

На правах рукописи



Колесник Алена Андреевна

**СТРУКТУРНОЕ И ГУМУСНОЕ СОСТОЯНИЕ АГРОЧЕРНОЗЕМОВ
КРАСНОЯРСКОЙ ЛЕСОСТЕПИ ПРИ МИНИМИЗАЦИИ
ОСНОВНОЙ ОБРАБОТКИ**

Специальность 1.5.19 – почвоведение

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата биологических наук

Красноярск – 2023

Работа выполнена в Федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Красноярский государственный аграрный университет».

Научный руководитель: **Кураченко Наталья Леонидовна**, доктор биологических наук, профессор, ФГБОУ ВО «Красноярский государственный аграрный университет»

Официальные оппоненты: **Ерёмин Дмитрий Иванович**, доктор биологических наук, доцент, ведущий научный сотрудник лаборатории геномных исследований в растениеводстве Научно-исследовательского института сельского хозяйства Северного Зауралья – филиала Тюменского научного центра СО РАН,

Чимитдоржиева Галина Доржиевна, доктор сельскохозяйственных наук, профессор, ведущий научный сотрудник лаборатории биохимии почв ФГБУН «Институт общей и экспериментальной биологии СО РАН»

Ведущая организация ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский Томский государственный университет»

Защита состоится **24 октября 2023 года в 14 ч. 00 мин.** на заседании диссертационного совета 24.1.094.01 при ФГБУН Институт почвоведения и агрохимии СО РАН по адресу: 630090, г. Новосибирск, пр-т Ак. Лаврентьева, 8/2, ИПА СО РАН; тел./факс (383) 363-90-25; e-mail: soil@issa-siberia.ru

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке и на сайте ИПА СО РАН <https://www.issa-siberia.ru> и на официальном сайте ВАК Министерства науки и высшего образования Российской Федерации.

Автореферат разослан « _____ » _____ 2023 г.

Ученый секретарь диссертационного совета 24.1.094.01,
канд. биол. наук



Гуркова Е.А.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы обусловлена важностью оценки роли гумусовых веществ в формировании структурно-агрегатного состояния агрочерноземов в условиях внедрения минимальных технологий основной обработки почвы.

Длительное применение вспашки приводит к физической деградации почв, которая принимает широкие масштабы и в перспективе представляет существенную угрозу почвенному плодородию (Артемьева, 2010; Шарков, 2010). Высокая сельскохозяйственная нагрузка на лесостепные районы земледельческой части Красноярской лесостепи, где основой пахотного фонда являются черноземы, требует сохранения и воспроизводства плодородия этих почв, в том числе за счет внедрения почвозащитных технологий основной обработки.

Почвенная структура – это динамический показатель, пространственно-временная изменчивость которого обусловлена рядом факторов, среди которых важную роль выполняют гумусовые вещества, образующиеся в процессе гумификации свежего органического вещества и поступающие с наземным и корневым опадом. Наиболее спорным моментом при внедрении ресурсосберегающих технологий является вопрос, как глубина и приемы основной обработки почвы влияют на агрофизические свойства и изменение гумуса (Артемьева, 2005; Тугуз, 2010; Аюпов, 2013; Бойков, 2015; Ширяев, 2014). Рядом исследований (Минебаева, 2010; Савоськина и др., 2011; Синещеков, 2017 и др.) показано, что почвозащитные технологии по-разному влияют на качественный состав гумуса и его содержание, что отражается на структурном состоянии почвы. Поэтому научное обоснование роли минимизации основной обработки почвы в формировании гумусовых веществ и агрегатного структурного уровня организации пахотных почв в условиях лесостепи Красноярского края является актуальным и направлено на сохранение плодородия почв.

Цель исследований – изучить структурное и гумусное состояние агрочерноземов Красноярской лесостепи при возделывании яровой пшеницы в условиях вспашки и минимизации основной обработки.

Задачи исследований:

1. Изучить пространственную изменчивость структурно-агрегатного состояния, агрохимических свойств и гумусовых веществ агрочерноземов в условиях вспашки и минимизации основной обработки.
2. Оценить влияние приемов основной обработки на сезонную динамику структурно-агрегатного состава и гумусного состояния агрочерноземов.
3. Определить участие гумусовых веществ в пространственно-временной изменчивости структурно-агрегатного уровня организации агрочерноземов, обрабатываемых по различным технологиям.

Научная новизна заключается в установлении закономерностей изменения структурного состояния агрочерноземов, запасов и структуры гумусовых веществ в условиях основной обработки. Изучены особенности почвенного покрова и состояния плодородия агрочерноземов, формирующихся в пределах агроландшафта Красноярской лесостепи. На основе полученных данных проведен анализ структуры почвенного покрова, составлена цифровая почвенная карта опытного поля. Впервые для условий региона получены материалы по пространственной неоднородности гранулометрического, микроагрегатного, структурно-агрегатного уровня организации и гумусовых веществ агрочерноземов Красноярской лесостепи в условиях минимизации основной обработки. Изучено влияние приемов основной обработки на сезонную

динамику структурно-агрегатного состояния агрочерноземов, содержание и запасы общего углерода гумуса и его подвижных компонентов. Получены регрессионные модели зависимости микроагрегатного, структурно-агрегатного состава агрочерноземов от содержания общего углерода гумуса и его подвижных компонентов. Установлено, что структурообразующая роль гумуса в агрочерноземах обусловлена водо- и щелочерастворимыми соединениями.

Теоретическая и практическая значимость. Материалы по пространственно-временной изменчивости структурно-агрегатного и гумусного состояния агрочерноземов являются теоретической основой для внедрения минимизации основной обработки в условиях Красноярской лесостепи. Они необходимы для оценки степени плодородия почв и разработки обоснованного прогноза их изменения при агрогенном воздействии. Материалы могут быть использованы для дальнейшего совершенствования и уточнения комплекса мероприятий по рациональному использованию и сохранению агрочерноземов региона. Материалы диссертации используются в учебном процессе при изучении дисциплин «Агропочвоведение», «Агрохимия», «Управление плодородием почв», «Устойчивость почв» при подготовке бакалавров и магистров в Красноярского государственном аграрном университете.

Положения, выносимые на защиту:

1. Минимизация основной обработки агрочерноземов Красноярской лесостепи приводит к снижению содержания агрономически ценных фракций структурного состава и увеличению количества водоустойчивых агрегатов на 3-15% с сохранением хорошей и отличной оструктуренности; способствует пополнению запасов общего углерода гумуса до 131-139 тС/га и подвижного углерода гумуса до 13-15 тС/га в слое 0-40 см.

2. Максимальный агрегирующий эффект гумусовых веществ в агрочерноземах проявляется при возделывании яровой пшеницы на нулевой обработке, достигающий 53-66% за счет подвижных гуминовых кислот.

Методология и методы исследований. Методология базировалась на поиске отечественных и зарубежных литературных источников по теме исследований. Исследования проведены в соответствии с классическими методами в почвоведении. В работе применены методы: сравнительно-географический, сравнительно-аналитический, профильный, морфологический, стационарный, лабораторного и математического моделирования. Результаты аналитических исследований получены с использованием ГОСТов и общепринятых методик. В диссертационной работе использовался комплекс современных физико-химических методов: атомно-абсорбционная спектроскопия, элементный анализ, термогравиметрический анализ.

Степень достоверности и апробация работы. Экспериментальные данные статистически обработаны с использованием методов дисперсионного, корреляционного и регрессионного анализов, сопоставлены с результатами научных изысканий других ученых. Материалы диссертации опубликованы в 13 работах, в том числе 3 – в изданиях, рекомендованных ВАК РФ.

