

МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«ОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АГРАРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ИМЕНИ П.А. СТОЛЫПИНА»

На правах рукописи

Алексеева Жанна Леонидовна

**ВЛИЯНИЕ ОРГАНИЧЕСКОГО УДОБРЕНИЯ НА ОСНОВЕ СВИНОГО
НАВОЗА НА ПЛОДОРОДИЕ АГРОЧЕРНОЗЕМОВ
ЮЖНОЙ ЛЕСОСТЕПИ ОМСКОГО ПРИИРТЫШЬЯ**

4.1.3. Агрохимия, агропочвоведение,
защита и карантин растений

Диссертация на соискание ученой степени
кандидата сельскохозяйственных наук

Научный руководитель:
доктор с.-х.наук, профессор
Азаренко Юлия Александровна

Омск – 2024

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	4
1 РОЛЬ ОРГАНИЧЕСКИХ УДОБРЕНИЙ В СТАБИЛИЗАЦИИ ПОЧВЕННОГО ПЛОДОРОДИЯ (ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ).....	11
1.1 Характеристика свиного навоза в качестве органического удобрения.....	13
1.2 Влияние свиного навоза на агрохимические показатели почвы.....	16
1.3 Влияние органического удобрения на гумусное состояние почв.....	18
1.4 Влияние свиного навоза на содержание подвижных гумусовых веществ	22
1.5 Влияние свиного навоза на биологическую активность и фитотоксичность почв.....	24
1.6 Влияние свиного навоза на физико-химические и физические свойства почвы.....	30
1.7 Экологические аспекты применения свиного навоза в агроценозах.....	33
2 УСЛОВИЯ, ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ПРОВЕДЕНИЯ ИССЛЕДОВАНИЙ.....	37
2.1 Природно-климатические условия территории проведения исследований.....	37
2.2 Объекты и методы проведения исследований.....	42
3 ВЛИЯНИЕ ОРГАНИЧЕСКОГО УДОБРЕНИЯ НА ПОКАЗАТЕЛИ ГУМУСНОГО СОСТОЯНИЯ АГРОЧЕРНОЗЕМОВ.....	52
3.1 Воздействие свиного навоза на содержание углерода органического вещества.....	52
3.2 Групповой и фракционный состав гумуса агрочерноземов в зависимости от применения свиного навоза.....	60
3.3 Показатели гумусного состояния агрочерноземов в зависимости от применения свиного навоза.....	67
3.4 Влияние свиного навоза на содержание подвижных гумусовых	

веществ.....	76
4 ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ ПОТЕНЦИАЛ АГРОЧЕРНОЗЕМОВ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ПРИМЕНЕНИЯ СВИНОГО НАВОЗА.....	95
5 БИОЛОГИЧЕСКАЯ АКТИВНОСТЬ И ФИТОТОКСИЧНОСТЬ АГРОЧЕРНОЗЕМОВ В УСЛОВИЯХ ПРИМЕНЕНИЯ СВИНОГО НАВОЗА.....	104
5.1 Влияние навоза на целлюлозолитическую активность почвы.....	104
5.2 Влияние навоза на ферментативную активность почвы.....	117
5.3 Оценка фитотоксичности почвы.....	124
6 ВЛИЯНИЕ СВИНОГО НАВОЗА НА ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА И СТРУКТУРНОЕ СОСТОЯНИЕ АГРОЧЕРНОЗЕМОВ.....	130
6.1 Состав обменно-поглощенных катионов и реакция среды.....	130
6.2 Структурное состояние агрочерноземов.....	136
7 ВЛИЯНИЕ НАВОЗА НА СОДЕРЖАНИЕ ЭЛЕМЕНТОВ ПИТАНИЯ В АГРОЧЕРНОЗЕМАХ.....	145
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	159
ПРЕДЛОЖЕНИЯ ПРОИЗВОДСТВУ.....	162
ПЕРСПЕКТИВЫ ДАЛЬНЕЙШЕЙ РАЗРАБОТКИ ТЕМЫ.....	163
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....	164
ПРИЛОЖЕНИЯ.....	195

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность темы исследований. Одной из важнейших функций почвы является плодородие, обеспечивающее жизненные процессы в биосфере (Добровольский, 2009). Длительное использование почв в сельском хозяйстве приводит к трансформации целого комплекса их свойств, нередко к ухудшению их агроэкологического состояния (Сычев, 2019). Так, для пахотных почв повсеместно отмечается уменьшение содержания гумуса, ухудшение агрофизических и физико-химических свойств, отрицательный баланс биофильных элементов (Кудеяров, 2018; 2019). Агрочерноземы Омского Прииртышья не являются исключением. По данным агрохимической службы за последние 15 лет содержание гумуса в них снизилось с 5,34 до 5,00% (Красницкий, Шмидт, 2016).

Поэтому поддержание и воспроизводство плодородия почв агроценозов является необходимым условием не только для сохранения их свойств, как основного средства сельскохозяйственного производства, но и для выполнения почвой, как природным телом, глобальных экологических функций. Действенным способом решения этой проблемы является биологизация земледелия, которая обеспечивает производство качественной и экологически безопасной сельскохозяйственной продукции при сохранении почвенного плодородия. Одним из ее элементов является научно обоснованное и рациональное применение всех видов биологических ресурсов, в том числе органических удобрений (Воронкова, 2012; Еськов, 2018; Лукин С.В., 2016; Лукин С.М., Тарасов, 2020; Мерзлая, 2018). Их рациональное использование является одним из основных путей стабилизации почвенного плодородия и рассматривается в качестве условия, обеспечивающего «здоровье почвы» (Raune, Aula, 2020). В отличие от минеральных удобрений, они оказывают комплексное воздействие на химические, физико-химические и биологические свойства почв. Несмотря на огромный опыт применения

органических удобрений в сельском хозяйстве, вопросы их влияния на плодородие почв не теряют своей актуальности.

В настоящий период времени в Омской области среди органических удобрений значительную долю занимает свиной навоз, образующийся на крупных животноводческих комплексах и обладающий высокой удобрительной ценностью. В условиях недостаточного уровня применения минеральных удобрений он может являться одним из источников стабилизации плодородия пахотных почв региона. Однако для его рационального использования необходима комплексная агрохимическая, почвенная и экологическая оценка его действия на урожай, качество растений и свойства почв. При этом важным вопросом является нормирование применения органического удобрения с целью сохранения равновесия почвенной системы.

Следует отметить, что использование свиного навоза в качестве удобрения одновременно решает не только агропроизводственные, но и экологические задачи, основной из которых является экологически безопасная утилизация отходов животноводческих комплексов.

В связи с отсутствием данных по вышеизложенным вопросам, исследования по влиянию свиного навоза на показатели плодородия основных пахотных почв – агрочерноземов, представляют значительную актуальность и практическую значимость.

Степень разработанности темы. В научной литературе имеется большое количество работ по влиянию органических удобрений, в том числе жидкой и твердой фракций свиного навоза, на агрохимические показатели разных типов почв (Андреев, Новиков, Лукин, 1990; Бабенко, 2016; Барановский, 1994; 1995; Еськов, 1998; Еськов, Новиков, Лукин, 2001; Еськов, Лукин, Мерзлая, 2018; Мерзлая, Новиков, Еськов и др., 2006; Мерзлая, 2006; Новиков, 1993; Сычев, 2019; Усенко, 2000; Усенко, Каличкин, 2003; Шарков, 1986 и др.). Большое их количество проведено в Европейской части России. Значительная их доля посвящена изучению влияния данного вида удобрения на органическое вещество почв (Бабенко, Васильев, Дроздов, 2020; Барановский, Бабенко, 2013; Богатырева,

Серая, Бирюкова и др., 2019; Шишов, Николаева, Гришанов, 2010 и др.), их физико-химические и физические свойства (Бабенко, 2016; Тютюнов, 2013; Усенко, Литвинцева, Литвинцев, 2016 и др.). В меньшей степени исследована биологическая активность почв в условиях применения свиного навоза (Андреев, Новиков, Лукин, 1990; Золкина, 2019 и др.). Значительное количество работ по влиянию свиного навоза на различные свойства почв и их экологическое состояние проведено за рубежом (Plaza et al., 2004; Hati et al., 2006, 2007; Benouadah et al., 2020; Köninger et al., 2021; Recarbonizing global ..., 2021; Du et al., 2020; Loss et al., 2022 и др.)

В Западной Сибири крупные исследования проведены Кочергиным А.Е. и др. (1965, 1981), Усенко В.Н. (2000), Усенко В.Н., Каличкиным В.К. (2003), при этом основное внимание уделялось навозу крупного рогатого скота. В Омской области изучалось влияние в основном жидкого свиного навоза на урожайность и качество сельскохозяйственных культур и содержание элементов питания в почвах (Гавар, 1971; Савосьев, 1981; Хамова, 1981). В последнее время исследования разных фракций свиного навоза, получаемого с использованием современных технологий на крупных животноводческих комплексах, проводятся на кафедре агрохимии и почвоведения Омского ГАУ Гоман Н.В., Бобренко И.А., Трубиной Н.К., Корминым В.П., Шалак И.О. (2018, 2022). Однако вопросы воздействия данного органического удобрения на более широкий набор показателей плодородия (содержание и качественный состав гумуса, физико-химические свойства, биологическая активность, структурное состояние) были изучены недостаточно.

Цель и задачи. Целью исследований являлось изучение влияния свиного навоза на качественные и количественные показатели плодородия агрочерноземов южной лесостепи Омского Прииртышья.

В задачи исследования входило:

1. установить влияние разных фракций свиного навоза на состояние органического вещества агрочерноземов;
2. выявить влияние свиного навоза на содержание в почвах подвижных

гумусовых веществ;

3. дать оценку энергетического потенциала агрочерноземов в условиях применения органического удобрения;

4. изучить действие органического удобрения на некоторые показатели биологической активности и фитотоксичность почв;

5. выявить влияние свиного навоза на физико-химические свойства, структурный состав агрочерноземов и содержание в них элементов питания.

Научная новизна работы. Получены новые данные о влиянии твердой и жидкой фракций свиного навоза на некоторые показатели плодородия агрочерноземов южной лесостепи Омского Прииртышья. Изучено действие и последствие удобрения на состояние органического вещества почв по содержанию и запасам углерода, в том числе подвижных гумусовых веществ, групповому и фракционному составу, отношению C:N. Установлены количественные взаимосвязи между данными показателями и дозами навоза. Обоснована безопасность применения твердой фракции навоза по данным оценки фитотоксичности агрочерноземов. Исследованы показатели биологической активности: целлюлозоразрушающая способность и ферментативная активность в зависимости от применения навоза. Изучено влияние органического удобрения на содержание обменно-поглощенных катионов, реакцию среды, структурное состояние агрочерноземов, содержание в них подвижных форм макро- и микроэлементов. Полученные результаты позволяют управлять плодородием агрочерноземов.

Теоретическая и практическая значимость. Исследования направлены на научное обоснование применения твердой и жидкой фракций свиного навоза для сохранения и повышения эффективного плодородия агрочерноземов. Полученные данные расширяют и конкретизируют сведения о действии и последствии удобрения на состояние органического вещества, биологическую активность, физико-химические свойства и структурное состояние почв. Результаты исследований подтверждают целесообразность и экологическую безопасность применения свиного навоза в качестве органического удобрения, оказывающего

положительное влияние на свойства почв и продуктивность агроценозов. Они используются при составлении рекомендаций и проектов по применению органических удобрений на агрочерноземах для лесостепной зоны Омского Прииртышья, а также в учебной деятельности по направлению подготовки «Агрохимия и агропочвоведение» (приложения Т, У).

Методология исследований. Методологической основой диссертационного исследования послужили труды отечественных и зарубежных ученых в области изучения влияния органических удобрений на свойства почв. При проведении исследований были применены полевые, лабораторные и статистические методы.

Положения, выносимые на защиту:

1. Разовое применение бесподстилочного свиного навоза оказывает положительное влияние на состояние органического вещества агрочерноземов: содержание и запасы углерода, подвижных гумусовых веществ, качественный состав гумуса, увеличивает их энергopotенциал.

2. Органическое удобрение на основе свиного навоза способствует увеличению биологической активности почв: целлюлозоразрушающей способности и ферментативной активности при отсутствии развития в них фитотоксичности.

3. Свиной навоз обеспечивает сохранение и улучшение физико-химических свойств, увеличение водопрочности структурных агрегатов и содержание подвижных форм элементов питания, что в комплексе с улучшением гумусового состояния и усилением биологической активности способствует повышению эффективного плодородия агрочерноземов.

Личный вклад и достоверность результатов исследований. Диссертация является завершенной научно-исследовательской работой, в которой автор принимала непосредственное участие на всех ее этапах. Автором проводились исследования в полевых опытах, отбор почвенных проб, анализ почв и лабораторные опыты. Обобщены и интерпретированы экспериментальные данные с последующей статистической обработкой. На основе полученных результатов подготовлены публикации, написан текст диссертационной работы,

сформулированы выводы. Исследования по теме диссертации проведены в соответствии с планом научно-исследовательской работы кафедры агрохимии и почвоведения ФГБОУ ВО Омский ГАУ по темам «Оценка современного состояния почвенного покрова естественных и антропогенных ландшафтов Западной Сибири» (номер государственной регистрации 01201256676, 2012-2017 гг.) и «Управление плодородием почв и питанием культурных растений в агроэкосистемах Омского Прииртышья» (№ государственного учета НИОКТР АААА-А20-120021090079-7, 2018-2023 гг.).

Достоверность результатов исследований обеспечивалась проведением исследований в соответствии с утвержденными методиками, статистической обработкой экспериментальных данных и их сравнением с опубликованными исследованиями других авторов.

Апробация работы. Результаты исследований были апробированы на Международных, Всероссийских (Национальных), региональных научно-практических конференциях: «Экологические проблемы региона и пути их решения» (г. Омск, 2016 г.); «Проблемы охраны окружающей среды и рационального использования природных ресурсов» (г. Омск, 2017 г.); «Всемирный день охраны окружающей среды (Экологические чтения)» (г. Омск, 2017 г.; 2022 г.); «Приоритетные направления научно-технологического развития агропромышленного комплекса России» (г. Рязань, 2018 г.); «Актуальные проблемы природообустройства, водопользования, агрохимии, почвоведения и экологии» (г. Омск, 2019 г.); «Современное состояние и проблемы рационального использования почв Сибири» (г. Омск, 2020 г.); VIII съезде Общества почвоведов им. В.В. Докучаева (г. Сыктывкар, 2021 г.); «Сибирская деревня: 200 лет развития Омской области – от реформ М.М. Сперанского до агропромышленного центра Сибири» (г. Омск, 2022 г.).

Публикации. По теме диссертационного исследования опубликовано 14 печатных работ, в том числе 1 – в базе Web of Science, 3 – в изданиях, рекомендуемых ВАК Министерства науки и высшего образования Российской Федерации.

Объем и структура диссертации. Диссертационная работа изложена на 212 страницах компьютерного текста. Состоит из введения, 7 глав, заключения и приложений. Содержит 43 таблицы, 24 рисунка, 17 приложений. Список литературы включает 289 источников, в том числе 37 иностранных.

Благодарности. Автор выражает искреннюю благодарность за консультирование, помощь и поддержку при написании диссертационной работы научному руководителю д-ру с.-х. наук, профессору Ю.А. Азаренко, заведующему кафедрой агрохимии и почвоведения, д-ру с.-х. наук, профессору Бобренко И.А., декану факультета агрохимии, почвоведения, экологии, природообустройства и водопользования, канд. с.-х. наук Гоман Н.В., доцентам, канд. с.-х. наук Кормину В.П. и Трубиной Н.К. за помощь в проведении полевых исследований. Отдельную благодарность автор выражает научным сотрудникам сектора микробиологии ФГБНУ «Омский АНЦ» канд. биол. наук Хамовой О.Ф. и канд. с.-х. наук Шулико Н.Н. за методическую помощь в определении ферментативной активности почв.

1 РОЛЬ ОРГАНИЧЕСКИХ УДОБРЕНИЙ В СТАБИЛИЗАЦИИ ПОЧВЕННОГО ПЛОДОРОДИЯ (ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ)

Почва, являясь сложной, полифункциональной и поликомпонентной открытой многофазной системой, выполняет множество глобальных и экосистемных функций (Добровольский, Никитин, 1986, 1990; Добровольский, 2007, 2009). Для агроценозов важнейшим из них является плодородие, обеспечивающее оптимальные условия для роста и развития сельскохозяйственных культур. По мнению ряда авторов плодородие – это объективное, измеряемое производственное свойство почвы, обладающее конкретными количественными и качественными характеристиками (Кислых, 2011; Красницкий, Шмидт, 2016; Макаров, 2007).

Особенностью производства сельскохозяйственной продукции в России в настоящее время является то, что оно осуществляется в основном за счет мобилизации естественного плодородия почв, минерализации органического вещества, накопленного в течение предшествующих тысячелетий. Анализ баланса элементов питания в земледелии свидетельствует о деградации питательного режима почв (Кудеяров, 2018, 2019; Сычев, 2019). Они обедняются доступными формами элементов питания, подвергаются дегумификации, вызванной минерализацией органического вещества при обработках почвы, сокращением поступления пожнивных остатков, недостаточным применением органических удобрений, а также развитием эрозионных процессов. Поэтому одной из основных задач современного сельского хозяйства является получение стабильных и высоких урожаев сельскохозяйственных культур при сохранении, поддержании и воспроизводстве почвенного плодородия.

Работами отечественных и зарубежных ученых показано, что предотвращение глобальной деградации пахотных земель невозможно без органических удобрений. Их научно обоснованное применение является одним из основных путей стабилизации почвенного плодородия и повышения

продуктивности агроценозов в разных почвенно-климатических условиях (Гамзиков, 1978; Кочергин, 1965; Усенко, 2000; Усенко, Каличкин, 2003; Храпцов, 1997; Recarbonizing global ..., 2021). Рациональное использование органических удобрений рассматривается в качестве условия, обеспечивающего «здоровье почв» (Rayne, Aula, 2020).

Одним из наиболее распространенных и традиционных удобрений во всем мире является навоз. По данным Köninger et al. (2021) в Европейском союзе и Великобритании в 2016-2019 гг. ежегодно производилось более 1,4 миллиарда тонн навоза, из которого более 90% вносилось в почву в качестве органического удобрения.

По обобщенным данным длительных стационарных опытов в Сибири и на Дальнем Востоке показано, что систематическое применение минеральных и органических удобрений в умеренных дозах способствуют поддержанию агрохимических параметров на достаточно высоком уровне (Гамзиков, 2016). Применение органических удобрений является традиционным приемом, направленным не только на оптимизацию питания растений, но и на улучшение агрохимических, агрофизических и биологических свойств почвы. Так, эффективное применение органических удобрений, как элемента биологизации земледелия, способствовало стабилизации количества органического вещества, увеличению подвижных фосфора, калия, серы, цинка, марганца в пахотных черноземах Белгородской области. В период с 2010 по 2015 гг. объем внесения органических удобрений увеличился с 2,59 до 7,6 т/га пашни, при этом урожайность сельскохозяйственных культур была наибольшей среди областей Центрально-Черноземного округа (Лукин С.В., 2016).

Между тем, объемы их применения в целом по России остаются на низком уровне. По данным Мерзлой Г.Е., Щеголева И.В., Леонова М.В. (2012), Еськова А.И., Лукина С.М., Мерзлой Г.Е. (2018) потребность в органических удобрениях в стране составляет 800 млн. т., тогда как их применение в последние годы сократилось почти в 7 раз и не превышает 10-15% по разным регионам. В 2015 г.

органические удобрения применяли всего на 8,2% посевов (Кудеяров, Соколов, Глинушкин, 2017).

Открытие и работа крупных свиноводческих комплексов в ряде регионов России определяет увеличение объемов производства свиного навоза, который может использоваться в качестве удобрения для повышения продуктивности агроценозов.

1. 1 Характеристика свиного навоза в качестве органического удобрения

Согласно ГОСТ 34103-2017 «Удобрения органические. Термины и определения» под навозом понимают органическое удобрение на основе отходов животноводства. Его химический состав различается в зависимости от вида животных, кормов, вида и количества подстилки, способа, длительности хранения и других факторов (Губейдуллин, Шигапов, Кафиятуллова, 2014; Теучеж, 2018).

Эффективность навоза как удобрения определяется содержанием в нем макро- и микроэлементов, формой их нахождения и доступностью для растений. Наиболее концентрированным по содержанию азота и фосфора является птичий помет. Большое количество общего азота содержит овечий навоз. В навозе свиней, крупного рогатого скота (КРС), конском его содержание меньше и находится примерно на одном уровне. Содержание калия в различных видах навоза примерно одинаково (таблица 1).

Таблица 1 – Химический состав свежего подстилочного навоза, % на сырое вещество (Органические удобрения ..., 1984)

Состав	Навоз				
	КРС	Конский	Овечий	Свиной	Птичий помет
Азот общий	0,45	0,58	0,83	0,45	1,60
Фосфор (P ₂ O ₅)	0,28	0,28	0,23	0,19	1,50
Калий (K ₂ O)	0,50	0,63	0,67	0,60	0,80
Органическое вещество	20,3	25,4	31,8	25,0	20,0
Вода	77,3	71,3	64,6	72,4	55,7

В связи с зависимостью химического состава навоза от множества факторов, данные о нем в разных источниках различаются. Так, по данным Серой Т.М. и др. (2022), свиной полужидкий бесподстилочный навоз содержит существенно больше азота, фосфора, калия, кальция, магния и серы, а также марганца, меди и цинка по сравнению с навозом КРС. Комякова Е.М., Антонова О.И. (2020), сообщают, что свиной навоз отличается высоким содержанием подвижных форм аммонийного азота, фосфора и калия. В работе Кольга Д.Ф., Васько А.С. (2017) приводятся данные о том, что сухое вещество твердых выделений свиного навоза содержит больше азота (0,6%), фосфора (0,41%) и калия (0,26%), но меньше кальция (0,09%) и магния (0,10%) по сравнению с навозом КРС. Жидкие выделения по сравнению с твердыми содержат несколько меньше азота (0,43%) и существенно больше калия (0,83%). Данные Тютюнова С.И., Соловиченко В.Д. (2020) свидетельствуют о содержании в свиных стоках, применяемых в хозяйствах Белгородской области, органического вещества 2-5, азота – 0,20-0,35, фосфора – 0,12-0,14, калия – 0,14-0,24, кальция – 0,20-0,26, магния – 0,04-0,06, натрия – 0,04-0,08% при рН 6,3-6,9. Содержание в них микроэлементов составляло (в мг/л): меди 26-32, цинка 47-54, свинца 1,5-1,7, кадмия 0,2-0,3 мг/л. Существенно отличаются по химическому составу твердая и жидкая фракции навоза. Согласно ГОСТ Р 53117-2008 твердая фракция бесподстилочного навоза должна содержать не менее 50% органического вещества на сухое вещество, 0,3% азота, 0,2% фосфора и калия при исходной влажности и рН 6,0-8,5. Требования к жидкой фракции бесподстилочного навоза предусматривают не менее 70% органического вещества, 0,05% азота, 0,01% фосфора и калия и, аналогичный твердой фазе, диапазон рН.

Не менее важным показателем качества навоза является содержание в нем органического вещества и величина соотношения С:N, при уменьшении которой ценность удобрения возрастает (Новиков, 1993). Самым узким соотношением С:N характеризуются навозные стоки от птиц и свиней (С:N = 2,7 и 2,9), жидкий и полужидкий свиной навоз характеризуется соотношением С:N = 7,4-9,4, близким к его величине для жидкого навоза КРС, равным 9,0 (Усенко, Каличкин, 2003) при

оптимальности величины 10-15 (Кудеяров, Соколов, Глинушкин, 2017). Отмечается, что органические удобрения с высоким отношением C:N улучшают физическое состояние почвы (Loss et al., 2022). Указывается, что качество навоза важнее для биоразнообразия почвы, чем его количество (Königer et al., 2021).

В связи с открытием большого количества животноводческих комплексов на промышленной основе применение подстилочного навоза снижается и в структуре органических удобрений до 70% общего объема приходится на бесподстилочный навоз (Шишов, Николаева, Гришанов, 2010). Затраты на применение полужидкого бесподстилочного навоза, потери органического вещества и азота почти в 2 раза ниже по сравнению с использованием подстилочного навоза. В бесподстилочном навозе содержание питательных веществ в зависимости от влажности изменяется в широких пределах.

В настоящее время в качестве способа утилизации свиного навоза применяют технологии по его разделению на жидкую и твердую фракции, что позволяет уменьшить потери питательных веществ в процессе внесения в почву. Жидкая фракция характеризуется низким содержанием сухого вещества и биогенных элементов, ее транспортировка экономически нерентабельна, поэтому её целесообразнее использовать на полях, расположенных вблизи свинокомплексов. Твердая фракция представляет собой удобрение с высоким содержанием органического вещества и низкой влажностью, что способствует более удобной транспортировке и легкому внесению.

Для более эффективного использования отходов животноводства и сохранения их удобрительных свойств рядом ученых предложены способы переработки и подготовки их к внесению. Так, Куликовой М.А. и др. (2019) разработано удобрение с содержанием органического вещества 73, азота 2,8-3,0, P_2O_5 1,9-2,0, K_2O 1,8-2,0% при pH 6,5-8,0 на основе обработки свиного навоза щелочным коагулянтом и подкисляющим реагентом. В отечественной и зарубежной научной литературе имеется значительное количество работ, в которых показано влияние органических удобрений на свойства и режимы почв (Барановский, 1994; 1995; Бабенко, 2016; Воронкова, 2014; Мерзлая, 2006;

Органические удобрения ..., 1984; Усенко, 2000; Усенко, Каличкин, 2003; Nati et al., 2006, 2007; Benouadah et al., 2020).

1.2 Влияние свиного навоза на агрохимические показатели почвы

Влияние свиного навоза на агрохимические свойства и показатели плодородия разных типов почв изучалось в разных регионах России, значительная доля исследований проведена в Европейской части страны. Поскольку питательные элементы, необходимые для растений, в свином навозе находятся в доступной форме, при внесении его в почву существенно улучшается питательный режим.

В опытах на дерново-подзолистых почвах Владимирской и Тверской областей установлено увеличение содержания в них подвижных форм азота, фосфора и калия при использовании жидкой и твердой фракций свиного навоза (Андреев, Новиков, Лукин, 1990; Барановский, Бабенко, 2014). Применение данного удобрения также улучшало обеспеченность растений молибденом (Андреев, Новиков, Лукин, 1990). Аналогичные выводы по увеличению содержания подвижных соединений фосфора и калия под действием жидкого свиного навоза приводятся для светло-серых лесных почв Нижегородской области. Сообщается, что дозы жидкого навоза 60 и 90 т/га обеспечили положительный баланс элементов питания и урожайность зерна пшеницы 3,00-4,75 т/га (Титова, Варламова, Рыбин и др., 2019а). В работах Лукина С.В. (2016), Лукина С.В., Селюковой С.В. (2016) показано, что использование свиного навоза на пахотных черноземах Белгородской области приводит к улучшению баланса в почвах необходимых для растений макро- и микроэлементов.

Повышение обеспеченности растений элементами питания приводит к увеличению урожайности и качества различных сельскохозяйственных культур. Так, положительное влияние бесподстильного свиного навоза на урожайность яровой пшеницы, повышение в зерне количества основных макроэлементов,

белка и клейковины показано на черноземе южном в Оренбургской области (Кравченко, Гречишкина, Овсянникова, 2011).

В Алтайском крае при использовании свиного навоза под предпосевную культивацию на черноземе обыкновенном отмечено повышение содержания нитратного азота в почве на 26,3%, что способствовало формированию дополнительной вегетативной массы сои на 16-21% (Литвинцев, 2012). Обобщение многолетних опытных данных показало, что устойчивое влияние на урожайность культур и высокая окупаемость применения подстилочного и бесподстилочного навоза соответствует их дозам 20-30 т/га сухого вещества (Усенко, Старостенко, 2000).

В Омской области вопросы агрохимической эффективности применения свиного навоза изучались Гаваром С.П., Савосьевым П.Д., Хамовой О.Ф. Гавар С.П. (1976) и Савосьев П.Д. (1982) исследовали действие жидкого бесподстилочного свиного навоза и стоков на агрохимические свойства чернозема выщелоченного и обыкновенного и на урожайность сельскохозяйственных культур. Влияние свиного навоза на содержание аммонийного азота и его доступность растениям изучено Хамовой О.Ф. (1982). В последнее десятилетие проведены полевые опыты по влиянию жидкой и твердой фракций свиного навоза на урожайность зерновых культур, выращиваемых на агрочерноземах Омского Прииртышья сотрудниками кафедры агрохимии и почвоведения Омского ГАУ (Гоман, Бобренко, Трубина и др., 2018; Бобренко, Гоман, Трубина и др., 2021; Бобренко, Шалак, Гоман и др., 2022). Ими установлена наиболее эффективная доза твердой фракции органического удобрения (50 т/га) при возделывании зерновых культур, которая обеспечивала прибавку урожая на 38,5%. При внесении жидкой фракции навоза наибольшая урожайность яровой пшеницы и ячменя отмечена в варианте с его дозой 200 т/га с прибавками 53 и 29%, соответственно.

1.3 Влияние органического удобрения на гумусное состояние почв

Этот вопрос приобретает значительную актуальность в связи с ключевой ролью гумуса, как основного компонента органического вещества, в формировании почвенного плодородия. Гумус выполняет важнейшие экологические функции на разных уровнях организации биосферы, обеспечивая непрерывность жизнедеятельности организмов на Земле (Ковда, 1981; Кленов, 1998). С его количественными и качественными параметрами взаимосвязаны основные морфологические признаки почв, физические и физико-химические свойства, водный, воздушный и тепловой режимы. Содержание и качество гумуса определяет и регулирует запасы и баланс биофильных макро- и микроэлементов. О важной роли гумуса как фактора плодородия почвы свидетельствуют многочисленные исследования (Ганжара, Борисов, 1990; Кононова, 1963; Орлов, 1990; Пономарева, Плотникова, 1980; Семенов, Когут, 2015; Тюрин, 1965 и др.). Особая общепланетарная роль почвы как аккумулятора органического вещества и связанной с ним энергии, обеспечивает устойчивость биосферы (Ковда, 1981).

Длительное сельскохозяйственное использование нередко приводит к ослаблению и нарушению основных функций почвенного гумуса, что в конечном итоге может привести к серьезным экологическим последствиям. Основными причинами уменьшения запасов гумуса в пахотных почвах, является снижение поступления в них растительных остатков, усиление процессов минерализации, эрозии и дефляции. В агроценозах Западной Сибири потери гумуса в пахотных почвах составляют больше 30% от исходного уровня, при проявлении эрозионных процессов они могут достигать 50-70% (Кленов, 2003).

Многочисленные работы показывают ведущую роль органических удобрений в регулировании процессов накопления гумуса и обеспечения его бездефицитного баланса в почвах (Еськов, 1998; Лозановская, Орлов, Попов, 1987; Орлов, Лозановская, Попов, 1985; Усенко, Каличкин, 2003; Du et al., 2020; Benouadah, Fatiha, Karima, 2022; Renet et al., 2018; Yanardağ et al., 2020). В Западной Сибири на это указывают исследования Шаркова И.Н. (1986), Храмцова

И.Ф. (1997), Усенко В.И. (2000, 2003), Кленова Б.М. (1998; 2000) и других исследователей. Так, Усенко В.И., Старостенко В.П. (2000) показано, что систематическое применение подстилочного и бесподстилочного навоза в течение 9 лет на черноземах Новосибирского Приобья при поступлении в них 60 т/га абсолютно сухого вещества произошло увеличение содержания гумуса в слое 0-40 см на 0,31-0,58% в зернопаровом и на 0,10-0,53% – в кормовом севооборотах. Увеличению запасов гумуса в почвах способствует прежде всего подстилочный навоз, бесподстилочный может улучшать гумусное состояние почвы в условиях ограниченной минерализации органического вещества. При изучении роли биологических ресурсов в сохранении плодородия черноземов Омской области было установлено, что применение навоза КРС в дозе 10 т/га после первой ротации севооборота привело к возрастанию гумуса на 0,17% к исходному содержанию и к концу третьей ротации составило 6,96% при содержании на контроле 6,77% (Воронкова, 2014).

По мнению Шаркова И.Н. с соавторами (2010) воспроизводство углерода органического вещества должно являться составной частью системы управления плодородием почвы. Однако целенаправленное регулирование содержания или качественного состава органического вещества в почве имеет смысл только тогда, когда оно является наиболее эффективным средством улучшения свойств почв, лимитирующих урожайность сельскохозяйственных культур.

Органические удобрения могут оказывать как прямое влияние на содержание гумуса, обогащая почву органическим материалом, так и косвенное, посредством изменения урожайности возделываемых культур, увеличения поступления пожнивных и корневых остатков. Применение органических удобрений в умеренных дозах способно сдерживать дегумификацию пахотных почв, а в повышенных дозах – внести вклад в стабильный и существенный прирост содержания органического вещества.

Из литературных данных известно, что для оптимизации органического вещества в почвах России необходимо вносить в среднем по 6-7 т/га подстилочного навоза или свыше 500 млн. т. в год. В то же время обеспеченность

пахотных почв органическим веществом по стране составляет 1,2-1,3 т/га (17-18% от потребности) (Еськов, Лукин, Мерзлая, 2018; Куликова, Колесникова, Грибут и др., 2019).

Имеющиеся данные свидетельствуют о существенном воздействии органических удобрений, в том числе, свиного навоза на показатели гумусного состояния разных типов почв, сформированных в различных природно-климатических условиях. Так, в длительных полевых опытах было показано, что свиной навоз и его сочетания с минеральными удобрениями обеспечивали прирост гумуса и гуматную направленность его образования (Андреев, Новиков, Лукин, 1990). В опытах на дерново-подзолистой почве Тверской области применение свиного навоза, его твердой и жидкой фракций в дозах, эквивалентных содержанию азота 100 и 200 кг/га, а также в сочетаниях с соломой увеличило содержание органического вещества по сравнению с исходным уровнем на 0,10-0,25% в год их действия и на 0,08-0,25% при последствии. В результате трансформации удобрений наблюдались изменения качественного состава гумуса: увеличение доли гуминовых кислот, прежде всего 1 и 2 фракций, увеличение отношения Сгк:Сфк, указывающее на изменение гумуса в сторону фульватно-гуматного типа (Бабенко, Васильев, Дроздов, 2020).

Увеличение содержания органического вещества в дерново-подзолистой почве Новгородской области на 0,19-5,38% при использовании бесподстилочного свиного навоза в дозах от 40 до 240 т/га показано в работах Шишова А.Д., Николаевой Т.А., Гришанова С.Л. (2010). В опыте на черноземе выщелоченном Краснодарского края воздействие свиного навоза и компоста на его основе способствовало повышению содержания углерода органического вещества с 2,70% до 3,05-3,26% при сохранении аналогичной тенденции во второй год исследований (Антоненко, 2017). Регулярное внутрипочвенное внесение свиных стоков объемом 100-150 м³/га увеличило содержание гумуса в черноземах типичных и выщелоченных Белгородской области, которые перешли из малогумусовых в среднегумусовые (6,05-6,19% гумуса) (Тютюнов, Соловиченко, 2020). Результаты длительных полевых опытов (48 лет) на каштановой почве

Бурятия демонстрируют увеличение содержания гумуса при систематическом применении навоза 20 т/га на 14,5% к исходному уровню и превышение содержания углерода над контролем на 54%. Также установлено увеличение содержания ГК и отношения Сгк:Сфк с 0,75 в варианте без удобрений до 0,92 в варианте с навозом (Уланов, Будажапов, Лапухин и др., 2019). Отмечается, что увеличение количества гумуса более выражено на почвах тяжелого гранулометрического состава, в которых скорость минерализации значительно меньше, чем в почвах легкого гранулометрического состава (Васбиева, Завьялова, Фомин и др., 2019).

Обобщение результатов длительных полевых опытов Географической сети России указывает на увеличение запасов углерода в почвах в среднем на 20% при внесении навоза в дозе около 10 т/га. Наименьший уровень прироста углерода под действием навоза наблюдается на черноземах, что объясняется исходно высокими запасами в них гумуса (до 600-700 т/га), большой устойчивостью почвенного органического вещества и несколько меньшими дозами внесения навоза (Сычев, Налиухин, Шевцова и др., 2020).

Наряду с приведенными данными о положительном влиянии свиного навоза на количество и качество гумуса, отмечаются случаи отрицательного воздействия на них систематического применения высоких доз бесподстилочного навоза. Так, на дерново-подзолистых почвах республики Беларусь за 10 лет ежегодного их удобрения жидким навозом КРС и свиными навозными стоками были установлены признаки деградации качественного состава гумуса: снижение содержания фракции ГК₂ до 3,5-4,5 %, ее доли в сумме гуминовых кислот до 22-26%, сужение отношения ГК/ФК до 0,48-0,54, что свидетельствовало о фульватной направленности процесса гумусообразования (Богатырева, Серая, Бирюкова и др., 2019). Сообщается о частичной минерализации органического вещества в почве за счет длительного микробного окисления (Plaza et al., 2004). Эти негативные явления можно устранить путем совместного использования бесподстилочного навоза и соломы (Андреев, Новиков, Лукин, 1990; Барановский, Павлоцкий, 2010). На основании обобщения опытов, проведенных в

Германии, сделано заключение о более эффективном воздействии на воспроизводство почвенного гумуса подстилочного навоза по сравнению с бесподстилочным (Бесподстилочный навоз ..., 1978).

1.4 Влияние свиного навоза на содержание подвижных гумусовых веществ

Одним из информативных показателей гумусного состояния почв может являться содержание подвижных гумусовых веществ. Эта часть гумуса служит чувствительным индикатором изменений химического состава органического вещества, поскольку именно она в наибольшей степени подвергается процессам трансформации при сельскохозяйственном использовании (Кирюшин, Ганжара, Кауричев и др., 1993; Кленов, 1998; Шпедт, 2013 и др.)

Согласно современным представлениям, почвенное органическое вещество принято подразделять на две составные части: лабильную (подвижную) и стабильную (консервативную), которые играют разную роль в почвенном плодородии. Лабильное органическое вещество почвы состоит из двух групп компонентов, существенно различающихся между собой по содержанию, составу, свойствам, способам экстрагирования и агроэкологическим функциям. Первая группа представляет собой легкоразлагаемое органическое вещество, вторая – лабильные гумусовые вещества. По мнению Мамонтова В.Г., Афанасьева Р.А., Соколовской Е.Л. (2018) органические удобрения относятся к легкоразлагаемому органическому веществу наряду с растительным опадом, детритом, остатками почвенных животных и микроорганизмов. Особое место занимают лабильные (подвижные) гумусовые вещества, представляющие комплекс относительно легко трансформируемых соединений, образующиеся в процессе разложения и гумификации органических остатков, корневых выделений и продуктов метаболизма почвенных микроорганизмов (Мамонтов, Родионова, Бруевич, 2009). В отличие от консервативной части органического вещества почвы подвижные гумусовые соединения принимают участие в формировании эффективного

плодородия (Мамонтов, Афанасьев, Родионова и др., 2008; Мамонтов, Афанасьев, Соколовская, 2018; Шарков, Бреус, Данилова, 1994; Шпедт, 2007; Kalbitz et al., 2003). Они являются непосредственным источником пополнения запасов элементов питания, прежде всего азота, для сельскохозяйственных культур, энергетическим материалом для различных микроорганизмов, фактором формирования водопрочной структуры (Борисов, Ганжара, 2014; Ганжара, Миренков, Родионова, 2001; Когут, Сысуев, Холодов, 2012; Яшин, Авдеева, Когут и др., 2015; Wander, 2004).

В научной литературе представлено множество материалов, которые свидетельствуют о тесной положительной связи подвижных гумусовых веществ с окультуренностью и плодородием почв. Так, на дерново-подзолистых почвах республики Беларусь в результате ежегодного применения свиных навозных стоков отмечалось возрастание подвижности гумусовых веществ по сравнению с неудобренными аналогами (Богатырева, Серая, Касьяненко и др., 2020).

Наибольшее увеличение доли подвижных гумусовых веществ обеспечивают органоминеральные системы удобрения. Так, запасы подвижных гумусовых веществ при совместном применении навоза и минеральных удобрений на дерново-подзолистых почвах составляли 9067-11592 кгС/га, в то время как применение только органических удобрений обеспечивало содержание подвижных гумусовых соединений до 2556-3545 кгС/га (Лапа, Серая, Богатырева и др., 2009). Сходные результаты получены в Омской области на лугово-черноземной почве: наибольшее содержание подвижного гумуса (6160 мг/кг) установлено при совместном применении минеральных удобрений и соломы ($N_{15}P_{23}$ + солома 13,5 т/га), в варианте с одной соломой оно было меньше – 5130 мг/кг (Балабанова, Воронкова, 2015).

В целом, анализ литературных источников показывает положительное влияние подстилочного свиного навоза и его твердой фракции на гумусное состояние почв. Однако данный вопрос не изучен для условий агроценозов Омского Прииртышья.

1.5 Влияние свиного навоза на биологическую активность и фитотоксичность почв

Особая роль в формировании и сохранении почвенного плодородия принадлежит биологическим факторам (Звягинцев, 1987; Емцев, Мишустин, 2020; Мишустин, 1972). Биологическая активность, под которой понимают интенсивность всех биологических процессов, определяется биохимической деятельностью разных групп почвенных микроорганизмов и влияет на скорость трансформации и синтеза органического вещества, мобилизацию элементов питания растений и другие важные процессы. В связи с этим показатели биологической активности используются в качестве индикаторов почвенного плодородия. Показатели биологической активности почвы дают ценную информацию о результате сложного взаимодействия между почвенными микроорганизмами, продуктами распада растительной массы и почвой, а также об экологических условиях среды. Изучение биологической активности почвы приобретает особое значение при переходе на экологически безопасные методы ведения сельского хозяйства.

Исследования показывают, что органические удобрения, в частности свиной навоз, как правило, повышают биогенность почвы, увеличивают численность различных групп микроорганизмов (Андреев, Новиков, Лукин, 1990; Золкина, 2019; Du et al., 2020; Loss et al., 2022; Plaza et al., 2004).

Целлюлозолитическая активность почв. Одним из показателей общей биологической активности почвы является ее целлюлозолитическая способность, отражающая интенсивность процессов деструкции и синтеза органического вещества почвы. По мнению ряда исследователей, скорость разложения клетчатки служит основной характеристикой трансформации органического вещества, вовлечения труднодоступных форм углерода в биологический круговорот и в конечном итоге определяет уровень почвенного плодородия и продуктивность биоты (Наплекова, 1974; Тихомирова, 1973).

Целлюлоза представляет собой наиболее распространенное в биосфере углеродсодержащее соединение, в основном продуцируемое высшими растениями, некоторыми грибами и бактериями. Разложение целлюлозы – длительный и энергоемкий естественный деструкционный процесс, играющий важную роль в круговороте углерода (Звягинцев, Бабьева, Зенова, 2005). Он осуществляется разными группами микроорганизмов: аэробными бактериями и грибами, анаэробными мезофильными и термофильными бактериями. По литературным данным, с процессом разложения целлюлозных компонентов напрямую связано образование гумусовых веществ почвы и формирование почвенной структуры (Хазиев, 2015).

Исследованиями Тихомировой Л.Д. (1973), Наплековой Н.Н. (1974) была установлена тесная сопряженность разложения клетчатки с температурой, влажностью, содержанием в почве азота и фосфора, а также с продуктивностью пшеницы. Для пахотных лугово-черноземных почв Омского Прииртышья установлено, что интенсивность распада целлюлозы прежде всего зависит от наличия подвижного азота, особенно нитратных форм (Хамова, Юшкевич, Воронкова и др., 2019), а между ее величиной и урожайностью ячменя наблюдается существенная зависимость (Шулико, Хамова, Тукмачева, 2016).

Имеющиеся публикации указывают на увеличение целлюлозолитической активности разных типов почв в результате применения органических и органоминеральных систем удобрения. Так, исследования, проведенные в Беларуси, показали усиление разложения целлюлозы в дерново-подзолистой супесчаной почве в 1,2-2,1 раза, наблюдаемое при совместном применении минеральных удобрений и навоза в дозах 40 и 80 т/га (Щур, Виноградов, Валько, 2015). Поддубная О.В., Симанков О.В. (2016) установили резкое увеличение количества нитрифицирующих и целлюлозоразрушающих микроорганизмов в дерново-подзолистой почве и увеличение разложения клетчатки в 2 раза при последствии навоза в дозе 50 т/га. Наибольшая активность микроорганизмов наблюдалась в вариантах с последствием навоза в дозе 100 т/га совместно с применением возрастающих доз азота.

В длительном (50 лет) стационарном опыте ВНИИОУ дерново-подзолистая супесчаная почва при использовании навоза в дозе 20 т/га в условиях достаточной влажности и тепла характеризовалась высокой степенью разложения целлюлозы – 80% (Золкина, 2019). В длительном полевом опыте на этом же типе почвы в Смоленской области наблюдалась тенденция к возрастанию распада клетчатки при увеличении доз навоза и минеральных удобрений (Сычев, Мерзлая, Волошин, 2016). Увеличение численности целлюлозоразрушающих микроорганизмов установлено в светло-серой лесной почве Владимирской области на фоне доз навоза от 40 до 80 т/га совместно с минеральными удобрениями (Зинченко М.К., Зинченко С.И., Федулова, 2019). Исследования, проведенные в Нижегородской области на светло-серой лесной почве, также свидетельствуют о том, что жидкая и твердая фракции свиного навоза способствовали усилению целлюлозной активности (Титова, Варламова, Рыбин и др., 2019).

В стационарном опыте ВНИИЗиЗПЭ в Курской области установлено, что целлюлозоразрушающая способность чернозема типичного при совместном внесении органических и минеральных удобрений была выше, чем при внесении только органических удобрений (Дудкина, 2019).

В целом, приведенные данные показывают, что твердая и жидкая фракции свиного навоза стимулируют целлюлозоразрушающую активность почв, но максимальная ее интенсификация отмечается при совместном применении с минеральными удобрениями.

Ферментативная активность почв в условиях применения свиного навоза. Одним из чувствительных показателей биологической активности почвы, отражающих интенсивность и направленность протекающих в ней биохимических процессов, является ферментативная активность (Звягинцев, Бабьева, Зенова, 2005; Купревич, Щербакова, 1966; Хазиев, 1972, 2005 и др.). Согласно исследованиям ряда авторов (Щербакова, 1983; Dick, 1992; 1994) она находится в функциональной зависимости от биологического состояния почвы и поэтому ее вполне закономерно использовать в качестве показателя для характеристики почвенного плодородия и экологического состояния почвы.

Под ферментативной активностью понимают совокупность процессов, катализируемых внеклеточными (иммобилизованными на почвенных частицах и стабилизированными в почвенном растворе) и внутриклеточными ферментами почвенной биоты. Она отражает потенциальную способность почвенной системы сохранять гомеостаз (Зинченко, 2019; Хазиев, 2019).

При участии ферментов в почве происходят сложные биохимические реакции синтеза и трансформации органических веществ, мобилизации элементов питания растений и др. По определению Звягинцева Д.Г. с соавторами (2005) «ферменты – биологические катализаторы белковой природы, образуемые живыми организмами характеризующиеся мощностью, лабильностью и специфичностью действия». Они отличаются высокой активностью, строгой специфичностью действия и большой зависимостью от условий среды (влажности, температуры, свойств почвы и т.д.) (Хазиев, 1982; Boyd, Mortland, 1990).

