Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«КРАСНОЯРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АГРАРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

На правах рукописи

КОЛЕСНИК Алена Андреевна

СТРУКТУРНОЕ И ГУМУСНОЕ СОСТОЯНИЕ АГРОЧЕРНОЗЕМОВ КРАСНОЯРСКОЙ ЛЕСОСТЕПИ ПРИ МИНИМИЗАЦИИ ОСНОВНОЙ ОБРАБОТКИ

1.5.19 – почвоведение

Диссертация на соискание ученой степени

кандидата биологических наук

Научный руководитель:

Доктор биологических наук,
профессор
Кураченко Наталья Леонидовна

Красноярск – 2023

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ 3
Глава 1. ОРГАНИЧЕСКОЕ ВЕЩЕСТВО И СТРУКТУРНАЯ ОРГАНИЗАЦИЯ ПОЧВ 8
1.1 Структурно-агрегатный уровень организации почв 8
1.2 Роль органического вещества в формировании почвенной структуры 10
1.3 Минимизация основной обработки в формировании структурного состояния почв 17
Глава 2. ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ И ОСОБЕННОСТИ ПОЧВООБРАЗОВАНИЯ В КРАСНОЯРСКОЙ ЛЕСОСТЕПИ 23
2.1 Экологические условия почвообразования 23
2.2 Почвенный покров и его особенности 28
Глава 3. ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ 33
3.1 Объекты исследований 33
3.2 Методы исследований 35
3.3 Погодные условия в годы проведения исследований 36
Глава 4. МОРФОГЕНЕТИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА АГРОЧЕРНОЗЕМОВ КРАСНОЯРСКОЙ ЛЕСОСТЕПИ 39
4.1 Морфологические особенности почв 39
4.2 Химические и физико-химические свойства 49
Глава 5. ВЛИЯНИЕ ОСНОВНОЙ ОБРАБОТКИ НА ПРОСТРАНСТВЕННУЮ ИЗМЕНЧИВОСТЬ СВОЙСТВ АГРОЧЕРНОЗЕМОВ 55
5.1 Пространственная неоднородность агрегатного уровня структурной организации агрочерноземов 56
5.2 Содержание и пространственное распределение агрохимических показателей агрочерноземов в условиях основной обработки 73
5.3 Пространственное распределение гумусовых веществ в условиях основной обработки почвы и их участие в формировании агрегатного уровня структурной организации агрочерноземов 80
Глава 6. ВЛИЯНИЕ ОСНОВНОЙ ОБРАБОТКИ НА СЕЗОННУЮ ДИНАМИКУ СТРУКТУРНОГО СОСТОЯНИЯ И ГУМУСОВЫХ ВЕЩЕСТВ В АГРОЧЕРНОЗЕМАХ 97
6.1 Сезонная динамика структурного состояния агрочерноземов 98
6.2 Участие гумусовых веществ в формировании структурных и водопрочных агрегатов 108
ВЫВОДЫ 121
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ 124
ПРИЛОЖЕНИЯ 158

ВВЕДЕНИЕ

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: X, XI, XII, XIV Международных научно-практических конференциях молодых ученых «Инновационные тенденции развития Российской науки» (Красноярск, 2017; 2018; 2019; 2021); III Всероссийской научной конференции с международным участием «Проблемы истории, методологии и социологии почвоведения» (Пущино, 2017); II Всероссийской научно-практической конференции молодых ученых «Почвенно-экологические процессы в естественных и антропогенно-преобразованных ландшафтах Сибири и Дальнего Востока» (Красноярск, 2018); II Международной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых «Социально-экологические проблемы Байкальского региона и сопредельных территорий», посвященной 100-летию высшего биологического образования в Восточной Сибири (Иркутск, 2019); II Всероссийском научно-практическом семинаре «Региональные системы комплексного дистанционного зондирования агроландшафтов» (Красноярск, 2019); Международной научной конференции «Современные проблемы биологии, экологии и почвоведения», посвященной 100-летию высшего биологического образования в Восточной Сибири (Иркутск, 2019); Всероссийской (национальной) научно-практической конференции «Актуальные направления развития АПК», посвященной 90-летию со дня рождения профессора д.с.-х.н., заслуженного агронома РСФСР Юриной Анны Васильевны (Екатеринбург, 2019); Национальной научной конференции «Научно-практические аспекты развития АПК» (Красноярск, 2021, 2022); XVII международной научно-практической конференции «Аграрная наука – сельскому хозяйству» (Барнаул, 2022), Всероссийской научно-практической конференции «Почвенные ресурсы и их рациональное использование», посвященной 100-летию со дня рождения д. с.-х.н., профессора Бугакова Петра Семёновича (Красноярск, 2022). 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

1.1 Структурно-агрегатный уровень организации почв

Почва – достояние человечества, и главное условие жизни растений, животных и микроорганизмов, которые обитают на суше земного шара.

Почва представляет собой систему с многоуровневой структурной организацией, которая является результатом вековых процессов почвообразования. Учение о почвенной структуре и ее роли в плодородии почв широко представлено в классических трудах (Докучаев, 1949; Вильямс, 1951; Костычев, 1951; Вершинин, 1959; Качинский, 1970; Ревут, 1972).

Различают морфологическое и агрономическое понятия структуры почвы (Emerson, 1967; Low, 1973; Воронин, 1986; Kay, 1999). В морфологическом понимании структура – это форма агрегатов (ореховатая, призматическая, пластинчатая, столбчатая и др.), формирование которых тесно связано с условиями образования данного почвенного покрова. Агрономически ценной является структура, обеспечивающая плодородие почвы. Качинский Н.А. (1958) отмечает, что оптимальные уровни водного, воздушного и питательного режимов создаются в почвах, обладающих зернистой и мелкокомковатой структурой.

Большое внимание в литературе уделяется выявлению значения размеров агрегатов почвы для развития сельскохозяйственных культур. Почвенную структуру по размерам агрегатов разделяют на макроструктуру или глыбистую (>10 мм), мезоструктуру или комковато-зернистую (10-0,25 мм), микроструктуру (<0,25 мм). Условно принято, что агрономически ценной является мезоструктура (Гедройц, 1955; Вершинин, 1958; Edwards, Bremner, 1967; Ревут, 1972).

Ворониным А.Д. (1986) и Розановым Б.Г. (1983) были выделены иерархические уровни структурной организации почв: молекулярно-ионный, элементарных почвенных частиц (ЭПЧ), агрегатный, горизонтный и уровень почвенного покрова.

Элементарные почвенные частицы (ЭПЧ) представляют собой обломки пород и минералов, а также аморфные соединения, элементы которых находятся в химической взаимосвязи и не поддаются общепринятым методам пептизации, которые применяются при подготовке почв к гранулометрическому анализу. Они представлены компонентами неорганической, органической и органоминеральной природы и образуются в результате физического, химического и биологического выветривания, а также как следствие взаимодействия продуктов выветривания. Величина и свойства поверхностей – основные характеристики ЭПЧ; их размер составляет от 3 до 10^{-4}–10^{-5} мм. Относительное содержание различных фракций ЭПЧ в почве определяет ее гранулометрический состав. На молекулярно-ионном уровне и элементарных почвенных частиц протекают химические, биологические, физико-химические и другие реакции и процессы, которые приводят к формированию гумуса, органоминеральных и минерально-органических соединений, являющихся специфическими компонентами почвы. При взаимодействии друг с другом эти вещества создают агрегатный уровень.

Различают механическую устойчивость и водоустойчивость агрегатов (Кураченко, 1997). Механическая устойчивость представляет собой способность агрегатов противостоять сжатию (раздавливанию) или размыву (расклеиванию). Под водоустойчивостью почвенных агрегатов понимают их способность сопротивляться размывающему и деформирующему действию воды (Вильямс, 1935; Гедройц, 1955).

Агрономическая роль почвенной структуры велика, так как является одним из важнейших факторов плодородия. В структурной почве создаются оптимальные условия водного, воздушного и теплового режимов. Это обуславливает развитие деятельности микроорганизмов, мобилизацию и доступность питательных веществ для растений (Дубовик, 2004; Матыченков, 2004). Структурная почва способна в достаточном количестве накапливать воду, вследствие высокой водопроницаемости, которая обусловлена повышенной капиллярной скважностью (Ревут, 1972). Большое значение почвенная структура оказывает на диффузию газов, что определяет воздухоемкость и

воздухопроницаемость почвы, которые обеспечивают передвижение газов. Структурная почва имеет хорошие тепловые свойства. Создаются благоприятные условия для развития микроорганизмов, полезных для роста растений. В такой почве легче выветривается минеральная часть и высвобождаются питательные вещества. На поверхности комочков лучше располагаются растительные и животные остатки, а на внутренней, менее проветриваемой части комочков, накапливается нейтральный, высококачественный гумус (Качинский, 1970).

Ранее было подтверждено положение о том, что основные элементы питания законсервированы в органической форме в почвенных комках и при разрушении структуры усиливается мобилизация неподвижного потенциального богатства почвы (Францессон, 1956). В связи с этим можно считать верным высказывание В.Р. Вильямса (1951) о том, что каждый комок служит сберегательной кассой, которая мешает почве сразу растратить все свои богатства. По мере расходования растением элементов пищи с поверхности комка, оно находит новые количества пищи, но запас в почве сохраняется, ибо не растрачивается впустую.

Из вышесказанного следует, что хорошо оструктуренная почва лучше накапливает и сохраняет влагу, обеспечивает хороший газообмен между почвой и воздухом, что является необходимым для жизнедеятельности микроорганизмов и нормального роста растений. Структура почвы является ее главным свойством как с производственной и агрономической, так и с экологической и биосферной точек зрения.

1.2 Роль органического вещества в формировании почвенной структуры

Структурно-агрегатный состав почвы является важнейшим показателем плодородия, как динамической системы взаимосвязанных параметров. Почвенный агрегат можно рассматривать как объект, который аккумулирует результат большого количества почвообразовательных процессов.

Развитие структуры почвы, которая будет благоприятна для стабильности экосистемы – это медленный, сложный процесс, на который оказывает влияние ряд физических, химических и биологических факторов. К ним можно отнести циклы увлажнения и высыхания, замерзания и оттаивания, физические эффекты от роста корневой системы растений и почвенной фауны, взаимодействия между сорбированными катионами и заряженными коллоидальными частицами, вспашка и мелиорация, деятельность микроорганизмов, разложение органического вещества, хозяйственная деятельность человека (Alderfer, 1942; Segui, 1978; Abiven, 2008; Хан, 2012; Johannes et all, 2017;).

Тюлин А.Ф. (1946) считал, что цементом при образовании почвенных агрегатов выступает органическое вещество и полуторные оксиды. Докучаев В.В. (1949) и Костычев П.А. (1951) отмечали, что в образовании почвенной структуры активная роль принадлежит органическому веществу и глине. Вильямс Р.В. (1951) показал, что фактором, склеивающим механические элементы в структурные отдельности, является перегной, который осаждается ионом кальция, придающим ему прочность и устойчивость. Кононова М.М. (1963) установила роль гумусовых веществ в создании агрономически ценной структуры.

Агрегаты образуются в результате взаимодействия элементарных почвенных частиц (ЭПЧ) между собой в процессе почвообразования. ЭПЧ и микроагрегаты при взаимодействии между собой образуют макроагрегаты.

Существует две основных теории механизмов образования макроструктурных (>0,25 мм) компонентов почв среднего и тяжелого гранулометрического состава (Медведев, 1994). По одной из них, образование агрегатов есть сложный комплекс процессов последовательного вовлечения и закрепления механических элементов в микро-, а затем и макроагрегатах, который сопровождается существенной дифференциацией порового пространства и других свойств по мере увеличения размера агрегатов. По другой теории – макроагрегат рассматривается как результат действия процессов слипания первичных элементов, а затем дробления образовавшейся массы за счет увлажнения-высушивания, замерзания-оттаивания, корневой деятельности и

других физических воздействий (эта теория характерна для макроагрегатов размером более 5 мм). Сторонниками первой теории были Гедройц К.К. (1975), Качинский Н.А. (1958), Соколовский А.Н. За вторую теорию выступали Вильямс В.Р., Коссович П.С., Набоких А.М., Никифоров Н.Н., Сахаров С.А. и др. (Медведев, 1994).

В настоящее время считается, что ведущая роль в создании, поддержании, восстановлении агрегатной структуры почв принадлежит органическому веществу, причем не столько его количеству, сколько особенностям его свойств и характеристик, а также структуре связанного с ним микробного сообщества. Шеин Е.В. с соавторами предложил и экспериментально подтвердил гипотезу формирования агрегатной структуры черноземных почв на основе физико-химических механизмов агрегирования почв за счет амфифильных свойств органического вещества черноземов (Карточка проекта …, 2014). По данной гипотезе, роль веществ, которые сорбируются на твердой минеральной поверхности, выполняют гидрофильные компоненты органического вещества, а соединения между минеральными частицами с сорбированными гидрофильными компонентами осуществляется гидрофобными компонентами гумусовых веществ. Авторами была рассмотрена концептуальная модель водоустойчивости почвенных агрегатов, которая связана с соотношением гидрофильных и гидрофобных компонентов органического вещества и их пространственной локализацией. Установлено, что водоустойчивые свойства агрегата обусловлены совместным действием гумусовых веществ, гидрофобизирующих поверхность минеральной матрицы и обособленных в микрозоны неполярных молекул, стохастически распределенных в объеме агрегата (Верховцева и др., 2014; Милановский, Шеин, 2014; Милановский и др., 2014; Умарова, Шеин, 2014; Федотов и др., 2014).

Хан К.Ю. (2019) на основании анализа теоретических представлений и экспериментальных данных о механизме водоустойчивости установил, что агрегатная структура почв состоит из трех различных подуровней организации почвенного вещества:

1) агрегирование ЭПЧ в микроагрегаты, в основном за счет кристаллизационно-фазовых и коагуляционных контактов; связывание высокодисперсных частиц происходит с образованием микроагрегатов <100 мкм, которые характеризуются высокой водоустойчивостью и механической прочностью (PW > 70 кПа);

2) образование «ядра» (100-3000 мкм) из почвенных микроагрегатов за счет трансформации органического вещества почвы, ответственного за формирование фазовых контактов из «гумусовых мостиков» (водопрочность такого «ядра» PW > 20 кПа);

3) образование макроагрегатов 0,25-10 мм из «ядер» за счет коагуляционных и переходных контактов гидрофобного характера (PW ≤ 20 кПа).

Существенную роль в агрегировании ЭПЧ играют процессы цементации (Воронин, 1984). В качестве цементов в почвах могут выступать скоагулированные глинистые минералы или их комплексы с гумусовыми веществами, полуторные оксиды или их комплексы с гумусовыми веществами, карбонаты кальция и магния. Макроагрегаты представляют собой фрагменты почвенной массы, которые обособились в процессе периодического иссушения и увлажнения.

Фомин Д.С. с соавторами (2016) и Юдина А.В. с соавторами (2016) при изучении микростроения гумусового горизонта чернозема по трансекте пашня (под пшеницей) – лесополоса (дуб) – черный пар, установили значительные различия в физических свойствах, связанных со спецификой почвообразовательных процессов чернозема типичного и влияния антропогенных факторов. В нарушенных (пахотных) почвах было отмечено уменьшение содержания органического вещества за счет усиления минерализационных процессов и постоянного антропогенного воздействия, а также обнаружена тесная связь между содержанием органического вещества и содержанием агрегатов оптимального размера (1-5 мм). Было установлено, что устойчивость структуры к нагрузкам и водоудерживающая способность черноземов определяются

содержанием органического вещества, его протекторной ролью при повышенных механических нагрузках (Фомин и др., 2016; Юдина и др, 2016).

Хан К.Ю. (2012) установил, что с повышением содержания гумуса, поглощенных оснований и физической глины, увеличивается прочность структуры водоустойчивых агрегатов, которая определяется прочностью водоустойчивого каркаса, образованного путем сцепления друг с другом высокодисперсных органо-глинистых частиц, а также прочностью агрегированных водоустойчивых частиц, которые связаны с каркасом в почвенных агрегатах.

Различают формирование структуры с участием цементирующих агентов и без их участия (Segui, 1978). В отсутствие цементирующих агентов формирование структуры подразумевает участие только грубого материала и текстурных почвенных компонентов. По мнению некоторых авторов, роль этих компонентов часто не учитывается, хотя они играют исключительно важную роль в почвенной структуре (Marshall, 1962; Fies, 1978). Грубый материал и песок заметно, и не редко в положительную сторону, влияют на соотношение между твердой, газообразной и жидкой фазами почвы.

Многими учеными неоднократно предпринимались попытки установить прямую зависимость между количеством, размерами почвенных агрегатов и содержанием в них гумусовых веществ. Убедительных результатов получено не было. Это дало основание сделать заключение о том, что в образовании почвенных агрегатов решающую роль играет не столько количественное содержание гумуса, сколько его качественный состав (Monnier, 1965; Bolt, 1972; Jacguin, 1978; Tiessen, 1986; Piccolo, 1989; Haynes, 1990, 2000; Golchin, 1994; Puget, 1995; Jastrow, 1996; Garcia-Oliva, 2004). Сорочкин В.М. с соавторами (1990) установили, что формирование агрономически оптимальных структур в пахотных черноземах обуславливается преимущественно фульвокислотной фракцией лабильной части гумуса. Вильямс В.Р. (1935) при решении вопроса о генезисе структуры установил ведущую роль «активного» гумуса в образовании агрономически ценной макроструктуры. По его мнению, прочность агрегатов

обуславливается действием ульминовой кислоты, которая синтезируется анаэробными бактериями при разложении травянистой растительности в дерновый период почвообразования (Вильямс, 1935). К.И. Рудаков (1951) в своих исследованиях выяснил, что «активный» перегной представляется продуктом взаимодействия уроновых кислот с протеинами, которые формируются в клетках протопектиназных бактерий, откуда он поступает в почвенную толщу и склеивает ее частицы.

Кузнецова И.В. (1994) высказала предположение, что большая часть макроагрегатов образуется за счет участия свободных и подвижных форм органических веществ, а меньшая и наиболее водопрочная – за счет прочносвязанных с минеральной частью почвы органических веществ. По мнению Матюсенко Н.П. и Дубовик Е.В. (2002), водопрочность агрегатов наиболее тесно связана с содержанием в почве негумифицированного органического вещества, гумуса и инертного гумуса. Анализ данных, полученных в результате экспериментов Tisdall J.M. и Oades J.M. (1982) показал, что специфические органические вещества, которые участвуют в объединении частиц в агрегаты, являются частично продуктами жизнедеятельности биологического сообщества почвы и до некоторой степени подвержены биодеградации. На роль этих веществ предлагались разные соединения, но только гуминовые кислоты и полисахариды органического вещества в наибольшей степени влияют на агрегирование почвы (Tisdall, Oades, 1982).

Chaney K. и Swift R.S. (1984) обнаружили значительные корреляции между устойчивостью агрегатов и содержанием различных фракций органического вещества, и общим содержанием азота, что подтверждает выводы о том, что быстроразлагающееся органическое вещество имеет важное значение для устойчивости агрегатов, так как основная часть органического азота почвы быстро метаболизируется почвенными микроорганизмами.

Гумус в качестве агрегирующего вещества может выступать как самостоятельно, так и в виде гуматов (кальция, натрия, железа и алюминия) (Розанов, 1983; Tamrat et all., 2019). Giovannini G., Segui (P. 1976), Hamblin A.P.,

Greenland D.J. (1977) установили, что железо и алюминий образуют мостики между глинистыми минералами и гумусовыми веществами. Moon C.F. (1979), Bohne H. (1983), Khawagi W. с соавторами (1984), установили роль кальция в цементации и устойчивости почвенных частиц. Пугачев Е.В. и Полякова Н.В. (2004) показали, что среди органического вещества на образование структуры особое влияние оказывают гумус, углеводные компоненты и легкогидролизуемое органическое вещество. Травникова Л.С. с соавторами (2006) подтвердили гипотезу, которая связывает механизмы формирования и устойчивости микроагрегатов с пространственным и временным распределением органического вещества почв.

Кураченко Н.Л., исследуя черноземы, установила, что взаимосвязь системы «почвенная структура – гумусовые вещества» носит нелинейный характер. Ею подтверждена роль подвижных гумусовых соединений в процессах возникновения, развития, стабилизации и деградации структурных элементов в почвенных агрегатах (Кураченко, 2012). По мнению Ефремовой Т.Т., в структурообразовании торфяных почв под лесом принадлежит органоминеральным комплексам, которые извлекаются 0,1 н раствором гидроокиси натрия (1990).

Таким образом, образование почвенной структуры – это сложный физико-химический процесс, который обусловлен действием ряда факторов. Из большого количества опубликованных работ можно заключить, что одни исследователи отводят главенствующую роль веществам клеящей природы (химическим свойствам почвы) (Кузнецова, 1994), другие – физическим (гранулометрический состав, число илистых и коллоидных частиц) (Fies, 1978). Гумусовые вещества признаются основным клеящим материалом, который соединяет почвенные частицы и водопрочные агрегаты. Агрегаты, которые образуются без участия органического вещества за счет прилипания минеральных частиц друг к другу, не обладают водопрочностью. Удаление органического вещества из почвенных агрегатов приводит к почти полной потере ими водопрочных свойств (Кузнецова, 1966; Жуков, Попов, 1988). Восстановление почвенной структуры также

происходит под влиянием гумусовых веществ. Однако их участие в образовании агрономически ценной и водопрочной структуры еще недостаточно изучено и оценивается неоднозначно. В настоящее время продолжаются исследования по поиску компонентов гумусовых веществ, которые отвечают за структурообразование.

1.3 Минимизация основной обработки в формировании структурного состояния почв

Обработка почвы – это наиболее быстрый и эффективный способ придания оптимальной структуры пахотному слою (Кураченко, Лелякова, 2013). В интенсивном земледелии значение обработки почвы в первую очередь определяется тем, насколько успешно с ее помощью решаются задачи по созданию оптимальных условий для роста и развития возделываемых культур. За счет обработки почвы можно формировать до 25% урожая. В то же время это один из самых трудоемких агротехнологических приемов. Вне зависимости от почвенно-климатических условий даже самые развитые страны вынуждены вкладывать значительные средства в развитие сельского хозяйства.

В традиционной системе земледелия основная обработка почвы производится плугом, который полностью переворачивает и сильно рыхлит почву. Многочисленные проходы сельскохозяйственных машин по полю оказывают повышенную нагрузку на почву, что приводит к ее уплотнению, уменьшению инфильтрации влаги и увеличению смыва верхнего слоя (Бондарев, 1990).

На территории России находится около 10% всех пахотных земель мира, большая часть которых лежит в зоне рискованного земледелия. На больших пространствах земледельческих территорий урожайность сильно колеблется в зависимости от погодных условий. В результате ветровой и водной эрозии практически исчезли сверхмощные сильно гумусированные черноземы (Акимов и др., 2009). Этому способствует вспашка, которая усиливает биологическое

разложение гумуса. По мнению Рябова Е.И. (1990), в период экстенсивного земледелия произошло значительное сокращение запасов гумуса. Минимизация обработки почвы один из основных элементов борьбы с почвенной эрозией. Она позволяет на 50-90% сократить потери почвы от эрозии, и способствует накоплению влаги и более экономному ее использованию (Трушин, Крылов, 1990). Поэтому в настоящее время минимизация обработки почв при применении почвозащитных мероприятий является одним из ведущих направлений в области развития теории и практики обработки почвы (Кравченко, 2012).

Система сберегающего земледелия представляет собой долгосрочную стратегию менеджмента каждого хозяйства, которая предполагает возможность повышения эффективности производства при одновременном снижении затрат и минимизации ущерба окружающей среде посредством применения ресурсосберегающих технологий и точного земледелия (Методика проектирования …, 2010).

В системе сберегающего земледелия снижение затрат обеспечивается за счет: внедрения элементов точного земледелия при помощи специальной аппаратуры; методов, которые уменьшают количество вносимых минеральных удобрений и средств защиты растений; использования в севообороте бобовых культур (которые позволяют сэкономить значительное количество азотных удобрений), культур с глубоко проникающими в землю корнями (рапс) – это позволяет минимизировать проблему плужной подошвы и улучшить структуру почвы без механических обработок; крестоцветных культур (улучшение фитосанитарного состояния почв) (Методика проектирования …, 2010).

В последние десятилетия в мире получило широкое распространение ресурсосберегающее земледелие, в том числе по системе No-Till (прямой посев, без обработки) (Хусайнов, Хамурзаев, 2015). При ее разработке большое внимание уделяется оптимизации производственных процессов. В итоге растениеводство становится управляемым, прогнозируемым и экономически эффективным. В условиях технологии No-Till на поверхности почвы формируется покрытие, которое защищает от водной и ветровой эрозии, обеспечивает

сохранение влаги, препятствует произрастанию сорной растительности, стимулирует активизацию почвенной микрофлоры, а так же является базой для возобновления плодородного слоя и повышения урожайности культур. Особое внимание в системе прямого посева уделяется севообороту. Рекомендуется подбирать культуры в севообороте под конкретное хозяйство (Черкасов и др., 2010).

В агропочвоведении считается, что именно физические свойства почв являются лимитирующим фактором, как для развития сельскохозяйственных культур, так и для успешного применения агрохимических, мелиоративных и других почвоулучшающих мероприятий (Копысов, 2009). Однако в литературе нет единого мнения о влиянии различных систем обработки почвы в севообороте на водно-физические свойства и водный режим почвы. Тем не менее, во многих работах отмечается положительное влияние замены отвальной обработки на плоскорезную минимальную. Гаврилов А.М., Левкин В.Н., Телитченко Н.И. (2006) доказали, что в годы с достаточной влагообеспеченностью при безотвальной поверхностной обработке светло-каштановых почв возможно значительное улучшение их агрофизических свойств. В верхнем слое почвы наблюдается более низкая плотность сложения при поверхностной обработке почвы. Это связано с заделкой значительного количества измельченных растительных остатков предшественника, что приводит к снижению физического испарения влаги и созданию амортизирующего эффекта, а также предохранению почвы от переуплотнения и деформации.

Еремин Д.И. с соавторами (2009) в длительном полевом опыте установили ухудшение структурного состояния пахотного слоя чернозема на варианте с отвальной обработкой, обусловленное вовлечением почвы с меньшим содержанием гумуса с более глубокого слоя (20-30 см). Безотвальное рыхление и дифференцированная обработка не оказали существенного влияния на структурно-агрегатный состав пахотного чернозема. Переход на прямой посев за 14 лет увеличил содержание агрегатов агрономически ценного размера до 73%, что объясняется минимальным воздействием на почву рабочими органами машин.

Рзаева В.В. и Еремин Д.И. (2010) отмечали, что все системы основной обработки, кроме дифференцированной, приводят к ухудшению водопрочности почвенных агрегатов в пахотном слое выщелоченного чернозема, но по разным причинам. На отвальной обработке происходит перемешивание пахотного слоя, перемещение растительных остатков вглубь, что приводит к улучшению процессов гумификации, повышению аэрации верхнего слоя, и способствует увеличению активности почвенной микрофлоры. Безотвальная и нулевая обработки определяют дифференциацию пахотного слоя и снижение водопрочности почвенных агрегатов. Концентрация растительных остатков на поверхности, где они минерализуются, не способствует накоплению гумуса в верхнем десятисантиметровом слое.

Кирюшин В.И., Лебедева И.Н. (1972) в исследованиях, проведенных на черноземе южном Западной Сибири и Северного Казахстана, установили, что сокращение глубины и частоты механической обработки (минимизация основной обработки) способствует существенному сокращению потерь гумуса вследствие снижения интенсивности эрозионных процессов и минерализации органического вещества (Концепция …, 1993). К подобному выводу так же пришли Холмов В.Г. и Юшкевич Л.В. (2006). Они отметили, что темпы потери запасов гумуса в пахотном слое черноземов выщелоченных в 1,5-2 раза слабее в условиях минимизации обработок, по сравнению со вспашкой.

По данным Глухих М.А. (2003), не выявлено существенных различий в содержании гумуса в 0-30 см слое чернозема выщелоченного в зависимости от системы обработки (отвальная, безотвальная, плоскорезная, минимальная). Абрамов Н.В. и Еремин Д.И. (2012) установили, что длительное использование вспашки приводит к уменьшению мощности гумусового горизонта по сравнению с целиной на 14%; при этом верхняя часть гумусового горизонта полностью теряет зернистую структуру, которая характерна для целинных аналогов, и становится крупно-комковатой с признаками глыбистости. Использование под пашней сопровождается деградацией переходного гумусового горизонта и значительным снижением его мощности (с 16 до 10 см).

В исследованиях Пеговой Н.И. (2012) показано, что замена вспашки мелкой зяблевой обработкой с внесением органических удобрений, оказывает менее разрушающее действие на водопрочную структуру: снижается содержание микроагрегатов, увеличивается количество структурных водопрочных агрегатов >0,25 мм, а также увеличивается коэффициент структурности.

Многолетние эксперименты Орлова А.Н. (2007, 2009) по изучению нулевой обработки выявили, что исключение механического рыхления в зяблевой системе после уборки зерновых культур, при одновременном применении гербицидов для уничтожения сорняков, позволяет дополнительно накопить в почве в среднем 26 мм влаги к концу осени. Карпович К.И. совместно с Немцевым С.Н. (2004) доказали, что в среднем за 9 лет исследований (1982-1991 гг.), запасы влаги в метровом слое почвы при минимальных обработках на 13-20 мм превышали запасы влаги при отвальной вспашке.

По сравнению со вспашкой и поверхностной минимальной обработкой почвы, нулевая приводит к существенной трансформации структурного состава, которая выражается в снижении структурных отдельностей агрономически ценного размера 1-5 мм на 6-9%, и увеличении глыбистости черноземов Красноярской лесостепи (Кураченко, Лелякова, 2012).

Коротких Н.А., Власенко Н.Г., Кастючик С.П. (2013) в исследованиях на черноземах лесостепи Приобья в Западной Сибири доказали, что при переходе к обработке почвы по технологии No-Till, на поверхности почвы накапливается примерно в полтора раза больше растительных остатков, по сравнению с традиционным безотвальным рыхлением, а коэффициенты структурности почвы при прямом посеве на 12-17% выше. Авторы предполагают, что формирование на поверхности почвы постоянного слоя мульчи запускает в производственных условиях процессы почвообразования, которые соответствуют естественным и могут обусловить сдвиг состояния обрабатываемых почв в сторону саморегулирующихся почвенных аналогов и послужить основой для воспроизводства плодородия старопахотных черноземов.

В условиях многолетнего опыта по изучению минимизации основной обработки и нулевого посева на черноземах южных тяжелого гранулометрического состава была установлена активизация дифференциации почвенного профиля в отношении илистой фракции (Васильченко, Звягин, 2016).

Различные способы обработки почвы воздействуют на ее структурное состояние, строение пахотного слоя, водный, воздушный, пищевой и тепловой режимы, и, тем самым, оказывают влияние на условия роста растений, что в итоге сказывается на их урожайности. В последние годы накоплено большое количество научных данных, которые обосновывают необходимость рационального сочетания разнообразных приемов и способов основной и поверхностной, отвальной и безотвальной обработок почвы на разную глубину. Вместе с тем изложенное дает авторам основание утверждать, что способы обработки почвы должны быть строго дифференцированы для конкретных почвенно-климатических условий с учетом биологических особенностей возделываемых культур и организационно-экономических возможностей хозяйства, что, по их мнению, позволит полнее использовать адаптивный потенциал растений (Мамсиров, Тугуз, 2008; Тугуз, Магарин, 2011).

Сельскохозяйственное использование почв значительно ускоряет процессы минерализации органического вещества, которое является одним из основных факторов плодородия почвы. В обрабатываемых почвах его потери или накопление связано главным образом с подвижными компонентами. Направленность их трансформации в почвах определяется агротехническими приемами, в том числе способами основной обработки. Подвижная (лабильная, минерализуемая) группа гумусовых веществ играет важную роль в формировании структурно-агрегатного состояния почв и почвенного плодородия (Гедройц, 1926; Орлов, 1990; Ганжара, 1997; Шарков, 1997). В связи с этим, большой теоретический и практический интерес представляют исследования взаимосвязи гумусного состояния и агрофизических свойств почв в условиях ресурсосберегающих технологий основной обработки.

ГЛАВА 2. ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ И ОСОБЕННОСТИ ПОЧВООБРАЗОВАНИЯ В КРАСНОЯРСКОЙ ЛЕСОСТЕПИ

2.1 Экологические условия почвообразования

Природное районирование земледельческой территории Красноярского края отражает особенности геоморфологического строения рельефа, закономерности климатических и растительных условий, структуры почвенного покрова. К подзоне средней тайги приурочены землепользования 5 административных районов, подзоне южной тайги – 9, зоне лесостепи – 24, зоне степи – 2 административных района. В лесостепной зоне выделяют 6 округов, получивших одноименные названия котловин, в пределах которых они находятся (Чупрова и др., 2012). Красноярский природный округ простирается относительно узкой полосой по левому берегу Енисея и является полузамкнутой межгорной котловиной, ограниченной с востока Енисейским кряжем, с юга – отрогами Восточного Саяна и юго-запада – Кемчугским нагорьем, а на севере и северо-западе замыкается таежными пространствами (Ершов, 1999).

Характеристика природных условий и особенности почвообразования лесостепной зоны Средней Сибири и, в частности, Красноярской лесостепи, достаточно полно представлены в ряде публикаций (Коляго, 1953; Лиханов, Хаустова, 1961; Громов, Лобова, 1961; Галахов, 1962; Семина, 1962; Безруких, 1977; Бугаков, Горбачева, Чупрова,1981; Ямских, 1993; Крупкин, 2002; Рудой, 2004). Особенности растительности и травяного покрова охарактеризованы в работах Черепнина Л.М. (1961) и Куминовой А.В. с соавторами (1964).

Красноярская лесостепь занимает 504 тыс. га и представляет собой изолированный остров среди сплошных лесных массивов, который имеет ряд своеобразных черт (Лиханов, 1961; 1964). С юга на север ее протяженность составляет 110-150 км, с запада на восток – не более 80 км. Красноярская лесостепь расположена на левобережье реки Енисей, к северу от города Красноярска и на самом юге небольшим участком переходит на правый берег Енисея (Лебедева, Семина, 1974; Антипова, 2012). По характеру рельефа

представляет собой подгорную, высоко приподнятую, денудационную, глубоко расчлененную широко-увалистую равнину, протянувшуюся вдоль северо-восточного подножия Восточного Саяна. Равнина постепенно снижается от Саянских предгорий с юга на север, а также с запада на восток, от Обь-Енисейского водораздела к долине Енисея (Лебедева, Семина, 1974).

Основными геоморфологическими элементами Красноярской лесостепи являются: 1) Обь-Енисейский водораздел; 2) междуречье систем притоков реки Енисей; 3) долины Енисея и его притоков. Характерными и четко выраженными геоморфологическими элементами долины реки Енисей и его притоков являются террасы. Большинство исследователей выделяют девять террас Енисея: три нижние – аккумулятивные и шесть верхних – цокольные (Вередченко, 1961; Лебедева, Семина, 1974).

Формирование рельефа Красноярской лесостепи преимущественно связано с экзогенными процессами (плоскостная денудация, водно-эрозионными, термокастовыми, эоловыми и другими явлениями) (Лебедева, Семина, 1974). Особое влияние на формирование современного рельефа оказали оледенения (Щевелева, Литвинов, 1959; Лебедева, Семина, 1974). В современный период плавные западинно-бугристые и западинные очертания поверхности придали процессы сноса и разрушения. Почти повсеместно распространен западинно-бугристый мезо- и микрорельеф; наиболее отчетливо он выражен на террасах рек и делювиальных шлейфах, и в меньшей степени – на склонах и вершинах увалов (Ершов, 1999). При постепенном снижении высот в северном и восточном направлении уменьшается густота эрозионной сети, ширина междуречий и речных долин увеличивается, превышение между ними менее заметны. Как следствие, рельеф становится слабоволнистым.

В геологическом отношении территория Красноярской лесостепи сложена девонскими, меловыми, юрскими породами, которые перекрыты четвертичными отложениями. Эти породы сочетаются с каолинизированными кварцевыми песками и песчаными глинами с линзами галечников (Вередченко, 1961).

Почвообразование в исследуемом районе происходит на четвертичных аллювиально-делювиальных отложениях, которые повсеместно перекрывают коренные породы и представлены бурыми и желтовато-серыми суглинками, темно-бурыми однородными супесями с обломками подстилающих пород. Сложность рельефа и геологического строения, магматические излияния, многократные поднятия и опускания земной коры, снос и переотложение покровных материалов, являются причиной большого многообразия почвообразующих пород (Вередченко, 1961).

Ю.П. Вередченко для Красноярской лесостепи выделил пять основных типов почвообразующих пород (1961): палево-бурые лессовидные суглинки и легкие глины; светло-бурые иловато-пылеватые суглинки и глины (на этих породах в основном располагаются черноземы выщелоченные, оподзоленные и темно-серые лесные почвы в лесостепи, а так же серые и светло-серые лесные почвы в подтаежной зоне; темно-бурые пылевато-иловатые тяжелые суглинки и глины (в лесостепи на этих породах, как правило, формируются светло-серые и серые лесные почвы, а в зоне травяных лесов – различные серые лесные глеевые почвы); красно-бурые и коричнево-бурые делювиальные глины с наличием гальки (на них развиваются черноземы и серые лесные почвы с характерным красноватым оттенком); песчано-галечниковые и супесчаные аллювиальные и пролювиальные отложения (на них развиваются аллювиальные луговые и лугово-черноземные почвы).

Формирование почв в Красноярской лесостепи в основном определяется совместным влиянием климата, рельефа и растительности. Территория расположена в глубине материка в большом удалении от действия морских и океанических факторов, на стыке трех климатических областей: континентальной Западно-Сибирской, континентальной Восточно-Сибирской и горной области Алтая и Саян (Вередченко, 1961; Лебедева, Семина, 1974).

Для региона исследований характерен резко-континентальный, умеренно-холодный климат низкой степени суровости. Он выражается в контрасте времен года и значительной амплитуде годовых и суточных колебаний температур

воздуха (Алисов, Полтараус, 1974; Коляго, 1974; Безруких, 1993). Особенность теплового режима региона – быстрое нарастание тепла в июне и резкое падение в конце августа и начале сентября (Вередченко, 1961).

Зима продолжительная и суровая, а лето короткое и жаркое, часто засушливое в первой половине. Начало устойчивого промерзания почв приходится на третью декаду октября (Попова, Лубите, 1975). При малой мощности снежного покрова (20-40 см) островных степей почва промерзает на 2-2,5 м, а в некоторые годы и до 3 м, при этом происходит сильное переохлаждение верхних горизонтов почвы до минус 10°С. Средняя дата полного оттаивания почв колеблется в широком интервале. В большинстве пунктов наблюдений этот срок приходится на конец июня; в отдельных местах затягивается до середины июля. Весна холодная, сопровождается частыми и сильными ветрами, нередко недостаточно увлажненная, с поздним возвратом заморозков. В конце мая наблюдается переход температур через 10°С (Бугаков, Чупрова, 1995). Основная масса осадков выпадает в летний период. Они имеют преимущественно ливневый характер. Отличительной особенностью распределения летних осадков является перемещение их максимума ко второй половине лета – на июль-август, когда выпадает 35-40% от годовой суммы осадков (Лебедева, Семина, 1974). Июльские ливни вызывают значительную эрозию почв, особенно на полях под паром и пропашными культурами. В августе среднесуточная температура воздуха переходит через 15°С, количество осадков несколько уменьшается, дожди приобретают более затяжной характер.

Таким образом, климат территории Красноярской лесостепи разнообразен. Континентальность увеличивается с севера на юг и с запада на восток. В связи с предгорным положением и равнинным характером на территории наблюдается влияние широты местности, а также и влияние горных систем на перераспределение элементов климата.

В пределах Красноярской лесостепи почвенно-растительный покров, как и климат, характеризуется концентрической зональностью (Черепнин, 1956; Галахов, 1962; Ревердатто, 1931; Вередченко, 1961; Куминова, 1964).

Растительный покров характеризуется сочетанием в основном двух типов растительности – лесной и лугово-степной; на юге лесостепи и на плакорах, находятся небольшие участки луговых степей (Черепнин, 1956).

В Красноярской лесостепи наибольшим остепнением отличается часть территории, прилегающая к Красноярску, имеющая 10-15 км в поперечнике. Здесь господствуют крупнополынно-ковыльно-разнотравные степи, а по пологим южным склонам четырехзлаковые степи. Большое распространение имеют здесь каменистые степи крутых склонов, скал и осыпей. В настоящее время степи почти целиком распаханы (Черепнин, 1956, Антипова, 2012)

Характерные для Красноярской лесостепи березовые колки образованы молодой порослевой березой, по западинам к ней примешивается осина. На юге лесостепи большую роль в распределении растительности играет экспозиция склонов: северные склоны заняты березовыми лесами, южные покрыты растительностью из дерновинных злаков, полыней с примесью разнотравья. По мере продвижения на север и запад возрастает количество колков, увеличиваются их размеры, они занимают уже равнинные участки, образуя крупные лесные массивы. Состав лесов главным образом березовый, сосново-березовый и березово-сосновый, иногда к березе примешивается осина. Эти леса отличаются хорошо развитым относительно густым и высоким травяным покровом с большим количеством лесных видов (Антипова, 2012).

Наиболее широко в Красноярской лесостепи представлены сочетания участков луговых степей с перелесками. Луговые степи в большинстве случаев представлены разнотравными формациями, злаки играют подчиненную роль. Представлены они растениями, требующими большого увлажнения с примесью чисто луговых видов. Эти степи отличаются большой видовой насыщенностью (до 66 видов на 100 м^2), довольно плотным травостоем и красочностью, особенно, в период массового цветения (Антипова, 2012).

Ведущими растениями (эдификаторами) значительной части красноярских луговых степей являются прострел желтеющий (*Pulsatilla flavescens*) и ирис-узик (*Iris ruthenica*). Большую роль в травостое играют: из злаков – тимофеевка

степная (*Phleum phleoides*), мятлики – узколистный, степной и луговой (*Poa angustifolia, P. stepposa, P. pratensis*), овсец Шелля (*Heliototrichon Schellianum*); из разнотравья – крестовник цельнолистый (*Senecio integrifolins*), 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*) (Антипова, 2012).

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

Небольшие леса (перелески, колки) имеют более или менее остепненный травяной покров. В нем большое участие принимают многие из перечисленных видов луговых степей. Ведущая роль в травостое принадлежит видам, обитающим в светлых лесах, как вейник тростниковидный (*Calamagrostic arundinacca*), ежа сборная (*Dactylis gromerata*); из осок весьма распространены осока большехвостая (*Carex macroura*); из разнотравья обычны: костяника (*Rubus saxatilis*), кровохлебка лекарственная (*Sanguisorba officinalis*), папоротник орляк (*Pteeridium aguilinum*), клевер люпиновый (*Trifolium lupinaster*) и другие.

Комплекс разнотравных луговых степей и березовых колков, по мнению Любимовой Е.Л. (1962), самый молодой. Его ритм развития полностью соответствует современным климатическим условиям.