Результаты исследований представлены и обсуждены на: международных (Красноярск, 2017, 2018, 2019, 2021; Иркутск, 2019; Барнаул, 2022), всероссийских (Пушино, 2017; Красноярск, 2018, 2022), национальных (Екатеринбург, 2019; Красноярск, 2021, 2022) конференциях и научно-практических семинарах (Красноярск, 2019). Ежегодно результаты исследований заслушивались и обсуждались на заседаниях кафедры почвоведения и агрохимии ФГБОУ ВО Красноярский ГАУ (2016-2020 гг.).

Структура диссертации. Диссертация изложена на 174 страницах, включает 25 таблиц, 18 рисунков. Состоит из введения, 6 глав, выводов, списка литературы, который представлен 286 источниками, в том числе 37 – на иностранном языке, и 16 приложений.

Личный вклад автора. Работа выполнена в 2016-2020 гг. во время обучения автора в очной аспирантуре. Постановка задач, анализ отечественной и зарубежной литературы, участие в полевых опытах и наблюдениях, проведение лабораторных исследований, анализ и статистическая обработка полученных данных проведены автором диссертации.

Благодарности. Автор выражает искреннюю благодарность научному руководителю доктору биологических наук, профессору кафедры почвоведения и агрохимии ФГБОУ ВО Красноярский ГАУ Н.Л. Кураченко, сотрудникам кафедры за поддержку и ценные советы на всех этапах выполнения работы, а так же доктору сельскохозяйственных наук, профессору В.К. Ивченко – руководителю комплексного полевого опыта «Разработка и внедрение приемов точного земледелия возделывания сельскохозяйственных культур по ресурсосберегающей технологии», за предоставленную возможность проведения полевых исследований.

Глава 1. Органическое вещество и структурная организация почв

В главе приводится обзор литературы по вопросам формирования структурно-агрегатного уровня организации почв, показана роль органического вещества и его подвижных компонентов в формировании, развитии и устойчивости почвенной структуры. Представлены данные исследований о влиянии минимизации основной обработки на изменение гумусного состояния почв и на формирование структурно-агрегатного уровня организации почв.

Глава 2. Экологические условия и особенности почвообразования в Красноярской лесостепи

В главе дана характеристика природных условий и показаны особенности почвообразования на территории Красноярской лесостепи. Приведена краткая характеристика агрочерноземов Красноярской лесостепи.

Глава 3. Объекты и методы исследований

3.1 Объекты исследований

Исследования проведены в полевом опыте в период с 2016 по 2018 г. на базе учебно-опытного хозяйства «Миндерлинское» ФГБОУ ВО «Красноярский государственный аграрный университет» (56°25'N и 92°53'E). Объект исследования – агрочерноземы и агроценоз пшеницы сорта Новосибирская 15. Исследования являются частью комплексного полевого опыта «Разработка и внедрение приемов точного земледелия возделывания сельскохозяйственных культур по ресурсосберегающей технологии», заложенного в 2015 году.

Для изучения *структуры почвенного покрова* опытного участка заложено 9 ключевых разрезов. Составлена цифровая карта почвенного покрова участка. Векторный слой карты отрисован средствами ГИС MapInfo Professional.

Оценку влияния вспашки и почвозащитных технологий основной обработки почвы на пространственное распределение и сезонную динамику структурно-агрегатного и гумусного состояния агрочернозема проводили в агроценозе пшеницы по схеме:

1) отвальная обработка (вспашка) ПН-5-35 на глубину 20-22 см; 2) минимальная (мелкая) обработка дискатором БДШ-5,6 на глубину 8-10 см; 3) нулевая обработка (прямой посев без основной обработки почвы) сеялкой Агратор-4,8.

Пространственная изменчивость гранулометрического, микроагрегатного, структурно-агрегатного состава, агрохимических свойств и гумусовых веществ агрочерноземов в условиях вспашки и ресурсосберегающих технологий основной обработки изучалась в 2016 году в агроценозе пшеницы по зерновому предшественнику на фоне применения аммиачной селитры (1 ц/га в физическом весе). Общая площадь делянки – 1500 м², учетная – 500 м². Отбор почвенных образцов проводили по трансекте с шагом в 10 метров по 10 пробным площадям в фазу начала кущения пшеницы. Глубина отбора образцов 0-10, 10-20 см.

Влияние ритма превращения гумусовых веществ на сезонную динамику структурно-агрегатного состава агрочерноземов изучали в вегетационные сезоны 2017-2018 гг. в агроценозе пшеницы, возделываемой по кукурузе. Размещение вариантов систематическое. Повторность опыта 3-кратная. Общая площадь делянок 1500 м², учетная – 100 м². Почвенные образцы отбирали в 3-кратной повторности. Глубина отбора образцов: 0-10, 10-20 и 20-40 см. Срок отбора образцов приурочен к фазам развития яровой пшеницы: всходы (июнь), кущение – начало колошения (июль), молочная спелость (август).

3.2 Методы исследований

Основные физические и химические показатели получены при помощи общепринятых методов: гранулометрический и микроагрегатный состав пипет-методом по Качинскому Н.А. (1965); структурный состав – по Саввинову Н.И., водопрочность структуры (агрегатный состав) – на приборе Бакшеева И.М. (Методическое руководство ..., 1969); плотность сложения – по методу Качинского Н.А.; влажность термовесовым методом (Александрова, 1967); реакцию почвенного раствора – ионометрическим методом (ГОСТ 26423-85); сумму обменных оснований – по методу Каппена (ГОСТ 27821-88); гидролитическую кислотность – по методу Каппена (ГОСТ 26212-2021); обменные кальций и магний – титрованием Трилоном Б по индикатору (ГОСТ 26487-85); нитратный азот (ГОСТ 26488-85); аммонийный азот (ГОСТ 26489-85); подвижный фосфор и обменный калий – по Чирикову (ГОСТ 26204-91); общий углерод гумуса – по Тюрину; водорастворимые соединения гумуса – методом бихроматной окисляемости по Тюрину (Аринушкина, 1970) (экстракцию водорастворимого углерода осуществляли водой при комнатной температуре соотношением почвы и воды 1:5); щелочегидролизующие соединения гумуса (СNaOH и в его составе Сгк и Сфк) – по Тюрину И.В. в модификации Пономаревой В.В. и Плотниковой Т.А. (1980) (экстракцию щелочегидролизующего углерода и в его составе СГК и СФК осуществляли 0,1 н раствором NaOH).

Результаты аналитических определений обработаны методами дискриминантного, корреляционного, регрессионного анализа при помощи программ Excel и STATISTICA10 (Дмитриев, 1995; Доспехов, 2014). Для выявления достоверных различий средних использовали дисперсионный анализ.

3.3 Погодные условия в годы проведения исследования

Вегетационный сезон 2016 года характеризовался как теплый и острозасушливый с неравномерным увлажнением по месяцам. Погодные условия 2017 года оценивались как

теплые с неравномерным увлажнением по месяцам, в 2018 году они отличались острой засушливостью.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОЙ РАБОТЫ

Глава 4. Морфогенетическая характеристика агрочерноземов Красноярской лесостепи

Почвенный покров опытного участка представлен агрочерноземами. Фоновые почвы во всех комбинациях – агрочерноземы глинисто-иллювиальные маломощные, доминирующие на участке. Им везде сопутствуют агрочерноземы криогенно-мицелярные. Третьей составляющей в трёхкомпонентных комбинациях выступают агрочерноземы глинисто-иллювиальные мощные и глинисто-иллювиальные оподзоленные среднемощные (рис. 1) (Демьяненко, Кураченко, Колесник, 2021).