В почвах обнаружены представители всех известных современной энзимологии классов ферментов, но наиболее важную роль для почвенных процессов играют гидролитические и окислительные ферменты, выполняющие критические функции почвы – минерализацию и гумификацию органических веществ (Звягинцев, Бабьева, Зенова, 2005; Зинченко, Винокуров, 2016; Зинченко, 2019). По мнению Хазиева Ф.Х. (1976) и Галстяна А.Ш. (1978) при оценке биологической активности почв агроэкосистем необходимо исследовать комплекс наиболее распространенных ферментов и оценивать активность каталазы, инвертазы, уреазы, дегидрогеназы, фосфатазы.

Большинство исследований указывают на существенное влияние органических и минеральных удобрений, как фактора интенсификации продуктивности сельскохозяйственных культур, на ферментативную активность почв. Так, в исследованиях Пермского НИИСХ показано увеличение активности каталазы на 22%, дегидрогеназы в 6 раз, инвертазы в 2 раза, уреазы в 2,2 раза в дерново-подзолистой почве при использовании в течение 49 лет навоза в дозе 20 т/га относительно контроля. При этом наименьшая ферментативная деятельность

и снижение активности каталазы на 53-69% наблюдалась при высоких дозах минеральных удобрений. Корреляционным анализом выявлена прямая связь деятельности ферментов с величиной $pH_{\text{сол}}$. Кроме того, активность инвертазы и дегидрогеназы коррелировала с гумусом, инвертазы и уреазы – с минеральным азотом (Ямалтдинова, Завьялова, Субботина, 2019). В опытах Волынской В.П. (1999), Лошакова В.Г., Иванова Ю.Д., Синих Ю.Н. (1997) органические и сидеральные удобрения увеличивали активность уреазы на 52%, протеазы на 45%, инвертазы на 10%, каталазы на 17 %.

В длительном стационарном опыте на дерново-подзолистой легкосуглинистой почве (республика Беларусь) при использовании навоза в дозе 8 т/га отмечена умеренная активность гидролаз и оксидаз и существенное повышение ее при совместном применении навоза с минеральными удобрениями (Лапа, Михайловская, 2015).

В опытах Владимирского НИИСХ на серых лесных почвах применение органических удобрений на фоне минеральных положительно сказалось на активности уреазы, при этом самый высокий ферментативный пул был установлен в первый год действия удобрений (Зинченко С.И., Стоянова, 2014; Зинченко М.К., Винокуров, 2016). Наиболее благоприятным для повышения активности инвертазы и уреазы на данном типе почв являлся органоминеральный фон, с применением навоза в дозах от 40 до 80 т/га в сочетании с минеральными удобрениями (Зинченко М.К., 2019).

Положительное влияние свиного навоза на деятельность ферментов также отмечается зарубежными авторами. В полевых опытах на лювосолях Литвы установлено, что внесение в почву навоза в дозе 42 т/га и выращивание промежуточных посевов на зеленое удобрение влияло на уреазную активность больше, чем на инвертазную. Активность уреазы слабо, но существенно коррелировала с содержанием гумуса (Марцинкявичене, Богужас, Балните и др., 2013). Сообщается, что систематическое применение свиного навоза в дозах от 30 до 60 т/га в течение 28 лет увеличивало активность арилсульфатазы, глюкозидазы, фосфатазы, однако она снижалась уже через год без применения навоза (Navroski

et al., 2019). Вывод об интенсификации деятельности уреазы, каталазы и инвертазы на 16,1-23,5% на фоне увеличения численности бактерий, грибов и актиномицетов сделан на основе обобщения опытов в Китае (Du et al., 2020). Применение навозной жижи свиней на глинистой Oxisol Бразилии снизило отношение активности почвенных ферментов на единицу углерода микробной биомассы. Обнаружена обратная связь фосфатазной активности с доступным фосфором почвы (Balota, Machineski, Truber, 2011).

Влияние свиного навоза на токсичность почвы. Одним из способов оценки и контроля качества почв агроэкосистем является определение токсичности почвы, которая отрицательно влияет на рост, развитие и урожайность возделываемых культур. Причинами развития токсичности являются образование продуктов жизнедеятельности растений и микроорганизмов, особенно отдельных видов грибов (*Fusarium*, *Penicillium*, *Aspergillus* и др.), межорганизменные взаимодействия, перестройка микробоценозов и возрастание численности организмов-фитопатогенов, а также неблагоприятные физико-химические условия среды, загрязнение агрохимикатами (Берестецкий, 1978; Гродзинский, 1990; Пивоваров, 1981). Фитотоксичность является интегральным показателем суммарного воздействия почвенных поллютантов на рост и развитие сельскохозяйственных растений, которая проявляется в торможении роста корней, хлорозе, задержке поступления питательных веществ и нарушении их обмена, подавлении дыхательного процесса (Шулико, Хамова, Тукмачева, 2016а).

Применение навоза, в частности свиного, изготовленного с нарушением технологии, также может нарушать рост и развитие сельскохозяйственных культур, поскольку в нем содержатся значительные концентрации различных токсичных соединений (Мерзлая, Щеглова, Леонов, 2012). Имеющиеся данные указывают на возможность развития фитотоксичности почвы в результате применения в основном жидкого навоза и навозных стоков при высоких дозах. Так, сообщается о незначительной фитотоксичности светло-серой лесной почвы на этапе проростков пшеницы, которая к началу всходов нивелировалась (Титова, Варламова, Рыбин и др., 2019). На дерново-подзолистых почвах Беларуси

наибольший угнетающий эффект на всхожесть семян, длину ростков и корней отмечен в пробах почв, отобранных через две недели после внесения свиных стоков в дозах 350-450 и 500-600 т/га, однако в целом за вегетационный период полученные результаты свидетельствовали об отсутствии фитотоксичности почвы (Богатырева, Серая, Кирдун и др., 2020; Богатырева, Серая, Касьяненко и др., 2021). В то же время имеются данные о снижении токсичности почвы, в частности, проявившейся на фоне минеральных удобрений, под действием навоза (Дудкина, 2019; Зинченко М.К., Селицкая, 2011).

1.6 Влияние свиного навоза на физико-химические и физические свойства почв

Не менее важными показателям почвенного плодородия и условий развития сельскохозяйственных культур являются физико-химические и физические свойства. Навоз может оказывать на них как прямое, так и косвенное, прежде всего через изменения состояния органического вещества, воздействие. Влияние его на свойства почвы зависит от химического состава, степени разложения, фракции и дозы применения.

Многие исследователи отмечают, что систематическое применение органических удобрений в том числе и свиного навоза, в разных почвенно-климатических зонах увеличивает емкость поглощения почв, что связано, как правило, с увеличением содержания гумуса в почве. Кроме того, свиной навоз имеет щелочную реакцию среды, в связи с чем способствует стабилизации реакции среды на кислых почвах.

Так, твердая фракция свиного навоза в дозе 30 т/га и жидкая в дозах 60 и 90 т/га снижали кислотность светло-серой лесной почвы с одновременным повышением суммы поглощенных оснований. При этом данный показатель увеличивался только на полях, где применяли твердый навоз (Титова, Варламова, Рыбин и др., 2019). При использовании бесподстилочного свиного навоза с рН 9,9 в дозах от 40 до 240 т/га отмечалось увеличение рН дерново-подзолистой

среднесуглинистой почвы (Новгородская область) с 6,1-6,5 на контроле до 6,8-7,1 в вариантах с удобрением в течение трех лет исследований (Шишов, Николаева, Гришанов, 2011). Длительное применение органической системы удобрения на дерново-подзолистой почве Среднего Предуралья привело к снижению обменной (на 0,4-0,7 единиц) и гидролитической кислотности почвы (0,5-0,8 ммоль/100 г), увеличению суммы обменных оснований и степени насыщенности основаниями с 89 до 92-94 % (Ямалтдинова, Завьялова, Субботина, 2019).

Влияние свиного навоза на реакцию среды черноземов зависит от длительности и доз его использования. Так, за 28-летний период применения свиных стоков на черноземе типичном Белгородской области отмечено их незначительное подщелачивание и увеличение суммы поглощенных оснований на 3-5 ммоль/100 г почвы (Тютюнов, Соловиченко, Самыкин и др., 2013). В опытах на черноземе выщелоченном Краснодарского края в вариантах с навозом наблюдалось увеличение рН с 7,14-7,16 до 7,53-7,61 (Антоненко, 2017). В то же время исследованиями Алтайского НИИСХ (2011-2016 гг.) на черноземе обыкновенном с бесподстилочным жидким свиным навозом не было выявлено существенного изменения реакции среды в пахотном слое (Усенко, Литвинцева, Литвинцев, 2016). Систематическое применение подстилочного и бесподстилочного навоза в дозах 20 и 60 т/га величина рН снижалась на 0,02-0,11 единиц в слоях 0-20 и 0-40 см черноземов (Усенко, Старостенко, 2000).

Исследования, проведенные за рубежом, также демонстрируют изменения физико-химических свойств почв при внесении в них свиного навоза. В опытах бразильских исследователей показано, что свиной навоз увеличивал рН водной вытяжки и содержание обменных кальция и магния в почве (Couto et al., 2013). Обобщение и анализ опубликованных данных исследований в Китае указывает на положительный эффект свиного навоза, применяемого на кислых почвах (Du et al., 2020).

В то же время, при использовании жидкой фракции навоза необходимо учитывать содержание в ней натрия, который может оказать неблагоприятное влияние на физико-химические свойства почв. Тютюнов С.И., Соловиченко В.Д.

(2020) приводят данные об увеличении доли обменного натрия в черноземах более 5% суммы оснований и развитие осолонцевания при ежегодном внесении свиных стоков, содержащих данный элемент в концентрации 0,04-0,08%.

Агроэкологическое состояние почв агроценозов во многом определяется их физическими свойствами, в связи с чем актуальным является изучение влияния на них органических удобрений. Имеющиеся данные указывают на неодинаковое воздействие различных фракций свиного навоза на физические свойства почв. В целом, в работах отмечается более благоприятное влияние на них твердой фракции удобрения по сравнению с жидкой. Так, в опыте с черноземом выщелоченным установлено уменьшение количества глыбистых агрегатов на 4-22% с применением свиного навоза (Антоненко, 2017). Твердая фракция свиного навоза и компосты на его основе повышали количество водопрочных агрегатов, скорость впитывания и инфильтрации воды, снижали твердость и объемную массу почвы (Андреев, Новиков, Лукин, 1990). Обзор данных, проведенный Loss et al. (2022) также свидетельствует об улучшении агрегатного состояния и водных свойств почв с применением навоза с высоким значением C:N.

В исследованиях Бабенко М.В. (2016) установлено, что разовое внесение исходного свиного навоза, его твердой фракции, а также в сочетании ее с соломой, снижало плотность корнеобитаемого слоя дерново-подзолистой супесчаной почвы, а также увеличивало коэффициент структурности в пахотном слое.

В то же время бесподстилочный жидкий свиной навоз и стоки при длительном использовании могут привести к уплотнению почвы, уменьшению объема пор и ухудшению инфильтрационных свойств (Андреев, Новиков, Лукин, 1990). Аналогичные данные приводятся Тютюновым С.И., Соловиченко В.Д. (2020), которыми показано, что применение свиных стоков без научно-обоснованного режима и норм внесения на протяжении 7-10 лет и дольше, приводило к распылению пахотного слоя, увеличению фракций мелкой пыли, ила и коллоидов, плотности сложения, слитизации, ухудшению водно-воздушных свойств почвы.

1.7 Экологические аспекты применения свиного навоза в агроценозах

Несмотря на значительное количество работ, доказывающих агрохимическую и агрономическую эффективность свиного навоза, как органического удобрения, производство и хранение его на животноводческих комплексах может сопровождаться различными неблагоприятными явлениями в почвах и других компонентах ландшафтов. Сообщается, что экосистемы, находящиеся в зоне влияния свинокомплексов, подвергаются интенсивному загрязнению природных сред (Пилип, 2019; Ciganek, Neca, 2008).

Свиной навоз является токсичным отходом и относится к 3 классу опасности, перепревший – к малоопасным отходам 4 класса (Приказ Росприроднадзора от 18.07.2014 № 445 «Об утверждении федерального классификационного каталога отходов»). В различных регионах России при строительстве и модернизации крупных свиноводческих комплексов возникает проблема утилизации отходов, для хранения которых необходимы значительные площади. Поэтому свиной навоз необходимо использовать с учетом соблюдения всех технологических и экологических требований безопасности.

Среди экологических проблем, возникающих при использовании свиного навоза отмечается образование токсических газов: сероводорода, аммиака, меркаптана и других (Koh, Shaw, 2016; Shen et al., 2016; Hansen et al., 2018). В воздухе свиноферм идентифицировано порядка 200 химических соединений (Zhu, 2000). По имеющимся данным, свинокомплекс на 108 тыс. голов свиней в год ежедневно выбрасывает в атмосферу 159 кг аммиака, 14,5 кг сероводорода, 25,9 т пыли, 1,5 млрд. ед. микроорганизмов (Солдатова, Большаков, Лаптев, 2011). Высокое содержание аллергенов, промышленной пыли и золы, а также летучих органических соединений влияют на здоровье населения живущих по соседству с фермами (Найденко, 2015).

При нарушении технологии и утилизации необеззараженного свиного навоза происходит биологическое загрязнение почв патогенными микроорганизмами, способными сохраняться в ней длительное время (Дабахова, Питина, 2017).

Значительную проблему может представлять засоление почв при использовании свиных стоков с высоким содержанием легкорастворимых солей. На это указывают данные об аккумуляции в почве токсичных для растений бикарбонатов, карбонатов и хлоридов натрия, явившихся причиной деградации чернозема типичного и практически полного отсутствия на нем растительности. В связи с этим должно контролироваться содержание легкорастворимых солей в стоках, которое не должно превышать 2 г/л. Запрещается внесение свиных стоков с щелочной реакцией на карбонатных и солонцеватых черноземах (Тютюнов, Соловиченко, 2020). К отрицательным последствиям систематического применения свиных стоков на черноземах относится повышение в них доли обменного натрия, вызывающего снижение качества состава поглощенных катионов и физических свойств, а также переувлажнение профиля (Тютюнов, Соловиченко, Навольнева, 2015).

При хранении навоза на грунтовых площадках происходит избыточное накопление в верхних слоях почв избыточных концентраций азота, фосфора и других биофильных элементов, что может негативно влиять на качество почвенно-грунтовых вод. В ряде случаев отмечалось превышение фоновых значений, а иногда и ПДК, содержания меди и цинка в почвах, а также загрязнение грунтовых вод нитратами, нитритами и аммонием (Дабахова, Питина, 2017; Лукин С.М., Тарасов, 2020). Возможно повышенное поступление в почву потенциально токсичных для биоты мышьяка, свинца, ртути, кадмия и других элементов (Лукин С.В., Селюкова, 2016; Селюкова, 2016).

Наиболее существенные экологические проблемы связаны с хранением и утилизацией жидкого навоза, в связи с чем предлагаются различные подходы и технологии его переработки, снижающие неблагоприятные нагрузки на агроландшафты. Так, Никифорова Ю.Ю. (2021) описывает способ ускоренного обеззараживания жидкого свиного навоза в течение 1-2 месяцев при помощи добавления фосфогипса и перегноя КРС. Во избежание ухудшения свойств почв, в частности их структурного состояния, предлагается обязательное компостирование жидкого свиного навоза (Слюсарев, Осипов, Кузнецов, 2021).

Наиболее негативное влияние свиных стоков наблюдается при поверхностном их внесении. Внутрпочвенное внесение с помощью специальных шланговых систем уменьшает потери газообразных продуктов, в том числе азота, способствует уменьшению запаха, улучшению санитарных условий (Новоселов, 2019).

В связи с вышеизложенным, производство, хранение и использование свиного навоза должны обязательно предусматривать мероприятия по охране почв и окружающей природы с учетом ландшафтных особенностей территории, а также организацию мониторинга состояния почвы по показателям химических, физико-химических, агрофизических и биологических свойств.

Заключение. Таким образом, обзор литературных источников по данным отечественных и зарубежных ученых свидетельствует о возможности и целесообразности применения различных фракций свиного навоза в качестве органического удобрения. Его использование способствует улучшению баланса элементов питания и органического вещества, усилению микробиологической активности, улучшению физических свойств, возрастанию поглотительной способности, буферности почв, определяющих уровень ее плодородия. Одним из важнейших условий при этом является соблюдение технологических и экологических требований внесения данного удобрения, включая оптимизацию его доз, а также контроль за состоянием почв агроценозов.

В настоящее время в Омской области функционируют крупные свиноводческие комплексы: ОАО «Омский бекон», ООО «РУСКОМ-Агро», ООО «Титан-Агро», ЗАО ПК «ОША», ООО «Агрокомплекс Ударный», КФХ «Люфт» и другие. Каждый из них производит по 9 тыс. тонн свинины в год, при одновременном содержании свиней по 60 тыс. голов (Погребцова, 2014). В связи с этим возникает вопрос о грамотном использовании и утилизации свиного навоза. На многих предприятиях внедрены новые технологии для переработки жидкого навоза, разделение его на фракции и ускоренное компостирование твердой фракции в целях обеззараживания, дегельминтизации и удаления запаха. Ускоренное обеззараживание жидкой фракции, уменьшенной в объёме за счёт отбора твёрдой фракции, позволяет в два раза уменьшить потребность в лагунах,

что значительно снижает не только капитальные затраты, но и воздействие на природную среду.

На фоне проявляющейся тенденции к уменьшению содержания в пахотных почвах Омского Прииртышья органического вещества, увеличения дефицита биофильных элементов (Красницкий, Шмидт, Шойкин, 2017; Красницкий, Шмидт, 2019) агроэкологически обоснованное применение свиного навоза в качестве органического удобрения может являться эффективным приемом в решении данной проблемы, стать резервом повышения урожайности сельскохозяйственных культур. Однако, несмотря на имеющиеся исследования по изучению влияния свиного навоза на продуктивность сельскохозяйственных культур, вопросы его воздействия на свойства почвы в условиях Омского Прииртышья изучены недостаточно. В связи с этим вопрос о влиянии свиного навоза на показатели плодородия пахотных черноземных почв является актуальным, имеет как теоретическую, так и практическую значимость.

2 УСЛОВИЯ, ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ПРОВЕДЕНИЯ ИССЛЕДОВАНИЙ

2.1 Природно-климатические условия территории проведения исследований

Исследования проводили в 2016-2019 гг. в полевых опытах, заложенных в двух населенных пунктах Омской области: г. Омск (опытное поле Омского ГАУ) и в д. Сосновка Кормиловского района на полях ООО «РУСКОМ-Агро» (рисунок 1).

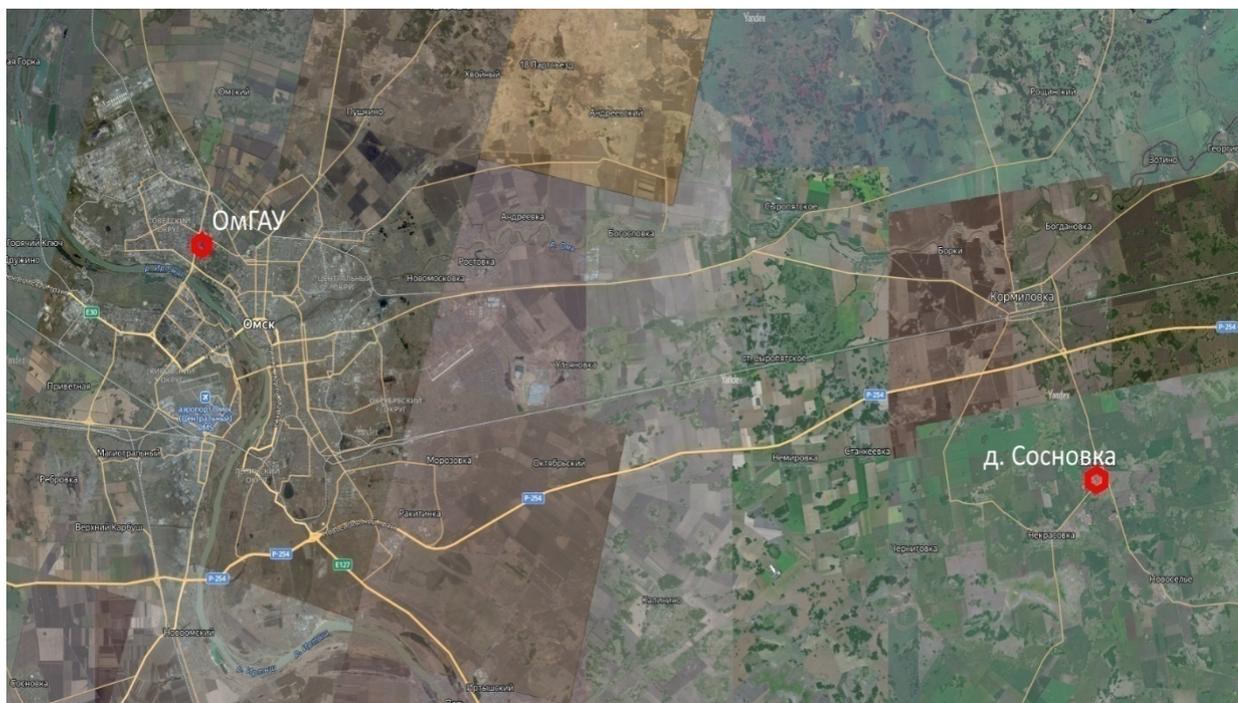


Рисунок 1 – Населенные пункты проведения исследований

Территория Омской области расположена на юге Западно-Сибирской низменности, по среднему течению р. Иртыш. Пункты проведения исследований находятся в южной подзоне лесостепной зоны. Согласно почвенно-географическому районированию она принадлежит Западно-Сибирской провинции серых лесных автоморфных и полугидроморфных почв,

выщелоченных и обыкновенных черноземов, лугово-черноземных и луговых почв, комплексов солонцов, солончаков, солодей и болотных почв (Добровольский, Урусевская, 2004). По общему устройству поверхности территория представляет собой пологоволнистую равнину с незначительным уклоном с юга на север.

Главными почвообразующими породами региона, влияющими на генезис, состав и свойства формирующихся почв являются преимущественно четвертичные образования разного происхождения и литологического состава. Черноземы и лугово-черноземные почвы чаще всего формируются на четвертичных желто-бурых лессовидных карбонатных суглинках и глинах.

Почвенный покров области отличается большим разнообразием типов и видов почв, имеющих свои особенности по качеству и уровню естественного плодородия. В структуре пахотных земель почвы черноземного ряда почвообразования занимают 2456,4 тыс. га, лугово-черноземные почвы – 496,1 тыс. га (Проблемы почвенного плодородия..., 2012).

Территория опытного поля Омского ГАУ расположена на второй надпойменной террасе р. Иртыш, так называемом Прииртышском увале. Терраса сложена верхнечетвертичными аллювиальными отложениями с характерным чередованием глин с донной горизонтальной слоистостью. Поверх глин залегают пески с гравием и галькой, перекрытые желтовато-бурыми лессовидными суглинками, которые служат почвообразующими породами (Мищенко, Халилова, 1999). Согласно агропочвенному районированию территория относится к лесостепному Прииртышско-Тарскому террасовому хорошо дренированному району высокоплодородных черноземных и лугово-черноземных почв. Содержание гумуса в них составляет 4-6%, общим признаком гранулометрического состава является высокое содержание крупной пыли и мелкого песка, свидетельствующее об облессованности пород. Значительная площадь территории (до 18%) подвергается процессам плоскостного смыва, линейного размыва, а более 60% подвержено дефляции (Рейнгард, 2009).

Территория д. Сосновка Кормиловского района расположена в 64 км на юго-восток от г. Омска. По геоморфологическому районированию земли расположены в пределах Приомьской неогеновой озёрно-аллювиальной равнины. Почвообразующие породы – покровные лессовидные пылеватые суглинки элювиально-делювиального происхождения. Поверхность представляет собой слабоволнистую равнину с выраженным микрорельефом.

Территория Кормиловского района отнесена к VI агропочвенному лесостепному Приомьскому району черноземов и лугово-черноземных почв среднего и тяжелого гранулометрического состава. Почвенный покров относительно однороден и представлен сочетаниями черноземов обыкновенных солонцеватых мало- и среднеспособных мало- и среднеспособных. Локально среди обыкновенных черноземов по пониженным равнинам сформировались лугово-черноземные почвы и черноземы выщелоченные среднеспособные среднеспособные, а среди черноземов солонцеватых – различные виды солонцов лугово-черноземных. Процессы дефляции, плоскостного смыва и линейного размыва почв проявляются от средней до сильной степени, местами до очень сильной (Рейнгард, 2009).

Погодно-климатические условия. Климат Омского Прииртышья относится к типично континентальному типу, что обусловлено географическим положением и рельефом (Агроклиматические ресурсы Омской области, 1971). Равнинность территории способствует глубокому вторжению холодных арктических воздушных масс, приносящих в весенне-осенний период сильные заморозки.

Климат районов исследований характеризуется холодной продолжительной зимой и сравнительно коротким, но жарким летом. Продолжительность вегетационного периода составляет 160-165 дней, а период активной вегетации ($t^0 > 10$) – 125-130 дней с суммой положительных температур 1950-2100⁰С. Величина гидротермического коэффициента (ГТК) равная 1,0-1,1 указывает на неравномерность влагообеспеченности растений по годам. Среднегодовое количество осадков, характерное для лесостепи, составляет 330-345 мм, за теплый период активной вегетации – 220-230 мм.

Гидротермические условия вегетационных периодов 2016-2019 гг. по данным метеостанции в г. Омске представлены на рисунках 2, 3 и в приложениях А, Б. Погодные условия в д. Сосновка Кормиловского района характеризовались по метеостанции г. Омска, т.к. гидротермические условия аналогичны.

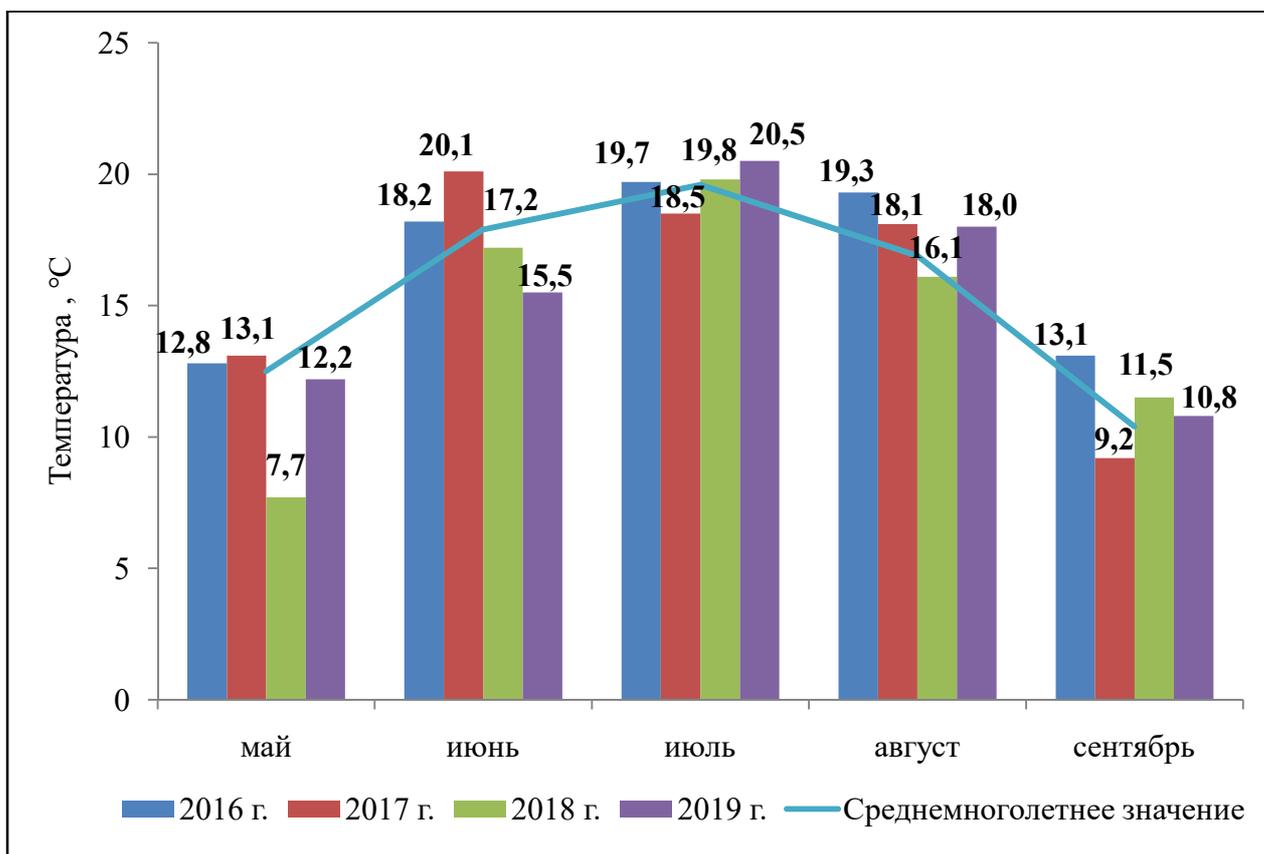


Рисунок 2 – Среднемесячная температура воздуха за 2016-2019 гг., °С
(метеостанция г. Омск)

Среднемесячная температура мая в 2016, 2017 и 2019 гг. была в пределах среднегодовых значений (рисунок 2). В 2018 г. в этом месяце наблюдалась необычайно холодная погода, на 4-5⁰С ниже нормы, всего 7,7⁰С. По многолетним данным такая температура воздуха в мае за период наблюдений отмечается в Омске один раз в 16 лет. Обильные осадки отмечены в 2018 г., 207% нормы. В 2019 г. осадков выпало чуть больше нормы (37 мм). Недобор осадков отмечен в 2017 и 2016 гг. (рисунок 3), особенно в 2016 г., где выпало всего 5 мм.

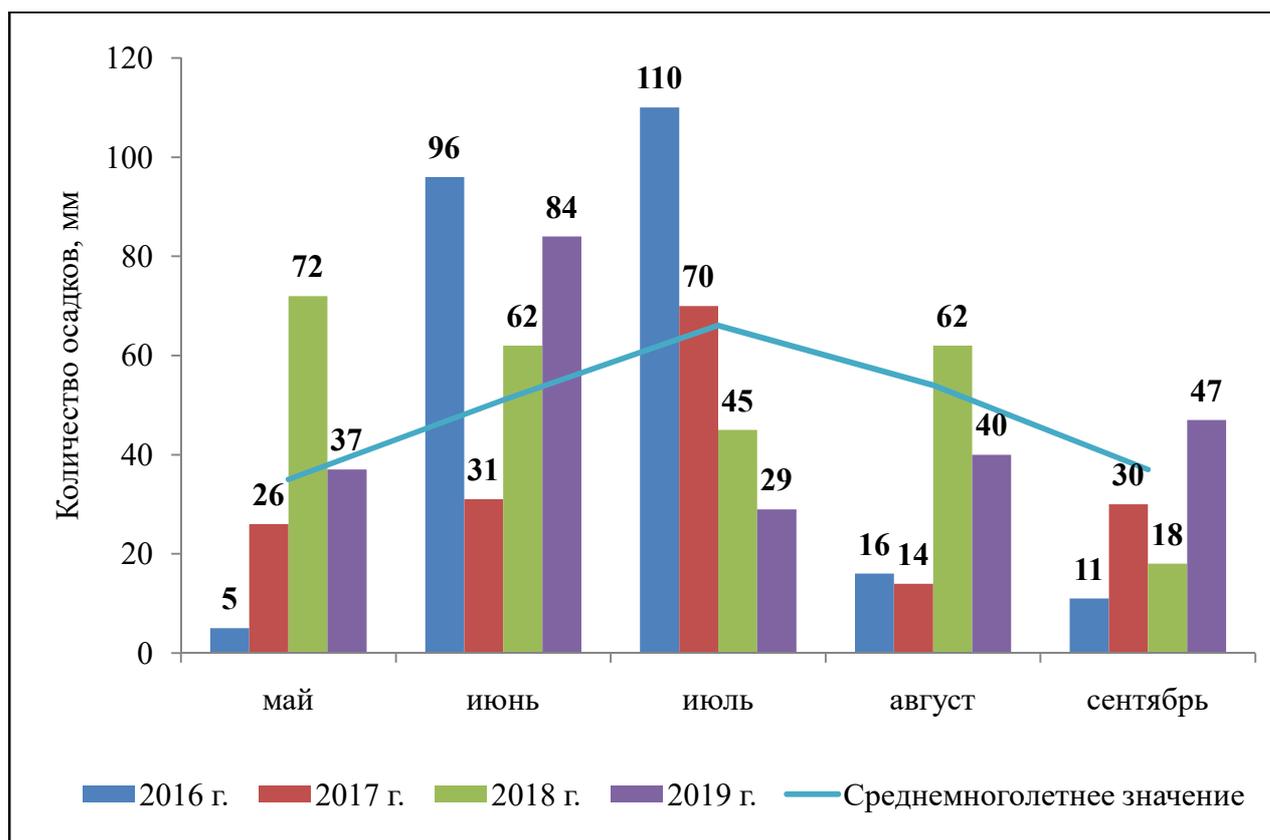


Рисунок 3 – Количество выпавших осадков за 2016-2019 гг., мм
(метеостанция г. Омск)

Июнь 2016-2018 гг. характеризовался теплой погодой. Отклонение от среднегодовых значений в сторону уменьшения на 2-3⁰С наблюдалось в июне 2019 г. Количество осадков в июне 2016, 2018 и 2019 гг. превышало среднегодовое значение (207, 121 и 165% от нормы, соответственно). В 2017 г. выпало всего 31 мм осадков, что на 20 мм меньше многолетних показателей.

Температура воздуха в июле 2016, 2018 гг. была в пределах средних значений (19,7-19,8⁰С). Прохладная погода наблюдалась в июле 2017 г. и составила 18,5⁰С. В 2019 г. температура воздуха была выше среднегодовых значений на 1-2⁰С. Дождливая погода отмечалась в 2016 и 2017 гг. – 166 и 107% от нормы, соответственно. Недобор осадков отмечен в июле 2018 и 2019 гг., их количество составило всего 45 и 29 мм, соответственно, при среднегодовом значении 66 мм.

Август характеризовался теплой погодой по всем годам исследований.

Дефицит осадков наблюдался по всем годам исследований, за исключением 2018 г., когда их количество составило 62 мм.

В сентябре преобладала теплая погода, в пределах или выше температурной нормы. Прохладная погода отмечена в сентябре 2018 г., на 1-2⁰С ниже среднемноголетних данных. Недостаточное количество осадков установлено в сентябре в 2016-2018 гг., однако в 2019 г. осадков за данный месяц выпало 47 мм, при среднемноголетнем значении 37 мм.

Величина ГТК в 2016 и 2019 г. находилась в пределах 1,08-1,10. Наиболее засушливый вегетационный период наблюдался в 2017 г. (ГТК – 0,70), холодный и влажный – в 2018 г. Таким образом, погодные условия в годы исследований были подвержены колебаниям по отдельным месяцам и вегетационным периодам, что оказывало влияние не только на развитие растений в опытах, но и на действие органических удобрений на почву, а также на процессы их трансформации.

2.2 Объекты и методы проведения исследований

Объектами исследований являлись агрочерноземы южной лесостепи Омского Прииртышья, различающиеся по мощности гумусного горизонта, содержанию гумуса, гранулометрическому составу. В период исследований были использованы полевые, лабораторные и аналитические методы. Влияние свиного навоза на свойства агрочерноземов изучали в полевых и лабораторных опытах.

На поле Омского ГАУ опытный участок был представлен агрочерноземом квазиглееватым абрадированным среднепахотным малогумусированным легкосуглинистым согласно (Классификация и диагностика, ... 2004; Полевой определитель..., 2008). По классификации почв 1977 г. почва отнесена к лугово-черноземной очень маломощной слабогумусированной легкосуглинистой. Участок расположен в северной, наиболее приподнятой части опытного поля, подверженной процессам плоскостного смыва. В результате этого почва является среднеэродированной (Рейнгард Я.Р., Рейнгард Л.М., Долженко и др., 2016).

Для морфологической характеристики почвы в 2016 г. вблизи с опытным участком был заложен почвенный разрез, описание которого приведено ниже.

Вскипает от соляной кислоты с глубины 42 см

Оглеение с 138 см

$\frac{PU}{0-20\text{ см}}$	Пахотный, серый, однородный по окраске, глыбисто-комковатый, редкие корни растений, среднесуглинистый, переход в горизонт B_1 резкий по линии вспашки.
$\frac{B_1}{20-42\text{ см}}$	Переходный, бурый с серыми пятнами, неоднородный по окраске, пылевато-глыбисто-комковатый, редкие корни растений, легкосуглинистый, переход в горизонт B_{2Ca} ясный.
$\frac{B_{2Ca}}{42-71\text{ см}}$	Переходный, бурый, однородный по окраске, комковато-пылеватый, карбонаты в форме пропитки, легкосуглинистый, переход в горизонт B_{3Ca} постепенный, резкий по гранулометрическому составу.
$\frac{B_{3Ca}}{71-111\text{ см}}$	Переходный, светло-бурый, пылевато-глыбисто-комковатый, однородный, карбонаты в форме пропитки, тяжелосуглинистый переход в горизонт C_{gCa} постепенный.
$\frac{C_{gCa}}{111-157\text{ см}}$	Горизонт почвообразующей породы, бурого цвета, однородный по окраске, с небольшими сизыми пятнами, глыбисто-комковатый, карбонаты в форме пропитки, тяжелосуглинистый.

Непосредственно на опытном участке мощность гумусного слоя изменялась от 20 до 30 см. По данным Мищенко Л.Н. и Халиловой С.Д. (1999) глубина залегания грунтовых вод на опытном поле варьирует в пределах 3,9-4,5 м, то есть преобладает полугидроморфный режим увлажнения. При этом отмечается выраженная сезонная, годовая и многолетняя динамика уровня грунтовых вод. Постоянное многолетнее переувлажнение нижней части профиля вызывает развитие глеевого процесса, что позволяет утверждать об эволюции черноземов в лугово-черноземные почвы. Некоторые свойства исследуемой почвы представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Свойства агрочернозема квазиглееватого среднепахотного легкосуглинистого (опытное поле Омского ГАУ, 2016 г).

Горизонт	Глубина, см	pH _{вод.}	Гумус, %	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	S*
				ммоль/100 г			
PU	0 – 20	6,75	2,76	13,3	3,19	0,15	16,6
B ₁	20 – 42	7,55	0,38	11,9	3,90	0,20	16,0
B _{2Ca}	42 – 71	8,96	0,13	–	–	–	–
B _{3Ca}	71 – 111	8,85	–	–	–	–	–
C _{gCa}	111 – 157	8,85	–	–	–	–	–

Примечание. Прочерк – не определяли; * – сумма обменно-поглощенных катионов. Содержание в горизонте PU частиц < 0,01 мм – 22,8%; < 0,001 мм – 13,3%.

Агрочернозем характеризовался низким содержанием гумуса в горизонте PU и резким его убыванием по профилю. Реакция среды была близкой к нейтральной, изменялась до щелочной в карбонатных горизонтах B_{2Ca}-B_{3Ca}. Гранулометрический состав почвы легкосуглинистый иловато-мелкопесчаный с преобладанием фракции размером 0,05-0,25 мм (64,4%) и содержанием илистой – 13,3%. Количество физической глины составило 22,8% (приложение В).

В связи с облегченностью гранулометрического состава и низким содержанием гумуса почва имела сравнительно низкую для черноземов сумму обменных оснований. Среди них на содержание обменного кальция приходилось 80,1% в горизонте PU и 74,3% в горизонте B₁. Доля магния составляла в них 19,2 и 23,4%, соответственно. Количество обменного натрия было небольшим: всего 0,9-1,2%. Обеспеченность почвы основными элементами питания до посева: N-NO₃ – очень низкая (4,48 мг/кг), P₂O₅ – повышенная (109 мг/кг), K₂O – очень высокая (311 мг/кг).

Почвенный покров опытных участков в д. Сосновка представлен агрочерноземами квазиглееватыми среднепахотными сильногумусированными тяжелосуглинистыми и среднесуглинистыми (по классификации почв 1977 г. лугово-черноземной маломощной малогумусной тяжелосуглинистой и среднесуглинистой почвами). Описание почвенного разреза агрочернозема тяжелосуглинистого приведено ниже.

Вскипает от соляной кислоты с глубины 33 см

Оглеение с 120 см

$\frac{PU}{0-25 \text{ см}}$	Пахотный, темно-серый, однородный по окраске, пылевато-комковатый, тяжелосуглинистый, переход в гор. AU постепенный.
$\frac{AU}{25-33 \text{ см}}$	Гумусо-аккумулятивный, переходный, темно-серый, неоднородный по окраске, пылевато-комковатый, тяжелосуглинистый, переход в гор. В _{1Ca} ясный.
$\frac{B_{1Ca}}{33-44 \text{ см}}$	Переходный, темно бурый, однородный, пылевато-комковатый, тяжелосуглинистый, карбонатный, переход в гор. В _{2Ca} постепенный.
$\frac{B_{2Ca}}{44-60 \text{ см}}$	Переходный, бурый, однородный по окраске, комковатый, тяжелосуглинистый, карбонатный, переход в гор. В _{3Ca} постепенный.
$\frac{B_{3Ca}}{60-102 \text{ см}}$	Переходный, бурый, однородный по окраске, комковатый, тяжелосуглинистый, карбонатный, в нижней части горизонта кристаллы гипса, переход в гор. С _{gCa} постепенный.
$\frac{C_{gCa}}{102-196 \text{ см}}$	Горизонт почвообразующей породы, буровато-желтый, однородный по окраске, с редкими сизоватыми пятнами, бесструктурный, тяжелосуглинистый, карбонаты в форме пропитки и конкреций.

Почва сформировалась в полугидроморфных условиях при уровне грунтовых вод от 3 до 6 м. Характеристика свойств верхнего слоя агрочерноземов в опытах с твердой и жидкой фракциями свиного навоза представлена в таблице 3.

Агрочерноземы участков опытов с различными фракциями навоза имели среднее содержание гумуса (по Орлову Д.С. и Гришиной Л.А.), близкую к нейтральной реакцию среды, высокую сумму обменных оснований.

Гранулометрический состав пахотного слоя почвы на опытном участке с жидкой фракцией характеризовался как среднесуглинистый мелкопесчано-крупнопылеватый. Почва опытного участка с твердой фракцией свиного навоза

имела тяжелосуглинистый иловато-крупнопылеватый гранулометрический состав (приложение В).

Таблица 3 – Характеристика слоя 0-20 см агрочерноземов квазиглееватых среднепахотных (д. Сосновка Кормиловский район, 2016 г.)

Опытный участок	рН _{вод.}	Частицы, %		Гумус, %	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	S*
		< 0,01 мм	< 0,001 мм		ммоль/100 г			
Опыт с твердой фракцией навоза	6,72	48,5	24,5	5,95	25,0	9,56	0,91	35,5
Опыт с жидкой фракцией навоза	6,50	37,9	17,1	5,55	21,3	6,76	0,48	28,5

Примечание. * – сумма обменно-поглощенных катионов.

Содержание обменного кальция в почвах было высоким, на его долю приходилось 70,4-74,7% суммы обменных катионов. Агрочерноземы обладали повышенным количеством обменного Mg (23,7-26,9%) и незначительной долей натрия (1,68-2,56%). Обеспеченность средне- и тяжелосуглинистого агрочерноземов N-NO₃ очень низкая (5,25-8,00 мг/кг), P₂O₅ – повышенная (115-118 мг/кг), K₂O – высокая (241 мг/кг) и очень высокая (415 мг/кг), соответственно.

Полевые опыты на опытном поле Омского ГАУ закладывали в 2016 г. (опыт 1) и 2017 г. (опыт 2). Повторная закладка опыта в 2017 г. проводилась для установления влияния навоза на урожайность растений и свойства почвы в период его действия. Опыт был заложен сотрудниками кафедры агрохимии и почвоведения под руководством профессора Бобренко И.А., доцентов Гоман Н.В., Трубиной Н.К., Кормина В.П. Схема опытов включала варианты с дозами твердой фракции навоза от 20 до 60 т/га: контроль; навоз 20 т/га; навоз 30 т/га; навоз 40 т/га; навоз 50 т/га; навоз 60 т/га.

Опыты закладывали в 3-х кратной повторности, площадь делянок – 20 м², расположение систематическое. Выращиваемая культура – мягкая яровая пшеница (*Triticum aestivum* L.), сорт «Дуэт». Органические удобрения вносили весной до посева с последующей заделкой под вспашку на глубину 20 см. На

опытном поле внесение твердой фракции свиного навоза осуществляли вручную из-за небольшой площади опытных делянок. Органическое удобрение было доставлено из ООО «РУСКОМ-Агро» (д. Сосновка Кормиловского района). Химический состав удобрения представлен в таблице 4. Влажность навоза составляла 73,6-73,7%.

Таблица 4 – Химический состав твердой и жидкой фракций свиного бесподстилочного навоза, применяемого в опытах

Год	Сухое вещество, %	pH _{сол.}	Органическое вещество, %	Содержание элементов питания, %		
				N _{общ.}	P ₂ O ₅	K ₂ O
Опыт с твердой фракцией (опытное поле Омского ГАУ)						
2016	26,3	7,40	82,1	0,59	0,11	0,14
2017	26,4	8,00	81,2	0,57	0,11	0,21
Опыт с твердой фракцией (д. Сосновка Кормиловского района)						
2015	26,1	8,20	81,0	0,58	0,10	0,20
Опыт с жидкой фракцией (д. Сосновка Кормиловского района)						
2015	0,50	8,30	1,70	0,24	0,03	0,10

Полевые опыты в д. Сосновка на полях ООО «РУСКОМ-Агро» были заложены в 2015 г. с твердой и жидкой фракциями навоза. Схема опыта с твердым навозом включала варианты: контроль; навоз 20 т/га; навоз 40 т/га; навоз 60 т/га; навоз 80 т/га; навоз 100 т/га. В опыте с жидкой фракцией навоза были предусмотрены варианты: контроль; навоз 50 т/га; навоз 100 т/га; навоз 150 т/га; навоз 200 т/га; навоз 250 т/га; навоз 300 т/га.

В опытах использовали свиной навоз, полученный на свиноводческом комплексе ООО «РУСКОМ-Агро». Качественный состав удобрений был исследован после отбора твердого бесподстилочного навоза из буртов и жидкого навоза из лагун (таблица 4). Влажность твердого навоза составила 73,9%, жидкой фракции органического удобрения – 95,5%.

Опыты проводили в 3-х кратной повторности, площадь делянок 50 м², расположение их систематическое. Выращиваемая культура – мягкая яровая пшеница (*Triticum aestivum* L.), сорт «Память Азиева». Внесение различных фракций осуществляли весной до посева с последующей заделкой под вспашку на глубину 20 см. Жидкую фракцию свиного навоза вносили с помощью специальных транспортных линий, состоящих из насосной станции, гибких шлангов и агрегатов. Все это обеспечивает внутрпочвенное внесение навоза с заделкой в почву. Внесение твердых органических удобрений осуществлялось с помощью прицепа-распределителя органических удобрений с равномерным распределением по поверхности почвы. Агротехника в опытах являлась общепринятой для зоны.

На свиноводческих комплексах в ООО «РУСКОМ-Агро» для снижения капитальных затрат на строительство навозохранилищ в настоящее время используют технологии по разделению свиного навоза на фракции. Для этого применяют шнековые сепараторы различной модификации. В процессе разделения навоза на сепараторе жидкая часть отделяется от взвешенных частиц. Образовавшуюся твердую фракцию навоза отвозят на площадку буртования, где она проходит ускоренный процесс компостирования с целью обеззараживания, дегельминтизации и удаления запаха. Отделившуюся жидкую фракцию выдерживают в секционных прудах-накопителях (лагунах) в течение 6 месяцев в соответствии с действующими нормативами. Применяемые в опытах фракции навоза соответствовали требованиям, определяемым ГОСТ Р 53117-2008.