2.2 Почвенный покров и его особенности

Особенностью пространственной организации почвенного покрова Красноярской лесостепи является чрезвычайно выраженная его пестрота. Комплексность почвенного покрова обусловлена различными факторами: характером почвообразующих пород, микроклиматом, гидротермическим режимом, жизнедеятельностью животных, холмисто-увалистым мезорельефом,

интенсивным бугристо-западинным микрорельефом, высокой степенью проявления карманистости (языковатости) почв (Бугаков, Чупрова, 1995; Крупкин, 2002; Рудой, 2004). Связь этих факторов, в большинстве случаев осуществляется через микрорельеф. С ним связано перераспределение элементов питания растений, атмосферных осадков и грунтовых вод, создание «местного» климата, формирование растительного покрова, теплового режима и др. (Ерохина, 1961; Семина, 1962; Кириллов, 1963; Бугаков, Чупрова, 1995; Ершов, 2000).

Почвенный покров Красноярской лесостепи представлен чередованием черноземов (36%), серых лесных (39%) и дерново-подзолистых почв. Господствующее положение занимают черноземы выщелоченные (22%) и обыкновенные (11%) тяжелосуглинистого гранулометрического состава. Встречаются почвы со вторым гумусовым горизонтом, которые выделяются на правах рода в пределах типа серых лесных и подтипа дерново-подзолистых почв, и являются компонентом, характерным для структуры почвенного покрова Средней Сибири (Бугаков, Чупрова, 1995).

Среди распаханных массивов в Красноярской лесостепи преобладают черноземы (69% пашни): выщелоченные – 39%, обыкновенные – 27%, оподзоленные – 4%, солонцеватые – 0,1%. Значительная часть пашни расположена на серых лесных почвах (19%), преимущественно темно-серых (15%).

Черноземы Красноярской лесостепи изучены и широко описаны в работах Вередченко Ю.П. (1961); Сёминой Е.В. (1962); Бугакова П.С. (1971); Бугакова П.С., Поповой Э.П. (1968); Шугалей Л.С. (1969); Бугакова П.С., Чупровой В.В. (1995); Лебедевой И.И., Сёминой Е.В. (1974); Поповой Э.П., Лубите Я.И. (1975); Бугакова П.С. и др. (1982); Кураченко Н.Л. (2001; 2010; 2013; 2019); Ерохиной Н.Л. (2002); Крупкина П.И. (2002); Шпедта А.А. (2008; 2013). Они образуют самостоятельную зону – на севере доходят до рек Шила и Бузим, занимают, главным образом, террасы левобережной части Енисея и захватывают небольшой район на юго-востоке от г. Красноярска, на правом берегу Енисея. Формируются они преимущественно в условиях интенсивного гумусово-аккумулятивного

процесса, который протекает при участии многолетней травянистой растительности (лесной и лугово-степной), в условиях периодически промывного или непромывного типа водного режима при наличии летнего, реже весеннего периода иссушения.

Черноземы относятся к преобладающему типу почв Красноярской лесостепи и в настоящее время они практически все распаханы. Бугаков П.С. и Чупрова В.В. (1995) выделяют ряд провинциальных особенностей. Почвы этого генетического типа развиваются в условиях резко-континентального климата и имеют своеобразный водно-тепловой режим: глубокое сезонное промерзание (до 3 м), позднее оттаивание в августе, наличие на глубине ниже 100 см постоянно влажного слоя, который вызывает процессы оглеения. Еще одной особенностью черноземов Красноярской лесостепи является резкое изменение мощности горизонта в пределах подтипа и его карманистость, что вызвано термокарстовыми и суффозионными процессами, а так же сформировавшимся микрорельефом и проникновением в иллювиальный горизонт гумусовых затеков (Швецов, Достовалов, 1959)

Биологические процессы локализованы в поверхностных горизонтах, что вызвано небольшой глубиной проникновения температур более 10°С в сочетании с малой мощностью промачивания почвенного профиля. Как следствие, у всех черноземов формируется укороченный гумусовый горизонт, наблюдается повышенная гумусированность и высокое залегание карбонатного горизонта.

Общие закономерности влияния рельефа на структуру почвенного покрова и свойства черноземов можно описать следующим образом: черноземы выщелоченные развиваются в плакорных условиях; черноземы обыкновенные, реже выщелоченные – на верхушках бугров, менее обеспеченных влагой; черноземы сильно выщелоченные развиваются в западинах и в нижних частях склонов. В северной части лесостепи черноземы (обычно оподзоленные или сильно выщелоченные) встречаются среди серых и темно-серых лесных почв (Вередченко, 1961; Крупкин, 2002). При недостатке тепла и большом количестве

осадков черноземы обыкновенные (непромытые) обычно отсутствуют (Крупкин, 2002).

Содержание гумуса в черноземах Красноярской лесостепи ниже, чем Европейской части России, что объясняется интенсивностью соотношения процессов гумификации и минерализации органического вещества, которые находятся в прямой зависимости от влажности и температуры почвы (Вередченко, 1961). Наиболее распространены черноземы среднегумусные (6-10%). Для черноземов района исследований характерно быстрое уменьшение содержания гумуса с глубиной, мощность гумусового горизонта черноземов в среднем составляет 35 см (Михайлова, 2000). По мнению Лебедевой И.И. и Семиной Е.В. (1974), это связано с аккумуляцией корневой массы в верхних горизонтах (30-40 см), а так же особенностями биохимических и микробиологических процессов в условиях континентального климата Красноярской лесостепи: в весеннее время они замедлены, а наибольшая деятельность микроорганизмов наблюдается в июле-августе, когда максимум осадков совпадает с максимальным прогреванием почвы.

При высокой гумусированности черноземы содержат большое количество общего азота (0,4-0,6%) (Ерохина, 2002). Гумусообразование в исследуемых черноземах происходит в условиях нейтральной и слабощелочной среды, а также сопровождается образованием преимущественно слабоподвижных гуминовых кислот. Почвенно-грунтовый профиль черноземов характеризуется практически полным отсутствием легкорастворимых солей.

Черноземы Красноярской лесостепи имеют хорошую оструктуренность. При вовлечении в обработку в пахотном слое наблюдается интенсивное разрушение агрономически ценных фракций и увеличивается содержание пыли. По исследованиям Кураченко Н.Л. (2001), ненарушенные и вовлеченные пашню почвы Приенисейской Сибири характеризуются суглинистым гранулометрическим составом. В пахотных почвах сохраняется хорошая оструктуренность, при одновременном уменьшении водопрочности структуры.

Чернозем выщелоченный имеет структуру несколько хуже. Содержание фракций агрономически ценного размера в пахотном горизонте составляет около 85% на целине и 66% на пашне. На вспашке увеличивается глыбистость и содержание фракции пыли. В отличие от оподзоленного, чернозем выщелоченный имеет более водопрочную структуру (Таскина, 1995; Кураченко, 2001).

Черноземы характеризуются благоприятными физическими и водно-физическими свойствами: невысокой плотностью гумусового горизонта (1,0-1,2 г/см^3), высокой влагоемкостью и хорошей водопроницаемостью. Большая гумусированность и тяжелый гранулометрический состав черноземов определяют их высокую поглотительную способность: 40-60 мг-экв/100г в типичных черноземах и 50-60 мг-экв/100г в выщелоченных. В поглощающем комплексе преобладает кальций (84-92%). С глубиной сумма поглощенных оснований резко уменьшается, параллельно снижению содержания гумуса (Лебедева, Семина, 1974). Черноземы выщелоченные отличаются большими валовыми запасами фосфора и калия. Почвы в достаточной степени обеспечены подвижными формами питательных элементов (P_2O_5 – 20-30 мг/100г, K_2O – 10-20 мг/100г в пахотном и 5,7-6,7 мг/100г в подпахотном слое) (Вередченко, 1961). При этом они хорошо отзываются на внесение минеральных удобрений.

Таким образом, накопленные теоретические и практические данные о состоянии агрочерноземов, которые составляют основу фонда земель Красноярской лесостепи пригодных для ведения сельского хозяйства, позволяют сделать вывод о высоком уровне их потенциального плодородия.

ГЛАВА 3. ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

3.1 Объекты исследований

Исследования проводили в полевом опыте в период с 2016 по 2018 г. на базе учебно-опытного хозяйства «Миндерлинское» ФГБОУ ВО «Красноярский государственный аграрный университет», которое расположено в центре Красноярской лесостепи (56˚25’N и 92˚53’E) и по природным условиям типично для значительной ее части. Объект исследования – комплекс агрочерноземов глинисто-иллювиальных (типичных, гидрометаморфизированных, оподзоленных), агрочернозема криогенно-мицелярного (в соответствии с Классификацией и диагностикой почв России, 2004) 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,*** морфологических особенностей, химических и физико-химических свойств почв опытного участка заложено 9 ключевых разрезов. Опытное поле площадью 9 га расположено на пологом юго-восточном склоне (общий уклон 0,5-1°) (рис. 1). Разрезы закладывали на типичных формах рельефа. При проведении исследований применены стандартные профильный и морфологический методы, предполагающие получение описательных, фотографических и морфологических данных по изучаемым почвам. Для определения классификационной принадлежности почв применена «Классификация и диагностика почв России» (2004). Почвенные образцы отбирали по генетическим горизонтам. В качестве картографической основы был использована спутниковый снимок района исследования (Яндекс. Карты, режим доступа – свободный). Векторный слой карты структуры почвенного покрова отрисован средствами ГИС MapInfo Professional.

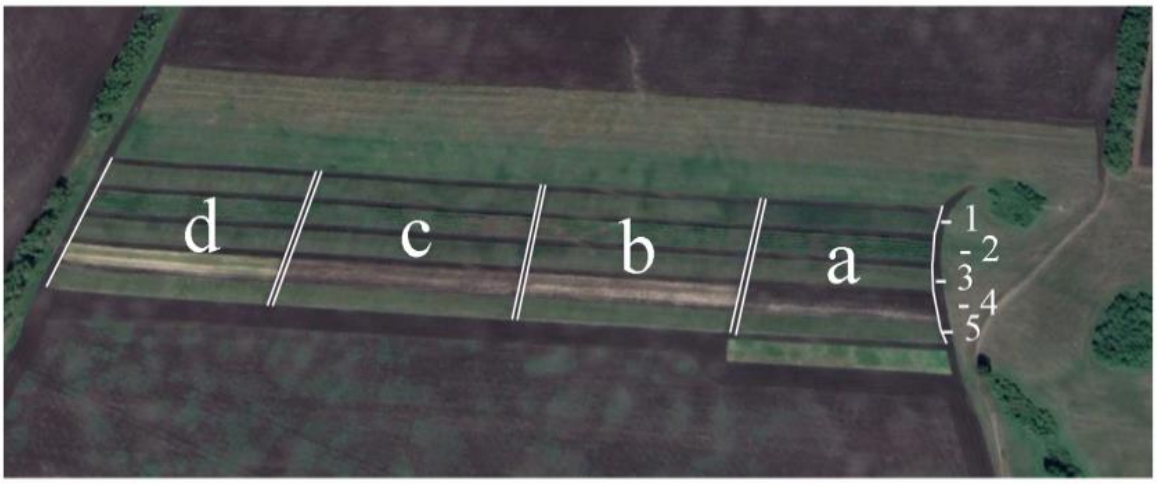


Рисунок 1 – Схема опытного поля: a – отвальная обработка, b – минимальная обработка дискатором, c – минимальная обработка плоскорезом, d – нулевая обработка, 1 – кукуруза, 2 – ячмень, 3 – пшеница, 4 – пар занятый, 5 – пшеница

Оценку влияния вспашки и ресурсосберегающих технологий основной обработки почвы на пространственное распределение и сезонную динамику структурно-агрегатного и гумусного состояния агрочернозема проводили в агроценозе пшеницы по следующей 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 агрочернозема в условиях вспашки и ресурсосберегающих технологий основной обработки изучалась в 2016 году в агроценозе пшеницы.

Общая площадь делянки – 1500 м^2, учетная – 500 м^2. 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.

Пшеница сорта Новосибирская 15 возделывалась по зерновому предшественнику на фоне применения аммиачной селитры (1 ц/га в физическом весе). Комплексная защита пшеницы включала: предпосевное протравливание семян фунгицидом Турион 25,4 % КЭ; обработку посевов в фазу кущения гербицидами Триатлон М 0,4 л/га (предназначен для защиты зерновых колосовых

культур от однолетних и многолетних широколистных (двудольных) сорняков, включительно со стойкими к 2,4-Д) и Фабрис (высокоселективный гербицид для послевсходовой обработки против широкого спектра злаковых сорняков, включая овсюг и просо сорнополевое) с добавлением гумата Берес 8; обработку фунгицидом Цунами 0,4 л/га (против широкого спектра сельскохозяйственных вредителей) и инсектицидом Зенон Аэро 0,1 л/га (системный двухкомпонентный фунгицид для защиты зерновых от листостеблевых инфекций) с добавлением гумата Берес 8 в фазу выхода в трубку – колошения пшеницы. Сроки проведения химических обработок: протравливание семян – до 20 мая, обработка гербицидами до 22 июня, обработка фунгицидом и инсектицидом – до 15 июля.

Влияние ритма превращения гумусовых веществ на сезонную динамику структурно-агрегатного состава изучали в вегетационные сезоны 2017-2018 гг. В качестве объектов исследований сопряженной сезонной динамики структурно-агрегатного состава и гумусовых веществ выбран агроценоз пшеницы, возделываемой по кукурузе. Размещение вариантов систематическое. Повторность опыта 3-кратная. Общая площадь делянок 1500 м^2, учетная площадь 100 м^2. 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); щелочегидролизуемые соединения гумуса (C_{NaOH} и в его составе Сгк и Сфк) – по Тюрину И.В. в модификации Пономаревой В.В. и Плотниковой Т.А. (1980) (экстракцию щелочегидролизуемого углерода и в его составе $C_{ГК}$ и $C_{ФК}$ осуществляли 0,1 н раствором NaOH).

Результаты аналитических определений обработаны методами дискриминантного, корреляционного, регрессионного, дисперсионного анализа при помощи программ Excel и STATISTICA10 (Дмитриев, 1995; Доспехов, 2014).

3.3 Погодные условия в годы проведения исследований

Вегетационный сезон 2016 года отмечался как теплый и острозасушливый (табл. 1) с неравномерным увлажнением по месяцам. Исключение составил май, когда температура была на уровне среднемноголетней, а осадки были на 38% выше среднемноголетних. Особенно критическим для роста и развития растений был июнь. Средняя температура воздуха в этот период превышала среднемноголетние показатели на 3°С, а количество осадков не превысило 50% от среднемноголетних показателей.

Вегетационный сезон 2017 года характеризовался теплой погодой с неравномерным увлажнением по месяцам (табл. 1). Начало вегетационного периода сопровождалось повышенной среднесуточной температурой воздуха и небольшим количеством осадков. Особенно критическим для роста и развития растений оказался июнь. В этот месяц при средней температуре воздуха,

превышающей среднемноголетние показатели на 5°С, выпало 20 мм осадков (18 мм в третьей декаде июня), что ниже нормы на 50%. ГТК меньше 0,3 показывает на острозасушливые условия вегетации. Период июль-август характеризовался как дождливый с превышением количества осадков (115-131 % от нормы).

Таблица 1 – Показатели температуры и осадков за вегетационный сезон 2016-2018 гг.

Месяцы	Температура воздуха, °С		Осадки, мм		
	Средняя за месяц	Среднемного-летние показатели	Сумма за месяц	Среднемного-летний уровень	% к норме
2016 год					
Май	8,1	8,0	44,0	32,0	137,5
Июнь	18,4	15,2	21,0	44,0	47,7
Июль	20,4	18,4	51,0	69,0	73,9
Август	17,0	14,9	54,0	62,0	87,1
2017 год					
Май	10,7	8,0	28,3	32,0	88,4
Июнь	20,3	15,2	20,0	44,0	45,5
Июль	19,4	18,4	79,0	69,0	114,5
Август	16,9	14,9	81,0	62,0	130,6
Сентябрь	8,6	8,2	79,0	39,0	202,6
2018 год					
Май	8,2	8,0	29,0	32,0	90,6
Июнь	20,7	15,2	29,0	44,0	65,9
Июль	17,0	18,4	15,0	69,0	21,7
Август	18,3	14,9	21,0	62,0	33,8
Сентябрь	13,6	8,2	56,3	39,0	144,4

Погодные условия вегетационного сезона 2018 года отличались острозасушливостью. Начало вегетационного периода сопровождалось высокой среднесуточной температурой воздуха и небольшим количеством осадков. Засушливые условия проявлялись в июле и августе. В этот период при средней температуре воздуха, близкой к норме в июле и превышающей среднемноголетние показатели на 3°С в августе, выпало 15-21 мм осадков, что ниже нормы на 78-66 % (табл. 1).

Таким образом, погодные условия в годы проведения исследований отличались по температурному режиму и количеству выпавших осадков, что оказало влияние на процессы, протекающие в почве в течение вегетационного сезона.

ГЛАВА 4. МОРФОГЕНЕТИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА АГРОЧЕРНОЗЕМОВ КРАСНОЯРСКОЙ ЛЕСОСТЕПИ

4.1 Морфологические особенности почв

Широко-увалистая равнина Красноярской лесостепи расчленена редкими притоками Енисея на ряд плоских междуречий. На двух из них и располагаются земли учебного хозяйства Красноярского государственного аграрного университета. Междуречье Миндерла – Шила более высокое, с крутым южным и пологим северным склоном, возвышается над уровнем рек на 100-120 м (рис. 2). Его плоская платообразная поверхность расчленена неглубокими ложбинами, по которым идет сток талых вод. Микрорельеф выражен слабо, поля, расположенные на плато и его северном склоне, удобны для обработки.

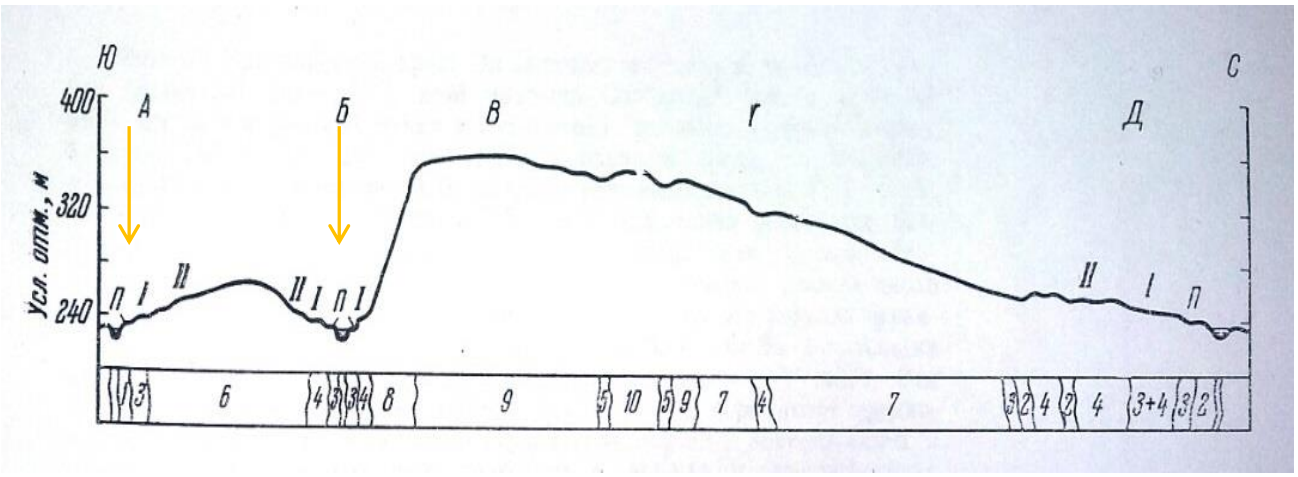


Рисунок 2 – Схематический профиль землепользования учхоза «Миндерлинское»: А – долина р. Бузим; Б – долина р. Миндерла; В – плато; Г – северный склон; Д – долина р. Шила. П – пойма; I – первая терраса; II – вторая терраса (Кускова, 1971). Почвы: 1 – торфяно-глеевая, 2 – перегнойно-торфянисто-глеевая карбонатная, 3 – черноземно-луговая карбонатная, 4 – черноземно-луговая, 5 – черноземно-луговая оподзоленная, 6 – комплекс черноземов выщелоченных, черноземов обыкновенных и лугово-черноземных оподзоленных почв, 7 – чернозем выщелоченный, 8 – чернозем смытый, маломощный, 9 – темно-серая слабо оподзоленная на коричнево-бурой глине, 10 – серая оподзоленная на коричнево-бурой глине

Опытное поле расположено в междуречье Бузим – Миндерла, которое значительно понижено, превышает уровень русла рек всего на 40-70 м и образовано слабо выраженными в рельефе древними речными террасами, расширенными близ слияния Бузима и Миндерлы. На низком междуречье и надпойменных террасах широко распространен бугристо-западинный мезо- и

микрорельеф, характерный для речных долин Красноярской и Канской лесостепей. Западины в прошлом были заняты колками из березы, осины и кустарников, но за последние десятилетия большая часть их уничтожена. Весной в западинах застаивается вода, а вершины бугров срезаются при вспашке, что обусловливает комплексность почвенного покрова, неравномерное поспевание почв к обработке и затрудняет все сельскохозяйственные работы. Возникновение этого своеобразного рельефа большинство исследователей связывает с протаиванием повторножильных ледяных клиньев и криотурбациями, свойственными вечной мерзлоте, охватывавшей данную территорию во время последнего оледенения (Швецов, Достовалов, 1959).

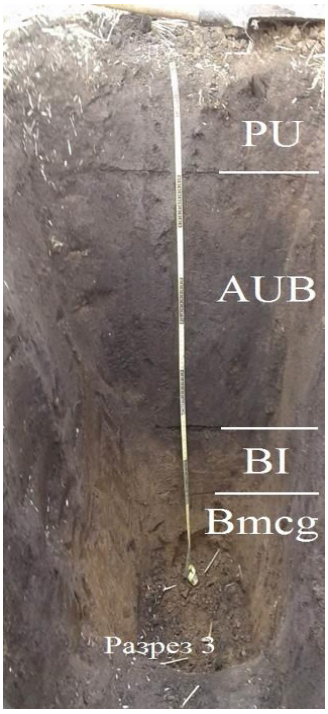
Почвенный покров Красноярской лесостепи отличается довольно значительным разнообразием и тесно связан с характером поверхности территории и историей её формирования (Коляго, 1954; Вередченко,1961; Лебедева, Семина, 1974; Бугаков и др., 1981). Географическое распределение почв подчинено в своей основе закону широтной зональности, но дополнительное осложнение в строение почвенного покрова котловины вносит вертикальная поясность – смена поясов в направлении от центральной части котловины к окружающим её горам.

Исследования показали, что почвенный покров опытного участка представлен агрочерноземами. Они относятся к стволу постлитогенных, отделу аккумулятивно-гумусовых почв. Генетический профиль разрезов 1, 3, 5, 6 и 9 диагностирован на уровне типа агрочернозем глинисто-иллювиальный, подтипа – типичный (по классификации 1977 г. соответствует черноземам выщелоченным). Ниже представлены описания ключевых разрезов.

Разрез 1 – Агрочернозем глинисто-иллювиальный типичный глееватый маломощный. Заложен в 2-х км юго-восточнее поселка Борск на юго-восточной оконечности поля.

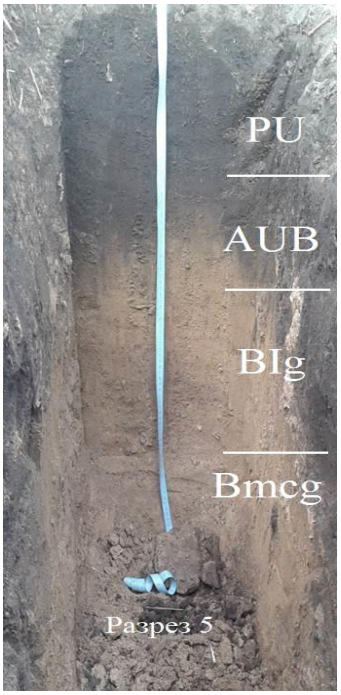
PU *0-17 см.*	*Увлажненный, черный, глинистый, рыхлый, комковато-зернистый, встречаются включения соломы и корней, пористый, не вскипает, переход к следующему горизонту заметен по включениям соломы, граница ровная.*
AU *17-42 см.*	*Влажный, черный, плотный (нож входит на 1,5-2 см), глинистый, комковато-ореховатый, тонкопористый, не вскипает, встречаются включения корней, граница волнистая, переход постепенный.*
AUB *43-62 см*	*Влажный, неоднородный, сверху буровато-темно-серый, снизу серовато-бурый с постепенной сменой окраски, плотный, глинистый, комковато-ореховато-зернистый, не вскипает, включения корней, граница карманистая.*
BI *62-70 см.*	*Влажный, бурый, плотный, глинистый, ореховато-плитчатый и крупно-ореховатый, включения корней, трещины по ходам корней и затеки гумуса, не вскипает, переход ясный по новообразованиям карбонатов и постепенный по цвету, граница ровная.*
Bmcg *70-95 см.*	*Влажный, неоднородный, основой цвет бурый, плотный, глинистый, комковато-творожисто-зернистый, вскипает с глубины 70 см, тонкопористый, новообразования железа в виде охристых пятен, сизоватые пятна оглеения и карбонатов в виде псевдомицелия и трубок.*
Cca *>95 см*	*Желто-бурая влажная карбонатная глина.*

Разрез 3 – Агрочернозем глинисто-иллювиальный типичный глееватый маломощный. Заложен на верхней части пологого склона крутизной 1° в 300 м юго-западнее разреза 2.



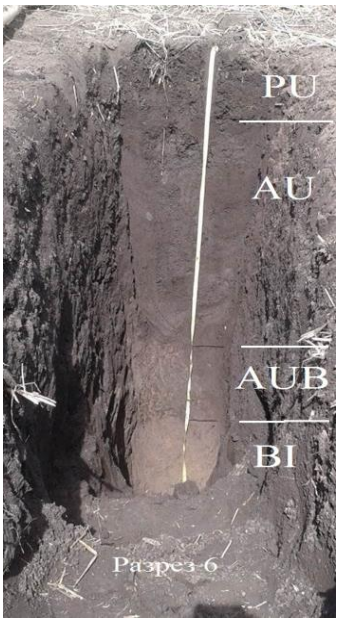
PU *0-20 см.*	*Свежий, черный, обильно пропитан гумусом, рыхлый, комковато-зернистый, много тонких корней, тонкопористый, тонкотрещиноватый, глинистый, не вскипает. Переход резкий по цвету*
AUB *20-44 см.*	*Свежий, неоднородный, верхняя часть черная с бурым оттенком, нижняя – бурая с гумусовыми затёками, уплотнён, комковато-зернистый, тонкопористый, тонкотрещиноватый, глинистый, тонкие корни, не вскипает. Переход постепенный.*
BI *44-68 см.*	*Свежий, желто-бурый, уплотнён, обилие тонких корней, глыбисто-комковатый, тонкотрещиноватый, пористый, глинистый, встречаются гумусовые затёки, не вскипает. Переход резкий по цвету.*
Bmcg *68-90 см.*	*Свежий, желто-бурый с белесоватым оттенком, глинистый, псевдомицелий карбонатов (бурное вскипание), ржаво-охристые пятна, глыбистый, тонкопористый, встречаются корни.*
Cca *>90 см*	*Желто-бурая влажная карбонатная глина.*

Разрез 5 – Агрочернозем глинисто-иллювиальный типичный глееватый маломощный. Заложен в 100 м северо-западнее разреза 4 на пологом северо-восточном склоне в средней его части.



PU *0-26 см.*	*Свежий, почти черный, ниже 12 см со стальным оттенком, Уплотненный, глинистый, комковато-порошистый, до 5 см крупные травянистые корни, ниже – тонкие корни, переход ясный, граница ровная, не вскипает.*
AUB *26-36 см.*	*Влажный, светлее предыдущего, темно-серый с сизоватым оттенком, глинистый, комковато-плитовидный, присутствие тонких корней, переход ясный, граница языковатая, не вскипает.*
BIg *36-58 см.*	*Влажный, бурый с бледными серыми пятнами гумуса и коричневыми прожилками разложившейся органики, плотный, глинистый, комковато-плитовидный, пористый, включения корней, новообразования очень мелких ржавых пятен (криогенез), переход ясный, не вскипает.*
Bmcg *58-80 см.*	*Влажный, бурый, с густой сетью карбонатных прожилок, плотный, глинистый, комковато-плитовидный, бурное вскипание.*
Cca *>80 см*	*Желто-бурая влажная карбонатная глина.*

Разрез 6 – Агрочернозем глинисто-иллювиальный типичный мощный. Заложен на юго-западной оконечности опытного поля, в верхней части пологого северо-восточного склона.



PU *0-20 см.*	*Свежий, черный, глинистый, комковато-зернистый, тонкопористый, тонкотрещиноватый, тонкие корни, не вскипает, переход постепенный.*
AU *20-75 см.*	*Свежий, черный, темнее предыдущего, рыхлый, глинистый, комковато-зернистый, тонкопористый, тонкотрещиноватый, обилие тонких корней, не вскипает.*
AUB *75-92 см.*	*Свежий, серо-бурый, глинистый, глыбисто-зернистый, пористый, тонкотрещиноватый, редкие тонкие корни, не вскипает, переход постепенный.*
Bmc *92-110 см.*	*Свежий, темно-бурый с гумусовыми затеками, глинистый, глыбистый, пористый, тонкотрещиноватый, встречаются тонкие корни, вскипает от 10% HCl, переход постепенный.*
Cca *>110 см*	*Желто-бурая влажная карбонатная глина.*

Разрез 9 – Агрочернозем глинисто-иллювиальный типичный среднемощный. Заложен на верхней части пологого склона.

PU *0-14 см.*	*Влажный, черный, глинистый, комковатый, рыхлый, тонкопористый, тонкотрещиноватый, не вскипает, гумусовые вещества, обильно встречаются корни, переход по «плужной подошве».*
AU *14-48 см.*	*Свежий, черный, глинистый, комковато-зернистый, рыхлый, тонкопористый, тонкотрещиноватый, гумусовые вещества, корней умеренно, не вскипает, переход постепенный.*
AUB *48-64 см.*	*Свежий, желто-бурый с гумусовыми затеками, глинистый, глыбистый, несколько уплотнен, тонкопористый, тонкотрещиноватый, гумусовые вещества, не вскипает, единично корни, переход постепенный языковатый.*
BI *64-73 см.*	*Свежий, желто-бурый, гинистый, рыхлый, глыбистый, пористый, тонкотрещиноватый, не вскипает, переход по цвету.*
Bmc *73-100 см.*	*Свежий, желто-бурый с белесоватым оттенком, глинистый, рыхлый, глыбистый, плитчатой текстуры, пористый, тонкотрещиноватый, карбонаты в форме псевдомицелия, вскипает бурно.*
Cca *>100 см*	*Желто-бурая влажная карбонатная глина.*

Эти почвы сформировались на желто-бурых лессовидных глинах в верхней и средней частях пологих склонов. В профиле агрочерноземов глинисто-иллювиальных типичных выделяются следующие генетические горизонты: PU – AU – AUB – BI – Bmc(g).

Агротемногумусовый (PU) и темногумусовый (AU) горизонты изученных профилей агрочернозема глинисто-иллювиального типичного определяют весь облик почвы. Морфологический анализ почвенных профилей указывает на существенную изменчивость гумусовых горизонтов этого типа и подтипа. На видовом уровне они характеризуются как маломощные, среднемощные и мощные. Гумусовые горизонты (PU+AU+AUB) изменяются от 37 до 92 см. Характерными морфологическими признаками агрочерноземов глинисто-иллювиальных типичных является интенсивная гумусовая прокраска верхнего горизонта. Агротемногумусовый горизонт отличается заметной рыхлостью, комковато-зернистой структурой. Нижняя граница гумусовых горизонтов иногда

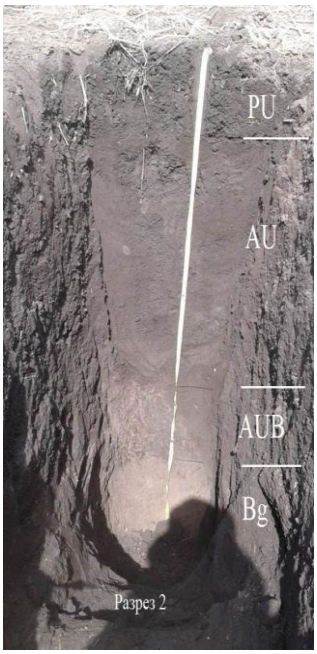
языковатая, что связано с образованием трещин вследствие сильного промерзания почв (Семина, 1971). По мнению П.И. Крупкина (1971), это явление обусловлено резкой континентальностью климата. Не только промерзание зимой, но и пересыхание летом приводит к растрескиванию почвы. Часть гумусированного мелкозема верхних горизонтов проваливается по трещинам в безгумусовые горизонты и образует затеки. Глинисто-иллювиальные (BI) и аккумулятивно-карбонатные (Bmcg) горизонты отличаются некоторым уплотнением, появлением комковато-ореховатой, глыбисто-комковатой, глыбистой структуры, мелкослоистой криогенной текстуры. Карбонаты в форме псевдомицелия выделяются в нижней части горизонта Bmcg. Морфологически прослеживается глееватость нижней части профиля, где на основном фоне с едва заметной сизоватостью наблюдаются мелкие ржавые пятна. Как показали почвенно-географические исследования Семиной Е.В. и Вередченко Ю.П. (1962), черты гидроморфности присущи как лесостепным, так и степным черноземам Красноярской лесостепи, развитым в условиях нормального увлажнения. Существенной особенностью водного режима черноземов этого региона является наличие в нижней части почвенного профиля слоя повышенного увлажнения, существование которого связано с ежегодно идущим процессом накопления влаги в слое длительного сезонного промерзания.

В центральной части поля, в нижней части склона широкого увала диагностирован агрочернозем глинисто-иллювиальный гидрометаморфизированный мощный (лугово-черноземная почва, по классификации 1977 г). Профиль агрочернозема подразделяется на горизонты PU – AU – AUB – Bg. Вследствие пониженного положения по рельефу почва лучше обеспечена влагой, что отразилось на морфологии ее профиля.

Морфологический анализ профиля агрочернозема глинисто-иллювиального гидрометаморфизированного показывает, что гумусовый горизонт, находясь в зоне аэрации, по основным признакам мало отличается от аналогичных горизонтов агрочернозема глинисто-иллювиального, за исключением наличия творожистой структуры в горизонтах AU и AUB. Агрочернозем глинисто-

иллювиальный гидрометаморфизированный отличается потечностью гумуса, проникающей в гидрометаморфический горизонт, который характеризуется признаками оглеения в виде ржаво-охристых и сизых пятен.

Разрез 2 – Агрочернозем глинисто-иллювиальный гидрометаморфизированный мощный. Заложен севернее разреза 1 на дне широкой ложбины.

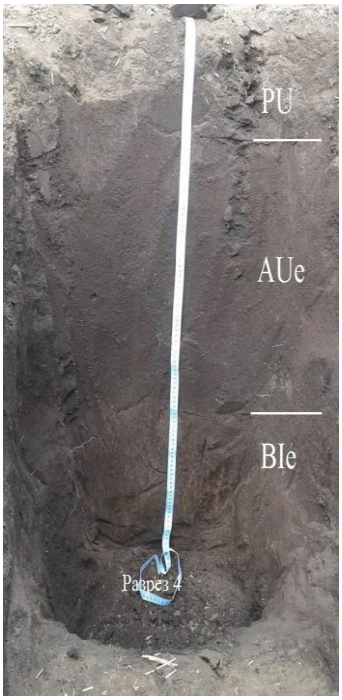


PU *0-20 см.*	*Свежий, черный, рыхлый, мелкоглыбисто-комковатый, тонкопористый, тонкотрещиноватый, остатки соломы и корни, не вскипает, глинистый. Переход резкий по плужной подошве.*
AU *20-91 см.*	*Свежий, черный, рыхлый, творожистый, тонкопористый, тонкотрещиноватый, обильно прокрашен гумусом, встречаются тонкие корни, глинистый, не вскипает. Переход постепенный.*
AUB *91-116 см.*	*Свежий, темно-серый с буроватым оттенком, рыхлый, творожистый, тонкопористый, тонкотрещиноватый, единичные тонкие корни, глинистый, не вскипает. Переход постепенный.*
Bg *116-143 см.*	*Свежий, глыбисто-порошистый, серо-бурый с гумусовыми пятнами, уплотнён, ржаво-охристые и сизые пятна, тонкопористый, тонкотрещиноватый, глинистый, не вскипает. Переход постепенный.*
Cg *>143 см*	*Бурая влажная глина.*

В комплексе с агрочерноземами глинисто-иллювиальными типичными в пределах поля выделен агрочернозем глинисто-иллювиальный оподзоленный. Обычно такие почвы занимают северные и восточные склоны увалов и микрозападины.

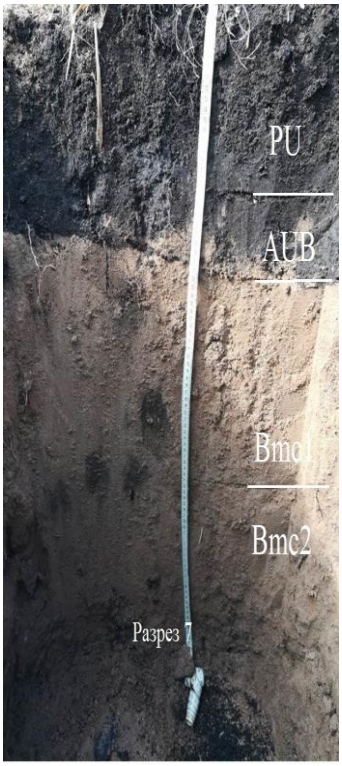
На микроповышениях опытного участка в разрезах 7 и 8 диагностированы агрочерноземы криогенно-мицеллярные (черноземы обыкновенные).

Разрез 4 – Агрочернозем глинисто-иллювиальный оподзоленный среднемощный. Расположен в 50 м юго-западнее разреза 3 в понижении вогнутого склона.



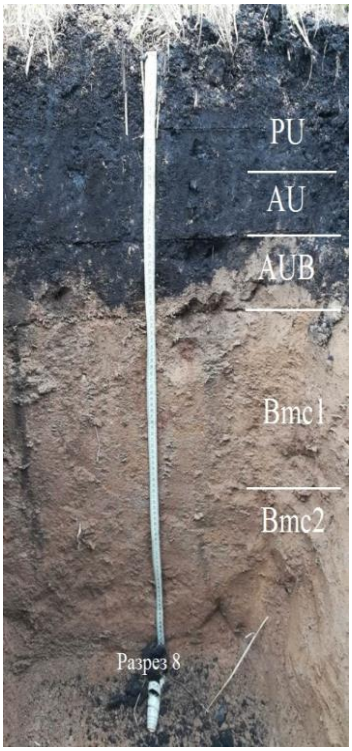
PU *0-20 см.*	*Свежий, черный, обильно пропитан гумусом, глыбисто-комковатый, тонкопористый, тонкотрещиноватый, обилие соломы, тонких корней, глинистый, рыхлый, не вскипает. Переход ясный по плотности.*
AUe *20-71 см.*	*Свежий, чёрный, темнее предыдущего, при подсыхании появляется белесоватая кремнезёмистая присыпка, комковато-порошистый, при подсыхании пылит, тонкопористый, тонкотрещиноватый, глинистый, не вскипает, обилие тонких корней, уплотнён, не вскипает. Переход ясный по цвету и плотности.*
BIe *71-104 см.*	*Свежий, серо-бурый, при подсыхании становится белесоватым, с белыми зернами кварца, плотнее предыдущего, комковато-порошистый, тонкотрещиноватый, пористый, глинистый, не вскипает. Переход постепенный.*
C *>104 см*	*Желто-бурая глина.*

Разрез 7 – Агрочернозем криогенно-мицелярный маломощный. Заложен на вершине широкого увала.



PU *0-22 см.*	*Темно-серый, влажный, комковато-глыбистый, рыхлый, тонкопористый, тонкотрещиноватый, глинистый, много тонких корней, вскипает, переход в нижележащий горизонт по «плужной подошве».*
AUB *22-31 см.*	*Желто-бурый с мелкими гумусовыми затеками, свежий, комковато-глыбистый, вскипает, карбонаты в форме псевдомицелия, несколько уплотнен, глинистый, тонкопористый, тонкотрещиноватый, встречаются корни, переход постепенный.*
Bmc$_1$ *31-61 см.*	*Желто-бурый, свежий, глыбистый, уплотнен, пористый, тонкотрещиноватый, глинистый, единичные корни, бурно вскипает, карбонаты в форме псевдомицелия, кротовины, переход в нижележащий горизонт по цвету.*
Bmc$_2$ *61-98 см.*	*Желто-бурый с белесоватым оттенком, свежий, глыбистый, плитчатой текстуры, глинистый, пористый, тонкотрещиноватый, бурно вскипает, псевдомицелий карбонатов.*
Cca *>98 см*	*Желто-бурая карбонатная глина.*

Разрез 8 – Агрочернозем криогенно-мицеллярный маломощный. Заложен в 200 м восточнее разреза 7.



PU *0-14 см.*	*Влажный, темно-серый, рыхлый, комковато-глыбистый, гумусовые вещества, обильно живые корни, тонкопористый, тонкотрещиноватый, глинистый, не вскипает, переход по «плужной подошве».*
AU *14-22 см.*	*Темно-серый, комковатый, рыхлый, гумусовые вещества, корни растений, тонкопористый, тонкотрещиноватый, глинистый, не вскипает, переход постепенный.*
AUB *22-32 см.*	*Желто-бурый с гумусовыми затеками, комковато-глыбистый, несколько уплотнен, тонкопористый, тонкотрещиноватый, глинистый, вскипает, карбонаты в диффузной форме, переход постепенный языковатый*
Bmc$_1$ *32-58 см.*	*Желто-бурый, глыбистый, рыхлый, пористый, тонкотрещиноватый, глинистый, карбонаты в диффузной форме, бурно вскипает, обильно встречаются Fe2O3, переход по цвету.*
Bmc$_2$ *58-96 см.*	*Желто-бурый с белесоватым оттенком, глыбистый, глинистый, рыхлый, соответствует признакам горизонта Bmc$_1$, но более светлый*
Cca *>96 см*	*Желто-бурая карбонатная глина.*

Профиль агрочерноземов криогенно-мицелярных, имея генетические горизонты: PU – AUB – Bmc – Bca, отличается от профиля агрочерноземов глинисто-иллювиальных типичных вскипанием в горизонте AU или в нижней части гумусового горизонта. Среди агрочерноземов мицелярно-карбонатных распространены маломощные и среднемощные виды тяжелосуглинистого и глинистого гранулометрического состава. По данным О.В. Михайловой (2000), мощность гумусового горизонта среднемощных обыкновенных черноземов меньшая, чем у аналогичных выщелоченных почв, что обусловлено пониженным увлажнением, характерным для почв рассматриваемого подтипа. Средняя мощность гумусового горизонта почв ключевых разрезов в условиях пашни составляет 31-32 см.

Почвенный покров опытного поля не является однородным уже в пределах типа. Причем только три из выделенных почвенных контуров представляют собой мелкоконтурные элементарные ареалы (ЭПА) (рис. 3).