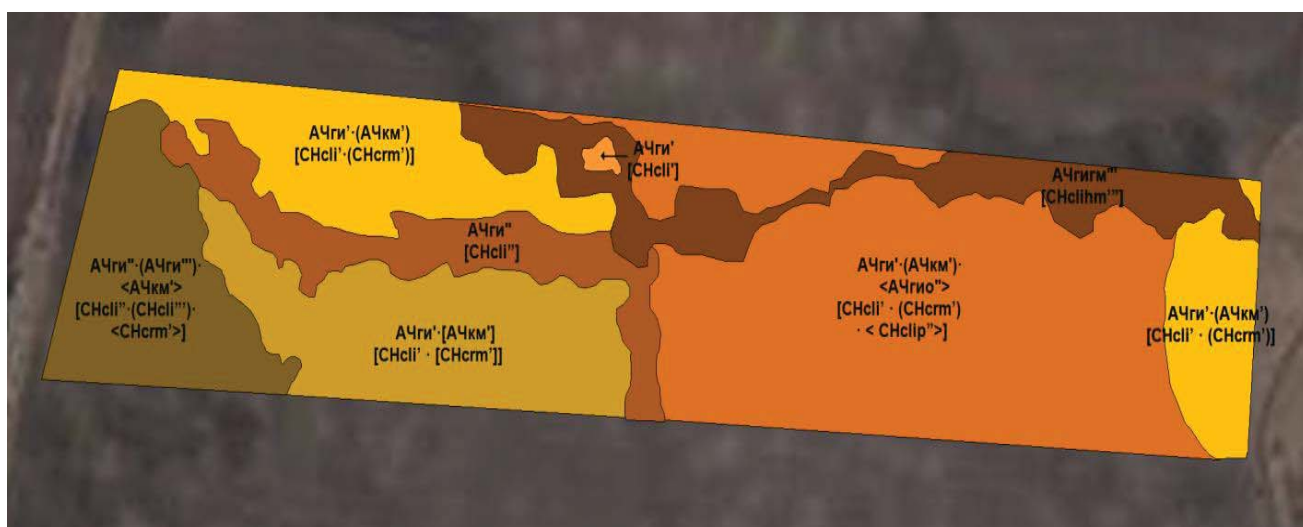


Рисунок 1 – Структура почвенного покрова опытного поля

Агрочерноземы глинисто-иллювиальные типичные отнесены к маломощным, среднемощным и мощным видам с содержанием гумуса 9-11 % в пахотном горизонте. Агрочерноземы глинисто-иллювиальные гидрометаморфизированные и оподзоленные отличаются мощным гумусовым горизонтом (более 1 метра), с содержанием гумуса 9-10 %. Агрочерноземы криогенно-мицелярные представлены маломощными видами (30-40 см) с содержанием гумуса, не превышающим 6 %. Почвы отличаются очень высокой суммой обменных оснований (62-53 ммоль/100г), нейтральной и слабощелочной реакцией среды (pH_{H_2O} 6,5-7,9). Гранулометрический состав, свидетельствует о присутствии в пределах опытного поля легкоглинистых крупнопылевато-иловатых разновидностей агрочерноземов. Профильное распределение илистой фракции свидетельствует о стабильности минеральной массы агрочерноземов (Кураченко, Колесник, Демьяненко, 2021).

Глава 5. Влияние основной обработки на пространственную изменчивость свойств агрочерноземов

5.1 Пространственная неоднородность агрегатного уровня структурной организации агрочерноземов

Агрочерноземы опытного поля характеризуются легкоглинистым гранулометрическим составом с содержанием физической глины 60-65 %.

Преобладающими фракциями на всех фонах основной обработки являются крупная пыль (25-32 %) и ил (30-33 %) (Кураченко, Колесник, Парченко 2020). При одинаковом гранулометрическом составе почвы закономерных и существенных изменений в содержании фракций элементарных почвенных частиц по фонам основной обработки не выявлено.

Обрабатываемые агрочерноземы обладают высокой устойчивостью агрегирующих связей микроструктуры и господством микроагрегатов крупнее 0,01 мм в 0-20 см слое почвы (84-89 %). Наибольшая устойчивость микроструктурных агрегатов, их однородное распределение в пространстве и дифференциация 0-20 см слоя почвы выявлены на фоне вспашки.

Характер статистического распределения фракций микроагрегатного состава в условиях минимальной обработки свидетельствует об увеличении вариабельности с уменьшением размера микроагрегатов. Высоко и очень высоко варьирующимися оказались тонкие микроагрегаты размером менее 0,01 мм ($C_v=42-82$ %). Статистическое распределение структурных микроагрегатов на нулевом фоне обработки симметричное. Микроагрегаты размером 1–0,25 и менее 0,005 мм в слое почвы 0-10 см характеризуются нестабильным распределением в пространстве ($C_v=44-69$ %). Изменение микроструктурного уровня организации твердой фазы при минимизации основной обработки агрочерноземов сопровождается отсутствием дифференциации 0-20 см слоя, формированием тонких микроагрегатов <0,05 мм, абсолютным снижением доли истинных микроагрегатов >0,05 мм на 14-16 % на минимальном фоне и 2-6 % на нулевом ($p<0,01$) (табл. 1). Содержание истинных микроагрегатов убывает в ряду обработок: отвальная (46-47 %) – нулевая (41-44 %) – минимальная (31-32 %).

Таблица 1 – Микроагрегатный состав агрочерноземов (n=10), %

| Прием обработки | Слой, см | Размер частиц, мм | | | Кд |
|--------------------|----------|-------------------|--------|----------|-----|
| | | >0,05 | <0,001 | Им >0,05 | |
| <i>Отвальная</i> | 0-10 | 54,3 | 1,5 | 46,9 | 5,0 |
| | 10-20 | 52,5 | 1,7 | 46,2 | 5,2 |
| <i>Минимальная</i> | 0-10 | 39,4 | 1,9 | 31,2 | 6,6 |
| | 10-20 | 40,8 | 1,8 | 31,8 | 5,6 |
| <i>Нулевая</i> | 0-10 | 49,0 | 2,6 | 40,7 | 8,7 |
| | 10-20 | 48,9 | 2,1 | 43,8 | 6,4 |

Примечание: Им – истинные микроагрегаты, Кд – коэффициент дисперсности

В структурном составе агрочерноземов, обработанных по различным технологиям, преобладают глыбистые >10 мм (16-28 %) и комковато-зернистые отдельности размером 2-1 мм (16-26 %) (рис. 2). Минимальная и нулевая обработки определяют абсолютное снижение коэффициента пространственного варьирования глыб >10 см на 19-29 %. Слой 10-20 см, не затронутый механическим перемешиванием при прямом посеве, является более неоднородным по содержанию глыбистых отдельностей ($C_v=49$ %) (Колесник, Ранцев, Беляев, 2018).