Почвенные пробы отбирали после уборки пшеницы буром на глубину 0-20 см методом конверта. Подготовку почвенных проб проводили в соответствии с методикой анализов. Образцы для определения ферментов тщательно очищали от корней и других растительных остатков, растирали и просеивали через сито диаметром 1 мм. Дальнейшее хранение почвенных проб осуществлялось в прохладном месте (Хазиев, 2005). В объединенных пробах почвы определяли следующие показатели:

– содержание гумуса методом Тюрина И.В. в модификации Симакова В.Н. с

дополнениями Никитина Б.А. (Ганжара, Борисов, Байбеков, 2021);

– групповой и фракционный состав гумуса по Тюрину И.В. в модификации Пономаревой В.В. и Плотниковой Т.А. (Орлов, Гришина, 1981);

– содержание подвижных гумусовых веществ в соответствии с методикой, предложенной Санкт-Петербургским аграрным университетом с различными экстрагентами: водой при кипячении в течение 1 ч ($t = 100^{\circ}\text{C}$) в соотношении 1:5; 0,1н NaOH ($\text{pH} = 12$) и 0,1н $\text{Na}_2\text{P}_2\text{O}_7$ ($\text{pH} = 7$) в соотношении 1:5, растворы перемешивали в течение 15 мин. на ротаторе и отфильтровывали (Лабораторно-практические ..., 2009);

– активность инвертазы по Купревичу В.Ф. с конечным определением сахаров по Бертрану (Хазиев, 2005);

– активность уреазы по Гоффману с колориметрическим окончанием (Хазиев, 2005);

– активность каталазы газометрическим методом (Хазиев, 2005);

– обменно-поглощенные катионы вытесняли 1н $\text{CH}_3\text{COONH}_4$ по Шолленбергеру с последующим определением Ca^{2+} и Mg^{2+} трилонометрически, Na^+ – методом пламенной фотометрии (Мамонтов, 2019);

– общий азот по методу Кьельдаля (ГОСТ 26107-84);

– нитратный азот дисульфифеноловым методом по Грандваль-Ляжу (Практикум по агрохимии, 2008);

– фосфор и калий по методу Чирикова в модификации ЦИНАО (ГОСТ 26204-91);

– подвижные формы микроэлементов (медь, кобальт, цинк, марганец) в 1н ацетатно-аммонийном буфере с $\text{pH} 4,8$ по Крупскому и Александровой атомно-абсорбционным методом (ГОСТ Р 50683-94; 50686-94, 50685-94);

– подвижный молибден по Григгу в модификации ЦИНАО атомно-абсорбционным методом (ГОСТ Р 50689-94);

– pH водной суспензии потенциометрическим методом (Мамонтов, 2019);

– гранулометрический состав пирофосфатным методом (Вадюнина, Корчагина, 1986);

– структурно-агрегатный состав почвы по Саввинову Н.И. (Вадюнина, Корчагина, 1986);

– водопрочность воздушно-сухих структурных агрегатов размером 3-5 мм по Андрианову П.И. в модификации Качинского Н.А. (Вадюнина, Корчагина, 1986);

Энергопотенциал почв рассчитывали согласно методике, изложенной в руководствах, исходя из энергетического эквивалента 21,654 гДж в 1 т/га гумуса (Орлов, Гришина, 1980; Ермохин, 2020).

Целлюлозоразрушающую способность изучали в полевых условиях аппликационным методом (Звягинцев, 1991). Стерилизованные взвешенные хлопчатобумажные полотна закладывали в верхний слой почвы 0-20 см в пятикратной повторности для каждого срока исследований. Время экспозиции аппликаторов в почве составляло 30, 60 и 90 суток. Одновременно были проведены лабораторные опыты в контролируемых условиях температуры воздуха (25°C) в термостате и влажности почвы (60% от полной влагоемкости). Почву для лабораторного эксперимента отбирали из слоя 0-20 см агрочернозема легкосуглинистого опытного поля по вариантам полевого опыта с дозами 20 и 60 т/га, помещали в стерильные чашки Петри. Хлопчатобумажные полотна закладывали в почву, ее влажность в период проведения опытов поддерживали на заданном уровне.

Токсичность почвы определяли с помощью биотеста по методике, разработанной Минеевым В.Г. с соавторами (1991). В качестве тест-культуры использовали семена редиса (*Raphanus sativus L.*) сорта «18 дней». Повторность лабораторных исследований четырехкратная. После прорастания семян, на 3-й день проводили учет общей длины корней проростков, расчет их средней длины и сравнение с контролем, которым служили семена, замоченные в том же объеме стерильной водопроводной воды. Показателем общей токсичности почвы являлось уменьшение длины корней проростков по отношению к контролю (чистой воде), выраженное в процентах; по отношению к почвенному контролю – показателем биологической токсичности. Согласно методике, токсичными

считают почвы, снижающие всхожесть семян или угнетающие рост проростков и корней не менее чем на 20 %.

Статистическую обработку экспериментальных данных проводили в программах Microsoft Excel и Statistica.

3 ВЛИЯНИЕ ОРГАНИЧЕСКОГО УДОБРЕНИЯ НА ПОКАЗАТЕЛИ ГУМУСНОГО СОСТОЯНИЯ АГРОЧЕРНОЗЕМОВ

3.1 Воздействие свиного навоза на содержание углерода органического вещества

Органическое вещество и его основной компонент гумус представляют собой сложный динамический комплекс органических соединений, образовавшихся при разложении и гумификации остатков растительного и животного происхождения. Гумус, составляющий 85-90% органического вещества, является мощным агентом формирования и сохранения потенциального почвенного плодородия.

По мнению Когута Б.М. и др. (2021) гумус представляет собой подсистему почвенного органического вещества, сформированную из органических материалов и соединений растительного, животного и микробного происхождения, прошедших гумификационные и негумификационные стадии стабилизации со временем полного разложения составляющих компонентов больше 10 лет. Это хорошо разложившийся органический материал преимущественно микробного происхождения размером меньше 0,053 мм, связанный почвенными минералами (Семенов, Семенова, 2018).

Роль гумуса в почве многогранна. От содержания и качественного состава гумуса зависят физические, водно-физические, химические, физико-химические и экологические свойства почвы, ее биологическая активность (Шеуджен, Нецадим, Онищенко, 2011). Неоценима его роль в повышении буферности и сопротивляемости почв к неблагоприятным воздействиям, как естественного, так и техногенного происхождения (Чимитдоржиева, Егорова, Ревенский, 2008).

В агроценозах содержание гумуса является фактором почвенного плодородия, а гумусное состояние почв служит количественным показателем агропроизводственной и экологической оценки пахотных почв. На территории Западной Сибири доля почв с низким и очень низким содержанием гумуса составляет 30%, со средним и повышенным – 57%, с высоким и очень высоким

содержанием – всего 13% площади (Хмелев, Танасиенко, 2009). В частности, в Омской области по состоянию на 2019 г. средневзвешенное содержание гумуса в пахотных почвах составило 4,98 %, а площадь почв с пониженным его содержанием (< 5%) увеличилось до 2 млн. 736 тыс. га (Красницкий, Шмидт, 2019).

Интенсивное влияние на почву в условиях сельскохозяйственного использования нередко приводит к ухудшению её гумусного состояния (Дергачева, 1989; Кленов, 2000; Тюрин, 1965 и др.). По мнению Кленова Б.М. (2014) органическая часть является наиболее уязвимой составляющей почвы, в результате антропогенного воздействия происходят существенные потери всех компонентов гумуса. Поэтому актуальным остается вопрос сохранения, поддержания и воспроизводства почвенного гумуса во многих регионах страны, в том числе в Омском Прииртышье. Для этого должны использоваться все имеющиеся биологические ресурсы, в том числе органические удобрения, так как в пахотных почвах они являются непосредственным источником пополнения гумуса. Однако уровень их применения в области остается низким.

В связи с этим одной из задач исследования являлось установление количественных параметров действия и последствия свиного навоза на содержание углерода органического вещества, его качественный состав, показатели гумусного состояния агрочерноземов. Более подробно эти вопросы были изучены в полевых опытах на агрочерноземе квазиглееватом среднепахотном малогумусированном легкосуглинистом опытного поля Омского ГАУ.

Результаты исследований показали, что содержание гумуса в почве контрольного варианта за годы исследований (2016-2019 гг., опыт 1) варьировало в пределах от 1,97 до 2,10% ($C_{орг}$ от 1,14 до 1,22%, соответственно) и оценивалось как низкое, что прежде всего связано с эродированностью почвы, а также длительным использованием ее в пашне (таблица 5). Следует отметить, что такое количество гумуса в почве может рассматриваться как близкое к критическому уровню. Под ним понимается такое содержание гумуса, при котором существенно

ухудшаются агрономические свойства почв и их способность противостоять агрогенным нагрузкам (Ганжара, Кирюшин, 1993). В научной литературе у разных авторов критическая величина содержания гумуса для различных типов почв варьирует в диапазоне от 2,00 до 3,50-4,00%. Так, для лесостепных черноземов Западной Сибири средне- и тяжелосуглинистого гранулометрического состава Шарков И.Н. (2011) предложил считать критическим содержание гумуса 3,5-4,0% (2,0-2,3% $C_{орг}$). Для черноземных почв легкого гранулометрического состава Западно-Сибирского региона содержание гумуса < 2,0-3,0% считается меньше минимального значения (Методические указания по проведению ..., 2003).

Таблица 5 – Влияние твердой фракции свиного навоза на содержание и запасы углерода органического вещества ($C_{орг}$) в слое 0-20 см агрочернозема квазиглееватого легкосуглинистого (опыт 1, опытное поле Омского ГАУ)

Вариант	2016 г., год действия		2017 г., 1-й год последействия		2018 г., 2-й год последействия		2019 г., 3-й год последействия	
	%	т/га	%	т/га	%	т/га	%	т/га
Контроль	1,16	26,7	1,19	27,4	1,22	28,1	1,14	26,2
Навоз 20 т/га	1,24	28,5	1,22	28,1	1,21	27,8	1,18	27,1
Навоз 30 т/га	1,33	30,6	1,30	29,9	1,32	30,4	1,26	29,0
Навоз 40 т/га	1,39	32,0	1,33	30,6	1,33	30,6	1,31	30,1
Навоз 50 т/га	1,46	33,6	1,37	31,5	1,36	31,3	1,35	31,1
Навоз 60 т/га	1,55	35,6	1,53	35,2	1,42	32,7	1,41	32,4
НСР ₀₅	0,08	1,76	0,11	2,53	0,16	3,62	0,12	2,76

В почве непрерывно происходят процессы минерализации и гумификации органических соединений. Гумусовое состояние почвы зависит от того, какой из этих процессов преобладает. Минерализация гумуса в пахотных почвах происходит более интенсивно, чем в целинных, так как в них при поступлении меньшего количества растительных остатков повышается аэрация из-за постоянной обработки почвы, в результате чего преобладают окислительные процессы. Поэтому количество новообразованных гумусовых веществ не всегда

способно восполнить потери гумуса в результате минерализации. Проследить за этими изменениями в почве возможно с помощью баланса гумуса, расчет которого был проведен по методике ВНИПТИОУ (Ермохин, 2020). Исследуемый агрочернозем при возделывании зерновых культур со средней урожайности 2,00 т/га характеризовался отрицательным балансом гумуса (-0,33 т/га). Рассчитанные величины его ежегодной минерализации составляли 0,72 т/га, а количества образованного гумуса – 0,39 т/га (приложение Г). По мнению Чимитдоржиевой Г.Д. с соавторами (2008) для нормального функционирования пахотной почвы среднегодовое поступление послеуборочных остатков и органических удобрений (сухого вещества) должно составлять 6-8 т/га, а для обеспечения бездефицитного баланса гумуса необходимо применение органических удобрений. В частности, навоз, применяемый в наших опытах, являлся непосредственным источником поступления органического вещества в почву. Его количество в удобрении составляло 81,2-82,1%. Как известно, органические удобрения в почве подвергаются процессам трансформации. Около 75% их массы минерализуется и только 25% идет на гумификацию, восполняющую потери гумуса при возделывании сельскохозяйственных культур (Серая, Богатырева, Кирдун и др., 2022). Прирост гумуса более заметен на почвах тяжелого гранулометрического состава, где скорость минерализации ниже (Мерзлая, 2018; Liu et al., 2006).

Результаты исследований показали, что применение твердой фракции свиного навоза способствовало увеличению содержания углерода органического вещества в пахотном слое агрочернозема легкосуглинистого. В год действия навоза его количество и запасы в почве к концу вегетации были на 6,90-33,6% больше по отношению к контролю в зависимости от дозы органического удобрения. При этом существенное увеличение содержания C_{org} начиналось при внесении дозы удобрения 30 т/га и более.

Между содержанием углерода органического вещества почвы и дозой навоза была установлена сильная корреляционная зависимость ($r = 0,98 \pm 0,04$), описываемая уравнением: $C_{org} = 0,007Dн + 1,13$ (Dн – доза навоза). Одна тонна

органического удобрения в год его действия увеличивала содержание углерода почвы в среднем на 0,007%.

В последующие годы влияние навоза на содержание $C_{\text{орг}}$ несколько ослабилось, но сильная связь между показателями сохранялась: в первый год последействия $r = 0,83 \pm 0,13$, во второй и третий годы $r = 0,70 \pm 0,12$ и $0,96 \pm 0,04$, соответственно. В первый год последействия удобрения существенное увеличение содержания углерода на 11,8-28,6% наблюдалось в вариантах с его дозами от 40 т/га и более. Во второй год последействия навоза существенное увеличение содержания $C_{\text{орг}}$ наблюдалось только при его максимальной дозе, однако при более низких дозах четко сохранялась тенденция к возрастанию его количества в почве. На третий год последействия удобрения уровень содержания углерода в агрочерноземе в вариантах с его дозами 30 т/га и больше вновь оказался больше на 11,4-23,7%. В 2019 г. содержание углерода в агрочерноземе по всем вариантам с навозом было меньше его исходного уровня в 2016 г., что связано с процессами минерализации органического удобрения. В период последействия свиного навоза увеличение содержания $C_{\text{орг}}$ почвы от одной тонны удобрения составляло в первый год – 0,006, во второй – 0,004, в третий – 0,005%. Таким образом, результаты опыта свидетельствуют о достоверном увеличении содержания и запасов углерода органического вещества в агрочерноземе квазиглееватом малогумусированном легкосуглинистом в период действия и три года последействия твердой фракции свиного навоза, внесенного в дозах от 30 до 60 т/га.

В опыте 2 были получены, в целом, сходные результаты по характеру влияния навоза на органическое вещество почвы (таблица 6). Содержание гумуса в почве на контроле за годы исследований варьировало в диапазоне от 2,17 до 2,31% ($C_{\text{орг}}$ от 1,26 до 1,34%, соответственно), и было несколько больше, чем в опыте 1, но также оценивалось как низкое. Это связано с природным варьированием содержания гумуса в почвенном покрове опытного участка.

В результате применения свиного навоза содержание и запасы углерода органического вещества увеличивались пропорционально дозе органического

удобрения в год его действия от 6,00 до 18,7% по отношению к контролю. В последующие годы содержание $C_{\text{орг}}$ и его запасы увеличивались на 10,3-26,2% в первый год и на 5,30-17,4% во второй год последствия удобрения.

Между содержанием углерода органического вещества в агрочерноземе легкосуглинистом и дозой навоза в год его действия отмечена сильная корреляционная зависимость ($r = 0,87 \pm 0,14$), описываемая уравнением: $C_{\text{орг}} = 0,004D_{\text{н}} + 1,34$. Внесение одной тонны удобрения повышало содержание углерода почвы в среднем на 0,004%.

Таблица 6 – Влияние твердой фракции свиного навоза на содержание и запасы углерода органического вещества ($C_{\text{орг}}$) в слое 0-20 см агрочернозема квазиглееватого легкосуглинистого (опыт 2, опытное поле Омского ГАУ)

Вариант	2017 г., год действия навоза		2018 г., 1-й год последствия навоза		2019 г., 2-й год последствия навоза	
	%	т/га	%	т/га	%	т/га
Контроль	1,34	30,8	1,26	29,0	1,32	30,4
Навоз 20 т/га	1,42	32,7	1,39	32,0	1,40	32,2
Навоз 30 т/га	1,47	33,8	1,41	32,4	1,39	32,0
Навоз 40 т/га	1,51	34,7	1,44	33,1	1,42	32,7
Навоз 50 т/га	1,55	35,7	1,49	34,3	1,46	33,6
Навоз 60 т/га	1,59	36,6	1,59	36,6	1,55	35,7
НСР ₀₅	0,15	3,36	0,18	4,04	0,11	2,63

Зависимость между дозой удобрения и содержанием углерода сохранялась на протяжении дальнейших лет: в 1-й и 2-й годы последствия коэффициенты корреляции составили $r = 0,92 \pm 0,11$ и $0,94 \pm 0,12$, соответственно. Увеличение содержания $C_{\text{орг}}$ почвы от 1 тонны навоза составило в первый год последствия – 0,005, во второй – 0,003%. То есть, в проведенном опыте, как и в опыте 1, наблюдалась положительная динамика изменений содержания и запасов углерода почвы в агрочерноземе легкосуглинистом на протяжении трех лет.

Таким образом, результаты, полученные в ходе исследования,

свидетельствуют о целесообразности применения твердой фракции свиного навоза для стабилизации содержания органического вещества агрочернозема легкосуглинистого. Безусловно, этот показатель зависит от многих факторов, но систематическое применение органических удобрений является одним из главных в сохранении и поддержании гумусного состояния почвы на оптимальном уровне. В исследованиях Бабенко М.В. (2016) твердая и жидкая фракции свиного навоза, внесенного в дозах по азоту N_{100} и N_{200} также увеличивали содержание органического вещества в дерново-подзолистой почве. В первый год последействия наблюдалось небольшое снижение содержания органического вещества в почве по сравнению с годом действия. Автор отмечает, что за два года трансформации удобрений в почве наиболее заметное увеличение содержания органического вещества произошло при внесении двойных доз твердой фракции навоза. В среднем, количество углерода почвы возросло на 0,08-0,24%.

На опытных участках производственных полей ООО «РУСКОМ-Агро» определяли содержание углерода органического вещества в почвах в первый год последействия твердой и жидкой фракций навоза (таблица 7).

Таблица 7 – Влияние твердой и жидкой фракций навоза на содержание и запасы углерода органического вещества ($C_{орг}$) в слое 0-20 см агрочерноземов квазиглееватых (ООО «РУСКОМ-Агро», 2016 г., 1-й год последействия навоза)

Вариант	Твердая фракция, агрочернозем тяжелосуглинистый		Вариант	Жидкая фракция, агрочернозем среднесуглинистый	
	%	т/га		%	т/га
Контроль	3,45	79,4	Контроль	3,22	74,1
Навоз 20 т/га	3,51	80,7	Навоз50 т/га	3,33	76,6
Навоз 40 т/га	3,60	82,8	Навоз100 т/га	3,45	79,4
Навоз 60 т/га	3,82	87,9	Навоз150 т/га	3,74	86,0
Навоз 80 т/га	3,89	89,5	Навоз200 т/га	3,69	84,9
Навоз100 т/га	3,94	90,6	Навоз250 т/га	3,53	81,2
НСР ₀₅	0,10	2,21	Навоз300 т/га	3,42	78,7
			НСР ₀₅	0,17	4,02

Агрочерноземы имели среднее по Орлову Д.С. и Гришиной Л.А. содержание и запасы гумуса, превышающие их значения в агрочерноземе опытного поля Омского ГАУ, что связано с их более тяжелым гранулометрическим составом и с отсутствием эрозионных процессов. Количество гумуса в агрочерноземе тяжелосуглинистом составляло 5,95%, в среднесуглинистом – 5,55%, что по классификации почв России 2004 г. соответствовало виду сильногумусированных почв. При возделывании зерновых культур (пшеницы, ячменя) в зернопаровых севооборотах почвы характеризовались отрицательным балансом гумуса (-0,28 т/га). При средней урожайности пшеницы 2,7 т/га на агрочерноземе среднесуглинистом количество новообразованного гумуса за счет пожнивно-корневых остатков составляло 0,53 т/га при его минерализации 0,81 т/га (приложение Г).

В опыте с применением твердой фракции навоза в вариантах со всеми ее дозами наблюдался более высокий уровень содержания углерода по отношению к контролю. Между дозой навоза и количеством $C_{орг}$ была установлена сильная зависимость ($r = 0,98 \pm 0,07$). Применение одной тонны удобрения обеспечило прирост содержания углерода органического вещества в слое 0-20 см агрочернозема тяжелосуглинистого в год последействия в среднем на 0,005%.

В вариантах с последействием жидкой фракции навоза в дозах 100-250 т/га количество углерода в почве также существенно (на 6,2-16,1%) превышало контроль. Однако связь между дозой удобрения и содержанием углерода была средней ($r = 0,51 \pm 0,20$). Это связано как с небольшим содержанием органического вещества в жидкой фракции (1,7%), так и с естественным природным варьированием количества гумуса в почвенном покрове опытного участка.

В работах ряда авторов указывается на более слабое влияние жидкого навоза на гумус почвы. В исследованиях Алтайского НИИСХ установлено, что внесение жидкого свиного навоза в дозах 90 и 180 т/га не оказывало существенного влияния на гумусное состояние чернозема обыкновенного (Усенко, Литвинцева, Литвинцев, 2016). Бабенко Б.М. с соавторами (2020) указывают на

целесообразность использования жидкой фракции свиного навоза совместно с соломой или другими жидкими органическими удобрениями, которые могут быстро трансформироваться в почве. Кроме того, имеются данные о том, что очень высокие дозы жидкого свиного навоза усиливают процессы минерализации органического вещества (Plaza et al., 2004).

Таким образом, результаты проведенных исследований показали, что применение свиного навоза оказывало существенное влияние на состояние органического вещества агрочерноземов. Твердая фракция навоза в дозах 30-60 т/га существенно увеличивала содержание и запасы углерода органического вещества агрочернозема квазиглееватого легкосуглинистого на 12,7-33,6% в период его действия и на 10,6-28,6% в период последействия. В агрочерноземах среднесуглинистом и тяжелосуглинистом при последействии твердой фракции навоза наблюдалось увеличение содержания $C_{орг}$ до 14%, жидкой – на 3,4-16,1% по отношению к контролю. Между дозой твердого навоза и содержанием $C_{орг}$ установлена сильная зависимость ($r = 0,70-0,98$), с жидкой фракцией – средняя ($r = 0,51$). Каждая тонна твердого навоза обеспечивала увеличение содержания $C_{орг}$ на 0,004-0,008%.

В целом, ориентируясь на данные полевых опытов, можно сделать вывод о положительном влиянии твердой фракции свиного навоза на содержание органического вещества почвы не только в год его внесения, но и на протяжении 2-3 лет последействия, что способствует сдерживанию дегумификации пахотных почв.

3.2 Групповой и фракционный состав гумуса агрочерноземов в зависимости от применения свиного навоза

Показатель содержания гумуса в почве зачастую не определяет уровень ее эффективного плодородия. При длительном сельскохозяйственном использовании органическое вещество теряет наиболее ценные легкодоступные для растений биологически активные компоненты. Даже при сохранении

высокого уровня содержания углерода, почва не может давать хороший урожай без применения удобрений (Шарков, 2011). Это свидетельствует о том, что недостаточно оценивать уровень плодородия почв лишь по содержанию гумуса, необходимо иметь четкие оценки его качественных изменений.

При оценке гумусного состояния почв важное место отводится определению группового и фракционного состава, который отражает почвенно-генетические особенности гумусообразования. Соотношение групп и фракций гумусовых веществ закономерно изменяется в зонально-генетическом ряду почв, а также вследствие сельскохозяйственного использования почв (Орлов, 1990; Бирюкова, Орлов, 2004). В ответ на антропогенную нагрузку органическое вещество почв отвечает изменением соотношения слагающих его компонентов.

В литературе приводятся различные выводы о действии навоза на качественный состав гумуса. Оно определяется типом почвы, видом и дозой навоза, культурой и другими факторами. Так, по данным Никифорова Л.И. (1985) навоз, вносимый в дозах, способствующих приросту гумуса, как правило положительно влияет на содержание гуминовых кислот, за счет чего уменьшается доля фульвокислот и расширяется отношение С_{гк}:С_{фк}. В тоже время результаты Никитина В.В. и Гетманского В.З. (2001) указывают на увеличение фульвокислот за счет убыли негидролизуемого остатка. Надежкин С.М. (2001) пришел к заключению о том, что применение органических удобрений способствует повышению содержания стабильной части гумуса.

Встречаются мнения авторов, указывающих на то, что применение удобрений не оказывает значительного влияния на качественный состав гумуса (Шевцова, 1972). Так, в исследованиях Богатыревой Е.Н. с соавторами (2011) на дерново-подзолистых почвах легкого гранулометрического состава Беларуси применение навоза в дозе 4 т/га севооборотной площади не оказало влияние на фракционно-групповой состав гумуса, отношение суммы ГК к сумме ФК оставалось на уровне неудобренного варианта.

Однако большинство исследований свидетельствуют о положительной роли органических удобрений в перераспределении групп и фракций почвенного

гумуса (Васбиева, Завьялова, Фомин и др., 2019; Воронкова, 2014; Лукьянчикова, 1980; Лыков, 1976; Уланов, Будажапов, Лапухин и др., 2019 и др.). Исследованиями Бабенко М.В. (2016) было установлено, что по истечению года действия твердой и жидкой фракций свиного навоза, как в чистом виде, так, и совместно с соломой вызвало улучшение состава органического вещества почвы в основном за счет повышения фракции ГК1. Минимальная прибавка ГК отмечена в почве с жидкой фракцией навоза. В исследованиях Богатыревой Е.Н. и др. (2013) по влиянию различных видов и доз органических удобрений на дерново-подзолистой супесчаной почве было отмечено повышение содержания фракции ГК1 в 1,2-1,4 раза, доли ГК2 до 5,5-5,8%, и расширение соотношения Сгк:Сфк с 0,87 до 0,99.

В опытах Тверской ГСХА на дерново-подзолистой глееватой супесчаной почве по влиянию органических удобрений, в том числе свиного навоза, было отмечено увеличение гуминовых кислот, преимущественно за счет фракции ГК1 при абсолютном и относительном снижении фульвокислот, особенно фракций агрессивных ФК1а и ФК1 (Барановский, Павловский, 2010).

В многолетних исследованиях, проведенных в стационарных опытах СибНИИСХ на лугово-черноземной среднемошной многогумусовой тяжелосуглинистой почве было отмечено значительное увеличение фракции ГК2 на удобренных навозом вариантах на 9,3% и отмечалось высокое содержание фракций ГК3, прочносвязанных с глинистыми минералами (15,3-17,6%) (Аксенова, 2012).

Поскольку влияние свиного навоза на трансформацию гумуса агрочерноземов Омского Прииртышья не изучалось, нами были проведены исследования по этому вопросу. Групповой и фракционный состав гумуса определяли в вариантах с дозами навоза 20 и 60 т/га в сравнении с контролем (таблицы 8, 9).

Результаты исследований показали, что в составе гумуса агрочернозема (контрольный вариант) преобладали гуминовые кислоты, на долю которых приходилось более 40% общего содержания углерода. Среди них доминировала

фракция ГК2, связанная с кальцием. На долю фракции ГК1, играющей важную роль в питании растений, приходилось всего лишь 7,93-10,8% углерода по годам исследований. Доля гуминовых кислот, прочно связанных с глинистыми минералами и устойчивыми полуторными оксидами (ГК3), была больше и составляла до 15,7% общего содержания углерода. В составе фульвокислот преобладала фракция ФК2, на долю которой приходилось 33,8-41,2% от суммы фульвокислот в разные годы. Количество наиболее «агрессивных» фракций фульвокислот (ФК1а) варьировало от 13,0 до 17,7% в общей сумме ФК. В целом, распределение фракций фульвокислот было примерно одинаковым по годам исследования. Тип гумуса агрочернозема характеризовался как фульватно-гуматный (Сгк:Сфк = 1,49-1,79).

Таблица 8 – Групповой и фракционный состав гумуса слоя 0-20 см агрочернозема квазиглееватого легкосуглинистого в зависимости от применения твердой фракции навоза (опыт 1, опытное поле Омского ГАУ)

Вариант	С _{общ} , %	Сгк, % от С _{общ}				Сфк, % от С _{общ}				
		ГК1	ГК2	ГК3	Сум-ма	ФК1а	ФК1	ФК2	ФК3	Сум-ма
2016 г., год действия навоза										
Контроль	1,16	7,93	20,3	15,7	43,9	4,57	5,17	9,56	7,74	27,0
Навоз 20 т/га	1,24	9,03	24,2	19,0	52,2	4,68	6,45	9,03	6,05	26,2
Навоз 60 т/га	1,55	13,6	27,0	19,1	59,8	4,61	6,81	10,4	5,16	27,0
2017 г., 1-й год последействия навоза										
Контроль	1,19	6,87	20,4	14,1	41,4	4,13	5,45	11,4	6,72	27,7
Навоз 20 т/га	1,22	10,6	24,6	18,0	53,2	3,14	4,84	12,5	5,74	26,2
Навоз 60 т/га	1,53	11,4	27,6	20,3	59,3	3,34	4,63	11,6	5,56	25,1
2018 г., 2-й год последействия навоза										
Контроль	1,22	11,2	21,2	14,4	46,8	4,81	6,64	10,6	7,04	29,1
Навоз 20 т/га	1,21	13,5	22,1	19,2	54,8	4,74	5,79	11,0	6,72	28,3
Навоз 60 т/га	1,42	14,2	25,1	19,5	58,8	4,11	5,46	11,2	6,54	27,3
2019 г., 3-й год последействия навоза										
Контроль	1,14	9,93	18,4	12,9	41,2	4,91	5,49	9,37	7,89	27,7
Навоз 20 т/га	1,18	13,7	19,2	14,4	47,3	3,39	4,39	10,3	6,10	24,2
Навоз 60 т/га	1,41	14,3	20,5	17,8	52,6	3,84	4,84	10,2	6,17	25,1

Действие навоза в год его внесения за вегетационный период возделывания пшеницы вызвало определенные изменения в составе органического вещества удобренных вариантов. Прежде всего увеличивалось содержание гуминовых кислот по сравнению с контролем. Среди них доля свободных ГК возросла на 13,9% в варианте с дозой навоза 20 т/га и на 71,5% – с дозой 60 т/га, где она достигла 22,7% общего содержания гуминовых кислот. Одновременно наблюдалось увеличение содержания фракции ГК3 на 21,0-21,7%. В составе фульвокислот резких изменений не наблюдалось. Было отмечено лишь небольшое увеличение содержания фракций ФК1 и ФК2 под действием удобрения в дозе 60 т/га, а также уменьшение доли ФК3 при общем постоянном содержании фульвокислот. Увеличение доли ГК в составе гумуса привело к изменению типа до гуматного ($C_{гк}:C_{фк} = 2,00-2,21$).

В вариантах с последствием твердой фракции навоза происходили аналогичные изменения состава гумуса, что и в год действия удобрения. Среди фракций гуминовых кислот преобладала фракция ГК2. Было отмечено ее снижение к третьему году последствия органического удобрения. Распределение фракций фульвокислот было примерно одинаковым по всем годам исследований. Гуматный тип гумуса агрочернозема легкосуглинистого установлен в 2017 г. во всех вариантах с навозом. В последующие годы происходило изменение типа гумуса на фульватно-гуматный ($C_{гк}:C_{фк} = 1,94-1,95$) в вариантах с дозой удобрения 20 т/га. Однако в вариантах с максимальной дозой твердой фракции навоза он оставался гуматным.

Таким образом, наши исследования свидетельствуют о положительном влиянии твердой фракции свиного навоза на групповой и фракционный состав гумуса агрочернозема легкосуглинистого, в котором было отмечено увеличение доли ГК и расширение соотношения $C_{гк}:C_{фк}$.

При проведении опыта 2 были получены аналогичные результаты (таблица 9). При действии и последствии навоза было отмечено увеличение фракции гуминовых кислот, связанной с кальцием, на 9,50-15,0% по сравнению с контролем в варианте с дозой 20 т/га и на 14,5-16,6% с дозой 60 т/га. Также

наблюдалось увеличение фракции ГКЗ на 8,78-34,6%. Доля свободных гуминовых кислот возрастала на 3,70-24,3% в разные годы. Общее содержание фульвокислот в почве под действием навоза существенно не изменялось.

Таблица 9 – Групповой и фракционный состав гумуса слоя 0-20 см агрочернозема квазиглееватого легкосуглинистого в зависимости от применения твердой фракции свиного навоза (опыт 2, опытное поле Омского ГАУ)

Вариант	С _{общ} почвы, %	СГК, % от С _{общ}				Сфк, % от С _{общ}				
		ГК1	ГК2	ГК3	Сум- ма	ФК1а	ФК1	ФК2	ФК3	Сум- ма
2017 г., год действия навоза										
Контроль	1,34	9,66	21,4	14,8	45,9	3,36	4,70	10,2	7,40	25,7
Навоз 20 т/га	1,42	10,8	24,5	16,1	51,4	3,68	4,19	11,5	7,48	26,9
Навоз 60 т/га	1,59	11,5	26,6	18,4	56,5	3,54	3,42	11,6	6,97	25,5
2018 г., 1-й год последействия навоза										
Контроль	1,26	10,8	20,7	13,6	45,1	3,45	5,31	10,5	7,23	26,5
Навоз 20 т/га	1,39	11,2	23,8	15,4	50,4	3,18	5,45	10,8	7,95	27,4
Навоз 60 т/га	1,59	11,7	24,6	18,1	54,4	3,25	4,72	11,1	6,36	25,4
2019 г., 2-й год последействия навоза										
Контроль	1,32	10,3	21,1	13,3	44,7	4,86	5,07	10,0	8,47	28,4
Навоз 20 т/га	1,42	11,7	23,1	15,1	46,1	3,73	4,89	11,7	7,15	27,5
Навоз 60 т/га	1,46	12,8	24,6	17,9	55,3	3,98	5,15	10,3	7,53	27,0

Данные по групповому и фракционному составу гумуса агрочернозема квазиглееватого тяжелосуглинистого ООО «РУСКОМ-Агро» в период последействия навоза представлены в таблице 10. В почве контрольного варианта в составе гумуса преобладали гуминовые кислоты, среди них – фракция ГК2. Значительная доля приходилась на фракцию подвижных гуминовых кислот ГК1 (15% общего содержания углерода). В составе фульвокислот доминировала их фракция, связанная с полуторными оксидами (ФК3) при меньшем содержании фракций ФК1 и ФК2 и небольшой доле агрессивных фульвокислот.

При последействии твердой фракции навоза были отмечены небольшие изменения фракционно-группового состава гумуса. В вариантах с дозами удобрения 20, 40 и 80 т/га увеличивалось содержание фракции ГК2 на 38-57% и

общее количество гуминовых кислот на 15-26% относительно контроля. Относительное количество фракции гуминовых кислот от общего содержания углерода под действием навоза существенно не изменялось, однако отмечалось небольшое абсолютное ее увеличение с 0,52% на контроле до 0,54-0,60% в удобренной почве.

Таблица 10 – Групповой и фракционный состав гумуса слоя 0-20 см агрочернозема квазиглееватого тяжелосуглинистого в 1-й год последействия твердой фракции свиного навоза (2016 г., полевой опыт в ООО «РУСКОМ-Агро»)

Доза навоза, т/га	C _{общ} , %	Сгк, % от C _{общ}				Сфк, % от C _{общ}				
		ГК1	ГК2	ГК3	Сум-ма	ФК1а	ФК1	ФК2	ФК3	Сум-ма
0	3,45	15,0	21,0	11,8	47,8	2,50	4,85	6,46	10,8	24,6
20	3,51	15,8	29,0	10,3	55,1	2,74	3,00	6,22	12,6	24,6
40	3,60	16,7	32,9	10,8	60,4	2,82	4,51	7,03	12,5	26,9
80	3,89	14,5	31,7	10,3	56,5	2,31	3,00	6,39	13,2	24,9
100	3,94	13,7	23,5	11,3	48,5	2,01	2,86	7,23	9,24	21,3

В структуре фульвокислот происходило уменьшение их фракции ФК1 в вариантах с дозами твердой фракции 20, 40 и 100 т/га. Вариант с максимальной дозой навоза характеризовался наименьшим количеством ФК. В целом, при последействии твердой фракции навоза в вариантах со всеми его дозами увеличивалось отношение Сгк:Сфк до 2,24-2,28 при его значении на контроле 1,94.

Также были проведены исследования по влиянию жидкой фракции свиного навоза на качественный состав гумуса агрочернозема среднесуглинистого (таблица 11). Жидкая фракция свиного навоза по сравнению с твердой оказала иное воздействие на групповой и фракционный состав гумуса.

В вариантах с применением жидкой фракции навоза было отмечено уменьшение содержания гуминовых кислот за счет фракции, связанной с кальцием. Также проявлялась тенденция к увеличению доли агрессивных

фульвокислот. Наблюдаемые изменения могли быть обусловлены химическим составом жидкой фракции удобрения, которая обогащена наиболее подвижными органическими соединениями типа фульвокислот.

Таблица 11 – Групповой и фракционный состав гумуса слоя 0-20 см агрочернозема квазиглееватого среднесуглинистого в 1-й год последействия жидкой фракции свиного навоза (2016 г., полевой опыт в ООО «РУСКОМ-Агро»)

Доза навоза, т/га	C _{общ} , %	Сгк, % от C _{общ}				Сфк, % от C _{общ}				
		ГК1	ГК2	ГК3	Сум-ма	ФК1а	ФК1	ФК2	ФК3	Сум-ма
0	3,22	13,8	23,2	12,0	49,0	3,14	3,45	7,71	10,6	24,9
50	3,33	14,6	18,4	12,2	45,2	3,61	2,30	6,68	10,2	22,8
100	3,45	13,2	15,5	12,9	41,6	3,67	2,21	6,22	10,9	23,0
200	3,69	13,9	14,2	13,2	41,3	4,47	3,90	4,06	11,1	23,5
300	3,42	13,0	10,1	14,7	37,8	4,01	2,76	3,60	11,8	22,2

Кроме того, различия фракционно-группового состава гумуса по вариантам могли быть связаны с естественным варьированием свойств почвы. В целом отмеченные изменения состава гумуса не отразились на его типе, который по всем вариантам был фульватно-гуматный.

Таким образом, проведенные исследования указывают на то, что применение свиного навоза оказывает влияние на качественный состав гумуса. Твердая фракция удобрения способствует увеличению доли гуминовых кислот и улучшению качества гумуса.

3.3 Показатели гумусного состояния агрочерноземов в зависимости от применения свиного навоза

Совокупность показателей гумусного состояния почв, разработанных Орловым Д.С. и Гришиной Л.А. позволяет понять и оценить характер и направленность почвообразовательного процесса, а также изменения,

происходящие при сельскохозяйственном использовании почв.

Нами были проанализированы данные показатели в зависимости от применения органического удобрения. Исследования в полевых опытах на агрочерноземе малогумусированном легкосуглинистом показали, что под действием твердой фракции свиного навоза содержание и запасы гумуса в нем увеличились на 5,26-33,6% по сравнению с его исходным уровнем в зависимости от дозы удобрения и года действия навоза, но оставались низкими (таблицы 12, 13).

Степень гумификации органического вещества в почве всех вариантов опыта была очень высокой. Орловым Д.С. (1981) отмечается, что этот показатель несколько условен, так как гумифицированные компоненты представлены не только гуминовыми кислотами. Доля свободных ГК оценивалась как очень низкая и низкая на контроле. В варианте с дозой твердой фракции 60 т/га она увеличилась в 1-й год внесения навоза на 25%. На 2-й и 3-й годы его последствий существенных изменений доли свободных гуминовых кислот не было отмечено. Однако на третий год последствий отмечалась тенденция к ее увеличению в вариантах с навозом. Содержание гуминовых кислот, связанных с кальцием, было средним и существенно не изменялось.

Количество ГК, прочно связанных с минеральной частью почвы, оценивалось как высокое по всем вариантам опыта. Пахотный слой удобренного агрочернозема характеризовался фульватно-гуматным типом гумуса ($S_{гк}:C_{фк} = 1,49-1,79$). В результате применения твердой фракции навоза данное соотношение увеличивалось до 2,00-2,36, что указывает на изменение типа гумуса до гуматного (таблица 12).

В опыте 2 содержание и запасы гумуса были несколько больше, чем в опыте 1. В результате последствий навоза содержание и запасы гумуса увеличивались на 5,26-26,3%, но оставались низкими (таблица 13). Как и в опыте 1, основные изменения состава гумуса выражались в расширении соотношения $S_{гк}:C_{фк}$ в удобренных вариантах.

Таблица 12 – Изменение показателей гумусного состояния слоя 0-20 см агрочернозема легкосуглинистого под действием твердой фракции навоза (опыт 1, опытное поле Омского ГАУ)

Вариант	Содержание гумуса, %	Запасы гумуса в слое 0-20 см, т/га	Доля свободных ГК, % от суммы	Доля ГК, связанных с Са, % от суммы	Доля прочно связанных ГК, % от суммы	Степень гумификации органического вещества, %	Стк:Сфк, тип гумуса
2016 г., год действия навоза							
Контроль	<u>2,00</u> низкое	<u>46,0</u> очень низкие	<u>18,1</u> очень низкая	<u>46,2</u> средняя	<u>35,8</u> высокая	<u>43,9</u> очень высокая	<u>1,63</u> фульватно-гуматный
Навоз 20 т/га	<u>2,14</u> низкое	<u>49,2</u> очень низкие	<u>17,3</u> очень низкая	<u>46,4</u> средняя	<u>36,4</u> высокая	<u>52,2</u> очень высокая	<u>2,00</u> гуматный
Навоз 60 т/га	<u>2,67</u> низкое	<u>61,4</u> низкие	<u>22,7</u> низкая	<u>45,2</u> средняя	<u>31,9</u> высокая	<u>59,8</u> очень высокая	<u>2,21</u> гуматный
2017 г., 1-й год последствия навоза							
Контроль	<u>2,06</u> низкое	<u>47,4</u> очень низкие	<u>16,6</u> очень низкая	<u>49,3</u> средняя	<u>34,1</u> высокая	<u>41,4</u> очень высокая	<u>1,49</u> фульватно-гуматный
Навоз 20 т/га	<u>2,11</u> низкое	<u>48,5</u> очень низкие	<u>19,9</u> очень низкая	<u>46,2</u> средняя	<u>33,8</u> высокая	<u>53,2</u> очень высокая	<u>2,00</u> гуматный
Навоз 60 т/га	<u>2,64</u> низкое	<u>60,7</u> низкие	<u>19,2</u> очень низкая	<u>46,5</u> средняя	<u>34,2</u> высокая	<u>59,3</u> очень высокая	<u>2,36</u> гуматный
2018 г., 2-й год последствия навоза							
Контроль	<u>2,10</u> низкое	<u>48,3</u> очень низкие	<u>23,9</u> низкая	<u>45,3</u> средняя	<u>30,8</u> высокая	<u>46,8</u> очень высокая	<u>1,61</u> фульватно-гуматный
Навоз 20 т/га	<u>2,09</u> низкое	<u>48,1</u> очень низкие	<u>24,6</u> низкая	<u>40,3</u> средняя	<u>35,0</u> высокая	<u>54,8</u> очень высокая	<u>1,94</u> фульватно-гуматный
Навоз 60 т/га	<u>2,45</u> низкое	<u>56,4</u> низкие	<u>24,1</u> низкая	<u>42,7</u> средняя	<u>33,2</u> высокая	<u>58,8</u> очень высокая	<u>2,15</u> гуматный
2019 г., 3-й год последствия навоза							
Контроль	<u>1,97</u> очень низкое	<u>45,3</u> очень низкие	<u>24,1</u> низкая	<u>44,7</u> средняя	<u>31,3</u> высокая	<u>41,2</u> очень высокая	<u>1,49</u> фульватно-гуматный
Навоз 20 т/га	<u>2,03</u> низкое	<u>46,7</u> очень низкие	<u>29,0</u> низкая	<u>40,6</u> средняя	<u>30,4</u> высокая	<u>47,3</u> очень высокая	<u>1,95</u> фульватно-гуматный
Навоз 60 т/га	<u>2,43</u> низкое	<u>55,9</u> низкие	<u>27,2</u> низкая	<u>39,0</u> низкая	<u>33,8</u> высокая	<u>52,6</u> очень высокая	<u>2,10</u> гуматный

Примечание. Над чертой указано значение показателя, под чертой – его оценка.

Таблица 13 – Изменение показателей гумусного состояния слоя 0-20 см агрочернозема легкосуглинистого под действием твердой фракции свиного навоза (опыт 2, опытное поле Омского ГАУ)

Вариант	Содержание гумуса, %	Запасы гумуса в слое 0-20 см, т/га	Доля свободных ГК, % от суммы	Доля ГК, связанных с Са, % от суммы	Доля прочно связанных ГК, % от суммы	Степень гумификации органического вещества, %	Сгк:Сфк, тип гумуса
2017 г., год действия навоза							
Контроль	<u>2,31</u> низкое	<u>53,1</u> низкие	<u>21,0</u> низкая	<u>46,6</u> средняя	<u>32,2</u> высокая	<u>45,9</u> очень высокая	<u>1,79</u> фульватно-гуматный
Навоз 20 т/га	<u>2,45</u> низкое	<u>56,4</u> низкие	<u>21,0</u> низкая	<u>47,7</u> средняя	<u>31,3</u> высокая	<u>51,4</u> очень высокая	<u>1,92</u> фульватно-гуматный
Навоз 60 т/га	<u>2,74</u> низкое	<u>63,0</u> низкие	<u>20,0</u> низкая	<u>46,3</u> средняя	<u>32,6</u> высокая	<u>56,5</u> очень высокая	<u>2,22</u> гуматный
2018 г., 1-й год последействия навоза							
Контроль	<u>2,17</u> низкое	<u>49,9</u> очень низкие	<u>23,9</u> низкая	<u>45,9</u> средняя	<u>30,2</u> высокая	<u>45,1</u> очень высокая	<u>1,70</u> фульватно-гуматный
Навоз 20 т/га	<u>2,39</u> низкое	<u>55,0</u> низкие	<u>22,2</u> низкая	<u>47,2</u> средняя	<u>30,6</u> высокая	<u>50,4</u> очень высокая	<u>1,84</u> фульватно-гуматный
Навоз 60 т/га	<u>2,74</u> низкое	<u>63,0</u> низкие	<u>21,5</u> низкая	<u>45,2</u> средняя	<u>33,3</u> высокая	<u>54,4</u> очень высокая	<u>2,14</u> гуматный
2019 г., 2-й год последействия навоза							
Контроль	<u>2,28</u> низкое	<u>52,4</u> низкие	<u>23,0</u> низкая	<u>47,2</u> средняя	<u>29,8</u> высокая	<u>44,7</u> очень высокая	<u>1,57</u> фульватно-гуматный
Навоз 20 т/га	<u>2,40</u> низкое	<u>55,2</u> низкие	<u>25,4</u> низкая	<u>50,1</u> средняя	<u>32,8</u> высокая	<u>46,1</u> очень высокая	<u>1,68</u> фульватно-гуматный
Навоз 60 т/га	<u>2,68</u> низкое	<u>61,6</u> низкие	<u>23,1</u> низкая	<u>44,5</u> средняя	<u>32,4</u> высокая	<u>55,3</u> очень высокая	<u>2,05</u> гуматный

Примечание. Над чертой указано значение показателя, под чертой – его оценка.