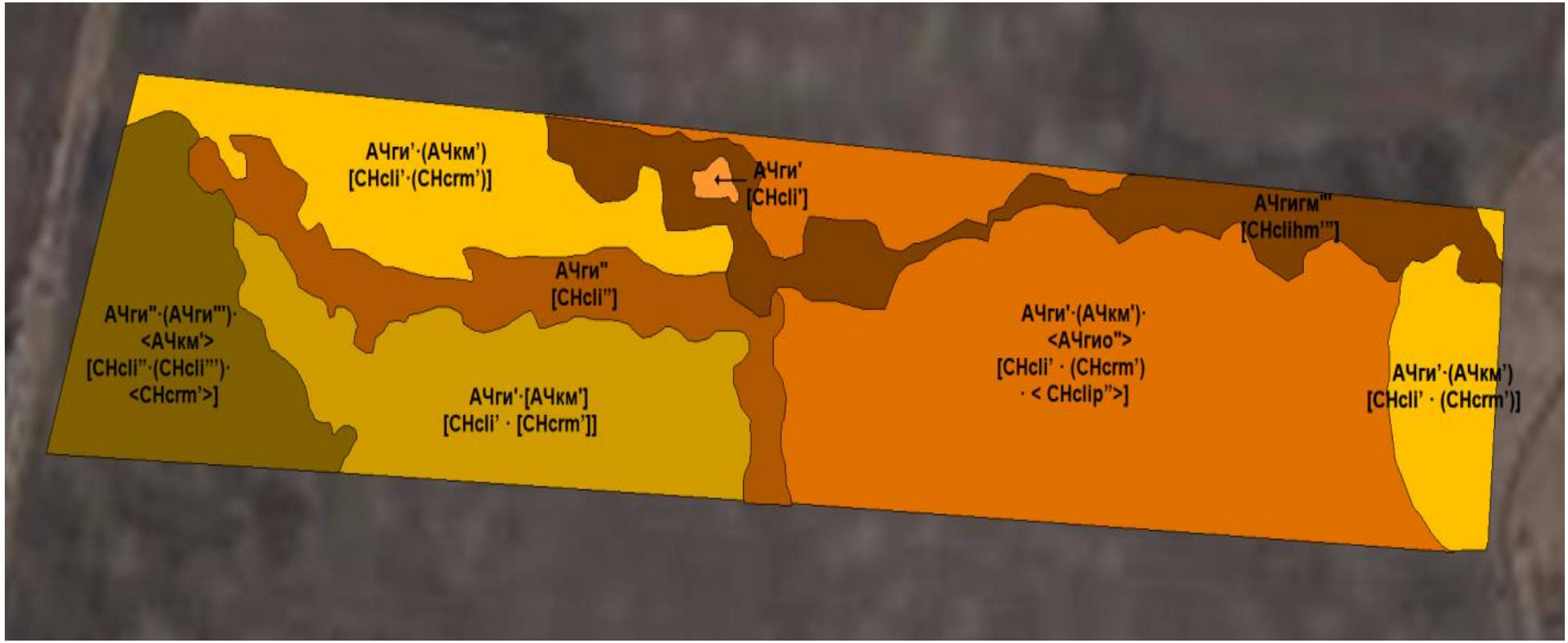


Рисунок 3 – Структура почвенного покрова опытного поля

Обозначения на рисунке: *АЧгигм''' – агрочернозем глинисто-иллювиальный гидрометаморфизованный мощный; АЧги' – агрочернозем глинисто-иллювиальный типичный маломощный; АЧги'' – агрочернозем глинисто-иллювиальный типичный среднемощный; АЧги' · (АЧкм') – пятнистость агрочернозем глинисто-иллювиального типичного маломощного с агрочерноземами криогенно-мицелярными карбонатными среднемелкими (от 25 до 50%); АЧги' · (АЧкм') – пятнистость агрочернозема глинисто-иллювиального типичного маломощного с агрочерноземом криогенно-мицелярным карбонатным среднемелким (10-25%); АЧги' · (АЧкм') · <АЧгио''> - пятнистость агрочернозема глинисто-иллювиального маломощного с криогенно-мицелярными карбонатными среднемелкими (25-50%) и глинисто-иллювиальными оподзоленными среднемощными (до 10%). АЧги'' · (АЧги''') · <АЧкм'> - пятнистость агрочернозема глинисто-иллювиального типичного среднемощного с глинисто-иллювиальными типичными мощными (25-50%) и криогенно-мицелярными маломощными (до 10%).*

Остальные контуры – это элементарные почвенные структуры (ЭПС), состав которых варьирует, в основном, от доли участия сопутствующих компонентов. 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 (Демьяненко, Кураченко, Колесник, 2021).

Таким образом, морфологические особенности профилей агрочерноземов в значительной степени определяются характером рельефа. Это выражается в различной мощности и интенсивности окраски гумусовых горизонтов, а также в характере почвенной структуры и глубине залегания карбонатов. Структура почвенного покрова опытного участка представлена комплексом агрочерноземов и характеризуется сочетанием пятнистостей и элементарных почвенных ареалов. Доминирующими являются агрочерноземы глинисто-иллювиальные маломощные. Им сопутствуют агрочерноземы криогенно-мицелярные и агрочерноземы глинисто-иллювиальные мощные и глинисто-иллювиальные оподзоленные среднемощные.

4.2 Химические и физико-химические свойства

Гранулометрический состав является одной из важнейших генетических и агрономических характеристик, он влияет на такие факторы, как растительный покров, температура, водный режим, изменяет действие этих зональных факторов и приводит к формированию почв, отличающихся рядом других свойств (Карпачевский, 1993). В пределах опытного поля в ходе исследований были выявлены легкоглинистые крупнопылевато-иловатые разновидности агрочерноземов (табл. 2).

Таблица 2 – Химические и физико-химические свойства агрочерноземов

Горизонт	Глубина, см	Содержание фракций, %; размер частиц, мм		pHводн	Гумус, %	Обменные катионы		Гидролитическая кислотность, ммоль/100г	Сумма обменных оснований, ммоль/100г	Степень насыщенности основаниями, %
		<0,001	<0,01			Ca^{2+}	Mg^{2+}			
						мг-экв/100г почвы				
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Р.1 Агрочернозем глинисто-иллювиальный типичный маломощный										
PU	0-17	39,4	64,3	6,9	11,1	26,5	5,1	1,3	58,8	97,9
AU	17-42	38,4	62,6	7,0	10,1	26,3	5,1	1,2	58,6	98,0
AUB	42-62	36,6	62,9	7,4	3,1	23,8	5,3	0,6	40,0	98,4
BI	62-70	37,0	57,9	7,6	1,6	21,6	5,1	0,5	33,6	98,6
Bmcg	70-95	40,4	63,3	8,1	1,6	-	-	-	-	-
Р.2 Агрочернозем глинисто-иллювиальный гидрометаморфизированный мощный										
PU	0-20	36,8	55,8	7,2	9,1	24,6	4,3	0,5	55,4	99,0
AU	20-91	43,7	58,5	7,2	9,7	25,8	3,9	0,5	55,6	99,1
AUB	91-116	36,8	64,2	7,3	9,2	26,0	3,6	0,7	56,0	98,8
Bg	116-143	30,5	53,2	6,3	7,9	18,9	3,5	3,3	43,2	92,8
Р.3 Агрочернозем глинисто-иллювиальный типичный										
PU	0-20	36,5	65,8	7,4	9,0	27,0	3,6	0,3	57,2	99,4
AUB	20-44	35,0	65,0	7,5	3,9	22,0	5,1	0,7	39,2	98,2
BI	44-68	36,9	65,8	7,4	1,4	21,1	5,6	0,4	32,8	98,7
Bmcg	68-90	37,8	65,2	8,2	1,3	-	-	-	-	-
Р.4 Агрочернозем глинисто-иллювиальный оподзоленный среднемощный										
PU	0-20	33,8	63,3	7,3	10,1	27,5	3,8	0,4	62,0	99,4
AUe	20-71	34,7	64,8	6,8	9,7	27,0	5,3	0,9	59,2	98,6
BIe	71-104	37,7	64,3	5,8	12,0	24,5	5,0	5,0	49,6	90,8

Продолжение таблицы 2

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Р.5 Агрочернозем глинисто-иллювиальный типичный маломощный										
PU	0-26	38,6	65,3	6,5	10,1	27,6	4,3	1,9	53,2	96,6
AUB	26-37	34,5	61,4	6,8	8,8	25,4	4,1	2,6	54,0	95,5
BIg	37-58	40,1	61,5	7,0	4,0	24,0	4,0	0,9	41,6	97,9
Bmcg	58-80	36,0	59,8	7,4	1,3	-	-	0,5	33,2	98,5
Р.6 Агрочернозем глинисто-иллювиальный типичный мощный										
PU	0-20	36,4	64,9	7,3	8,6	27,0	4,0	0,5	56,4	99,2
AU	20-75	30,3	58,9	7,3	9,7	26,5	4,1	0,4	58,8	99,3
AUB	75-92	32,7	59,2	7,4	6,1	25,8	4,1	0,3	51,6	99,5
Bmc	92-110	36,5	59,8	7,5	2,3	24,3	4,6	0,3	40,0	99,2
Р.7 Агрочернозем криогенно-мицелярный маломощный										
PU	0-22	33,0	58,7	7,9	6,1	26,0	1,5	-	-	-
AUB	22-31	36,4	60,7	8,0	3,5	25,5	2,3	-	-	-
Bmc_1	31-61	38,4	63,1	8,3	1,0	-	-	-	-	-
Bmc_2	61-98	38,2	65,1	8,4	0,9	-	-	-	-	-
Р.8 Агрочернозем криогенно-мицелярный маломощный										
PU	0-14	38,2	61,8	7,3	6,3	27,3	3,8	-	-	-
AU	14-22	35,6	63,5	7,6	5,7	27,8	4,6	-	-	-
AUB	22-32	35,5	61,0	7,8	3,9	26,0	4,3	-	-	-
Bmc_1	32-58	38,0	64,1	8,2	1,0	-	-	-	-	-
Bmc_2	58-96	37,5	64,7	8,3	0,9	-	-	-	-	-
Р.9 Агрочернозем глинисто-иллювиальный типичный среднемощный										
PU	0-14	40,9	63,7	6,8	8,8	25,3	3,8	5,4	65,2	92,4
AU	14-48	39,0	63,3	6,8	8,7	26,8	4,1	4,7	65,8	93,3
AUB	48-64	37,9	61,7	6,9	1,9	22,5	3,9	3,3	42,8	92,8
BI	64-73	35,3	56,5	7,0	1,2	21,3	3,3	2,7	39,4	93,6
Bmc	73-100	30,7	48,4	8,0	1,0	-	-	0,5	-	-

- не определялось

Содержание физической глины в горизонте PU агрочерноземов глинисто-иллювиальных типичных и оподзоленных оценивается на уровне 63-66%. В агрочерноземе глинисто-иллювиальном гидрометаморфизированном количество физической глины снижено до 56%, а также наблюдается нехарактерное для остальных почв поля варьирование фракций крупной пыли и песка, как следствие флювиальных процессов (табл. 2).

Наличие значительного количества крупной пыли (20-40%) подтверждает лессовидный характер почвообразующих пород. Профильное распределение илистой фракции свидетельствует о стабильности минеральной массы агрочерноземов. Определенных закономерностей в перемещении ила в пределах типов и подтипов агрочерноземов не обнаружено. Как правило, отмечена слабая дифференциация профилей по гранулометрическому составу. Так, увеличение илистой фракции в агрочерноземах глинисто-иллювиальных типичных и оподзоленном на 1-4% в горизонтах Bmc и BIe позволяет судить о слабом проявлении иллювиального процесса. Накопление илистой фракции, достигающее 44%, отмечено в горизонте AU агрочернозема глинисто-иллювиального гидрометаморфизированного мощного. Заметной смены гранулометрического состава в пределах профиля агрочерноземов криогенно-мицеллярных не наблюдается, он представляется однородным. Небольшое увеличение илистой фракции в горизонте Bmc на 2-5% связано с неоднородностью почвообразующих пород.

Агрочернозем глинисто-иллювиальный гидрометаморфизированный и оподзоленный, формируясь в нижней части широкого увала, отличаются существенной мощностью гумусового горизонта, достигающей более метра. Они оцениваются на видовом уровне как тучные (8-12%). Вниз по профилю содержание гумуса уменьшается постепенно и отличается большей растянутостью. Гумусированность этого типа почвы по сравнению с агрочерноземами глинисто-иллювиальными типичными в целом выше, что обусловлено влиянием рельефа. При расположении почв на шлейфах склонов и в

их нижних частях осаждаются высокодисперсные, обогащенные гумусом частицы, выносимые из пахотного слоя черноземов склонов, в основном в период снеготаяния. По данным Хмелева В.А. и Танасиенко А.А. (2009), в зависимости от снежности зимы, орографических особенностей и характера снеготаяния в лугово-черноземных почвах аккумулируется весной от 112 до 206 кг/га продуктов твердого стока.

Агрочерноземы криогенно-мицеллярные, расположенные на повышенных участках исследуемой территории, являются маломощными среднегумусными с довольно резким уменьшением содержания гумуса с глубиной. Содержание гумуса в агротемногумусовом горизонте PU почв ключевых разрезов составляет 6%, снижаясь до 3-4% в горизонте AUB (табл. 2).

Агрочерноземы глинисто-иллювиальные типичные имеют нейтральную реакцию почвенного раствора. В аккумулятивно-карбонатном горизонте Bmc pH водной вытяжки становится слабо- или среднещелочной по причине присутствия значительных количеств углекислых солей. В профиле агрочернозема глинисто-иллювиального гидрометаморфизированного и оподзоленного выделяются две физико-химические зоны: верхняя с нейтральной реакцией почвенного раствора и нижняя со слабокислой. Верхняя граница окарбоначенной зоны, характеризующаяся слабощелочной реакцией почвенного раствора, в профиле агрочерноземов криогенно-мицеллярных находится в горизонте PU или AUB.

Все свойства почвы, обусловливающие величину урожайности, в той или иной степени связаны с количественными и качественными показателями почвенно-поглощающих комплексов (ППК). В составе обменных катионов агрочерноземов доминирует Ca^{2+}, но в значительных количествах присутствует и Mg^{2+}. Содержание кальция в верхней части профиля в 5-8 раз превышает содержание магния, что является следствием недостаточного увлажнения почв (табл. 2). В нижней части профилей доля обменного кальция в ППК уступает магнию.

Агрочерноземы глинисто-иллювиальные типичные отличаются очень высокой суммой обменных оснований в гумусовом горизонте (PU + AU), превышающей 53-59 ммоль/100 г почвы. Гидролитическая кислотность не высокая (в профиле 0,28-1,90 ммоль/100 г). Высокая емкость катионного обмена агрочернозема глинисто-иллювиального типичного обусловлена тяжелым гранулометрическим составом и высоким содержанием органического вещества. С падением гумусности по профилю сумма обменных оснований прогрессивно уменьшается. Некоторое обогащение глинисто-иллювиального горизонта (B) илом не сопровождается увеличением в нем обменных оснований, поскольку небольшое возрастание ила не компенсирует более заметного уменьшения здесь гумуса. Степень насыщенности почв основаниями равна 96-99 %, что соответствует данному подтипу.

В агрочерноземе глинисто-иллювиальном гидрометаморфизированном, высокая сумма обменных оснований согласуется с высоким содержанием гумуса и изменяется от 55 (в горизонте PU) до 43 ммоль/100 г (в горизонте Bg). Эти почвы формируются в условиях намыва и повышенного увлажнения за счет поверхностного притока влаги, а иногда и более близкого к поверхности расположения грунтовых вод. Характерной особенностью данного типа почв является заметное увеличение гидролитической кислотности с горизонта Bg (3,3 ммоль/100 г). Агрочернозем глинисто-иллювиальный оподзоленный характеризуется повышенной гидролитической кислотностью в горизонте BIe, достигающей 5 ммоль/100г. Сумма обменных оснований колеблется от 62 до 50 ммоль/100 г (табл. 2).

Обобщая химическую характеристику агрочерноземов, следует отметить высокий уровень их плодородия. Они отличаются очень высоким и высоким содержанием гумуса, нейтральной реакцией почвенного покрова, очень высокой и высокой суммой обменных оснований.

ГЛАВА 5. ВЛИЯНИЕ ОСНОВНОЙ ОБРАБОТКИ НА ПРОСТРАНСТВЕННУЮ ИЗМЕНЧИВОСТЬ СВОЙСТВ АГРОЧЕРНОЗЕМОВ

Почва, как природное образование, характеризуется как временной, так и пространственной изменчивостью. В природе практически невозможно отыскать участки с идеальной выровненностью. Широкое разнообразие почвенных свойств определяется естественными причинами и связано с действием основных факторов почвообразования в пространстве. Такими факторами являются рельеф, водная эрозия и дефляционные процессы, мерзлотные явления, неоднородность почвообразующих пород, уровня залегания грунтовых вод, пестрота растительного покрова и воздействие животного мира. Известно, что рельеф оказывает влияние на плодородие почвы, определяет ее агрохимические свойства, гидрологические особенности, интенсивность биологических и физико-химических процессов, радиационный и тепловой баланс (Абдулвалеев, Исмагилов, 2009) Вследствие этого создается пестрота плодородия даже в пределах небольшой территории.

Пространственная изменчивость свойств пахотных почв – это результат действия совокупности естественных процессов и практики землепользования (Гумматов, 2011). Неоднородность свойств почв сельскохозяйственных угодий имеет более выраженный характер, чем у почв целинных аналогов (Бугаков, Чупрова, 1995; Бурлакова, 1984; Михеева, 2001). Важнейшим условием, определяющим пространственную неоднородность распределения элементов питания в пахотном слое, является характер производственной деятельности – господствующая система земледелия и система удобрений (Сидорова, 2016). Эффективность систем обработки по способности регулирования почвенных процессов, связанных с плодородием, во многом обусловлена длительностью их применения, метеорологическими условиями, видом севооборота, культурами, представленными в нём, применением удобрений, средств защиты. Поэтому

результаты применения систем обработки, их эффективность оцениваются различными авторами неоднозначно (Чуян и др., 1987; Шарков, 1997; Васенев и др., 2004; Абдулвалеев, Исмагилов, 2009; Данилов и др., 2015; Перфильев и др., 2015; Синещеков, Ткаченко, 2016).

5.1 Пространственная неоднородность агрегатного уровня структурной организации агрочерноземов

Интенсивная распашка относится к числу наиболее активных факторов преобразования почвенного покрова, приводящая к нарушению строения, структуры и состава верхней части профиля. Основными агрогенными процессами при распашке почв являются процессы дегумификации, дезагрегации и метаструктуризации почвенной массы (Артемьева, 2005). Восстановление и сохранение структурно-функциональных физических свойств и плодородия обрабатываемых почв обусловлено составом и свойствами элементарных почвенных частиц и микроагрегатов. Гранулометрический состав почв, определяя соотношение содержания элементарных почвенных частиц, является основой для формирования микроагрегатов. В концепции иерархии уровней структурной организации почв, уровень элементарных почвенных частиц является тем исходным уровнем, который в основном обуславливает особенности структуры и её функции на следующих, более высоких уровнях организации почвы (Воронин, 1986; Розанов, 1983).

Элементарные почвенные частицы при определенных условиях могут слипаться, склеиваться, коагулировать, формируя микроагрегатный состав почв. По мнению Алексеевой Т.В. (2007), вся совокупность почвенных процессов находит своё отражение в микроструктурной организации почв. Это качественно новый уровень организации твердой фазы почв, так как у микроагрегатов появляется очень важное в агротехническом отношении свойство – дополнительная внутриагрегатная пористость (Кураченко, 2013). Знание

микроагрегатного состава почв с учетом других её свойств (содержания гумуса, состава обменных оснований и др.) позволяет решать ряд важных вопросов генезиса почв и условий их наиболее производительного использования. Неоднозначность оценок изменения структурного состояния пахотных почв на микроагрегатном уровне (Медведев, 1982; Королев, 2004; Артемьева, 2005; Травникова, 2006; Бевзова, 2007; Мягкий, 2007; Кураченко, 2010) определила задачу наших исследований, которая заключалась в изучении особенностей содержания и пространственного распределения микроагрегатов агрочернозема в условиях вспашки и минимизации основной обработки.

Изученные агрочерноземы опытного поля характеризуется легкоглинистым гранулометрическим составом с содержанием физической глины 60-65% (Кураченко, Колесник, Парченко 2020). Преобладающими фракциями в гранулометрическом составе почвы на всех фонах основной обработки являются крупная пыль (25-32%) и ил (30-33%) (табл. 3).

Наличие значительного количества крупной пыли в почвах подтверждает лессовидный характер почвообразующих пород. При одинаковом гранулометрическом составе почвы закономерных и существенных изменений в содержании фракций элементарных почвенных частиц по фонам основной обработки не выявлено. Небольшие различия в 1-5% обусловлены почвенной пестротой опытного поля. По мнению Ерёмина Д.И. (2017), только многолетняя обработка почвы может приводить к трансформации фракций гранулометрического состава почв. В условиях склоновых полей многолетняя отвальная система основной обработки почвы приводит к поверхностному смыву элементарных почвенных частиц с размером менее 0,01 мм. Минимальные изменения гранулометрического состава проявляются на вершинах холмов, грив и увалов (Еремин, 2017).

Таблица 3 – Статистические характеристики пространственного распределения фракций гранулометрического состава агрочерноземов (n = 10), %

Статистический показатель*	Гранулометрические фракции, мм					
	1-0,25	*0,25-0,05*	*0,05-0,01*	*0,01-0,005*	*0,005-0,001*	*<0,001*
отвальная обработка (0-10 см)						
X	1,3	53,0	29,6	11,5	3,2	1,5
Cv	100	28	45	36	31	12
отвальная обработка (10-20 см)						
X	1,6	50,9	36,0	7,2	2,6	1,7
Cv	75	13	14	31	54	35
минимальная обработка (0-10 см)						
X	1,2	38,2	45,1	8,4	5,2	1,9
Cv	33	18	21	82	58	42
минимальная обработка (10-20 см)						
X	1,2	39,6	43,6	7,5	6,2	1,8
Cv	17	19	24	85	48	22
нулевая обработка (0-10 см)						
X	0,9	48,1	39,0	6,3	3,2	2,6
Cv	44	12	11	32	69	54
нулевая обработка (10-20 см)						
X	0,8	48,1	40,1	5,1	3,8	2,1
Cv	38	15	18	45	39	57

* Здесь и далее: *X* – среднее значение; *Cv* –коэффициент варьирования.

В почвах тяжелосуглинистого и глинистого гранулометрического состава в нормальных условиях почти отсутствуют высокодисперсные частицы в свободном состоянии (Кураченко, 2013), так как они образуют микроагрегаты. Исследованиями установлено, что обрабатываемые агрочерноземы обладают хорошо выраженной микроагрегированностью, что отразилось в распределении микроагрегатов по фракциям. Общей закономерностью микроагрегатного состава агрочерноземов на вспашке и минимальных технологиях основной обработки явилось господство микроагрегатов крупнее 0,01 мм. На их долю приходится в 0-20 см слое почвы 84-89% (прил. 1).

В микроагрегатном составе почвы, обрабатываемой по разным технологиям, доминируют агрегаты размером 0,25-0,05 мм (38-53%). Количество

микроагрегированного ила не превышает 3%. Прием основной обработки почвы определил фракционный состав микроагрегатов, их пространственную изменчивость и степень дифференциации 0-20 см слоя почвы по содержанию микроагрегатов. Обработка почвы плугом сформировала состав, в котором на долю преобладающей фракции микроагрегатов 0,25-0,05 мм приходится 51-53% и в меньшем объеме представлены агрегаты размером 0,05-0,01 мм (30-36%). Содержание микроагрегированного ила составило 1,5-1,7%. Уменьшение количества микроагрегатов крупной пыли на 6% и увеличение средней пыли на 5% в 0-10 см слое почвы определяют неоднородность пахотного слоя почвы в условиях вспашки.

Минимизация основной обработки почвы, сохраняя высокую микроагрегированность агрочерноземов и однородность распределения микроагрегатов в 0-20 см слое, определила изменение фракций микроагрегатного состава. Мелкая обработка почвы дискатором по сравнению со вспашкой способствовала уменьшению доли крупных микроагрегатов размером 0,25-0,05 мм на 11-15% и увеличению количества микроагрегатов крупной пыли на 8-15%. Нулевая обработка почвы определила формирование микроагрегатов мелкого песка (48%) и крупной пыли (39-40%). Особенностью этого приема обработки является увеличение доли микроагрегированного ила до 3%.

Неоднородность микроагрегатного состава агрочерноземов в пространстве подтверждается варьированием содержания отдельных фракций (прил. 1). При обработке почвы плугом, как правило, отмечена средняя и небольшая изменчивость микроагрегатов. Исключение составляют крупные микроагрегаты размером 1-0,25 мм, отличающиеся очень высокой изменчивостью в пространстве (Cv = 70-100 %). Этой же фракции в 0-10 см слое свойственна достоверная правая асимметрия (A = 2,4) и положительный эксцесс (E = 6,6), что свидетельствует о достаточно резком повышении количества этих микроагрегатов в выборке. Характер статистического распределения фракций микроагрегатного состава в условиях минимальной обработки свидетельствует о нарастании вариабельности

с уменьшением размера микроагрегатов. Высоко и очень высоко варьирующими микроагрегатами являются тонкие микроагрегаты менее 0,01 мм (Cv = 42-82 %). Статистическое распределение структурных микроагрегатов на фоне прямого посева симметричное. Микроагрегаты размером 1-0,25 и менее 0,005 мм в 0-10 см слое почвы нестабильны в пространстве (Cv = 44-69 %).

Общее количество микроагрегатов недостаточно полно свидетельствует о степени микроагрегированности почв, так как в составе относительно крупных фракций присутствуют и элементарные почвенные частицы соответствующих размеров, которые не являются результатом агрегированности. Поэтому для суждения о потенциальной способности агрочернозема к оструктуриванию определены такие показатели, как содержание истинных микроагрегатов и коэффициент дисперсности, расчет которых основан на использовании данных гранулометрического и микроагрегатного анализов (табл. 4).

Лучшие условия для формирования микроагрегатов и их прочности на вспашке подтверждаются высоким содержанием истинных микроагрегатов крупнее 0,05 мм (46-47%) и низким коэффициентом дисперсности (5%). Минимальная и нулевая обработки почвы способствуют разрушению микроструктурных агрегатов. В наибольшей степени разрушение крупных микроагрегатов происходит при обработке агрочерноземов дискатором. Содержание истинных микроагрегатов убывает в ряду обработок: отвальная (46-47%) – нулевая (41-44%) – минимальная (31-32%).

Таблица 4 – Микроагрегатный состав агрочерноземов (n=10), %

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

Полученные результаты согласуются с исследованиями Синещекова В.Е. (2017) доказавшими, что в условиях длительной минимизации основной обработки, вплоть до отказа от неё, содержание истинных микроагрегатов размером 0,25-0,01 мм в слое 0-30 см составило в среднем 17%. Несколько лучшие условия микроагрегатной структуры (21%) авторы наблюдали при систематической вспашке. На возможность разрушения микроагрегатов под влиянием обработок указывают исследования Семендяевой Н.В. с соавторами (2015), которыми показано разрушение микроагрегатной структуры в паровых полях севооборотов. По мнению Беленкова А.И. и др. (2011), обработка почвы, проведенная на полную глубину, приводит к образованию комковатой структуры, обладающей водоустойчивыми связями между почвенными частицами, что благоприятно влияет на другие агрофизические свойства.

Таким образом, агрочерноземы Красноярской лесостепи, имея легкоглинистый гранулометрический состав, характеризуются высокой устойчивостью агрегирующих связей микроструктуры и господством микроагрегатов крупнее 0,01 мм (84-89%). Наибольшая устойчивость микроструктурных агрегатов выявлена на фоне вспашки. 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.

Структурно-агрегатный состав почвы является одним из основных факторов оптимизации физических свойств почвы, которые в значительной степени определяют ее тепловой, водно-воздушный и пищевой режимы (Коротких и др., 2013). Наиболее распространенный способ улучшения почвенной структуры в сельском хозяйстве – её механическая обработка различными орудиями. Она является уникальным средством воздействия на почву и растения, и оказывает многостороннее влияние на многие свойства почвы и урожайность

культур (Пегова, 2016). Рабочев И.С. (1978) подчеркивал, что применение тяжелых машин и транспортных средств приводит к уплотнению почвы до глубины 1 м, разрушает структуру, ухудшает водно-физические свойства почвы, что отрицательно влияет на ее плодородие. Ухудшение агрономически важных свойств длительно обрабатываемой пашни потребовало пересмотра существующей технологии обработки почв. По мнению ряда авторов, развитие и освоение наукоемких технологий в сельском хозяйстве движется в направлении максимального ресурсо- и энергосбережения, сохранения почвенного плодородия, экологической безопасности и охраны окружающей среды на основе минимизации обработки и перехода на прямой посев (Rainbow, 2011; Власенко, 2011, 2013; Кураченко, 2013).

В условиях агроценозов обработка почвы и её приемы оказывает существенное влияние на изменчивость свойств в пространстве. По Фриду А.С. (2002), микропестрота почв и горизонтальное пространственное варьирование свойств оцениваются как фундаментальные свойства самого почвенного покрова. Однако при исследовании пространственной неоднородности почвенных свойств из вариабельности, обусловленной формированием почвы как естественного исторического тела или предыдущей историей её использования, часто не вычленяется динамичная составляющая, связанная с современным состоянием почв (Гиниятуллин, 2012).

Фракционный состав макроструктуры пахотных горизонтов во многом зависит от содержания гумуса, гранулометрического состава, влажности почвы и её плотности в момент механической обработки, характера рабочего органа почвообрабатывающего орудия (Кузнецова, 1979; Рамазанов, Хазиев, 1994; Рзаева, Еремин, 2010). Структурный анализ, выполненный нами в пространстве, показал отличие фракционного состава структурных отдельностей в условиях различных приемов основной обработки почвы (рис. 4) (Колесник и др., 2018).

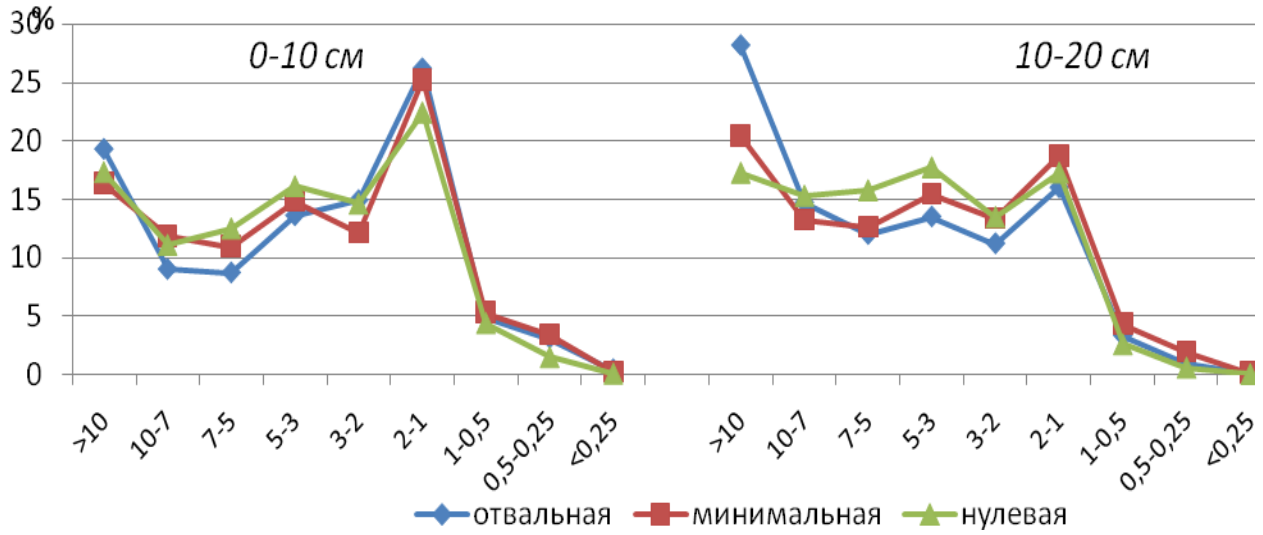


Рисунок 4 – Фракционный состав макроструктуры агрочерноземов, % (n=10)

Нами установлено, что в структурном составе агрочерноземов, обработанных по различным технологиям, преобладают глыбистые > 10 мм (16-28%) и комковато-зернистые отдельности размером 2-1 мм (16-26%). Они являются наиболее трансформируемыми структурными отдельностями и определяют дифференциацию пахотного слоя. Так, в поверхностном 10-см слое доминируют агрегаты размером 2-1 мм (22-26%), в слое 10-20 см – крупнее 10 мм (17-28%).

Фракционный состав структуры слоя 0-10 см существенно не отличается по фонам основной обработки. Вспашка определяет максимальное содержание глыбистых отдельностей >10 мм (19%) и агрономически ценных агрегатов 2-1 мм (26%), что на 1-4% меньше, по сравнению с почвозащитными технологиями обработки почвы. На этом же фоне снижена (на 3-4%) доля крупных агрегатов 10-7 и 7-5 мм. Такие различия не являются существенными. На глубине 10-20 см содержание структурных агрегатов крупнее 1 мм определяется приемом обработки почвы. Нами установлено, что нулевая обработка определяет близкое распределение структурных агрегатов >10 мм; 10-7; 7-5; 5-3; 3-2 и 2-1 мм. На их долю приходится по 14-18% от массы почвы. Ход распределения структурных агрегатов в условиях отвальной и минимальной обработок схожий. Исключение составляют глыбистые агрегаты, где их количество на вспашке достигает 28%.

Структурный состав обрабатываемого слоя агрочерноземов в той или иной степени неоднороден в пространстве, что проявляется в варьировании содержания отдельных фракций (прил. 2). Так, глыбистые агрегаты отличаются очень высокой и средней изменчивостью в пространстве (Cv = 29-61%); 10-2 мм – небольшой и высокой (Cv = 11-49 %). Тонкие агрегаты 1-0,5; 0,5-0,25 и < 0,25 мм на всех фонах обработки варьируют в высокой и очень высокой степени (Cv = 55-171%). Такое варьирование обусловлено высокой дисперсией, приближенной к средним значениям этих фракций. Выявлено, что уменьшение глубины обработки способствует более равномерному распределению крупных агрегатов в пределах 0-10 см слоя. Минимальная и нулевая обработки по сравнению с отвальной определяют абсолютное снижение коэффициента пространственного варьирования глыб > 10 мм на 19-29% соответственно. Слой 10-20 см, не затронутый механическим перемешиванием при прямом посеве, является более неоднородным по содержанию глыбистых отдельностей (Cv = 49 %).

Значительных отклонений по форме статистического распределения содержания фракций, выражающихся в наличии значимых асимметрии и эксцесса, не обнаружено (прил. 2). Исключение составила фракция пыли <0,25 мм в слое 0-10 см. В условиях минимальной обработки она обладает значительной правой асимметрией выборочного статистического распределения (А = 2,8) и значимым эксцессом (Е = 7,9). Это позволяет утверждать, что эта фракция в большинстве случаев в пространстве имеет содержание ниже среднего.

В почвах одновременно со слипанием и связыванием элементарных почвенных частиц происходят процессы, приводящие к обособлению почвенной массы в виде отдельных фрагментов – микро- и макроагрегатов. Важное место среди них занимают процессы увлажнения и иссушения, приводящие к объемным изменениям в почве. Они вызывают в ней напряжение и образование трещин и поверхностей ослабления (Кураченко, 2013). Попытка установить корреляционную зависимость между уровнем увлажнения и пространственным

распределением отдельных структурных фракций показала, что содержание отдельных агрегатов не всегда зависит от влажности почвы (прил. 3, табл. 5).

Установлено, что повышение влажности почвы приводит к усилению глыбообразования в слое 0-20 см в условиях вспашки (r = 0,7). Иссушение в этих условиях 0-10 см слоя формирует тонкие отдельности < 1 мм (r = -0,7-0,8). В условиях поверхностной минимальной обработки дискатором влажность почвы в сильной степени влияет на формирование структурных агрегатов >10 мм и 1-0,5 мм. На нулевом фоне пространственная изменчивость структурных агрегатов 5-3 мм в 0-10 см слое и 10-7; 2-1 мм в слое 10-20 см в достоверной степени сопряжена с увлажнением почвы.

Качественная оценка структурного состояния обрабатываемых агрочерноземов по содержанию в них агрегатов агрономически ценного размера 10-0,25 мм указывает на отличную оструктуренность почвы, функционирующей в условиях вспашки и ресурсосберегающих технологий (рис. 5).

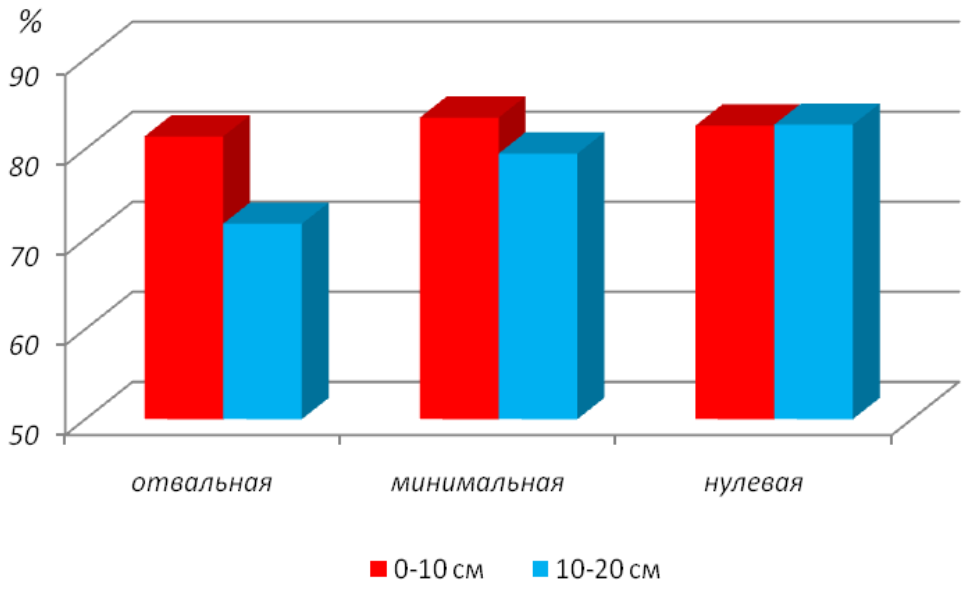


Рисунок 5 – Содержание агрономически ценной фракции макроагрегатов в агрочерноземах, в % (n=10)

Таблица 5 – Результаты корреляционного анализа влияния влажности на содержание фракций структурного состава (r_{05}=0,63; n=10)

Показатель	Фракции, мм								
	>10	*10-7*	*7-5*	*5-3*	*3-2*	*2-1*	*1-0,5*	*0,5-0,25*	*<0,25*
отвальная обработка (0-10 см)									
$r \pm S_r$	**0,65*±0,27**	0,59±0,29	0,15±0,35	-0,27±0,34	-0,03±0,35	-0,45±0,32	**-0,68*±0,26**	**-0,81*±0,21**	**-0,74*±0,24**
r^2	0,42	0,34	0,02	0,07	0,00	0,20	0,46	0,66	0,55
отвальная обработка (10-20 см)									
$r \pm S_r$	**0,67*±0,26**	0,33±0,33	-0,45±0,32	**-0,74*±0,24**	-0,33±0,33	-0,45±0,32	-0,59±0,29	**-0,67*±0,26**	-0,31±0,34
r^2	0,45	0,11	0,20	0,55	0,11	0,21	0,35	0,45	0,10
минимальная обработка (0-10 см)									
$r \pm S_r$	**0,68*±0,26**	0,40±0,32	0,32±0,33	-0,15±0,35	0,26±0,34	-0,33±0,33	**-0,73*±0,24**	-0,52±0,30	-0,36±0,33
r^2	0,46	0,16	0,10	0,02	0,07	0,11	0,53	0,28	0,13
минимальная обработка (10-20 см)									
$r \pm S_r$	0,08±0,35	-0,16±0,35	-0,25±0,34	-0,57±0,29	-0,09±0,35	-0,17±0,35	0,31±0,34	0,59±0,29	0,28±0,34
r^2	0,01	0,03	0,06	0,32	0,01	0,03	0,10	0,35	0,08
нулевая обработка (0-10 см)									
$r \pm S_r$	0,02±0,35	-0,31±0,34	-0,61±0,28	**-0,64*±0,27**	-0,30±0,34	0,49±0,31	0,32±0,34	0,41±0,32	-0,08±0,38
r^2	0,00	0,10	0,37	0,40	0,09	0,24	0,10	0,17	0,01
нулевая обработка (10-20 см)									
$r \pm S_r$	-0,35±0,33	**-0,71*±0,25**	-0,19±0,35	0,17±0,35	0,12±0,35	**0,65*±0,27**	0,41±0,32	0,27±0,34	-0,32±0,33
r^2	0,12	0,50	0,04	0,03	0,01	0,42	0,17	0,07	0,10

* - корреляционная связь существенна при 5% уровне значимости

Содержание агрономически ценных фракций размером 10-0,25 мм (АЦФ) в агрочерноземах в пределах поля оценивается в среднем на уровне 72-84% (табл. 6). Установлено, что верхняя часть пахотного слоя по всем фонам основной обработки характеризуется максимальным содержанием ценных агрегатов, достигающим 80-84% (р = 0,70). Увеличение глубины обработки почвы способствует снижению агрономически ценных фракций в слое 10-20 см. Наибольшая дифференциация 0-20 см слоя отмечена на вспашке, где с глубиной снижение доли АЦФ оценивается на уровне 9%. Прием основной обработки почвы при возделывании пшеницы достоверно повлиял на содержание отдельностей ценного размера 10-20 см слоя (р<0,03). В ряду обработок нулевая – минимальная – отвальная содержание агрегатов 10-0,25 мм постепенно снижается в пространстве от 83 до 72%.

Таблица 6 – Статистические характеристики содержания агрономически ценной фракции в агрочерноземах, в % (n=10)

Статистический показатель*	*Отвальная обработка*		*Минимальная обработка*		*Нулевая обработка*	
	0-10 см	*10-20 см*	*0-10 см*	*10-20 см*	*0-10 см*	*10-20 см*
X	80,4	71,7	83,5	79,5	82,6	82,7
Min	62,0	61,1	67,6	70,4	76,5	64,5
Max	93,8	94,1	92,4	89,0	90,6	94,1
E	-1,12	-0,50	3,27	-0,66	-1,15	1,60
A	-0,72	0,88	-1,42	0,08	-0,33	-0,13
Cv	14	16	8	8	7	10

* Здесь и далее: *X* – среднее значение; *Min, Max* – минимальное и максимальное значение; *A* – коэффициент асимметрии, *E* – коэффициент эксцесса; *Cv* – коэффициент варьирования.

Статистический анализ распределения агрегатов ценного размера в пространстве показал небольшую их изменчивость на фоне вспашки. Коэффициент вариации по слоям 0-10 и 10-20 см составляет 14 и 16% соответственно. Минимальная и нулевая обработки агрочерноземов способствуют сокращению абсолютного интервала варьирования на 3-16% по сравнению с отвальной обработкой и отличаются стабильностью распределения фракций

агрономически ценного размера в пространстве (Cv = 7-10%) (Кураченко, Колесник, 2019).

Значительных отклонений по форме статистического распределения содержания агрономически ценных фракций в пространстве, выражающихся в наличии значимых асимметрии и эксцесса не обнаружено.