Качественная оценка структурного состояния обрабатываемых агрочерноземов по содержанию в них агрегатов агрономически ценного размера 10-0,25 мм (АЦФ) указывает на отличную оструктуренность почвы (72-84 %) (рис. 3). На фоне минимальной и нулевой обработок отмечается увеличение содержания агрономически ценных фракций на 6-7 %, при этом уменьшается неоднородность 0-20 см слоя ($C_v=8-9$ %). Наибольшая дифференциация 0-20 см слоя отмечена на вспашке, где с глубиной

снижение доли АЦФ оценивается на уровне 9 %. В ряду обработок почвы: нулевая – минимальная – отвальная содержание агрегатов 10-0,25 мм постепенно снижается в пространстве от 83 до 72 %. Статистический анализ распределения агрегатов ценного размера в пространстве показал небольшую их изменчивость на фоне вспашки по слоям 0-10 и 10-20 см ($C_v=14-16\%$). Минимальная и нулевая обработки агрочернозема способствует сокращению интервала варьирования на 3-16 % по сравнению со вспашкой ($C_v=7-10\%$) (Кураченко, Колесник, 2019).

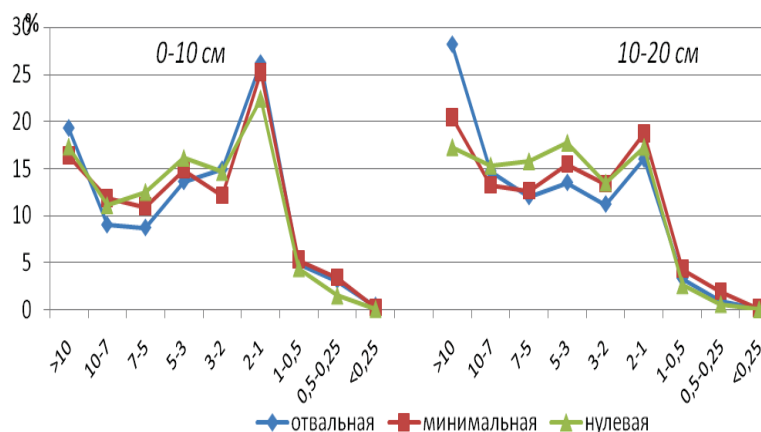


Рисунок 2 – Фракционный состав структуры агрочерноземов, % (n=10)

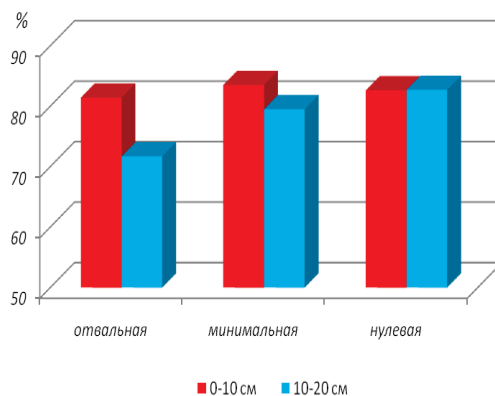


Рисунок 3 – Содержание агрономически ценных фракций в агрочерноземах, % (n=10)

Обработка почвы способствует интенсивному разрушению крупных агрегатов более 5 мм (рис. 4). В 0-10 см слое отвальная обработка определяет максимальную водопрочность агрегатов размером 1-0,5 мм; минимальная обработка и прямой посев – 3-1 мм. В 10-20 см слое происходит перераспределение фракций агрегатного состава в сторону увеличения водопрочности агрегатов размером 1-0,5 мм на фоне почвозащитных технологий и существенного увеличения доли водоустойчивых агрегатов 5-3 мм на вспашке (Колесник, 2018а).

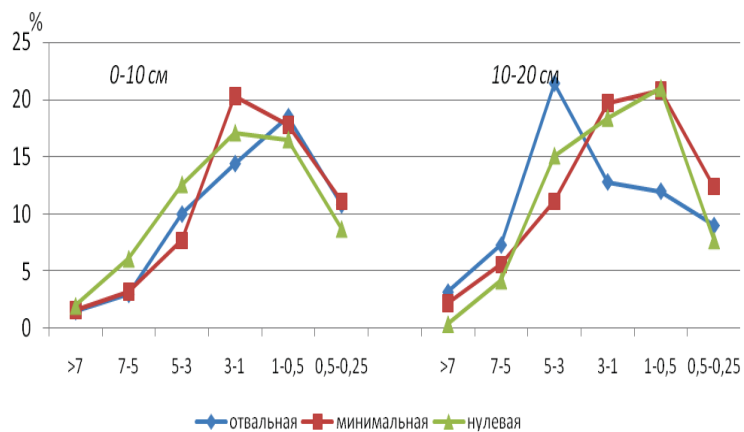


Рисунок 4 – Фракционный состав водопрочных агрегатов агрочерноземов, % (n=10)

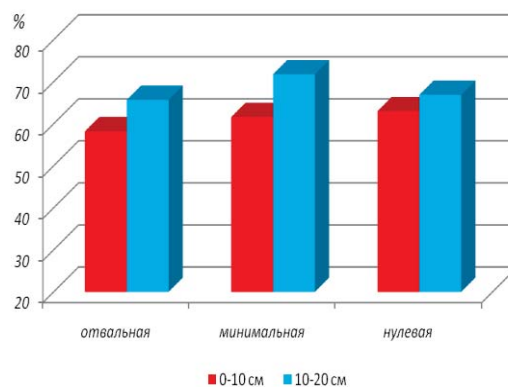


Рисунок 5 – Содержание водопрочных агрегатов в агрочерноземах, % (n=10)

Содержание водопрочных агрегатов в 0-20 см слое агрочернозема в пределах поля оценивается в среднем на уровне 58-72 % и соответствует хорошей оструктуренности (рис. 5). Агрегатный состав, определяемый по сумме водопрочных агрегатов >0,25 мм, является признаком, варьирующим в пространстве в небольшой и средней степени ($C_v=11-30\%$) (Колесник, 2018б).

5.2 Содержание и пространственное распределение агрохимических показателей агрочерноземов в условиях основной обработки

Кратковременное применение минимизации основной обработки под яровую пшеницу на агрочерноземах Красноярской лесостепи не оказало существенного влияния на содержание аммонийного азота (35-40 мг/кг) и дифференциацию слоя 0-20 см почвы по этому показателю ($C_v=16-28\%$). Перераспределение растительных остатков в пользу верхней части пахотного слоя в условиях минимальной обработки способствовало повышенному содержанию нитратного азота в слое 0-10 см (16 мг/кг; $p=0,03$). В слое 10-20 см его содержание убывало в ряду обработок минимальная (14 мг/кг) – отвальная (12 мг/кг) – нулевая (11 мг/кг). Высокая обеспеченность агрочерноземов подвижным фосфором и обменным калием с устойчивым характером распределения в пространстве сопровождалась потерями элементов питания (на 32-50 и 75-129 мг/кг соответственно) в условиях минимизации основной обработки с локализацией их в 0-10 см слое почвы (Кураченко, Колесник 2020).

5.3 Пространственное распределение гумусовых веществ в условиях основной обработки почвы и их участие в формировании агрегатного уровня структурной организации агрочерноземов

Агрочерноземы, имея высокую гумусированность, характеризуются отличиями в содержании гумусовых веществ и их пространственном варьировании на разных фонах основной обработки. Содержание Сгумуса в пахотном слое почвы убывает в ряду обработок: минимальная (4709 мгС/100г) – нулевая (4624 мгС/100г) – отвальная (4549 мгС/100г). В условиях вспашки коэффициент вариации по слоям 0-10 и 10-20 см не превышает 6%. Минимальная и нулевая обработки почвы, увеличивая содержание гумусовых веществ, способствуют усилению пространственной неоднородности показателя до $C_v=7-12\%$ (Колесник, 2017).