Одним из показателей состава органического вещества почвы является доля негидролизующего остатка. В процессе окультуривания почв изменяется, как относительное, так и абсолютное его содержание, которое является стабильной частью гумуса. В наших исследованиях не было установлено четкой закономерности содержания негидролизующего остатка гумуса от применения органического удобрения. В исследованиях, проведенных Бабенко М.В. (2016) на дерново-подзолистых почвах не наблюдалось увеличение негидролизующей части гумуса, что связано с разложением микроорганизмами свежесформированных гумусовых соединений (ГК и ФК), поступающих с органическими удобрениями.

Применение твердой фракции свиного навоза также оказало влияние на показатели гумусного состояния агрочернозема тяжелосуглинистого (таблица 14).

Таблица 14 – Изменение показателей гумусного состояния слоя 0-20 см агрочернозема тяжелосуглинистого в 1-й год последствий твердой фракции свиного навоза (2016 г., ООО «РУСКОМ-Агро»)

Показатели гумусного состояния	Контроль	Навоз 20 т/га	Навоз 40 т/га	Навоз 80 т/га	Навоз 100 т/га
Содержание гумуса, %	<u>5,95</u> среднее	<u>6,05</u> высокое	<u>6,21</u> высокое	<u>6,62</u> высокое	<u>6,79</u> высокое
Запасы гумуса, т/га	<u>136,9</u> средние	<u>139,2</u> средние	<u>142,8</u> средние	<u>152,3</u> высокие	<u>156,2</u> высокие
Доля свободных ГК, % от суммы	<u>31,4</u> низкая	<u>28,7</u> низкая	<u>27,6</u> низкая	<u>25,7</u> низкая	<u>28,2</u> низкая
Доля ГК, связанных с Са, % от суммы	<u>43,9</u> средняя	<u>52,6</u> средняя	<u>54,5</u> средняя	<u>56,1</u> средняя	<u>48,5</u> средняя
Доля прочно связанных ГК, % от суммы	<u>24,7</u> высокая	<u>18,5</u> средняя	<u>17,9</u> средняя	<u>18,2</u> средняя	<u>23,3</u> высокая
Степень гумификации органического вещества, %	<u>47,8</u> очень высокая	<u>55,1</u> очень высокая	<u>60,4</u> очень высокая	<u>56,5</u> очень высокая	<u>48,5</u> очень высокая
Сгк:Сфк	<u>1,94</u> фульватно-гуматный	<u>2,24</u> гуматный	<u>2,25</u> гуматный	<u>2,27</u> гуматный	<u>2,28</u> гуматный

Примечание. Над чертой указано значение показателя, под чертой – его оценка.

Содержание гумуса в нем было средним 5,95% на контроле и изменялось на высокое в вариантах с навозом (6,05-6,79%). Запасы гумуса в слое 0-20 см также

изменялись от средних на контроле до высоких при дозах 80 и 100 т/га – 136,9-156,2 т/га. На долю свободных ГК приходилось 25,7-31,4% их суммы, которая оценивалась как низкая. Однако, содержание этой фракции было значительно больше, чем в агрочерноземе легкосуглинистом. Доля ГК, связанная с кальцием, оценивалась как средняя, а доля ГКЗ – как средняя и высокая. Степень гумификации по всем вариантам опыта оценивалась как очень высокая и была больше в вариантах с навозом. Применение твердой фракции навоза способствовало расширению соотношения Сгк:Сфк от 1,94 до 2,24-2,28 и изменению типа гумуса от фульватно-гуматного до гуматного.

В период последействия жидкой фракции навоза наблюдался более высокий уровень содержания гумуса и его запасов в агрочерноземе по сравнению с неудобренным вариантом (таблица 15).

Таблица 15 – Изменение показателей гумусного состояния слоя 0-20 см агрочернозема среднесуглинистого в 1-й год последействия жидкой фракции свиного навоза (2016 г., ООО «РУСКОМ-Агро»)

Показатели гумусного состояния	Контроль	Навоз 50 т/га	Навоз 100 т/га	Навоз 200 т/га	Навоз 300 т/га
Содержание гумуса, %	<u>5,55</u> среднее	<u>5,74</u> среднее	<u>5,95</u> среднее	<u>6,36</u> высокое	<u>5,90</u> среднее
Запасы гумуса, т/га	<u>127,7</u> средние	<u>132,0</u> средние	<u>136,9</u> средние	<u>146,3</u> средние	<u>135,7</u> средние
Доля свободных ГК, % от суммы	<u>28,2</u> низкая	<u>32,3</u> низкая	<u>31,7</u> низкая	<u>33,7</u> низкая	<u>34,4</u> низкая
Доля ГК, связанных с Са, % от суммы	<u>47,3</u> средняя	<u>40,7</u> средняя	<u>37,3</u> низкая	<u>34,4</u> низкая	<u>26,7</u> низкая
Доля прочно связанных ГК, % от суммы	<u>24,5</u> высокая	<u>27,0</u> высокая	<u>31,0</u> высокая	<u>32,0</u> высокая	<u>38,9</u> высокая
Степень гумификации органического вещества, %	<u>49,0</u> очень высокая	<u>45,2</u> очень высокая	<u>41,6</u> очень высокая	<u>41,3</u> очень высокая	<u>37,8</u> высокая
Сгк:Сфк	<u>1,97</u> фульватно-гуматный	<u>1,98</u> фульватно-гуматный	<u>1,81</u> фульватно-гуматный	<u>1,76</u> фульватно-гуматный	<u>1,78</u> фульватно-гуматный

Примечание. Над чертой указано значение показателя, под чертой – его оценка.

В качественном составе гумуса установлено возрастание доли как свободных

гуминовых кислот, так и кислот, прочно связанных с минеральной частью почвы. При этом содержание ГК, связанных с кальцием, уменьшалось. Отмечено сужение соотношения Сгк:Сфк при сохранении фульватно-гуматного типа гумуса.

Одним из показателей гумусного состояния почвы является обеспеченность гумуса азотом. Трансформация почвенного азота тесно связана с содержанием и качественным составом гумуса (Сычев, Шевцова, Беличенко и др., 2018). Известно, что 90% азота почвы содержится в составе органических соединений. Азот гумуса в результате его минерализации является основным источником азотного питания растений без применения минеральных удобрений. Способность азота почвы быстро минерализоваться в доступную для растений форму Тюрин И.В. (1965) считал важнейшим показателем эффективного плодородия почвы.

Соотношение С:N в почве расценивается как важный показатель состояния почв, который отражает интенсивность поступления в почву биомассы и скорость ее трансформации. Чем выше активность микроорганизмов, минерализующих органическое вещество почвы, тем меньше отношение С:N. В исследованиях по влиянию удобрений этот показатель характеризует направление процессов гумусообразования и соотношения процессов гумификации и минерализации. Сычев В.Г. с соавторами (2018) отмечает, что в каждом регионе в зависимости от природных условий, определяющих биологическую активность почв, формируется свой характерный уровень соотношения С:N, который отражается в варианте «контроль без удобрений».

Средняя величина отношения С:N в свином навозе равна примерно 20, хотя приводятся и другие значения, так как оно зависит от степени разложения и фракции удобрения. Согласно рекомендациям, данное отношение в органических удобрениях не должно превышать 25 для избежания азотного голодания растений (Ермохин, 2020)

В наших исследованиях отношение С:N в твердой фракции навоза изменялось от 6,1-7,1, в опыте с жидкой фракцией составляло 12,9. Данные по содержанию общего азота и отношению С:N в почвах полевых опытов

представлены в таблицах 16, 17.

Содержание азота в агрочерноземе квазиглееватом легкосуглинистом было низким и составляло 0,11-0,13% в разные годы (таблица 16). Отношение C:N также оценивалось как низкое и среднее: 10,6-12,2. Для черноземных почв значение этого показателя в пределах 9-12 считается оптимальным (Сычев, Шевцова, Беличенко и др., 2019). Для черноземов и лугово-черноземных почв Омского Прииртышья также характерны такие величины C:N (Мищенко, Мельников, 2007).

Поступление с навозом в почву азота составило 118-348 кг/га. В год его действия наблюдалось увеличение содержания азота на 50% в варианте с дозой удобрения 60 т/га, при этом обогащенность гумуса азотом характеризовалась как средняя.

Таблица 16 – Соотношение C:N в агрочерноземе квазиглееватом легкосуглинистом в условиях применения твердой фракции свиного навоза (опыт 1, опытное поле Омского ГАУ)

Вариант	N, %	C:N	Оценка обогащенности азотом
2016 г., год действия навоза			
Контроль	0,12	11,3	низкая
Навоз 20 т/га	0,12	12,0	низкая
Навоз 60 т/га	0,18	10,1	средняя
2017 г., 1-й год последействия навоза			
Контроль	0,13	10,6	средняя
Навоз 20 т/га	0,13	10,9	средняя
Навоз 60 т/га	0,12	14,8	очень низкая
2018 г., 2-й год последействия навоза			
Контроль	0,12	11,8	низкая
Навоз 20 т/га	0,10	14,2	очень низкая
Навоз 60 т/га	0,14	11,6	низкая
2019 г., 3-й год последействия навоза			
Контроль	0,11	12,2	низкая
Навоз 20 т/га	0,13	10,6	средняя
Навоз 60 т/га	0,10	16,4	очень низкая

В годы последействия удобрения закономерного изменения содержания азота в почве по сравнению с контролем не наблюдалось. Обогащенность гумуса азотом варьировала от средней до низкой и очень низкой.

В агрочерноземах квазиглееватых сильногумусированных среднесуглинистом и тяжелосуглинистом уровень содержания валового азота был значительно больше: 0,37-0,40%, что обусловлено более высоким содержанием гумуса (таблица 17). Отношение C:N было низким в опыте с твердой фракцией и средним – в опыте с жидкой фракцией навоза.

Таблица 17 – Соотношение C:N в агрочерноземах квазиглееватых в условиях применения твердой и жидкой фракций свиного навоза (2016 г., 1-й год последействия навоза, ООО «РУСКОМ-Агро»)

Вариант	N, %	C:N	Оценка обогащенности азотом
Твердая фракция навоза			
Контроль	0,37	11,1	низкая
Навоз 20 т/га	0,50	8,14	средняя
Навоз 40 т/га	0,66	6,38	высокая
Навоз 80 т/га	0,43	10,5	средняя
Навоз 100 т/га	0,59	7,81	высокая
Жидкая фракция навоза			
Контроль	0,40	9,24	средняя
Навоз 50 т/га	0,30	13,2	низкая
Навоз 100 т/га	0,37	11,1	низкая
Навоз 200 т/га	0,35	12,3	низкая
Навоз 300 т/га	0,33	11,9	низкая

В вариантах с последействием твердой фракции навоза наблюдался более высокий уровень содержания азота, однако прямая зависимость между дозой удобрения и содержанием азота в почве отсутствовала. Отмечено уменьшение соотношения C:N при последействии навоза до 7,8-10,5 и повышение обогащенности гумуса азотом до среднего и высокого уровня.

В опыте с жидкой фракцией навоза не было установлено увеличение

валового содержания азота в удобренных вариантах. При увеличении содержания углерода в почве отношение C:N в них было больше по сравнению с контролем и оценивалось как низкое.

Таким образом, исследуемые агрочерноземы характеризовались низкой и средней величиной отношения C:N (10,6-12,7), характерной для черноземных почв. Увеличение обогащенности гумуса азотом агрочернозема квазиглееватого опытного поля происходило только в год действия навоза в дозе 60 т/га. В агрочерноземе сильногумусированном тяжелосуглинистом в первый год последействия твердой фракции навоза в дозах от 20 до 100 т/га наблюдалось уменьшение величины C:N до 6,38-10,5 при 11,1 на контроле. При последействии жидкой фракции навоза отмечалось небольшое расширение данного показателя. Однако, изменение величины C:N в агрочерноземах при использовании бесподстильного свиного навоза было небольшим.

В целом, применение твердой фракции навоза способствовало оптимизации таких показателей гумусного состояния почвы, как содержание и запасы углерода органического вещества, доля гуминовых кислот, содержание свободных гуминовых кислот, а также тип гумуса. Влияние жидкой фракции навоза при увеличении запасов и содержания углерода, свободных ГК, сопровождалось сужением отношения C_{гк}:C_{фк} в почве.

3.4 Влияние свиного навоза на содержание подвижных гумусовых веществ

Органическое вещество приятно разделять на группу консервативных, устойчивых соединений и группу лабильных веществ (Кирюшин, Ганжара, Кауричев, 1993). Консервативные вещества устойчивы к минерализации, их роль в питании растений незначительная. Они представлены в почве зрелыми гумусовыми кислотами, гуматами кальция, органоминеральными производными гумусовых веществ, гумином, частично лигнином и его производными (Мамонтов, Афанасьев, Родионова и др., 2008)

При агроэкологической оценке состояния органического вещества почвы большая роль отводится подвижным гумусовым веществам (Мамонтов, Мамутов, Кузелев, 2011). Они представлены гумусовыми кислотами, непрочно связанными с минеральной частью почвы, новообразованными специфическими соединениями, органическими веществами корневых выделений, промежуточными продуктами гумификации. Благодаря динамичности содержания и состава подвижных гумусовых соединений их количество является индикатором изменений состояния органического вещества почвы.

Они легко поддаются минерализации, участвуют в формировании структуры и других свойств почвы, являются источником энергии для микроорганизмов и питания для сельскохозяйственных культур. По данным Ганжары Н.Ф. с соавторами в составе лабильных веществ содержится 1,0-1,35% азота, 0,4-1,0% фосфора и 0,5-1,2% калия (Ганжара, Миренков, Родионова, 2001). Подвижный гумус постоянно обновляется за счет протекающих в почве процессов минерализации и гумификации. Его запасы в почве незначительны, но именно они обеспечивают ее отклик на внешние воздействия и формируют часть эффективного плодородия (Шарков, Бреус, Данилова, 1994; Чупрова, 2013). Эта подвижная часть гумуса выступает связующим звеном между веществами, которые определяют эффективное плодородие почв и в конечном итоге влияют на количественную величину стабильной части органического вещества.

Для определения подвижных гумусовых веществ используют различные экстрагенты: воду, растворы щелочи, пирофосфата натрия и их смесь (Бакина, Орлова, 2012; Бакина, Дричко, Орлова, 2017; Чупрова, Жукова, 2017; Шарков, Самохвалова, Шепелев, 2009; Шпедт, 2013). Предложено выделение лабильных гумусовых веществ тяжелыми жидкостями (Ганжара, Борисов, Шевченко и др., 1987).

В наших исследованиях было изучено влияние разных фракций свиного навоза на содержание подвижных гумусовых соединений, извлекаемых водой, растворами 0,1н NaOH и 0,1н Na₄P₂O₇ с рН = 7 (Лабораторно-практические ..., 2009).

Содержание водорастворимых гумусовых соединений. Водорастворимые гумусовые вещества представляют промежуточные продукты трансформации органических соединений. Они представлены неспецифическими (аминокислоты, углеводы, органические кислоты) и специфическими (фульвокислоты) органическими веществами.

Их накопление в почве связано с поступлением свежих органических остатков, органических удобрений, активностью почвенной микрофлоры (Зезюков, Дедов, 1997). Мамонтов В.Г. совместно с соавторами (2008) отмечает, что водой экстрагируются наиболее подвижные гумусовые вещества с высокой обогащенностью азотом ($C:N = 7,7-10$). Их особенностью является быстрое вовлечение в процессы гумификации и минерализации, а также миграция по профилю с атмосферными осадками, что обеспечивает их динамичность (Чупрова, 2013).

В научной литературе отмечают положительную роль водорастворимого органического вещества на формирование гумуса черноземных почв, так как в его присутствии процессы синтеза гумусовых веществ идут интенсивнее (Дедов, 1999). Так, в опытах на черноземе выщелоченном внесение органических и минеральных удобрений под озимую пшеницу и сахарную свеклу повышало содержание водорастворимых соединений за вегетацию в среднем на 7-33 и 45-87%, соответственно по сравнению с контролем (Дедов, Придворев, Верзилин, 2004).

Водорастворимые соединения углерода в наших опытах определяли экстрагированием из почвы дистиллированной водой с соотношением почва-вода 1:5 при кипячении в течение 1 ч. ($t = 100^{\circ}C$). В агрочерноземе квазиглееватом легкосуглинистом опытного поля содержание водорастворимого углерода гумуса в разные годы было небольшим – 120-210 мгС/кг, однако его доля от общего содержания углерода органического вещества (1,03-1,76%) по Орлову Д.С. с соавторами (2004) оценивалась как высокая (таблица 18).

В год действия удобрения содержание водорастворимых гумусовых веществ почвы существенно возрастало при всех его дозах и составляло 2,06-2,19% $C_{орг}$.

Применение 1 тонны твердой фракции свиного навоза обеспечивало возрастание водорастворимого углерода на 3,53 мгС/кг. Между дозой навоза и количеством водорастворимых соединений $C_{орг}$ установлена сильная зависимость: $r = 0,76 \pm 0,17$.

Таблица 18 – Влияние действия и последействия твердой фракции свиного навоза на содержание водорастворимых соединений углерода в слое 0-20 см агрочернозема квазиглееватого легкосуглинистого (опыт 1, опытное поле Омского ГАУ)

Вариант	2016 г., год действия навоза		2017 г., 1-й год последействия навоза		2018 г., 2-й год последействия навоза		2019 г., 3-й год последействия навоза	
	мгС/кг	% к $C_{общ}$	мгС/кг	% к $C_{общ}$	мгС/кг	% к $C_{общ}$	мгС/кг	% к $C_{общ}$
Контроль	120	1,03	210	1,76	140	1,15	200	1,75
Навоз 20 т/га	260	2,10	340	2,79	230	1,90	220	1,86
Навоз 30 т/га	290	2,18	370	2,85	270	2,05	260	2,06
Навоз 40 т/га	290	2,09	390	2,93	280	2,11	280	2,14
Навоз 50 т/га	320	2,06	460	3,36	310	2,28	290	2,15
Навоз 60 т/га	340	2,19	490	3,20	380	2,68	330	2,34
НСР ₀₅	22	-	44	-	59	-	45	-

Наибольшее содержание водорастворимых веществ в удобренной почве наблюдалось в первый год последействия свиного навоза. Их прирост в вариантах с навозом составил 62-133% по сравнению с контролем. Применение одной тонны твердой фракции свиного навоза обеспечивало увеличение водорастворимого углерода на 4,34 мгС/кг при сильной зависимости между дозой удобрения и количеством водорастворимого углерода: $r = 0,88 \pm 0,13$. В последующие годы наблюдалось снижение количества водорастворимых соединений углерода, однако в удобренных вариантах их количество превышало контроль. Во второй год действия органического удобрения применение одной тонны твердой фракции свиного навоза способствовало увеличению водорастворимого углерода в агрочерноземе на 4,09 мгС/кг ($r = 0,78 \pm 0,18$). В третий год последействия

навоза связь между его дозой и количеством водорастворимого углерода была слабее: $r = 0,69 \pm 0,21$.

В опыте 2 на контроле содержание подвижных гумусовых веществ варьировало в пределах 180-240 мгС/кг, составляя 1,34-1,90% общего углерода (таблица 19). Органическое удобрение в год действия способствовало увеличению количества водорастворимого гумуса от 180 до 400 мгС/кг при увеличении его доли до 1,90-2,52% $C_{орг}$. Применение одной тонны твердой фракции свиного навоза сопровождалось увеличением содержания водорастворимых гумусовых веществ на 3,57 мгС/кг при сильной зависимости показателей ($r = 0,96 \pm 0,08$). В годы последействия удобрения наблюдалось повышение водорастворимых гумусовых веществ на 12,5-83,3% при сохраняющейся их связи с дозой навоза ($r = 0,91 \pm 0,10$ в первый год последействия и $r = 0,88 \pm 0,13$ – во второй год). Одна его тонна увеличивала содержание водорастворимого гумуса в первый год последействия навоза на 3,46, во второй год – 2,88 мгС/кг.

Таблица 19 – Влияние действия и последействия твердой фракции свиного навоза на содержание водорастворимых соединений углерода в слое 0-20 см агрочернозема квазиглееватого легкосуглинистого (опыт 2, опытное поле Омского ГАУ)

Вариант	2017 г., год действия навоза		2018 г., 1-й г. последействия навоза		2019 г., 2-й г. последействия навоза	
	мгС/кг	% к $C_{общ}$	мгС/кг	% к $C_{общ}$	мгС/кг	% к $C_{общ}$
Контроль	180	1,34	240	1,90	200	1,52
Навоз 20 т/га	230	1,62	270	1,94	270	1,93
Навоз 30 т/га	280	1,90	330	2,34	290	2,09
Навоз 40 т/га	320	2,12	370	2,57	330	2,32
Навоз 50 т/га	350	2,26	400	2,68	370	2,53
Навоз 60 т/га	400	2,52	440	2,77	390	2,52
НСР ₀₅	73	-	78	-	59	-

Повышение количества водорастворимых соединений углерода в результате

применения удобрений показано в исследованиях ряда авторов. Так, в опытах на дерново-мелокоподзолистой тяжелосуглинистой почве Пермского НИИСХ было установлено, что максимальное содержание водорастворимого углерода находилось в почве варианта с 10 т/га навоза + NPK, экв. 10 т/га навоза (0,11% C_{H2O}) (Завьялова, Ямалтдинова, 2010). При длительном применении органических удобрений (навоз, осадки сточных вод) на дерново-подзолистых почвах содержание водорастворимого углерода в них повышалось в 1,2-1,5 раза (Васбиева, Завьялова, Фомин и др., 2019).

В целом, отмечается, что для водорастворимых органических соединений, как продукта трансформации свежего органического вещества, уровень их накопления и динамика в почве зависят от комплекса как биотических, так и абиотических факторов. При повышении разложения послеуборочных остатков в почву поступает больше водорастворимых веществ (Дедов, Придворев, Верзилин, 2004).

Содержание водорастворимых гумусовых веществ в агрочерноземе квазиглееватом сильногумусированном тяжелосуглинистом было значительно больше по сравнению с агрочерноземом малогумусированном легкосуглинистым (рисунок 4, приложение Д).

Доля водорастворимого углерода органического вещества в опыте с твердой фракцией навоза на контроле составила 1,07%, в удобренных вариантах она повышалась до 1,28-1,55%. Количество водорастворимых соединений углерода в вариантах с навозом увеличивалось на 21,6-64,9%, максимальное их количество наблюдалось в варианте с дозой 100 т/га. Применение одной тонны твердой фракции свиного навоза обеспечивало прирост водорастворимых форм углерода в среднем на 2,33 мгС/кг. Зависимость между органическим удобрением и количеством водорастворимого углерода характеризовалась как сильная: $r = 0,91 \pm 0,12$.

В опыте с жидкой фракцией свиного навоза агрочерноземом сильногумусированный среднесуглинистый на контроле содержал водорастворимый углерод в концентрации 330 мгС/кг (рисунок 5, приложение Д).

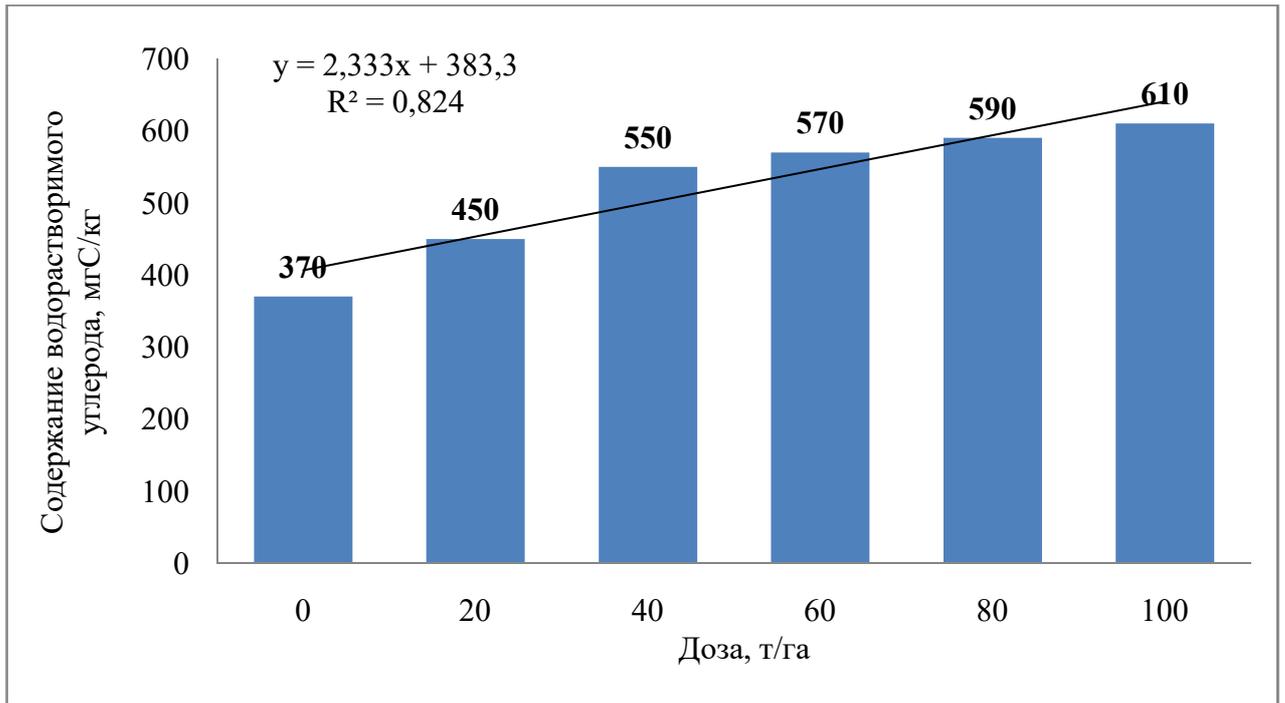


Рисунок 4 – Содержание водорастворимого углерода органического вещества в агрочерноземе квазиглееватом тяжелосуглинистом в 1-й год последствия твердой фракции свиного навоза (ООО «РУСКОМ-Агро»), НСР₀₅ = 46 мгС/кг

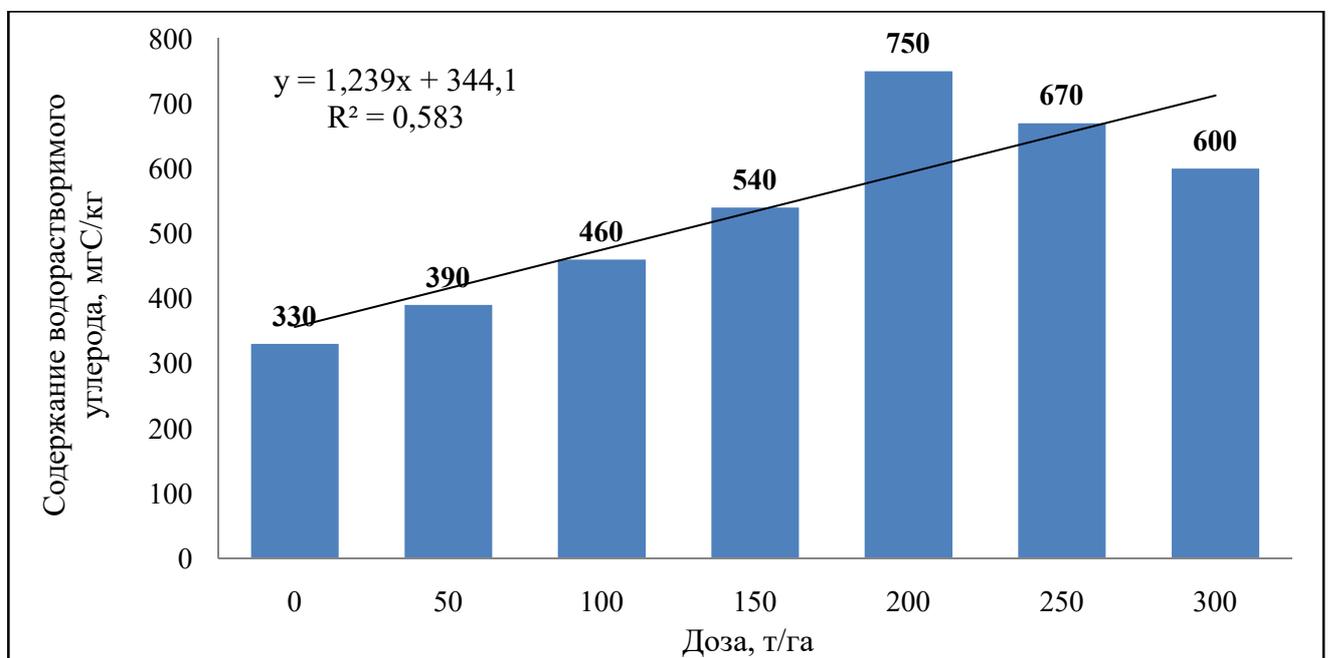


Рисунок 5 – Содержание водорастворимого углерода органического вещества в агрочерноземе квазиглееватом среднесуглинистом в 1-й год последствия жидкой фракции свиного навоза (ООО «РУСКОМ-Агро»), НСР₀₅ = 43 мгС/кг

Применение жидкого навоза способствовало возрастанию водорастворимых форм углерода органического вещества на 81,8-127,3% в зависимости от дозы удобрения. Наибольшее содержание водорастворимых соединений углерода было установлено в варианте с дозой 200 т/га. Была обнаружена существенная связь между дозой навоза и количеством водорастворимых веществ: $r = 0,76 \pm 0,03$. Применение одной тонны жидкой фракции навоза обеспечивало прирост подвижных форм углерода в среднем на 1,24 мгС/кг.

Содержание подвижных гумусовых соединений, извлекаемых 0,1н NaOH. По мнению ряда авторов, наибольшую информацию о трансформации и новообразовании гумуса при сельскохозяйственном использовании почв дает вытяжка, извлекаемая раствором 0,1н NaOH. С ее помощью извлекаются «молодые» формы гумуса, непрочные связанные с минеральной частью почвы (Когут, 2003). Поэтому данную фракцию гумусовых соединений правомерно относят к подвижным гумусовым веществам (Шпедт, Картавых, 2012). Как указывает Мамонтов В.Г. с соавторами (2009) содержание лабильных гумусовых веществ в почвах варьирует в широких пределах. В пахотных почвах оно значительно ниже, так как происходит минерализация их значительной части. По данным авторов, в черноземе выщелоченном Воронежской области среднее содержание лабильных гумусовых веществ в пахотном слое колебалось в пределах 3150-5840 мг/кг почвы, в отдельные годы от 200-600 до 21270 мг/кг почвы.

В наших опытах подвижные гумусовые вещества извлекали 0,1н NaOH в течение 30 минут при соотношении почвы к раствору 1:10 согласно методике, изложенной в руководстве (Лабораторно-практические занятия ..., 2009). В результате проведения исследований выявлено, что содержание углерода подвижного гумуса в агрочерноземе квазиглееватом малогумусированном легкосуглинистом варьировало в диапазоне 1650-1850 мгС/кг. Степень «подвижности» гумуса составляла 13,8-16,0% (таблица 20).

Таблица 20 – Влияние действия и последствий твердой фракции свиного навоза на содержание подвижных гумусовых веществ, извлекаемых 0,1н NaOH, в агрочерноземе квазиглееватом легкосуглинистом (опыт 1, опытное поле Омского ГАУ)

Вариант	2016 г., год действия навоза		2017 г., 1-й г. последствий навоза		2018 г., 2-й г. последствий навоза		2019 г., 3-й г. последствий навоза	
	мгС/кг	% к С _{общ}	мгС/кг	% к С _{общ}	мгС/кг	% к С _{общ}	мгС/кг	% к С _{общ}
Контроль	1850	16,0	1770	14,9	1680	13,8	1650	14,9
Навоз 20 т/га	2070	16,7	2220	18,2	2340	19,3	1890	16,3
Навоз 30 т/га	2270	17,1	2260	17,4	2340	18,1	1950	15,6
Навоз 40 т/га	2420	17,4	2400	18,1	2370	18,0	2040	15,6
Навоз 50 т/га	2570	17,6	2540	18,5	2570	19,0	2160	15,9
Навоз 60 т/га	2710	17,5	2620	17,1	2630	18,5	2100	14,9
НСР ₀₅	256	-	194	-	198	-	106	-

Для условий Омского Прииртышья оценочная шкала данного показателя не разработана. Однако для типичных черноземов Центральной России установлено, что средним урожаям культур соответствует содержание подвижных гумусовых веществ 2300 мгС/кг (Дьяконова, Титова, Когут и др., 1990). Для черноземов агроценозов Красноярского края их количество 100-200 мгС/100 г оценивается как низкое, 200-300 мгС/100 г – как среднее, 300-400 мгС/кг – высокое, > 400 мгС/100 г – очень высокое (Шпедт, 2016). Ориентируясь на данные градации можно полагать, что исследуемый нами агрочернозем легкосуглинистый имеет низкое содержание подвижных гумусовых веществ. Для лугово-черноземных среднегумусовых почв тяжелого гранулометрического состава Омского Прииртышья приводятся данные о более высоком их содержании: 3455-3906 мгС/кг (Аксенова, 2019).

Применение твердой фракции свиного навоза способствовало увеличению количества щелочерастворимых гумусовых веществ в агрочерноземе до среднего уровня. Их содержание в год действия увеличилось от 11,9 до 46,5% к контролю пропорционально дозе удобрения. Существенное возрастание количества

подвижного гумуса в почве наблюдалось при дозе удобрения 30 т/га и больше и было максимальным при дозе 60 т/га. Между количеством щелочерастворимых гумусовых веществ и дозой навоза была установлена сильная зависимость: $r = 0,96 \pm 0,08$. Применение одной тонны свиного навоза увеличивало содержание подвижного углерода в среднем на 14,6 мгС/кг. При этом существенных различий между дозами 50 и 60 т/га не наблюдалось.

В годы последействия проявлялось существенное влияние всех доз навоза на содержание щелочерастворимого углерода. Наибольшее увеличение углерода подвижных гумусовых веществ (39,3-56,5%) установлено во второй год исследований. В третий год последействия удобрения отмечался наименьший уровень содержания гумусовых веществ за весь период проведения опыта, но он так же был существенно больше (на 11,5-30,9%) в вариантах с навозом по сравнению с контролем. Как отмечается исследованиями Шпедта А.А. (2013) и Чупровой В.В. (2017) подвижной части гумуса присуща сезонная изменчивость и высокая динамичность, обусловленная влиянием гидротермических условий. Различия в содержании подвижных гумусовых веществ в наших опытах, вероятно, также было обусловлено значительными колебаниями температуры воздуха и количества осадков по годам исследований.

В целом, за период последействия навоза сохранялась связь содержания подвижных соединений гумуса и дозы органического удобрения: $r = 0,95 \pm 0,08$. Одна тонна свиного навоза обеспечивала возрастание количества подвижного углерода в среднем на 13,6 мгС/кг. Таким образом, применение навоза обеспечивало существенное увеличение количества щелочерастворимых гумусовых веществ в агрочерноземе от низкого до среднего, сохраняющееся в течение трех лет последействия.

В опыте 2 были получены сопоставимые результаты (таблица 21).

Содержание углерода подвижного гумуса на контроле варьировало в диапазоне 1360-1680 мгС/кг, что было несколько меньше, чем в опыте 1. Степень подвижности гумуса составляла 10,2-13,3% общего содержания углерода. Применение твердой фракции свиного навоза существенно увеличивало

количество подвижных гумусовых веществ (на 23,5-42,6%) до среднего уровня. Ее дозы от 20 до 40 т/га оказывали одинаковое влияние на содержание подвижного гумуса.

Таблица 21 – Влияние действия и последствий твердой фракции свиного навоза на содержание подвижных гумусовых веществ, извлекаемых 0,1н NaOH, в агрочерноземе квазиглееватом легкосуглинистом (опыт 2, опытное поле Омского ГАУ)

Вариант	2017 г., год действия навоза		2018 г., 1-й г. последствий навоза		2019 г., 2-й г. последствий навоза	
	мгС/кг	% к С _{общ}	мгС/кг	% к С _{общ}	мгС/кг	% к С _{общ}
Контроль	1360	10,2	1680	13,3	1550	11,7
Навоз 20 т/га	1680	11,8	2240	16,1	1630	11,5
Навоз 30 т/га	1710	11,6	2300	16,4	1680	12,1
Навоз 40 т/га	1820	12,1	2260	16,7	1690	12,1
Навоз 50 т/га	1910	12,3	2380	16,0	1680	12,0
Навоз 60 т/га	1940	12,2	2480	15,6	1880	12,2
НСР ₀₅	136	-	241	-	113	-

Доля подвижных гумусовых веществ в вариантах с дозами 20 и 30 т/га составляла 11,6-11,8%, несколько увеличиваясь при 40-60 т/га до 12,1-12,3% общего содержания углерода. Между количеством подвижных гумусовых веществ и дозой навоза была установлена сильная зависимость: $r = 0,93 \pm 0,06$. Применение одной тонны свиного навоза увеличивало содержание щелочерастворимого углерода на 9,2 мгС/кг.

В первый год последствий твердой фракции наблюдались самые высокие значения содержания щелочерастворимых гумусовых веществ за время проведения опыта. В удобренной почве всех вариантов наблюдалось существенное увеличение содержания подвижного гумуса от 33,3 до 47,6% к контролю при отсутствии существенных различий между дозами. Подвижность углерода в вариантах с навозом (15,6-16,7%) превышала ее значения на контроле. Одна тонна

твердой фракции навоза обеспечивала возрастание количества подвижного углерода органического вещества на 11,7 мгС/кг.

Во второй год после применения навоза существенное увеличение подвижных гумусовых веществ наблюдалось при дозах, превышающих 30 т/га: на 8,4-9,0% при 30-50 т/га и на 21,3% при 60 т/га. То есть, на 2-й год последствия навоза его влияние на содержание подвижных гумусовых веществ несколько ослабилось. Возрастание количества подвижного гумуса от одной тонны удобрения составило в среднем 4,46 мгС/кг. В годы последствия корреляционная зависимость между количеством подвижных гумусовых веществ и дозой удобрения оставалась сильной: в 1-й год $r = 0,90 \pm 0,16$, во 2-й год $r = 0,88 \pm 0,17$.

Таким образом, в опыте 2 также наблюдалось существенное увеличение количества щелочерастворимых гумусовых веществ при применении свиного навоза. Полученные результаты согласуются с исследованиями других авторов. Так, в исследованиях на дерново-подзолистых почвах Беларуси применение навоза в дозе 12,5 т/га также увеличивало содержание в них подвижного гумуса, извлекаемого 0,1н NaOH (Богатырева, Серая, Бирюкова и др., 2009).

Содержание подвижных гумусовых веществ в тяжелосуглинистом и среднесуглинистом агрочерноземах при последствии разных фракций бесподстилочного свиного навоза показано на рисунках 6, 7 и в приложении Е.

В тяжелосуглинистом агрочерноземе на контроле содержание щелочерастворимых гумусовых веществ оценивалось как очень высокое (4230 мгС/кг) при его доле 12,3% общего содержания углерода. В вариантах с твердой фракцией навоза в дозах 40-100 т/га количество подвижных гумусовых веществ было существенно больше, превышая на 27-36,2% значения показателя на контроле. Зависимость между дозой навоза и количеством щелочерастворимого углерода описывалась уравнением: $y = 16,96x + 4308$ при коэффициенте корреляции $r = 0,85 \pm 0,13$.

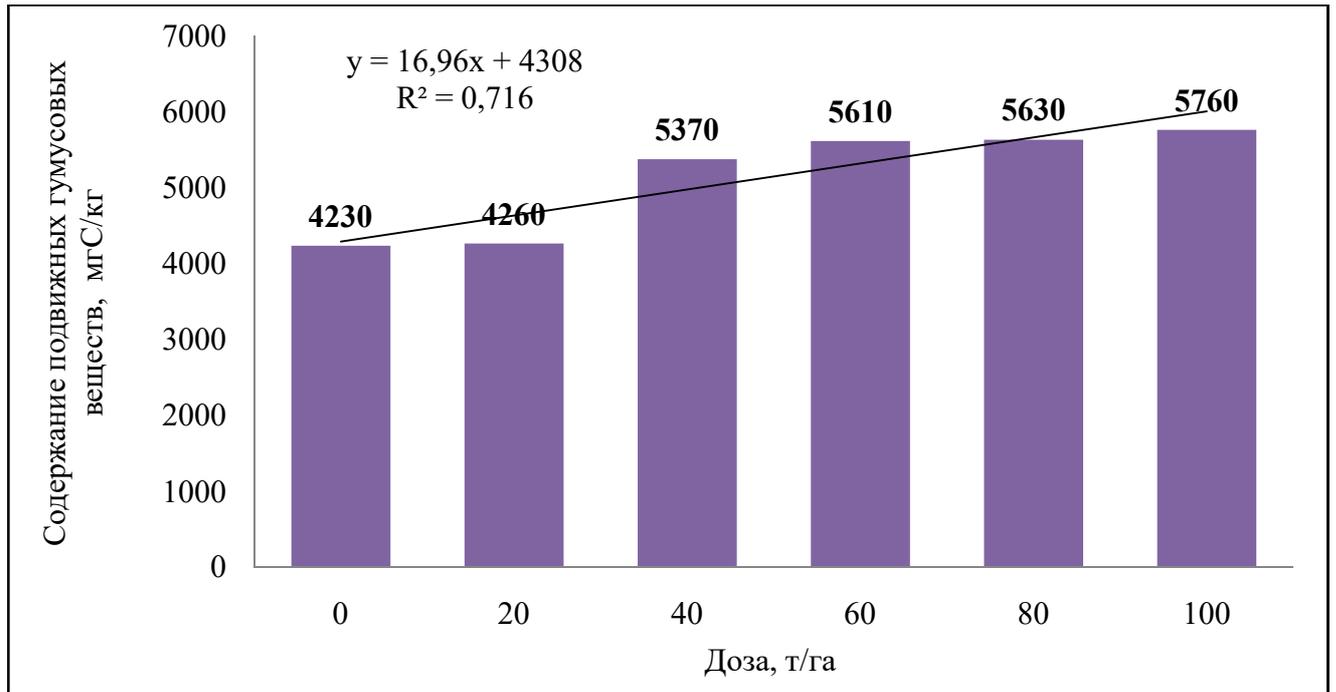


Рисунок 6 – Содержание подвижных гумусовых веществ, извлекаемых 0,1н NaOH, в агрочерноземе квазиглееватом тяжелосуглинистом в 1-й год последействия твердой фракции свиного навоза (ООО «РУСКОМ-Агро»), НСР₀₅ = 435 мгС/кг

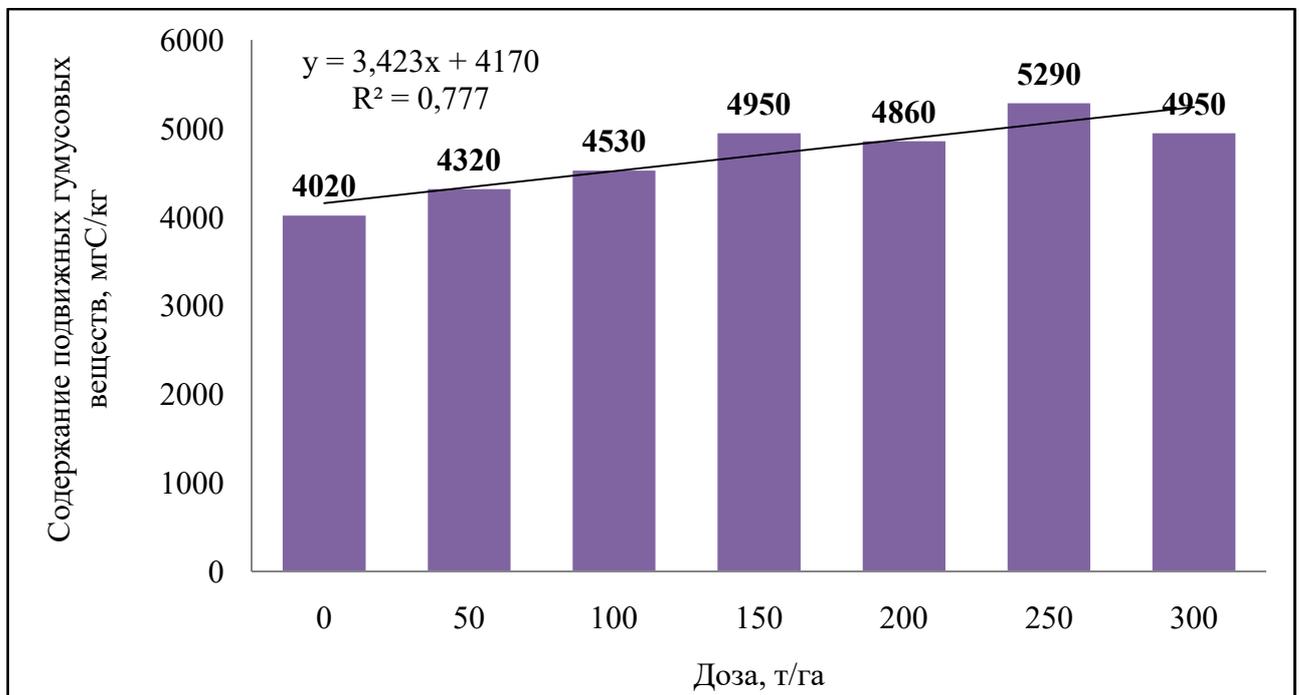


Рисунок 7 – Содержание подвижных гумусовых веществ, извлекаемых 0,1н NaOH, в агрочерноземе квазиглееватом среднесуглинистом в 1-й год последействия жидкой фракции свиного навоза (ООО «РУСКОМ-Агро»), НСР₀₅ = 167 мгС/кг

В опыте с жидкой фракцией свиного навоза неудобренная почва содержала 4020 мгС/кг подвижных гумусовых веществ. В вариантах с ее последствием количество щелочерастворимых гумусовых веществ превышало контроль на 7,5-31,6% при значении коэффициента корреляции между C_{NaOH} и дозой удобрения $0,88 \pm 0,11$. Максимальное количество подвижных гумусовых соединений установлено в варианте с дозой 250 т/га. В вариантах с дозами 150, 250 и 300 т/га органического удобрения оно было примерно на одном уровне. По всей вероятности, это было обусловлено влиянием природного варьирования содержания органического вещества в почве.

В целом, наши исследования показали, что применение различных фракций свиного навоза на агрочерноземах способствовало повышению содержания в них подвижных гумусовых веществ, извлекаемых щелочью. С агроэкологических позиций данные изменения оцениваются положительно, так как подвижные гумусовые вещества являются наиболее доступным источником элементов питания растений и микроорганизмов, участвуют в поддержании равновесия системы специфических гумусовых веществ почвы, влияют на структурообразование и другие важные процессы.

Содержание подвижных гумусовых соединений, извлекаемых 0,1n Na₄P₂O₇ при pH = 7. Для определения количества лабильных гумусовых веществ ряд авторов предлагает использовать пирофосфат натрия. Бакина Л.Г. с соавторами (2017) рекомендуют применять раствор щелочи и пирофосфата натрия, вкладывая в интерпретацию результатов одинаковую химическую (биохимическую, экологическую) трактовку, которая определяется механизмом происходящих при этом химических реакций. По их мнению, решающим критерием при оценке степени доступности гумусовых веществ для биохимического разложения должна быть в первую очередь степень их химической зрелости, гумифицированности, а не количество вещества, перешедшее в вытяжку.

Использование пирофосфатных вытяжек и интерпретация результатов, получаемых при извлечении гумусовых веществ растворами пирофосфата натрия, непосредственным образом связаны с величиной щелочности используемых

растворов. В настоящее время принято считать, что нейтральный раствор пирофосфата натрия ($pH = 7$) извлекает лабильные гумусовые вещества, а сильнощелочная вытяжка ($pH = 13$) является почти аналогом щелочной вытяжки после декальцирования почв и включает устойчивые фракции (Бакина, Дричко, Орлова, 2017).