Оптимальные параметры агрофизических свойств почвы обуславливают эффективное использование жизненно-важных факторов роста и развития сельскохозяйственных культур при максимальном их урожае и высоком качестве продукции. По мнению Кузиной Е.В. (2017), структурные качества пахотного слоя в значительной степени влияют на регулирование почвенных процессов (водный режим почв, аэрация, водопроницаемость и другие). Почва с хорошо выраженной водопрочной структурой имеет благоприятные физические свойства, способна противостоять антропогенному воздействию и требует меньших затрат энергии для обработки.

Важнейшей агрономической характеристикой качества структуры является ее водопрочность, так как почва должна сохранять свою уникальную комковато-зернистую структуру после обильных осадков и последующего подсушивания, когда образуется неплотная, непроницаемая для газов и воды корка, а вновь хорошо различимые почвенные комочки, агрегаты (Кирюшин, 2010). Водопрочность агрегатов – способность сохраняться при погружении их в воду, а значит сохранять при этом прочность на сдвиг и разрыв – является основной оценкой качества структуры почвы. Некоторые исследователи к наиболее важной части агрономически ценных водопрочных агрегатов относят агрегаты размером 1-5 мм (Хан, 1969; Масютенко, 2008).

Агрегатный анализ, выполненный в пространстве, показал отличие фракционного состава водопрочных агрегатов в условиях различных приемов основной обработки почвы (рис. 6).

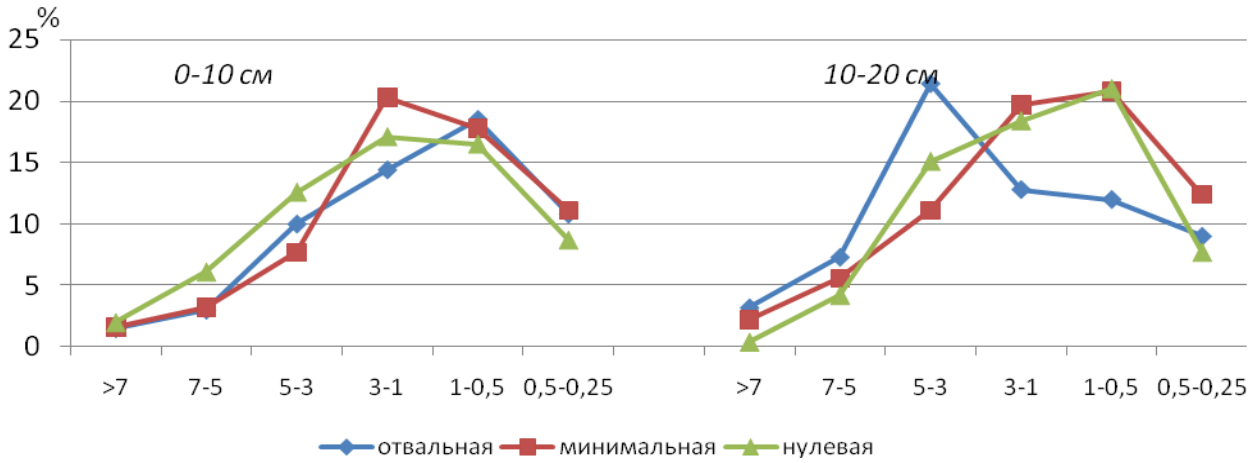


Рисунок 6 – Фракционный состав водопрочных агрегатов агрочерноземов, % (n=10)

Исследованиями установлено, что обработка почвы по различным технологиям способствует интенсивному разрушению крупных агрегатов более 5 мм. Установлена заметная дифференциация 0-20 см слоя по распределению водоустойчивых агрегатов. Так, 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, 2018).

Содержание водопрочных агрегатов размером 7-0,25 мм (ВА) в 0-20 см слое агрочернозема в пределах поля оценивается в среднем на уровне 58-72% и соответствует, как правило, хорошей оструктуренности (рис. 7). Исключение составляет 0-10 см слой почвы на вспашке, где содержание водопрочных агрегатов не превышает в среднем 58%. Установлено, что нижняя часть пахотного слоя по всем фонам основной обработки характеризуется максимальным содержанием ценных агрегатов, достигающим 66-72%. Наибольшая дифференциация 0-20 см слоя отмечена на минимальной обработке, где с глубиной увеличение доли водопрочных агрегатов оценивается на уровне 10%.

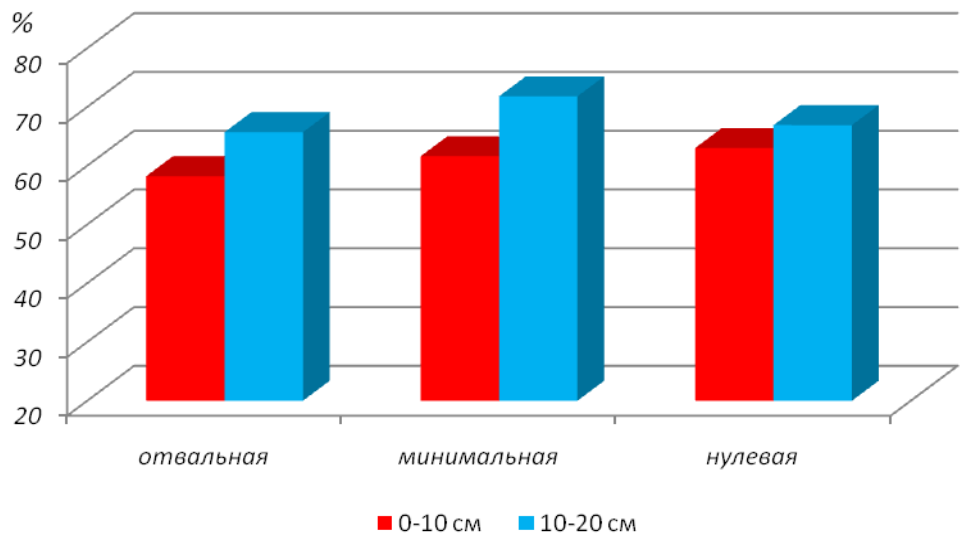


Рисунок 7 – Содержание водопрочных агрегатов в агрочерноземах, % (n=10)

Агрегатный состав, определяемый по сумме водопрочных агрегатов размером 7-0,25 мм, является признаком, варьирующим в пространстве в небольшой и средней степени (Cv = 11-30%) (табл. 7).

Таблица 7 – Статистические характеристики содержания водопрочных агрегатов в агрочерноземе, % (n=10)

Статистический показатель	*Отвальная обработка*		*Минимальная обработка*		*Нулевая обработка*	
	0-10 см	*10-20 см*	*0-10 см*	*10-20 см*	*0-10 см*	*10-20 см*
X	58,2	65,7	61,6	71,8	63,0	66,9
Min	37,4	40,2	29,0	60,4	51,0	55,0
Max	72,9	83,3	83,5	89,2	70,9	80,8
E	-0,75	-0,89	-0,42	2,03	-1,48	-1,45
A	-0,56	-0,58	-0,72	1,01	-0,63	0,13
Cv	20	23	30	11	12	14

Содержание отдельных фракций агрегатного состава является высоко и очень высоко варьирующим признаком (прил. 4). Наибольшее варьирование в пространстве проявляют неустойчивые к воде агрегаты крупных размеров > 7 мм на всех фонах (Cv = 92-166%), а так же агрегаты размером 0,5-0,25 мм в условиях минимальной обработки, где их пространственная неоднородность достигает 103% в 10-20 см слое. Нами установлено, что мелкая обработка почвы дискатором

определяет максимальную неоднородность 0-10 см слоя по содержанию в нём водоустойчивых отдельностей > 7 мм (Cv = 166%).

Фракциям > 7 мм в слое 0-10 см на минимальной и отвальной обработках свойственна значимая правая асимметрия (А = 2,4-2,5) и положительный эксцесс (Е = 5,8-6,6). Для фракций агрегатного состава 0,5-0,25 мм в слое 10-20 см на мелкой обработке и 1-0,5 мм в слое 0-10 см на вспашке характерно наличие повышенных «выбросов» в статистическом их распределении, что отразилось в сильных положительных эксцессах. Это позволяет предположить, что рассмотренные фракции при агрогенном воздействии на почву являются более трансформируемыми.

Структура почвы трансформируется с изменением содержания жидкой фазы или влажности почвы. Это связано не столько с заполнением водой пустот между твердыми частицами почвы, сколько с взаимодействием воды с поверхностью (Данилова, 1996). Значительную роль в формировании водопрочности структуры играют капиллярные силы. Они возникают при увлажнении между твердыми частицами и способствуют их удержанию между собой. Результаты корреляционного анализа влияния влажности на распределение в пространстве устойчивых к воде агрегатов показали слабую и среднюю зависимость изучаемых показателей (табл. 8). Узкий интервал варьирования влажности почвы на всех фонах обработки (Cv = 6-9%) не определяет пространственную неоднородность агрегатного состава.

Несмотря на слабую и среднюю зависимость содержания водопрочных агрегатов от уровня увлажнения, отдельные фракции агрегатного состава агрочернозема коррелируют с влагой более тесно. Установлено, что повышение влажности 0-10 см слоя почвы на вспашке способствует увеличению содержания водопрочных агрегатов > 1 мм (r = 0,36-0,62). Изменение водопрочных фракций 5-3 и 3-1 мм в 0-10 см слое при прямом посеве на 33-38% сопряжено с влажностью почвы.

Таблица 8 – Результаты корреляционного анализа влияния влажности на содержание фракций агрегатного состава (r_{05}=0,63; n=10)

Показатель	Фракции, мм						*ВА*
	7	*7-5*	*5-3*	*3-1*	*1-0,5*	*0,5-0,25*	
отвальная обработка (0-10 см)							
$r \pm S_r$	0,62±0,28	0,36±0,33	0,57±0,35	0,36±0,35	-0,21±0,35	-0,34±0,33	0,28
r^2	0,39	0,13	0,33	0,13	0,05	0,12	
отвальная обработка (10-20 см)							
$r \pm S_r$	0,16±0,35	0,29±0,34	0,17±0,35	0,37±0,33	-0,05±0,35	-0,30±0,34	0,31
r^2	0,03	0,08	0,03	0,13	0,00	0,09	
минимальная обработка (0-10 см)							
$r \pm S_r$	0,17±0,40	-0,05±0,41	0,15±0,4	0,28±0,39	0,41±0,37	-0,19±0,40	-0,20
r^2	0,03	0,00	0,02	0,08	0,17	0,04	
минимальная обработка (10-20 см)							
$r \pm S_r$	-0,18±0,35	-0,22±0,35	-0,37±0,33	0,19±0,35	-0,18±0,35	0,47±0,31	0,37
r^2	0,03	0,05	0,13	0,04	0,03	0,22	
нулевая обработка (0-10 см)							
$r \pm S_r$	0,21±0,35	-0,12±0,35	-0,57±0,29	0,62±0,28	-0,12±0,35	0,22±0,35	0,29
r^2	0,04	0,02	0,33	0,38	0,01	0,05	
нулевая обработка (10-20 см)							
$r \pm S_r$	-0,55±0,32	0,02±0,38	-0,40±0,35	0,26±0,37	-0,25±0,37	-0,33±0,36	-0,39
r^2	0,30	0,00	0,16	0,07	0,07	0,11	

В нижележащем слое в наибольшей степени с влажностью почвы сопряжены крупные водопрочные агрегаты > 7 мм (r = -0,55). Исследованиями Кураченко Н.Л. (2013) установлено, что в тяжелосуглинистых и глинистых почвах увеличение влажности приводит к стабилизации водопрочности агрегатов. В модельном опыте на черноземах Красноярской лесостепи автором было установлено, что иссушение почвы до 6 % приводит к разрушению водоустойчивых агрегатов > 3 мм.

Таким образом, функционирование агрочерноземов в условиях прямого посева и обработки почвы дискатором способствует разрушению микроструктурных агрегатов и снижению содержания истинных микроагрегатов в слое 0-20 см на 4-10%, по сравнению с вспашкой. Минимизация основной обработки отлично и хорошо оструктуренных агрочерноземов увеличивает содержание агрономически ценных фракций на 6-7% и водопрочных агрегатов на 3-5%, и способствует снижению коэффициента пространственной неоднородности.

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

Одним из определяющих факторов устойчивого функционирования агроэкосистем в земледелии является создание оптимальных условий потребления сельскохозяйственными культурами азота, находящегося в первом минимуме. Исследования, проведенные нами в полевом опыте, показали, что преобладающей формой минерального азота в агрочерноземе является аммонийная форма, образующаяся при трансформации азотных удобрений (Кураченко, Колесник 2020). На фоне применения аммиачной селитры обеспеченность почвы агроценоза яровой пшеницы в начале ее вегетации аммонийным азотом очень высокая с незначительным и небольшим варьированием в пространстве (Cv = 6-13%) (табл. 9). На всех фонах основной

обработки среднее содержание аммонийного азота в почве оценивалось близкой величиной (36-39 мг/кг) без существенной дифференциации 0-20 см слоя.

Таблица 9 – Статистические показатели содержания минерального азота в агрочерноземах, мг/кг (n = 10)

Показатель	*N-NH₄*		*N-NO₃*	
	0-10 см	10-20 см	0-10 см	10-20 см
отвальная обработка				
X ± Sx	40,1±2,0	37,9±2,0	12,9±1,5	11,5±1,8
Min	34,1	34,1	8,7	7,9
Max	44,1	40,9	15,1	15,9
Cv, %	7	7	16	22
минимальная обработка				
X ± Sx	35,7±1,6	36,3±2,2	15,9±2,7	13,9±2,5
Min	31,9	30,5	11,1	7,8
Max	39,6	40,9	22,4	17,7
Cv, %	6	8	23	26
нулевая обработка				
X ± Sx	35,2±3,2	37,0±2,9	12,0±2,3	11,0±1,7
Min	28,0	31,0	8,9	8,0
Max	42,5	45,7	17,7	15,9
Cv, %	13	11	28	22
p_{05}	*0,96*	*0,57*	*0,03**	*0,07*

Sx – доверительный интервал

При физиологической равноценности в питании растений аммонийной и нитратной формы азота, отмечалось преимущественное использование растениями в полевых условиях нитратного азота. По мнению Поповой Э. П. и Лубите Я. И. (1975), роль аммонийного азота в питании растений проявляется во вторую половину вегетационного периода, когда растения имеют хорошо развитую корневую систему, а нитраты в почве отсутствуют.

Большая часть аммонийного азота в условиях, благоприятных для нитрификации, сразу после аммонификации окисляется нитрифицирующими бактериями до нитратов. Достаточное увлажнение и оптимальные температуры в начале вегетации пшеницы способствовали накоплению в почве нитратной формы азота. Количественные оценки содержания и пространственного

распределения $N\text{-}NO_3$ определялись приемом основной обработки почвы. Минимальная обработка почвы дискатором определила повышенное содержание нитратного азота (16 мг/кг) в 0-10 см слое (р = 0,03). Вспашка и нулевая обработка почвы способствовали снижению содержания нитратного азота до 12-13 мг/кг. В слое 10-20 см среднестатистическое содержание нитратного азота постепенно уменьшалось в ряду обработок: минимальная (14 мг/кг) – отвальная (12 мг/кг) – нулевая (11 мг/кг). В условиях отвальной обработки агрочерноземов получены самые низкие лимиты варьирования содержания $N\text{-}NO_3$ в слое 0-10 см (9-15 мг/кг). Коэффициент пространственного варьирования 16% свидетельствует о небольшой изменчивости нитратного азота в этом слое. Интенсивное взаимодействие рабочих органов дисковых батарей с обрабатываемым пластом при минимальной обработке почвы способствовало усилению минерализационных процессов и повышению содержания нитратного азота. Приемы минимизации основной обработки почвы обеспечивали перераспределение растительных остатков в пользу верхней части пахотного слоя (Шарков, Данилова, 2010). Интенсивное взаимодействие рабочих органов дисковых батарей с обрабатываемым пластом при минимальной обработке почвы способствовало измельчению фитомассы, более быстрому ее разложению почвенными микроорганизмами (Ambus, Jensen, 1997), усилению минерализационных процессов и повышению содержания нитратного азота.

Особенности пространственного распределения минеральных форм азота в 0-20 см слое агрочерноземов отражают степень проявления в пространстве почвенных процессов, ведущих к изменению их содержания. Исследованиями установлено, что прием основной обработки определил особенности статистического распределения элементов питания в почве (рис. 8).

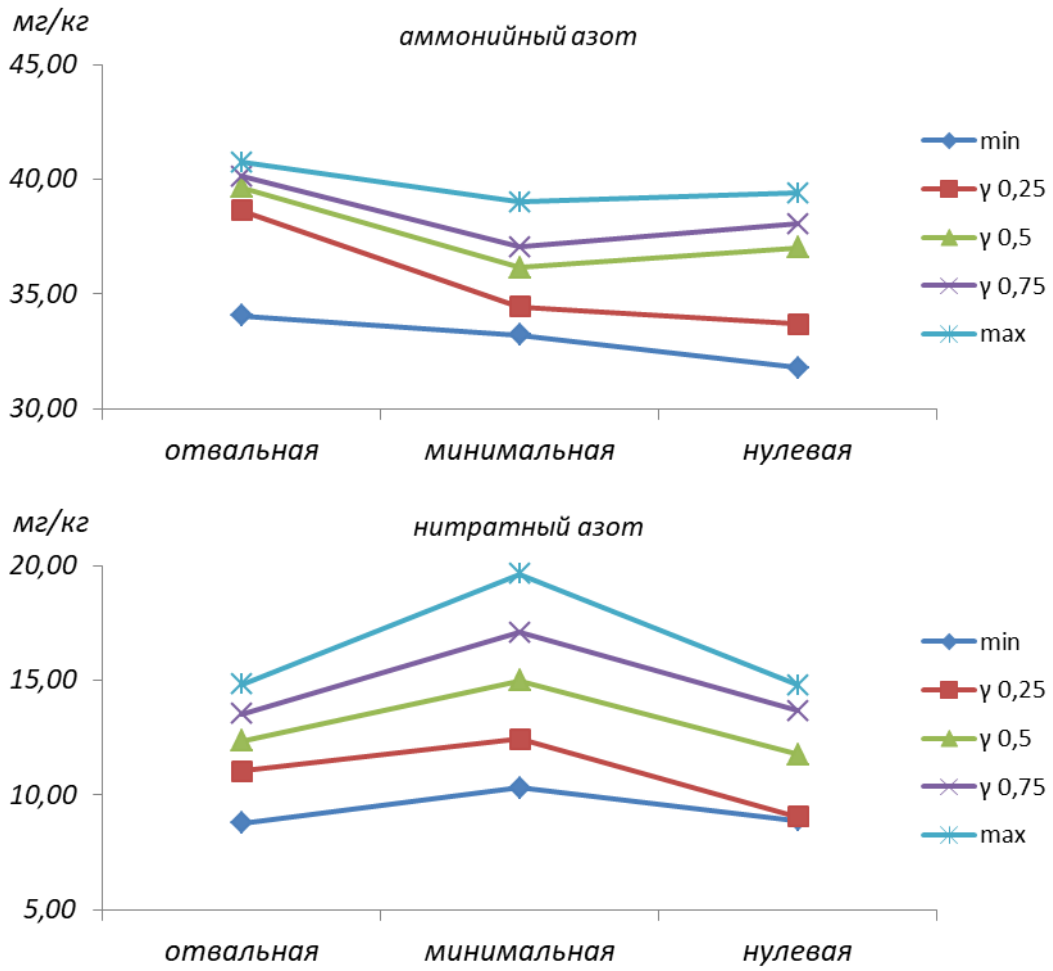


Рисунок 8 – Квантили статистического распределения содержания минеральных форм азота в агрочерноземах (0-20 см; n=10)

В условиях вспашки большая часть выборки значений содержания аммонийного азота превышала 40 мг/кг и приближалась к максимальному значению. Минимальная обработка и нулевой посев пшеницы в 75% выборки имели меньшие значения содержания $N\text{-}NH_4$ (37-38 мг/кг). Усиление вариабельности содержания нитратного азота в пространстве в условиях минимальной технологии сопровождалось большими отклонениями величин от медианы с симметричностью их распределения. На фоне прямого посева 25 % объема выборки имели содержание нитратного азота, приближающиеся к минимальной величине (9 мг/кг).

Для нормального роста и развития растений должен быть создан в почве такой фосфатный уровень, чтобы он мог обеспечить высокую интенсивность

высвобождения фосфат-ионов из твердой фазы в почвенный раствор. Особенно важен оптимальный уровень содержания подвижного фосфора в ранние фазы развития растений (Иванов и др., 2009). Обеспеченность агрочерноземов подвижным фосфором в 0-20 см слое достаточно высокая на всех фонах основной обработки, но постепенно убывала в ряду: отвальная (436 мг/кг) – минимальная (404 мг/кг) – нулевая (386 мг/кг). Сокращение глубины обработки привело к снижению содержания подвижных фосфатов на 32-50 мг/кг (табл. 10). Достоверное уменьшение P_2O_5 отмечено в 10-20 см слое почвы (p = 0,02).

Таблица 10 – Статистические показатели содержания подвижного фосфора и обменного калия в агрочерноземах, мг/кг (n = 10)

Показатель	P_2O_5		K_2O	
	0-10 см	10-20 см	0-10 см	10-20 см
отвальная обработка				
X ± Sx	432,4±34,3	438,6±33,7	300,7±28,5	317,4±37,8
Min	359,0	357,0	214,3	248,6
Max	491,0	496,0	344,4	394,0
Cv, %	11	11	13	17
минимальная обработка				
X ± Sx	411,9±41,8	395,6±51,1	261,8±52,5	205,5±27,6
Min	332,0	278,0	163,5	140,4
Max	500,0	521,0	402,2	252,0
Cv, %	14	18	28	19
нулевая обработка				
X ± Sx	410,5±28,5	361,9±25,4	215,8±35,1	144,2±12,8
Min	313,0	298,0	164,2	117,0
Max	463,0	435,0	308,9	175,4
Cv, %	10	10	23	12
p (Xср)	*0,55*	*0,02**	*0,04**	*0,00**

Устойчивый характер распределения подвижного фосфора в пространстве отмечен на всех фонах основной обработки почвы (Cv = 10-18 %). При прямом посеве пшеницы 75% выборки значений содержания подвижного фосфора соответствовало средней величине (402 мг/кг) (рис. 9). Прием обработки почвы оказал существенное влияние на дифференциацию слоев почвы по содержанию подвижных соединений фосфора. Минимизация обработки агрочернозема

способствовала локализации P_2O_5 в поверхностном 0-10 см слое. Так, на фоне минимальной обработки среднестатистическое содержание подвижного фосфора в слое 0-10 см увеличилось на 16 мг/кг почвы, на нулевом фоне – на 49 мг/кг. Подобная закономерность, касающаяся локализации подвижного фосфора по глубине почвенного профиля в связи с различными видами основной обработки почвы получена в ряде исследований (Воронин, 2014; Бутяйкин, Чаткин, 2014).

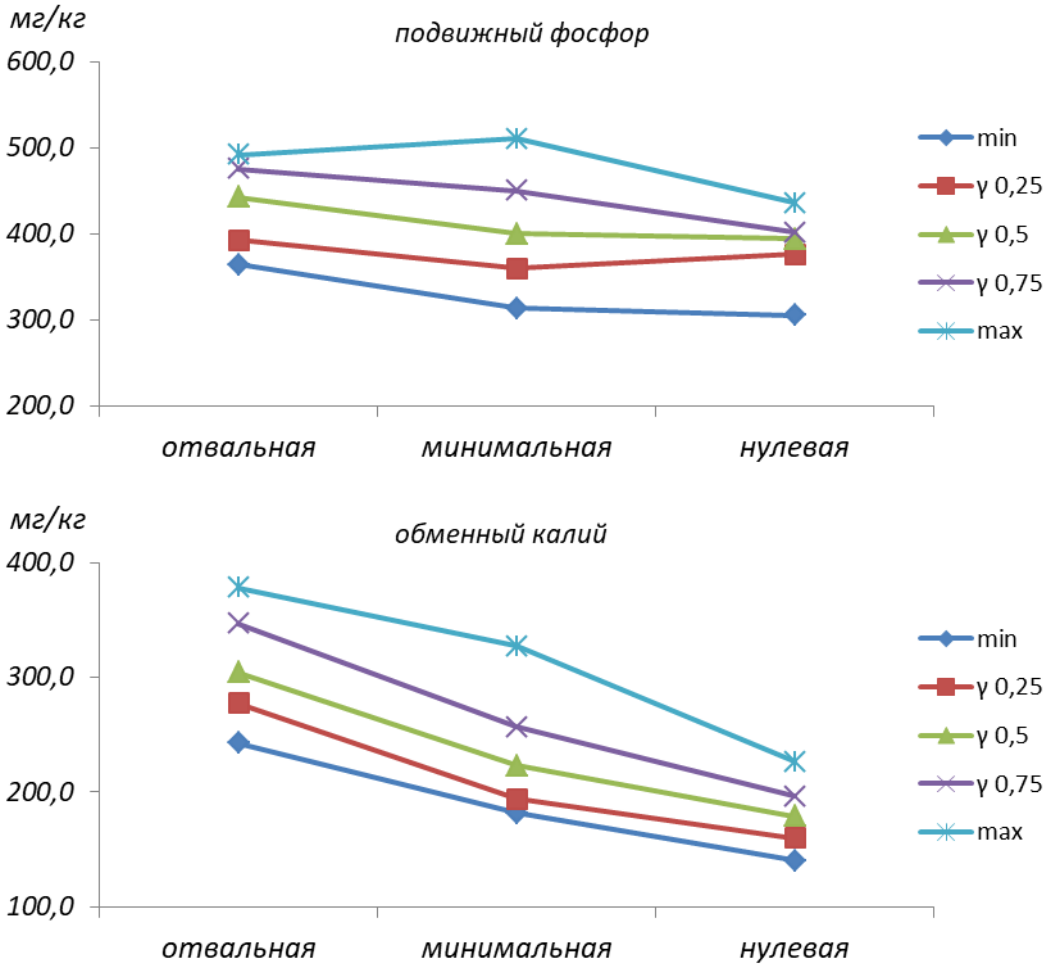


Рисунок 9 – Квантили статистического распределения содержания подвижного фосфора и обменного калия в агрочерноземах (0-20 см; n=10)

Специфика минералогического состава и большое содержание в черноземах Красноярского края ила является причиной повышенной обеспеченности их валовым калием, что отражается на обеспеченности почв обменной формой. Агрочерноземы Красноярской лесостепи, обрабатываемые по различным технологиям, аккумулируют значительное количество обменного

калия и характеризуется как очень высокообеспеченные. По данным Бугакова П.С. с соавторами (1981), максимальное накопление обменного калия в черноземах региона отмечалось в 0-20 см слое. Биогенные процессы, влияние механических обработок почвы, ускоряющих выветривание калийсодержащих минералов, действие удобрений, а также отсутствие подвижности этого элемента в тяжелых по гранулометрическому составу почвах является причинами накопления K_2O в 0-20 см слое почв. На фоне очень высокой обеспеченности обменным калием агрочерноземов Красноярской лесостепи отмечалось существенное его снижение (p = 0,04-0,00) в условиях минимизации основной обработки. Среднестатистические данные свидетельствуют о снижении концентрации обменного калия в 0-20 см слое, обрабатываемом по минимальной и нулевой технологим на 74-128 мг/кг соответственно по сравнению со вспашкой. Исследованиями Цирюлик А.И. и Шапка В.П. (2017) доказано снижение содержания подвижного фосфора и обменного калия в 0-30 см слое на фоне дискования почвы.

Содержание обменного калия является варьирующим показателем в пространстве. Прием основной обработки почвы в большей степени определил неоднородность 0-10 см слоя агрочернозема. В начале вегетации пшеницы пространственная неоднородность содержания K_2O достигает 23-28% на фоне минимальных технологий основной обработки почвы. В условиях вспашки распределение обменного калия в пространстве незначительное (Cv = 13%). Пространственное распределение обменного калия при минимизации обработки сопровождалось увеличением доли выборки, приближающейся к минимальным величинам (141-182 мг/кг). Локализация K_2O в 0-10 см слое почвы на фоне применения почвозащитных технологий основной обработки сопровождалась увеличением концентрации подвижного элемента на 56-72 мг/кг по сравнению со слоем 10-20 см. Подобная закономерность обусловлена разной глубиной заделки пожнивных остатков по сравнению со вспашкой. Исследованиями Турусова В.И. и Новичихина А.М. (2012) доказано влияние приемов обработки почвы на

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. При безотвальных обработках 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.

Таким образом, 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 (Cv = 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 содержание нитратного азота 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.

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

Разделение всех органических компонентов почвы на группы стабильных и лабильных (подвижных) соединений есть наиболее целесообразный подход для выявления агрономической ценности гумуса (Ганжара, 1988). Это обусловливается разной устойчивостью его составляющих к биологическому разложению (Кононова, 1963; Тейт, 1991; Титова, Когут, 1991; Когут, 2003; Paul,

2016). Подвижные формы легкоминерализуемой фракции (ПОВ) объединяют органические продукты гумуса почвы, которые легко могут переходить в растворимое состояние (C_{H2O} + C_{NaOH}) (Кураченко, 2019). Водорастворимые соединения, выщелачиваемые из растительных остатков в результате процессов разложения, представляют смесь органических кислот, аминокислот и углеводов. Вещества, которые извлекаются слабыми растворами щелочи, содержат в своем составе большое количество фенольных гидроксилов, амино- и амидогрупп, обогащены азотом и водородом. Эти соединения составляют периферическую часть гумуса, подвергаются быстрой минерализации и являются основным источником при синтезе гумусовых веществ. Стабильная часть гумуса представляет собой гумусовые вещества специфической природы, которые прочно связаны с минеральной частью почвы. Углерод стабильной части гумуса является его основным хранилищем, так как практически не вовлекается в круговорот (Лыков, 1985; Дергачева, 1989; Кирюшин и др., 1993).

Интенсивность и соотношение между процессами гумификации и минерализации формируют различное накопление компонентов гумуса. Снижение интенсивности микробиологических процессов и активности микробного сообщества приводит к уменьшению содержания гумуса и его лабильной части (Кураченко, 2019).

Известно, что все компоненты гумуса участвуют в формировании почвенной структуры (Фокин, 1986; Кирюшин, 2000), однако особая роль принадлежит его активной разлагающейся части. Почва может иметь разное структурное состояние в зависимости от количества легкоминерализуемой фракции, при одном и том же содержании гумуса. Люкшина И.В. (1995) в своих исследованиях показала, что сельскохозяйственная обработка усиливает минерализационные процессы в пахотном 0-20 см слое почвы. Основная доля водорастворимого углерода подвергается полной минерализации, и только 8-22% закрепляется в форме гуминовых кислот (Низких, 1995).

Тюрин И.В., исследуя сложную систему органических веществ, формирующих почвенный гумус, выявил две главные черты, которые характеризуют наиболее существенные стороны почвообразования (Орлов, 1990). Первая черта – накопление в почвах специфических гумусовых веществ – гуминовых и фульвокислот, являющихся конечными продуктами гумификации. Вторая черта – взаимодействие органических веществ с минеральными компонентами почвы, отражающие специфику типов почв и влияющие на растворимость и подвижность отдельных групп гумусовых веществ.

Среди разнокачественных веществ, объединяемых понятием «гумус», важную роль в почвенном плодородии, питании растений и формировании структурно-агрегатного состояния почв играет минерализуемая (метаболизируемая, лабильная, мобильная, подвижная, по терминологии разных авторов) группа, легко и быстро изменяющаяся под воздействием природных и антропогенных воздействий (Ганжара, 1997; Шарков, 1997; Когут, 2003; Haynes, 2005; Чупрова, 2013). В условиях сельскохозяйственного использования потери или накопление органического вещества почв связаны преимущественно с легкоминерализуемыми компонентами. Направленность их трансформации в почве определяется агротехническими приемами, в том числе способом основной обработки почвы.

Нарушение сложившегося в природных условиях динамического равновесия процессов синтеза и распада органических веществ, при вовлечении почв в обработку, приводит к изменению количества гумуса. Наибольшим изменениям при агрогенных воздействиях подвергается легкоразлагаемое (лабильное) органическое вещество почвы. По представлениям Когута Б.М. (2003), Борисова Б.А., Ганжары Н.Ф. (2008), легкоразлагаемое органическое вещество представлено растительными и животными остатками, поступающими в почву, а также детритом – промежуточными продуктами разложения и гумификации источников гумуса, не связанными с минеральной частью почвы. По химическому составу лабильные органические вещества включают лигнин,

низко- и сверхмолекулярные углеводы, аминокислоты, пептиды, новообразованные гумусовые кислоты, гуминовые и фульвокислоты, непрочно связанные с минеральной частью почвы.

Количество легкоразлагаемого органического вещества в агропочвах определяется особенностями возделываемых культур, системой применения удобрений и приемом обработки почвы. По мнению Минебаевой И.Ф. (2010) и Аюпова З.З. (2013), ресурсосберегающие технологии основной обработки способствуют сохранению уровня содержания и запасов гумуса, главным образом за счет уменьшения потерь органического вещества путем замедления процессов минерализации и увеличения его лабильной части из сохраняющихся растительных остатков.

Многообразие проявлений факторов почвообразования в пространстве служит причиной развития неоднородностей свойств почв. В результате естественной вариации свойств и антропогенного воздействия неоднородность почвенного покрова сельскохозяйственных угодий может быть существенно более выраженной, чем у целинных аналогов (Козин, 1988; Михеева, 2001). По мнению Сидоровой В.А. (2016), изменение варьирования различных почвенных показателей при окультуривании почв происходят достаточно сложным образом. Некоторые параметры уменьшают варьирование за счет гомогенизации участка, например, выравнивается емкость катионного обмена. В то же время содержание органического углерода может увеличивать варьирование при окультуривании, если при этом вносились органические удобрения, или резко дифференцировались условия минерализации органического вещества.

Агрочерноземы, имея высокую гумусированность, характеризуются отличиями в содержании гумусовых веществ на разных фонах основной обработки (табл. 11). Установлено, что 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 получены самые низкие лимиты пространственного варьирования углерода гумуса (min-max) –

980-710 мгС/100г. Коэффициент вариации по слоям 0-10 и 10-20 см не превышает 6% и свидетельствует о незначительной его изменчивости в пределах поля. Минимальная и нулевая обработки почвы, увеличивая содержание гумусовых веществ на 160 и 75 мгС/100г соответственно, способствуют усилению пространственной неоднородности показателя (Cv = 7-12%). Установлены статистически значимые различия (p<0,001) по уровню содержания Сгумуса между минимальной обработкой с одной стороны, и отвальной и нулевой с другой (Колесник, 2017).

Таблица 11 – Статистические характеристики содержания Сгумуса в агрочерноземах, мгС/100г (n=10)

Статистический показатель	*Отвальная обработка*		*Минимальная обработка*		*Нулевая обработка*	
	0-10 см	10-20 см	0-10 см	10-20 см	0-10 см	10-20 см
X	4591	4507	4687	4731	4654	4594
Min	4150	4210	3900	4270	3860	4000
Max	5130	4920	5120	5220	5650	5490
E	0,06	-0,89	-0,55	-1,07	-0,04	0,17
A	0,55	0,43	-0,88	0,35	0,31	0,94
Cv	6	6	9	7	12	11

Анализ процессов заделки незерновой части урожая в пахотный слой почвообрабатывающими орудиями, выполненный Бойковым В.М. с соавторами (2015), показывает, что отвальная обработка запахивает солому и растительные остатки на глубину ниже 15 см. На такую глубину не проникает кислород воздуха, и его недостаток не обеспечивает разложение органического вещества к началу нового вегетационного периода, что оказывает значительное влияние на образование гумуса. Минимальная мелкая обработка почвы способствует перемешиванию растительных остатков предшествующей культуры и определяет максимальную локализацию Сгумуса в 10-20 см слое почвы (4731 мгС/100г). Такие условия способствуют усилению минерализационных процессов и снижению концентрации подвижных гумусовых веществ. Достоверное

увеличение Сгумуса при минимальной обработке происходит за счет минерализации растительных остатков и подвижного гумуса.

Водорастворимые и щелочегидролизуемые соединения гумуса являются ближайшим источником энергии и питательных элементов для растений и предохраняют стабильный гумус от глубокой деструкции. Эти соединения постоянно обновляются и реагируют на любые агрогенные воздействия (Дергачева, 1984; Лыков, 1985).

В условиях отвальной и нулевой обработок содержание водорастворимых гумусовых веществ в агрочерноземах оценивается в 0-20 см слое почвы на близком уровне (37-35 мгС/100г) (табл. 12).

Таблица 12 – Статистические характеристики содержания C_{H2O} в агрочерноземах, мгС/100г (n=10)

Статистический показатель	*Отвальная обработка*		*Минимальная обработка*		*Нулевая обработка*	
	0-10 см	10-20 см	0-10 см	10-20 см	0-10 см	10-20 см
X	33	41	32	34	34	37
Min	26	30	26	31	27	28
Max	38	49	41	38	42	54
E	-1,22	0,79	0,32	-1,87	-0,66	3,47
A	-0,08	-0,52	0,96	0,12	0,53	1,48
Cv	13	13	15	8	14	20

На фоне минимальной обработки отмечается статистически незначимое снижение концентрации C_{H2O} до 33 мгС/100г. Пространственная изменчивость водорастворимого углерода гумуса незначительная (Cv = 8-20%). Прямой посев увеличивает вариабельность C_{H2O} 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, рассматриваются как молодые гумусовые кислоты и имеют упрощенное строение молекулы. В 0-20 см слое почвы, на статистически значимом уровне их содержание снижается в ряду обработок: нулевая (633 мгС/100г) – отвальная (572 мгС/100г) – минимальная (468 мгС/100г) (табл. 13). Установлено, что характер

пространственного распределения C_{NaOH} в слоях почвы определяется приемом обработки. Так, поверхностная локализация растительных остатков в условиях минимизации основной обработки определяет более высокую вариабельность щелочегидролизуемых гумусовых веществ в 0-10 см слое (Cv = 21-24%). Отвальная обработка определяет иную картину пространственного распределения C_{NaOH} – средняя изменчивость признака наблюдается в слое 10-20 см (Cv = 21%).

Таблица 13 – Статистические характеристики содержания C_{NaOH} в агрочерноземах, мгС/100г (n=10)

Статистический показатель	*Отвальная обработка*		*Минимальная обработка*		*Нулевая обработка*	
	0-10 см	10-20 см	0-10 см	10-20 см	0-10 см	10-20 см
X	593	550	456	480	668	597
Min	400	308	258	346	389	475
Max	762	707	608	624	902	785
E	0,23	1,29	0,94	2,84	-0,58	-0,50
A	-0,57	-0,74	-0,63	0,25	-0,13	0,71
Cv	18	21	21	14	24	17

Методом дискриминантного анализа показано, что концентрация углерода гумуса и щелочегидролизуемых соединений в его составе, в наибольшей степени зависит от приема обработки почвы ($p<0,0001$). Использование двухмерной графики позволило изобразить распределение Сгумуса и C_{NaOH} в пространстве изучаемых показателей (рис. 10) (Колесник и др., 2017).

Установлено, что минимальная обработка образует изолированную подсистему и статистически отличается по содержанию гумуса и щелочегидролизуемых соединений. «Точки» концентрации Сгумуса и C_{NaOH} в условиях отвальной и нулевой обработок чаще визуально перекрываются в пространстве и их различия не доказываются методами дискриминантного анализа.

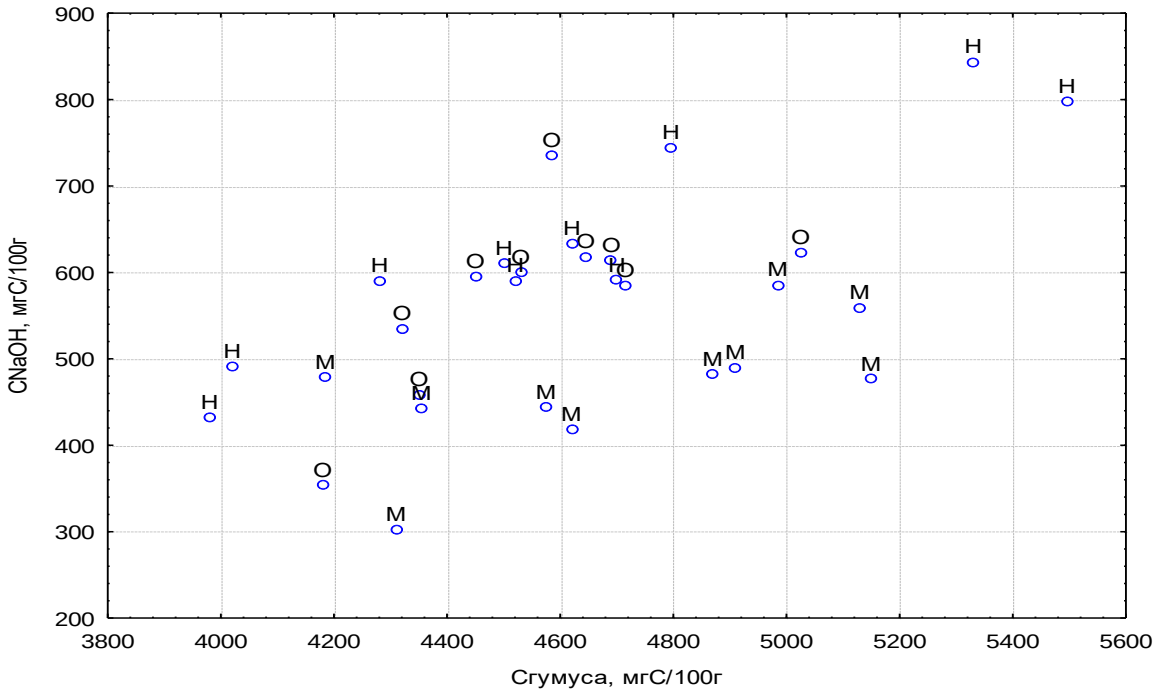


Рисунок 10 – Пространственное распределение Сгумуса и C_{NaOH} в агрочерноземах: о – отвальная обработка, м – минимальная обработка, н – нулевая обработка

Результаты исследований показывают, что пространственная изменчивость подвижных гумусовых соединений не одинакова (табл. 14). Изменчивость гуминовых и фульвокислот в пространстве более существенная, по сравнению с водорастворимым и щелочегидролизуемым гумусом. Подвижные гуминовые и фульвокислоты варьируют в пространстве в средней степени (Cv = 21-35%). Обработка агрочерноземов по нулевой технологии сопровождается усилением пространственной неоднородности и снижением содержания $C_{ГК}$ в среднем на 79-100 мгС/100г в слое 0-20 см. Мелкая обработка почвы дискатором определяет наибольшую дифференциацию пахотного слоя по содержанию гуминовых кислот (47 мгС/100г).

Дифференциация слоя 0-20 см по содержанию $C_{ФК}$ по всем фонам основой обработки оценивается на близком уровне (20-27 мгС/100г). Наибольшее содержание фульвокислот отмечается на фоне прямого посева (326-350 мгС/100г), что превышает отвальную и минимальную обработки на 38-86 мгС/100г. В условиях вспашки и прямого посева наблюдается поверхностная локализация $C_{ФК}$. По мнению Ахтырцева А.Б. и Самойловой Е.М. (1983), размер

относительного накопления гуминовых кислот в составе гумуса зависит от биологической активности почв: чем она выше, тем относительно меньше накапливается подвижных, слабо полимеризованных компонентов.