В условиях отвальной и нулевой обработок содержание водорастворимого углерода гумуса в агрочерноземах оценивается в 0-20 см слое почвы на близком уровне (37-35 мгС/100г; $C_v=8-20\%$). Нулевая обработка увеличивает вариабельность C_{H_2O} до 20 % в слое 10-20 см с широкими пределами варьирования от 28 до 54 мгС/100г в пределах поля.

Вещества, определяемые в щелочном гидролизате кислотой, в 0-20 см слое почвы снижаются на статистически значимом уровне в ряду обработок: нулевая (633 мгС/100г) – отвальная (572 мгС/100г) – минимальная (468 мгС/100г). Поверхностная локализация растительных остатков в условиях минимизации основной обработки определяет более высокую вариабельность щелочегидролизуемых гумусовых веществ в 0-10 см слое почвы ($C_v=21-24\%$).

Методом дискриминантного анализа показано, что концентрация углерода гумуса и щелочегидролизуемых соединений в его составе, в наибольшей степени зависит от приема обработки почвы ($p<0,0001$). Установлено, что поверхностная обработка дискатором образует изолированную подсистему и статистически отличается по содержанию Сгумуса и C_{NaOH} (Колесник, Кураченко, Хижняк, 2017).

Пополнение запасов Сгумуса сопровождается ростом щелочегидролизуемых соединений. В наибольшей степени эта закономерность проявляется на фоне нулевой обработки почвы ($r=0,93$). Минимизация обработки почвы изменяет структуру и запасы гумусовых веществ, определяет тенденцию увеличения доли стабильного гумуса до 89 % в условиях поверхностных минимальных обработок, подвижного гумуса до 15 %

на нулевом фоне, а также усиливает вариабельность гумусовых соединений в пространстве (Кураченко, Колесник, 2017).

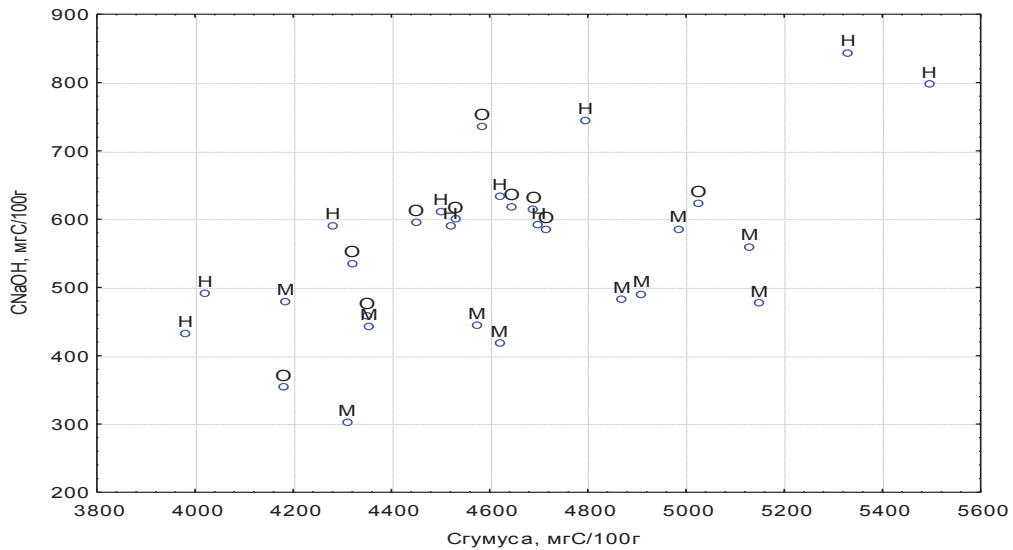


Рисунок 6 – Пространственное распределение $C_{\text{гумуса}}$ и C_{NaOH} в агрочерноземах: о – отвальная обработка, м – минимальная обработка, н – нулевая обработка

Глава 6. Влияние основной обработки на сезонную динамику структурного состояния и гумусовых веществ в агрочерноземах

6.1 Сезонная динамика структурного состояния агрочерноземов

Структурный анализ, выполненный в сезонной динамике, показал преобладание глыбистых >10 мм (20-37 %) и комковато-зернистых отдельностей размером 2-1 мм (12-27 %) (рис. 7). Нулевая обработка определяет повышение содержания глыбистых агрегатов в слое 0-40 см до 30-37 %, при одновременном снижении содержания агрегатов 2-1 мм до 12-17 %.

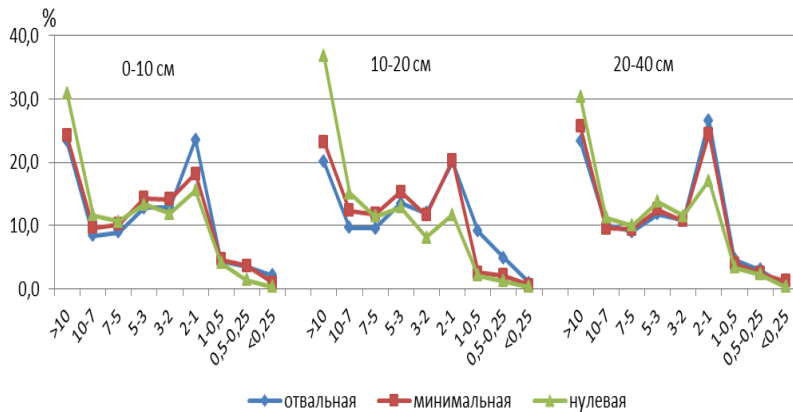


Рисунок 7 – Фракционный состав структуры агрочерноземов, % (n=18; 2017-2018 гг.)

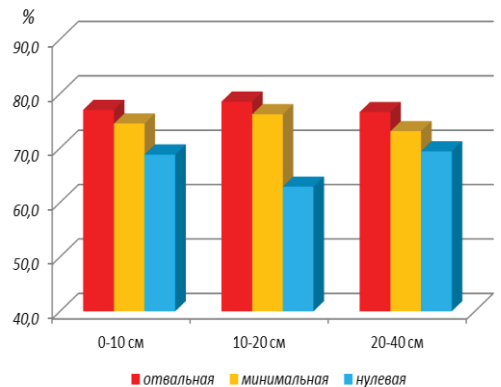


Рисунок 8 – Среднесезонное содержание агрономически ценных фракций в агрочерноземах, % (n=18; 2017-2018 гг.)

Отлично и хорошо оструктуренные агрочерноземы претерпевают небольшие и средние сезонные изменения в содержании фракций агрономически ценного размера ($C_v=5-28$ %). Оценка среднесезонной величины структурного состава агрочерноземов позволила установить следующий убывающий ряд обработок почвы: отвальная (77-79 %) > минимальная (73-76 %) > нулевая (63-69 %) (рис. 8). Наибольшая

дифференциация 0-20 см слоя по содержанию агрономически ценных агрегатов отмечена на фоне прямого посева (6 %) (Колесник, 2021).

Отлично и хорошо оструктуренные агрочерноземы претерпевают небольшие и средние сезонные изменения в содержании водоустойчивых агрегатов ($C_v=4-20\%$). Отвальная обработка формирует заметную водоустойчивость агрегатов размером 3-1, 1-0,5 и 0,5-0,25 мм (13-23 %) (рис. 9). В слое 10-20 см отмечается увеличение содержания фракций 0,5-0,25 мм до 23 %. В почвах, обработанных по почвозащитным технологиям, доминирующими являются агрегаты 3-1 мм, и их содержание по слоям оценивается на близком уровне (24-31 %) (Колесник, 2021).