В научной литературе указывает, что механизм действия пирофосфата натрия сводится к разрушению органоминеральных, гумусово-минеральных соединений вследствие необратимой обменной реакции с образованием нерастворимых солей с кальцием, алюминием, железом и образованию растворимых натриевых гумусовых, алюмо- и железо-гумусовых солей, которые при этом переходят в вытяжку (Бакина, Дричко, Орлова, 2017; Hayes, 2006; Lützow et al., 2008). По мнению Мамонтова В.Г. с соавторами (2008), чем сильнее экстрагент, тем больше в вытяжку совместно с лабильными переходят консервативные гумусовые вещества и минеральные соединения. Так, в пирофосфатную вытяжку из почвы переходит значительное количество ионов железа и алюминия.

В наших исследованиях на агрочерноземе квазиглееватом легкосуглинистом были получены следующие результаты (таблица 22). Применение пирофосфатной вытяжки обеспечивало более интенсивное извлечение лабильных гумусовых веществ, по сравнению с водой и щелочью, что связано с механизмом воздействия пирофосфата натрия на органическое вещество почвы.

Выявлено, что содержание углерода подвижного гумуса в агрочерноземе варьировало в диапазоне 2180-2830 мгС/кг, что составило 17,9-24,8% общего содержания углерода. Пирофосфатная вытяжка извлекала на 29,8-66,7% больше углерода по сравнению с 0,1н NaOH.

Применение твердой фракции свиного навоза способствовало увеличению соединений органического вещества, экстрагируемого пирофосфатом натрия в агрочерноземе. Их содержание в год действия увеличилось на 12,4-35,3% к контролю пропорционально дозе удобрения. Зависимость показателей подтверждалась коэффициентом корреляции $r = 0,98 \pm 0,08$. Применение одной

тонны свиного навоза увеличивало содержание подвижного гумуса на 15,5 мгС/кг.

Таблица 22 – Влияние действия и последствий твердой фракции свиного навоза на содержание подвижных гумусовых веществ, извлекаемых 0,1н $\text{Na}_4\text{P}_2\text{O}_7$ при рН = 7, в агрочерноземе квазиглееватом легкосуглинистом (опыт 1, опытное поле Омского ГАУ)

Вариант	2016 г., год действия навоза		2017 г., 1-й г. последствий навоза		2018 г., 2-й г. последствий навоза		2019 г., 3-й г. последствий навоза	
	мгС/кг	% к $C_{\text{общ}}$	мгС/кг	% к $C_{\text{общ}}$	мгС/кг	% к $C_{\text{общ}}$	мгС/кг	% к $C_{\text{общ}}$
Контроль	2830	24,4	2950	24,8	2180	17,9	2570	22,5
Навоз 20 т/га	3180	25,6	3310	27,1	2210	18,3	2660	22,5
Навоз 30 т/га	3430	25,8	3510	27,0	2240	17,0	2660	20,9
Навоз 40 т/га	3550	25,5	3700	27,8	2240	16,8	2690	20,5
Навоз 50 т/га	3670	25,1	3890	28,4	2270	16,7	2830	20,9
Навоз 60 т/га	3830	24,7	4100	26,8	2330	16,4	2920	20,7
НСР ₀₅	153	-	219	-	75	-	151	-

В годы последствий органического удобрения сохранялось его влияние на содержание подвижных гумусовых веществ, извлекаемых пирофосфатной вытяжкой при уменьшении их прироста во 2-ой и 3-й годы. Применение одной тонны свиного навоза в первый год последствий увеличивало содержание подвижного гумуса на 19,1 ($r = 0,95 \pm 0,26$), во второй – 2,27 ($r = 0,95 \pm 0,30$), в третий – 5,56 ($r = 0,93 \pm 0,13$) мгС/кг.

В ходе исследований в опыте 2 было выявлено, что содержание углерода подвижного гумуса в агрочерноземе легкосуглинистом варьировало в диапазоне 2300-2530 мгС/кг при степени его подвижности 17,9-18,9% (таблица 23).

В год действия органического удобрения пирофосфат натрия извлекал из удобренной почвы 18,4-21,2% общего углерода, что на 3,2-3,3% больше в сравнении с контролем. Применение одной тонны свиного навоза увеличивало содержание подвижного гумуса на 14,3 мгС/кг. Между количеством подвижных

гумусовых веществ и дозой навоза была установлена сильная зависимость: $r = 0,93 \pm 0,10$.

Таблица 23 – Влияние действия и последействия твердой фракции свиного навоза на содержание подвижных гумусовых веществ, извлекаемых $0,1\text{н Na}_4\text{P}_2\text{O}_7$ при $\text{pH} = 7$, в агрочерноземе квазиглееватом легкосуглинистом (опыт 2, опытное поле Омского ГАУ)

Вариант	2017 г., год действия навоза		2018 г., 1-й г. последействия навоза		2019 г., 2-й г. последействия навоза	
	мгС/кг	% к $C_{\text{общ}}$	мгС/кг	% к $C_{\text{общ}}$	мгС/кг	% к $C_{\text{общ}}$
Контроль	2530	18,9	2300	18,3	2360	17,9
Навоз 20 т/га	2610	18,4	2890	20,8	2520	18,0
Навоз 30 т/га	2780	18,9	2980	21,1	2520	18,1
Навоз 40 т/га	2920	19,3	3180	22,1	2640	18,6
Навоз 50 т/га	3220	20,8	3380	22,7	2850	19,5
Навоз 60 т/га	3370	21,2	3350	21,1	3000	19,4
НСР ₀₅	73	-	93	-	142	-

В годы последействия органического удобрения сохранялось его влияние на содержание подвижных гумусовых веществ. Применение одной тонны свиного навоза в первый год последействия увеличивало их содержание на 20,2 мгС/кг ($r = 0,99 \pm 0,04$), во второй – 10,0 мгС/кг ($r = 0,97 \pm 0,07$).

В исследованиях на агрочерноземах тяжелосуглинистом и среднесуглинистом с большей степенью гумусированности были получены следующие результаты (рисунки 8, 9; приложение Ж). В контрольном варианте на агрочерноземе тяжелосуглинистом содержание подвижных гумусовых веществ, извлекаемых раствором пиррофосфата натрия, составило 7680 мгС/кг (22,3% $C_{\text{орг}}$). Применение твердой фракции свиного навоза увеличивало содержание подвижного углерода на 9,4-15,6% по сравнению с контролем. Максимальное содержание подвижных форм углерода, превышающее на 15,6% контроль, наблюдалось в варианте с дозой 100 т/га. Применение одной тонны твердой

фракции навоза увеличивало содержание подвижного гумуса на 12,0 мгС/кг ($r = 0,97 \pm 0,08$).

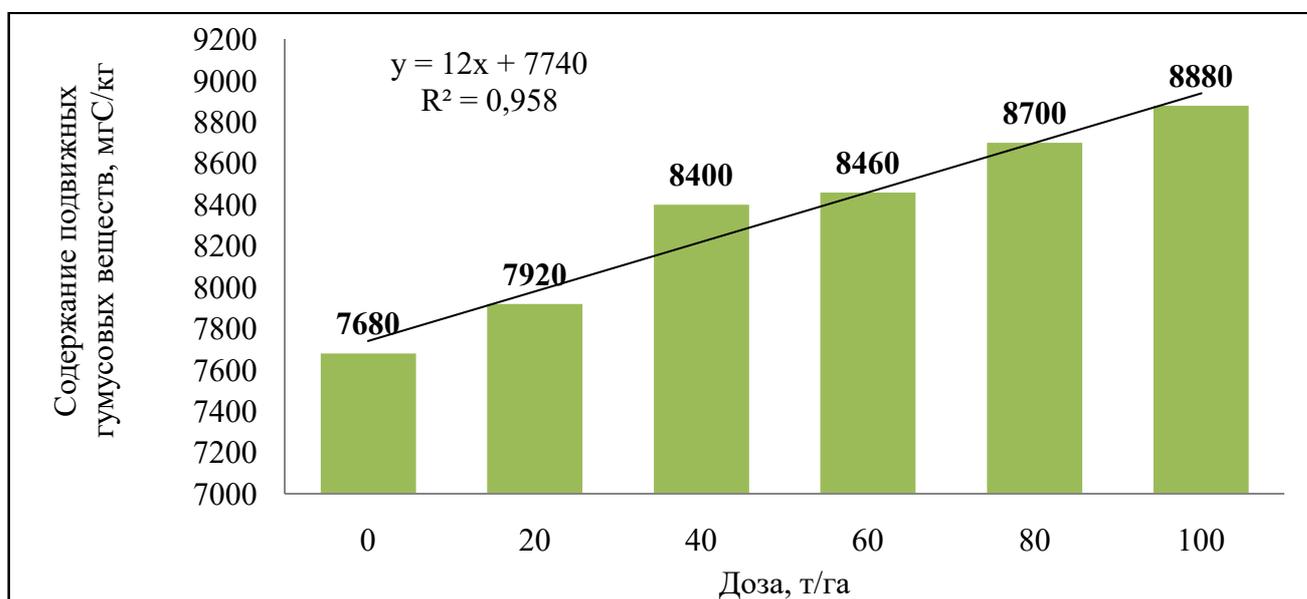


Рисунок 8 – Содержание подвижных гумусовых соединений, извлекаемых 0,1н $\text{Na}_4\text{P}_2\text{O}_7$ при $\text{pH} = 7$, в агрочерноземе квазиглееватом тяжелосуглинистом в 1-й год последействия твердой фракции свиного навоза (ООО «РУСКОМ-Агро»), $\text{НСП}_{05} = 267$ мгС/кг

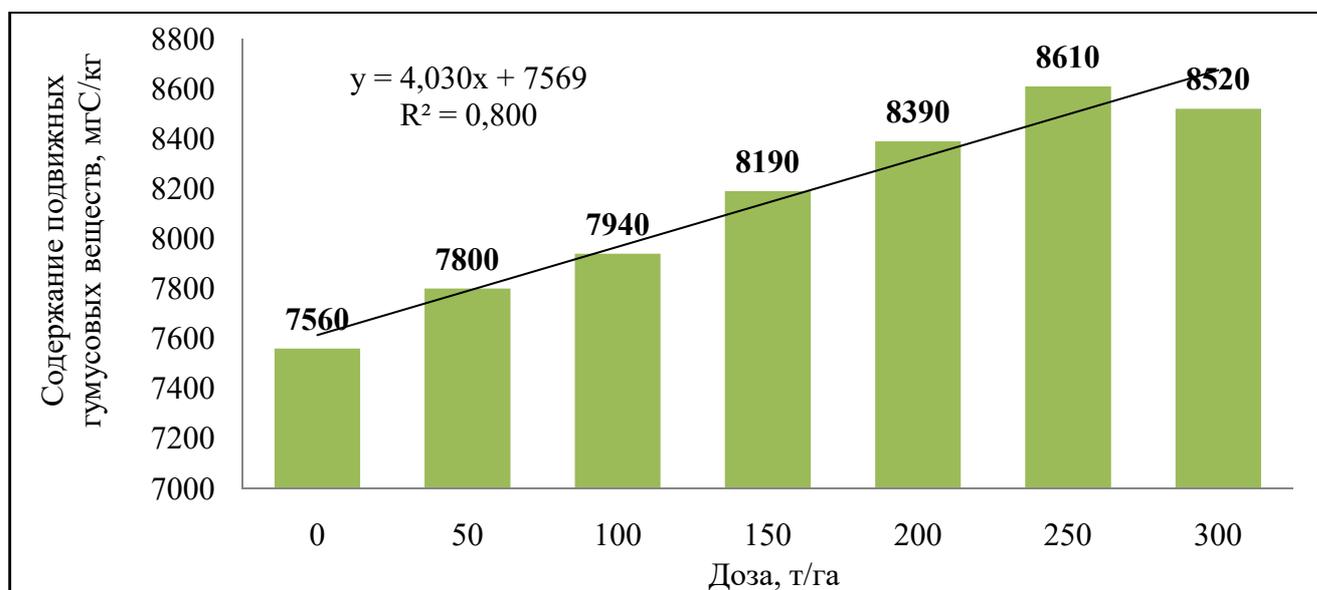


Рисунок 9 – Содержание подвижных гумусовых соединений, извлекаемых 0,1н $\text{Na}_4\text{P}_2\text{O}_7$ при $\text{pH} = 7$, в агрочерноземе квазиглееватом среднесуглинистом в 1-й год последействия жидкой фракции свиного навоза (ООО «РУСКОМ-Агро»), $\text{НСП}_{05} = 292$ мгС/кг

Содержание подвижных гумусовых веществ в почве контрольного варианта в опыте с жидким навозом находилось на уровне 7560 мгС/кг (23,5% $C_{орг}$). Применение навоза в дозах от 100 т/га и более увеличивало содержание подвижного углерода на 5,0-13,9% при слабом изменении доли $C_{Na_4P_2O_7}$ от $C_{орг}$ (21,9-24,9%). Применение одной тонны жидкой фракции навоза увеличивало содержание подвижного гумуса на 4,03 мгС/кг ($r = 0,89 \pm 0,13$).

Таким образом, применение как твердой, так и жидкой фракций навоза способствовало значительному увеличению соединений органического углерода, извлекаемого пирофосфатом натрия. В целом, проведенные исследования указывают на положительное влияние свиного навоза, особенно его твердой фракции, на показатели гумусного состояния агрочерноземов: содержание и запасы углерода органического вещества, тип гумуса, количество подвижных гумусовых веществ, извлекаемых водой, щелочью и пирофосфатом натрия. Стабилизация органического вещества почв будет обеспечиваться систематическим применением органических удобрений. Однако даже однократное внесение в почву навоза способствует замедлению процессов деградации и увеличению ее плодородия.

4 ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ ПОТЕНЦИАЛ АГРОЧЕРНОЗЕМОВ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ПРИМЕНЕНИЯ СВИНОГО НАВОЗА

Одной из экосистемных функций почвы является энергетическая. В почвенном покрове сосредоточены запасы энергии, доминирующая часть которой связана с органическим веществом почвы. Основным источником поступления энергии в почву является солнечная радиация, количество которой составляет $21 \cdot 10^{20}$ Дж в год (Абрамов, 2009). Преобладающая ее часть расходуется на формирование климата и океанических течений, от 0,5 до 5 % используется фотосинтезирующими организмами.

«Гумусосфера» представляет мощный геохимический аккумулятор солнечной энергии, количество которой оцениваются в $420 \cdot 10^{21}$ Дж или $n \cdot 10^{20}$ ккал энергии (Ковда, 1981). По расчетам Савича В.И. с соавторами (1994) запасы энергии, аккумулированной в слое 0-20 см почв, составляют 10-872 ккал/га. В почвенном гумусе удерживается и свободная форма энергии, которая может совершать работу, не снижая энтропии почв.

Поскольку энергетическое состояние почвы определяется прежде всего содержанием в ней органического вещества, изменения его в почвах агроценозов будет неизбежно отражаться на запасах энергии. Длительное сельскохозяйственное использование в пашне и эрозионные процессы приводят к снижению энергетической функции почвы, что показано исследованиями, проведенными в различных регионах. Так, для агроэкосистем Северного Зауралья установлено уменьшение энергозапасов в пахотных почвах в среднем на 21,7 % за период с 1968 по 1990 гг. (Абрамов, 2009).

Снижение запасов энергии с 4150 гДж/га на целине до 3060 гДж/га на пашне показано для черноземов выщелоченных Башкортостана (Иванова, Багаутдинов, Асылбаев, 2015). Наибольшие потери энергии за 102-летний период использования почв отмечены в деградированной и экстенсивной агроэкосистемах, 42 и 10%, соответственно. Дополнительное поступление энергии с минеральными и органическими удобрениями повышает энергоемкость

почвы интенсивного агроландшафта до 23% (Шевченко, 2016).

По мнению Абрамова Н.В. и Селюковой Г.П. (2000) возделывание сельскохозяйственных культур в России в настоящее время ведется неэффективно в отношении почвенной биоэнергетики. Темпы расхода энергии органического вещества в 25-30 раз выше, чем темпы ее поступления. Омская область не является исключением. По данным Красницкого В.М. (2002) энергетический потенциал пахотных почв с 1955-1965 по 1993-1997 гг. снизился в среднем по типам почв: в лугово-черноземных – на 1091,6; в черноземах обыкновенных – на 1403,2; в черноземах южных – на 857,2 гДж/га.

Согласно взглядам Блынской Т.А. и Лагутиной Т.Б. (2017) расчет величины энергопотенциала почвы значим с практической стороны, так как позволяет оценить потенциально возможный урожай, выбрать культуры, возделывание которых наиболее выгодно в конкретных почвенно-климатических условиях, а также выявить наибольший энергетический эффект от антропогенно затраченного вещества и энергии. Из сказанного выше следует, что расчет энергопотенциала почвы возможно использовать как показатель почвенного плодородия и экологической устойчивости агропочв.

Все мероприятия, направленные на оптимизацию режима органического вещества почвы способствуют стабилизации ее энергетического состояния. В связи с тем, что в наших опытах было установлено увеличение содержания углерода органического вещества, была проведена количественная оценка изменения запасов энергии в агрочерноземах. Для этого рассчитывали величину энергопотенциала по содержанию гумуса и его запасам с учетом энергетического эквивалента 21,654 гДж в 1 т/га гумуса (Орлов, Гришина, 1980; Ермохин, 2020). Масютенко Н.П. (2003) понимает под энергопотенциалом «количество энергии, заключенное в инертном гумусе, лабильных гумусовых веществах, в микробной биомассе, негумифицированном органическом веществе в исследуемом слое почвы на единице площади, измеряется в гДж/га, кДж/м². Количество энергии, выделяемое в процессе трансформации лабильных гумусовых веществ, негумифицированного органического вещества и при смене популяций

микроорганизмов и вовлекаемое в биологический круговорот вещества и потоков энергии, характеризует органическое вещество почвы как источник энергии».

Проведенные исследования показали, что величина энергии, аккумулированная гумусом в слое 0-20 см агрочернозема квазиглееватого легкосуглинистого на контроле, варьировала по годам от 966 до 1046 гДж/га (таблица 24).

Таблица 24 – Влияние твердой фракции свиного навоза на величину энергопотенциала (гДж/га) агрочернозема квазиглееватого легкосуглинистого (опыт 1, опытное поле Омского ГАУ)

Вариант	2016 г., год действия навоза	2017 г., 1-й год последствия навоза	2018 г., 2-й год последствия навоза	2019 г., 3-й год последствия навоза
Контроль	966	1026	1046	966
Навоз 20 т/га	1066	1051	1091	1011
Навоз 30 т/га	1140	1116	1116	1081
Навоз 40 т/га	1195	1145	1140	1126
Навоз 50 т/га	1250	1175	1165	1170
Навоз 60 т/га	1330	1315	1190	1210
НСР ₀₅	66	94	135	103

Согласно оценочной шкале, разработанной для почв Центральной Черноземной зоны, энергопотенциал почвы может оцениваться как критический (Научные основы и методы оценки ..., 2004). Это связано с деградацией гумусного слоя в результате процессов плоскостного смыва, а также с длительным сельскохозяйственным использованием. Применение свиного навоза увеличивало запасы энергии почвы в год действия удобрения на 7,0-33,6%, в период последствия – на 4,3-28,2%. Максимальное количество энергии в почве наблюдалось в варианте с дозой навоза 60 т/га. Оно было наибольшим в первые два года опыта – 1315-1330 гДж/га, в последующее время уменьшилось до 1190-1210 гДж/га.

Следует отметить, что в лугово-черноземных маломощных малогумусовых и среднегумусовых почвах Омской области были определены более значительные запасы энергии (2511-3352 гДж/га), что обусловлено большими запасами в них гумуса (Аксенова, 2017а).

Аналогичные результаты были получены в опыте 2 (таблица 25). Величина энергии, аккумулированная гумусом в почве контрольного варианта, была несколько больше, чем в опыте 1 и варьировала по годам исследований в диапазоне от 1081 до 1150 гДж/га.

Таблица 25 – Влияние твердой фракции свиного навоза на величину энергопотенциала (гДж/га) агрочернозема квазиглееватого легкосуглинистого (опыт 2, опытное поле Омского ГАУ)

Вариант	2017 г., год действия навоза	2018 г., 1-й год последействия навоза	2019 г., 2-й год последействия навоза
Контроль	1150	1081	1136
Навоз 20 т/га	1220	1190	1200
Навоз 30 т/га	1260	1210	1195
Навоз 40 т/га	1300	1235	1205
Навоз 50 т/га	1335	1280	1250
Навоз 60 т/га	1365	1365	1335
НСР ₀₅	125	151	98

В год действия твердой фракции свиного навоза запасы энергии в слое 0-20 см почвы возросли на 6,0-18,6%, в годы последействия – на 5,6-26,3 %. Наибольшие значения количества энергии в почве были установлены в вариантах с максимальной дозой органического удобрения: в год действия – 1365 гДж/га, в первый и второй годы последействия – 1335-1365 гДж/га.

Таким образом, применение твердой фракции свиного навоза оказало положительное влияние на гумусное и энергетическое состояние почвы. Внесение органического удобрения в дозах от 20 до 60 т/га увеличивало энергопотенциал агрочернозема легкосуглинистого в слое 0-20 см до 13,7-37,7%.

Полученные нами данные согласуются с результатами исследований других авторов. Увеличение запасов энергии в гумусе пахотных почв при использовании удобрений показано на черноземе выщелоченном Азово-Кубанской низменности (Попова, Швец, 2016). Установлено положительное влияние на энергопотенциал лугово-черноземных почв Омской области орошения, а также применения минеральных удобрений, соломы и навоза (Аксенова, 2017). На агродерновых аллювиальных почвах Архангельской области органические удобрения также увеличивали их энергетические запасы, тогда как минеральные удобрения практически не оказали на них влияние (Лагутина, Попова, 2015).

Агрочерноземы сильногумусированные обладали более высокими запасами энергии (рисунки 10, 11). Однако они также оценивались как низкие (2764-2693 гДж/га).

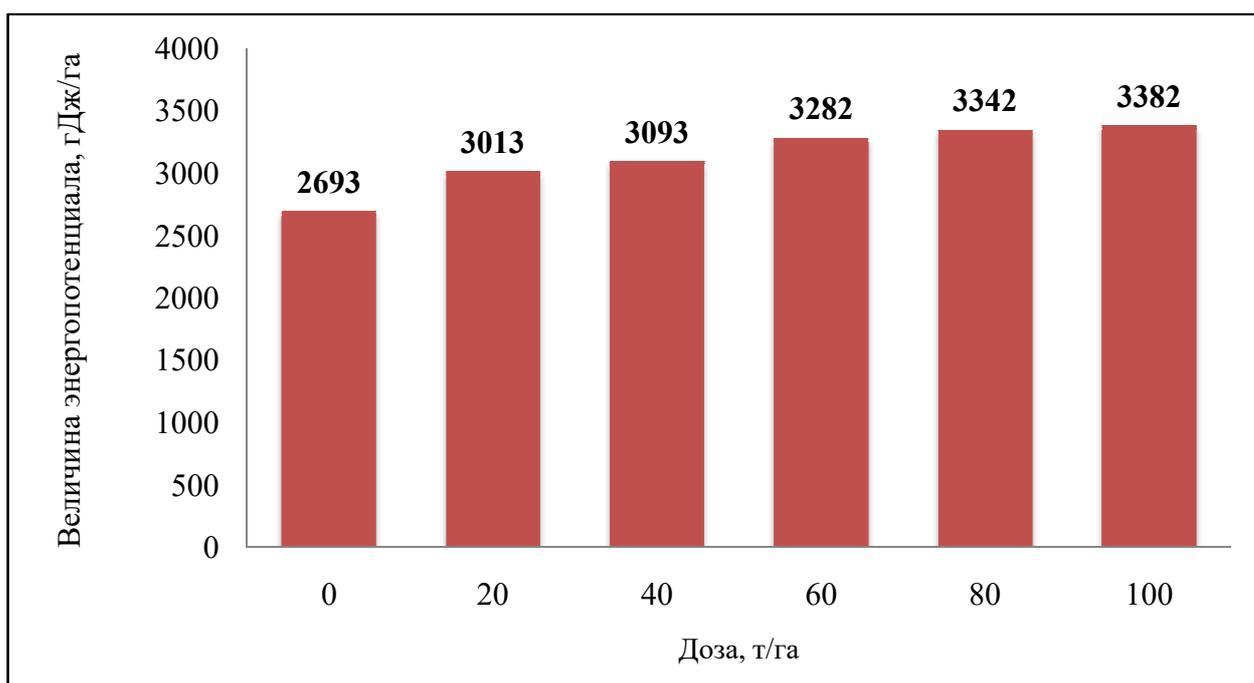


Рисунок 10 – Влияние твердой фракции свиного навоза на величину энергопотенциала агрочернозема квазиглееватого тяжелосуглинистого, (ООО «РУСКОМ-Агро», 1-й год последействия, 2016 г.), НСР₀₅ = 83 гДж/га

В опыте с твердой фракцией свиного навоза энергопотенциал при ее последействии увеличивался на 11,9-25,6% по сравнению с контролем.

Максимальные его значения установлены в вариантах с дозами удобрения 80 и 100 т/га – 3342-3382 гДж/га.

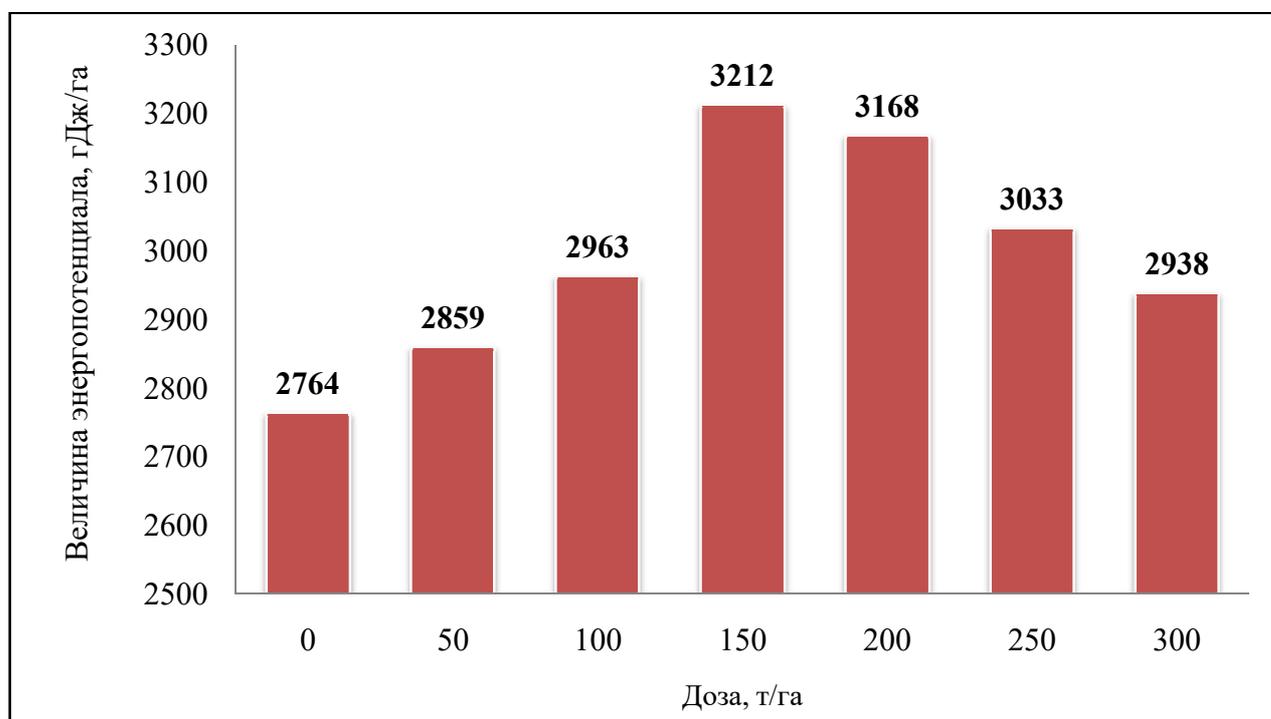


Рисунок 11 – Влияние жидкой фракции свиного навоза на величину энергопотенциала агрочернозема квазиглееватого среднесуглинистого, (ООО «РУСКОМ-Агро», 1-й год последействия, 2016 г.), НСР₀₅ = 150 гДж/га

Применение жидкой фракции свиного навоза вызвало увеличение запасов почвенного гумуса, но в меньшей степени, чем твердая фракция. Повышение энергии в вариантах с дозами от 50 до 250 т/га составило 3,4-16,2%, при максимальных значениях, соответствующих дозе 150 т/га.

Следует отметить, что энергетическое состояние почв определяется не только количеством, но и качественным составом гумуса, т.е. соотношением гуминовых и фульвокислот. Это связано с тем, что теплота сгорания гуминовых кислот больше, чем фульвокислот (Орлов, 1990). Так, 1 г гуминовой кислоты содержит от 18-22 кДж, 1 г фульвокислоты около 19 кДж (Алиев, 1973). Определенная часть энергии заключается в лабильных гумусовых веществах (Масютенко, 2003).

В связи с этим нами была проведена оценка запасов энергии в составе фракций лабильных гумусовых кислот по методике, разработанной Всероссийским НИИ земледелия и защиты почв от эрозии (Научные основы и методы оценки ..., 2004). Результаты расчетов количества энергии в подвижных гумусовых кислотах, извлекаемых 0,1н NaOH, представлены в таблице 26.

В составе подвижных гумусовых веществ агрочернозема контрольного варианта на содержание углерода гуминовых кислот приходилось в разные годы от 36,8 до 54,8% их общего количества. Доля фульвокислот была значительной: 45,2-63,2%. В год действия твердой фракции навоза в вариантах с его применением было установлено увеличение как фракции ГК, так и ФК, при большем количестве последних по сравнению с гуминовыми кислотами. Существенные отличия наблюдались в варианте с дозой 60 т/га, где в составе подвижных гумусовых веществ отмечалось доминирование ГК.

В годы последействия удобрения соотношение групп кислот было различным. В первый год преобладали гуминовые кислоты над фульвокислотами, во второй и третий годы значительная доля приходилась на фульвокислоты. При этом на второй год сохранялось преобладание ГК над ФК при максимальной дозе навоза.

Запасы энергии в составе подвижных гумусовых веществ агрочернозема составляли 118-130 гДж/га или 11,5-13,5% общей энергии гумуса. Твердая фракция навоза обеспечивала увеличение по отношению к контролю энергетических запасов за счет подвижных соединений на 10,8-52% в год действия и на 14,6-57,7% в годы последействия. При этом в период последействия наибольшее увеличение энергии отмечено в первый и второй годы при ослаблении эффекта на третий год. Возрастание энергопотенциала агрочернозема на 13,5-16% было обусловлено подвижными гумусовыми веществами. Среди них в первый и второй годы последействия прирост энергии в большей степени происходил за счет ГК, в год действия – значительной доли ФК. Возрастание количества энергии в составе подвижных гумусовых веществ на 63-71% происходило за счет гуминовых кислот.

Таблица 26 – Запасы энергии в подвижных гумусовых кислотах в слое 0-20 см агрочернозема квазиглееватого легкосуглинистого (опыт 1, опытное поле Омского ГАУ)

Вариант	С _{ЛГК}	С _{ЛФК}	Q _{ЛГК}	Q _{ЛФК}	Q
	мгС/кг		гДж/га		
2016 г., год действия навоза					
Контроль	680	1170	51,7	78,4	130,1
Навоз 20 т/га	600	1470	45,6	98,5	144,1
Навоз 30 т/га	840	1430	63,8	95,8	159,6
Навоз 40 т/га	960	1460	73,0	97,8	170,8
Навоз 50 т/га	1080	1490	82,1	99,8	181,9
Навоз 60 т/га	1840	870	139,8	58,3	198,1
2017 г., 1-й год последействия навоза					
Контроль	940	830	71,4	55,6	127,0
Навоз 20 т/га	1100	1120	83,6	75,0	158,6
Навоз 30 т/га	1300	960	98,8	64,3	163,1
Навоз 40 т/га	1430	970	108,7	65,0	173,7
Навоз 50 т/га	1560	980	118,6	65,7	184,3
Навоз 60 т/га	1720	900	130,7	60,3	191,0
2018 г., 2-й год последействия навоза					
Контроль	920	760	69,9	50,9	120,8
Навоз 20 т/га	1040	1300	79,0	87,1	166,1
Навоз 30 т/га	1150	1190	87,4	79,7	167,1
Навоз 40 т/га	1200	1170	91,2	78,4	169,6
Навоз 50 т/га	1220	1350	92,7	90,5	183,2
Навоз 60 т/га	1580	1050	120,1	70,4	190,5
2019 г., 3-й год последействия навоза					
Контроль	860	790	65,4	52,9	118,3
Навоз 20 т/га	860	1030	65,4	69,0	134,4
Навоз 30 т/га	880	1070	66,9	71,7	138,6
Навоз 40 т/га	920	1120	69,9	75,0	144,9
Навоз 50 т/га	900	1260	68,4	84,4	152,8
Навоз 60 т/га	1020	1080	77,5	72,4	149,9

Примечание. С_{ЛГК} и С_{ЛФК} – углерод подвижных ГК и ФК; Q – запасы энергии в подвижных гумусовых кислотах; Q_{ЛГК} и Q_{ЛФК} – количество энергии в подвижных ГК и ФК.

Таким образом, использование различных фракций свиного навоза способствовало увеличению энергopotенциала почв за счет возрастания в них содержания органического вещества. В слое 0-20 см агрочернозема малогумусированного легкосуглинистого запасы энергии составляли всего 966-1136 гДж/га. Твердая фракция навоза в дозах от 20 до 60 т/га обеспечивала их прирост до 1011-1365 гДж/га. Агрочерноземы сильногумусированные среднесуглинистый и тяжелосуглинистый обладали большими запасами энергии (2693-2764 гДж/га). При внесении различных фракций удобрения энергopotенциал увеличивался до 2859-3382 гДж/га. Твердая фракция свиного навоза обеспечивала прирост энергии в составе подвижных гумусовых соединений на 10,8-57,7% относительно контроля. На их долю приходилось 13,5-16% общих запасов энергии гумусовых веществ. Увеличение энергopotенциала почв в результате применения органических удобрений следует рассматривать как один из элементов повышения их плодородия и экологической устойчивости.

5 БИОЛОГИЧЕСКАЯ АКТИВНОСТЬ И ФИТОТОКСИЧНОСТЬ АГРОЧЕРНОЗЕМОВ В УСЛОВИЯХ ПРИМЕНЕНИЯ СВИНОГО НАВОЗА

Биологическая активность рассматривается как один из факторов плодородия почвы. Она характеризует размеры и направленность процессов превращения веществ и энергии в экосистемах суши, интенсивность переработки органических веществ и трансформацию минеральной части почвы. Её оценивают по интегральным показателям, наибольшее распространение из которых получили методы определения дыхания почвы, нитрификационной способности, азотфиксирующей и целлюлозоразлагающей активности. Для характеристики биохимических процессов трансформации органического вещества определяют активность ферментов в почве. Главным образом, учитывают интенсивность ферментов классов оксидоредуктаз (дегидрогеназы, полифенолоксидазы, пероксидазы, каталазы, нитратредуктазы) и гидролаз (инвертазы, амилазы, целлюлазы, уреазы, протеазы, фосфатазы).

Биологическая активность почвы зависит от многих факторов: гидротермических условий, а также от различных видов антропогенного воздействия. Поэтому она может служить информативным индикатором экологического состояния биоценозов. В связи с этим в наши задачи входило изучить некоторые показатели биологической активности почвы в условиях применения свиного навоза.

5.1 Влияние навоза на целлюлозолитическую активность почв

Целлюлоза (клетчатка) – наиболее распространенный полисахарид растительного мира, высшие растения на 15-50% состоят из этого соединения. Она является полисахаридом, линейным полимером, состоящим из цепочек молекул бета-D-глюкозы, соединенных бета-1,4-гликозидными связями (Филиппович, 1999). В ее состав входит более 50% органического углерода атмосферы. Она играет существенную роль в гумусообразовании, обеспечении

растений углекислым газом и влияет на все элементы плодородия. Разложение целлюлозы является единственным естественным деструктивным процессом, в котором задействованы преимущественно микроорганизмы, продуцирующие фермент целлюлазу (Бабьева, Зенова, 1983). Клетчатка служит основным источником энергии для всей жизни почвы. Этот процесс хорошо обеспечен исходным материалом и протекает непрерывно. По оценке Захарова И.С. (1965) в пахотном слое почвы клетчатки содержится около 5%, что является большим резервом плодородия почвы.

Целлюлозу разлагают большая группа разнообразных микроорганизмов: аэробные бактерии и грибы, а также анаэробные мезофильные и термофильные бактерии, актиномицеты. В черноземах Западной Сибири основные целлюлозолитики – бактерии (58%), вклад грибов оценивается в 23%, актиномицетов – в 21% (Наплекова, 2010). Разложение высокомолекулярного полимера происходит в результате его ферментативного гидролиза под влиянием фермента целлюлазы и трансформации до дисахарида целлобиозы и далее до глюкозы. При аэробном разложении конечными продуктами являются CO_2 и H_2O , небольшие количества органических кислот (Мишустин, 1972).

Почвенные микроорганизмы выступают в качестве геохимического фактора, обеспечивающего возврат в атмосферу углерода в виде углекислого газа, необходимого для фотосинтеза. В этом заключается основное, но не единственное значение микробного разложения целлюлозы. Данный процесс является важнейшим звеном образования в почве гумусовых веществ и формирования почвенной структуры, поэтому изучение разложения целлюлозы представляет существенный интерес для познания процессов, протекающих в антропогенно измененных почвах (Мишустин, 1972; Бабьева, Зенова, 1983; Щур, Виноградов, Валько, 2015).

В научной литературе отмечается, что внесение органических и минеральных удобрений влияют на целлюлозоразрушающую способность почвы. Так, в многолетних исследованиях на дерново-подзолистой почве Владимирской области показано существенное увеличение разложения целлюлозы при

использовании органической (навоз 20 т/га) и органоминеральной (навоз 10 т/га + $N_{50}P_{25}K_{60}$) систем удобрения (Золкина, 2019).

В связи с этим нами изучалась целлюлозолитическая способность агрочерноземов в условиях применения свиного навоза. Это показатель биологической активности определяли аппликационным методом (Методы почвенной микробиологии ..., 1991). Стерилизованные взвешенные хлопчатобумажные полотна закладывали в верхний слой почвы 0-20 см в пятикратной повторности. Время экспозиции аппликаторов в почве составляло 30, 60 и 90 суток. По окончании срока экспозиции полотна осторожно извлекали, тщательно отмывали от почвы, высушивали и взвешивали. В опыте 1 на опытном поле Омского ГАУ исследовали влияние последействия навоза на разложение целлюлозы в агрочерноземе легкосуглинистом (рисунок 12, приложение II).

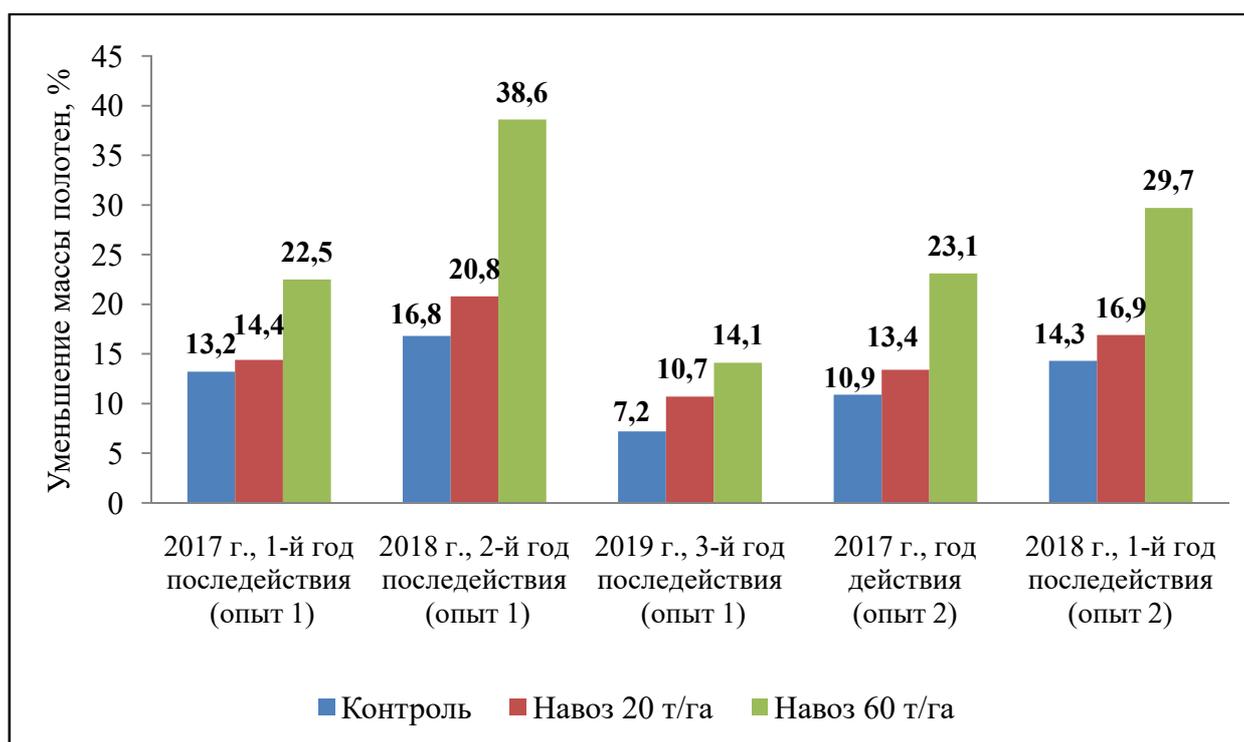


Рисунок 12 – Влияние действия и последействия твердой фракции свиного навоза на целлюлозоразрушающую способность слоя 0-20 см агрочернозема квазиглееватого за 90 суток (в 2019 г. за 60 суток) в полевых опытах (*НСР₀₅ в 2017 г. – 2,25 в год действия и 2,76 – в 1-й год последействия; в 2018 г. – 2,67 в 1-й год последействия и 2,06 во 2-й год последействия; в 2019 г. – 1,12%*)

Целлюлозоразрушающая активность почвы в опыте зависела от срока экспозиции, дозы навоза и гидротермических условий (температуры воздуха и количества осадков).

Почва контрольного варианта во все годы исследований характеризовалась слабой целлюлозоразрушающей способностью, согласно шкале Звягинцева Д.Г. (Методы почвенной микробиологии ..., 1991). За вегетационный период разложение целлюлозы составляло 7,2-16,8%. Небольшая целлюлозолитическая активность исследуемого агрочернозема была связана с низким содержанием в нем гумуса за счет эродированности, а также длительного использования в пашне (Алексеева, Азаренко, 2020). Также почва имела низкое содержание валового (0,11-0,13%) и нитратного азота (4,48 мг/кг до посева), что тоже оказало влияние на деятельность целлюлозоразрушающих микроорганизмов.

Гидротермические условия 2017 г. в первый год последствия навоза характеризовались недостатком влаги и более высокими температурами воздуха. Количество осадков с мая по август было меньше на 46,9% по сравнению со среднемноголетней величиной, а температура воздуха была больше на 2,1⁰С.

В связи с этим через 30 суток убыль массы полотен на контроле составила всего 1,83%, скорость разложения целлюлозы была очень низкой. В дальнейшем скорость деструкции целлюлозы значительно увеличивалась до 0,22% в сутки во второй и 0,16% в сутки в третий срок экспозиции (рисунок 13, приложение И). Это было связано с увеличением количества осадков (в июле их количество примерно соответствовало норме), а также, видимо, с усилением активности микробиологических процессов, происходящих во вторую половину лета.

В вариантах с навозом активность разложения целлюлозы была больше во все сроки наблюдений. Через 30 дней она была больше на 30-46% по сравнению с контролем. Во второй срок различия величин деструкции целлюлозы на удобренных вариантах по сравнению с контролем были меньше, существенное увеличение целлюлозолитической способности (на 17,6%) установлено с максимальной дозой навоза. Скорость разложения целлюлозы во всех вариантах

опыта через 60 суток была близкой (0,22-0,24% в сутки), несколько больше – при дозе удобрения 60 т/га.

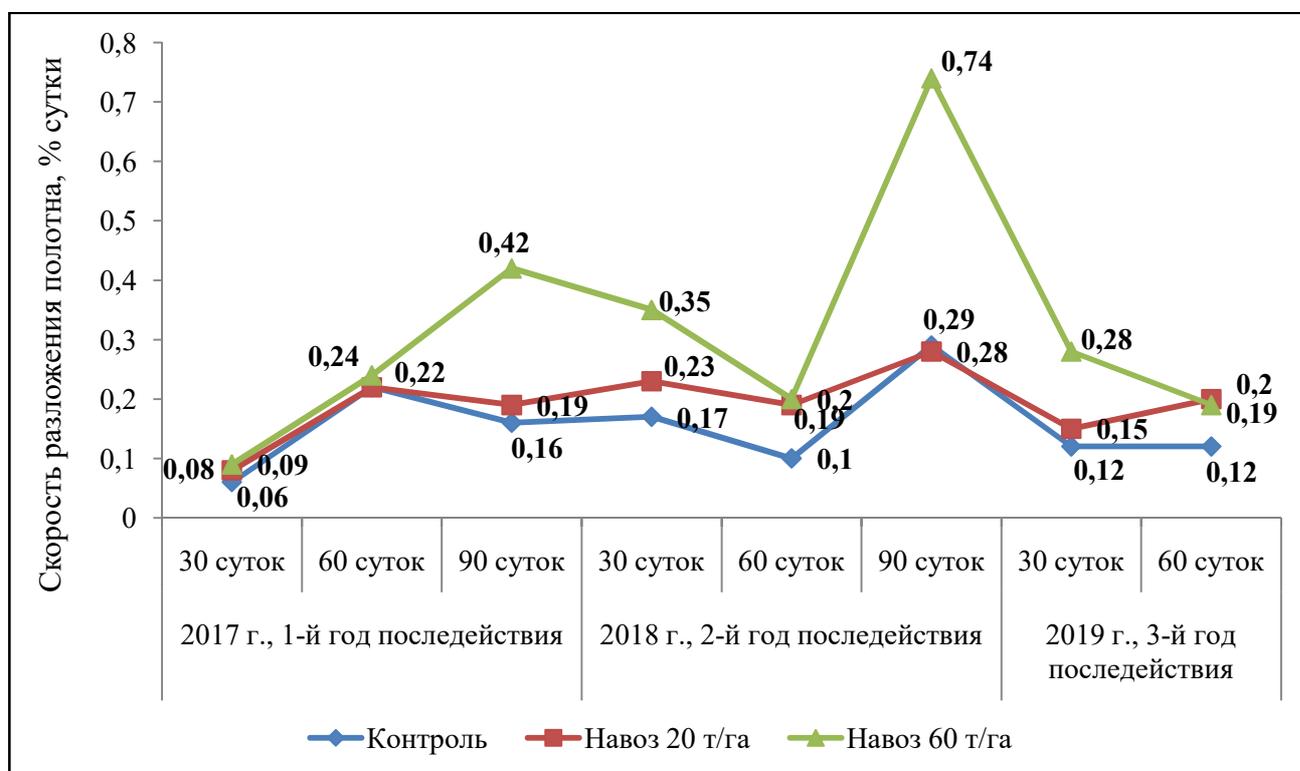


Рисунок 13 – Скорость разложения целлюлозы (% в сутки) в слое 0-20 см агрочернозема квазиглееватого легкосуглинистого при последействии твердой фракции свиного навоза (полевой опыт 1, опытное поле Омского ГАУ)

Через 90 суток опыта скорость разложения несколько снижалась на контроле и при дозе навоза 20 т/га по сравнению с предыдущим сроком. В варианте с последействием навоза 60 т/га она, напротив, достигала максимума и составила 0,42% в сутки. Целлюлозоразрушающая способность почвы при этой дозе была больше на 70,3% по сравнению с контролем.