Таблица 14 – Статистические характеристики содержания $C_{ГК}$ и $C_{ФК}$ в агрочерноземах, мгС/100г (n=10)

Статистический показатель	*Отвальная обработка*		*Минимальная обработка*		*Нулевая обработка*	
	0-10 см	10-20 см	0-10 см	10-20 см	0-10 см	10-20 см
$C_{ГК}$						
X	265	281	318	271	192	196
Min	144	144	124	161	72	99
Max	408	422	433	371	325	301
E	-1,03	0,08	-0,30	-0,75	-0,73	-0,08
A	0,18	0,07	-0,69	-0,03	0,24	0,36
Cv	35	28	32	25	41	31
$C_{ФК}$						
X	312	285	264	284	350	326
Min	211	164	186	210	234	210
Max	437	350	315	347	470	439
E	-1,45	-0,01	1,47	-0,13	-1,44	-1,69
A	0,19	-0,94	-0,77	-0,33	0,01	0,18
Cv	25	22	14	14	24	26

Характер заделки растительных остатков и глубина обработки определяет направленность процессов трансформации подвижных соединений гумуса. Обратная средняя зависимость концентрации водорастворимого гумуса от Сгумуса свидетельствует о его быстрой минерализации в условиях вспашки (r = 0,50-0,61) (рис. 11). Увеличение концентрации гумусовых веществ в условиях минимизации основной обработки достоверно не изменяет содержание водорастворимого углерода гумуса в почве.

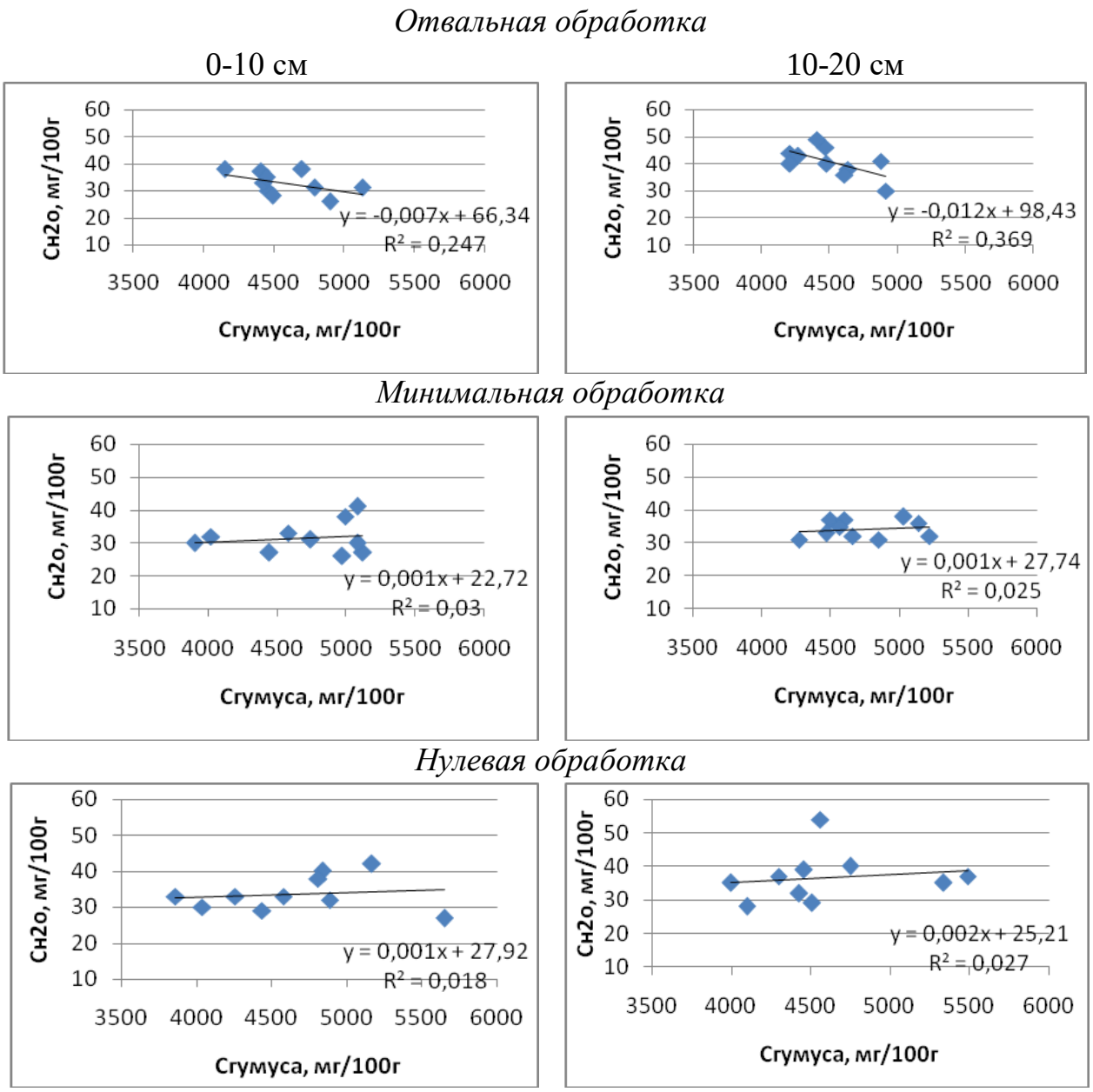


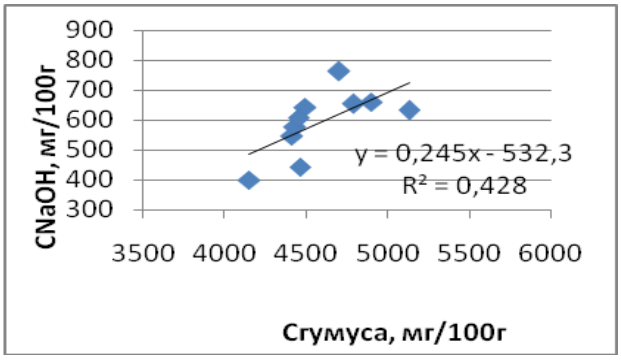
Рисунок 11 – Изменение обеспеченности водорастворимым гумусом ($Сн_2о$) в зависимости от содержания общего гумуса (Сгумуса)

Пополнение запасов Сгумуса сопровождается ростом щелочегидролизуемых соединений (рис. 12). В наибольшей степени эта закономерность проявляется на фоне нулевой обработки почвы, где содержание углерода подвижных гумусовых веществ, извлекаемых щелочным гидролизатом, достоверно коррелировало с содержанием Сгумуса по слоям (r = 0,93). Из полученного уравнения регрессии следует, что увеличение содержания Сгумуса в агрочерноземах на 500 мг/100г может сопровождаться ростом содержания $С_{NaOH}$

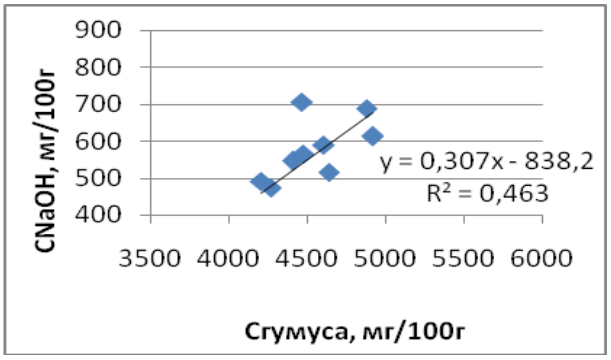
на 134 мг/100г. Достоверная сильная зависимость содержания щелочегидролизуемых соединений от Сгумуса обнаружена и на отвальной обработке (r = 0,67-0,69).

Отвальная обработка

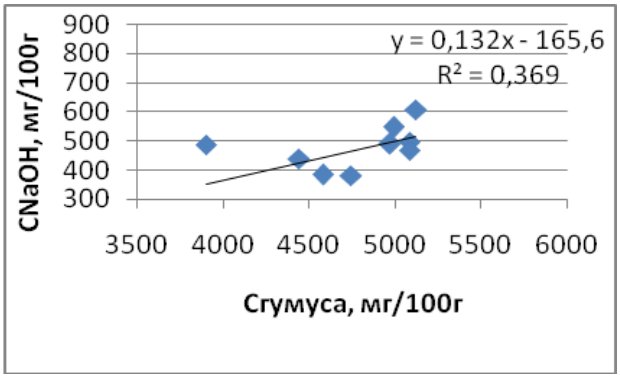
0-10 см

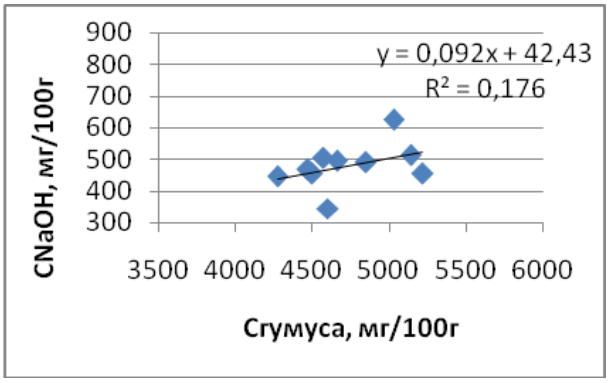


10-20 см

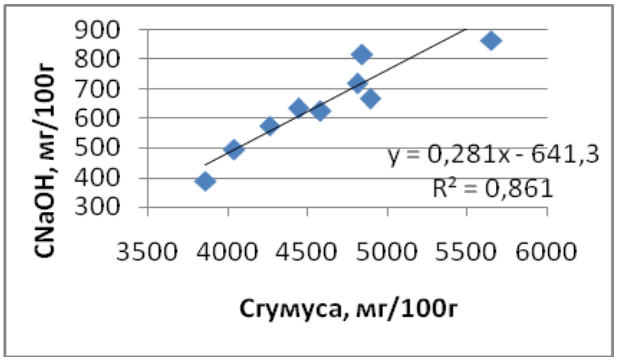


Минимальная обработка





Нулевая обработка



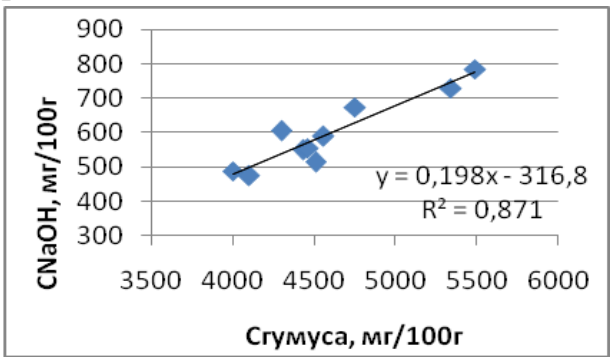


Рисунок 12 – Изменение обеспеченности щелочерастворимым гумусом (C_{NaOH}) в зависимости от содержания общего гумуса (Сгумуса)

Количественные оценки углерода в компонентах гумусовых веществ определяются характером основной обработки почвы. Наши результаты показывают, что в гумусе агрочерноземов преобладают соединения, составляющие фонд стабильного гумуса (рис. 13).

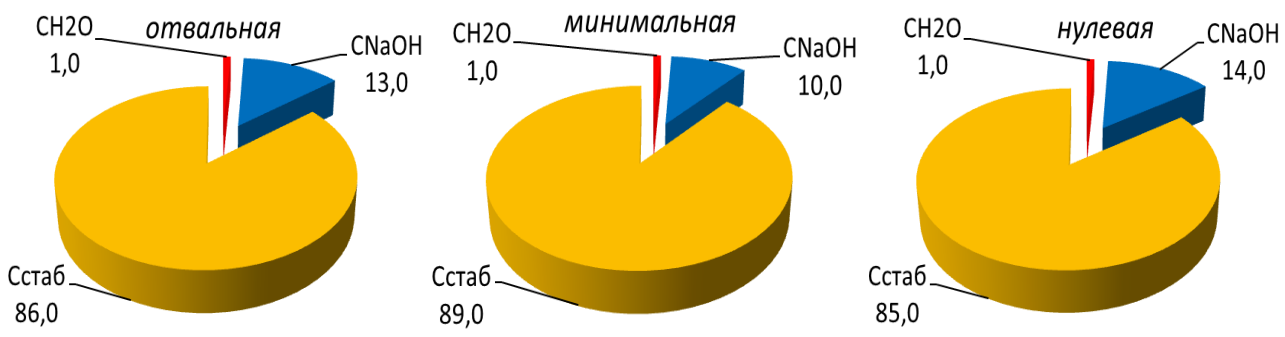


Рисунок 13 – Структура гумусовых веществ агрочерноземов в условиях основной обработки (0-20 см), %

В условиях отвальной и нулевой обработок почвы они составляют 86-87% от запасов Сгумуса в 0-20 см слое. Минимальная обработка способствует увеличению доли стабильного гумуса до 89%. Подвижные гумусовые вещества, переходящие в жидкую фазу, имеют невысокую долю – 11-15%. В составе подвижного органического вещества доминируют молодые гумусовые кислоты, извлекаемые щелочным гидролизатом. Максимальная доля щелочерастворимых гумусовых веществ зафиксирована на нулевой обработке почвы, и составляет 14% от запасов Сгумуса. Обработка почвы дискатором способствует усилению минерализационных процессов и снижению концентрации $C_{NaOH.}$ Доля этого компонента гумуса в слоях почвы 0-10 и 10-20 см не превышает 10%. В структуре гумуса агрочерноземов доля водорастворимых соединений невелика и характеризуется близкими количественными оценками. По различным фонам основной обработки она составляет 0,7-0,8%. Таким образом, показатели гумусного состояния агрочерноземов на поле, обрабатываемом по минимальной технологии, отличаются большей устойчивостью вследствие накопления более консервативных, «зрелых» форм.

По мнению Шаркова И.Н. и Даниловой А.А. (2010), ключевая роль в обеспечении устойчивости запасов гумуса в пахотных почвах принадлежит легкоминерализуемой фракции органического вещества – подвижному гумусу, детриту, растительным остаткам, выполняющим роль своеобразного регулятора.

Эта фракция в значительной степени определяет интенсивность минерализационных процессов, ограничивая снижение или накопление углерода соответственно при уменьшении или увеличении поступления в почву свежего органического вещества. Исследованиями установлено, что запасы Сгумуса в 0-20 см слое агрочерноземов постепенно уменьшаются в ряду обработок: нулевая (93 т/га) – минимальная (86 т/га) – отвальная – (84 т/га) (табл. 15). Установлены статистически значимые различия ($p<0,001$) по уровню содержания Сгумуса между минимальной обработкой с одной стороны, и отвальной и нулевой с другой.

Таблица 15 – Запасы гумусовых веществ в агрочерноземах, тС/га (0-20 см)

Компонент гумуса	Прием обработки / слой см								
	отвальная			*минимальная*			*нулевая*		
	0-10 см	10-20 см	0-20 см	0-10 см	10-20 см	0-20 см	0-10 см	10-20 см	0-20 см
Сгумуса	42,32	41,46	83,78	42,65	43,05	85,70	46,54	45,94	92,48
Спов	5,76	5,43	11,19	4,44	4,68	9,12	7,02	6,34	13,36
C_{H2O}	0,30	0,37	0,67	0,29	0,31	0,60	0,34	0,37	0,71
C_{NaOH}	5,46	5,06	10,52	4,15	4,37	8,52	6,68	5,97	12,65
$C_{ГК}$	2,59	2,44	5,03	1,75	1,78	3,53	3,18	2,71	5,89
$C_{ФК}$	2,87	2,62	4,53	2,40	2,58	4,98	3,50	3,26	6,76
$C_{ГК} / C_{ФК}$	0,90	0,93	0,92	0,73	0,69	0,71	0,91	0,83	0,87
Сстаб.	36,56	36,03	72,59	38,21	38,37	76,58	39,52	39,60	79,12

По запасам подвижных гумусовых веществ приемы основных обработок распределяются в следующий убывающий ряд: нулевая (13 т/га) – отвальная (11 т/га) – минимальная (9 т/га). Различия между отдельными компонентами гумуса характеризуют особенности функционирования системы гумусовых веществ, и позволяют прогнозировать направление процессов гумусообразования и гумусонакопления при сельскохозяйственном использовании почв. Замена отвальной вспашки на минимальные технологии основной обработки обуславливает тенденцию увеличения запасов гумуса в корнеобитаемом слое агроценоза пшеницы на 2% в случае минимальной обработки и на 10% при прямом посеве. Изменение количества подвижных компонентов гумуса в

условиях почвозащитных технологий имеет одинаковую величину, но различную направленность. Так, нулевая обработка способствует повышению запасов подвижного углерода гумуса на 19% по сравнению с отвальной; минимальная, наоборот, определяет схожие потери этой фракции и пополнение запасов стабильного гумуса на 5%.

Соотношение запасов подвижных гуминовых и фульвокислот в агрочерноземах свидетельствует о том, что в условиях обработки плугом и прямого посева пшеницы доминирующими являются фульвокислоты (0,9). Функционирование почвы на фоне мелкой обработки дискатором сопровождается ухудшением качества гумуса до 0,7. В исследованиях Пеговой Н.А. (2012), замена осенней вспашки безотвальной и мелкими обработками почвы, определяла деструкцию более стабильной части органоминерального комплекса. В среднем по опыту при мелкой обработке содержание Сгк снизилось, в сравнении со вспашкой, на 0,012%.

По мнению Пупонина А.И., Кирюшина Б.Д. (1989), Бакирова Ф.Г. (2008), Пеговой Н.А. (2013), различные приемы безотвальной обработки обеспечивают перераспределение растительных остатков в пользу самой верхней части пахотного слоя. В результате в этом слое отмечается некоторое увеличение содержания гумуса. В нашем случае, существенного перераспределения гумуса и его подвижных компонентов по слоям не обнаружено. Выявлено, что нулевая обработка почвы определяет незначительную аккумуляцию Сгумуса и Спов в 0-10 см слое почвы. Для подвижных гуминовых и фульвокислот эти различия по слоям не превышают 0,77-0,24 тС/га. При этом водорастворимые соединения гумуса на 0,03 тС/га больше накапливаются в 10-20 см слое. Процессы разложения прошлогоднего опада на нулевом фоне протекают на поверхности почвы. Достаточное увлажнение почвы способствовало выщелачиванию водорастворимых соединений из 0-10 см слоя. Являясь первоисточником гумусовых веществ водорастворимые соединения, как наиболее доступные, служат «затравочным» материалом для микроорганизмов в процессах

разложения. Трансформация растительных остатков предшествующей культуры способствовала переходу углерода в состав подвижного гумуса и увеличению запасов щелочегидролизуемых соединений преимущественно фульватного типа. Увеличение запасов гумуса и его подвижных соединений на нулевой обработке обусловлено формированием равновесных отношений между поступлением и разложением органического вещества, что приравнивает их к целинным условиям. В целинных черноземах расположение зон максимального содержания растительных остатков и наибольшей интенсивности микробиологической деятельности совпадает, они находятся в поверхностном 0-5 см слое почвы.

Таким образом, содержание и пространственное распределение гумусовых соединений в агрочерноземах Красноярской лесостепи определяется приемом основной обработки. 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.

Согласно имеющимся научным представлениям, стабильность почвенной структуры регулируется гранулометрическим и минералогическим составом, физическими процессами (увлажнение-иссушение, промораживание-оттаивание и др.), составом поглощенных катионов, а также уровнем содержания и составом органического вещества (Вильямс, 1935; Tisdall, Oades, 1982). В зависимости от типа почвы и рассматриваемого уровня структурной организации, будет различаться роль перечисленных факторов (Garter, Stewart, 1996).

Современные технологии возделывания сельскохозяйственных культур направлены на поддержание гумусного состояния почв. Снижение содержания гумуса связано с отсутствием поступления свежего органического опада, усилением минерализации органического вещества в результате интенсивной обработки, повышением степени аэрации почв, усилением деятельности почвенных микроорганизмов. Исследованиями Полоуса В.С. (2012) и Медведевой

А.М. с соавторами (2018) показано, что в результате многолетнего использования ресурсосберегающих технологий происходит постепенная стабилизация гумусного состояния почв, улучшается пищевой режим почв, повышается микробиологическая активность.

Процессы формирования и стабилизации агрегатов на различных подуровнях осуществляются разными органическими компонентами. Данное явление отражается в существовании «иерархии почвенной структуры», которая проявляется в увеличении содержания гумусовых веществ с увеличением размеров агрегатов, а также отличии свойств в макро- и микроагрегатах (Алексеева, 2007; Кураченко, Бабаев, 2014).

Нашими исследованиями установлено, что формирование структурной организации агрочернозема в пространстве в условиях минимизации основной обработки почвы, показывая среднюю и сильную корреляционную зависимость, достоверно не определяется гумусовыми веществами, что подтверждается уравнениями регрессии, которые имеют следующий вид (Колесник, 2018):

отвальная обработка

$$ИМ = -227{,}69 + 42{,}70(Сгумуса) + 2530{,}43(C_{H2O}) - 13{,}31(C_{NaOH}) - 19{,}84(C_{ГК}),$$

$$при\ R=0{,}65;\ r^2=0{,}42;\ p=0{,}56$$

$$АЦФ = 114{,}14 + 5{,}05(Сгумуса) - 1725{,}26(C_{H2O}) + 24{,}94(C_{NaOH}) - 43{,}96(C_{ГК}),$$

$$при\ R=0{,}70;\ r^2=0{,}48;\ p=0{,}45$$

$$ВА = -137{,}46 + 36{,}05(Сгумуса) + 2105{,}08(C_{H2O}) - 45{,}06(C_{NaOH}) - 58{,}81(C_{ГК}),$$

$$при\ R=0{,}78;\ r^2=0{,}60;\ p=0{,}28;$$

минимальная обработка

$$ИМ = 46{,}99 + 4{,}27(Сгумуса) - 680{,}32(C_{H2O}) - 49{,}71(C_{NaOH}) + 52{,}02(C_{ГК}),$$

$$при\ R=0{,}57;\ r^2=0{,}33;\ p=0{,}70$$

$$АЦФ = 20{,}52 + 14{,}82(Сгумуса) + 78{,}29(C_{H2O}) + 12{,}84(C_{NaOH}) - 89{,}77(C_{ГК}),$$

$$при\ R=0{,}79;\ r^2=0{,}63;\ p=0{,}25$$

$$ВА = 49{,}53 - 6{,}28(Сгумуса) + 36{,}58(C_{H2O}) + 156{,}44(C_{NaOH}) - 139{,}59(C_{ГК}),$$

$$при\ R=0{,}40;\ r^2=0{,}16;\ p=0{,}93;$$

нулевая обработка

$$ИМ = 85,22 – 18,73(Сгумуса) – 108,33(C_{H2O}) +104,94(C_{NaOH}) – 64,73(C_{ГК}),$$

$$при\ R=0,65;\ r^2=0,42;\ p=0,56$$

$$АЦФ = 131,27 – 12,61(Сгумуса) – 795,95(C_{H2O}) + 36,75(C_{NaOH}) + 48,93(C_{ГК}),$$

$$при\ R=0,29;\ r^2=0,082;\ p=0,98;$$

$$ВА = 89,97 – 11,43(Сгумуса) + 209,26(C_{H2O}) + 94,75(C_{NaOH}) – 136,57(C_{ГК}),$$

$$при\ R=0,29;\ r^2=0,082;\ p=0,98,$$

где ИМ – истинные микроагрегаты, %; АФЦ – содержание агрегатов агрономически ценного размера, %; ВА – содержание водопрочных агрегатов, %; Сгумуса, C_{H2O}, C_{NaOH}, $C_{ГК}$, %; R – коэффициент множественной регрессии (корреляции); r^2 – коэффициент множественной детерминации; p – уровень значимости уравнения регрессии.

Полученные результаты позволяют заключить, что агрочерноземы, имея высокую гумусированность, характеризуются отличиями в содержании гумусовых веществ и их пространственном варьировании на разных фонах основной обработки. Формирование структурной организации агрочерноземов в пространстве в условиях минимизации основной обработки почвы достоверно не сопряжено с гумусом и его подвижными компонентами.

ГЛАВА 6. ВЛИЯНИЕ ОСНОВНОЙ ОБРАБОТКИ НА СЕЗОННУЮ ДИНАМИКУ СТРУКТУРНОГО СОСТОЯНИЯ И ГУМУСОВЫХ ВЕЩЕСТВ В АГРОЧЕРНОЗЕМАХ

Непрерывное сельскохозяйственное производство сопряжено с различными воздействиями на почву. Неконтролируемая распашка и неразумное применение минеральных удобрений и химикатов негативно влияет на биоту почвы, угнетает микробное сообщество, снижает стабильность агрофитоценозов и в итоге снижает почвенное плодородие (Захарова и др., 2004; Гомонова и др., 2007; Полякова, Редькина, 2007; Вершинин, Игнатьев, 2011). Для предотвращения деградации почв сельскохозяйственных угодий и сохранения высокого уровня их плодородия, большое внимание уделяется рациональному землепользованию.

Процесс гумификации на пашне может изменяться вследствие несовпадения периодов поступления растительной биомассы и интенсивности деятельности почвенной микробиоты в течение периода вегетации. В результате ежегодных механических обработок почвы увеличивается ее аэрация, которая способствует минерализации органического вещества по всему гумусовому горизонту, изменению качественного состава гумуса, что приводит к уменьшению водоустойчивости агрегатов пахотного горизонта и, как следствие, и агрофизических и водно-физических свойств почвы (Gajic, Dugalic, Diurovic, 2006; Буханистова и др., 2006; Рзаева, Еремин, 2010; Саблина, 2011; Когут и др., 2012; Даденко и др., 2014; Еремин, 2016). По мнению Медведева В.В. (1982), Приходько В.Е. и Манахова Д.В. (2010), длительная распашка по-разному воздействует на иерархические уровни структурной организации почв. Вследствие механического воздействия на почву уменьшается размер агрегатов, изменяется их форма, внутреннее и внешнее строение, увеличивается степень деформации, значительно уменьшается состояние агрегатов высокого и низкого порядков, а так же их порядковость. Однако это ухудшение почвенных свойств, как правило, является результатом не прямого воздействия обработок, а

косвенного – через уменьшение содержания общего количества органического вещества. В то же время применение правильной системы обработок может улучшить свойства почвы, а значит улучшить ее потенциальное и эффективное плодородие. Поэтому большой теоретический и практический интерес представляют исследования в области выявления взаимосвязи агрофизических свойств и гумусного состояния.

Решающее влияние на общее направление почвообразовательного процесса, а также на формирование основных признаков и свойств почв могут оказывать отдельные процессы и явления, которые совершаются только в один из сезонов. Кауричев И.С. (1967) установил, что в наибольшей степени это относится к черноземам, для которых характерны контрастные режимы увлажнения.

6.1 Сезонная динамика структурного состояния агрочерноземов

Процесс образования и разрушения почвенной структуры является быстропротекающим процессом (в течение вегетационного периода). Это является следствием воздействия различных факторов: чередования периодов иссушения и увлажнения, перепадов температур, деятельности корневой системы растений, почвенной микрофлоры, обработки почвы, а так же других факторов, которые оказывают влияние на сложение почвы, содержание и свойства макроструктуры в вегетационный период (Потапов, 1983).

Влияние минимизации обработки на качество почвенной структуры широко изучено рядом исследователей (Шептухов и др., 1987; Едимеичев и др., 1992; Воронкин, Быковский, 2009; Тугуз и др., 2010; Чуманова, Гребенникова, 2011; Пегова, 2012; Коротких и др., 2013; Мазиров, Беленков, 2018, и др.). При этом литературные данные о влиянии различных систем обработки на структуру почвы зачастую носят противоречивый характер. Одни исследователи считают, что применение минимальных и нулевых обработок приводит к улучшению структуры почвы (Шептухов и др., 1987), другие (Беленков и др., 2011) к ее

ухудшению, а третьи (Глухих, 2003) – не выделяют никаких различий в структурном состоянии почвы при сравнительном изучении.

Структурный анализ, выполненный нами в вегетационные сезоны 2017-2018 гг., показал особенности фракционного состава структурных отдельностей в агрочерноземах агроценоза пшеницы, возделываемой на фоне различных приемов основной обработки (рис. 14).

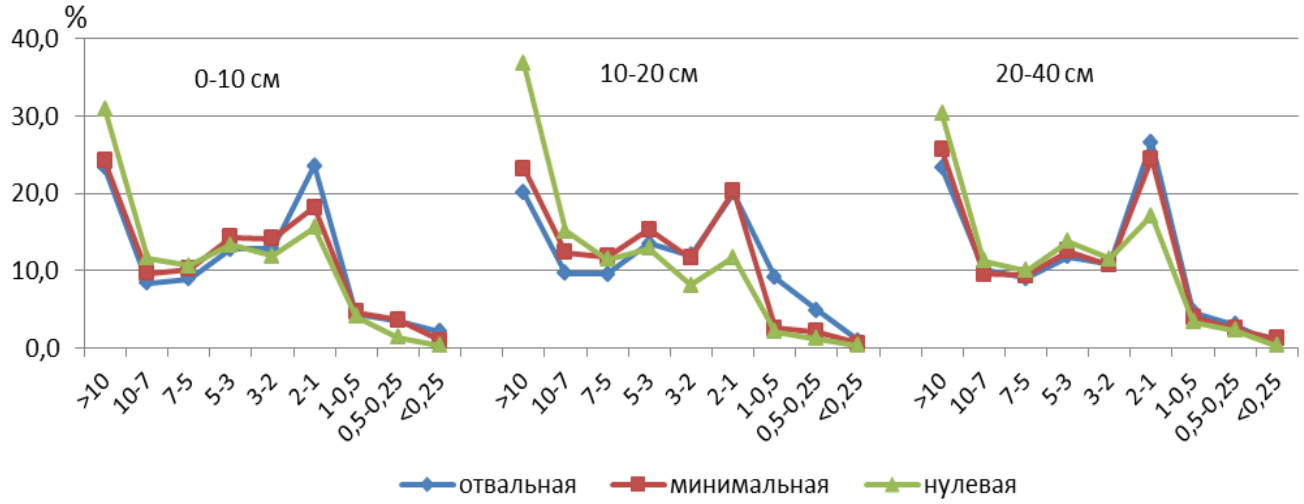


Рисунок 14 – Среднесезонный фракционный состав структуры агрочерноземов в посевах пшеницы, % (2017-2018 гг.)

В структурном составе агрочерноземов, обработанных по различным технологиям под яровую пшеницу, стабильно преобладают глыбистые > 10 мм (20-37%) и комковато-зернистые отдельности размером 2-1 мм (12-27%). Они являются наиболее трансформируемыми в условиях обработок и определяют дифференциацию слоя 0-40 см (прил. 5). Нулевая обработка в среднем определяет повышение глыбистой фракции в слое 0-40 см до 30-37%, при одновременном снижении содержания комковато-зернистых отдельностей 2-1 мм до 12-17%. Содержание пылеватой фракции не превышает 1-2%. Распределение фракций 10-7; 7-5; 5-3 и 3-2 мм имеет схожие тенденции и оценивается на близком уровне по всем фонам обработки. На их долю приходится в среднем 8-15%. На тонкие агрегаты < 1 мм приходится менее 1-9%. Особенности распределения фракций структурных агрегатов в агрочерноземах согласуются с исследованиями П.И. Крупкина (2002), который доказал, что в формировании общей структуры

большая роль принадлежит вспашке, которая даже на черноземах обуславливает формирование глыб. Об этом так же свидетельствует и относительно пониженный выход структурных отдельностей крупнее 3 мм в подпахотных горизонтах. Кураченко Н.Л. (2013) при исследовании структурного состава естественных и пахотных подтипов черноземов сделала вывод о том, что общим для всех подтипов черноземов Красноярской лесостепи является заметная глыбистость (10-34%) и господство мелкозернистой и мелкокомковатой фракции размером 2-1 мм (14-40%).

Структурный состав обрабатываемых горизонтов агрочерноземов в той или иной степени изменяется во времени. Это проявляется в варьировании содержания агрономически ценных фракций в незначительной, небольшой и средней степени (Cv = 5-28%) в течение вегетационных сезонов (табл. 16), что обусловлено приемом основной обработки и погодными условиями периода (Колесник, 2023).

Таблица 16 – Статистические показатели содержания агрономически ценных фракций в агрочерноземах, %

Прием обработки	Слой, см	2017 г. (n=9)		2018 г. (n=9)	
		X ± Sx	*Cv*	*X ± Sx*	*Cv*
Отвальная	0-10	85,6 ± 7,9	9	68,4 ± 13,4	20
	10-20	80,8 ± 3,9	5	76,2 ± 3,9	5
	20-40	81,3 ± 4,7	6	71,9 ±9,7	14
Минимальная	0-10	79,5 ± 11,5	14	70,0 ± 17,5	25
	10-20	69,7 ± 9,5	14	82,7 ± 4,8	9
	20-40	65,0 ± 9,7	15	81,3 ± 5,7	7
Нулевая	0-10	71,3 ± 12,9	18	65,0 ± 18,5	28
	10-20	65,0 ± 7,4	11	63,1 ± 11,2	18
	20-40	70,2 ± 7,5	11	68,5 ± 10,4	15

Исследованиями установлено, что лучшие условия для формирования структурных отдельностей ценного размера складывались в вегетационный сезон 2017 года. Отвальная обработка определила отличное структурное состояние 0-40 см слоя почвы с содержанием АЦФ 81-86%. Отличное структурное состояние поддерживалось мелкой минимальной и нулевой обработками почвы только в 0-

10 см слое почвы (71-80%). В период от кущения яровой пшеницы до молочной спелости отмечено достоверное снижение агрономически ценных фракций на фоне минимизации основной обработки в слое 10-40 см агрочерноземов в течение двух вегетационных сезонов (прил. 9; $p < 0,05$).

Засушливые условия вегетационного сезона 2018 года определили тенденцию снижения агрономически ценных фракций в поверхностном 0-10 см слое почвы. В наибольшей степени эта закономерность проявилась на вспашке и минимальной обработке, где при отличном структурном состоянии содержание ценных отдельностей размером 10-0,25 мм в слое 10-40 см достигало 72-83%. Нулевая обработка определила хорошую оструктуренность 0-40 см слоя агрочернозема (63-69%).

Наши исследования показали, что прием основной обработки влияет на содержание агрономически ценных фракций и характер их распределения с глубиной. Оценка среднесезонной величины структурного состава агрочернозема выявила, что содержание фракций агрономически ценного размера (10-0,25 мм) находится в пределах 63-82%, что соответствует хорошей и отличной оструктуренности (рис. 15).

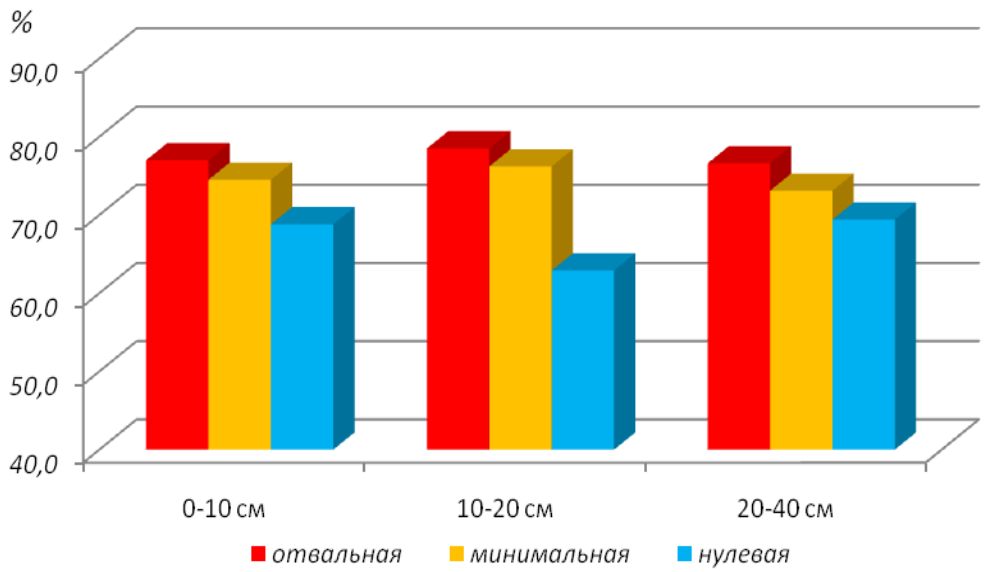


Рисунок 15 – Среднесезонное содержание агрономически ценных фракций в агрочерноземах, % (2017-2018 гг.)

Оценка среднесезонной величины структурного состава агрочерноземов позволила установить следующий убывающий ряд обработок почвы: отвальная (77-79%) – минимальная (73-76%) – нулевая (63-69%). Наибольшая дифференциация 0-20 см слоя по содержанию агрономически ценных агрегатов отмечена на фоне прямого посева (6%). Полученные данные соотносятся с результатами исследований Едимеичева Ю.Ф. с соавторами (1992). Сравнивая структурный состав черноземов на отвальной, минимальной и нулевой обработках, они отметили, что на протяжении всей ротации севооборота содержание АЦФ было на высоком уровне. Но, на вариантах с отвальной и минимальной обработками структурный состав был выше, чем на нулевой обработке. Косолаповой А.И. (2013) выявлено, что рыхлящее воздействие безотвальных почвообрабатывающих орудий на формирование агрономически ценной фракции 0,25-10 мм является более благоприятным по сравнению с отвальным плугом в связи с меньшим давлением на почвенную массу и снижением разрушающего действия на структурные отдельности почвы. Максимальное накопление агрономически ценной структуры (85%) отмечено в варианте с чизельной обработкой, что на 14% выше по сравнению со вспашкой.

Структурообразование – это сложный процесс, возможный только при увлажнении и при определенных пределах влажности, когда проявляется действие сил различной природы. Важное место среди них занимают процессы увлажнения и иссушения и тесно связанные с ними усадка и набухание, приводящие к объемным изменениям в почве (Данилова, 1996).

Направленность изменений агрономически ценных фракций обусловлена динамикой влажности (прил. 7-8) и приемом основной обработки (табл. 17). Повышение влажности почвы способствовало формированию глыбистых агрегатов ($r = -0,72$) в вегетационный сезон 2017 года. На вспашке и на нулевой обработке в поверхностном 0-10 см слое влажность почвы в 2018 году на 47-56% определила содержание агрономически ценных фракций. Корреляционный анализ показал обратную зависимость между влажностью почвы и содержанием

агрономически ценных фракций в подпахотном горизонте на фоне минимальной обработки (r = -0,76).

Таблица 17 – Результаты корреляционного анализа влияния влажности на содержание агрономически ценных фракций в агрочерноземах (r_{05} =0,60)

Прием обработки	Слой, см	$r \pm Sr$	r^2	$r \pm Sr$	r^2
		2017 г. (n=9)		2018 г. (n=9)	
Отвальная	0-10	-0,29 ± 0,326	0,086	**0,69* ± 0,28**	0,47
	10-20	0,20 ± 0,37	0,039	0,54 ± 0,32	0,29
	20-40	-0,13 ± 0,37	0,016	0,53 ± 0,32	0,28
Минимальная	0-10	-0,16 ± 0,37	0,025	0,61 ± 0,30	0,37
	10-20	0,39 ± 0,35	0,15	-0,16 ± 0,37	0,027
	20-40	0,49 ± 0,33	0,24	**-0,76* ± 0,24**	0,58
Нулевая	0-10	0,13 ± 0,37	0,017	**0,75* ± 0,25**	0,56
	10-20	**-0,72* ± 0,26**	0,52	0,54 ± 0,32	0,30
	20-40	0,30 ± 0,36	0,09	0,43 ± 0,35	0,18

Организация агрегатного состава агрочерноземов имеет свои особенности. Она определяется приемом основной обработки почвы и изменяется по глубинам. Результаты мокрого просеивания показали, что наиболее водоустойчивыми в агрочерноземах опытного поля являются агрегаты 3-1, 1-0,5 и 0,5-0,25 мм (рис. 16).

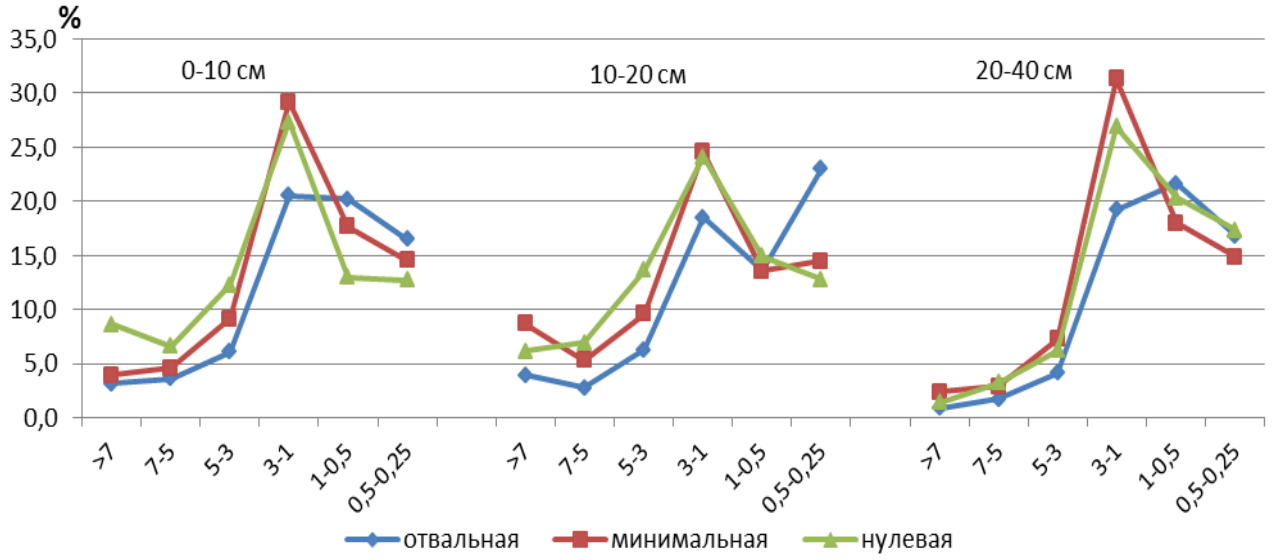


Рисунок 16 – Среднесезонный фракционный состав водопрочных агрегатов в агрочерноземе, % (2017-2018 гг.)

В почве, обрабатываемой по отвальной и минимальной технологиям, отмечена низкая водопрочность агрегатов крупнее 3 мм. На их долю приходится в среднем 1-14%. Наименьшая их водоустойчивость отмечена в подпахотном слое 20-40 см, что подтверждает существенную роль в образовании водопрочных агрегатов биологических агентов и в первую очередь корневых систем культурных растений. Отвальная обработка формирует заметную водоустойчивость агрегатов размером 3-1, 1-0,5 и 0,5-0,25 мм (13-23%). В слое 10-20 см отмечается увеличение содержания фракций 0,5-0,25 мм до 23%. Здесь установлена дифференциация пахотного слоя по содержанию агрегатов 1-0,5 и 0,5-0,25 мм (6-7%). В агроценозе пшеницы, обработанной по почвозащитным технологиям, доминирующими являются агрегаты 3-1 мм, и их содержание по слоям оценивается на близком уровне (24-31%) (прил. 6) (Колесник, 2021).

Одна из задач устойчивого землепользования – сохранение почвенной структуры, которая является важной доминантой, контролирующей микробиологические процессы разложения органического вещества, и, следовательно, круговорот и динамику углерода в почвах (Christensen, 2001). Восстановление водопрочных агрегатов после антропогенных и естественных воздействий свидетельствует о высокой устойчивости почв (Shaxson, 1998). Наряду с гранулометрическим составом почв, органическое вещество, его разнообразные лабильные формы и микробное сообщество являются важными факторами формирования водопрочных агрегатов. Содержание водопрочных агрегатов (>0,25 мм) является критерием для оценки и прогноза устойчивости сложения пахотного слоя во времени, его устойчивости к деградации физических свойств под влиянием природных и антропогенных факторов. Оптимальное содержание водопрочных агрегатов >0,25 мм в пахотном слое разных типов почв составляет 40-80%.