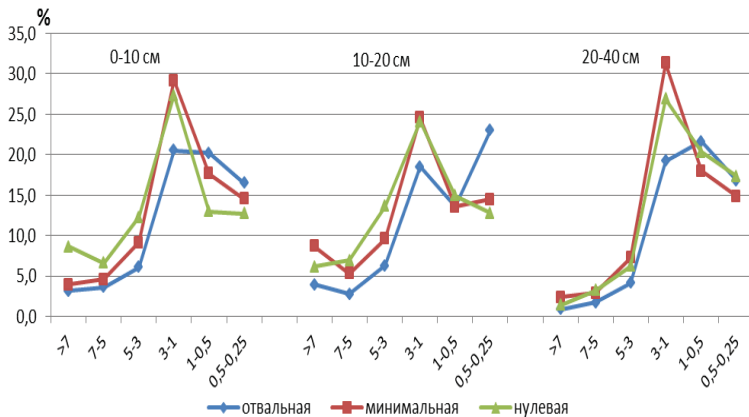


Рисунок 9 – Фракционный состав водопрочных агрегатов в агрочерноземах, % (n= 18; 2017-2018 гг.)

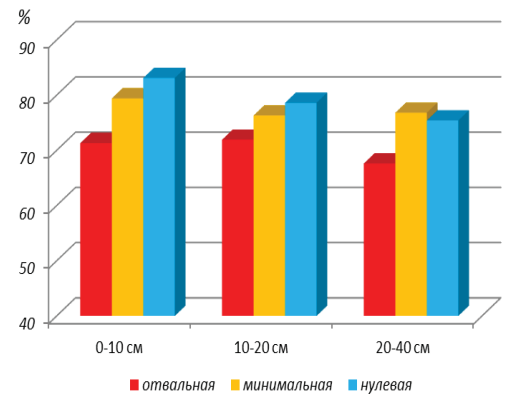


Рисунок 10 – Среднесезонное содержание водопрочных агрегатов в агрочерноземах, % (n= 18; 2017-2018 гг.)

Приемы основной обработки почвы по содержанию водопрочных агрегатов ранжируются в следующий ряд: нулевая (83-79 %) > минимальная (79-76 %) > отвальная (77-72 %) в слое 0-20 см; минимальная (77 %) > нулевая (75 %) > отвальная (68 %) в слое 20-40 см (рис. 10). Дифференциация 0-40 см слоя на фоне отвальной и нулевой обработок составляет 4-6 %.

6.2 Участие гумусовых веществ в формировании структурных и водопрочных агрегатов

В гумусе агрочерноземов преобладают соединения, составляющие фонд стабильного гумуса. В условиях отвальной и минимальной обработок они составляют 92-93 % от запасов Сгумуса в пахотном 0-20 см слое, нулевая обработка способствует снижению доли стабильного гумуса до 88 %. В подпахотном 20-40 см слое почвы на фоне минимальных технологий доля стабильного гумуса снижается до 88-89 %. Доля водорастворимых соединений невелика (1 %). Доминирующими являются щелочегидролизуемые соединения (10-11 %) (Колесник, Кураченко, 2022).

Прием обработки почвы определяет различное пополнение запасов углерода гумуса в агрочерноземах (табл. 2). Запасы Сгумуса в слое 0-40 см возрастают на фоне минимальной обработки, и достигают 139 тС/га, превышая отвальную и минимальную на 12 и 8 тС/га соответственно. По всем фонам обработки отмечается накопление Сгумуса в 0-20 см слое агрочерноземов. Наибольшая дифференциация 0-40 см слоя почвы установлена на фоне прямого посева. Разница между слоями 0-20 и 20-40 см достигает 12 тС/га. Наибольшие запасы водорастворимого углерода гумуса установлены на фоне почвозащитных технологий основной обработки без значительной дифференциации 0-40 см слоя (0,01-0,03 тС/га). Запасы C_{NaOH} на фоне вспашки в 0-40 см

слое почвы оцениваются на близком уровне (4,9 тС/га). Лучшие условия для накопления щелочегидролизующего углерода складываются в 0-20 см слое на фоне прямого посева (7,6 тС/га), и в 20-40 см слое при обработке пшеницы дискатором (7,4 тС/га).

Таблица 2 – Запасы гумусовых веществ в агрочерноземах по фонам основной обработки, тС/га (2017-2018 г., n=18)

| Компонент гумуса | Прием обработки / слой, см | | | | | | | | |
|-----------------------------------|----------------------------|-------|-------|-------------|-------|-------|---------|-------|-------|
| | отвальная | | | минимальная | | | нулевая | | |
| | 0-20 | 20-40 | 0-40 | 0-20 | 20-40 | 0-40 | 0-20 | 20-40 | 0-40 |
| Сгумуса | 64,9 | 62,4 | 127,3 | 71,7 | 67,2 | 138,9 | 71,1 | 59,4 | 130,5 |
| С _{H2O} | 0,52 | 0,53 | 1,05 | 0,62 | 0,65 | 1,27 | 0,64 | 0,64 | 1,28 |
| С _{NaOH} | 4,94 | 4,92 | 9,86 | 4,57 | 7,42 | 11,99 | 7,60 | 6,14 | 13,74 |
| С _{пов} | 5,46 | 5,45 | 10,91 | 5,19 | 8,07 | 13,26 | 8,24 | 6,78 | 15,02 |
| С _{стаб} | 59,4 | 57,0 | 116,4 | 66,5 | 59,1 | 125,6 | 62,9 | 52,6 | 115,5 |
| С _{ГК} | 1,41 | 1,17 | 2,58 | 2,01 | 2,81 | 4,82 | 2,90 | 2,40 | 5,30 |
| С _{ФК} | 3,53 | 3,74 | 7,27 | 4,45 | 4,62 | 9,07 | 4,70 | 3,74 | 8,44 |
| С _{ГК} / С _{ФК} | 0,40 | 0,31 | 0,35 | 0,45 | 0,61 | 0,53 | 0,62 | 0,64 | 0,63 |

Сезонные изменения структурно-агрегатного состава агрочерноземов в условиях вспашки и минимизации основной обработки достоверно определяются процессами превращения гумусовых веществ и динамикой подвижных компонентов гумуса. Согласно уравнениям регрессии, до 43-55 % изменчивости агрономически ценных фракций на вспашке статистически устойчиво связано с гумусовыми веществами (табл. 3). Достоверное участие гумусовых веществ в формировании водопрочной структуры установлено в слое 20-40 см на всех фонах обработки, а также в слое 0-20 см при прямом посеве. На вспашке содержание водопрочных агрегатов в значительной степени зависит от С_{H2O}. Водопрочные агрегаты, формирующиеся на фоне почвозащитных технологий основной обработки на 53-60%, зависят от новообразованных гумусовых соединений, извлекаемых 0,1 н раствором NaOH. При обработке почвы дискатором щелочегидролизующие соединения гумуса проявляют склеивающий эффект. Гуминовые кислоты подвижной части гумуса оказывают положительное влияние на формирование водопрочной структуры агрочерноземов при нулевом посеве пшеницы. В формировании агрономически ценных и водопрочных структур на фоне отвальной обработки принимают участие фульвокислотная фракция щелочегидролизующих соединений гумуса, а на фоне почвозащитных технологий – гуминовые кислоты. При обработке почвы дискатором в подпахотном 20-40 см слое в равной и значительной степени принимают участие и гуминовые и фульвокислоты.