Во второй год последействия (2018 г.) процесс деструкции целлюлозы происходил в целом в условиях лучшего, но неравномерного увлажнения почвы при соответствующих норме температурах. Количество осадков с мая по август превышало норму на 15%, в мае оно было больше в 2 раза по сравнению со среднемноголетними данными. В то же время июль был засушливым.

В связи с погодными условиями разложение целлюлозы в первые 30 суток было более активным по сравнению с данным периодом в 2017 г., о чем свидетельствуют показатели целлюлозоразрушающей способности – скорость разложения и снижение массы полотен. В следующий срок экспозиции их значения снизились, вероятно, в связи с более засушливыми условиями. К концу 90 суток опыта целлюлозная активность вновь возрастала. Во все сроки исследований наблюдалось существенное усиление целлюлозоразрушающей способности почвы под действием навоза. При его дозе 20 т/га оно составляло от 24,4 до 53,9% по сравнению с контролем, при 60 т/га к середине и в конце вегетации было в 2-2,3 раза больше, чем на контроле. Скорость разложения полотен в этом варианте была максимальной в опыте и достигала 0,74% в сутки.

В 2019 г. (3-й год последействия) наблюдения за целлюлозоразрушающей активностью почвы проводили только в течение 2 сроков (июль, август). Перед закладкой полотен в июне выпало осадков больше нормы на 30 мм (55,6%), однако июль и август были более засушливыми. За 60 суток количество разложившейся целлюлозы составило 7,2%, что несколько меньше, чем в предыдущие годы. В вариантах с последействием навоза сохранялась более высокая целлюлозоразрушающая активность: при дозе 20 т/га она превышала контроль на 30,3-47,9%, при дозе 60 т/га в 1,95-2,4 раза. То есть, в третий год последействия свиного навоза отчетливо прослеживалось его влияние на деструкцию клетчатки.

Таким образом, результаты полевого опыта свидетельствуют о том, что свиной навоз в 1-3 годы последействия существенно увеличивал целлюлозоразрушающую способность агрочернозема квазиглееватого легкосуглинистого. Известно, что интенсивность процесса деструкции целлюлозы значительно зависит от влажности, температуры и питательного режима почвы (Тихомирова, 1973; Наплекова, 1974). Это положение подтверждается полученными нами данными, которыми отмечена более высокая целлюлозолитическая активность изученного агрочернозема в увлажненные годы. Исследованиями Шулико Н.Н. с соавторами (2016; 2022) также показано

снижение целлюлозоразрушающей способности чернозема выщелоченного на 33% в засушливые годы по сравнению с увлажненными. В то же время в исследованиях Деминой О.Н. (2021) разрушение целлюлозы в черноземе выщелоченном Северного Зауралья в условиях достаточного атмосферного увлажнения в большей степени зависело от температуры воздуха, доля влияния которой составила 62%, воздействие количества осадков оценивалось всего в 10%.

Результаты второго полевого опыта, в целом, подтверждают полученные данные об усилении целлюлозоразрушающей способности агочернозема легкосуглинистого в условиях применения твердой фракции свиного навоза (рисунки 12, 14, приложение К).

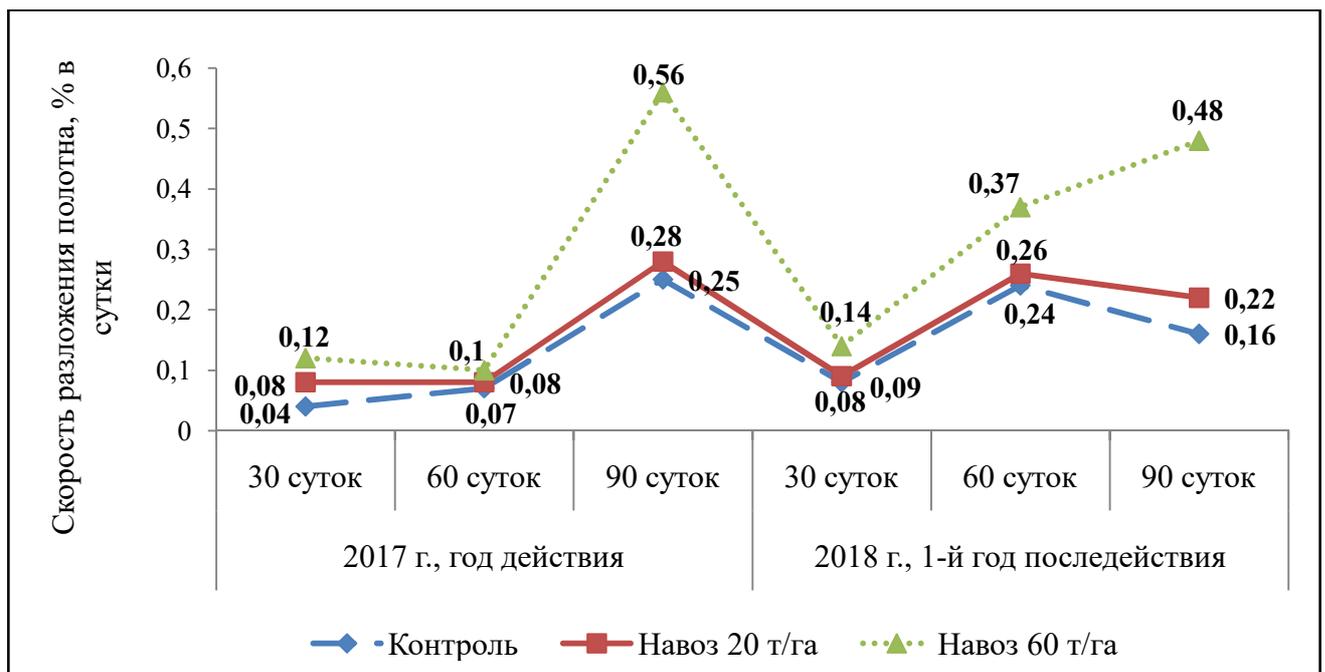


Рисунок 14 – Скорость разложения целлюлозы (% в сутки) в слое 0-20 см агрочернозема квазиглееватого легкосуглинистого в год действия и первый год последействия твердой фракции свиного навоза (полевой опыт 2, опытное поле Омского ГАУ)

В год действия и первый год последействия удобрения степень и скорость разложения полотен была больше в вариантах с навозом по сравнению с

неудобренной почвой (рисунок 14). При этом следует отметить, что в период действия удобрения в 2017 г. деструкция целлюлозы в первые два срока была очень низкой, что связано с недостатком влаги, отмеченным выше, в условиях которого действие навоза на микробиологические процессы проявилось слабо. Тем не менее различия показателей разложения полотен довольно четко проявились в зависимости от дозы навоза. Скорость разложения целлюлозы увеличивалась к третьему сроку. За 90 суток опыта целлюлозолитическая способность агрочернозема оценивалась в 10,9% и была слабой, на удобренных вариантах она увеличивалась на 23,8 и 112,9% в соответствии с дозой.

В год последействия навоза также была установлена зависимость показателей разложения целлюлозы в зависимости от применения навоза. В первые 2 срока наблюдений существенные различия с контролем наблюдались только при дозе 60 т/га. По истечении 90 суток интенсивность деструкции целлюлозы при дозе 20 т/га была существенно больше по сравнению с контролем: на 18,7%, а при дозе 60 т/га – на 107,8%.

Таким образом, в опыте 2 применение твердой фракции свиного навоза в годы действия и последействия обеспечивало увеличение распада полотен на 18,1-22,9% при дозе 20 т/га и на 107,7-112% в варианте с дозой 60 т/га.

Усиление биологической активности агрочернозема квазиглееватого легкосуглинистого при внесении твердой фракции свиного навоза было связано с первую очередь с улучшением микробиологического и питательного режимов почвы. В литературе отмечается, что применение навоза сопровождается значительным увеличением численности всех групп микроорганизмов, в том числе целлюлозолитиков. Это происходит как за счет создания более благоприятных условий питания для микрофлоры, так и за счет содержания микроорганизмов в самом навозе, в котором обитают анаэробные целлюлозоразлагающие бактерии рода *Clostridium* и другие. При внесении навоза в почву увеличивается количество бактерий, особенно аммонифицирующих и целлюлозоразлагающих, актиномицетов и грибов (Емцев, Мишустин, 2020).

Применение органического удобрения в наших полевых опытах обеспечивало существенное увеличение содержания подвижных форм азота и фосфора, что показано в разделе 7. Это активизировало деятельность целлюлозоразрушающей микрофлоры. Так, содержание нитратов в слое 0-20 см почвы на контроле в опыте 2 в 2017 г. в течение всего вегетационного периода было низким: 3,2-4,52 мг/кг. В фазы кущения и колошения пшеницы в вариантах с дозой навоза 20 т/га оно возрастало до 21,8-25,9 мг/кг, с дозой 60 т/га – до 39,1-42,6 мг/кг. Содержание подвижного фосфора в этих вариантах увеличивалось, соответственно, до 156-158 и 189-191 мг/кг при 111-114 мг/кг на контроле. Зависимость разложения целлюлозы от содержания элементов питания в почве и срока экспозиции в год действия навоза подтверждена коэффициентами корреляции (таблица 27).

Таблица 27 – Величина коэффициентов корреляции между уменьшением массы полотен (%) и содержанием подвижным форм элементов питания (мг/кг) в агрочерноземе квазиглееватом легкосуглинистом в период действия твердой фракции свиного навоза (опыт 2, 2017 г.)

Срок экспозиции, суток	N-NO ₃	P ₂ O ₅	K ₂ O
30	0,39 ± 0,25	0,38 ± 0,26	0,40 ± 0,25
60	0,55 ± 0,23	0,52 ± 0,24	0,58 ± 0,22
90	0,74 ± 0,19	0,61 ± 0,22	0,79 ± 0,17

Примечание. $t_{05} = 2,2$; $n = 15$.

В первые 30 суток опыта связь между анализируемыми показателями была несущественной. Во второй срок отмечена средняя корреляция деструкции полотен с количеством нитратов и калия. В конце вегетации проявляется связь разложения целлюлозы с концентрацией всех элементов.

Полученные данные соответствуют результатам исследований Хамовой О.Ф. с соавторами (2016), которыми показано, что интенсивность разложения целлюлозы в лугово-черноземной почве в большей степени зависит от

содержания азота нитратов и влажности почвы. Кроме того, установлено, что применение навоза увеличивает содержание в агрочерноземе подвижных гумусовых веществ (Алексеева, Азаренко, 2020), которые являются энергетическим материалом для микроорганизмов, в том числе целлюлозоразрушающих.

Изменение питательного и микробиологического режимов почвы под действием органического удобрения в числе других показателей способствовали повышению ее эффективного плодородия. Применяемые дозы навоза повысили урожайность пшеницы сорта Дуэт в данных полевых опытах на 10,8-38,5% (Бобренко, Шалак, Гоман и др., 2022). Корреляционная зависимость величины урожайности пшеницы с активностью целлюлозоразрушения показана исследованиями в длительных полевых опытах на лугово-черноземных почвах Омского Прииртышья (Шулико, Хамова, Тукмачева, 2016).

Для нивелирования влияния погодных условий одновременно были проведены лабораторные опыты в контролируемых условиях температуры воздуха (25°C) и влажности почвы (60% от полной влагоемкости). Почву для лабораторного эксперимента отбирали из слоя 0-20 см агрочернозема по вариантам полевого опыта с дозами навоза 20 и 60 т/га, помещали в стерильные чашки Петри. Хлопчатобумажное полотно помещали в почву, влажность поддерживали на заданном уровне. Результаты опытов представлены на рисунках 15, 16 и в приложениях Л, М.

Процесс разложения целлюлозы в лабораторных опытах зависел от времени ее контакта с почвой, дозы и срока действия навоза. Степень и скорость разложения полотен в лабораторных условиях были, как правило, больше, чем в полевых (приложения Л, М).

Целлюлозоразрушающая способность почвы контрольного варианта при благоприятном увлажнении в разные годы изменялась от 14,3 до 22,6% (среднее 19,7%), что больше, чем в полевых опытах в среднем на 30% (рисунок 15, 16). При проведении опытов в контролируемых гидротермических условиях были выявлены следующие особенности. В годы последствия навоза отчетливо

сохранялось его влияние на целлюлозолитическую активность агрочернозема. В абсолютном выражении разложение целлюлозы во всех вариантах с удобрением было больше по сравнению с контролем. Однако разные дозы оказывали неодинаковое влияние на этот процесс.

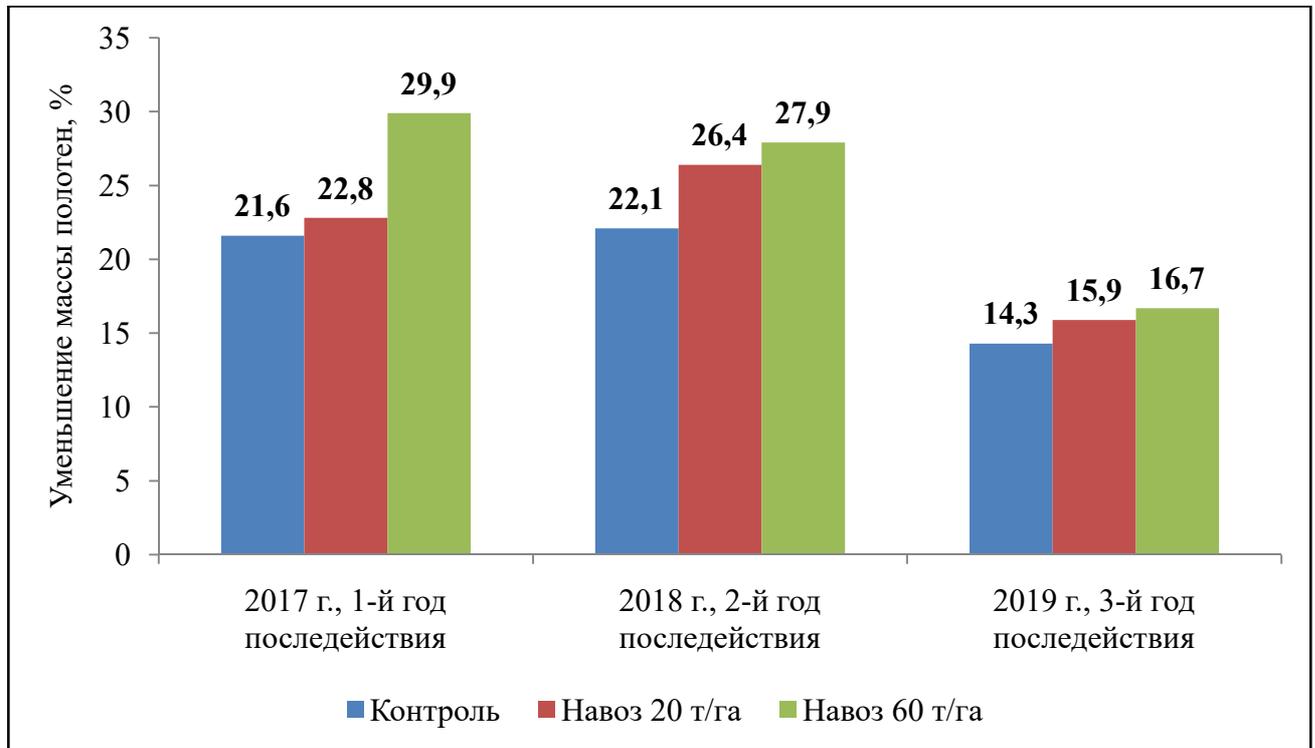


Рисунок 15 – Влияние последствия твердой фракции свиного навоза на целлюлозоразрушающую способность слоя 0-20 см агрочернозема квазиглееватого легкосуглинистого за 90 суток в лабораторном опыте 1 ($HCP_{05} = 2,34$ в 2017 г. в 1-й год последствия, в 2018 г. – 2,05 и в 2019 г. – 2,01%)

В почве, отобранной по вариантам опыта 2 с действием навоза (2017 г.), активность разложения хлопчатобумажного материала в первые два срока была существенно больше по сравнению с полевыми засушливыми условиями. В результате большей скорости разрушения полотен убыль их массы за 90 суток лабораторного опыта превышала показатели в полевом опыте на 108,4% на контроле, в вариантах с навозом на 111,8% при дозе 20 т/га и на 33% при дозе 60 т/га (рисунок 16, приложение М). При этом выявлено более интенсивное действие дозы 20 т/га по сравнению с полевым опытом.

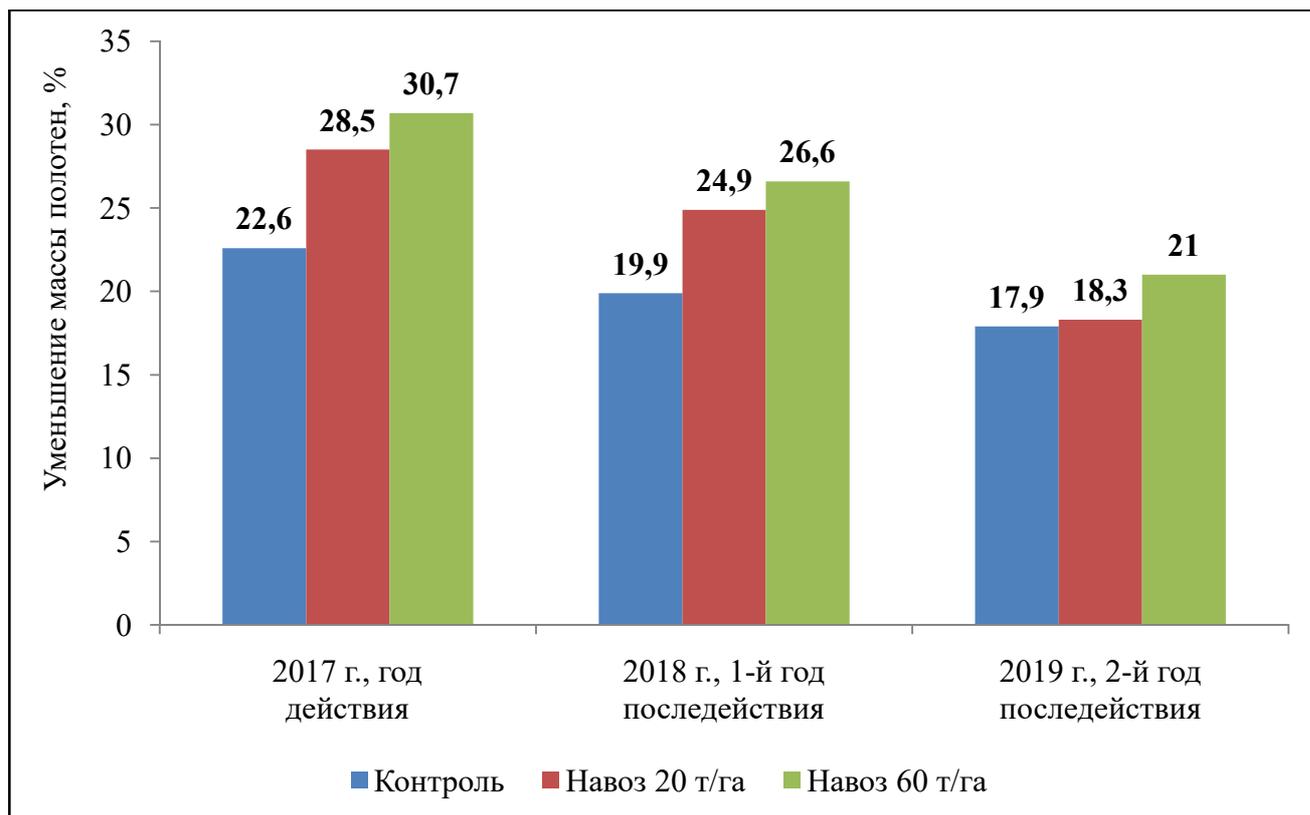


Рисунок 16 – Влияние действия и последействия свиного навоза на целлюлозоразрушающую способность слоя 0-20 см агрочернозема квазиглееватого легкосуглинистого за 90 суток в лабораторном опыте 2 ($HCP_{05} = 2,26$ в 2017 г. в год последействия, в 2018 г. – 2,57 и в 2019 г. – 2,38%)

В годы последействия навоза отчетливо сохранялось его влияние на целлюлозолитическую активность агрочернозема легкосуглинистого. В абсолютном выражении разложение целлюлозы во всех вариантах с удобрением было больше по сравнению с контролем. Однако разные дозы оказывали неодинаковое влияние на этот процесс.

В лабораторных опытах в годы последействия удобрения наиболее сильное его воздействие на целлюлозоразрушающую активность почвы наблюдалось при его дозе 60 т/га. В первый год последействия интенсивность разложения полотен превышала контроль на 28,7-38,8%, во второй год – на 17,4-26,0%.

Последействие дозы навоза 20 т/га на степень разложения целлюлозы было неустойчивым. За первый год последействия (2017 г.) оно было на одном уровне с контролем, в то время как в 2018 г. проявлялось ее существенное влияние во все

сроки, при этом достоверных различий с максимальной дозой не отмечалось. Аналогичные результаты наблюдались в опытах с почвой во второй год последействия навоза. На третий год последействия удобрения существенное увеличение целлюлозолитической активности агрочернозема легкосуглинистого происходило только под действием дозы 60 т/га.

В лабораторном опыте 3 изучали показатели целлюлозолитической способности агрочернозема среднесуглинистого при последействии жидкой фракции свиного навоза. Пробы почвы отбирали в полевом опыте в ООО «РУСКОМ-Агро». Наблюдение проводили через 30 и 60 суток опыта (таблица 28). Интенсивность разложения целлюлозного материала в агрочерноземе на неудобренном варианте опыта была существенно больше, чем в агрочерноземе легкосуглинистом опытного поля. Так, за два срока экспозиции деструкция целлюлозы составила 35,7%, что в 2,3 раза превышало ее значения на контроле в опытах 1 и 2. Пробы почвы были отобраны в вариантах с минимальной, средней и максимальной дозами навоза. Как показали исследования, использование жидкой фракции навоза способствовало усилению скорости и интенсивности разрушения целлюлозы, которое наблюдалось уже при дозе 50 т/га.

Таблица 28 – Влияние жидкой фракции свиного навоза на интенсивность разложения целлюлозы в слое 0-20 см агрочернозема квазиглееватом среднесуглинистого (лабораторный опыт 3, ООО «РУСКОМ-Агро», 2016 г.)

Вариант	30 суток		60 суток	
	Интенсивность разложения, %	Скорость разложения, %/сутки	Интенсивность разложения, %	Скорость разложения, %/сутки
Контроль	17,5	0,58	35,7	0,61
Навоз 50 т/га	19,9	0,67	40,7	0,69
Навоз 150 т/га	23,2	0,77	45,2	0,73
Навоз 300 т/га	20,9	0,70	43,1	0,74
НСР ₀₅	1,45	0,05	1,28	0,04

Максимальное воздействие на процесс деструкции целлюлозы наблюдалось в варианте с дозой 150 т/га в оба срока наблюдения (на 26,6-32,6% больше, чем на контроле). Применение очень высокой дозы навоза привело к существенному снижению изучаемых параметров по сравнению с дозой 150 т/га. По всей видимости, высокий уровень нитратного азота в этом варианте способствовал снижению активности целлюлозоразрушающей микрофлоры. Исследования, проведенные в Нижегородской области показали, что максимальная активность целлюлозы (41%) наблюдалась при внесении жидкой фракции свиного навоза 180 т/га в сумме за 2 года (Титова, Рыбин, 2020).

Таким образом, результаты проведенных полевых и лабораторных опытов показали, что применение твердой и жидкой фракций свиного навоза увеличивает целлюлозолитическую активность агрочерноземов и способствует усилению интенсивности процессов разложения и трансформации органического вещества почвы.

5.2 Влияние навоза на ферментативную активность почв

Ферментативная активность точно и верно отражает биологические свойства почвы и их изменения под влиянием антропогенных факторов. Она является важным фактором плодородия почвы и чувствительным экологическим индикатором антропогенного воздействия на нее (Mikhailouskay et al., 2022). По мнению Звягинцева Д.Г. (1987) ферментативная активность почвы является важнейшим из показателей потенциальной биологической активности, которая характеризует способность системы сохранять гомеостаз.

В почве ферменты участвуют в синтезе и распаде гумуса, минерализации органических соединений и растительных остатков. Хазиев Ф.Х. (2018) обращает внимание, что ферменты принимают участие в важнейших биогеоценологических функциях почвы, выполняя роль катализатора биохимических процессов и трансформатора веществ и энергии, находящихся в биогеоценозе или поступающих в него.

Формирование ферментного потенциала во многом зависит от агрохимических свойств почв, оптимальные значения которых создают благоприятные условия для развития микроорганизмов и растений, следствием чего является большее поступление в почву ферментов в соответствии с образованием большей массы микробов и более высокой физиологической активностью (Хазиев, 2015). Вносимые минеральные и органические удобрения также оказывают заметное влияние на деятельность почвенных ферментов.

Активность ферментов связана с показателями биологической активности почвы: интенсивностью дыхания, нитрифицирующей способностью, общей численностью микроорганизмов, целлюлозоразрушающей способностью, но в большей степени – с содержанием органического углерода и азота, подвижных форм фосфора и калия, показателями кислотности и урожайностью растений.

Инвертаза катализирует реакции гидролитического расщепления сахарозы и играет важную роль в высвобождении низкомолекулярных сахаров – глюкозы и фруктозы, которые являются энергетическим материалом для микроорганизмов. Исследования многих авторов показали, что инвертазная активность лучше других ферментов отражает уровень плодородия и биологической активности почв (Методы почвенной микробиологии ..., 1991; Зинченко М.К., 2019). Уреаза катализирует реакции гидролитического расщепления мочевины до аммиака и диоксид углерода. Её активность является диагностическим показателем накопления минерального азота (Зинченко М.К., 2019). Каталаза – окислительно-восстановительный фермент почвы, в результате ее активирующего действия происходит расщепление перекиси водорода, токсичной для живых организмов, на воду и молекулярный кислород (Хазиев, 2005).

Установленная многими авторами взаимосвязь между ферментативной активностью и плодородием почв, позволяет использовать этот показатель для сравнительной оценки эффективности агротехнических приемов, плодородия почвы в целом, а также диагностики изменения почвы при различных антропогенных и естественных изменениях агроэкосистемы.

В связи с этим, нами были проведены наблюдения в полевых опытах за ферментативной активностью агрочерноземов в зависимости от применения навоза. Была исследована активность почвенных ферментов, относящихся к классу гидролаз и оксидоредуктаз: инвертазы, уреазы и каталазы. Агрочернозем легкосуглинистый в период исследований характеризовался низкой ферментативной активностью (таблица 29).

Таблица 29 – Ферментативная активность агрочернозема квазиглееватого легкосуглинистого в условиях применения твердой фракции свиного навоза, (опыт 1, опытное поле Омского ГАУ)

Вариант	Каталаза		Уреаза*		Инвертаза*	
	(см ³ О ₂ /мин.)/г	%	мг NH ₃ /г	%	мг инвертного сахара/г	%
2016 г., год действия навоза						
Контроль	1,70	100,0	0,19	100,0	6,90	100,0
Навоз 20 т/га	1,85	108,8	0,22	115,8	7,30	105,8
Навоз 60 т/га	1,93	113,5	0,32	168,4	7,30	105,8
НСР ₀₅	0,04	-	0,04	-	0,13	-
2017 г., 1-й год последствия навоза						
Контроль	1,57	100,0	0,26	100,0	6,30	100,0
Навоз 20 т/га	1,72	109,5	0,26	100,0	6,30	100,0
Навоз 60 т/га	1,80	114,6	0,35	134,6	7,00	116,7
НСР ₀₅	0,05	-	0,04	-	0,23	-
2018 г., 2-й год последствия навоза						
Контроль	1,87	100,0	0,21	100,0	4,90	100,0
Навоз 20 т/га	1,83	97,9	0,30	142,8	5,50	112,2
Навоз 30 т/га	1,90	101,6	0,20	95,2	5,10	104,1
Навоз 40 т/га	1,93	103,2	0,25	119,0	5,80	118,4
Навоз 50 т/га	2,03	108,6	0,26	123,8	6,20	126,5
Навоз 60 т/га	2,07	110,7	0,23	109,5	5,50	112,2
НСР ₀₅	0,05	-	0,05	-	0,13	-

* - срок инкубации 1 сутки.

Согласно шкале Звягинцева Д.Г. (1978) почва оценивалась как бедная по содержанию каталазы (1,57-1,87 (см³ О₂/мин.)/г) и инвертазы (4,9-6,9 мг NH₃/г·сутки) и очень бедная – по содержанию уреазы (0,19-0,26 мг инвертного

сахара/г·сутки). При этом по годам исследований отмечалась динамика активности ферментов, которая могла быть обусловлена изменением гидротермических условий. Наибольший уровень содержания каталазы отмечен в 2018 г., уреазы – в 2017 г., инвертазы – в 2016 г. Для сравнения следует отметить, что исследуемая почва близка по активности уреазы и каталазы, но значительно уступает по активности инвертазы среднегумусовым лугово-черноземным почвам Омского Прииртышья (Хамова, Юшкевич, Воронкова и др., 2019). Бедность исследуемого агрочернозема по содержанию ферментов объясняется его свойствами и режимом использования. Почва имеет низкое содержание гумуса (1,97-2,10%) и фракции физической глины (22,8%), следовательно, обладает низкой сорбционной способностью по отношению к ферментам. Основной причиной деградации свойств агрочернозема явилось воздействие на него процессов плоскостного смыва.

В вариантах с навозом наблюдалось усиление деятельности ферментов, однако оно зависело от дозы удобрения и срока его действия и последствия. В год внесения навоза отмечалось увеличение действия каталазы по сравнению с контролем на 8,8-13,5% в зависимости от его дозы. Уреазная активность повышалась пропорционально дозе навоза. Наиболее значительно увеличилась уреазная активность (до 68,4% к контролю) в варианте с навозом 60 т/га. Наименьшие изменения были выявлены для инвертазной активности. Под действием навоза она увеличивалась всего на 5,8% в вариантах с минимальной и максимальной дозой свиного навоза.

В первый год последствия навоза сохранялось его положительное влияние на активность каталазы. Усиление деятельности уреазы и инвертазы происходило только при максимальной дозе навоза. При этом увеличение активности уреазы было меньше, чем в год действия (на 34,6%), а инвертазы – несколько больше (11,1%). Следует отметить, что на активность ферментов могли повлиять засушливые условия вегетационного сезона 2017 г.

Во второй год последствия увеличение активности каталазы отмечалось в вариантах опыта с дозами от 40 до 60 т/га: на 3,2-10,7% по отношению к

контролю. Полученные результаты согласуются с исследованиями других авторов. Так, в опытах на серой лесной почве Верхневолжья было отмечено, что внесение навоза положительно сказывается на активности каталазы не только в год его применения, но и имеет пролонгирующее действие (Зинченко М.К., 2021).

Уреазная и инвертазная активность агрочернозема легкосуглинистого на 2-й год последствий варьировала по вариантам опыта, четкой зависимости от дозы установлено не было. Активность уреазы была максимальной при дозе навоза 20 т/га. Действие инвертазы при общем его снижении в 2018 г. не имело четкой зависимости от дозы удобрения при тенденции к увеличению в удобренных вариантах. Наибольшее возрастание её активности отмечено в варианте с дозой 50 т/га, превышающее контроль на 26,5%.

В опыте 2 агрочернозем контрольного варианта по активности каталазы и инвертазы оценивался как бедный, по содержанию уреазы – очень бедный при варьировании показателей по годам исследований (таблица 30).

Таблица 30 – Ферментативная активность агрочернозема квазиглееватого легкосуглинистого в условиях применения твердой фракции свиного навоза, (опыт 2, опытное поле Омского ГАУ)

Вариант	Каталаза		Уреаза*		Инвертаза*	
	(см ³ O ₂ /мин.)/г	%	мг NH ₃ /г	%	мг инвертного сахара/г	%
2017 г., год действия навоза						
Контроль	1,37	100,0	0,37	100,0	7,00	100,0
Навоз 20 т/га	1,43	104,4	0,40	108,1	6,20	88,6
Навоз 60 т/га	1,45	105,8	0,44	118,9	7,00	100,0
НСР ₀₅	0,03	-	0,05	-	0,10	-
2018г., 1-й год последствий навоза						
Контроль	1,63	100,0	0,20	100,0	5,80	100,0
Навоз 20 т/га	1,72	105,6	0,24	120,0	5,10	87,9
Навоз 30 т/га	1,67	102,5	0,29	145,0	5,20	89,7
Навоз 40 т/га	1,72	105,5	0,32	160,0	6,00	103,4
Навоз 50 т/га	1,67	102,5	0,28	140,0	5,10	87,9
Навоз 60 т/га	1,67	102,5	0,31	155,0	5,90	101,7
НСР ₀₅	0,06	-	0,08	-	0,12	-

* - срок инкубации 1 сутки.

Изменение активности ферментов под действием навоза в данном опыте было меньше по сравнению с опытом 1. В год действия навоза отмечалось слабое, но существенное усиление активности каталазы и уреазы с одинаковым его увеличением при дозах 20 и 60 т/га. Инвертазная активность почвы оставалась на уровне контроля.

При последствии органического удобрения наблюдалось значительное увеличение уреазной активности на 20-60%. Усиление деятельности каталазы было очень слабым и имело неустойчивый характер. Повышения инвертазной активности не наблюдалось.

В целом, твердая фракция навоза оказала более сильное влияние на активность уреазы и каталазы в агрочерноземе. Ее применение способствовало проявлению устойчивой тенденции к повышению их активности. Активацию ферментов обеспечило улучшение режима органического вещества и элементов питания. Так, ранее нами было показано увеличение содержания органического вещества, в том числе подвижных гумусовых соединений на 12-56,5% в агрочерноземе легкосуглинистом при использовании навоза (Алексеева, Азаренко, 2020). Существенную корреляцию уреазы с содержанием гумуса отмечают Марцинкявичене А. с соавторами (2013). Применение органического удобрения также обеспечило существенное увеличение содержания подвижных форм азота и фосфора, что отмечалось выше и рассматривается в главе 7. Многочисленные данные подтверждают связь деятельности почвенных энзимов с содержанием гумуса и элементов питания (Воронин, Протасова, Беспалова, 2006; Хазиев, 2018). Достоверная корреляционная зависимость между ферментативной активностью, содержанием гумуса и подвижными формами азота, а также усиление уреазной активности под действием навоза была установлена на каштановых почвах (Борисова, Чимитдоржиева, 2004).

Наблюдения за активностью ферментов были также проведены на агрочерноземах сильногумусированных среднесуглинистом и тяжелосуглинистом (таблицы 30, 31). Почва контрольного варианта имела близкий уровень каталазной активности к ранее рассмотренному агрочернозему

легкосуглинистому, но обладала большей активностью уреазы и, особенно, инвертазы, активность которой оценивалась как средняя (таблица 30). Более высокая активность данных ферментов в почве была связана с большей гумусированностью и содержанием илистой фракции.

В вариантах с последствием навоза отмечалось увеличение активности ферментов. Каталазная активность была на 30,4-40,2% больше по сравнению с контролем, при отсутствии связи с дозой удобрения. В опыте также отмечено значительное усиление деятельности инвертазы, на 39,1-57,6%, превышающее контроль. Действие уреазы наиболее существенно (на 29,3%) увеличивалось при последствии высокой дозы удобрения – 100 т/га.

Таблица 31 – Ферментативная активность агрочернозема квазиглееватого тяжелосуглинистого в период 1 года последствия твердой фракции свиного навоза, (2016 г.)

Вариант	Каталаза		Уреаза*		Инвертаза*	
	(см ³ O ₂ /мин.)/г	%	мг NH ₃ /г	%	мг инвертного сахара/г	%
Контроль	1,84	100,0	0,41	100,0	15,1	100,0
Навоз 20 т/га	2,58	140,2	0,44	107,3	23,8	157,6
Навоз 40 т/га	2,52	137,0	0,44	107,3	22,3	147,7
Навоз 80 т/га	2,40	130,4	0,42	102,4	22,4	148,3
Навоз 100 т/га	2,53	137,5	0,53	129,3	21,0	139,1
НСР ₀₅	0,04	-	0,04	-	0,09	-

* - срок инкубации 1 сутки.

Агрочернозем среднесуглинистый отличался большей активностью каталазы и инвертазы, но несколько меньшей – активностью уреазы по сравнению с тяжелосуглинистым агрочерноземом (таблица 32).

Применение жидкой фракции навоза вызывало увеличение активности каталазы. При этом ее действие не зависело от дозы навоза, на всех удобренных вариантах оно превышало контроль на 15,1-16,8%. Влияние последствия навоза на активность уреазы было неустойчивым. Она увеличивалась в 1,9 раза при

дозах навоза 50 и 300 т/га и была на уровне контроля при дозе 150 т/га. Активность инвертазы на неудобренном и удобренных вариантах опыта находилась на одном уровне, что вероятно связано с более низким содержанием органического вещества в жидкой фракции навоза.

Таблица 32 – Ферментативная активность агрочернозема квазиглееватого среднесуглинистого в период 1 года последействия жидкой фракции свиного навоза, (2016 г.)

Вариант	Каталаза		Уреаза*		Инвертаза*	
	(см ³ O ₂ /мин.)/ г	%	мг NH ₃ /г	%	мг инвертного сахара/г	%
Контроль	2,98	100,0	0,35	100,0	22,30	100,0
Навоз 50 т/га	3,48	116,8	0,67	191,4	22,50	100,9
Навоз 150 т/га	3,43	115,1	0,35	100,0	22,20	99,6
Навоз 300 т/га	3,45	115,8	0,67	191,4	20,10	90,1
НСР ₀₅	0,05	-	0,02	-	0,37	-

* - срок инкубации 1 сутки.

Таким образом, исследованиями было установлено, в целом, положительное влияние свиного навоза на активность изучаемых ферментов, прежде всего – уреазы и каталазы в агрочерноземах. Полученные данные согласуются с результатами исследований других авторов, указывающих на усиление деятельности ферментов под влиянием органических удобрений. Поэтому использование свиного навоза в качестве органического удобрения является существенным фактором повышения биологической активности агрочерноземов.

5.3 Оценка фитотоксичности почв

Одной из характеристик биологического состояния почвы является ее токсичность, то есть наличие в ней веществ, отрицательно сказывающихся на плодородии почвы и урожайности сельскохозяйственных культур. Поэтому оценка фитотоксичности почвы особенно актуальна в агроценозах, так как здесь

отсутствует естественное обновление и снижено поступление растительных остатков, что приводит к формированию специфического микробного ценоза (Зинченко, Селицкая, 2011). Она может проявиться в результате образования токсичных продуктов жизнедеятельности микроорганизмов, межорганизменных взаимодействий, неблагоприятных физико-химических условий среды, а также в результате загрязнения почв при хозяйственной деятельности человека (Пивоваров, 1981).

Приобретение токсических свойств крайне негативно сказывается в первую очередь на микробном сообществе почвы: изменяется его структура, снижается количество и активность микроорганизмов. Вследствие этого в токсичной почве уменьшается содержание усвояемых веществ, витаминов, физиологически активных соединений (Дудкина, Дудкин, 2006).

Почвенные микроскопические грибы являются важной частью микробного комплекса почвы, однако некоторые из них (*Fusarium*, *Penicillium*, *Aspergillus* и др.), в результате своей жизнедеятельности могут поселяются на неразложившихся послеуборочных остатках и образовывать фитотоксичные вещества, которые существенно снижают урожайность сельскохозяйственных культур (Колесникова, Котьяк, Чебыкина, 2010). Так, в исследованиях Берестецкого О.А. (1978) фитопатогенные грибы ингибировали рост и развитие озимой пшеницы.

При нарушении технологий подготовки и применения навоз, особенно свиной, может представлять опасность в экологическом отношении, поскольку в значительных концентрациях содержит токсические соединения в виде аммиака, сероводорода, меркаптана и др. (Мерзлая, Щеглова, Леонов, 2012). При увеличении их содержания наступает сильное угнетение роста растений или прорастания семян. В связи с этим нами проводилась оценка фитотоксичности почвы в условиях применения навоза.

Исследования фитотоксичности почвы с твердой фракцией навоза проводили в опытах на опытном поле Омского ГАУ. Почвенные пробы отбирали из слоя 0-20 см в вариантах с минимальной и максимальной дозами свиного навоза в фазу

кущения пшеницы. Токсичность почвы определяли с помощью биотеста по методике, разработанной Минеевым В.Г. с соавторами (1991). В качестве тест-культуры использовали семена редиса (*Raphanus sativus L.*) сорта «18 дней», так как он обладает повышенной чувствительностью к содержанию поллютантов в почве, отличается быстрым прорастанием семян и почти стопроцентной всхожестью. Повторность четырехкратная. После прорастания семян измеряли общую длину корней проростков, рассчитывали их среднюю величину и сравнивали с контролем. Контролем служили семена, замоченные в том же объеме стерильной водопроводной воды. Уменьшение длины корней проростков по отношению к контролю (чистой воде), выраженное в процентах, является показателем общей токсичности почвы, по отношению к почвенному контролю – показателем биологической токсичности. Согласно методике, токсичными считают почвы, снижающие всхожесть семян или угнетающие рост проростков и корней не менее чем на 20 %. Данные анализа фитотоксичности почвы представлены в таблицах 33 и 34.

Результаты исследований показали, что в агрочерноземе контрольного варианта по всем годам исследований фитотоксичность не проявлялась (таблица 33). Тенденция к снижению этого показателя на 1,27% проявилась в первый год последействия органического удобрения, однако он был на уровне абсолютного контроля (стерильной воды). В остальные годы средняя длина корешков превышала абсолютный контроль на 15,4-26,7%.

В вариантах с применением свиного навоза почвенная токсичность также не проявлялась. В год действия навоза в варианте с дозой 20 т/га установлено увеличение длины корней на 22%. В опыте с максимальной дозой удобрения наблюдались самые низкие показатели длины корней по сравнению с контролем и дозой 20 т/га, но свойства токсичности не были выявлены. В первый, второй и третий годы последействия органического удобрения наблюдалось увеличение средней длины корней в вариантах с применением навоза.

Таблица 33 – Оценка фитотоксичности слоя 0-20 см агрочернозема квазиглееватого легкосуглинистого в условиях применения твердой фракции свиного навоза (опыт 1, опытное поле Омского ГАУ)

Вариант	Средняя длина корней, см	Общая длина корней, см	Изменение длины корней, % к контролю*	% от почвенного контроля
2016 г., год действия навоза				
Контроль	4,94 ± 0,05	493,6	+15,4	100,0
Навоз 20 т/га	5,22 ± 0,08	521,9	+22,0	105,7
Навоз 60 т/га	4,29 ± 0,10	429,3	+0,23	86,80
2017 г., 1-й год последействия навоза				
Контроль	4,68 ± 0,20	467,5	-1,27	100,0
Навоз 20 т/га	5,36 ± 0,14	535,6	+13,1	114,5
Навоз 60 т/га	5,39 ± 0,08	539,5	+14,4	115,2
2018 г., 1-й год последействия навоза				
Контроль	2,85 ± 0,03	284,9	+26,7	100,0
Навоз 20 т/га	2,90 ± 0,05	289,9	+28,9	101,7
Навоз 60 т/га	3,05 ± 0,03	304,9	+35,6	107,0
2019 г., 3-й год последействия навоза				
Контроль	2,60 ± 0,08	259,7	+18,7	100,0
Навоз 20 т/га	2,82 ± 0,06	281,7	+28,8	108,5
Навоз 60 т/га	3,15 ± 0,08	315,3	+38,4	121,5

Примечание. *контроль – стерильная водопроводная вода, n= 100.

В опыте 2, в целом, были получены аналогичные результаты (таблица 34). Самые низкие значения длины корней тест-культуры были обнаружены на контрольном варианте в первый год последействия навоза. Здесь была установлена слабая фитотоксичность почвы. Вероятно, ее проявление могло быть связано с усилением влияния почвенных фитотоксичных микроорганизмов, которому могло способствовать повторное возделывание одной и той же культуры – пшеницы, либо увеличение численности почвенных грибов, которые могут оказывать негативное влияние на длину корней. В литературе отмечается, что фитотоксичные формы микроорганизмов поселяются на неразложившихся послеуборочных остатках сельскохозяйственных культур и способствуют

переходу токсических веществ, содержащиеся в послеуборочных остатках в активное состояние. Так, в опытах, проведенный в Омской области на черноземе выщелоченном наблюдался слабовыраженный фитотоксичный эффект в вариантах с соломой и, как правило, при увеличении численности почвенных грибов (Шулико, Хамова, Тукмачева, 2016а).

Таблица 34 – Оценка фитотоксичности слоя 0-20 см агрочернозема квазиглееватого легкосуглинистого условиях применения твердой фракции свиного навоза (опыт 2, опытное поле Омского ГАУ)

Вариант	Средняя длина корней, см	Общая длина корней, см	Изменение длины корней, % к контролю*	% от почвенного контроля
2017 г., год действия навоза				
Контроль	4,71 ± 0,18	471,1	-0,63	100,0
Навоз 20 т/га	5,15 ± 0,12	514,6	+8,65	109,3
Навоз 60 т/га	5,57 ± 0,23	556,6	+17,5	118,3
2018 г., 1-й год последствия навоза				
Контроль	1,66 ± 0,07	166,2	-26,2	100,0
Навоз 20 т/га	2,99 ± 0,07	298,7	+32,9	180,1
Навоз 60 т/га	2,91 ± 0,07	291,5	+29,3	175,3
2019 г., 2-й год последствия навоза				
Контроль	2,63 ± 0,08	263,3	+18,5	100,0
Навоз 20 т/га	2,85 ± 0,07	285,2	+28,4	108,4
Навоз 60 т/га	2,89 ± 0,12	288,2	+30,2	109,9

Примечание. *контроль – стерильная водопроводная вода, n= 100.

В вариантах с применением свиного навоза проявления токсичности агрочернозема во все годы исследований обнаружено не было. Напротив, средняя длина корешков тест-культуры редиса превышала контроль на 8,7-32,9%.

Наши результаты исследований согласуются с данными авторов, указывающими на ослабление фитотоксических свойств пахотных почв при использовании органических удобрений. Так, в работах Дудкиной Т.А. (2018) показано, что возрастание дозы навоза от 6 до 12 т/га уменьшило угнетение корней тест-растений с 15,2 до 2,8% на черноземе типичном Курской области под

ячменем. Снижение биологической токсичности серой лесной почвы, проявившейся на интенсивном минеральном фоне, было установлено при использовании навоза (Зинченко М.К., Селицкая, 2011).

В работах Богатыревой Е.Н. с соавторами (2020) также не было отмечено фитотоксичности дерново-подзолистых почв в зоне влияния животноводческих комплексов и птицефабрик. Однако отмечался ингибирующий эффект прорастания семян в почвах, где вносили свиные стоки в дозах 350-450 и 500-600 т/га. Всхожесть семян уменьшалась на 4,2-9,0%, длина ростков на 5-11 мм, корней на 5-17 мм по сравнению с почвами без нагрузок навоза. Экспериментами Караксина В.Б. (2004) было установлено снижение всхожести семян тест-культуры на 8-10 % при регулярном внесении жидкого свиного навоза в дозе 200 т/га.