Полученные нами данные агрегатного анализа подтверждают хорошую и отличную водоустойчивость структурных агрегатов агрочерноземов в условиях основной обработки (табл. 18) при незначительной и небольшой динамике

показателя в течение сезонов (Cv = 4-20 %). Максимальная водоустойчивость структурных агрегатов выявлена для 0-10 см слоя агрочерноземов, обработанных под пшеницу по минимальной и нулевой технологиям в 2017 году. Количество водопрочных агрегатов на этих фонах обработки оценивается на уровне 83-84%. Отличная водопрочность структурных отдельностей также сформировалась в вегетационный сезон 2018 года на нулевом фоне в слое почвы 0-20 см (82-83%). Достоверное увеличение содержания водопрочных агрегатов на этом фоне отмечено в период всходов и кущения яровой пшеницы ($p<0,05$; прил. 7).

Таблица 18 – Статистические показатели содержания водопрочных агрегатов в агрочерноземах (2017-2018 гг.), %

Прием обработки	Слой, см	2017 г. (n=9)		2018 г. (n=9)	
		X ± Sx	*Cv*	*X ± Sx*	*Cv*
Отвальная	0-10	72,2 ± 8,5	12	69,2 ± 8,8	13
	10-20	67,0 ± 11,1	17	70,9 ± 6,9	10
	20-40	71,7 ± 9,8	14	60,7 ± 11,3	19
Минимальная	0-10	82,9 ± 3,6	4	75,9 ± 8,9	12
	10-20	78,7 ± 13,7	17	74,0 ± 9,8	13
	20-40	75,2 ± 12,2	16	78,4 ± 4,1	5
Нулевая	0-10	83,7 ± 3,1	4	82,5 ± 3,3	4
	10-20	75,7 ± 7,8	10	81,5 ± 6,7	8
	20-40	78,1 ± 9,3	12	72,8 ± 12,1	17

Важным фактором водопрочности структуры верхних слоев почвы на фоне минимальной и нулевой обработок является повышенное содержание здесь не только растительных остатков, но и гумусовых веществ, включая детрит. Направленность изменений водопрочных агрегатов так же обусловлена динамикой влажности. Корреляционный анализ позволил установить, что влияние влажности на характер сезонной динамики водопрочных агрегатов носит нестабильный характер (табл. 19). Повышение влажности почвы в вегетационные сезоны приводило к увеличению содержания ценных водопрочных агрегатов в поверхностном 0-10 см слое на фоне вспашки (r = 0,63) и прямого посева (r = 0,86). В слое агрочерноземов 20-40 см на отвальной обработке повышение содержания влаги на 55% определило содержание водопрочных агрегатов.

Таблица 19 – Результаты корреляционного анализа влияния влажности на содержание водопрочных агрегатов в агрочерноземах (r_{05} =0,60)

Прием обработки	Слой, см	*r* ± *Sr*	r^2	*r* ± *Sr*	r^2
		2017 г. (n=9)		2018 г. (n=9)	
Отвальная	0-10	0,19 ± 0,37	0,035	**0,63* ± 0,29**	0,40
	10-20	0,43 ± 0,34	0,18	0,41 ± 035	0,164
	20-40	-0,48 ± 0,33	0,23	**-0,74* ± 0,25**	0,55
Минимальная	0-10	-0,58 ± 0,31	0,33	0,40 ± 0,35	0,163
	10-20	0,49 ± 0,33	0,24	0,43 ± 0,34	0,18
	20-40	0,51 ± 0,33	0,26	0,60 ± 0,30	0,36
Нулевая	0-10	**0,86* ± 0,20**	0,73	-0,17 ± 0,37	0,030
	10-20	0,17 ± 037	0,03	0,57 ± 0,31	0,32
	20-40	-0,04 ± 0,37	0,0016	0,29 ± 0,36	0,08

По данным Шептухова В.Н. с соавт. (1993), не последнюю роль в образовании структуры на обрабатываемых участках играет использование предпосевной обработки и воздействие машинотракторных агрегатов, что, как правило, ведет к формированию крупных плотных структурных отдельностей. Особенно явно этот процесс выражен при обработке и воздействии на влажную почву. При прямом посеве, с исключением обработки, полной дезагрегации не происходит, и почва пахотного слоя стремится к термодинамическому равновесию с минимумом свободной энергии. Такая структура определяет устойчивость почвы к воздействию естественных и антропогенных факторов. В данном случае поверхностный (0-10 см) слой под влиянием сил естественного упрочнения и механического воздействия от проходов техники приобретает повышенную глыбистость и прочность к воздействию воды. В слое 10-20 см и ниже уплотняющее воздействие техники значительно ослаблено, и почва формирует структуру с благоприятным агрономическим составом и повышенной водопрочностью за счет сил естественного упрочнения.

При изучении влияния способов основной обработки чернозёмов Курской области в 2009-2010 гг. было установлено, что при нулевой обработке сумма водоустойчивых агрегатов была выше, чем при поверхностной и отвальной обработках (Черкасов, 2011). По мнению авторов, это напрямую связано со

средневзвешенным диаметром водоустойчивых агрегатов, поскольку нулевая обработка способствует увеличению размера почвенных отдельностей, обладающих водоустойчивостью. Снижение механического воздействия на дерново-подзолистой глееватой среднесуглинистой почве способствовало увеличению водоустойчивости макроструктуры и содержания органического вещества в почве. По наблюдениям учёных Алтайского аграрного университета, благоприятные условия для накопления в почве органического вещества и формирования водоустойчивой структуры складываются при внесении соломы совместно с полным минеральным удобрением на варианте с поверхностно-отвальной обработкой (Казнин и др., 2012). Николаев В.А. с соавторами (2015) установил, что уменьшение интенсивности обработки почвы с применением приемов минимизации снижало содержание АЦФ размером 0,25-10 мм в пахотном слое в среднем на 7%, по сравнению с отвальной обработкой. Одновременно с этим возрастало количество водоустойчивых агрегатов, которые сосредоточены в основном в верхнем слое почвы.

Оценка среднесезонной величины агрегатного состава 0-40 см слоя агрочерноземов показала, что содержание ценных водопрочных агрегатов находится в пределах 68-83%, что соответствует хорошей и отличной оструктуренности (рис. 17).

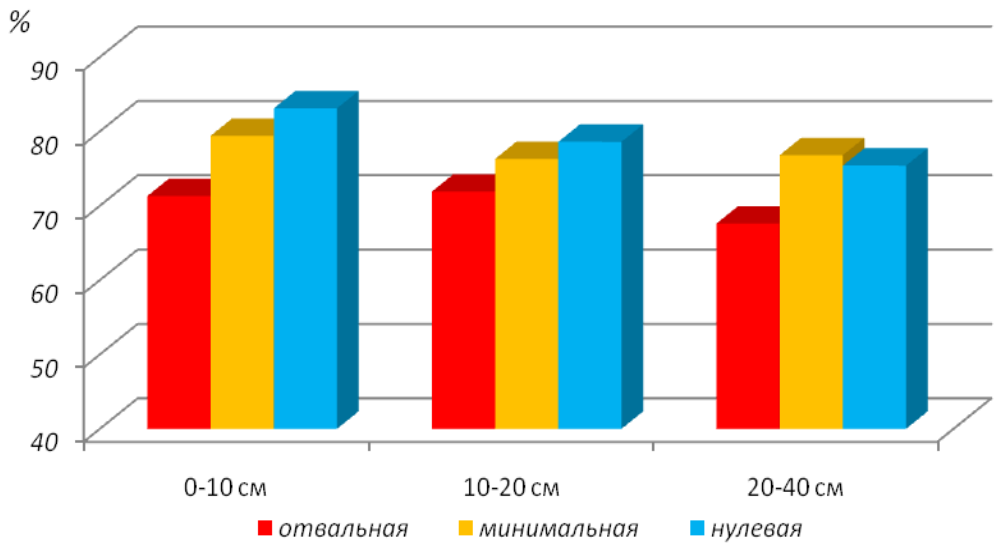


Рисунок 17 – Среднесезонное содержание водопрочных агрегатов в агрочерноземах, % (2017-2018 гг.)

Наилучшие условия по содержанию ценных водопрочных агрегатов складываются на нулевой обработке (75-83%). На близком уровне оценивается их сумма при обработке почвы дискатором (76-79%). На вспашке отмечается снижение показателя до 67-71% в слое 0-40 см. Оценка водоустойчивости агрегатов пахотного слоя позволила установить следующий убывающий ряд обработок почвы: нулевая (79-83 %) – минимальная (76-79 %) – отвальная (72-77 %) в слое 0-20 см; минимальная (77 %) – нулевая (75 %) – отвальная (68 %) в слое 20-40 см. Расчёт среднестатистических данных за период наблюдения показал неоднородность 0-40 см слоя агрочернозема по изучаемому показателю. Дифференциация 0-40 см слоя на фоне отвальной и нулевой обработок составляет 4-6 %

Таким образом, отлично и хорошо оструктуренные агрочерноземы претерпевают небольшие и средние сезонные изменения в содержании водоустойчивых и агрономически ценных агрегатов (Cv = 4-28%). Прием основной обработки влияет на характер и направленность изменений содержания ценных водопрочных агрегатов. Сокращение глубины обработок почвы способствует снижению содержания фракций агрономически ценного размера на 3-15%, одновременно увеличивая содержание водопрочных агрегатов по сравнению со вспашкой.

6.2 Участие гумусовых веществ в формировании структурных и водопрочных агрегатов

Органическое вещество почвы выполняет большое количество разнообразных функций, одной из которых является продукционно-воспроизводящая, обеспечивающая устойчивое функционирование сельскохозяйственных и природных экосистем (Фокин, 1994). Участие органического вещества происходит прямым или косвенным путем, через формирование органоминеральных взаимодействий и формирование почвенной

структуры. При вовлечении почв в обработку, происходит нарушение динамического равновесия процессов синтеза и распада органических веществ, и как следствие, к изменению количества гумуса. Наибольшим изменениям подвергается подвижное органическое вещество.

Сезонная динамика процессов трансформации легкоминерализумых форм углерода имеет разнонаправленный характер и протекает с переменчивой интенсивностью в зависимости от выращиваемой культуры, качества и количества поступающих в почву растительных остатков, гидротермических условий и технологии основной обработки.

Содержание углерода гумуса в агрочерноземах позволяет оценить их как почвы с высокой и средней гумусированностью и поверхностным накоплением гумуса в 0-10 см слое почвы (табл. 20). С глубиной отмечается снижение содержания общего углерода гумуса.

Таблица 20 – Статистические характеристики содержания Сгумуса в агрочерноземах, мг/100г

Прием обработки	Слой, см	2017 г. (n=9)		2018 г. (n=9)	
		X ± Sx	*Cv*	*X ± Sx*	*Cv*
Отвальная	0-10	4518 ± 266	6	3574 ± 566	16
	10-20	4507 ± 179	4	3448 ± 682	20
	20-40	4222 ± 566	13	2687 ± 1447	54
Минимальная	0-10	3808 ± 594	16	4151 ± 531	13
	10-20	3601 ± 679	19	4104 ± 583	14
	20-40	3502 ± 1301	37	3869 ± 885	23
Нулевая	0-10	4048 ± 379	9	3909 ± 854	22
	10-20	3790 ± 639	17	3491 ± 1087	31
	20-40	3612 ± 1192	33	2906 ± 1434	49

Наибольшее содержание Сгумуса в вегетационный сезон 2017 года установлено на фоне вспашки (4518-4222 мгС/100г). На фоне почвозащитных технологий содержание общего углерода в слое 0-20 см оценивается на уровне (3600-4048 мгС/100г) (прил. 11). В 2018 году минимальная обработка определила максимальное содержание Сгумуса в 0-40 см слое агрочерноземов (3869-4151 мгС/100г). Наименьшая концентрация компонента отмечается на вспашке (2687-

3574 мгС/100г). В условиях отвальной и минимальной обработок установлена локализация гумусовых веществ в 0-20 см слое, что определило значительную дифференциацию 0-40 см толщи почвы. Эта разница достигала 291-307 мгС/100г и 794-824 мгС/100г по годам исследований. При оценке среднего содержания общего углерода гумуса за период исследований отмечена дифференциация пахотного слоя агрочерноземов на фоне прямого посева (разница между слоями 0-10 и 10-20 см составляла 338 мгС/100г) (Колесник, Кураченко, 2022).

Сезонное варьирование Сгумуса в пахотном слое оценивается незначительной, небольшой и средней величиной (Cv = 4-31%). Возрастание варьирования гумусовых веществ в подпахотном слое до высоких величин (Cv = 49-54 %) определяется наличием здесь признаков языковатости и неоднородности переходного горизонта, а также неравномерной заделкой растительных остатков в нижележащие слои почвы.

Содержание водорастворимого углерода гумуса в агрочерноземах при возделывании яровой пшеницы оценивается в пределах 23-42 мгС/100г (Cv = 4-41%) (табл. 21). Установлено, что вспашка почвы под яровую пшеницу определяет поверхностную локализацию водорастворимых соединений гумуса (28-40 мгС/100г). Распределение C_{H_2O} в 0-40 см толще агрочерноземов на фоне минимизации основной обработки не имеет определенной закономерности, что, по-видимому, обусловлено поверхностным поступлением в почву растительных остатков предшествующей кукурузы и процессами их трансформации.

Содержание водорастворимых гумусовых веществ связано с приемом основной обработки почвы под яровую пшеницу и погодными условиями вегетационного сезона. Так, хорошая влагообеспеченность вегетационного сезона 2017 года способствовала снижению концентрации водорастворимого углерода гумуса в 0-10 см почвы, обрабатываемой по минимальной технологии (r = - 0,51) (прил. 16). По сравнению со вспашкой эта разница составила 6 мгС/100г почвы. В засушливых условиях незначительное накопление C_{H2O} в 0-40 см толще почвы также отмечено на минимальной обработке почвы. Как правило, достоверные

изменения содержания водорастворимого гумуса по фонам основной обработки приходятся на августовский период (p = 0,01-0,03) (прил. 12).

Таблица 21 – Статистические характеристики содержания C_{H2O} в агрочерноземах, мгС/100г

Прием обработки	Слой, см	2017 г. (n=9)		2018 г. (n=9)	
		X ± *Sx*	*Cv*	*X* ± *Sx*	*Cv*
Отвальная	0-10	39,8 ± 8,2	21	28,4 ± 8,6	30
	10-20	35,2 ± 1,6	4	25,8 ± 8,5	33
	20-40	35,5 ± 4,6	13	22,7 ± 5,7	25
Минимальная	0-10	34,3 ± 4,2	12	31,7 ± 12,6	40
	10-20	35,1 ± 3,5	10	33,8 ± 13,9	41
	20-40	34,0 ± 6,8	20	37,1 ± 12,5	34
Нулевая	0-10	40,1 ± 6,5	16	29,9 ± 8,6	29
	10-20	38,2 ± 5,7	15	29,9 ± 8,2	28
	20-40	42,4 ± 5,6	13	27,3 ± 8,1	30

При возделывании яровой пшеницы основными факторами, определяющими процессы трансформации органического вещества, являются количество растительного опада, наличие доступной влаги и кислорода в почве. При сельскохозяйственном использовании почв, подвижные гумусовые вещества, извлекаемые из почвы 0,1 н раствором гидроксида натрия, наиболее подвержены трансформации (Когут, 1982; Шевцова, Володарская, 1991). Содержание щелочегидролизуемого углерода гумуса в вегетационный сезон 2017 года оценивается в пределах 289-397 мгС/100г с поверхностной аккумуляцией компонента в слое 0-10 см (табл. 22). На фоне почвозащитных обработок установлена дифференциация пахотного 0-20 см слоя почвы (разница между слоями 0-10 и 10-20 см составляет 50 мгС/100г). В 2018 году локализация значительного количества растительных остатков на поверхности почвы при прямом посеве, даже в условиях высоких температур и дефицита осадков определила максимальное содержание C_{NaOH} в слое 0-20 см (412-470 мгС/100г). На фоне отвальной обработки установлено минимальное содержание компонента (174-230 мгС/100г) ($p<0,05$; прил. 13). На фоне обработки почвы дискатором за

период исследований отмечается аккумуляция щелочегидролизуемого углерода гумуса в 20-40 см слое агрочерноземов.

Сезонное варьирование C_{NaOH} в слое 0-40 см почвы оценивается небольшой, средней и высокой величиной (Cv = 13-66%). Усиление варьирования отмечается в подпахотном 20-40 см слое агрочерноземов на всех фонах основной обработки.

Таблица 22 – Статистические характеристики содержания C_{NaOH} в агрочерноземах, мгС/100г

Прием обработки	Слой, см	2017 г. (n=9)		2018 г. (n=9)	
		X ± Sx	*Cv*	*X ± Sx*	*Cv*
Отвальная	0-10	397 ± 76	19	225 ± 31	14
	10-20	394 ± 80	20	230 ± 52	23
	20-40	370 ± 79	21	174 ± 56	32
Минимальная	0-10	339 ± 107	32	391 ± 51	13
	10-20	289 ± 107	37	389 ± 58	15
	20-40	348 ± 206	59	468 ± 128	27
Нулевая	0-10	391 ± 80	20	470 ± 210	45
	10-20	341 ± 67	19	412 ± 225	54
	20-40	319 ± 95	30	353 ± 233	66

В вегетационном сезоне 2017 года, на фоне мелкой обработки агрочерноземов дискатором установлено наименьшее содержание углерода гуминовых кислот в 0-20 см слое почвы (59-132 мгС/100г) (табл. 23). В этих же условиях наблюдается наибольшая дифференциация пахотного слоя (разница между слоями 0-10 и 10-20 см составляет 73 мгС/100г). При обработке почвы по отвальной и нулевой технологиям содержание $C_{ГК}$ в слое 0-20 см оценивается на уровне 116-152 мгС/100г. В подпахотном 20-40 см слое агрочернозема содержание гуминовых кислот оценивается близкими значениями на всех фонах основной обработки (101-119 мгС/100г).

Содержание фульвокислотной фракции щелочегидролизуемых соединений гумуса в 2017 году оценивается в пределах 200-269 мгС/100г. При прямом посеве наблюдается поверхностная аккумуляция компонента в слое 0-10 см агрочернозема (246 мгС/100г). На фоне вспашки и обработки почвы дискатором отмечена дифференциация пахотного 0-20 см слоя (23 мгС/100г), и увеличение

содержания $C_{ФК}$ в слое 10-20 и 20-40 см. В 2018 году происходит поверхностное накопление фульвокислот на всех фонах обработки. Содержание $C_{ФК}$ в пахотном 0-20 см слое агрочернозема на отвальной обработке на 81-83 мгС/100г меньше, по сравнению с нулевой и минимальной обработками.

Таблица 23 – Статистические характеристики содержания $C_{ГК}$ и $C_{ФК}$ в агрочерноземах, мгС/100г

Прием обработки	Слой, см	2017 г. (n=9)		2018 г. (n=9)	
		X ± Sx	*Cv*	*X ± Sx*	*Cv*
$C_{ГК}$					
Отвальная	0-10	152 ± 76	50	46 ± 36	78
	10-20	125 ± 44	35	46 ± 43	94
	20-40	101 ± 45	45	29 ± 15	51
Минимальная	0-10	132 ± 113	85	110 ± 34	31
	10-20	59 ± 43	73	139 ± 45	33
	20-40	117 ± 102	87	193 ± 76	39
Нулевая	0-10	145 ± 72	50	201 ± 163	81
	10-20	116 ± 28	24	154 ± 167	109
	20-40	119 ± 43	36	143 ± 159	111
$C_{ФК}$					
Отвальная	0-10	245 ± 29	12	180 ± 40	22
	10-20	268 ± 41	15	185 ± 45	25
	20-40	269 ± 39	15	145 ± 46	32
Минимальная	0-10	207 ± 38	18	281 ± 79	28
	10-20	230 ± 87	38	250 ± 46	19
	20-40	232 ± 115	50	275 ± 67	24
Нулевая	0-10	246 ± 76	31	269 ± 82	30
	10-20	225 ± 66	29	259 ± 104	40
	20-40	200 ± 92	46	210 ± 98	46

Варьирование новообразованных гуминовых кислот определяется средней, высокой и очень высокой величиной (Cv = 24-111%). Фульвокислоты менее варьирующий показатель, по сравнению гуминовыми кислотами (Cv = 12-50%). Оценка средней величины содержания гуминовых и фульвокислот за период исследований свидетельствует об их аккумуляции в 0-20 см слое почвы в условиях вспашки и прямого посева (93-154 мгС/100г – $C_{ГК}$, 220-250 мгС/100г –

$C_{ФК}$), а на фоне обработки почвы дискатором – в слое 20-40 см (155 и 254 мгС/100г соответственно).

Достоверные изменения содержания щелочегидролизуемого углерода гумуса, гуминовых и фульвокислот в его составе по фонам основной обработки приходятся на период всходов в 2018 году (p = 0,00-0,03) (прил. 13-15).

Способность органического вещества минерализоваться в значительной степени зависит от условий внешней среды и в первую очередь от влажности и температуры (Семенов, Когут, 2015). Достаточный на осадки вегетационный сезон 2017 года выявил, что увеличение запасов влаги способствует разложению растительных остатков и пополнению запасов гумуса в почве (прил. 16). Его содержание на 50-63% сопряжено с влажностью почвы в слое 20-40 см на отвальной и минимальной обработках. Сильная обратная корреляционная зависимость водорастворимого углерода с влажностью установлена в слое 10-20 см на фоне обработки дискатором (r = -0,79) в 2017 году. Засушливые условия 2018 года в сильной степени повлияли на накопление Сгумуса на вспашке (r = 0,81-0,91), и на фоне минимальной обработки в подпахотном слое (r = 0,76). Минимальная обработка выявила сильную корреляционную зависимость между щелочегидролизуемым углеродом гумуса и влажностью почвы в 2018 году (содержание C_{NaOH} на 51-81% сопряжено с влажностью почвы).

Исследованиями установлено, что 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% (рис. 18). В подпахотном 20-40 см слое почвы на фоне почвозащитных технологий доля стабильного углерода гумуса снижается до 88-89%. В структуре гумуса агрочерноземов доля водорастворимых соединений невелика. По различным фонам основной обработки она составляет 0,8-1,1% в слое 0-40 см. Наибольшая их доля отмечается на фоне прямого посева в слое 0-40 см, и в подпахотном слое при обработке почвы дискатором (1,0-1,1%).

В структуре подвижных гумусовых веществ доминирующими являются щелочегидролизуемые соединения. Наибольшая их доля зафиксирована на нулевой обработке и в слое 20-40 см на фоне обработки почвы дискатором (10-11%). В условиях отвальной и минимальной обработок процессы минерализации в пахотном слое протекают более активно, и доля C_{NaOH} снижается до 6,4-7,6%. На фоне минимальной обработки отмечается снижение доли стабильного углерода гумуса на 4,8%, за счет увеличения доли щелочегидролизуемых соединений углерода.

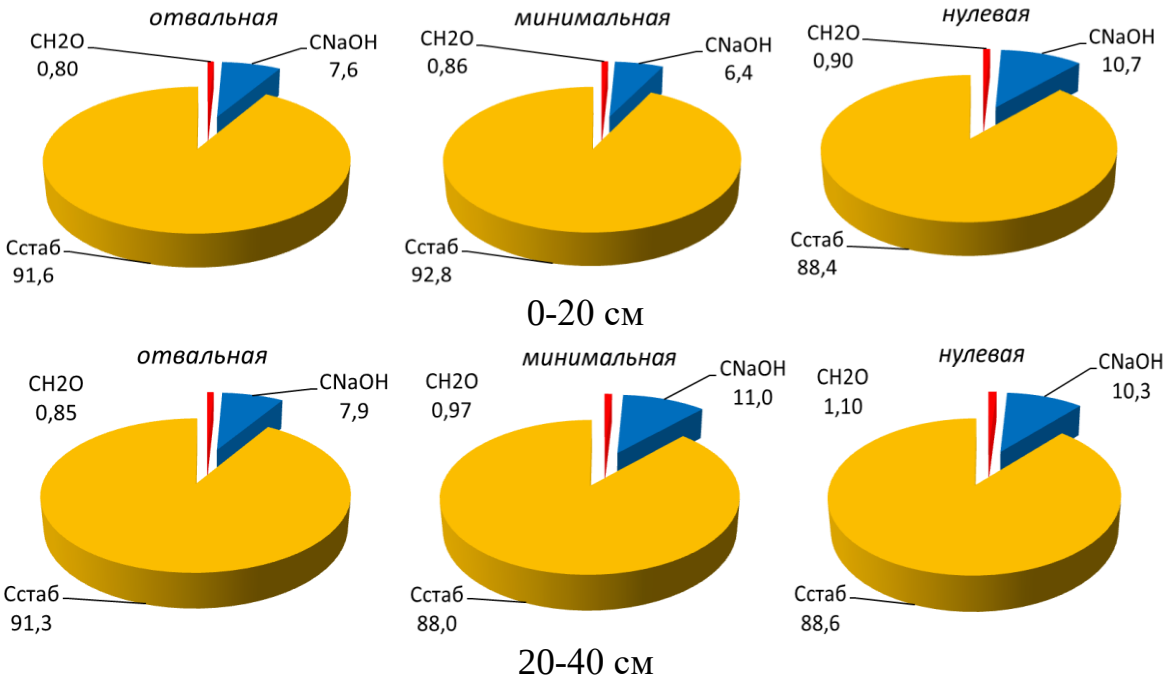


Рисунок 18 – Структура запасов углерода гумусовых веществ в агрочерноземах, % от Сгумуса (0-20, 20-40 см)

Характер обработки почвы определяет различное пополнение запасов углерода гумуса в агрочерноземах. В агроценозе пшеницы 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 (табл. 24).

По всем фонам обработки отмечается накопление Сгумуса в 0-20 см слое агрочерноземов. Наибольшая дифференциация слоя 0-40 см установлена на фоне прямого посева. Разница между слоями 0-20 и 20-40 см достигает 12 тС/га.

Таблица 24 – 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
C_{H2O}	0,52	0,53	1,05	0,62	0,65	1,27	0,64	0,64	1,28
C_{NaOH}	4,94	4,92	9,86	4,57	7,42	11,99	7,60	6,14	13,74
Спов	5,46	5,45	10,91	5,19	8,07	13,26	8,24	6,78	15,02
Сстаб	59,4	57,0	116,4	66,5	59,1	125,6	62,9	52,6	115,5
$C_{ГК}$	1,41	1,17	2,58	2,01	2,81	4,82	2,90	2,40	5,30
$C_{ФК}$	3,53	3,74	7,27	4,45	4,62	9,07	4,70	3,74	8,44
$C_{ГК} / C_{ФК}$	0,40	0,31	0,35	0,45	0,61	0,53	0,62	0,64	0,63

Наибольшие запасы водорастворимого углерода гумуса установлены на фоне минимизации основной обработки. Значительной дифференциации слоя 0-40 см не отмечено. Содержание C_{H2O} в подпахотном 20-40 см слое на 0,01-0,03 т/га превышает запасы в слое 0-20 см. Можно предположить, что это связано с более медленными минерализационными процессами, так как основная влага концентрируется и расходуется в пахотном слое 0-20 см, что так же влияет на деятельность микроорганизмов. Кононова М.М. (1963) в своих исследованиях пришла к выводу, что чередование процессов увлажнения и иссушения почвы приводит к снижению подвижности гумусовых веществ. Улучшение агрофизических свойств почв приводит к ее большему промачиванию и частичной миграции водорастворимых соединений вниз по профилю. Нисходящая миграция воды в почве осуществляется главным образом по межагрегатным промежуткам (Най, Тинкер, 1980). Вследствие этого характер агрегатной организации твердой фазы почвы будет определяющим фактором концентрации водорастворимых соединений гумуса в нижних слоях пахотных горизонтов и подпахотных слоев. Помимо этого, усиление миграционных процессов во время обработки почвы способствует вымыванию водорастворимых компонентов в подпахотные слои. Источником гумуса не только для поверхностного корнеобитаемого слоя, но и отчасти для всего почвенного

профиля, особенно для гумусового горизонта, являются корни верхнего (0-10 см) слоя (Пономарева, Плотникова, 1980). За счет миграции подвижных компонентов вниз по профилю, гумус нижних слоев чернозема становится в значительной мере продуктом водорастворимых соединений, а не корнеопада.

Запасы щелочегидролизуемого углерода гумуса на фоне вспашки в 0-40 см слое почвы оцениваются на близком уровне (4,9 тС/га). При обработке агрочернозема дискатором установлено пополнение запасов компонента в 20-40 см слое до 7,4 тС/га. В условиях прямого посева, за счет локализации растительных остатков на поверхности, аккумуляция запасов щелочегидролизуемого углерода отмечается в слое 0-20 см (7,6 тС/га).

Таким образом, по запасам общего углерода гумуса в слое 0-20 см приемы основной обработки ранжируются в ряду: минимальная (71,7 тС/га) – нулевая (71,1 тС/га) – отвальная (64,9 тС/га); в слое 20-40 см убывающий рад имеет вид: минимальная (67,2 тС/га) – отвальная (62,4 тС/га) – нулевая (59,4 тС/га). По запасам подвижного углерода гумуса в слое 0-20 см приемы основной обработки распределяются в убывающий ряд: нулевая (8,2 тС/га) – отвальная (5,5 тС/га) – минимальная (5,2 тС/га); в слое 20-40 см: минимальная (8,1 тС/га) – нулевая (6,8 тС/га) – отвальная (5,5 тС/га).

Соотношение запасов гуминовых и фульвокислот в агрочерноземах определяется их генезисом и характером обработки. По всем фонам основной обработки в компонентах щелочегидролизуемого углерода преобладают фульвокислоты. Отвальная и минимальная обработки, усиливая минерализационные процессы, снижают соотношение $С_{ГК}$: $С_{ФК}$ до 0,4-0,5. Кураченко Н.Л. (2019) показала, что функционирование черноземов в условиях агроценозов сопровождается ухудшением качества подвижного гумуса. Багаутдинов Ф.Я. (1997) предположил, что это связано со значительным содержанием фульвокислот, более подверженных биохимической трансформации.

Сезонные изменения агрофизических свойств агрочерноземов в условиях вспашки и минимизации основной обработки достоверно определяются процессами превращения гумусовых веществ и динамикой подвижных компонентов гумуса. Их роль в формировании структурных и водопрочных агрегатов проявляется неоднозначно. Нами впервые составлены уравнения регрессии со стандартизированными коэффициентами регрессии, которые показывают степень и направленность влияния компонентов гумуса (табл. 25).

Согласно уравнениям регрессии, до 43-55% изменчивости агрономически ценных фракций на вспашке статистически устойчиво связано с гумусовыми веществами. Снижение содержания водорастворимого углерода приводит к усилению глыбообразования в пахотном 0-20 см слое агрочерноземов. Пополнение запасов влаги оказывает прямое положительное воздействие на содержание фракций агрономически ценного размера в 20-40 см слое почвы.

Важную роль в формировании водопрочных агрегатов в слое 20-40 см на фоне почвозащитных технологий играют подвижные гуминовые кислоты, и, в некоторой степени, гумусовые вещества, извлекаемые 0,1 н NaOH. Молодые гумусовые кислоты являются микробиологически устойчивыми гидрофобными почвенными компонентами, и обладают хорошей склеивающей способностью. В лесостепной зоне органическое вещество поступает в почву преимущественно в виде корневого опада. Наличие достаточного питания, оптимального температурного режима, анаэробных условий в исходных микроагрегатах – приводит к интенсивному функционированию почвенной биоты, и как следствие, к формированию гумусовых веществ с преимущественно гидрофобными свойствами (Шеин, Милановский, 2003). В этих условиях формируется характерная для черноземных почв водоустойчивая агрегатная структура.

Таблица 25 – 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(Сгум) – 427,11(C_{H2O}) + 14,27(C_{NaOH}) + 0($C_{ГК}$) + 3,57($C_{ФК}$),*** ***при R=0,79, r^2=0,55, p=0,024***	*= 46,99 + 9,58(Сгум) – 113,03(C_{H2O}) – 18,72(C_{NaOH}) + 12,61($C_{ГК}$) – 0($C_{ФК}$),* *при R=0,54, r^2=0,29, p=0,320*	*= 37,98 + 30,24(Сгум) – 699,17(C_{H2O}) – 239,10(C_{NaOH}) + 218,25($C_{ГК}$) + 0($C_{ФК}$),* *при R=0,68, r^2=0,46, p=0,067*
АЦФ (20-40 см)	***= 60,33 + 4,66 (Сгум) + 152,35(C_{H2O}) + 69,21(C_{NaOH}) + 0($C_{ГК}$) – 20,78($C_{ФК}$),*** ***при R=0,65, r^2=0,43, p=0,045***	*= 55,14 – 1,36(Сгум) + 330,74(C_{H2O}) – 589,18(C_{NaOH}) + 655,46($C_{ГК}$) + 592,20($C_{ФК}$),* *при R=0,65, r^2=0,43, p=0,190*	*= 61,32 – 3,44(Сгум) + 295,90(C_{H2O}) +53,50(C_{NaOH}) – 68,96($C_{ГК}$) + 0($C_{ФК}$),* *при R=0,33, r^2=0,11, p=0,850*
ВА (0-20 см)	*= 65,40 + 8,23(Сгум) – 466,93(C_{H2O}) + 47,08(C_{NaOH}) + 0($C_{ГК}$) – 128,60($C_{ФК}$),* *при R=0,51, r^2=0,26, p=0,380*	*= 88,53 + 4,75(Сгум) – 387,50(C_{H2O}) – 46,77(C_{NaOH}) + 2,23($C_{ГК}$) + 0($C_{ФК}$),* *при R=0,45, r^2=0,20, p=0,550*	***= 67,18 – 2,41(Сгум) + 186,77(C_{H2O}) + 67,28(C_{NaOH}) – 69,92($C_{ГК}$) + 0($C_{ФК}$),*** ***при R=0,81, r^2=0,66, p=0,004***
ВА (20-40 см)	***= 68,03 – 10,99(Сгум) – 414,91(C_{H2O}) + 23,08(C_{NaOH}) + 0($C_{ГК}$) + 263,22($C_{ФК}$),*** ***при R=0,75, r^2=0,57, p=0,019***	***= 62,86 – 0,87(Сгум) + 147,35(C_{H2O}) + 5664,88(C_{NaOH}) – 5720,52($C_{ГК}$) – 5576,39($C_{ФК}$),*** ***при R=0,78, r^2=0,60, p=0,031***	***= 59,62 + 8,68(Сгум) – 19,84(C_{H2O}) – 46,52(C_{NaOH}) + 82,29($C_{ГК}$) + 0($C_{ФК}$),*** ***при R=0,73, r^2=0,53, p=0,031***

R – коэффициент множественной регрессии (корреляции); r^2 – коэффициент множественной детерминации; p – уровень значимости уравнения регрессии; * – уравнения значимы (p<0,05).

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 C_{H2O} и в некоторой степени от фульвокислотной фракции гумуса. 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 щелочегидролизуемые соединения гумуса проявляют склеивающий эффект. Гуминовые кислоты подвижной части гумуса оказывают положительное влияние на формирование водопрочной структуры агрочерноземов при нулевом посеве пшеницы.

Из уравнений регрессии видно, что в формировании агрономически ценных и водопрочных структур на фоне отвальной обработки принимают участие фульвокислотная фракция щелочегидролизуемых 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.

Полученные результаты позволяют заключить о том, что динамика и характер варьирования содержания гумусовых веществ при возделывании яровой пшеницы определяется приемом основной обработки и погодными условиями вегетационного сезона. Обработка агрочерноземов по минимальным технологиям способствует снижению доли стабильного углерода гумуса до 88-89 % и увеличению запасов общего и подвижного углерода гумуса в слое 0-40 см до 131-139 тС/га и 13-15 тС/га соответственно. Сезонные изменения агрофизических свойств агрочерноземов в условиях основной обработки определяются процессами превращения гумусовых веществ и динамикой подвижных компонентов гумуса с суммарным эффектом 43-66%.

ВЫВОДЫ

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

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 (Cv = 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 (Cv = 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 вариабельности показателей до 23-28%.

6. Содержание и пространственное распределение гумусовых веществ в агрочерноземах определяется приемом основной обработки почвы. Запасы Сгумуса 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 (Cv = 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 агрочернозем 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.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Абдулвалеев, Р. Р. Рельеф как фактор агроклимата / Р. Р. Абдулвалеев, Р.Р. Исмагилов // Мат. Всерос. научн.-практ. конф. в рамках XIX Межд. Спец. выставки «Агрокомплекс – 2009». – Уфа, 2009. – С. 73-75.
2. Абрамов, Н. В. Формирование профиля черноземов выщелоченных Северного Зауралья в условиях длительной распашки / Н. В. Абрамов, Д. И. Еремин // Достижения науки и техники АПК. – 2012. – № 3. – С. 7-9.
3. Агрегатная структура почв: энергетическая концепция, механизмы формирования и характеристика функциональной устойчивости (Электронный ресурс). – URL : https://www.rfbr.ru/rffi/ru/project_search/o_53782 (01.07.2019).
4. Акимов, В. А. Опасные гидрометеорологические явления на территории России : Научно-популярное издание / В. А. Акимов, Р. А. Дурнев, Ю. И. Соколов ; ФГУ ВНИИ ГОЧС (ФЦ). – Москва, 2009. – 316 с.
5. Акимов, В. А. Опасные гидрометеорологические явления на территории России : Научно-популярное издание / В. А. Акимов, Р. А. Дурнев, Ю. И. Соколов ; ФГУ ВНИИ ГОЧС (ФЦ). – Москва, 2009. – 316 с.
6. Александрова, Л. Н. Лабораторно-практические занятия по почвоведению / Л. Н. Александрова. – Л. : Колос, 1967. – 350 с.
7. Алексеева Т. В. Микроструктурная организация почв и факторы ее формирования / Т. В. Алексеева // Почвоведение. – 2007. – № 6. – С. 721-732.
8. Алисов, Б. П. Климатология / Б. П. Алисов, В. П. Полтарус. – М. : МГУ, 1974. – 299 с.
9. Антипова, Е. М. Флора внутриконтинентальных островных лесостепей Средней Сибири : монография / Е. М. Антипова. – Красноярск : Красн. гос. пед. ун-т им. В. П. Астафьева, 2012. – 662 с.

10. Аринушкина, Е. В. Руководство по химическому анализу почв / Е. В. Аринушкина. – М. : Изд-во МГУ, 1970. – 487 с.
11. Артемьева, З. С. Особенности микроструктуры гумусовых горизонтов чернозема обыкновенного разных ценозов / З. С. Артемьева, Л. С. Силева, Е. Г. Моргун, О. В. Каплина // Вестн. МГУ. – 2005. – Сер. 17. – С. 31-34.
12. Ахтырцев, А. Б. Влияние гидроморфизма на распределение, накопление и состав гумуса в почвах лесостепи / А. Б. Ахтырцев, Е. М. Самойлова // Вестн. МГУ. Сер. 17. Почвоведение. – 1983. – № 2. – С. 3-11.
13. Аюпов, З. З. Подвижность гумусовых веществ и ферментативная активность чернозема выщелоченного в зависимости от приемов основной обработки почвы и внесения удобрений / З. З. Аюпов // Вестн. БГАУ. – 2013. – № 1 (25). – С. 7-10.
14. Багаутдинов, Ф. Я. Состав, трансформация и регулирование режима органического вещества почв Южного Урала: автореф. дис. … д-ра биол. наук : 06.06.01 / Ф. Я. Багаутдинов.– Новосибирск, 1997.– 32 с.
15. Бакиров Ф.Г. Эффективность ресурсосберегающих систем обработки черноземов степной зоны Южного Урала: автореф. дисс…. д-ра. с.-х. наук / Ф. Г. Бакиров. – Оренбург, 2008. – 47с.
16. Бевзова, М. С. Изменение основных показателей свойств зональных почв юга Западной Сибири под влиянием эрозионных и дефляционных процессов (на примере Омской области): автореф. дисс. … канд. биол. наук : 06.06.01. – Тюмень, 2007.
17. Безруких, В. А. Агроклиматические районы Красноярского Причулымья / В. А. Безруких // Природные условия и ресурсы Красноярского края и Тувинской АССР. – Красноярск : КГПИ, 1977. – С. 3-15.
18. Безруких, В. А. Физическая география Красноярского края и Республики Хакасии / В. А. Безруких. – Красноярск : Красн. книжн. изд-во, 1993. – 190 с.

19. Беленков, А. И. Агроэкологическая концепция исследований и агрофизические свойства почвы в посадках картофеля полевого опыта центра точного земледелия / А. И. Беленков, В. А. Николаев, А. В. Шитикова // Агрофизика. – 2011. – № 3. – С. 1-5.
20. Бойков, В. М. Анализ процессов заделки незерновой части урожая в пахотный слой почвообрабатывамыми орудиями / В. М. Бойков, С. В. Старцев, О. Н. Чурляева // Аграрный научный журнал. – 2015. – № 6. – С. 57-59.
21. Бондарев, А. Г. Проблема уплотнения почв сельскохозяйственной техникой и пути ее решения / А. Г. Бондарев // Изменение агрофизических свойств почв под воздействием антропогенных факторов. – М., 1990. – С. 3-11.
22. Борисов, Б. А. Географические закономерности распределения и обновления легкоразлагаемого органического вещества целинных и пахотных почв зонального ряда Европейской части России / Б. А. Борисов, Н. Ф. Ганжара // Почвоведение. – 2008. – № 9. – С. 1071-1078.
23. Бугаков, П. С. Агрономическая характеристика почв земледельческой зоны Красноярского края / П. С. Бугаков, В. В. Чупрова – Красноярск : Изд-во Краснояр. гос. аграр. ун-та, 1995. – 176 с.
24. Бугаков, П. С. Красноярская и Ачинско-Боготольская лесостепи. Почвы и их агрономическая характеристика / П. С. Бугаков // Агрохимическая характеристика почв СССР. Средняя Сибирь. – М. : Наука, 1971. – С. 26-46.
25. Бугаков, П. С. Почвы Красноярского края / П. С. Бугаков, С. М. Горбачева, В. В. Чупрова.– Красноярск : Красн. кн. изд-во, 1981. – 127 с.
26. Бугаков, П. С. Агрофизическая характеристика почв южной части Красноярского края / П. С. Бугаков, Э. П. Попова, В. В. Чупрова, Л. С. Шугалей // Агрофизическая характеристика почв степной и сухостепной зон Азиатской части СССР. – М. : Колос, 1982. – С. 71-98.