ВЫВОДЫ

1. Агрочерноземы глинисто-иллювиальные типичные Красноярской лесостепи, доминирующие в почвенных комбинациях структуры почвенного покрова, и сопутствующие им агрочерноземы криогенно-мицелярные отличаются очень высоким и высоким содержанием гумуса (8-11 %), очень высокой суммой обменных оснований (53-62 ммоль/100г), нейтральной и слабощелочной реакцией среды (рН_{H2O} 6,5-7,9).

Таблица 3 – Уравнения регрессии содержания агрономически ценных фракций и водопрочных агрегатов в агрочерноземах

| Вариант | Отвальная обработка | Минимальная обработка | Нулевая обработка |
|----------------|---|---|--|
| АЦФ (0-20 см) | $= 51,51 + 8,68(C_{\text{гум}}) - 427,11(C_{\text{H}_2\text{O}}) + 14,27(C_{\text{NaOH}}) + 0(C_{\text{ГК}}) + 3,57(C_{\text{ФК}}),$ <p><i>при R=0,79, r²=0,55, p=0,024</i></p> | $= 46,99 + 9,58(C_{\text{гум}}) - 113,03(C_{\text{H}_2\text{O}}) - 18,72(C_{\text{NaOH}}) + 12,61(C_{\text{ГК}}) - 0(C_{\text{ФК}}),$ <p><i>при R=0,54, r²=0,29, p=0,320</i></p> | $= 37,98 + 30,24(C_{\text{гум}}) - 699,17(C_{\text{H}_2\text{O}}) - 239,10(C_{\text{NaOH}}) + 218,25(C_{\text{ГК}}) + 0(C_{\text{ФК}}),$ <p><i>при R=0,68, r²=0,46, p=0,067</i></p> |
| АЦФ (20-40 см) | $= 60,33 + 4,66(C_{\text{гум}}) + 152,35(C_{\text{H}_2\text{O}}) + 69,21(C_{\text{NaOH}}) + 0(C_{\text{ГК}}) - 20,78(C_{\text{ФК}}),$ <p><i>при R=0,65, r²=0,43, p=0,045</i></p> | $= 55,14 - 1,36(C_{\text{гум}}) + 330,74(C_{\text{H}_2\text{O}}) - 589,18(C_{\text{NaOH}}) + 655,46(C_{\text{ГК}}) + 592,20(C_{\text{ФК}}),$ <p><i>при R=0,65, r²=0,43, p=0,190</i></p> | $= 61,32 - 3,44(C_{\text{гум}}) + 295,90(C_{\text{H}_2\text{O}}) + 53,50(C_{\text{NaOH}}) - 68,96(C_{\text{ГК}}) + 0(C_{\text{ФК}}),$ <p><i>при R=0,33, r²=0,11, p=0,850</i></p> |
| ВА (0-20 см) | $= 65,40 + 8,23(C_{\text{гум}}) - 466,93(C_{\text{H}_2\text{O}}) + 47,08(C_{\text{NaOH}}) + 0(C_{\text{ГК}}) - 128,60(C_{\text{ФК}}),$ <p><i>при R=0,51, r²=0,26, p=0,380</i></p> | $= 88,53 + 4,75(C_{\text{гум}}) - 387,50(C_{\text{H}_2\text{O}}) - 46,77(C_{\text{NaOH}}) + 2,23(C_{\text{ГК}}) + 0(C_{\text{ФК}}),$ <p><i>при R=0,45, r²=0,20, p=0,550</i></p> | $= 67,18 - 2,41(C_{\text{гум}}) + 186,77(C_{\text{H}_2\text{O}}) + 67,28(C_{\text{NaOH}}) - 69,92(C_{\text{ГК}}) + 0(C_{\text{ФК}}),$ <p><i>при R=0,81, r²=0,66, p=0,004</i></p> |
| ВА (20-40 см) | $= 68,03 - 10,99(C_{\text{гум}}) - 414,91(C_{\text{H}_2\text{O}}) + 23,08(C_{\text{NaOH}}) + 0(C_{\text{ГК}}) + 263,22(C_{\text{ФК}}),$ <p><i>при R=0,75, r²=0,57, p=0,019</i></p> | $= 62,86 - 0,87(C_{\text{гум}}) + 147,35(C_{\text{H}_2\text{O}}) + 5664,88(C_{\text{NaOH}}) - 5720,52(C_{\text{ГК}}) - 5576,39(C_{\text{ФК}}),$ <p><i>при R=0,78, r²=0,60, p=0,031</i></p> | $= 59,62 + 8,68(C_{\text{гум}}) - 19,84(C_{\text{H}_2\text{O}}) - 46,52(C_{\text{NaOH}}) + 82,29(C_{\text{ГК}}) + 0(C_{\text{ФК}}),$ <p><i>при R=0,73, r²=0,53, p=0,031</i></p> |

R – коэффициент множественной регрессии (корреляции); r² – коэффициент множественной детерминации; p – уровень значимости уравнения регрессии; * – уравнения значимы (p<0,05).

2. Легкоглинистые крупно-пылевато-иловатые агрочерноземы с содержанием физической глины 60-65% характеризуются стабильностью минеральной массы в пространстве и отличаются хорошо выраженной микроагрегированностью. В составе почвы, обрабатываемой по различным технологиям, преобладают микроагрегаты размером $>0,01$ мм (84-89 %).

3. Обработка почвы плугом определила наибольшую устойчивость микроструктурных агрегатов, их однородное распределение в пространстве и дифференциацию 0-20 см слоя почвы. Изменение микроструктурной организации твердой фазы при минимизации основной обработки агрочерноземов сопровождается отсутствием дифференциации 0-20 см слоя по микроагрегатному составу, формированием тонких микроагрегатов $<0,05$ мм, абсолютным снижением доли истинных микроагрегатов $>0,05$ мм на 15 % на минимальном фоне и на 5 % на нулевом.

4. Почвы агроценоза пшеницы характеризуются отличной и хорошей оструктуренностью по содержанию агрономически ценных фракций (76-83%) и водоустойчивых агрегатов (62-67 %). Почвозащитные технологии основной обработки почвы, увеличивая содержание АЦФ на 6-7% определяют однородность 0-20 см слоя и устойчивость пространственного распределения агрегатов ($C_v=8-9$ %). Минимальная обработка почвы, повышая водоустойчивость агрегатов на 5 %, способствует дифференциации 0-20 см слоя и усилению пространственного варьирования водоустойчивых агрегатов в 0-10 см слое до 30 %.

5. Минимальная обработка почвы приводит к повышению содержания нитратного азота в 0-20 см слое агрочерноземов до 15 мг/кг и усилению пространственной неоднородности показателя ($C_v=25$ %). Минимизация основной обработки почвы определяет снижение содержания подвижного фосфора на 32-50 мг/кг, обменного калия на 74-128 мг/кг по сравнению с отвальной обработкой и локализацию элементов питания в слое 0-10 см с усилением варибельности показателей до 23-28 %.

6. Содержание и пространственное распределение гумусовых веществ в агрочерноземах определяется приемом основной обработки почвы. Запасы $S_{гумуса}$ в 0-20 см слое агрочерноземов достоверно возрастают на нулевом фоне (93 т/га), превышая отвальную и минимальную обработки на 7-9 т/га соответственно. По запасам подвижных гумусовых веществ приемы основной обработки распределяются в следующий убывающий ряд: нулевая (13 т/га) – отвальная (11 т/га) – минимальная (9 т/га). Обеспечение устойчивости запасов гумуса в условиях нулевой обработки определяется подвижными гумусовыми веществами ($r = 0,93$). Формирование структурной организации агрочерноземов в пространстве в условиях краткосрочного применения минимизации основной обработки почвы достоверно не сопряжено с гумусом и его подвижными компонентами.