Исследования, проведенные на серых лесных почвах Нижегородской области показали, что применение жидкой фракции свиного навоза способствовало незначительному повышению фитотоксичности почвы (23-24% к контролю), которое проявлялось на этапе прорастания семян пшеницы. Однако, к началу всходов растений фитотоксичность почвы нивелировалась (Титова, Рыбин, 2020).

Таким образом, полученные нами результаты исследований показали, что однократное внесение твердой фракции свиного навоза в дозах до 60 т/га в период действия и 2-3 лет последствия не вызывало проявления фитотоксичности агрочернозема при возделывании яровой пшеницы. По всей вероятности, применение органического удобрения не приводило к резким изменениям почвенно-биотического комплекса и не вызвало негативных изменений в почвенной системе агрочернозема, что может служить одним из показателей экологической безопасности использования свиного навоза.

6 ВЛИЯНИЕ СВИНОГО НАВОЗА НА ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА И СТРУКТУРНОЕ СОСТОЯНИЕ АГРОЧЕРНОЗЕМОВ

6.1 Состав обменно-поглощенных катионов и реакция среды

Показатели почвенно-поглощающего комплекса (ППК) являются важной характеристикой почвенного плодородия. Гедройц К.К. (1975) указывал, что все свойства почв, в конечном итоге обуславливающие величину получаемого урожая, зависят в той или иной степени от характера и состава ППК. Состав обменных катионов оказывает большое влияние на многие характеристики почвы, процесс структурообразования, агрегатный состав и водопрочность почвенных агрегатов.

К числу важнейших физико-химических свойств почвы также относится реакция среды почвенного раствора. Она оказывает весьма большое влияние не только на скорость, но и на направление происходящих в нем химических процессов. Анализ литературных источников свидетельствует о влиянии органических удобрений на физико-химические свойства почвы, зависящие от их фракций, дозы, длительности применения.

В опытах на светло-серой лесной почве и дерново-подзолистых почвах Новгородской области было отмечено, что применение твердой фракции свиного навоза положительно воздействовало на изменение реакции среды и увеличивало сумму обменных оснований (Титова, Варламова, Рыбин и др., 2019; Титова, Рыбин, 2020; Шишов, Николаева, Гришин, 2010).

Исследованиями, проведенными в Китае установлено, что внесение навоза на кислых почвах способствовало возрастанию рН и содержания обменных Ca^{2+} и Mg^{2+} в почве (Du et al., 2020; Couto et al., 2013).

В связи с этим нами были проведены наблюдения за составом обменно-поглощенных катионов и величиной рН водной суспензии агрочерноземов в зависимости от применения свиного навоза (таблицы 35-37).

Таблица 35 – Физико-химические свойства слоя 0-20 см агрочернозема квазиглееватого легкосуглинистого в условиях применения твердой фракции свиного навоза (опыт 1, опытное поле Омского ГАУ)

Доза, т/га	рН _{вод}	Ca ²⁺		Mg ²⁺		Na ⁺		S*, ммоль/ 100г
		ммоль/ 100г	%	ммоль/ 100г	%	ммоль/ 100г	%	
2016 г., год действия навоза								
0	6,62	9,58	73,7	2,92	22,5	0,48	3,69	13,0
20	6,76	10,4	71,7	3,60	24,8	0,48	3,31	14,5
30	6,47	10,6	71,6	3,63	24,5	0,52	4,26	14,8
40	6,50	10,7	70,9	3,83	25,4	0,57	4,44	15,1
50	6,46	11,0	70,5	4,03	25,8	0,55	4,74	15,6
60	6,42	11,2	71,8	4,20	26,9	0,24	1,54	15,6
НСР ₀₅	-	1,17	-	1,20	-	0,01	-	0,68
2017 г., 1-й год последействия навоза								
0	6,71	10,0	78,1	2,10	16,4	0,49	3,89	12,6
20	6,65	10,4	77,6	2,50	18,7	0,48	3,58	13,4
30	6,53	9,80	69,0	3,90	27,5	0,48	3,38	14,2
40	6,60	9,50	65,1	4,70	32,2	0,43	2,95	14,6
50	6,50	9,58	61,8	5,42	35,0	0,48	3,10	15,5
60	6,47	10,4	67,1	4,60	29,7	0,48	3,10	15,5
НСР ₀₅	-	1,12	-	1,77	-	0,04	-	1,56
2018 г., 2-й год последействия навоза								
0	6,28	10,0	81,3	2,10	17,1	0,24	1,95	12,3
20	6,31	10,4	78,2	2,70	20,3	0,23	1,73	13,3
30	6,40	10,6	72,6	3,80	26,0	0,24	1,64	14,6
40	6,40	11,0	74,3	3,60	24,3	0,24	1,62	14,8
50	6,43	11,2	73,7	3,80	25,0	0,24	1,58	15,2
60	6,50	10,8	70,1	4,20	27,3	0,43	2,79	15,4
НСР ₀₅	-	1,09	-	0,93	-	0,03	-	0,86
2019 г., 3-й год последействия навоза								
0	6,50	11,5	77,2	2,90	19,5	0,52	3,49	14,9
20	6,55	10,4	76,5	2,70	19,9	0,48	3,53	13,6
30	6,65	10,0	67,6	4,40	29,7	0,43	2,91	14,8
40	6,70	11,2	71,8	3,80	24,4	0,57	3,56	15,6
50	6,65	10,4	68,9	4,20	27,8	0,48	3,18	15,1
60	6,70	10,8	69,7	4,20	27,1	0,48	3,10	15,5
НСР ₀₅	-	0,74	-	1,11	-	0,01	-	1,12

Примечание. * – сумма поглощенных оснований.

Почва контрольного варианта в опытах 1 и 2 имела низкую для агрочерноземов величину суммы обменных оснований – 12,2-14,9 ммоль/100 (таблицы 35, 36). Содержание обменного кальция в почве было низким. Его доля от суммы оснований составляла 69,4-81,3%. На долю магния приходилось 16,4-26,7%. Доля натрия в составе обменно-поглощенных катионов была небольшой, изменялась от 1,95 до 3,89%.

Применение органического удобрения вызвало некоторые изменения в составе обменно-поглощенных оснований. Так, в опыте 1 в год действия навоза отмечалось небольшое увеличение содержания обменного кальция в зависимости от дозы удобрения. Его количество увеличивалось в вариантах с навозом от 20 до 60 т/га на 8,56-16,9% по отношению к контролю. При этом наблюдалось существенное возрастание содержания обменно-поглощенного магния – в 1,2-1,4 раза. Содержание натрия варьировало в диапазоне от 0,24 до 0,57 ммоль/100г и не зависело от дозы навоза. За счет увеличения количества кальция и магния сумма поглощенных оснований в вариантах с навозом увеличивалась на 11,5-20%.

В годы последействия органического удобрения количество обменного кальция существенно не изменялось под действием удобрения. Однако сохранялся более высокий уровень содержания магния, превышающий контрольный вариант в 1,2-1,6 раза.

Во все годы проведения опыта отмечалась устойчивая тенденция к увеличению суммы поглощенных оснований преимущественно за счет возрастания количества магния во время действия и трех лет последействия навоза. Увеличение его содержания в почве, вероятно, было связано с химическим составом навоза. По данным Губейдуллина Х.Х. с соавторами (2014), в составе свежего свиного навоза содержится 0,18% CaO и 0,09% MgO.

В опыте 2 также установлено возрастание количества и доли обменного магния при внесении навоза и отсутствие четких закономерностей изменения содержания кальция и натрия (таблица 36). В годы последействия удобрения отмечено увеличение суммы обменных оснований в вариантах с высокими дозами навоза: от 40 т/га и более. О повышении доли магния и уменьшении кальция в

черноземах при систематическом применении навоза указывалось в работе Усенко В.И. и Старостенко В.П. (2000). Увеличение содержания обменных кальция и магния в почве наблюдалось при внесении свиного навоза в течение 7 лет (Couto et al., 2013).

Таблица 36 – Физико-химические свойства слоя 0-20 см агрочернозема квазиглееватого легкосуглинистого в условиях применения твердой фракции свиного навоза (опыт 2, опытное поле Омского ГАУ)

Доза, т/га	рН _{вод}	Ca ²⁺		Mg ²⁺		Na ⁺		S*, ММОЛЬ/ 100Г
		ММОЛЬ/ 100Г	%	ММОЛЬ/ 100Г	%	ММОЛЬ/ 100Г	%	
2017 г., год действия навоза								
0	6,38	10,0	70,4	3,70	26,0	0,47	3,31	14,2
20	6,35	9,79	70,9	3,54	25,7	0,46	3,33	13,8
30	6,40	10,4	73,2	3,33	23,5	0,51	3,59	14,2
40	6,30	10,8	76,6	2,91	20,6	0,42	2,98	14,1
50	6,30	10,6	76,3	2,78	20,0	0,56	4,03	13,9
60	6,48	10,0	67,6	4,37	29,5	0,46	3,11	14,8
НСР ₀₅	-	1,56	-	1,98	-	0,03	-	1,01
2018 г., 1-й год последействия навоза								
0	6,42	10,0	76,3	2,90	22,1	0,21	1,60	13,1
20	6,27	9,16	69,9	3,54	27,0	0,37	2,82	13,1
30	6,25	10,8	73,0	3,57	24,1	0,41	2,77	14,8
40	6,21	11,1	74,0	3,50	23,3	0,41	2,73	15,0
50	6,22	11,7	77,0	3,33	21,9	0,21	1,38	15,2
60	6,25	11,8	76,1	3,60	23,2	0,10	0,65	15,5
НСР ₀₅	-	0,87	-	1,11	-	0,04	-	1,10
2019 г., 2-й год последействия навоза								
0	6,40	9,16	75,1	2,50	20,5	0,49	4,02	12,2
20	6,30	9,16	70,5	3,34	25,7	0,45	3,46	13,0
30	6,25	9,44	75,5	2,64	21,1	0,41	3,28	12,5
40	6,35	10,0	73,0	3,30	24,1	0,41	2,99	13,7
50	6,40	10,0	72,5	3,30	23,9	0,47	3,41	13,8
60	6,35	10,4	70,7	3,76	25,6	0,53	3,61	14,7
НСР ₀₅	-	1,56	-	1,01	-	0,04	-	0,93

Примечание. * – сумма поглощенных оснований.

Анализ величины рН водной суспензии указывает на то, что реакция среды агрочернозема за годы исследований изменялась в диапазоне от нейтральной до

слабокислой, что было обусловлено изменением комплекса условий, в том числе погодных.

В вариантах с внесением органического удобрения в год действия и первый год последствия отмечалось слабое снижение величины рН по сравнению с контролем, несмотря на слабощелочную реакцию навоза (рН = 7,4). Это могло быть связано с наличием новообразованных органических, в том числе «молодых» гумусовых кислот. Кроме того, при минерализации навоза выделяется CO_2 , что приводит к образованию угольной кислоты, рассматриваемой, как один из источников образования протонов в почве.

На второй и третий годы последствия навоза в опыте 1 величина рН почвы при дозе 20 т/га была на уровне контроля; при дозе 40 и 60 т/га – несколько больше. Однако все значения находились в одном оценочном интервале, характеризующем реакцию среды как слабокислую или нейтральную.

В опыте 2 внесение удобрения с рН = 8,0 также не привело к подщелачиванию почвы. Небольшое увеличение рН среды отмечено в год действия навоза в варианте с дозой 60 т/га. В годы последствия органического удобрения значения рН водной суспензии агрочерноземов удобренных вариантов были несколько меньше по сравнению с контролем.

Таким образом, состав обменно-поглощенных катионов и реакция среды в условиях применения навоза были подвержены динамике по годам исследований, но при этом наблюдалась тенденция к возрастанию величины суммы поглощенных оснований и обменного магния. Использование навоза не вызывало неблагоприятных изменений реакции среды агрочернозема.

Данные по содержанию обменно-поглощенных катионов в агрочерноземах квазиглееватых сильногумусированных в опытах с твердой и жидкой фракциями свиного навоза представлены в таблице 37.

В опыте с твердой фракцией свиного навоза агрочернозем тяжелосуглинистый имел высокую сумму обменных оснований – 39,7 ммоль/100 г, превышающую ее значение на опытном поле Омского ГАУ, что связано с его более тяжелым гранулометрическим составом и более высоким содержанием

гумуса. Содержание обменного кальция на неудобренном варианте было высокое (25,0 ммоль/100г), на долю магния приходилось 34,8% от суммы катионов.

Таблица 37 – Физико-химические свойства слоя 0-20 см агрочерноземов квазиглееватых в условиях применения свиного навоза (2016 г., 1-й год последействия удобрения, ООО «РУСКОМ-Агро»)

Доза, т/га	pH _{вод}	Ca ²⁺		Mg ²⁺		Na ⁺		S*, ммоль/ 100г
		ммоль/ 100г	%	ммоль/ 100г	%	ммоль/ 100г	%	
Твердая фракция навоза								
0	6,72	25,0	63,0	9,56	34,8	0,91	2,29	39,7
20	6,60	32,5	78,3	8,75	21,1	0,24	0,58	41,5
40	6,86	32,0	80,6	6,75	17,0	0,91	2,29	39,7
80	6,70	36,3	79,8	8,75	19,2	0,48	1,05	45,5
100	6,86	35,0	81,0	7,50	17,4	0,71	1,64	43,2
НСР ₀₅	-	2,54	-	1,17	-	0,04	-	5,04
Жидкая фракция навоза								
0	6,50	21,3	67,0	6,76	31,4	0,48	1,51	31,8
50	6,48	30,0	85,2	5,00	14,2	0,24	0,68	35,2
200	6,22	24,2	78,1	5,80	18,7	0,95	3,06	31,0
300	6,57	30,0	80,6	6,25	16,8	0,91	2,45	37,2
НСР ₀₅	-	2,59	-	1,05	-	0,04	-	5,72

Примечание. * – сумма поглощенных оснований.

В вариантах с твердой фракцией навоза содержание обменного кальция было больше, чем на контроле: 32,0-36,3 ммоль/100г. Увеличение его содержания в удобренных вариантах составило 30-45,2% по отношению к неудобренной почве. На долю магния приходилось 7,5-8,75 ммоль/100 г при тенденции ее уменьшения по сравнению с контролем. Количество натрия было невысоким – 0,24-0,91 ммоль/100 г.

Реакция среды почвы с применением с твердой фракции навоза была близкой к нейтральной во всех вариантах опыта. Применение навоза с pH = 8,3 не привело к подщелачиванию почвы.

Содержание обменного кальция в агрочерноземе среднесуглинистом контрольного варианта в опыте с жидкой фракцией составляло 21,3 ммоль/100 г, при содержании магния 6,76 ммоль/100 г. В вариантах с дозами 50 т/га и 300 т/га наблюдался более высокий уровень содержания обменного кальция на 40,8% при уменьшении доли магния по отношению к контролю. Однако прямой зависимости между количеством кальция и дозой удобрения не было выявлено.

Реакция среды почвы контрольного варианта была слабокислой ($pH = 6,5$). Применение навоза с $pH = 8,3$ не приводило к подщелачиванию почвенной среды, значения pH были на уровне контроля за исключением варианта с дозой навоза 200 т/га, где отмечалась более низкая величина pH . Различия в содержании и составе обменно-поглощенных катионов в почве данного опыта были обусловлены также и их природным варьированием в почвенном покрове опытного участка.

Таким образом, проведенные исследования показали, что твердая фракция свиного навоза в дозах 20-60 т/га обеспечивала увеличение суммы обменных оснований и количества магния в агрочерноземе малогумусированном легкосуглинистом. Применение ее на агрочерноземе тяжелосуглинистом не сопровождалось четкими изменениями состава катионов при проявляющейся тенденции к увеличению содержания кальция. При последствии жидкой фракции навоза также наблюдалось тенденция к увеличению суммы и соотношения обменных катионов. Внесение в почвы навоза с допустимой по нормативам величиной pH не вызывало ее подщелачивания.

6.2 Структурное состояние агрочерноземов

Структурно-агрегатное состояние почвы определяет физические и физико-механические свойства, воздушный, водный режимы и, в целом, ее плодородие. Структура служит характерным генетическим признаком почвы, так как является функцией факторов, определяющих тип почвообразования, механический и химический состав, а также содержание и качество органического вещества.

В образовании структурных агрегатов почвы Гедройц К.К. (1975) придавал большое значение органическому веществу. По его мнению, органическая часть почвенного поглощающего комплекса наиболее высокодисперсная и поэтому играет важную роль в процессах структурообразования почвы. В своих работах Соколовский А.Н. (1971) обращал внимание, что в создании структурных агрегатов принимает участие лишь активный гумус, в то время как структурное состояние пахотных почв претерпевает существенные изменения под действием обработок и применения удобрений. Среди них наиболее значительное воздействие на почвенную структуру оказывают органические удобрения. Оно зависит от вида, дозы навоза, степени его разложения, а также типа почвы. Сведения о влиянии свиного навоза на структурное состояние почв в литературе немногочисленны. Положительное влияние свиного навоза на структуру отмечалось в исследованиях Бабенко В.М. (2016) на дерново-подзолистой почве. Автор отмечает, что твердая и жидкая фракции свиного навоза в первый год действия значительно повышали коэффициент структурности по отношению к контролю. В дальнейшем агрегатный состав дерново-подзолистой почвы имел тенденцию изменения к своему исходному состоянию. В то же время, в исследованиях на черноземе выщелоченном Краснодарского края при разных способах внесения свежего свиного навоза наблюдалось уменьшение агрономически ценных агрегатов в слое 0-20 см на 15,0-26,6% относительно контроля (Слюсарев, Осипов, Кузнецов, 2021).

В задачи наших исследований входило установление влияния свиного навоза на структурное состояние агрочерноземов. Вопрос изучали в полевом опыте с твердой фракцией навоза, заложенной на опытном поле Омского ГАУ. Определение состава почвенных агрегатов проводилось путем отбора почвенных проб из пахотного слоя 0-20 см с последующим сухим просеиванием через набор сит по методу Саввинова Н.И. Содержание каждой фракции рассчитали как отношение этой фракции к общей массе почвы. По результатам сухого просеивания рассчитывали коэффициент структурности и агрегированности,

средневзвешенный диаметр агрегатов, количество агрономически ценных агрегатов.

Пахотный слой агрочернозема квазиглееватого легкосуглинистого морфологически характеризовался пылевато-глыбисто-комковатой структурой, характерной для длительно используемых в пашне почв. Следует отметить, что структура почвы опытного участка формировалась при низком содержании органического вещества, небольшом – обменно-поглощенного кальция, воздействии эрозионных процессов и ежегодных механических обработках.

Данные структурно-агрегатного анализа, проведенного методом Саввинова Н.И., указывают на различия в соотношении фракций агрегатов по размерам в разные годы исследований. Почва на контрольном варианте характеризовалась варьированием содержания пылеватых агрегатов размером $< 0,25$ мм в диапазоне от 5,1 до 22,1%, глыбистых, размером > 10 мм от 20,2 до 51,5% (рисунок 17, приложение Н).

Существенное варьирование содержания отдельных фракций агрегатов может объясняться различной влажностью и уплотненностью почвы во время отбора почвенных проб. Почва обладала средней и хорошей степенью агрегированности твердой фазы, так как на содержание агрегатов размером $> 0,5$ мм приходилось 67,4-91,0%. Количество агрономически ценных агрегатов в пахотном слое составляло в разные годы от 43,3 до 57,7%, что указывает на относительно хорошее состояние структуры.

Применение твердой фракции свиного навоза в дозе 20 т/га в год его действия существенно не повлияло на размер структурных отдельностей. Количество агрономически ценных агрегатов на контроле и в варианте 20 т/га варьировало в одном диапазоне. В варианте с дозой удобрения 60 т/га произошло увеличение содержания глыбистой фракции на 16,7% и уменьшение пылеватой фракции на 5,2%. При максимальной дозе навоза наблюдалось некоторое уменьшение агрономически ценных агрегатов, однако их содержание оценивалось как хорошее.

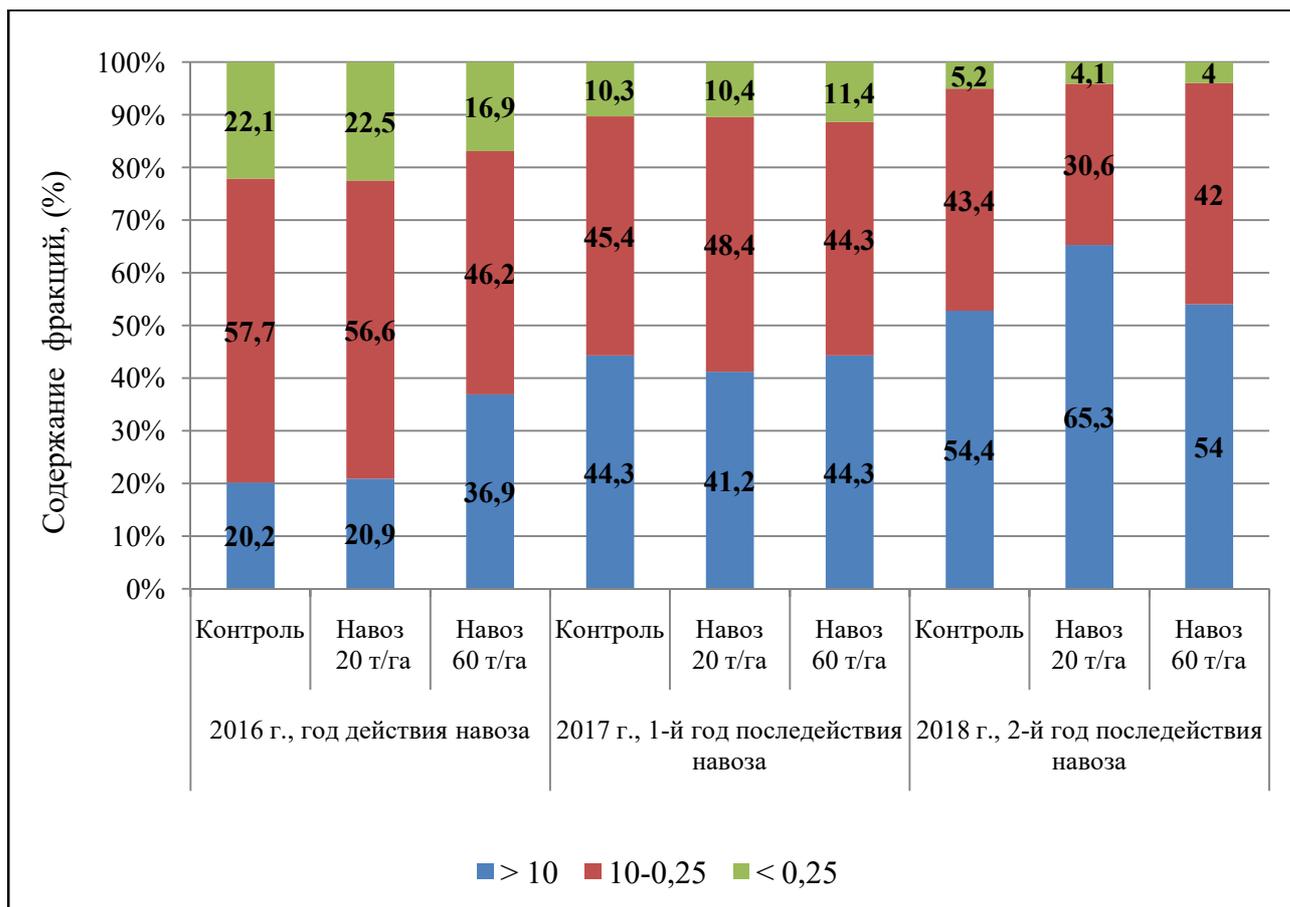


Рисунок 17 – Соотношение структурных агрегатов в пахотном слое агрочернозема квазигилееватого легкосуглинистого (опыт 1, опытное поле Омского ГАУ). $t_{05} = 4,3$. В вариантах с навозом в 2016 г. t_{ϕ} = для фракции > 10 мм – 0,10-2,3; 10-0,25 мм – 0,1-1,16; < 0,25 мм – 0,12-1,84. В 2017 г., соответственно: 0-0,58; 0,30-0,62; 0,04-0,71. В 2018 г.: 0,08-1,58; 0,31-3,40; 0,67-0,77

В первый год последействия навоза (2017 г.) существенных изменений почвенной структуры по сравнению с контролем выявлено не было. По всем вариантам опыта наблюдались близкие значения соотношения микро-, мезо- и макроагрегатов. В 2018 г. (2-й год последействия навоза) отмечалось увеличение количества глыбистой фракции в почве, при максимуме в варианте с дозой навоза 20 т/га. Наибольшее количество агрономически ценной структуры было на контроле и с максимальной дозой навоза (42,0-43,4%).

В опыте 2 также не наблюдалось существенного изменения агрегатного состава пахотного слоя агрочернозема под действием навоза (рисунок 18, приложение П).

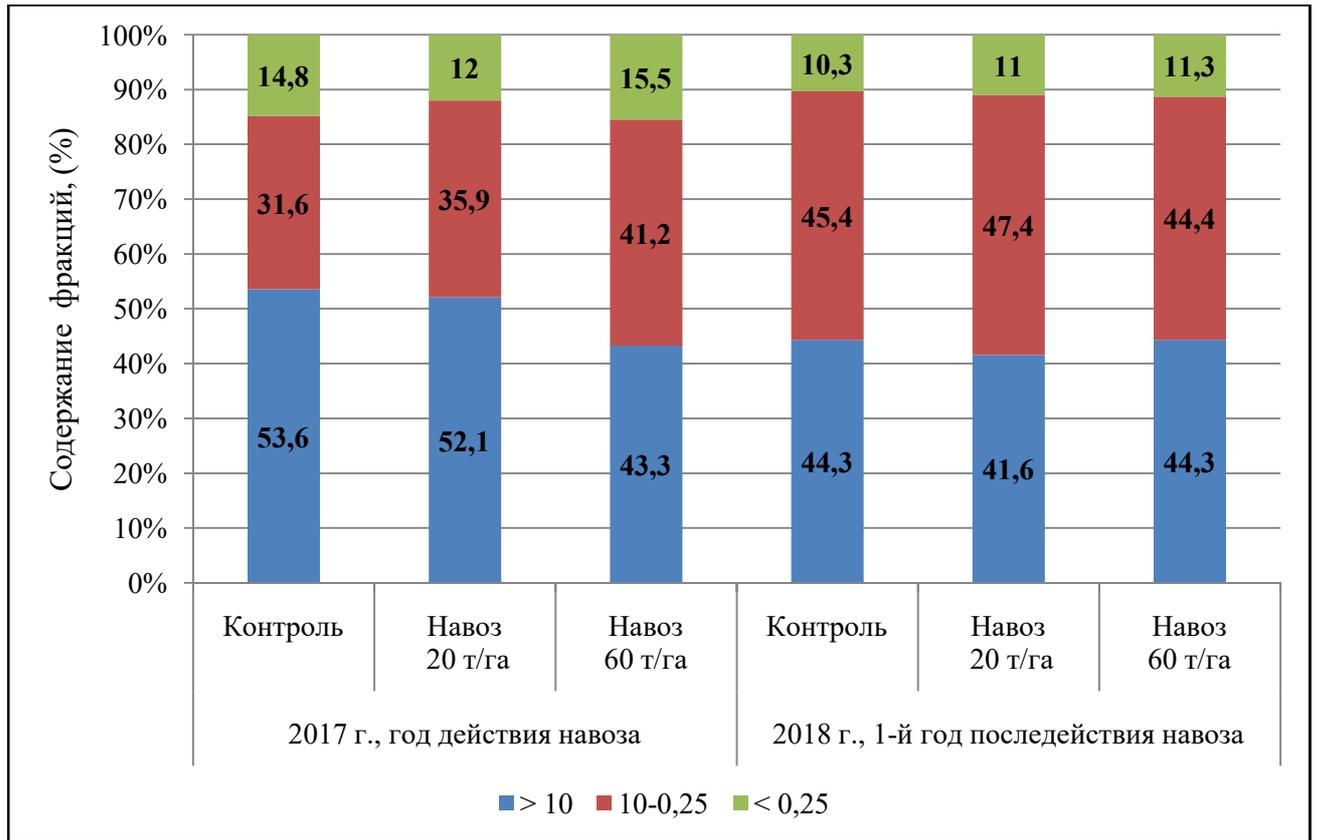


Рисунок 18 – Соотношение структурных агрегатов в пахотном слое агрочернозема квзагилееватого легкосуглинистого (опыт 2, опытное поле Омского ГАУ). $t_{05} = 4,3$. В вариантах с навозом в 2017 г. t_{ϕ} = для фракции > 10 мм – 0,36-2,11; 10-0,25 мм – 0,70-4,81; < 0,25 мм – 0,46-1,4. В 2018 г., соответственно: 0-0,59; 0,30-0,14-0,33; 0,19-0,31

Показатели агрегированности были близкими на контроле (79,1-84%) и в вариантах с навозом (77,1-82,7%). Пахотный слой агрочернозема на контроле по количеству агрономически ценных агрегатов и коэффициенту структурности характеризовался разным состоянием структуры: от неудовлетворительного в 2017 г. до хорошего в 2018 г. В год действия навоза отмечалось улучшение агрегатного состояния при его дозе 60 т/га. В 1-й год последействия удобрения различия в показателях структуры не наблюдалось.

Для качественной оценки структуры рассчитывали коэффициент структурности ($K_{стр}$) по отношению агрономически ценных агрегатов размером 0,25-10 мм к сумме агрегатов < 0,25 и > 10 мм. Самая большая величина

коэффициента структурности отмечалась на контроле в 2016 г. – 1,36 (таблица 38).

Таблица 38 – Показатели структурного состояния пахотного слоя 0-20 см агрочернозема квазиглееватого легкосуглинистого в зависимости от дозы твердой фракции свиного навоза (опыт 1, опытное поле Омского ГАУ)

Доза навоза, т/га	$K_{\text{агр}}$	Количество АЦА, %	$K_{\text{стр}}$	Средневзвешенный диаметр агрегатов, мм	Количество водопрочных агрегатов, %
2016 г., год действия навоза					
0	67,4	57,7	1,36	4,99	10,0±1,63
20	66,6	56,6	1,30	5,01	12,7±0,67
60	76,0	46,2	0,86	7,20	16,7±2,40
2017 г., 1-й год последействия навоза					
0	84,0	45,4	0,80	8,30	22,5±1,44
20	82,9	48,4	0,90	7,89	26,7±5,46
60	82,2	44,3	0,80	8,19	33,3±3,31
2018 г., 2-й год последействия навоза					
0	91,0	43,4	0,77	9,46	10,0±2,89
20	93,6	30,6	0,44	11,2	10,8±0,83
60	92,6	42,0	0,72	9,79	25,0±3,82

Примечание. $K_{\text{агр}}$ – коэффициент агрегированности, рассчитан как сумма агрегатов (%) > 0,50 мм; $K_{\text{стр}}$ – коэффициент структурности, рассчитан как отношение агрономически ценных агрегатов 0,25-10 мм к сумме агрегатов < 0,25 мм и > 10 мм. АЦА – агрономически ценные агрегаты. Величина НСР₀₅ для количества водопрочных агрегатов в 2016 г. 6,33%, в 2017 г. 8,67%, в 2018 г. 9,46%.

В год действия навоза коэффициент структурности варьировал в диапазоне от 0,86 до 1,3. В последующие годы было отмечено его снижение как на контрольных вариантах, так и в вариантах с применением навоза. В период действия и первого года последействия органического удобрения значения коэффициента структурности указывали на хорошее структурное состояние. Во второй год последействия навоза состояние структуры почвы в варианте с дозой 20 т/га за счет увеличения глыбистой фракции было неудовлетворительным.

Анализ средневзвешенного диаметра агрегатов показал, что он коррелирует с количеством агрономически ценных агрегатов и коэффициентом структурности. Наименьшая величина диаметров (4,99-5,01 мм) отмечалась в 2016 г. на контроле и в варианте с навозом 20 т/га. Вариант с дозой удобрения 60 т/га характеризовался увеличением размера агрегатов на 44% параллельно с возрастанием агрегированности и снижением коэффициента структурности.

В последующие годы структурные агрегаты имели большую величину: 7,89-8,30 мм в первый год последствий и 9,46-11,2 мм – во второй год. В опыте 2 диаметр структурных отдельностей под действием твердой фракции в дозе 60 т/га составлял 7,82 мм, что было на 14% меньше по сравнению с контрольным вариантом. В первый год последствий удобрения пахотный слой агрочернозема во всех вариантах был представлен агрегатами близкого размера: 7,90-8,30 мм.

Таким образом, по результатам наших исследований твердая фракция свиного навоза существенно не повлияла на структурно-агрегатный состав малогумусированного легкосуглинистого агрочернозема.

Важным показателем структуры почвы является ее способность противостоять внешнему разрушающему воздействию воды. Ему могут противостоять лишь агрегаты с прочными связями между элементарными почвенными частицами. Образование таких связей – сложный процесс, который зависит от поступления и содержания органического вещества, полуторных оксидов, качественного состава гумуса, минералогического состава, количества и соотношения обменно-поглощенных катионов (Шеин, Милановский, 2014).

Водопрочность структурных агрегатов определяли по методу Андрианова П.И. в модификации Качинского Н.А. Метод основан на учёте агрегатов, распавшихся в воде за определенный промежуток времени.

Неблагоприятной характеристикой структурного состояния агрочернозема являлась неудовлетворительная водоустойчивость агрегатов (таблица 38). Количество водопрочных агрегатов почвы контрольных вариантов в разные годы изменялось от 10,0 до 22,5% и оценивалось как низкое. Слабая водопрочность структурных агрегатов объясняется низким содержанием гумуса, обменно-

поглощенного кальция, а также илистой фракции. Действие навоза в дозах 20 и 60 т/га привело к увеличению их доли на 27 и 67%, соответственно, однако водопрочность структуры оставалась неудовлетворительной. В годы последствия твердой фракции свиного навоза сохранялось его положительное влияние на количество водопрочных агрегатов, которых в вариантах с удобрением в 2017 г. было больше на 18,6-48,0%, в 2018 г. в 1,8-2,5 раза. При этом существенное влияние на количество устойчивых к воздействию воды агрегатов сохранялось только при дозе навоза 60 т/га. Усилению водопрочности агрегатов способствовало увеличение содержания органического вещества, в том числе гумусовых веществ и их качественного состава в результате внесения навоза. Усенко В.И. и Старостенко В.П. (2014) также отмечали, что бесподстилочный навоз не оказал влияние на структурно-агрегатный состав агрочерноземов, однако способствовал увеличению водопрочности агрегатов.

В многочисленных работах отмечено, что в формировании водопрочных агрегатов принимают участие свежееобразованные гуминовые вещества (Тюрин, 1985), которые цементируют почвенные частицы и агрегаты (Кононова, 1963). Однако основное действие в формировании водопрочной структуры отводится первой фракции гуминовых кислот, которая находится в свободном состоянии или в форме оснований. Наблюдаемое в наших опытах увеличение содержания подвижных гумусовых веществ и доли гуминовых кислот, в том числе фракции, связанной с кальцием, являлось причиной улучшения водопрочности структурных агрегатов почвы. Следует отметить, что формирование структуры почвы является длительным процессом, происходящим под действием комплекса механических, физико-химических, химических и биологических факторов. Для улучшения структурного состояния почвы требуется не однократное, а систематическое применение органических удобрений в сочетании с рациональной системой обработки почвы и севооборотом.

Таким образом, результаты показали, что агрочернозем малогумусированный легкосуглинистый по содержанию агрономически ценных агрегатов имел хорошее состояние. Неблагоприятным свойством структуры почвы являлась ее

неудовлетворительная водоустойчивость. Применение твердой фракции свиного навоза в дозах от 20 до 60 т/га не вызвало определенных изменений структурно-агрегатного состава, степени агрегированности и размеров почвенных агрегатов. В то же время, внесение в почву органического удобрения способствовало увеличению количества водопрочных агрегатов на 27-67% в год действия и в 1,8-2,5 раза в 1-й и 2-й годы последействия, что связано с увеличением содержания и улучшением качественных показателей органического вещества.

7 ВЛИЯНИЕ НАВОЗА НА СОДЕРЖАНИЕ ЭЛЕМЕНТОВ ПИТАНИЯ В АГРОЧЕРНОЗЕМАХ

Многочисленными исследованиями, проведенными в России и зарубежных странах, показано, что органические удобрения являются регулятором баланса биофильных элементов в агроэкосистемах (Лукин С.В., 2016; Кудеяров, 2018; Усенко, Каличкин, 2003; Сычев, 2016; Du et al., 2020; Larney et al., 2008; Matos et al., 2018; Plaza et al., 2004; Ramos, Moscuza, 2020). Систематическое их применение способствует оптимизации питания и восполнению выноса из почв растениями макро- и микроэлементов. Одной из главных причин повышения урожайности сельскохозяйственных культур на фоне органических удобрений в первую очередь является улучшение параметров агрохимических показателей почвы, увеличение содержания в ней азота, фосфора, калия и других элементов, то есть повышение уровня эффективного плодородия. При этом существенную роль играет вид органического удобрения и его химический состав.

Свиной навоз по удобрительной ценности не уступает навозу крупного рогатого скота. В нем от 50 до 70% азота находится в растворимой форме, которая хорошо усваивается сельскохозяйственными растениями. Фосфор в значительной мере входит в состав органических веществ, по сравнению с фосфором минеральных удобрений он меньше закрепляется в почве и хорошо используется выращиваемыми культурами. Калий представлен хорошо растворимыми соединениями (Справочная книга ..., 2001; Мерзлая, Новиков, Еськов и др., 2006; Теучеж, 2018; Титова, Рыбин, 2020). Процесс использования питательных веществ из органических удобрений более длителен, чем из минеральных, что объясняет эффект их последствия и создает возможность внесения в почву один раз в несколько лет.

Имеющиеся данные указывают на то, что применение свиного навоза способствует увеличению запасов элементов питания в разных типах почв. Положительное влияние бесподстилочного свиного навоза, а также его жидкой и твердой фракций на фосфорно-калийный режим и содержание подвижного азота

показано в опытах на дерново-подзолистых почвах (Шишов, Николаева, Гришанов, 2010; Барановский, Бабенко, 2014; Бабенко, 2016). Жидкий свиной навоз в дозах 60-180 т/га обеспечивал бездефицитный баланс, а также прирост фосфора и калия в серой лесной почве (Титова, Варламова, Рыбин и др., 2019).

Для оценки изменения питательного режима агрочерноземов, как одного из факторов эффективного плодородия, нами были проведены исследования содержания в них подвижных форм макро- и микроэлементов. В работе использовали данные по содержанию подвижных форм азота, фосфора и калия в почвах в период действия навоза, полученные при совместных исследованиях сотрудниками кафедры агрохимии и почвоведения Гоман Н.В., Бобренко И.А., Корминым В.П., Трубиной Н.К., Шалак И.О.

В проведенных полевых опытах с твердой фракцией свиного навоза, примененного в дозах от 20 до 60 т/га, в почву поступало 114-354 кг/га азота, 22-66 кг/га фосфора и 28-144 кг/га калия (таблица 39).

Таблица 39 – Поступление в почву азота, фосфора и калия (кг/га) при внесении твердой фракции свиного навоза (опытное поле Омского ГАУ)

Доза навоза, т/га	2016 г.			2017 г.		
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
20	118	22	28	114	22	42
30	177	33	42	171	33	72
40	236	44	56	228	44	96
50	295	55	70	285	55	120
60	354	66	84	342	66	144

Пахотный слой агрочернозема квазиглееватого легкосуглинистого перед посевом пшеницы имел очень низкое содержание нитратного азота (4,48-4,75 мг/кг), повышенное – фосфора (109 мг/кг) и очень высокое – калия (222-311 мг/кг). В вариантах с удобрением, как в 2016, так и в 2017 гг., наблюдалось существенное увеличение содержания подвижных форм элементов питания в слое 0-20 см агрочернозема (рисунки 19-21, приложение Р). Количество нитратного азота в почве в период вегетации пшеницы от фазы кущения до колошения резко

возрастало до очень высокого уровня, достигая максимума при дозе навоза 60 т/га. К уборке культуры количество азота в почве снижалось в 1,7-2,3 раза по сравнению с фазой кущения, однако было существенно больше по сравнению с контрольными вариантами.

Ряд авторов также отмечают существенное увеличение в почве аммонийной формы азота, кроме нитратной, при использовании различных фракций свиного навоза. Возрастание количества обменного аммония в дерново-подзолистой почве при использовании бесподстилочного свиного навоза в дозах 40-240 т/га установлено Шишовым А.Д., Николаевой Т.А., Гришановым С.Л. (2010). Аналогичные результаты получены в опытах на том же типе почвы Барановским И.Н., Бабенко М.В. (2014).

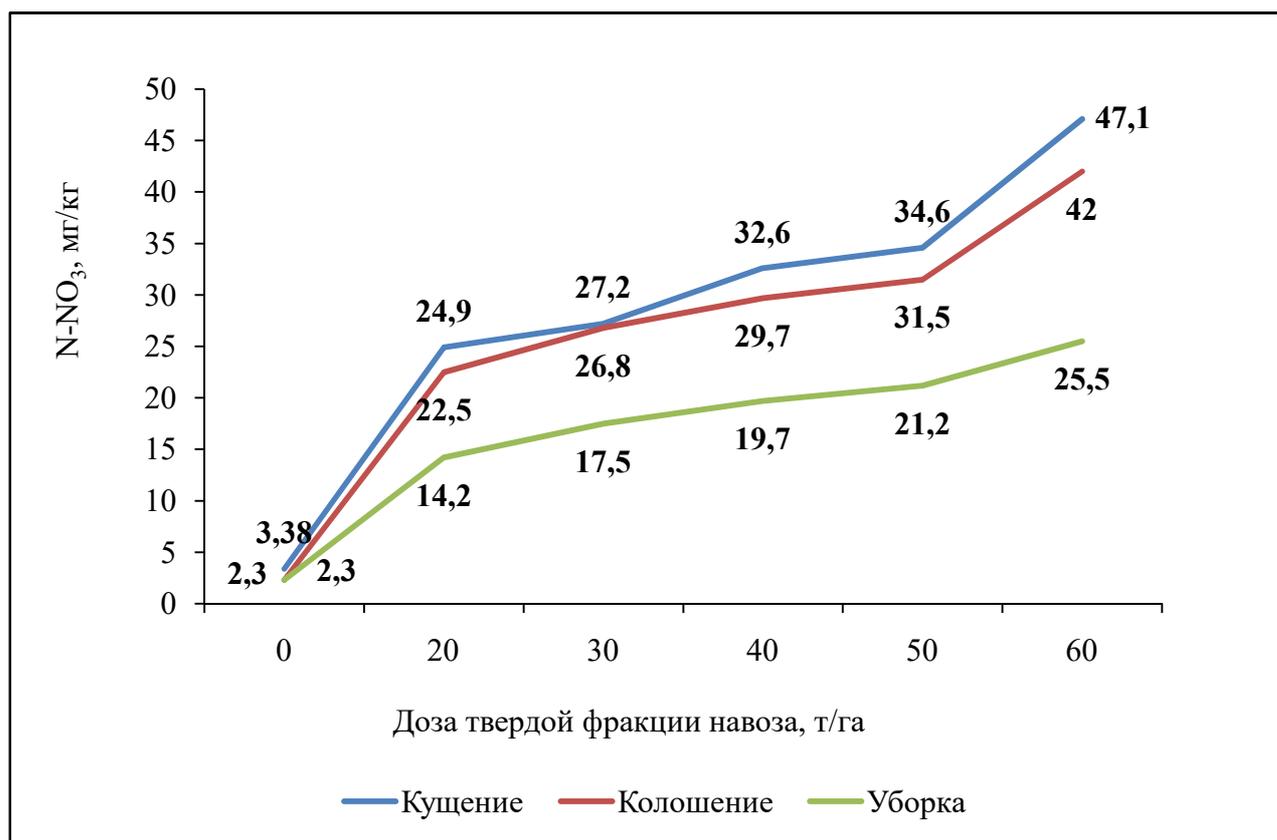


Рисунок 19 – Действие твердой фракции свиного навоза на содержание нитратного азота в слое 0-20 см агрочернозема по фазам развития яровой пшеницы (2016-2017 гг.)

Содержание подвижного фосфора в пахотном слое агрочернозема в годы действия навоза также существенно возрастало и во время всего периода вегетации пшеницы превышало контрольные варианты от 45-49 до 71-77% в зависимости от дозы навоза. Обеспеченность растений фосфором в результате внесения твердой фракции навоза была повышенной и высокой.

Изменение содержания подвижного калия во время вегетации культуры под действием навоза, с которым его поступление в почву составило 42-84 кг/га, было небольшим (5-14%) и отмечалось при его дозах, превышающих 40 т/га. Таким образом, в год действия навоза отмечалась сильная зависимость между его дозами и содержанием элементов питания в слое 0-20 см агрочернозема, подтверждаемая коэффициентами корреляции: $r = 0,92-0,94$ для нитратного азота, $0,95-0,97$ – для фосфора и $0,76-0,92$ – для калия.

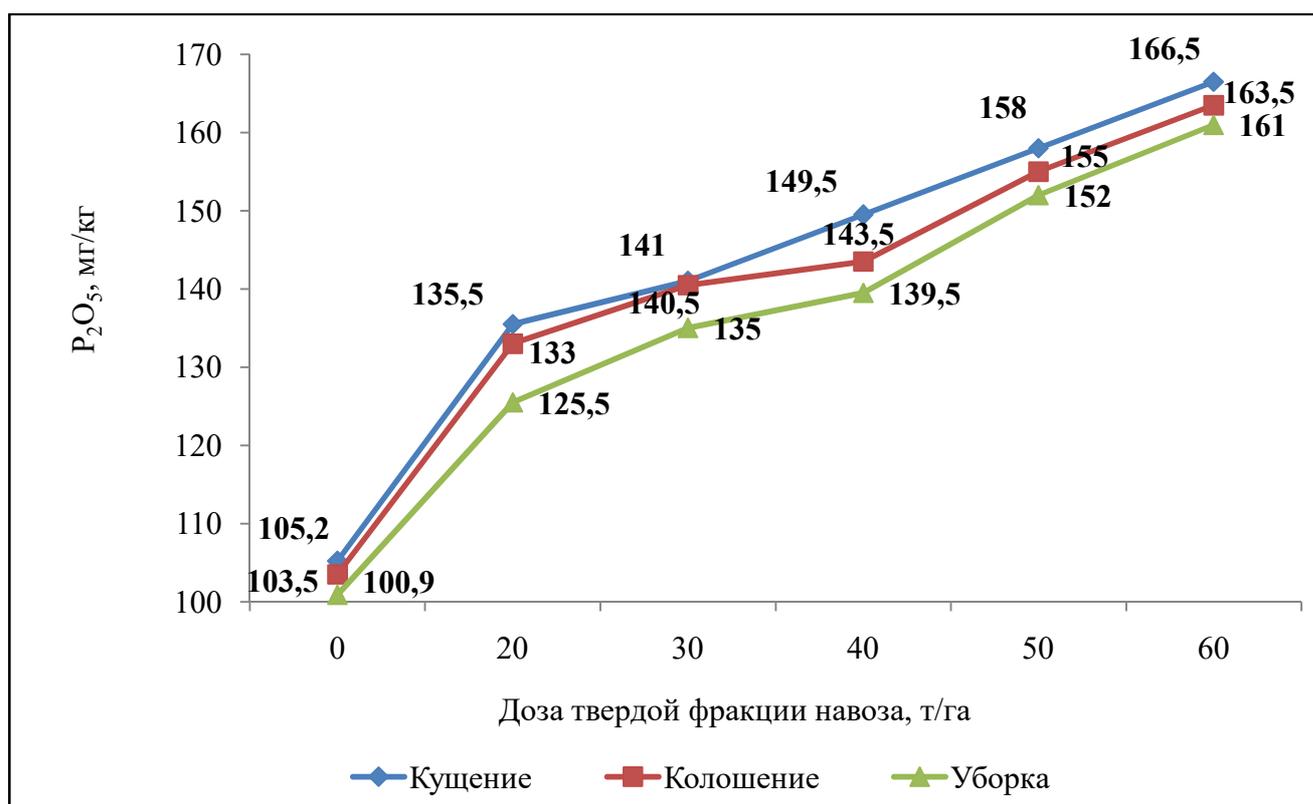


Рисунок 20 – Действие твердой фракции свиного навоза на содержание подвижного фосфора в слое 0-20 см агрочернозема по фазам развития яровой пшеницы (2016-2017 гг.)