27. Бурлакова, Л. М. Плодородие алтайских черноземов в системе агроценоза / Л. М. Бурлакова. – Новосибирск : Новосиб. отд.-е изд-ва "Наука", 1984. – 300 с.
28. Бутяйкин, В. В. Влияние способов основной обработки почвы и минеральных удобрений на урожай, качество зерна озимой пшеницы / В. В. Бутяйкин, М. Н. Чаткин // Вестн. Алт. гос. агр. ун-та. – 2014. – № 7(117). – С. 38-41.
29. Буханистова, Е. С. Гумусное состояние и особенности распределения подземной фитомассы в эродированных черноземах Предсалаирья / Е. С. Буханистова, Т. А. Горелова, А. А. Танасиенко, А. С. Чумбаев // Почвоведение. – 2006. – № 6. – С. 692-701.
30. Васенев, И. И. Внутрипольная пестрота плодородия обыкновенных черноземов в склоновых степных агроландшафтах ЦЧ / И. И. Васенев, Э. Г. Васенева, В. Г. Хехулин // Агроэкологическая оптимизация земледелия. – Курск, 2004. – С. 453-456.
31. Васильченко, Н. И. Изменение физических свойств черноземов южных карбонатных при различных системах обработки в Северном Казахстане / Н. И. Васильченко, Г. А. Звягин // Самарский научн. вестн. – 2016. – № 4 (17). – С. 10-13.
32. Вередченко, Ю. П. Агрофизическая характеристика почв центральной части Красноярского края / Ю. П. Вередченко. – М. : Изд-во АН СССР, 1961. – 175 с.
33. Верховцева, Н. В. The role of probiotic microorganisms in the control of health and fertility of soil / Н. В. Верховцева, Е. Ю. Милановский, Е. В. Шеин // The Soul of Soil and Civilization : collection of matherials 9th International Soil Science Congress (Side, Antalya, Turkey,14-16 October 2014). – Side, 2014. – P. 503.
34. Вершинин, А. А. Оценка дыхательной активности выщелоченного чернозема в условиях почвосберегающих технологий возделывания

сельскохозяйственных культур / А. А. Вершинин, Ю. А. Игнатьев // Почвоведение. – 2011. – № 6. – С. 755-759.

35. Вершинин, П. В. Основы агрофизики / П. В. Вершинин, М. К. Мельникова, Б. Н. Мичурин, Б. С. Мошков, И. П. Поясов, А. Ф. Чудновский. – М.: Гос. изд-во физ.-мат. лит., 1959. – 903 с.
36. Вершинин, П. В. Почвенная структура и условия ее формирования / П. В. Вершинин. – М.- Л. : Изд-во АН СССР, 1958. – 188 с.
37. Вильямс, В. Р. Прочность и связность структуры почвы / В. Р. Вильямс // Почвоведение. – 1935. – № 5, 6. – С. 746-754.
38. Вильямс, В. Р. Собрание сочинений / В. Р. Вильямс. – М., 1951. – Т. 7. – С. 27-30.
39. Власенко, А. Н. Разработка технологии No-Till на черноземе выщелоченном лесостепи Западной Сибири / А. Н. Власенко, Н. Г. Власенко, Н. А. Коротких // Земледелие. – 2011. – № 59. – С. 20-22.
40. Власенко, А. Н. Проблемы и перспективы разработки и освоения технологии No-Till на черноземах лесостепи Западной Сибири / А. Н. Власенко, Н. Г. Власенко, Н. А. Коротких // Достижения науки и техники АПК. – 2013. – № 9. – С. 16-19.
41. Воронин, А. Д. Основы физики почв / А. Д. Воронин. – М.: Изд-во МГУ, 1986. – 244 с.
42. Воронин, А. Д. Структурно-функциональная гидрофизика почв / А. Д. Воронин – М. : Изд-во МГУ, 1984. – С. 10-153.
43. Воронин, А. Н. Влияние различных систем земледелия на динамику содержания подвижного фосфора в черноземе типичном / А. Н. Воронин // Агрохимия. – 2014. – № 5. – С. 32-37.
44. Воронкин, Е. В. Влияние способов предпосевной обработки на структурный состав почвы в условиях Алтайского края / Е. В. Воронкин, Ю. А. Быковский // Вестн. Алт. гос. агр. ун-та. – 2009. – № 5 (55). – С. 8-11.

45. Гаврилов, А. М. Водно-физические свойства светло-каштановой почвы в зависимости от основной обработки черного пара / А. М. Гаврилов, В. Н. Левкин, Н. И. Телитченко // Земледелие. – 2006. – № 1. – С.20-21.
46. Галахов, Н. Н. Климат зоны травяных лесов и островов лесостепи Красноярского края / Н. Н. Галахов // Природ. районир. центр. части Красн. края и некот. вопр. пригород. хоз-ва. – М. : Изд-во АН СССР, 1962. – С. 5-26.
47. Ганжара, Н. Ф. Гумусообразование и агрономическая оценка органического вещества подзолистых и черноземных почв европейской части СССР : автореф. дис. … д-ра биол. наук / Н. Ф. Ганжара. – М.: 1988. – 30 с.
48. Ганжара, Н.Ф. Гумусообразование и агрономическая оценка органического вещества почв. – М. : Агроконсалт, 1997. – 82с.
49. Гедройц, К. К. К вопросу о почвенной структуре и ее сельскохозяйственном назначении / К. К. Гедройц // Избранные сочинения. – М. : Наука, 1975. – С. 172-183.
50. Гедройц, К. К. К вопросу о почвенной структуре и сельскохозяйственном ее значении / К. К. Гедройц // Избр. тр. – М. : 1955. – Т. 1. – С. 407-419.
51. Гедройц, К.К. Почва как культурная среда для сельскохозяйственных растений. Почвенные коллоиды и солонцеватость почвы / К.К. Гедройц. – Киев, 1926. – 66 с.
52. Гиниятуллин, К. Г. Пространственная неоднородность вторичной аккумуляции гумуса в старопахотных горизонтах залежных светло-серых лесных почв / К. Г. Гиниятуллин, А. А. Шинкарев, А. Г. Фазылова, К. И. Кузьмина, А. А. Шинкарев // Уч. зап. Казанского ун-та, 2012. – Т.154. – Кн. 4. – С. 61-70.
53. Глухих, М. А. Влага черноземов Зауралья и пути ее эффективного использования / М. А. Глухих. – Челябинск : ЧГАУ, 2003. – 358 с.

54. Гомонова, Н. Ф. Результаты длительного применения различных видов и сочетаний удобрений на дерново-подзолистых почвах / Н. Ф. Гомонова, И. Н. Скворцова, Г. М. Зенова // Почвоведение. – 2007. – № 11. – С. 498-504.
55. ГОСТ 26204-81. Почвы. Определение подвижных соединений фосфора и калия по методу Чирикова в модификации ЦИНАО = Soils. Determination of mobile compounds of phosphorus and potassium by Chiricov method modified by CINAO : государственный стандарт Союза ССР: издание официальное : утвержден и введен в действие Постановлением Комитета стандартизации и метрологии СССР от 29.12.91 № 2389. – М. : ИПК Издательство стандартов, 1992. – 8 с.
56. ГОСТ 26212-2021. Почвы. Определение гидролитической кислотности по методу Каппена в модификации ЦИНАО = Soils. Determination of hydrolytic acidity by Kappen method modified by CINAO : : межгосударственный стандарт : издание официальное : принят Межгосударственным советом по стандартизации, метрологии и сертификации (протокол от 14 июля 2021 г. № 9 59). – М. : ФГБУ «РСТ», 2021. – 12 с.
57. ГОСТ 26423-85. Почвы. Методы определения удельной электрической проводимости, pH и плотного остатка водной вытяжки = Soils. Methods for determination of specific electric conductivity, pH and solid residue of water extract : межгосударственный стандарт : издание официальное : утвержден и введен в действие Постановлением Государственного комитета СССР по стандартам от 8 февраля 1985 г. № 283 . – М. : СТАНДАРТИНФОРМ, 2011. – 8 с.
58. ГОСТ 26487-85. Почвы. Определение обменного кальция и обменного (подвижного) магния методами ЦИНАО = Soils. Determination of exchangeable calcium and exchangeable (mobile) magnesium by CINAO methods : государственный стандарт Союза ССР: издание официальное : утвержден и введен в действие Постановлением Государственного комитета

СССР по стандартам от 26 марта 1985 г. № 821. – М. : ИПК Издательство стандартов, 1985. – 14 с.

59. ГОСТ 26488-85. Почвы. Определение нитратов по методу ЦИНАО = Soils. Determination of nitrates by CINAO method : государственный стандарт Союза ССР: издание официальное : утвержден и введен в действие Постановлением Государственного комитета СССР по стандартам от 26 марта 1985 г. № 820. – М. : ИПК Издательство стандартов, 1985. – 4 с.
60. ГОСТ 26489-85 Почвы. Определение обменного аммония по методу ЦИНАО = Soils. Determination of exchangeable ammonium by CINAO method : государственный стандарт Союза ССР: издание официальное : утвержден и введен в действие Постановлением Государственного комитета СССР по стандартам от 26 марта 1985 г. № 820. – М. : ИПК Издательство стандартов, 1985. – 5 с.
61. ГОСТ 27821-88. Почвы. Определение суммы поглощенных оснований по методу Каппена = Soils. Determination of base absorption sum by Kappen method : государственный стандарт Союза ССР: издание официальное : утвержден и введен в действие Госстандарта СССР от 20.09.88 № 3188. – М. : Издательство стандартов, 1988. – 7 с.
62. Громов, Л. В. Красноярский край / Л. В. Громов, И. Н. Лобова // Природные условия Красноярского края. – М. : Изд-во АН АССР, 1961. – С. 5-23.
63. Гумматов, Н. Г. Масштабы и факторы пространственной изменчивости некоторых агрофизических и агрохимических свойств серо-бурой почвы и показателей урожайности озимой пшеницы / Н. Г. Гумматов // Почва как связующее звено функционирования природных и антропогенно-преобразованных экосистем : III межд. научн.-практ. конф. (Иркутск, 16-22 августа 2011 г.). – Иркутск : ОТ Перекресток, 2011. – С. 256-260.
64. Даденко, Е. В. Биологическая активность чернозема обыкновенного при длительном использовании под пашню / Е. В. Даденко, М. А. Мясникова, К.

Ш. Казеев, С. И. Колесников, В. Ф. Вальков // Почвоведение. – 2014. – № 11. – С. 724-733.

65. Данилов, А. Н. Влияние удобрений и обработки почвы на элементы ее плодородия и урожайность яровой пшеницы на черноземах Поволжья / А. Н. Данилов, А. В. Летучий, Б. Шагиев // Нива Поволжья. – 2015. – № 3 (36). – С. 46-53.
66. Данилова, В. И. Изменение структурного состояния почв при уплотнении и разуплотнении / В. И. Данилова // Почвоведение. – 1996. – № 10. – С. 1203-1212.
67. 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.
68. Дергачева, М. И. Органическое вещество почв: статика и динамика / М. И. Дергачева. – Новосибирск : Наука, 1984. – 314 с.
69. Дергачева, М. И. Система гумусовых веществ почвы (пространственный и временной аспект) / М. И. Дергачева. – Новосибирск : Наука, 1989. – 110 с.
70. Дмитриев, Е. А. Математическая статистика в почвоведении / Е. А. Дмитриев. – М. : Изд-во МГУ, 1995. – 318 с.
71. Докучаев, В. В. Сочинения / В. В. Докучаев. – М.–Л. : Изд-во АН СССР, 1949. – 596 с.
72. Доспехов, Б. А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки) / Б. А. Доспехов. – М.: Альянс, 2014. – 351 с.
73. Дояренко, А. Г. Избранные сочинения / А. Г. Дояренко. – М. : Сельхозиздат, 1963. – 495 с.
74. Дубовик, Е. В. Структурное состояние чернозема типичного в агроландшафте / Е. В. Дубовик // Черноземы центральной России: генезис, география, эволюция. – Воронеж, 2004. – С. 273-278.

75. Едимеичев, Ю. Ф. Интенсивность основной обработки на черноземных почвах Красноярской лесостепи / Ю. Ф. Едимеичев, В. К. Ивченко, Ю. Е. Мациенко // Плодородие почв и агротехника сельскохозяйственных культур в Восточной Сибири: Сб. научн. тр. / РАСХН. Сиб. отд-ние. Краснояр. НИИСХ. – Новосибирск. – 1992. – 164 с.
76. Ерёмин, Д. И. Гранулометрия пахотного чернозема на различных участках склона в северном Зауралье / Д. И. Еремин // АПК России. – 2017. – Т. 24. – № 5. – С. 1082-1086.
77. Еремин, Д. И. Изменение содержания и качества гумуса при сельскохозяйственном использовании чернозема выщелоченного лесостепной зоны Зауралья / Д. И. Еремин // Почвоведение. – 2016. – № 5. – С. 582-592.
78. Еремин, Д. И. Физические свойства выщелоченных черноземов Северного Зауралья в условиях длительного сельскохозяйственного использования / Д. И. Еремин, Д. В. Еремина, Ж. А. Фисунова // Аграрн. вестн. Урала. – Екатеринбург, 2009. – № 4. – С. 15-19.
79. Ерохина, А. А. Почвы и площади пахотопригодных земель в Красноярском крае / А. А. Ерохина // Природн. усл. Красноярск. края. – М. : АН СССР, 1961. – С. 143-159.
80. Ерохина, Н. Л. Содержание и запасы азота в почвах Средней Сибири (в пределах земледельческой территории Красноярского края) : дисс. … канд. биол. наук / Ерохина Нина Леонидовна. – Красноярск, 2002. – 152 с.
81. Ершов, Ю. И. Основы теории почвообразования / Ю. И. Ершов. – Красноярск: КГПУ, 1999. – 382 с.
82. Ершов, Ю. И. Почвы и земельные ресурсы Красноярского края / Ю. И. Ершов. – Красноярск : Изд-во ИЛиД СО РАН, 2000. – 81 с.
83. Ефремова, Т. Т. Гумус и структурообразование в лесных торфяных почвах Западной Сибири : автореф. дис. … д-ра биол. наук. / Т. Т. Ефремова. – Новосибирск, 1990. – 39 с.

84. Жуков, А. И. Регулирование баланса гумуса / А. И. Жуков, А. Д. Попов. – М. : Росагропромиздат, 1988. – 40 с.
85. Захарова, О. А. Микробоценозы почвы при разных уровнях антропогенного воздействия / О. А. Захарова, Л. В. Кирейчева, Ю. А. Мажайский. – Рязань : ООО Политех, 2004. – 159 с.
86. Иванов, А. Л. Комплекс технологических, агрохимических и биологических воздействий на фосфатный режим почв и продуктивность земледелия / А. Л. Иванов, В. Г. Сычев, Л. М. Державин (и др.) // Плодородие. – 2009. – № 1 (46). – С. 4-7.
87. Казнин, Р. Е. Водоустойчивость макроструктуры дерново-подзолистой глееватой почвы при минимизации обработки / Р. Е. Казнин, С. В. Щукин, С. С. Сивкова, Б. А. Смирнов // Вестн. Алт. гос. агр. ун-та. – 2012. – № 4 (90). – С. 24-28.
88. Карпачевский, Л. О. Экологическое почвоведение / Л. О. Карпачевский. – М. : Изд-во МГУ, 1993. – 184с.
89. Карпович, К. И. Ресурсосберегающие технологии возделывания сельскохозяйственных культур Черноземной Лесостепи Ульяновской области / К. И. Карпович, С. Н. Немцев // Докл. Рос. Ак. с.-х. наук. – 2004. – № 6. – С. 30-33.
90. Карточка проекта, поддержанного Российским научным фондом (Электронный ресурс). – URL : http://grant.rscf.ru/prjcard_int?14-16-00065 (01.07.2019).
91. Кауричев, И. С. Сезонные особенности современного почвообразования в некоторых типах почв / И. С. Кауричев // Изв. Тимирязев. с.-х. академии. – 1967. – № 5. – С. 67-77.
92. Качинский, Н. А. Механический и микроагрегатный состав почвы, методы его изучения / Н. А. Качинский. – М. : Изд-во АН СССР, 1958. – 192 с.
93. Качинский, Н. А. Физика почв / Н. А. Качинский. – М. : Высшая школа, 1965.– 323 с.

94. Качинский, Н. А. Физика почв / Н. А. Качинский. – М. : Высшая школа, 1970.– С. 21-79.
95. Кириллов, М. В. География почв Сибири / М. В. Кириллов. – Красноярск : Изд-во КГПИ, 1963. – 175 с.
96. Кирюшин, В. И. Агрономическое почвоведение / В. И. Кирюшин. – М. : Колос, 2010. – 687 с.
97. Кирюшин, В. И. Концепция оптимизации органического вещества почв в агроландшафтах / В. И. Кирюшин, Н. Ф. Ганжара, И. С. Кауричев. – М. : Изд-во МСХА, 1993. – 99 с.
98. Кирюшин, В. И. Опыт изучения органического вещества в черноземах Северного Казахстана при их сельскохозяйственном использовании / В. И. Кирюшин, И. Н. Лебедева // Почвоведение. – 1972. – № 8. – С. 55-65.
99. Кирюшин, В. И. Экологизация земледелия и технологическая политика / В. И. Кирюшин. – М. : Изд-во ТСХА, 2000. – 473 с.
100. Классификация и диагностика почв России / Л. Л. Шишов, В. Д. Тонконогов, И. И. Лебедева, М. И. Герасимова. – Смоленск : Ойкумена, 2004. – 342 с.
101. Когут, Б. М. Водопрочность и лабильные гумусовые вещества типичного чернозема при разном землепользовании / Б. М. Когут, С. А. Сысуева, В. А. Холодов // Почвоведение. – 2012. – № 5. – С. 555-561.
102. Когут, Б. М. Изменение содержания, состава и природы гумусовых веществ при сельскохозяйственном использовании типичного мощного чернозема : автореф. дис. … канд. с.-х. наук / Б. М. Когут. – М. : Почвенный ин-т им. В.В. Докучаева, 1982. – 24 с.
103. Когут, Б. М. Принципы и методы оценки содержания трансформируемого органического вещества в пахотных почвах / Б. М. Когут // Почвоведение. – 2003. – № 3. – С. 308-316.

104. Козин, В. К. Особенности варьирования свойств почв Черноморского побережья Краснодарского края / В. К. Козин // Почвоведение. – 1988. – № 12. – С. 123-129.

105. 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. (Красноярск, 12 ноября 2021 г.). – Красноярск : Изд-во Красноярского ГАУ, 2021. – Ч. 1. – С. 117-120.

106. 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 доктора сельскохозяйственных наук, профессора Петра Семёновича Бугакова, (Красноярск, 22 апреля 2022 г.). – Красноярск : Изд-во Красноярского ГАУ, 2022. – С. 92-96.

107. 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, 2018. – С. 109-114.

108. 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. молодых ученых, 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.

109. 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.

110. 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.). – Пущино : Товарищество научных изданий КМК. – 2017. – С. 260-262.

111. 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. (Красноярск, 10–11 апреля 2018 г.). – Красноярск : Изд-во Красноярского ГАУ, 2018. – Ч. I. – С. 32-36.

112. Колесник, А. А. Формирование структурного состояния агрочернозема Красноярской лесостепи при возделывании яровой пшеницы по ресурсосберегающим технологиям / А. А. Колесник, Н. Л. Кураченко // Научно-практические аспекты развития АПК : Материалы национальной научной конференции (Красноярск, 18 ноября 2022 г.). – Красноярск : Изд-во Красноярского ГАУ, 2023. – С. 65-69.

113. Коляго, В. А. Два аспекта прикладной оценки климата Причулымья / В. А. Коляго // Материалы по географ. Средн. Сиб. (Красн. край и Тув. АССР). – Красноярск : Изд-во КГПИ, 1974. – С. 3-20.

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

115. Кононова, М. М. Органическое вещество почвы / М. М. Кононова. – М. : Изд-во АН СССР, 1963. – 314 с.

116. Кононова, М. М. Проблемы почвенного гумуса и современные задачи его изучения / М. М. Кононова. – М. : Изд-во АН СССР, 1951. – 390 с.

117. Концепция оптимизации режима органического вещества почв в агроландшафтах / В. И. Кирюшин и др. – М. : Изд-во МСХА, 1993. – 99 с.

118. Копысов, И. Я. Физическое состояние дерново-подзолистых почв Чепецко-Кильмезского водораздела / И. Я. Копысов, А. В. Тюлькин, А. В. Семенов // Почвоведение. – 2009. – № 6. – С. 696-700.

119. Королев, В. А. Оценка показателей физического состояния черноземов степной зоны центральных областей России / В. А. Королев // Почвы – национальное достояние России. – Новосибирск, 2004. – Кн. 1. – С. 434.

120. Коротких, Н. А. Структурно-агрегатный состав чернозема выщелоченного при переходе к технологии No-Till / Н. А. Коротких, Н. Г. Власенко, С. П. Кастючик // Земледелие и химизация. – 2013. – № 1. – С. 5-11.

121. Косолапова, А. И. Влияние обработки почвы на агрофизические показатели оподзоленного чернозема и продуктивность культур полевого севооборота / А. И. Косолапова // Аграрная наука Евро-Северо-Востока. – 2013. – № 5 (36). – С. 32-37.

122. Костычев, П. А. Избранные произведения / П. А. Костычев. – М. : Изд-во АН СССР, 1951. – С. 25-30.

123. Кравченко, Р. В. Эффективность минимализации основной обработки почвы на различных гербицидных фонах при возделывании кукурузы / Р. В.

Кравченко // Политемат. сет. электр. научн. журн. Кубанского ГАУ. – 2012. – № 82. – С. 657-671.

124. Кравченко, Р. В. Эффективность минимализации основной обработки почвы на различных гербицидных фонах при возделывании кукурузы / Р. В. Кравченко // Политемат. сет. электр. научн. журн. Кубанского ГАУ. – 2012. – № 82. – С. 657-671.

125. Крупкин, П. И. Агрохимическая характеристика почв. Канская лесостепь / П. И. Крупкин // Агрохимическая характеристика почв СССР. Средняя Сибирь. – М. : Изд-во АН СССР, 1971. – С. 69-95.

126. Крупкин, П. И. Черноземы Красноярского края / П. И. Крупкин. – Красноярск : КрасГАУ, 2002. – 332 с.

127. Кузина, Е. В. Влияние способов и сроков основной обработки на агрофизические свойства черноземных почв среднего Поволжья / Е.В Кузина // Черноземы Центральной России: генезис, эволюция и проблемы рационального использования : сб. мат. научн. конф., посв. 80-летию кафедры почвоведения и управления земельными ресурсами в 100-летней истории Воронежского гос. ун-та (15-19 мая 2017 г.). – Воронеж : Воронежский гос. ун-т. – С. 173-176.

128. Кузнецова, И. В. О некоторых критериях оценки физических свойств почв / И. В. Кузнецова // Почвоведение. – 1979. – № 3. – С. 8-81.

129. Кузнецова, И. В. Роль органического вещества в образовании водопрочной структуры дерново-подзолистых почв / И. В. Кузнецова // Почвоведение. – 1994. – № 11. – С. 34-41.

130. Кузнецова, И. В. Физические условия плодородия мощных черноземов / И. В. Кузнецова // Почвоведение. – 1966. – № 8. – С. 55-65.

131. Куминова, А. В. Характерные черты растительного покрова северной части Канской и Красноярской лесостепей / А. В. Куминова // Раст-ный покров Красн. края. – Новосибирск : Наука, 1964. – Вып. 1. – С. 5-22.

132. Кураченко, Н. Л. Агрофизическое состояние почв Красноярской лесостепи / Н. Л. Кураченко. – Красноярск : КрасГАУ, 2013.– 194 с.

133. Кураченко, Н. Л. Влияние основной обработки на агрофизические параметры черноземов Красноярской лесостепи / Н. Л. Кураченко, А. А. Лелякова // Вестн. Бурятской гос. с.-х. ак. им. В. В. Филиппова. – 2012. – № 4 (29). – С. 26-32.

134. Кураченко, Н. Л. Гумусовые вещества в формировании агрофизических свойств почв Красноярской лесостепи / Н. Л. Кураченко. – Красноярск : КрасГАУ, 2019. – 143 с.

135. Кураченко, Н. Л. Гумусовые вещества в формировании структурной организации почв техногенных ландшафтов / Н. Л. Кураченко, М. В. Бабаев // Вестник КрасГАУ. – 2014. – № 9. – С. 63-67.

136. Кураченко, Н. Л. Лабильные гумусовые вещества в формировании почвенных агрегатов / Н. Л. Кураченко. – Красноярск : Красн. гос. аграр. ун-т, 2001. – 83 с.

137. 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.

138. Кураченко, Н. Л. Оценка и динамика агрофизического состояния черноземов и серых лесных почв Красноярской лесостепи: дисс. … д-ра биол. наук : 06.06.01 / Кураченко Наталья Леонидовна. – Томск, 2010.

139. Кураченко, Н. Л. Подвижные гумусовые вещества в пространственной изменчивости агрегатного уровня структурной организации черноземов / Н. Л. Кураченко, С. В. Александрова // Вестн. КрасГАУ. – 2012. – № 8. – С. 29-34.

140. Кураченко, Н. Л. Современное состояние плодородия агрочерноземов Красноярской лесостепи как основа рационального землепользования / Н.

Л. Кураченко, Т. Н. Демьяненко, А. А. Колесник // Вестн. КрасГАУ. – 2021. – № 5 (170). – С. 28-36.

141. 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.

142. Кураченко, Н. Л. Структура и запасы гумусовых веществ агрочернозема в условиях основной обработки почвы / Н. Л. Кураченко, А. А. Колесник // Вестн. КрасГАУ. – 2017. – № 9. – С.149-157.

143. Кураченко, Н. Л. Структурно-агрегатное состояние почв Приенисейской Сибири и участие лабильных гумусовых веществ в его формировании : дисс. … канд. биол. наук : 06.06.01 / Кураченко Наталья Леонидовна. – Красноярск, 1997.– 156 с.

144. Кураченко, Н. Л. Устойчивость структурного состояния черноземов при минимизации основной обработки / Н. Л. Кураченко, А. А. Лелякова // Вестн. КрасГАУ. – 2013. – № 6. – С. 67-72.

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

146. Лебедева, И. И. Почвы центрально-европейской и среднесибирской лесостепи / И. И. Лебедева, Е. В. Семина. – М. : Колос, 1974. – 229с.

147. Лиханов, Б. Н. Природное районирование / Б. Н. Лиханов // Средняя Сибирь. – М. : Наука, 1964. – С. 327-383.

148. Лиханов, Б. Н. Физико-географические различия Красноярского края / Б. Н. Лиханов, М. Н. Хаустова // Природные усл. Красноярск.края. – М. : АН СССР, 1961. – С. 24-52.

149. Лыков, А. М. Гумус и плодородие почвы / А.М. Лыков. – М. : Моск. рабочий, 1985. – 192 с.

150. Любимова, Е. Л. Растительность лесостепи и зоны травяных лесов Красноярского края / Е. Л. Любимова // Природ. райо-ние центр. части Красн. края и некот. вопр. пригор. хоз-ва. – М. : Изд-во АН СССР, 1962. – С. 47-62.

151. Люкшина, И. В. Содержание лабильных форм органического вещества в различных почвах Красноярской лесостепи / И. В. Люкшина // Тез. науч. конф. проф.-препод. состава. – Красноярск, 1995. – С 44-46.

152. Мазиров, М. А., Беленков, А. И. Реализация вопросов ресурсосбережения и регулирования почвенного плодородия в полевом опыте ЦТЗ РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева / М. А. Мазиров, А. И. Беленков // Почва, климат, удобрение и урожай: актуальные проблемы и перспективы : мат. конф. (04-05 декабря 2018 г.). – Изд-во: Национальный Университет Узбекистана, 2018. – С. 60-64.

153. Мамсиров, Н. И. Ресурсосберегающие технологии возделывания озимой пшеницы в Адыгее и их экономическая эффективность / Н. И. Мамсиров, Р. К. Тугуз. – Майкоп : Новые технологии, 2008. – Вып. 5. – С. 35-38.

154. Масютенко, Н. П. Связь содержания и состава органического вещества чернозема типичного с размером почвенных агрегатов и их водопрочностью / Н. П., Масютенко, Е. В. Дубовик // Фундаментальные физические исследования в почвоведении и мелиорации : тр. Всерос. конф. – М. : МГУ, 2002. – С. 78-80.

155. Масютенко, Н. П. Структура чернозема типичного и содержание органического углерода и лабильных гумусовых веществ в почвенных агрегатах / Н. П. Масютенко, Б. М. Когут, О. В. Киселева, Е. В. Дубовик, Г. П. Глазунов, Т. И. Панкова. – Курск, 2008. – 36 с.

156. Матыченков, Д. В. Структурное состояние дерново-палево-подзолистых легкосуглинистых почв Беларуси в процессе агрогенеза / Д. В. Матыченков // Почвы – национальное достояние России : мат. IV Докучаевского общ-ва почв-ов. – Новосибирск, 2004. – Кн. 1. – С. 443.

157. Медведев, В. В. Изменение агрофизических свойств черноземов в условиях интенсивного земледелия / В. В. Медведев // Проблемы почвоведения. – М. : Наука, 1982. – С. 21-25.

158. Медведев, В. В. Механизмы образования макроагрегатов черноземов / В. В. Медведев // Почвоведение. – 1994. – № 11. – С. 24-30.

159. Медведева А. М. Содержание и запас гумуса в черноземе обыкновенном при использовании различных систем основной обработки / А. М. Медведева, О. А. Бирюкова, Я. И. Ильченко, А. В. Кучеренко, Е. В. Кучменко // Успехи современного естествознания. – 2018. – № 1. – С. 29-34.

160. Методика проектирования базовых элементов адаптивно-ландшафтных систем земледелия : Научное издание / Г. Н. Черкасов, Н. П. Масютенко, А. С. Акименко [и др.]. – Москва : Всероссийский научно-исследовательский институт земледелия и защиты почв от эрозии Россельхозакадемии, 2010. – 85 с.

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

162. Милановский, Е. Ю. Conceptual model of water stable soil aggregate / Е. Ю. Милановский, Е. В. Шеин // The Soul of Soil and Civilization : collection of matherials 9th International Soil Science Congress (Side, Antalya, Turkey,14-16 October 2014). – Side, 2014. – P. 105.

163. Милановский, Е. Ю. Органический углерод в составе фракций агрегатов чернозема под пашней и лесополосой / Е. Ю. Милановский, Е. В. Шеин, З. Н. Тюгай, Е. Б. Скворцова, А. Б. Умарова // «Почвенные и земельные ресурсы: состояние, оценка, использование» : Сборник Первой

Всероссийской открытой конференции (8-10 октября 2014). – Москва, 2014. – С. 458-464.

164. Минебаева, И. Ф. Органическое вещество чернозема выщелоченного и урожайность яровой пшеницы в зависимости от ресурсосберегающих приемов основной обработки почвы / И. Ф. Минебаева / Сб. научн. ст. Межд. научн.-практ. конф., посв. 80-летию Пермской гос. с.-х. ак. им. ак. Д.Н. Прянишникова. – Пермь, 2010. – С. 132-134.

165. Михайлова, О. В. Использование статистических массивов для построения типичных гумусовых профилей почв лесостепи Средней Сибири : дисс. … канд. биол. наук / О. В. Михайлова.– Красноярск, 2000. – 126 с.

166. Михеева, И. В. Вероятностно-статистические модели свойств почв / И. В. Михеева. – Новосибирск : Изд-во Сиб. отд. РАН, 2001. – 197 с.

167. Мягкий, П. А. Физическое состояние агропочв лесостепной зоны Предалтайской провинции и его изменение под влиянием эрозии : автореф. дис. … канд. с.-х. наук / Мягкий Петр Александрович. – Барнаул, 2007.

168. Най, П. Х. Движение растворов в системе почва – растение / П. Х. Най, П. Б. Тинкер. – М. : Наука, 1980. – 386 с.

169. Низких, Э. К. Оценка процесса гумификации растительных остатков при различных условиях / Э. К. Низких // Совершенствование элементов зональной системы земледелия Красноярского края. – Красноярск, 1995. – С. 81-85.

170. Николаев, В. А. Влияние разных способов обработки на агрофизические свойства и структурное состояние почвы / В. А. Николаев, М. А. Мазиров, С. И. Зинченко // Земледелие. – 2015. – № 5. – С. 18-20.

171. Орлов, А. Н. Ресурсосберегающие системы зяблевой обработки почвы в современном земледелии / А. Н. Орлов, С. В. Богомазов, В. В. Манейлов // Нива Поволжья. – 2007. – № 2 (3). – С. 17-20.

172. Орлов, А. Н. Совершенствование технологии возделывания яровой пшеницы в лесостепи Среднего Поволжья / А. Н. Орлов, О. А. Ткачук, Е. В. Павликова // Известия Оренбургского ГАУ. – 2009. – № 2 (22). – С. 12-15.

173. Орлов, Д. С. Гумусовые кислоты почв и общая теория гумификации / Д. С. Орлов. – М. : изд-во МГУ, 1990. – 325 с.

174. Пегова, Н. А. Изменение агрегатного состава и водопрочности пахотного слоя под влиянием систем обработки почвы и вида пара / Н. А. Пегова // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. – 2016. – № 6. – С. 8-11.

175. Пегова, Н. И. Влияние органического удобрения и обработки почвы в севообороте на агрегатный состав и водопрочность агрегатов пахотной дерново-подзолистой почвы / Н. И. Пегова // Аграрная наука Евро-Северо-Востока. – 2012. – № 2 (27). – С. 48-52.

176. Перфильев, Н. В. Влияние минимизации обработки на плодородие тёмно-серой лесной почвы в Северном Зауралье / Н. В. Перфильев, О. А. Вьюшина, Л. Н. Скипин // Изв. Оренбургского гос. агр. ун-та. – 2015. – № 6 (56). – С. 43-47.

177. Полоус, В. С. Разработка элементов адаптивной системы основной обработки почвы в зернопропашном севообороте на черноземе обыкновенном в зоне недостаточного увлажнения : автореф. дисс. … д-ра с-х. наук : 06.06.01 / Полоус Виктор Стефанович, пос. Персиановский, 2012. – 50 с.

178. Полякова, Н. В. Изменение некоторых микробиологических параметров почв лесостепи при сельскохозяйственном использовании / Н. В. Полякова, Н. В. Редькина // Агрохимия. – 2007. – № 8. – С. 71-75.

179. Пономарева, В. В. Гумус и почвообразование / В. В. Пономарева, Т. А. Плотникова. – Л. : Наука, 1980. – 222с.

180. Попова, Э. П. Биологическая активность и азотный режим почв Красноярской лесостепи / Э. П. Попова, Я. И. Лубите. – Красноярск : Красн. кн. изд-во, 1975. – 270 с.

181. Потапов, Б. И. Оценка устойчивости макроструктуры старопахотных почв / Б. И. Потапов // Почвоведение. – 1983. – №8. – С. 54-59.

182. Приходько, В. Е. Почвенные процессы на разных структурных уровнях организации и диагностика их изменений при орошении / В. Е. Приходько, Д. В. Манахов // Вестн. МГУ. Сер. 17. – Почвоведение. – 2010. – № 2. – С. 8-17.

183. Пугачев, Е. Б. Влияние органического вещества почвы на структурообразование / Е. Б., Пугачев, Н. В. Полякова // Почвы – национальное достояние России : мат. IV Докучаевского общ-ва почв-ов. – Новосибирск, 2004. – Кн. 1. – С. 449.

184. Пупонин, А. И. Минимизация обработки почвы: опыт, проблемы и перспективы. Обзорная информация / А. И. Пупонин, Б. Д. Кирюшин. – М., 1989. – 57 с.

185. Рабочев, И. С. Индустриализация земледелия и плодородие почвы / И. С. Рабочев, П. У. Бахтин // Проблемы земледелия. – М. : Колос, 1978. – С. 156-160.

186. Рамазанов, Р. Я. Влияние систем обработки и удобрений на агрофизические свойства типичного чернозема Предуралья / Р. Я. Рамазанов, Ф. Х. Хазиев // Почвоведение. – 1994. – № 6. – С. 77-84.

187. Ревердатто, В. В. Растительность Сибири. Естественно-исторические условия сельскохозяйственного производства Сибири. / В. В. Ревердатто. – Новосибирск, 1931. – Т. III. – 174 с.

188. Ревут, И. Б. Физика почв / И. Б. Ревут. – Л. : Колос, 1972. – 386 с.

189. Рзаева, В. В. Гумусное состояние черноземов выщелоченных при различных системах основной обработки в условиях Северного Зауралья /

В. В. Рзаева, Д. И. Еремин // Вестн. Саратовского ГАУ им. Н.И. Вавилова. – 2010. – № 17. – С. 31-34.

190. Рзаева, В. В. Изменение агрофизических свойств чернозема выщелоченного при длительном использовании различных систем основной обработки и минеральных удобрений в Северном Зауралье / В. В Рзаева, Д. И. Еремин // Вестн. КрасГАУ. – 2010. – № 6. – С. 36-42.

191. Розанов, Б. Г. Морфология почв / Б. Г. Розанов. – М. : Изд-во МГУ, 1983. – 320 с.

192. Рудаков, К. И. Микроорганизмы и структура почвы / К. И. Рудаков. – М. : Сельхозгиз, 1951. – 48 с.

193. Рудой, Н. Г. Агрохимия почв Средней Сибири / Н. Г. Рудой. – Красноярск, 2004. – 166 с.

194. Рябов, Е. И. Теория и технология минимальной обработки почвы / Е. И. Рябов // Земледелие. – 1990. – № 1. – С. 27-31.

195. Саблина, О. А. Фракционно-групповой состав гумуса степных почв Южного Зауралья / О. А. Саблина // Вестн. Оренбургского гос. ун-та. – 2011. – № 12 (131). – С. 138-139.

196. Савоськина, О. А. Влияние систем обработки почвы на структуру почвенного покрова и агрофитоценоз ячменя / О. А. Савоськина, С. И. Чебаненко, С. Г. Манишкин // Земледелие. – 2011. – № 8. – С. 32-33.

197. Семендяева Н. В. Влияние севооборотов на гранулометрический и микроагрегатный состав чернозема выщелоченного Новосибирского Приобья в длительных опытах / Н. В. Семендяева, Л. А. Карловец, Т. Н. Крупская // Агрохимия. – 2015. – № 1. – С. 23-24.

198. Семенов, В. М. Почвенное органическое вещество / В. М. Семенов, Б. М. Когут. – М. : ГЕОС, 2015. – 233 с.

199. Семина, Е. В. Почвенный покров Красноярской лесостепи / Е. В. Семина. – М. : Фонды СОПС АН СССР, 1960.

200. Семина, Е. В. Почвы Красноярской лесостепи: автореф. дисс. ... канд. с.-х. наук / Е. В. Семина. – М., 1971. – 31с.

201. Семина, Е. В. Черноземы Красноярской лесостепи и их провинциальные особенности / Е. В. Семина, Ю. П. Вередченко // О почвах Урала, Западной и Центральной Сибири. – М. : Изд-во АН СССР, 1962. – С.170-190.

202. Сидорова, В. А. Динамика пространственного варьирования почвенных свойств луговых агроценозов Карелии при постагрогенном развитии / В. А. Сидорова // Рос. журн. прикл. экол. – 2016. – № 3. – С. 23-27.

203. Сидорова, В.А. Динамика пространственного варьирования почвенных свойств луговых агроценозов Карелии при постагрогенном развитии / В. А. Сидорова// Рос. журн. прикл. экол. – 2016. – № 3. – С. 23-27.

204. Синещеков, В. Е. Влияние минимизации основной обработки почвы на азотный режим чернозема выщелоченного и продуктивность яровой пшеницы в зернопаровом севообороте / В. Е. Синещеков, Г. Ткаченко // Агрохимия. – 2016. – № 1. – С. 59-64.

205. Синещеков, В. Е. Агрофизические свойства черноземов выщелоченных при минимизации основной обработки / В. Е. Синещеков // Агрохимия. – 2017.– № 7.– С. 19-25.

206. Сорочкин, В. М. К механизму формирования структуры обрабатываемых лесостепных почв / В. М. Сорочкин, Л. П. Орлова, Е. В. Кучеряева // Почвоведение. – 1990. – № 6. – С. 51-58.

207. Таскина, В. М. К вопросу о параметрах агрофизических свойств почвы выщелоченного чернозема Красноярской лесостепи / В. М. Таскина // Тез. науч. конф. проф.-преп. состава. – Красноярск, 1995. – С. 54-55.

208. Тейт, Р. III. Органическое вещество почвы / Р. Тейт III. – М. : Изд-во МИР, 1991. – 400 с.

209. Титова Н. А. Трансформация органического вещества при сельскохозяйственном использовании почв / Н. А. Титова, Б. М. Когут // Итоги науки и техники. Сер. Почвоведение и агрохимия. – 1991. – Т. 8. – 154 с.

210. Травникова, Л. С. Микроагрегирование и устойчивость ОВ черноземов Приволжской лесостепи / Л. С. Травникова, Т. М. Силева, И. М. Рыжова, З. С. Артемьева // Почвоведение. – 2006. – № 6. – С. 712-720.

211. Трушин, В. Ф. Ресурсосберегающие системы обработки почвы / В. Ф. Трушин, Э. Ф. Крылов. – М. : Агропромиздат, 1990. – С. 84-92.

212. Трушин, В. Ф. Ресурсосберегающие системы обработки почвы / В. Ф. Трушин, Э. Ф. Крылов. – М. : Агропромиздат, 1990. – С. 84-92.

213. Тугуз, Р. К. Влияние способов обработки почвы на агрофизические свойства слитых черноземов / Р. К. Тугуз, Н. И. Мамсиров, Ю. А. Сапиев // Земледелие. – 2010. – № 8. – С. 23-25.

214. Тугуз, Р. К. Научное обоснование систем и способов обработки слитого чернозема в различных звеньях севооборотов в Республике Адыгея : монография / Р. К. Тугуз, О. Г. Магарин. – Майкоп, 2011. – 272 с.

215. Турусов, В. И. Обработка черноземов: опыт и тенденции развития / В. И. Турусов, А. М. Новичихин // Земледелие. – 2012. – № 4. – С. 7-9.

216. Тюлин, А. Ф. Коллоидно-химическое изучение почв в агрономических целях / А. В. Тюлин // Тр. ВИУА. – М., 1946. – Вып. 27. – С. 44-49.

217. Умарова, А. Б. Soil architecture and preferential flow formation / А. Б. Умарова, Е. В. Шеин // “The Soul of Soil and Civilization” : 9th International Soil Science Congress (Side, Antalya, Turkey, 14-16 october 2014). – Side, 2014. – P. 88.

218. Федотов, Г. Н. Изучение механизма влияния органического вещества на структурно-механические свойства почв / Г. Н. Федотов, С. А. Шоба, Д.

Д. Хайдапова // Доклады Академии наук. – 2014.– № 1. – Т. 456. – С. 121-125.

219. Фокин, А. Д. О роли органического вещества в функционировании природных и сельскохозяйственных экосистем / А. Д. Фокин // Почвоведение. – 1994. – № 4. – С. 40-45.

220. Фокин, А. Д. Почва, биосфера и жизнь / А. Д. Фокин. – М.: Наука, 1986. – 176 с.

221. Фомин, Д. С. Изучение пространственного варьирования почвенных свойств на границе перехода пашни и лесополос / Д. С. Фомин, А. В. Юдина, Е. Ю. Милановский, Е. В. Шеин // Почвоведение – продовольственной и экологической безопасности страны : тез. докл. VII съезда Общества почвоведов им. В.В. Докучаева и Всероссийской с международным участием научной конференции. – Москва-Белгород : Изд. дом «Белгород», 2016. – Ч.I. – Т. 1. – 444 с.

222. Францессон, В. А. Плодородие целинных и залежных земель и его изменение при систематической вспашке / В. А. Францессон // Агробиология. – 1956. – № 1. – С. 11-14.