7. Отлично и хорошо оструктуренные агрочерноземы претерпевают небольшие и средние сезонные изменения в содержании фракций агрономически ценного размера и водоустойчивых агрегатов ($C_v=4-28$ %). Минимальная и нулевая обработки, снижая содержание агрономически ценных фракций на 3-8 % и 6-15 % соответственно, увеличивают содержание водопрочных агрегатов на 3-15 %.

8. Обрабатываемые почвы Красноярской лесостепи характеризуются преобладанием стабильных соединений гумуса (88-93 %). Обработка агрочерноземов по почвозащитным технологиям способствует увеличению доли подвижных соединений за счет щелочегидролизуемых гумусовых веществ до 11-12 %.

9. Содержание и сезонная динамика углерода гумуса и его подвижных компонентов в агрочерноземах при возделывании яровой пшеницы по кукурузе зависит от приема основной обработки и погодных условий вегетационного сезона. Почвозащитные технологии способствуют пополнению запасов общего углерода гумуса до 131-139 тС/га и подвижного углерода гумуса до 13-15 тС/га в слое 0-40 см. Заделка растительных остатков в почву при обработке дискатором способствует локализации запасов подвижных компонентов гумуса в слое 20-40 см (8,1 тС/га).

10. Сезонные изменения агрофизических свойств агрочерноземов в условиях вспашки и минимизации основной обработки на 43-66 % сопряжены с процессами превращения гумусовых веществ и динамикой подвижных компонентов гумуса. Максимальный структурообразующий эффект гумусовых веществ при возделывании яровой пшеницы проявляется на нулевой обработке (53-66 %). В формировании агрономически ценных и водопрочных структур на фоне почвозащитных технологий принимают участие новообразованные гуминовые кислоты, а на фоне отвальной обработки – фульвокислотная фракция щелочегидролизуемых соединений гумуса.

**Основные положения диссертации опубликованы в работах:
Статьи, опубликованные в изданиях, рекомендованных ВАК РФ**

- 1) Кураченко, Н. Л. Структура и запасы гумусовых веществ агрочернозема в условиях основной обработки почвы / Н. Л. Кураченко, **А. А. Колесник** // Вестник КрасГАУ. – 2017. – № 9. – С. 149-157.
- 2) Кураченко, Н. Л. Микроагрегатный состав агрочерноземов Красноярской лесостепи в условиях различной основной обработки / Н. Л. Кураченко, **А. А. Колесник**, Е. С. Парченко // Агрофизика. – 2020. – № 2. – С. 14-20.
- 3) Кураченко, Н. Л. Содержание и пространственное распределение подвижных элементов питания агрочерноземов в зависимости от способов основной обработки почвы / Н. Л. Кураченко, **А. А. Колесник** // Агрохимия. – 2020. – № 7. – С. 11-16.

Другие публикации:

- 4) Кураченко, Н. Л. Современное состояние плодородия агрочерноземов Красноярской лесостепи как основа рационального землепользования / Н. Л. Кураченко, **А. А. Колесник**, Т. Н. Демьяненко // Вестник КрасГАУ. – 2021. – № 5. – С. 28-36.
- 5) Демьяненко, Т. Н. Оценка комплексности почвенного покрова агроландшафта Красноярской лесостепи / Т. Н. Демьяненко, Н. Л. Кураченко, **А. А. Колесник** // Вестн. КрасГАУ. – 2021. – № 6 (171). – С. 33-38.
- 6) **Колесник, А.А.** Пространственное распределение общего и водорастворимого гумуса в агрочерноземах Красноярской лесостепи при минимизации основной обработки / **А. А. Колесник** // Инновационные тенденции развития российской науки : мат. X Межд. научн.-практ. конф. мол. уч., посв. году экологии и 65-летию Красноярского ГАУ (Красноярск, 22–23 марта 2017 г.).– Красноярск : Изд-во Красноярского ГАУ, 2017. – Ч. I. – С. 38-40.
- 7) **Колесник, А.А.** Ресурсосберегающие технологии основной обработки как фактор пространственной неоднородности органического вещества черноземов Красноярской лесостепи / **А. А. Колесник**, Н. Л. Кураченко, С. В. Хижняк // Проблемы истории, методологии и социологии почвоведения : Мат. III Всерос. научн.

конф. с межд. уч. (15-17 ноября 2017г.). – Пушино : Товарищество научных изданий КМК. –2017. – С. 260-262.

8) **Колесник, А. А.** Пространственное распределение структурного состава чернозема при минимизации основной обработки / А. А. Колесник, А. И. Ранцев, С. С. Беляев // Экологические альтернативы в сельском и лесном хозяйстве : сб. науч. ст. аспирантов и магистрантов. Вып. 7.– Красноярск : Краснояр. гос. аграр. ун-т, 2018. – С. 41-51.

9) **Колесник, А. А.** Пространственное распределение водопрочных агрегатов в черноземе при минимизации основной обработки / А. А. Колесник // Почвенно-экологические процессы в естественных и антропогенно-преобразованных ландшафтах Сибири и Дальнего Востока : мат. II Всерос. научн.-практ. конф. молодых ученых (25-27 апреля 2018г.). – Красноярск : Изд-во Красноярского ГАУ, 2018а. – С. 109-114.

10) **Колесник, А. А.** Гумусовые вещества в пространственном распределении структурных и водопрочных агрегатов чернозема в условиях основной обработки / А. А. Колесник // Инновационные тенденции развития Российской науки : мат. XI Межд. научн.-практ. конф. мол. уч. (10-11 апреля 2018 г.). – Красноярск : Изд-во Красноярского ГАУ, 2018б. – С. 32-36.

11) Кураченко, Н. Л. Внутрипольная вариабельность показателей плодородия агрочерноземов Красноярской лесостепи в условиях основной обработки / Н. Л. Кураченко, **А. А. Колесник** // Региональные системы комплексного дистанционного зондирования агроландшафтов : мат. 2 Всерос. научн.-практ. семинара (14 февраля 2019г.). – Красноярск : Изд-во ИФ ФИЦ КНЦ СО РАН, 2019. – С. 50-55.

12) **Колесник, А.А.** Агрегатное состояние агрочерноземов Красноярской лесостепи в агроценозе яровой пшеницы в условиях основной обработки / А. А. Колесник // Научно-практические аспекты развития АПК: мат. нац. научн. конф. (12 ноября 2021 г.). – Красноярск : Изд-во Красноярского ГАУ, 2021. – С. 117-120.

13) **Колесник, А. А.** Гумусное состояние агрочерноземов Красноярской лесостепи в условиях ресурсосберегающих технологий основной обработки / А. А. Колесник, Н. Л. Кураченко // Почвенные ресурсы и их рациональное использование : мат. Всерос. научн.-практ. конф., посв. 100-летию со дня рождения д.с.-х.н., проф. Петра Семёновича Бугакова, (Красноярск, 22 апреля 2022 г.). – Красноярск : Изд-во Красноярского ГАУ, 2022. – С. 92-96.

Подписано в печать 21.08.2023 г.

Печать лазерная.

Бумага офсетная. Формат 60x84 1/16.

Усл. печ. 1,0 л.

Тираж 100 экз. Заказ №03090.

Отпечатано в типографии «Точка»

ИП Рязанов Роман Александрович

660077, Красноярский край, г.

Красноярск, ул. Весны, 7

Тел. 8 913 580 08 22