13229,3	13221,3
Себестоимость производства 1 т зерна, руб.	3553,47	3098,19	3282,70	3311,5
Средняя цена реализации 1 т зерна, руб.	6967,0	5029,0	6717,0	6237,7
Прибыль на 1 т зерна, руб.	3413,5	1930,8	3434,3	2926,2
Получено прибыли на 1 га, руб.	12595,9	8302,5	13840,2	11724,4
Уровень рентабельности производства зерна, %	96,1	62,3	104,6	88,4
<i>Нулевая обработка</i>				
Посевная площадь зерновых культур, га	100	100	100	100
Урожайность, т с 1 га	2,72	1,10	2,31	2,04
Затраты средств на 1 га посева, руб.	9075,6	8518,4	8934,6	8842,9
Себестоимость производства 1 т зерна, руб.	3336,6	7744,0	3867,8	4982,8
Средняя цена реализации 1 т зерна, руб.	6967,0	5029,0	6717,0	6237,7
Прибыль на 1 т зерна, руб.	3630,4	-2715,0	2849,2	1254,9
Получено прибыли на 1 га, руб.	9874,6	-2986,5	6581,7	2564,1
Уровень рентабельности производства зерна, %	108,8	-35,1	73,7	25,2

Таблица П.20 - Показатели экономической эффективности производства
зерна овса

Показатель	Год			В среднем за 3 года
	2013	2014	2015	
<i>Отвальная обработка</i>				
Посевная площадь зерновых культур, га	100	100	100	100
Урожайность, т с 1 га	4,05	4,80	3,93	4,3
Затраты средств на 1 га посева, руб.	14788,8	15046,8	14747,5	14861,0
Себестоимость производства 1 т зерна, руб.	3651,6	3134,8	3752,5	3513,0
Средняя цена реализации 1 т зерна, руб.	5466,0	4617,0	4613,0	4898,7
Прибыль на 1 т зерна, руб.	1814,4	1482,3	860,5	1385,7
Получено прибыли на 1 га, руб.	7348,5	7114,8	3381,6	5903,2
Уровень рентабельности производства зерна, %	49,7	47,3	22,9	39,4
<i>Минимальная обработка</i>				
Посевная площадь зерновых культур, га	100	100	100	100
Урожайность, т с 1 га	4,37	3,90	3,89	4,1
Затраты средств на 1 га посева, руб.	13587,0	13425,3	13421,9	13478,1
Себестоимость производства 1 т зерна, руб.	3109,2	3442,4	3450,4	3334,0
Средняя цена реализации 1 т зерна, руб.	5466,0	4617,0	4613,0	4898,7
Прибыль на 1 т зерна, руб.	2356,9	1174,6	1162,6	1564,7
Получено прибыли на 1 га, руб.	10299,4	4581,0	4522,7	6342,3
Уровень рентабельности производства зерна, %	75,8	34,1	33,7	46,9
<i>Нулевая обработка</i>				
Посевная площадь зерновых культур, га	100	100	100	100
Урожайность, т с 1 га	3,21	1,90	2,66	2,6
Затраты средств на 1 га посева, руб.	9244,1	8793,5	9055	9030,9
Себестоимость производства 1 т зерна, руб.	2879,8	4628,2	3404,1	3637,4
Средняя цена реализации 1 т зерна, руб.	5466,0	4617,0	4613,0	4898,7
Прибыль на 1 т зерна, руб.	2586,2	-11,2	1208,9	1261,3
Получено прибыли на 1 га, руб.	8301,8	-21,2	3215,6	3266,8
Уровень рентабельности производства зерна, %	89,8	-0,2	35,5	34,7

УТВЕРЖДАЮ:

Ректор ФГБОУ ВО

«Красноярский государственный
аграрный университет»

Н.И. Пыжикова

« 28 »

2022 г.



АКТ ВНЕДРЕНИЯ

Результаты научных исследований Колесникова А.С. по теме «Влияние приемов основной обработки на плодородие агрочернозема Красноярской лесостепи и продуктивность зернопарового севооборота» используются в учебном процессе кафедры почвоведения и агрохимии института агроэкологических технологий ФГБОУ ВО «Красноярский государственный аграрный университет» по дисциплинам «Агрочвоведение», «Агрохимия» (для направлений 35.03.03 «Агрохимия и агропочвоведение», 35.03.04 «Агрономия») и «Управление плодородием почв», «Устойчивость почв» (для направления 35.04.03 «Агрохимия и агропочвоведение»).

Протокол № 8 от 28.04.2022

И.о. зав. кафедрой
почвоведения и агрохимии

О.А. Власенко

Директор института
агроэкологических технологий
ФГБОУ ВО Красноярского ГАУ



В.В. Келер

УТВЕРЖДАЮ:

Директор ООО «Учхоз
«Миндерлинское»»

А.В. Колупаев

2022 г.**Акт внедрения**

Результатов научно-исследовательской работы

Настоящим актом подтверждается, что результаты научных исследований Колесникова А.С. «Влияние приемов основной обработки на плодородие агрочернозема Красноярской лесостепи и продуктивность зернопарового севооборота» прошли производственную проверку в 2016-2020 гг. и внедрены в ООО «Учхоз «Миндерлинское».

Вид внедренческих результатов: агротехнологии.

Форма внедрения: рекомендации производству. Экспериментальные данные по изучению влияния приемов основной обработки на плодородие агрочернозема и продуктивность зерновых культур служат основой для разработки и внедрения технологии возделывания сельскохозяйственных культур в севооборотах в условиях Красноярской лесостепи. Рекомендовано возделывание зерновых культур (яровая пшеница, яровой ячмень, овес) по минимальной обработке почвы. Не рекомендовано возделывание зерновых культур в зернопаровом севообороте по нулевой обработке, определяющей низкое содержание нитратного азота, локализацию подвижного фосфора и обменного калия в 0-10 см слое агрочернозема, усиление дифференциации 0-20 см слоя по содержанию агрономически ценных фракций, существенное ухудшение фитосанитарного состояния почвы и формирование низкой урожайности в условиях Красноярской лесостепи.

Экономический эффект: При возделывании яровой пшеницы сорта Новосибирская 31, ярового ячменя Биом, овса Саян по минимальной обработке почвы получена наибольшая продуктивность культур – 2,52; 2,67 и 31,0 т/га соответственно, что на 27-49 % больше по сравнению с отвальной обработкой и прямым посевом. С экономической точки зрения возделывание зерновых культур по минимальной обработке почвы обеспечивает предприятию максимальный уровень рентабельности производства – 38,1 – 47,5%.

ООО «Учхоз «Миндерлинское»,
главный агроном

 Ю.К. Пикули