223. Фрид, А. С. Пространственное варьирование и временная динамика плодородия почв в длительных полевых опытах / А. С. Фрид. – М. : Россельхозакадемия, 2002. – 80с.

224. Хан, Д. В. Органоминеральные соединения и структура почв / Д. В. Хан. – М. : Наука, 1969. – 140 с.

225. Хан, К. Ю. Строение и экологическая устойчивость почвенных агрегатов / К. Ю. Хан, Б. К. Сон // XIX Межд. конф. по науке и технологиям Россия-Корея-СНГ : Тр. конф. (Москва, 29–31 августа 2019 г.). – Москва : Новосибирский государственный технический университет, 2019. – С. 73-77.

226. Хан, К. Ю. Энергетическая характеристика водоустойчивости почвенных агрегатов : автореф. дисс. … д-ра биол. наук : 06.01.01 / Хан Константин Юрьевич. – Пущино, 2012. – 54 с.

227. Хмелев, В. А. Земельные ресурсы Новосибирской области и пути их рационального использования / В. А. Хмелев, А. А. Танасиенко. – Новосибирск : Изд-во СО РАН, 2009. – 349 с.

228. Холмов, В. Г. Интенсификация и ресурсосбережение в земледелии лесостепи Западной Сибири : монография / В. Г. Холмов, Л. В. Юшкевич. – Омск: Изд-во ФГОУ ВПО ОмГАУ, 2006. – 396 с.

229. Хусайнов, Х. А. Перспективы применения ресурсосберегающих технологий при возделывании сельскохозяйственных культур в лесостепной зоне Чеченской Республики / Х. А. Хусайнов, С. М. Хамурзаев // Вестн. Чеченского гос. ун-та им. А.А. Кадырова. – 2015. – № 3 (19). – С. 116-120.

230. Хусайнов, Х. А. Перспективы применения ресурсосберегающих технологий при возделывании сельскохозяйственных культур в лесостепной зоне Чеченской Республики / Х. А. Хусайнов, С. М. Хамурзаев // Вестн. Чеченского гос. ун-та им. А.А. Кадырова. – 2015. – № 3 (19). – С. 116-120.

231. Цирюлик, А. И. Влияние мульчирующей обработки почвы на питательный режим чернозема в посевах ячменя ярового/ А. И. Цирюлик , В. П. Шапка // Вестн. Прикаспия. – 2017. – № 3. – С. 31-42.

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

233. Черепнин, Л. М. Растительный покров южной части Красноярского края и задачи его изучения / Л. М. Черепнин // Уч. зап. КГПИ, 1956. – Т. 5. – С. 3-43.

234. Черкасов, Г. Н. Влияние обработки почвы и минеральных удобрений на агрофизические свойства чернозема типичного / Г. Н. Черкасов, Е. В.

Дубовик, Д. В. Дубовик, С. И. Казанцев // Вестн. Курской ГСХА. – 2011. – № 5. – С. 39-41.

235. Чуманова, Н. И. Влияние минимальной системы обработки на агрофизические и гидрологические свойства чернозема выщелоченного в условиях Кемеровской области / Н. И. Чуманова, В. В. Грбенникова // Аграрная наука – сельскому хоз-ву. – Барнаул, 2011.– С. 493-495.

236. Чупрова, В. В. Минерализуемый пул органического вещества в агрочерноземах юга Средней Сибири / В. В. Чупрова // Вестн. КрасГАУ. – 2013. – № 9. – С. 83-89.

237. Чупрова, В. В. Современное состояние земельных и почвенных ресурсов Красноярского края / В. В. Чупрова, Н. Л. Кураченко, О. А. Сорокина, А. А. Шпедт, О. А. Ульянова, Ю. В. Бабиченко, Ю. П. Ковалева // Почвы Сибири: особенности функционирования и использования : сб. науч. ст., посвящ. памяти известного сибирского почвоведа, доктора сельскохозяйственных наук, профессора П.С. Бугакова. – Красноярск : Краснояр. гос. аграр. ун-т, 2012. – Вып. 4 – С 13-37.

238. Чуян, Г. А. Агрохимические свойства типичного чернозема в зависимости от экспозиции склона / Г. А. Чуян, В. В. Ермаков, С. И. Чуян // Почвоведение. – 1987. – № 12. – С. 39-46.

239. Шарков, И. Н. Влияние агротехнических приемов на изменение содержания гумуса в пахотных почвах / И. Н. Шарков, А. А. Данилова // Агрохимия. – 2010. – № 12. – С. 72-81.

240. Шарков, И. Н. Минерализация и баланс органического вещества в почвах агроценозов Западной Сибири : специальность 06.01.03 "Агрофизика" : автореферат диссертации на соискание ученой степени доктора биологических наук / Шарков Иван Николаевич. – Новосибирск, 1997. – 37 с.

241. Швецов, П. Ф. Основы геокриологии (мерзлотоведение). Часть 1. Общая геокриология / П. Ф. Швецов, Б. Н. Достовалов. – М. : Изд-во АН СССР, 1959. – 460 с.

242. Шевцова, Л. К. Влияние длительного применения удобрений на баланс и качество гумуса / Л. К. Шевцова, И. В. Володарская // Химизация сельского хозяйства. – 1991. – № 11. – С. 97-101.

243. Шеин, Е. В. Роль и значение органического вещества в образовании и устойчивости почвенных агрегатов / Е. В. Шеин, Е. Ю. Милановский // Почвоведение. – 2003. – № 1. – С. 53-61.

244. Шептухов, В. Н. Влияние обработки на структуру выщелоченного чернозема / В. Н. Шептухов, Е. В. Дудинцев, М. С. Ушакова // Почвоведение. – 1987. – № 5. – С. 53-60.

245. Шпедт, А. А. Оценка и оптимизация органического вещества почв сельскохозяйственных угодий Красноярского края / А. А. Шпедт. – Красноярск : КрасГАУ, 2013. – 229 с.

246. Шпедт, А. А. Природно-хозяйственная оценка почвенного покрова сельскохозяйственных земель Приенисейской Сибири : дисс. … д-ра. с.-х. наук : 03.00.27 / Шпедт Александр Артурович. – Красноярск, 2008. – 370 с.

247. Щевелева, Н. С. Следы древних термокастовых процессов в районе города Красноярска / Н. С. Щевелева, А. Я. Литвинов // Вестн. АН СССР. – 1959. – № 6.

248. Юдина, А. В. Микроструктура гумусового горизонта чернозема типичного в ряду пашня-лесополоса-пар / А. В. Юдина, Д. С. Фомин, К. Н. Абросимов, К. А. Романенко // Морфология почв: от макро- до субмикроуровня : Мат. Всерос. конф. с межд. уч. (19-21 декабря 2016г.). – М. : Почвенный ин-т им. В.В. Докучаева, 2016. – С. 364-367.

249. Ямских, А. Ф. Осадконакопление и террасообразование в речных долинах южной Сибири / А. Ф. Ямских. – Красноярск, 1993. – 225 с.

250. Abiven, S. The effects of organic inputs over time on soil aggregate stability – A literature analysis / S. Abiven, S. Menasseri, C. Chenu // Soil Biol. Biochem. – 2009. – Vol. 41. – № 1. – P. 1-12.

251. Alderfer, R. B. The comparative of structural physical constitution of water stable granules and originating soil / R. B. Alderfer, F. G. Merkle // Soil Science. – 1942. – V. 53, № 2. – 105 p.

252. Ambus, P. Nitrogen mineralization and denitrification as influenced by crop residue particle size / P. Ambus, E. S. Jensen // Plant and Soil. – 1997. – Vol. 197. – No 2. – P. 261-270.

253. Bohne, H. Mechanismen bei der stabilisierung von aggregation aus tonen mit calciumoxid // Diss. Dort. Gartenbauwiss. Fachbereiuh Gartendau Univ. Hannover, 1983. – 127 p.

254. Bolt, J. H. Physical and chemical aspects of the stability of soil aggregates / J. H. Bolt, F. R. Koenigs // Meded. Fac. Landbouwetesch. Rijksuniv. Gent, 1972. – Vol. 37, № 3. – P. 955-973.

255. Chaney, K. The influence of organic matter on aggregate stability in some British soils / K. Chaney, R. S. Swift // J. Soil Sci. – 1984. – Vol. 35. – № 2. – P. 223-230.

256. Christensen, B.T. Physical fractionation of soil and structural and functional complexity in organic matter turnover / B.T. Christensen // European J. Soil Sci. – 2001. – Vol. 52. – P. 345–353.

257. Edwards, A. P. Microaggregates in soils / A. P. Edwards, J. M. Bremner // J. Soil Sci. – 1967. – V. 18. – P. 64-73.

258. Emerson, W. W. A classification of soil aggregates based on their coherence in water / W. W. Emerson // Australian Journal of Soil Research. – 1967. – V. 5. – P. 54-61.

259. Fies, J. C. Role de la texture dans les processus d'organisation structurale / J. C. Fies // Trans. 11th Cong. Int. Soc. Soil Sci. Edmonton. – 1978. – Vol. 3. – P. 361.

260. Gajic, B. Comparison of soil, organic matter content and aggregate composition and water stability of gleyic fluvisol from adjacent forest and cultivated area / B. Gajic, G. Dugalic, N. Diurovic // Agronomy Research. – 2006. – V. 4. – № 2. – P. 499-508.

261. Garcia-Oliva, F. Effect of soil macroaggregates crushing on C mineralization in a tropical deciduous forest ecosystem / F. Garcia-Oliva, M. Oliva, B. Sveshtarova // Plant and Soil. – 2004. – V. 259 (1-2). – P. 297-305.

262. Garter, M. R. Structure and organic matter storage in agricultural soils. Lewis / M. R. Garter, B.A. Stewart // C RC Press, Baco Raton, Fl, 1996. – 477 p.

263. Giovannini, G. Iron and aluminium as cementing substances of soil aggregates. 1. Acetylacetone in benzene as an extractant of fraction of soil iron and aluminium / G. Giovannini, P. Segui // J. Soil Sci. – 1976. – Vol. 27. – № 2. – P. 140-147.

264. Golchin, A. Soil structure and carbon cycling / A. Golchin, J. M. Oades, J. O. Skjemstad, P. Clarke // Austral. J. Soil. Res. – 1994. – Vol. 32. – P. 1043-1068.

265. Hamblin, A. P. Effect of organic constituents and complexed metal ions on aggregate of some East Anglian Soils / A. P. Hamblin, D. J. Greenland // J. Soil Sci. – 1977. – Vol. 28. – P. 410-416.

266. Haynes, R. J. Interaction between soil organic matter status, cropping history, method of quantification and sample pretreatment and their effects on measured aggregate stability / R. J. Haynes // Biology and Fertility Soils. – 2000. – Vol. 30. – P. 270-275.

267. Haynes, R. J. Stability of soil aggregates in relation to organic constituents and soil water content / R. J. Haynes, R. S. Swift // J. Soil Sci. – 1990. – Vol. 41. – № 1. – P. 73-83.

268. Haynes, R.J. Labile Organic Matter Fractions as Central Components of the Quality of Agricultural Soils: An Overview / R.J. Haynes // Advances in Agronomy. – 2005. – V. 85. – P. 221-268.

269. Jacguin, F. Influence de la matiere organigue sur la structure du sol / F. Jacguin // Trans. 11th Cong. Int. Soc. Soil Sci. Edmanton, 1978. – Vol. 3. – P. 369.

270. Jastrow, J. D. Soil aggregate formation and the accrual of particulate and mineral-associated organic matter / J. D. Jastrow // Soil Biol. Biochem. – 1996. – Vol. 28. – P. 656-676.

271. Johannes, A. Optimal organic carbon values for soil structure quality of arable soils. Does clay content matter? / A. Johannes, A. Matter, R. Schulin, P. Weisskopf, P. C. Baveye, P. Boivin // Geoderma. – 2017. – V. 302. – P. 14-21.

272. Kay, B. D. Soil structure / B. D.Kay, D. A. Angers // Handbook of Soil Science / M. E. Sumner, ed. – Boca Raton : CRC Press, 1999. – P. A229-A276.

273. Khawagi, W. The effect of magnesium on the stability of soil structure / W. Khawagi, O. Haoly, M. Maatour // Ann. Agr. Sc. – 1984. – P. 1137-1148.

274. Low, A. J. Soil structure and crop yield / A. J. Low // J. Soil Sci. – 1973. – V. 24. – № 2. – P. 249-259.

275. Marshall, T. J. The nature, development and significance of soil structure / T. J. Marshall // Trans. Joint Meeting Comm. 4 and 5 Int. Soc. Soil Sci. Palmeston Notth.– 1962. – P. 243-257.

276. Monnier, G. E. Effect of organic matter on soil structure stability / G. E. Monnier // Soil Abric. – 1965. – Vol. 10. – № 1. – P. 29-42.

277. Moon, C. F. Concerning the relation between energy and cementation in guich-clay disturbance / C. F. Moon // Eng. Geol. – 1979. – Vol. 14. – № 2, 3. – P. 197-207.

278. Paul, E. A. The nature and dynamics of soil organic matter: Plant inputs, microbial transformations, and organic matter stabilization / E. A. Paul // Soil Biology and Biochemistry. – 2016. – V. 98. – P. 109-126.

279. Piccolo, A. Effect of humus and surfactants on the stability of soil aggregates / A. Piccolo, J. S. Mbagwu // Soil Sci. – 1989. – Vol. 147. – № 1. – P. 47-54.

280. Puget, P. Total and young organic matter distributions in aggregates of silty cultivated soils / P. Puget, C. Chenu, J. Balesdent // European J. Soil Sci. – 1995. – V. 46. – P. 449-459.

281. Rainbow, R. Advances in No-Till Farming Technologies and soil Compaction Management in Rainfed Farming Systems/ R. Rainbow, R. Derpsch // Rainfed Farming Systems. London; New York: Springer, 2011. – P. 991-1014.

282. Segui, P. Soil structure. An outlook / P. Segui // Agrochimia. – 1978. – Vol. 22. – № 5-6. – P. 403-425.

283. Shaxson, T. E. Concepts and indicators for assessment of sustainable / T. E. Shaxson // Advances in Geoecology 31 Reiskirchen, 1998. – P. 11–19.

284. Tamrat, W. Z. Soil organo-mineral associations formed by co-precipitation of Fe, Si and Al in presence of organic ligands / W. Z. Tamrat, J. Rose, O. Grauby, E. Doelsch, C. Levard, P. Chaurand, I. Basile-Doelsch // Geochimica et Cosmochimica Acta. – 2019. – V. 260. – P. 15-28.

285. Tiessen, H.Organic matter and soil aggregates – A microscopic study / H., Tiessen, J. W. Stewart // Trans. 13th Cong. Int. Soc. Soil Sci. Hamburg, 1986. – Vol. 2. – P. 644-645.

286. Tisdall, J. M. Organic matter and water-stable aggregates in soils / J. M. Tisdall, J. M. Oades // J. Soil Sci. – 1982. – P. 141-163.

ПРИЛОЖЕНИЯ

Приложение 1

Статистические характеристики пространственного распределения фракций микроагрегатного состава в агрочерноземах (n = 10), %

Статистический показатель	Фракции, мм					
	1-0,25	*0,25-0,05*	*0,05-0,01*	*0,01-0,005*	*0,005-0,001*	*<0,001*
отвальная обработка (0-10 см)						
X	1,3	53,0	29,6	11,5	3,2	1,5
Min	0,2	35,8	8,6	5,3	1,5	0,7
Max	4,8	77,7	53,0	33,4	5,5	2,3
A	2,43*	0,82	0,06	1,94	3,40*	0,07
E	6,56*	-0,96	-0,39	3,45	1,06	-1,14
Cv	100	28	45	36	31	12
отвальная обработка (10-20 см)						
X	1,6	50,9	36,0	7,2	2,6	1,7
Min	0,3	40,6	28,9	4,4	0,6	0,6
Max	4,5	59,8	43,8	9,8	5,5	3,0
A	1,42	-0,22	0,31	0,14	0,84	0,78
E	2,49	-0,91	-1,09	-1,84	0,69	2,46
Cv	75	13	14	31	54	35
минимальная обработка (0-10 см)						
X	1,2	38,2	45,1	8,4	5,2	1,9
Min	0,5	30,5	27,1	2,0	0,7	0,9
Max	1,7	52,7	57,4	22,4	10,6	3,9
A	-0,44	1,04	-0,84	1,26	0,18	1,70
E	-1,33	1,01	0,13	0,41	-0,50	4,63*
Cv	33	18	21	82	58	42
минимальная обработка (10-20 см)						
X	1,2	39,6	43,6	7,5	6,2	1,8
Min	0,8	31,5	18,6	1,5	2,7	1,2
Max	1,7	52,1	53,0	21,6	12,0	2,5
A	-0,17	0,31	-1,63	1,54	1,04	0,28
E	-0,17	-1,51	3,21	1,82	0,50	-0,88
Cv	17	19	24	85	48	22
нулевая обработка (0-10 см)						
X	0,9	48,1	39,0	6,3	3,2	2,6
Min	0,2	40,5	33,2	2,0	0,8	0,2
Max	1,9	55,4	45,1	8,4	7,8	4,6
A	1,12	-0,31	0,35	-0,97	0,93	-0,29
E	2,87	-1,80	-1,58	0,75	0,62	-0,37
Cv	44	12	11	32	69	54
нулевая обработка (10-20 см)						
X	0,8	48,1	40,1	5,1	3,8	2,1
Min	0,5	38,1	29,2	1,2	1,9	0,5
Max	1,3	56,1	52,4	8,5	7,1	4,8
A	0,38	-0,21	0,44	-0,03	0,87	1,15
E	-0,56	-1,89	-0,42	-0,56	0,91	2,44
Cv	38	15	18	45	39	57

Приложение 2

Статистические характеристики пространственного распределения фракций структурного состава в агрочерноземах (n=10), %

Статисти-ческий показатель	Фракции, мм								
	>10	*10-7*	*7-5*	*5-3*	*3-2*	*2-1*	*1-0,5*	*0,5-0,25*	*<0,25*
отвальная обработка (0-10 см)									
X	19,3	9,0	8,7	13,6	14,9	26,2	4,9	3,1	0,4
Min	6,0	5,8	7,3	10,0	9,9	17,5	1,3	0,4	0,0
Max	37,9	13,1	11,1	19,7	27,6	41,5	8,7	10,1	1,6
E	-1,11	1,60	-1,08	2,44	2,11	0,38	-1,73	4,28	4,05
A	0,74	0,78	0,67	1,34	1,65	0,77	0,18	1,89	2,10
Cv	61	20	15	20	38	29	59	91	132
отвальная обработка (10-20 см)									
X	28,2	14,7	12,0	13,5	11,2	16,0	3,3	1,0	0,1
Min	5,9	8,0	10,1	11,8	7,6	9,3	0,5	0,1	0,0
Max	38,7	18,8	16,2	17,7	21,5	31,9	7,2	2,5	0,3
E	-0,50	3,21	3,30	0,41	3,59	1,38	0,40	0,34	2,04
A	-0,88	-1,29	1,61	1,27	1,95	1,52	0,34	0,63	1,43
Cv	42	20	15	15	38	49	60	73	103
минимальная обработка (0-10 см)									
X	16,3	11,8	10,9	14,8	12,1	25,2	5,3	3,4	0,2
Min	6,3	9,1	6,6	10,9	9,7	15,4	1,2	0,3	0,0
Max	32,3	16,5	13,7	18,1	18,1	41,3	9,8	10,7	1,3
E	3,00	1,04	2,44	-1,09	2,43	3,17	-1,18	-0,35	7,94*
A	1,22	1,06	-0,96	-0,03	1,57	1,33	0,13	1,14	2,76*
Cv	42	18	17	16	21	27	55	117	171
минимальная обработка (10-20 см)									
X	20,4	13,2	12,6	15,4	13,3	18,7	4,3	1,9	0,1
Min	10,9	9,4	10,4	13,4	9,6	13,6	1,0	0,3	0,0
Max	29,7	17,3	15,7	18,9	21,7	23,2	10,5	6,4	0,3
E	-0,66	-1,51	-0,89	0,58	1,37	-0,42	-0,11	2,72	0,06
A	-0,06	-0,09	0,30	0,94	1,31	-0,21	1,13	1,64	0,49
Cv	29	21	14	11	29	16	81	98	63
нулевая обработка (0-10 см)									
X	17,3	11,1	12,5	16,1	14,6	22,4	4,4	1,5	0,1
Min	9,3-	5,1	8,1	13,9	10,8	13,5	0,7	0,1	0,0
Max	25,2	15,5	17,0	20,4	20,6	33,1	8,5	4,0	0,3
E	-1,16	1,35	-0,27	3,61	-0,31	-0,49	-1,71	-0,92	4,08
A	0,31	-0,61	0,08	1,57	0,80	0,26	-0,04	0,85	1,86
Cv	32	26	21	11	23	28	65	92	120
нулевая обработка (10-20 см)									
X	17,3	15,3	15,8	17,7	13,5	17,3	2,6	0,6	0,0
Min	5,9	10,9	13,7	13,6	7,8	8,0	1,0	0,2	0,0
Max	35,4	19,4	20,8	21,1	17,0	28,4	6,0	1,1	0,1
E	1,60	-1,46	3,76	0,54	0,23	-0,23	-0,01	-0,77	-1,06
A	1,03	-0,06	1,67	-0,46	-0,81	0,36	0,92	0,41	-0,31
Cv	49	20	13	12	21	36	66	53	63

Приложение 3

Статистические характеристики содержания влаги в агрочерноземах, % (n=10)

Статистический показатель	*Отвальная обработка*		*Минимальная обработка*		*Нулевая обработка*	
	0-10 см	10-20 см	0-10 см	10-20 см	0-10 см	10-20 см
X	28,8	34,2	30,5	30,6	31,4	30,9
Min	24,7	29,4	25,8	26,8	28,7	27,6
Max	33,0	38,3	34,6	34,7	35,1	35,4
E	0,204	0,164	-0,540	-0,820	-0,431	-0,948
A	-0,069	-0,195	-0,317	0,218	0,683	0,435
Cv	8	7	9	8	6	8

Приложение 4

Статистические характеристики пространственного распределения фракций агрегатного состава в агрочерноземах (n=10), %

Показатель	Фракции, мм					
	>7	*7-5*	*5-3*	*3-1*	*1-0,5*	*0,5-0,25*
отвальная обработка (0-10 см)						
X	1,5	3,0	10,0	14,4	18,5	10,8
Min	0,0	0,4	0,5	1,2	1,7	2,1
Max	5,0	5,4	22,2	27,3	57,5	22,4
E	1,32	-1,64	-0,85	-1,19	4,62	-1,51
A	1,11	-0,04	0,06	-0,00	1,93	0,39
Cv	108	64	72	62	84	69
отвальная обработка (0-20 см)						
X	3,2	7,3	21,4	12,8	12,0	9,0
Min	0,2	1,2	4,8	1,0	3,6	0,0
Max	15,3	14,7	46,8	21,2	20,2	22,9
E	6,61	-1,90	-0,95	-0,78	-1,36	-0,16
A	2,47	0,06	0,54	-0,72	-0,23	-0,91
Cv	140	69	69	57	48	83
минимальная обработка (0-10 см)						
X	1,6	3,2	7,7	20,3	17,8	11,1
Min	0,0	0,4	2,8	5,0	1,7	5,1
Max	8,2	9,1	16,4	41,4	38,5	22,5
E	5,77	-0,61	-0,57	-0,95	-1,42	2,80
A	2,38	1,06	0,87	0,46	0,34	1,44
Cv	166	102	62	62	78	46
минимальная обработка (10-20 см)						
X	2,2	5,6	11,1	19,7	20,8	12,4
Min	0,0	0,0	1,0	3,0	9,0	0,0
Max	5,8	17,0	22,0	37,7	33,6	45,2
E	0,33	1,51	-0,23	-0,79	-1,35	5,67
A	1,15	1,32	-0,05	0,01	0,17	2,22
Cv	92	92	58	59	39	103
нулевая обработка (0-10 см)						
X	2,0	6,1	12,6	17,1	16,5	8,7
Min	0,0	2,0	5,0	4,2	6,3	4,1
Max	8,0	17,8	27,2	42,2	31,4	13,2
E	1,80	3,49	1,10	4,07	0,70	-1,59
A	1,60	1,69	1,14	1,68	0,80	-0,18
Cv	139	79	54	60	44	37
нулевая обработка (10-20 см)						
X	0,4	4,2	15,1	18,4	21,0	7,7
Min	0,0	0,0	4,0	4,1	1,2	1,1
Max	1,3	10,1	30,4	30,7	46,1	12,7
E	-0,61	-0,79	-0,81	-0,59	0,74	0,69
A	0,74	0,64	0,61	-0,55	0,80	-0,55
Cv	104	90	63	48	63	45

Приложение 5

Статистические параметры структурного состава в агрочерноземах, % (2017-2018гг., n = 18)

Прием обработки	Слой, см	Показатель	Фракции, мм								
			>10	*10-7*	*7-5*	*5-3*	*3-2*	*2-1*	*1-0,5*	*0,5-0,25*	*<0,25*
Отвальная	0-10	*X±Sx*	23,3±12,4	8,4±1,3	8,9±3,0	12,8±5,2	12,9±8,4	23,5±10,3	4,4±2,8	3,5±4,8	2,1±3,2
		C_v, %	56	30	22	16	44	38	74	85	135
	10-20	*X±Sx*	20,1±4,8	9,7±1,6	9,6±1,3	13,6±2,8	12,0±5,7	20,1±4,2	9,1±6,4	4,9±4,0	0,9±1,3
		C_v, %	56	30	22	16	44	38	74	85	135
	20-40	*X±Sx*	23,3±9,4	10,1±1,5	9,0±1,9	11,8±2,4	10,9±2,7	26,7±5,4	4,6±3,6	3,1±2,5	0,5±0,6
		C_v, %	56	30	22	16	44	38	74	85	135
Минимальная	0-10	*X±Sx*	24,2±14,8	9,7±2,7	10,2±2,9	14,3±5,9	14,1±11,1	18,2±9,7	4,6±2,8	3,7±4,0	1,0±1,4
		C_v, %	56	30	22	16	44	38	74	85	135
	10-20	*X±Sx*	23,2±10,3	12,4±2,6	11,8±2,5	15,3±2,5	11,7±3,1	20,3±4,8	2,6±1,6	2,1±2,7	0,6±0,9
		C_v, %	56	30	22	16	44	38	74	85	135
	20-40	*X±Sx*	25,7±12,1	9,6±1,9	9,4±1,8	12,5±2,2	10,7±2,9	24,5±6,0	4,0±2,0	2,5±3,1	1,2±1,4
		C_v, %	56	30	22	16	44	38	74	85	135
Нулевая	0-10	*X±Sx*	30,9±16,0	11,7±3,5	10,7±2,8	13,3±4,0	11,9±7,3	15,6±7,5	4,1±4,7	1,5±1,6	0,3±0,5
		C_v, %	56	30	22	16	44	38	74	85	135
	10-20	*X±Sx*	36,8±9,9	15,2±3,5	11,5±2,5	12,9±3,4	8,1±1,7	11,7±3,3	2,2±1,7	1,2±1,7	0,3±0,5
		C_v, %	56	30	22	16	44	38	74	85	135
	20-40	*X±Sx*	30,3±8,7	11,3±2,3	10,0±2,0	13,8±3,6	11,5±4,5	17,1±4,1	3,4±2,2	2,3±2,2	0,3±0,4
		C_v, %	56	30	22	16	44	38	74	85	135

Приложение 6

Статистические параметры агрегатного состава в агрочерноземах, % (2017-2018г., n = 18)

Прием обработки	Слой, см	Статистический показатель	Фракции, мм					
			>7	*7-5*	*5-3*	*3-1*	*1-0,5*	*0,5-0,25*
Отвальная	0-10	$X \pm Sx$	3,2 ± 3,1	3,6 ± 1,8	6,1 ± 2,7	20,5 ± 11,7	20,2 ± 10,0	16,5 ± 4,8
		C_v, %	98	48	44	57	49	29
	10-20	$X \pm Sx$	3,9 ± 4,3	2,8 ± 1,4	6,3 ± 2,8	18,5 ± 8,2	13,6 ± 4,9	23,0 ± 9,1
		C_v, %	109	49	44	44	36	40
	20-40	$X \pm Sx$	0,9 ± 0,4	1,7 ± 0,4	4,2 ± 1,0	19,2 ± 14,0	21,7 ± 13,9	16,8 ± 5,7
		C_v, %	45	22	23	73	64	34
Минимальная	0-10	$X \pm Sx$	4,0 ± 2,7	4,6 ± 2,9	9,2 ± 4,4	29,2 ± 8,5	17,7 ± 14,2	14,5 ± 5,6
		C_v, %	69	62	48	29	80	38
	10-20	$X \pm Sx$	8,7 ± 10,2	5,3 ± 3,4	9,6 ± 4,5	24,6 ± 10,9	13,6 ± 5,5	14,5 ± 7,6
		C_v, %	117	64	47	44	40	52
	20-40	$X \pm Sx$	2,4 ± 2,9	2,9 ± 1,7	7,3 ± 3,8	31,3 ± 12,6	18,0 ± 7,0	14,9 ± 5,6
		C_v, %	124	58	52	40	39	38
Нулевая	0-10	$X \pm Sx$	8,7 ± 9,2	6,7 ± 3,3	12,3 ± 5,8	27,4 ± 10,8	13,0 ± 7,7	12,8 ± 7,2
		C_v, %	107	50	48	40	59	56
	10-20	$X \pm Sx$	6,2 ± 7,0	6,9 ± 4,1	13,6 ± 7,3	24,1 ± 5,3	14,9 ± 5,8	12,8 ± 6,2
		C_v, %	112	60	54	22	39	48
	20-40	$X \pm Sx$	1,4 ± 1,5	3,2 ± 1,9	6,2 ± 3,0	26,9 ± 15,2	20,3 ± 9,0	17,3 ± 5,4
		C_v, %	105	58	48	57	44	31

Приложение 7

Статистические показатели содержания влаги в агрочерноземах, %

Прием обработки	Слой, см	2017 г. (n=9)		2018 г. (n=9)	
		X ± *Sx*	*Cv*	*X* ± *Sx*	*Cv*
Отвальная	0-10	37,3 ± 3,1	8	22,9 ± 8,4	37
	10-20	35,2 ± 3,9	11	24,0 ± 7,8	32
	20-40	30,2 ± 4,4	15	22,8 ± 9,2	40
Минимальная	0-10	34,3 ± 3,7	11	25,7 ± 8,0	31
	10-20	32,7 ± 3,1	10	26,6 ± 7,3	28
	20-40	28,0 ± 5,5	20	26,7 ± 8,0	30
Нулевая	0-10	33,9 ± 4,8	14	24,4 ± 6,0	25
	10-20	32,9 ± 3,2	10	25,6 ± 5,0	20
	20-40	30,1 ± 5,1	17	25,0 ± 5,1	21

Приложение 8

Результаты дисперсионного анализа содержания влаги в агрочерноземах

Прием обработки	Срок					
	2017 г.			2018 г.		
	июнь	*июль*	*август*	*июнь*	*июль*	*август*
	0-10 см			*0-10 см*		
Отвальная	33,5	39,3	39,3	34,0	15,9	19,0
Минимальная	30,7	36,6	35,6	36,1	22,0	19,0
Нулевая	28,1	37,4	36,3	32,3	20,9	20,1
p	0,16	0,5	**0,002**	**0,014**	**0,015**	0,08
	10-20 см			*10-20 см*		
Отвальная	36,0	37,6	31,9	34,2	20,2	17,8
Минимальная	31,2	35,5	31,5	36,0	23,9	19,9
Нулевая	30,9	35,7	32,2	31,2	25,7	19,9
p	0,14	0,6	1,0	**0,008**	0,011	0,34
	20-40 см			*20-40 см*		
Отвальная	32,7	30,9	27,0	34,9	17,9	15,7
Минимальная	28,4	30,5	25,1	36,9	23,6	19,6
Нулевая	27,1	34,4	28,8	30,5	24,6	19,9
p	0,57	0,5	0,4	**0,03**	**0,005**	0,09

Приложение 9

Результаты дисперсионного анализа содержания агрономически ценных фракций в агрочерноземах

Прием обработки	2017 г.			2018 г.		
	июнь	*июль*	*август*	*июнь*	*июль*	*август*
	0-10 см			*0-10 см*		
Отвальная	89,1	90,9	76,8	82,7	66,7	55,8
Минимальная	80,0	91,3	67,4	87,5	50,7	71,9
Нулевая	73,0	80,9	60,2	81,1	47,3	66,6
p	0,16	**0,037***	0,14	0,26	0,27	0,14
	10-20 см			*10-20 см*		
Отвальная	76,3	84,3	81,9	78,9	77,2	72,6
Минимальная	74,1	75,4	59,6	81,5	83,2	83,5
Нулевая	71,8	60,5	62,7	75,7	52,1	61,7
p	0,65	**0,006***	**0,002***	0,56	**0,000***	**0,001***
	20-40 см			*20-40 см*		
Отвальная	78,4	84,7	80,7	79,2	67,5	68,9
Минимальная	72,2	61,8	61,1	75,0	82,6	86,2
Нулевая	73,2	75,9	61,5	70,7	72,1	62,7
p	0,085	**0,05***	**0,001***	0,34	**0,02***	**0,04***

Приложение 10

Результаты дисперсионного анализа содержания водопрочных агрегатов в агрочерноземах

Прием обработки	2017 г.			2018 г.		
	июнь	*июль*	*август*	*июнь*	*июль*	*август*
	0-10 см			*0-10 см*		
Отвальная	73,5	73,3	70,0	75,7	61,6	70,2
Минимальная	85,4	81,7	81,5	80,4	70,7	76,7
Нулевая	80,2	85,6	85,4	82,3	83,6	81,5
p	**0,003***	**0,001***	0,054	**0,033***	**0,01***	**0,02***
	10-20 см			*10-20 см*		
Отвальная	73,0	67,9	60,2	75,6	68,8	68,2
Минимальная	66,6	85,5	83,9	76,6	81,4	64,0
Нулевая	71,5	71,4	84,1	88,1	77,8	78,7
p	0,83	**0,02***	**0,000***	**0,017***	**0,05***	0,19
	20-40 см			*20-40 см*		
Отвальная	74,5	72,9	67,6	48,2	73,5	60,4
Минимальная	66,0	85,9	73,7	81,4	79,8	74,0
Нулевая	82,6	79,7	71,9	82,0	60,8	75,7
p	**0,02***	0,34	0,71	**0,000***	**0,007***	0,13

Приложение 11

Результаты дисперсионного анализа содержания Сгумуса в агрочерноземах

Прием обработки	2017 г.			2018 г.		
	июнь	*июль*	*август*	*июнь*	*июль*	*август*
	0-10 см			*0-10 см*		
Отвальная	4517,7	4669,0	4366,0	4099,8	2967,5	3653,5
Минимальная	4247,0	3699,0	3479,0	4677,2	3524,7	4251,1
Нулевая	3828,0	4060,5	4254,0	4578,0	3192,5	3957,8
p	0,16	0,10	0,08	0,08	0,37	0,51
	10-20 см			*10-20 см*		
Отвальная	4507,7	4664,5	4350,0	4143,1	2936,7	3263,7
Минимальная	3879,5	3556,5	3366,5	4595,7	3353,6	4362,6
Нулевая	3263,0	4019,0	4087,5	4334,4	2972,7	3166,5
p	0,14	0,08	0,12	0,11	0,54	0,33
	20-40 см			*20-40 см*		
Отвальная	4222,7	4516,5	3928,0	4401,3	1589,1	2069,3
Минимальная	2963,5	3360,5	4181,0	4716,5	3292,2	3599,7
Нулевая	2530,0	4078,0	4227,0	3857,8	2027,9	2830,8
p	0,43	0,28	0,65	**0,018***	0,15	0,45

Приложение 12

Результаты дисперсионного анализа содержания $Сн_2о$ в агрочерноземах

Прием обработки	2017 г.			2018 г.		
	июнь	*июль*	*август*	*июнь*	*июль*	*август*
	0-10 см			*0-10 см*		
Отвальная	34,7	34,4	50,2	23,0	22,4	39,8
Минимальная	37,8	29,1	35,9	28,3	20,1	46,8
Нулевая	42,2	37,5	40,5	32,1	20,1	37,4
p	0,27	0,21	**0,003***	**0,006***	0,69	**0,01***
	10-20 см			*10-20 см*		
Отвальная	35,2	34,4	35,9	21,4	19,3	36,7
Минимальная	34,9	32,1	38,2	26,8	23,2	51,5
Нулевая	41,5	32,1	41,0	30,6	20,9	38,2
p	0,09	0,66	**0,02***	**0,03***	0,19	**0,03***
	20-40 см			*20-40 см*		
Отвальная	35,6	30,6	40,5	24,5	16,2	27,3
Минимальная	31,7	34,4	35,9	32,1	26,3	53,0
Нулевая	45,5	41,3	40,5	26,0	22,4	33,5
p	0,08	**0,03***	**0,003***	**0,001***	0,07	**0,01***

Приложение 13

Результаты дисперсионного анализа содержания C_{NaOH} в агрочерноземах

Прием обработки	2017 г.			2018 г.		
	июнь	*июль*	*август*	*июнь*	*июль*	*август*
	0-10 см			*0-10 см*		
Отвальная	397,1	423,4	370,8	205,0	238,7	231,8
Минимальная	446,4	305,8	265,7	452,9	361,1	358,4
Нулевая	420,0	364,6	389,3	468,2	425,3	516,0
p	0,79	0,37	0,13	**0,0001***	0,26	0,30
	10-20 см			*10-20 см*		
Отвальная	393,6	441,0	346,08	232,6	226,4	231,8
Минимальная	364,8	294,0	207,03	419,2	364,1	383,2
Нулевая	355,2	335,2	333,72	391,7	403,9	441,9
p	0,85	0,29	**0,02***	**0,0002***	0,39	0,53
	20-40 см			*20-40 см*		
Отвальная	369,8	417,5	321,4	208,1	153,0	160,7
Минимальная	534,0	314,6	194,7	575,3	431,5	398,6
Нулевая	227,6	364,6	364,6	312,1	312,1	435,7
p	0,10	0,59	**0,05***	**0,004***	0,17	0,35

Приложение 14

Результаты дисперсионного анализа содержания $C_{ГК}$ в агрочерноземах

Прием обработки	2017 г.			2018 г.		
	июнь	*июль*	*август*	*июнь*	*июль*	*август*
	0-10 см			*0-10 см*		
Отвальная	152,5	206,0	98,9	6,2	43,7	86,9
Минимальная	257,0	109,1	30,9	68,6	118,6	142,8
Нулевая	232,6	103,0	98,9	137,3	162,2	304,3
p	0,06	0,30	0,08	**0,001***	0,31	0,22
	10-20 см			*10-20 см*		
Отвальная	125,3	145,4	105,1	5,0	62,4	74,5
Минимальная	91,8	54,5	30,9	118,6	124,8	173,9
Нулевая	146,9	103,0	98,9	49,9	162,2	248,4
p	0,18	0,16	**0,014***	**0,006***	0,51	0,38
	20-40 см			*20-40 см*		
Отвальная	100,6	139,4	61,8	25,0	31,2	31,1
Минимальная	208,1	111,5	30,9	237,1	149,8	192,5
Нулевая	136,8	84,8	136,0	62,4	118,6	248,4
p	0,28	0,48	**0,004***	**0,008***	0,32	0,22

Приложение 15

Результаты дисперсионного анализа содержания $C_{ФК}$ в агрочерноземах

Прием обработки	2017 г.			2018 г.		
	июнь	*июль*	*август*	*июнь*	*июль*	*август*
	0-10 см			*0-10 см*		
Отвальная	244,6	217,3	271,9	198,8	195,0	144,8
Минимальная	189,4	196,7	234,8	384,2	242,5	215,6
Нулевая	187,4	261,5	290,5	330,9	263,1	211,7
p	0,55	**0,003***	0,29	**0,001***	0,22	0,37
	10-20 см			*10-20 см*		
Отвальная	268,3	295,6	241,0	232,6	164,0	157,2
Минимальная	273,0	239,5	176,1	300,7	239,3	209,3
Нулевая	208,3	232,1	234,8	341,8	241,7	193,5
p	0,69	0,42	0,11	**0,0005***	0,21	0,76
	20-40 см			*20-40 см*		
Отвальная	269,2	278,1	259,6	183,1	121,8	129,6
Минимальная	327,9	203,1	163,8	338,2	281,7	206,1
Нулевая	90,8	279,7	228,7	249,7	193,6	187,3
p	**0,03***	0,34	0,14	**0,006***	0,08	0,61

Приложение 16

Результаты корреляционного анализа влияния влажности на динамику углерода гумуса и его подвижных компонентов в агрочерноземах (r_{05} =0,60)

Прием обработки	Слой, см	$r \pm Sr$	r^2	$r \pm Sr$	r^2
		2017 г. (n=9)		2018 г. (n=9)	
Сгумуса					
Отвальная	0-10	0,27 ± 0,38	0,07	**0,81* ± 0,22**	0,66
	10-20	0,58 ± 0,31	0,33	**0,83* ± 0,21**	0,69
	20-40	**0,79* ± 0,23**	0,63	**0,91* ± 0,15**	0,84
Минимальная	0-10	-0,15 ± 0,38	0,02	0,63 ± 0,29	0,40
	10-20	0,36 ± 0,35	0,13	0,45 ± 0,33	0,20
	20-40	0,18 ± 0,38	0,03	**0,76* ± 0,24**	0,58
Нулевая	0-10	0,33 ± 0,35	0,11	0,48 ± 0,33	0,23
	10-20	**0,71* ± 0,27**	0,50	0,56 ± 0,32	0,31
	20-40	0,32 ± 0,36	0,10	0,39 ± 0,35	0,16
C_{H2O}					
Отвальная	0-10	0,47 ± 0,33	0,22	-0,33 ± 0,36	0,11
	10-20	-0,34 ± 0,35	0,11	-0,47 ± 0,33	0,22
	20-40	-0,13 ± 0,38	0,02	0,21 ± 0,38	0,04
Минимальная	0-10	-0,51 ± 0,33	0,26	-0,36 ± 0,35	0,13
	10-20	**-0,79* ± 0,23**	0,63	-0,55 ± 0,32	0,30
	20-40	0,32 ± 0,37	0,10	-0,50 ± 0,33	0,25
Нулевая	0-10	-0,38 ± 0,38	0,01	0,07 ± 0,38	0,01
	10-20	-0,22 ± 0,38	0,05	-0,35 ± 0,35	0,12
	20-40	-0,05 ± 0,38	0,00	-0,24 ± 0,38	0,06
C_{NaOH}					
Отвальная	0-10	0,28 ± 0,38	0,08	-0,41 ± 0,35	0,17
	10-20	0,44 ± 0,34	0,20	0,21 ± 0,38	0,04
	20-40	0,50 ± 0,33	0,25	0,55 ± 0,32	0,30
Минимальная	0-10	-0,38 ± 0,35	0,14	**0,90* ± 0,16**	0,81
	10-20	0,35 ± 0,35	0,12	0,48 ± 0,33	0,23
	20-40	0,29 ± 0,38	0,09	**0,72* ± 0,26**	0,51
Нулевая	0-10	-0,36 ± 0,35	0,13	-0,10 ± 0,38	0,01
	10-20	0,45 ± 0,34	0,20	0,03 ± 0,38	0,01
	20-40	0,36 ± 0,35	0,13	-0,07 ± 0,38	0,01