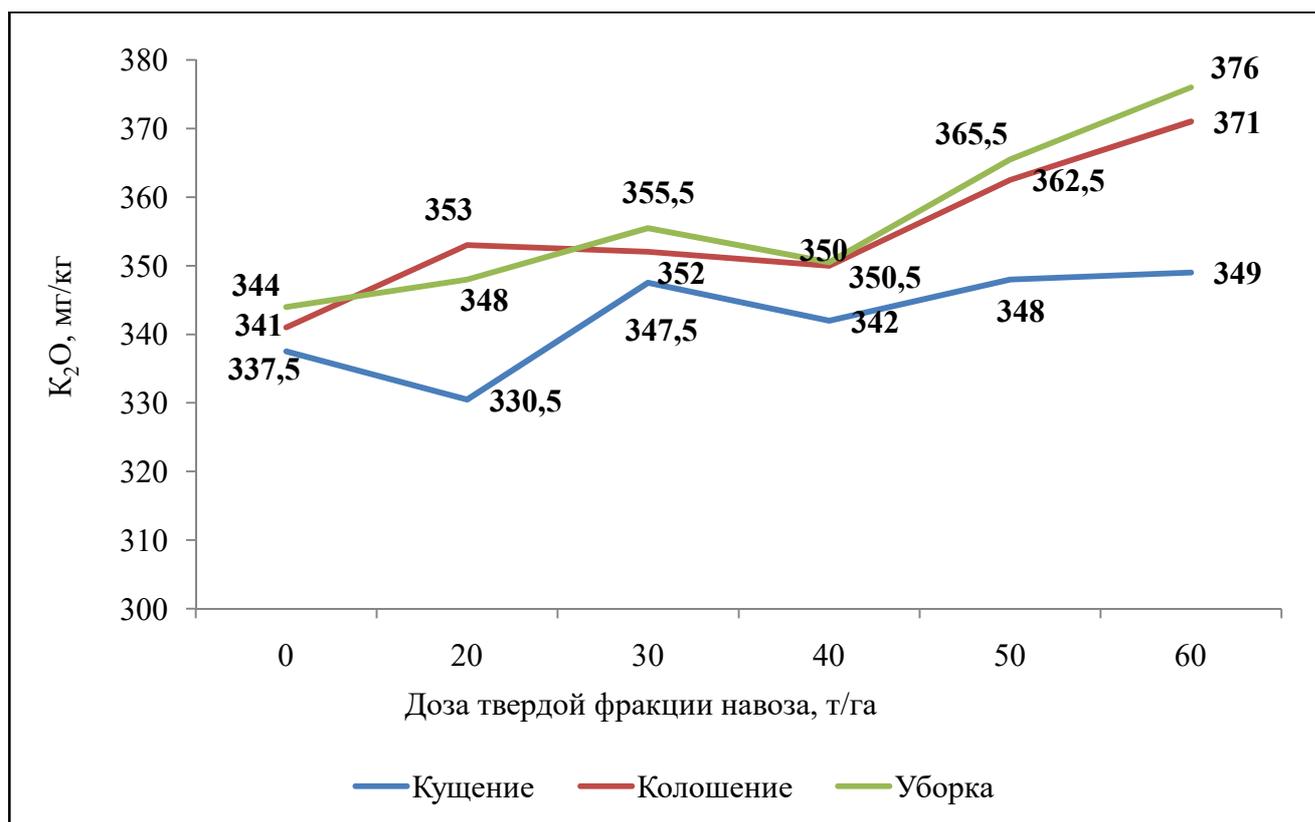


Рисунок 21 – Действие твердой фракции свиного навоза на содержание подвижного калия в слое 0-20 см агрочернозема по фазам развития яровой пшеницы (2016-2017 гг.)

На следующий год после внесения навоза количество нитратного азота в почве после уборки урожая было высоким только при дозе 60 т/га. В вариантах с меньшими дозами удобрения оно было низким и не отличалось от значений на контрольном варианте (таблица 40). Вероятно, это было связано с использованием доступных соединений азота растениями пшеницы за вегетационный период.

Содержание калия в почве во всех вариантах опыта было высоким, влияние на него твердой фракции навоза не обнаруживалось. Однако в годы последствия удобрения отмечалось превышение содержания подвижного фосфора: в первый – на 21-71%, во второй и третий годы – на 23-44 % относительно контроля, что связано с высоким содержанием элемента в составе твердой фракции.

Таблица 40 – Содержание подвижных форм элементов питания (мг/кг) в слое 0-20 см агрочернозема квазиглееватого легкосуглинистого в годы последействия твердой фракции навоза (опыт 1)

Доза, т/га	2017 г.			2018 г.	2019 г.
	N-NO ₃	P ₂ O ₅	K ₂ O	P ₂ O ₅	
0	5,0	158	265	203	248
20	7,0	191	224	191	225
30	7,0	205	236	214	248
40	5,0	225	230	293	338
50	7,0	248	218	293	304
60	20	270	218	270	360

Примечание: 2017 г. – первый год последействия, 2018 и 2019 гг. – второй и третий годы последействия навоза, соответственно.

Жидкая фракция свиного навоза характеризовалась преобладанием азота (0,24%) и калия (0,10%) при более низком содержании фосфора (0,03%). С ее дозами от 50 до 300 т/га в почву поступало от 120 до 720 кг/га азота, от 50 до 300 кг/га калия и 15-90 кг/га фосфора (таблица 41).

Таблица 41 – Поступление в почву азота, фосфора и калия (кг/га) при внесении жидкой фракции свиного навоза

Доза, т/га	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
50	120	15	50
100	240	30	100
150	360	45	150
200	480	60	200
250	600	75	250
300	720	90	300

Наличие в жидкой фракции навоза элементов питания в растворимых формах привело к увеличению их концентрации в почве в год его внесения в течение всего вегетационного периода (рисунок 22, приложение С).

Наиболее существенно возросло содержание азота в слое 0-20 см агрочернозема при дозах 100 кг/га и более: до высокой обеспеченности. Концентрация подвижного калия также увеличилась на 7,7-21% при дозах более

100 кг/га в фазу кущения и более 200 т/га – в фазы восковой и полной спелости. Содержание фосфора под действием навоза изменялось слабо: на 11-12% при дозах более 150 кг/га.

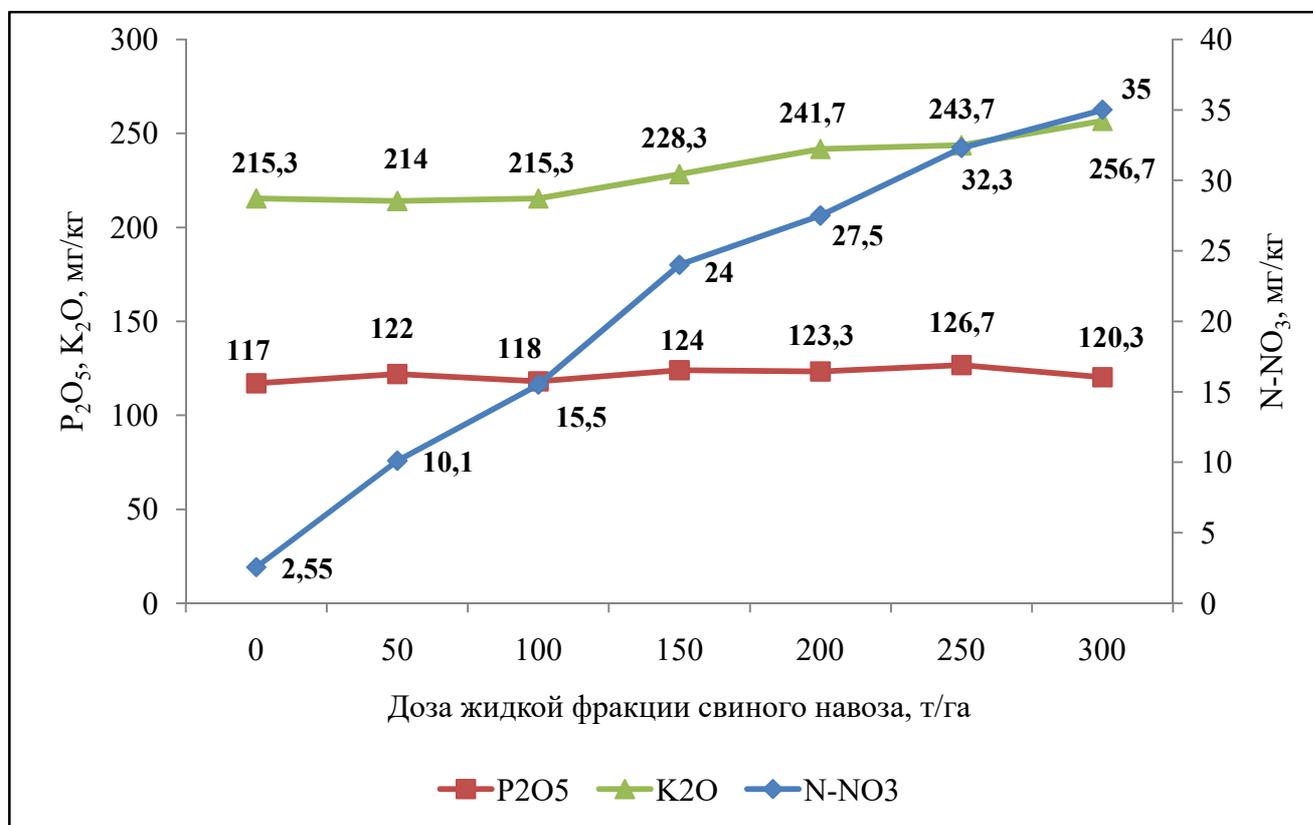


Рисунок 22 – Действие жидкой фракции свиного навоза на содержание подвижных элементов питания в слое 0-20 см агрочернозема за вегетационный период (2016 г.)

Свиной навоз является источником поступления в почву не только макроэлементов, но и целого ряда микроэлементов, что оказывает положительное влияние на питание растений. Исследования химического состава свиного навоза указывают на значительное содержание в нем микроэлементов и его варьирование в зависимости от фракции, влажности, вида корма и других факторов. Так, Лукин С.В., Селюкова С.В. (2016) показали, что для свиных навозных стоков характерно высокое содержание цинка (2491 мг/кг), меди (369 мг/кг) и кобальта (6,53 мг/кг) в расчете на сухое вещество. Согласно исследованиям Серой Т.М. и др. (2022), свиной бесподстилочный навоз при

влажности 90% содержит марганца 37 г/т, цинка – 131 г/т, меди – 53 г/т, что превышает количество этих элементов в навозе КРС в 1,89, 10,2 и 19,6 раз, соответственно.

Нами было определено содержание подвижных форм микроэлементов в пахотном слое агрочернозема легкосуглинистого в зависимости от применения твердой фракции свиного навоза (таблица 42).

Исследуемая почва контрольного варианта в годы проведения исследований характеризовалась высоким содержанием подвижного марганца, низким и средним – всех остальных микроэлементов. Данные исследований, проведенных в Омской области, указывают на то, что в лугово-черноземных почвах при высоких общих запасах микроэлементов обнаруживается дефицит подвижного цинка, в ряде случаев – меди, кобальта, молибдена и марганца (Азаренко, 2013).

В год действия и первый год последействия навоза определяли содержание элементов в почве при внесении его минимальной и максимальной доз. За период действия твердой фракции было установлено увеличение содержания в почве марганца на 7,5-17%, меди на 44,4%, цинка на 18-383% и молибдена на 286%. Наибольшее увеличение концентраций элементов наблюдалось с дозой навоза 60 т/га. В результате трансформации органического удобрения в почве и мобилизации элементов увеличилась обеспеченность растений медью с низкой до средней, цинка и молибдена – с низкого до высокой.

Полученные данные согласуются с исследованиями Лукина С.В., Селюковой С.В. (2016), в которых указывается на высокое содержание в свином навозе цинка и меди, а также Шишова А.Д., Николаевой Т.А., Гришанова С.Л. (2010), которыми показано существенное увеличение концентрации этих элементов в дерново-подзолистой почве. Увеличение содержания цинка в почве в результате использования свиных стоков показано в работе Matos et al. (2018).

В первый год последействия навоза сохранялось его положительное влияние на содержание в почве цинка. Также отмечалась тенденция к увеличению концентраций марганца и меди в вариантах с органическим удобрением.

Содержание остальных элементов в пахотном слое агрочернозема не превышало его величину на контроле.

Таблица 42 – Содержание подвижных форм микроэлементов (мг/кг) в слое 0-20 см агрочернозема квазиглееватого легкосуглинистого при использовании твердой фракции свиного навоза

Доза навоза, т/га	2016 г., действие	2017 г., 1-й год последействия	2018 г., 2-й год последействия	2019 г., 3-й год последействия
Марганец				
0	81,1	78,4	68,3	70,7
20	87,2	83,5	75,1	72,2
30	-	-	67,5	71,5
40	-	-	73,6	69,1
50	-	-	78,2	70,1
60	95,2	82,5	74,0	71,7
Медь				
0	0,09	0,10	0,15	0,11
20	0,09	0,20	0,14	0,10
30	-	-	0,17	0,09
40	-	-	0,15	0,11
50	-	-	0,11	0,19
60	0,13	0,21	0,10	0,12
Цинк				
0	1,01	0,88	0,98	1,51
20	1,19	1,27	1,10	0,96
30	-	-	1,45	0,88
40	-	-	1,56	1,38
50	-	-	1,46	1,61
60	3,87	2,87	1,04	1,14
Кобальт				
0	0,08	0,08	0,10	0,11
20	0,09	0,09	0,11	0,11
30	-	-	0,11	0,12
40	-	-	0,10	0,12
50	-	-	0,10	0,11
60	0,09	0,10	0,10	0,10
Молибден				
0	0,15	0,26	0,24	0,21
20	0,17	0,25	0,26	0,23
30	-	-	0,28	0,26
40	-	-	0,18	0,29
50	-	-	0,16	0,26
60	0,43	0,21	0,21	0,24

На второй и третий годы после внесения твердой фракции навоза его влияние на содержание микроэлементов в почве не проявлялось. Это могло быть связано как с выносом элементов растениями, так и переходом части их соединений в более труднорастворимые формы. Поскольку содержание подвижного цинка, а также нередко и меди, в лугово-черноземных почвах и черноземах низкое, твердая фракция свиного навоза является источником этих элементов и улучшает их баланс в пахотных почвах.

В составе свиного навоза кроме биофильных макро- и микроэлементов обнаруживается широкий спектр потенциально токсичных элементов: Cr, Ni, Cd, Pb, Hg, As и других, что может создать предпосылки для их повышенного поступления в почву и растения. Согласно ГОСТР 53117-2008, сухое вещество органического удобрения не должно содержать кадмия более 2 мг/кг, свинца – 130 мг/кг, ртути – 2,1 мг/кг, мышьяка – 10 мг/кг. Данные элементы относятся к 1-2 классам опасности. Определение их содержания в твердой фракции навоза показало, что оно не превышает допустимых значений и составляет: свинца – 3,36-5,26 мг/кг, кадмия – 0,33-0,38 мг/кг, мышьяка – 0,9-3,1 мг/кг, ртути – 0,01-0,02 мг/кг на сухое вещество. Нами был проведен расчет поступления их в почву и увеличения концентрации элементов в зависимости от дозы разных фракций навоза (таблица 43).

Проведенные расчеты показывают, что при разовом внесении навоза в дозах от 20 до 60 т/га в слой 0-20 см агрочернозема произошло незначительное увеличение общей концентрации свинца на 0,008-0,036 мг/кг, кадмия на 0,008-0,0009 мг/кг, ртути на $0,2-5,2 \cdot 10^{-4}$ мг/кг, мышьяка на 0,002-0,007 мг/кг. Поступившие с навозом химические элементы подвергаются в почве процессам трансформации, взаимодействия с минеральными и органическими компонентами, сорбции и другим процессам. Поэтому в подвижные формы за счет мобилизации перейдет только часть соединений элементов, поступивших с органическим удобрением.

Содержание свинца, кадмия, ртути и мышьяка в жидкой фракции было существенно меньше, чем в твердой, в связи с ее высокой влажностью (99,5%).

Использование жидкой фракции сопровождалось незначительным поступлением в почву свинца (1,45-8,70 г/га), кадмия (0,18-1,05 г/га), ртути (0,0017-0,001 г/га), мышьяка (0,25-1,50 г/га), увеличивая концентрацию элементов на десятитысячные доли мг/кг и менее.

Таблица 43 – Поступление потенциально токсичных элементов с твердой и жидкой фракциями навоза в слой 0-20 см агрочерноземов квазиглееватых легко- и среднесуглинистом

Доза навоза, т/га	Pb		Cd		Hg		As	
	г/га	мг/кг	г/га	мг/кг	г/га	мг/кг	г/га	мг/кг
Твердая фракция (опытное поле Омского ГАУ, 2016-2017 гг.)								
20	18-28	0,008-0,012	1,7-2,0	8-9*	0,05-0,11	0,23-1,7*	4,8-16	2-7**
30	27-42	0,012-0,018	2,6-3,0	12-14*	0,08-0,17	0,35-2,6*	7,1-25	3-11**
40	35-56	0,016-0,024	3,5-4,0	16-18*	0,11-0,22	0,46-3,4*	9,5-33	4-14**
50	44-70	0,020-0,030	4,4-5,0	20-23*	0,13-0,28	0,58-4,3*	12-36	5-18**
60	53-83	0,024-0,036	5,2-6,0	24-28*	0,16-0,33	0,70-5,2*	14-49	6-22**
Жидкая фракция (ООО РУСКОМ-АГРО, 2015 г.)								
50	1,45	0,0006	0,18	0,70	0,0017	$0,7 \cdot 10^{-6}$	0,25	0,1**
100	2,90	0,001	0,35	1,40	0,0035	$1,4 \cdot 10^{-6}$	0,50	0,2**
150	4,35	0,002	0,53	2,10	0,0053	$2,1 \cdot 10^{-6}$	0,75	0,3**
200	5,80	0,002	0,70	2,90	0,0070	$2,8 \cdot 10^{-6}$	1,00	0,4**
250	7,25	0,003	0,88	3,50	0,0088	$3,5 \cdot 10^{-6}$	1,25	0,5**
300	8,70	0,004	1,05	4,20	0,0105	$4,2 \cdot 10^{-6}$	1,50	0,6**

* - 10^{-4} мг/кг; ** - 10^{-3} мг/кг

Увеличение содержания рассматриваемых элементов в почве за счет разных фракций навоза в наших опытах не представляло экологической опасности и не привело к ее загрязнению. К таким же выводам пришли Лукин С.В., Селюкова (2016) при анализе изменения содержания тяжелых металлов в черноземах Белгородской области. По их данным, время достижения концентраций металлов значений их ПДК (ОДК) составляет тысячи лет при условии систематического применения удобрений.

Улучшение питательного режима почв на фоне повышения содержания органического вещества, подвижных гумусовых веществ, суммы обменных оснований под действием свиного навоза способствовало повышению

урожайности пшеницы (рисунок 23). В год действия удобрения в 2016 г. (опыт 1) урожайность зерна культуры существенно увеличилась при дозах 30 т/га и более: на 0,14-0,61 т/га (6,7-29% к контролю), достигая максимума в варианте с дозой 50 т/га. В 2017 г. (опыт 2) существенный прирост урожайности культуры (на 0,20-0,66 т/га или 10,4-34%) отмечался при всех дозах навоза с одинаковым их уровнем в вариантах с 50 и 60 т/га.

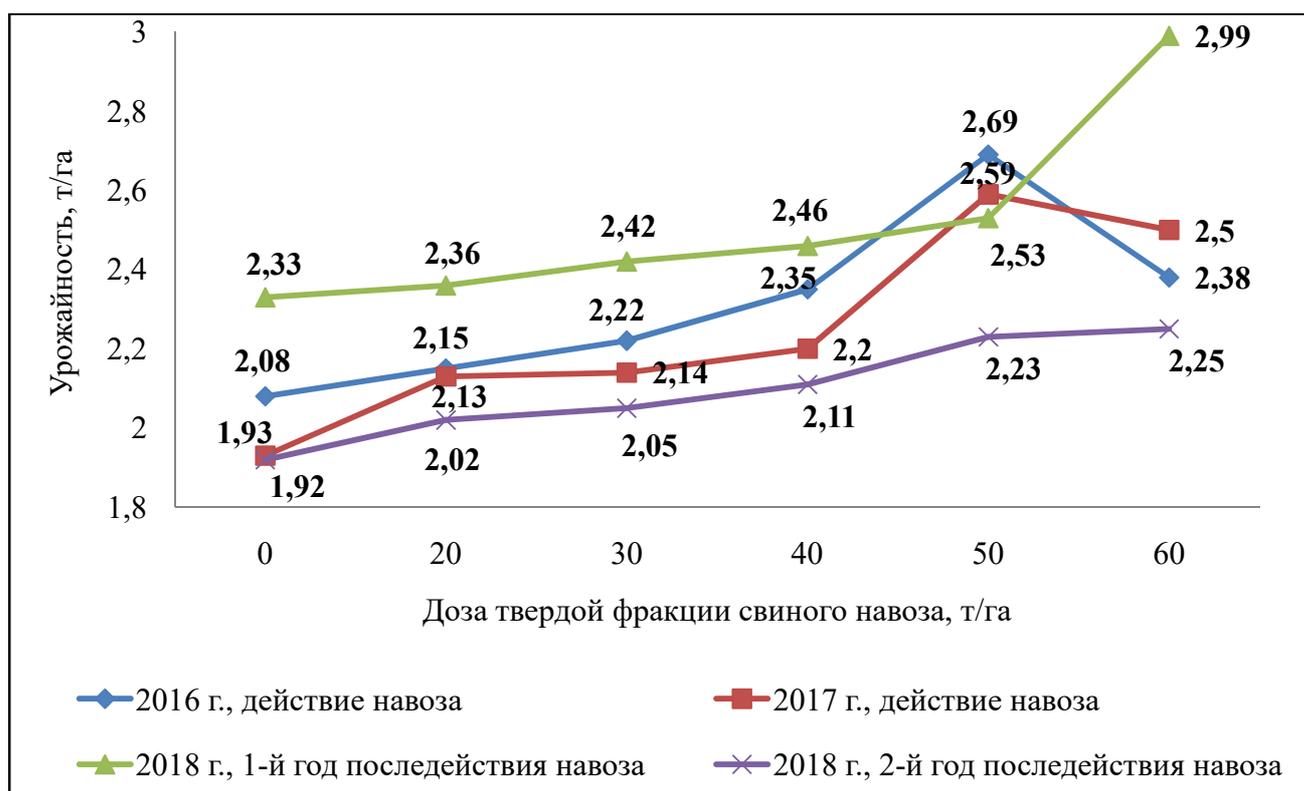


Рисунок 23 – Влияние твердой фракции свиного навоза на урожайность пшеницы сорта Дуэт (опытное поле Омского ГАУ, 2016-2018 гг.). HCP_{05} в 2016 г. – 0,10, в 2017 – 0,15 т/га

В 2018 г. продолжалось положительное влияние внесенного ранее навоза в первый и второй годы его последействия. Так, на следующий год после внесения твердой фракции урожайность пшеницы возросла в вариантах с ее дозами 40-60 т/га на 0,13-0,66 т/га (5,8-28%). Во второй год последействия удобрения прибавки урожайности зерна были несколько меньше и составили от 0,19 т/га (9,9%) при дозе 40 т/га до 0,31-0,33 т/га (16-17%) при дозах 50 и 60 т/га.

Анализ величин урожайности и окупаемости затрат на применение твердой фракции свиного навоза, проведенный для рассматриваемых опытов Бобренко И.А. и др. (2022), указывает на то, что наиболее эффективной при возделывании зерновых культур является доза 50 т/га.

Применение жидкой фракции в дозах 50-300 т/га в год ее действия также обеспечило увеличение урожайности пшеницы относительно контроля (рисунок 24).

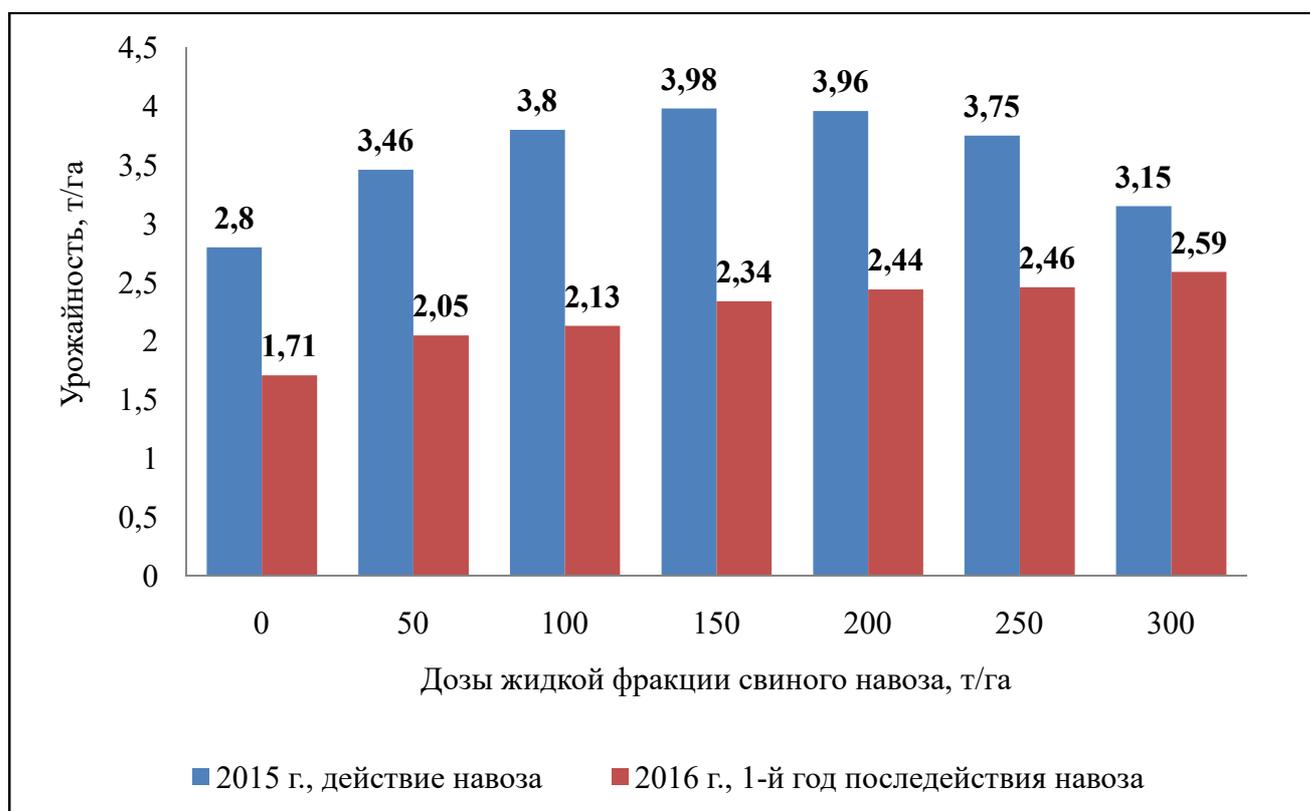


Рисунок 24 – Влияние жидкой фракции свиного навоза на урожайность пшеницы сорта Память Азиева (ООО «РУСКОМ-Агро, 2015-2016 гг.). HCP_{05} в 2015 г. – 0,15, в 2016 – 0,11 т/га

Оно составило от 23,6% при дозе удобрения 50 т/га до 41,4-42,1% при дозах 150-200 кг/га. Дальнейшее увеличение дозы навоза привело к снижению урожайности культуры. В год последействия жидкой фракции отмечалось ее положительное влияние на урожайность зерна пшеницы (на 19,9-51,5%) при всех дозах навоза. Согласно исследованиям Бобренко И.А. и др. (2020) наибольшей

агрономической и экономической эффективностью при возделывании зерновых культур обладала доза жидкой фракции 200 т/га.

Таким образом, было установлено, что как твердая, так и жидкая фракции свиного навоза оказывают существенное влияние на агрохимические параметры почвенного плодородия, увеличивая содержание подвижных форм элементов питания в агрочерноземах. Твердая фракция свиного навоза в дозах 20-60 т/га обеспечивала увеличение содержания нитратного азота, подвижного фосфора и калия в период ее действия и последействия. В первые два года применения удобрения в почве существенно увеличивались концентрации подвижных цинка, меди, молибдена и марганца. Жидкая фракция свиного навоза наиболее значительное воздействие оказывала на содержание азота и калия в почве. Анализ поступления в почву нормируемых в органических удобрениях свинца, кадмия, ртути и мышьяка, указывает на то, что применяемые дозы твердой и жидкой фракций навоза являются экологически безопасными.

Улучшение режима питания агрочерноземов на фоне положительных изменений количества и качества органического вещества, количества обменно-поглощенных катионов, усиления биологической активности обеспечило повышение их эффективного плодородия и урожайности пшеницы.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Результаты проведенных исследований позволяют сделать заключение о целесообразности использования свиного навоза в качестве органического удобрения с целью сдерживания процессов деградации и повышения эффективного плодородия агрочерноземов.

1. Применение твердой фракции свиного навоза в дозах 30-60 т/га существенно увеличивало содержание и запасы углерода органического вещества ($C_{орг}$) агрочернозема малогумусированного на 11-33,6% в период ее действия и последействия. В агрочерноземах сильногумусированных в период последействия доз 20-100 т/га твердой фракции удобрения наблюдалось увеличение содержания $C_{орг}$ до 14%; при последействии доз 100-300 т/га жидкой фракции – на 7-16% по отношению к контролю. Между дозой твердого навоза и содержанием $C_{орг}$ установлена сильная зависимость ($r = 0,70-0,98$), с жидкой фракцией – средняя ($r = 0,51$). Каждая тонна твердой фракции навоза обеспечивала увеличение содержания $C_{орг}$ на 0,004-0,007% в год ее действия и на 0,003-0,006% – в годы последействия.

2. Свиной навоз оказывал влияние на качественный состав гумуса агрочерноземов. Его изменения зависели от свойств почвы и формы удобрения. Твердая фракция свиного навоза в зависимости от ее дозы способствовала увеличению доли гуминовых кислот, степени гумификации и расширению отношения $C_{гк}:C_{фк}$ с 1,49-1,79 до 1,68-2,36 в агрочерноземе малогумусированном легкосуглинистом и от 1,94 до 2,28 в агрочерноземе сильногумусированном тяжелосуглинистом. При последействии жидкой фракции навоза отмечена тенденция к увеличению доли фульвокислот, снижения гуминовых кислот и уменьшения $C_{гк}:C_{фк}$ от 1,97 до 1,76.

3. Внесение в почву свиного навоза приводило к увеличению содержания углерода подвижных гумусовых веществ, извлекаемых водой (C_{H_2O}), растворами щелочи ($C_{0,1н NaOH}$) и пирофосфата натрия ($C_{0,1н Na_4P_2O_7}$). Наиболее сильное влияние на них оказывала твердая фракция в дозах 30-40 т/га и более. Внесение одной

тонны удобрения увеличивало содержание C_{H_2O} в период действия и последствия на 2,3-4,3 мгС/кг ($r = 0,69-0,91$), $C_{0,1H NaOH}$ – на 9,2-17 мгС/кг ($r = 0,0,88-0,96$), $C_{0,1H Na_4P_2O_7}$ – на 5,6-20 мгС/кг ($r = 0,93-0,99$). Одна тонна жидкой фракции свиного навоза в период последствия вызывала увеличение C_{H_2O} на 1,2 мгС/кг, $C_{0,1H NaOH}$ на 3,4 мгС/кг, $C_{0,1H Na_4P_2O_7}$ – на 4,0 мгС/кг при сильной зависимости показателей: $r = 0,76; 0,88$ и $0,89$, соответственно.

4. Использование органического удобрения способствовало увеличению энергопотенциала почв за счет возрастания содержания органического вещества. В слое 0-20 см агрочернозема малогумусированного запасы энергии составляли 966-1136 гДж/га. Твердая фракция навоза в дозах от 20 до 60 т/га обеспечивал их прирост до 1011-1365 гДж /га. Агрочерноземы сильногумусированные обладали большим количеством энергии (2693-2764 гДж/га), которая при внесении навоза увеличивалась до 2859-3382 гДж/га. Прирост энергии за счет увеличения подвижных гумусовых кислот составил 13,5-16% ее общих запасов.

5. В период действия и трех лет последствия твердого свиного навоза в дозах 20 и 60 т/га не обнаруживалось проявление фитотоксичности агрочернозема. Исследования целлюлозолитической активности почв в полевых и лабораторных опытах позволили выявить существенное влияние навоза на степень и скорость разложения целлюлозы, которые возрастали пропорционально дозе навоза на 23,8-91,1% при дозе 20 т/га и на 70-230% при дозе 60 т/га. Установлена прямолинейная зависимость величины целлюлозолитической активности от количества в почве подвижных $N-NO_3$, P_2O_5 , K_2O ($r = 0,74; 0,61$ и $0,79$, соответственно).

6. Применение навоза усиливало ферментативную активность агрочерноземов. Твердая фракция навоза в дозах 20-60 т/га в период ее действия и последствия способствовала возрастанию активности каталазы и уреазы в агрочерноземе малогумусированном на 8,8-14,6 и 9,5-68,4%, соответственно. В агрочерноземе сильногумусированном твердая фракция в период последствия активизировала деятельность каталазы на 30,4-40,2%, уреазы – на 7,3-29,3%, инвертазы на 39-57,6%. Использование жидкой фракции навоза приводило к

возрастанию каталазной активности на 15,1-16,8% и уреазной – до 91,4% во время последействия при отсутствии прямой зависимости между дозой удобрения и активности ферментов.

7. Влияние свиного навоза на физико-химические свойства зависели от его фракции и свойств агрочерноземов. Твердая фракция навоза способствовала увеличению суммы обменных оснований агрочерноземов за счет повышения количества обменных кальция и магния в агрочерноземе малогумусированном легкосуглинистом и повышения кальция в агрочерноземе сильногумусированном тяжелосуглинистом. Меньшее воздействие на состав обменно-поглощенных катионов оказывала жидкая фракция навоза. Внесение в почву навоза, обладающего щелочной реакцией ($pH_{\text{сол}} = 7,4-8,3$), не вызывало существенных изменений реакции среды пахотного слоя агрочерноземов.

8. Увеличение содержания подвижных гумусовых веществ и обменно-поглощенных оснований, изменение качественного состава органического вещества под действием твердой фракции свиного навоза способствовало усилению водопрочности структурных макроагрегатов на 18,7-67% в год действия и первый год последействия; во второй год последействия – до 2,5 раз при дозе 60 т/га при отсутствии влияния навоза на структурно-агрегатный состав и количество агрономически ценных агрегатов пахотного слоя агрочерноземов.

9. Как твердая, так и жидкая фракции свиного навоза оказывали существенное влияние на агрохимические параметры почвенного плодородия, увеличивая содержание подвижных форм элементов питания в агрочерноземах. Твердая фракция свиного навоза в дозах 20-60 т/га обеспечивала увеличение содержания нитратного азота, подвижного фосфора и калия в период ее действия и последействия до высокого и очень высокого уровней. В первые два года применения удобрения существенно увеличивались концентрации подвижных форм микроэлементов в почве: цинка и молибдена от низких до высоких, меди – от низкой до средней. Жидкая фракция свиного навоза в дозах 50-300 т/га наиболее значительное воздействие оказывала на содержание азота и калия в почве.

ПРЕДЛОЖЕНИЯ ПРОИЗВОДСТВУ

1. Для сохранения и повышения эффективного плодородия и оптимизации свойств агрочерноземов (содержания органического вещества, подвижных гумусовых веществ, обменно-поглощенных катионов, макро- и микроэлементов питания, водопрочности структуры почвы, ферментативной и целлюлозолитической активности) при обеспечении экологической устойчивости почв рекомендуется применение соответствующих требованиям качества твердой фракции свиного навоза в дозах 30-60 т/га и жидкой фракции в дозах 100-200 т/га. По влиянию на показатели гумусного состояния почвы преимущество имеет твердая фракция навоза.

2. Для ориентировочного прогноза влияния навоза на органическое вещество агрочернозема можно использовать количественные взаимосвязи:

– 1 тонна твердой фракции в период действия и 2-3 лет последействия обеспечивает увеличение в слое 0-20 см почв углерода органического вещества ($C_{орг}$) на 30-70 мгС/кг, углерода подвижных гумусовых веществ: C_{H_2O} на 2,3-4,3 мгС/кг, $C_{0,1H NaOH}$ – на 9,2-17 мгС/кг;

– 1 тонна жидкой фракции в год последействия способствует увеличению $C_{орг}$ на 9 мгС/кг, C_{H_2O} на 1,24 мгС/кг, $C_{0,1H NaOH}$ – на 3,42 мгС/кг.

3. На полях с регулярным применением твердой и жидкой фракций свиного навоза для контроля показателей плодородия и экологического состояния почв рекомендуется проведение мониторинга содержания углерода органического вещества, элементов минерального питания, качественного состава гумуса, обменно-поглощенных катионов, рН.

ПЕРСПЕКТИВЫ ДАЛЬНЕЙШЕЙ РАЗРАБОТКИ ТЕМЫ

Актуальными направлениями разработки темы являются мониторинг показателей плодородия и экологического состояния агрочерноземов и агропочв других типов: режима органического вещества; макро- и микроэлементов, в том числе потенциально токсичных; физико-химических и физических свойств, а также выявление направленности процессов почвообразования при систематическом применении свиного навоза.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Абрамов, Н.В. Биопотенциал агроэкосистем в условиях Северного Зауралья / Н.В. Абрамов // Аграрный вестник Урала. – 2009. – № 10 (64). – С. 8-10.
2. Абрамов, Н.В. Производительность агроэкосистем: методические рекомендации по биоэнергетической оценке севооборотов / Н.В. Абрамов, Г.П. Селюкова. – Тюмень, 2000. – 48 с.
3. Агроклиматические ресурсы Омской области. – Л. : Гидрометеиздат, 1971. – 250 с.
4. Азаренко, Ю.А. Закономерности содержания, распределения взаимосвязей микроэлементов в системе почва-растение в условиях юга западной Сибири : монография / Ю.А. Азаренко. – Омск : Вариант-Омск, 2013. – 232 с.
5. Аксенова, Ю.В. Плодородие пахотных лугово-черноземных почв / Ю.В. Аксенова // Аграрная наука. – 2012. – № 7. – С. 15-16.
6. Аксенова, Ю.В. Влияние минеральных и органических удобрений на энергопотенциал гумуса лугово-черноземной почвы / Ю.В. Аксенова // Актуальные вопросы применения удобрений в сельском хозяйстве : мат. Междунар. науч.-практ. конф., посвящ. 80-летию со дня рождения д-ра с.-х. наук, проф. Созырко Хасанбековича Дзанагова (Владикавказ, 07 февраля 2017 г.). – Владикавказ, 2017. – С. 14-16.
7. Аксенова, Ю.В. Оценка энергетического потенциала гумуса длительно орошаемой лугово-черноземной почвы / Ю.В. Аксенова // Достижения науки и техники в АПК. – 2017а. – Т. 31. – № 4. – 32-35.
8. Аксенова, Ю.В. Агроэкологическое состояние лугово-черноземной почвы в условиях длительного орошения / Ю.В. Аксенова // Достижения науки и техники АПК. – 2019. – Т. 33. – № 12. – С. 15-19.
9. Алексеева, Ж.Л. Влияние свиного навоза на гумусное состояние агрочернозема квазиглееватого южной лесостепи Омского Прииртышья / Ж.Л. Алексеева, Ю.А. Азаренко // Вестник Омского ГАУ. – 2020. – № 2 (38). – С. 23-32.

10. Андреев, В.А. Использование навоза свиней на удобрение / В.А. Андреев, М.Н. Новиков, С.М. Лукин. – М. : Росагропромиздат, 1990. – 94 с.
11. Антоненко, Д.А. Воздействие свиного навоза и компоста на его основе на свойства чернозема выщелоченного и продуктивность озимой пшеницы / Д.А. Антоненко // Экологический вестник Северного Кавказа. – 2017. – Т. 13. – № 1. – С. 40-46.
12. Бабенко, М.В. Влияние отдельных фракций свиного навоза на продуктивность зернотравяного звена севооборота и плодородие дерново-подзолистой супесчаной почвы : дис. ... канд. с.-х. наук : 06.01.04 / Михаил Владимирович Бабенко. – Москва, 2016. – 181 с.
13. Бабенко, М.В. Влияние различных фракций и доз свиного навоза на изменение содержания гумуса и его фракционно-групповой состав в дерново-подзолистой почве / М.В. Бабенко, А.С. Васильева, И.А. Дроздов // Агрохимический вестник. – 2020. – № 1. – С. 25-31.
14. Бабьева, И.П. Биология почв / И.П. Бабьева, Г.М. Зенова. М. : МГУ, 1983. – 248 с.
15. Бакина, Л.Г. Особенности извлечения гумусовых кислот из почв растворами пирофосфата натрия различной щелочности / Л.Г. Бакина, Н.Е. Орлова // Почвоведение. – 2012. – № 4. – С. 445-452.
16. Бакина, Л.Г. Закономерности процесса извлечения гумусовых кислот из почв растворами пирофосфата натрия / Л.Г. Бакина, В.Ф. Дричко, Н.Е. Орлова // Почвоведение. – 2017. – № 2. – С. 219-226.
17. Балабанова, Н.Ф. Влияние длительного применения удобрений в зернотравяном севообороте на содержание лабильного органического вещества в лугово-черноземной почве / Н.Ф. Балабанова, Н.А. Воронкова // Агрохимия. – 2015. – № 1. – С. 16-22.
18. Барановский, И.Н. Роль органических удобрений в плодородии дерново-подзолистых почв и урожайности сельскохозяйственных культур : автореф. дис. ... д-ра с.-х. наук : 06.01.03, 06.01.04 / Иван Никитич Барановский. – Санкт-Петербург-Пушкин, 1995. – 35 с.

19. Барановский, И.Н. Плодородие почв и роль органических удобрений в его воспроизводстве / И.Н. Барановский. – Тверь, 1994. – 128 с.
20. Барановский, И.Н. Влияние бесподстилочного навоза и помета на гумусовый режим дерново-подзолистой почвы и ее продуктивность / И.Н. Барановский, А.В. Павлоцкий // Плодородие. – 2010. – № 6. – С. 24-26.
21. Барановский, И.Н. Влияние фракций свиного навоза на питательный режим дерново-подзолистой почвы и продуктивность зернотравяного звена севооборота / И.Н. Барановский, М.В. Бабенко // Вестник Тверского государственного университета. Серия: Химия. – 2014. – № 2. – С. 40-48.
22. Берестецкий, О.А. Фитотоксины почвенных микроорганизмов и их экологическая роль / О.А. Берестецкий // Фитотоксичные свойства почвенных микроорганизмов. – Л., 1978. – С. 7–31.
23. Бесподстилочный навоз и его использование для удобрения / [Г. Кориат, М. Бельке, П. Ведекинд и др.]; Предисл. и пер. с нем. к. с.-х. наук. П. Я. Семенова. – Москва: Колос, 1978. – 271 с.
24. Бирюкова, О.Н. Содержание и состав гумуса в основных типах почв России / О.Н. Бирюкова, Д.С. Орлов // Почвоведение. – 2004. – № 2. – С. 171-188.
25. Блынская, Т.А. Агроресурсный потенциал как характеристика плодородия аллювиальных почв Архангельской области / Т.А. Блынская, Т.Б. Лагутина // Проблемы рекультивации отходов быта, промышленного и сельскохозяйственного производства : мат. V Междунар. науч. экологической конф., посвящ. 95-летию Кубанского ГАУ (Краснодар, 28 – 30 марта 2017 г.). – Краснодар, 2017. – С. 286-288.
26. Бобренко, И.А. Применение органических удобрений на основе твердой фракции свиного бесподстилочного навоза при возделывании яровой пшеницы / И.А. Бобренко, Н.В. Гоман, Н.К. Трубина, В.П. Кормин, И.О. Шалак // Вестник Омского государственного аграрного университета. – 2021. – № 1 (41). – С. 5-12.
27. Бобренко, И.А. Эффективность применения свиного бесподстилочного навоза под зерновые культуры / И.А. Бобренко, И.О. Шалак, Н.В. Гоман, Н.К.

Трубина, В.П. Кормин // Вестник Омского государственного аграрного университета. – 2022. – № 1 (45). – С. 13-19.

28. Богатырева, Е.Н. Изменение фракционно-группового состава гумуса дерново-подзолистых легкосуглинистой и супесчаной почв под влиянием различных систем удобрения / Е.Н. Богатырева, Т.М. Серая, О.М. Бирюкова, Е.Г. Мезенцева, Р.Н. Бирюков // Почвоведение и агрохимия. – 2011. – № 2 (47). – С. 62-70.

29. Богатырева, Е.Н. Влияние различных видов и доз органических удобрений на качественный и количественный состав гумуса дерново-подзолистой супесчаной почвы / Е.Н. Богатырева, О.М. Бирюкова, Т.М. Серая, Е.Г. Мезенцева // Мелиорация. – 2013. – № 1 (69). – С.105-112.

30. Богатырева, Е.Н. Влияние регулярного внесения жидкого навоза КРС и свиных навозных стоков на показатели гумусного состояния дерново-подзолистых почв / Е.Н. Богатырева, Т.М. Серая, О.М. Бирюкова, И.И. Касьяненко // Почвоведение и агрохимия. – 2019. – № 2 (63). – С. 79-89.

31. Богатырева, Е.Н. Влияние регулярных нагрузок жидкого навоза КРС и свиных навозных стоков на миграцию подвижных гумусовых веществ по профилю дерново-подзолистых почв / Е.Н. Богатырева, Т.М. Серая, И.И. Касьяненко, Т.М. Кирдун // Почвоведение и агрохимия. – 2020. – № 2 (65). – С. 96-110.

32. Богатырева, Е.Н. Агроэкологическое состояние дерново-подзолистых почв и сельскохозяйственных культур в зоне влияния животноводческих комплексов и птицефабрик / Е.Н. Богатырева, Т.М. Серая, И.И. Касьяненко, Ю.А. Белявская, Т.М. Кирдун // Почвоведение и агрохимия. – 2021. – № 1 (66). – С. 73-92.

33. Борисов, Б.А. Легкоразлагаемое органическое вещество почв зонального ряда Европейской части России / Б.А. Борисов, Ганжара Н.Ф. : мат. Междунар. науч. конф., посвящ. 150-летию со дня рождения академика В.Р. Вильямса и 100-летию со дня рождения И.С. Кауричева (Москва, 03-05 декабря 2013 г.). – Москва, 2014. – С. 3–10.

34. Борисова, Т.С. Биологическая активность дефлированных каштановых почв при длительном компостировании / Т.С. Борисова, Г.Д. Чимитдоржиева // *Агрохимия*. – 2014. – № 3. – С. 14-20.
35. Вадюнина, А.Ф. Методы исследования физических свойств почв / А.Ф. Вадюнина, З.А. Корчагина. – М.: Агропромиздат, 1986. – 416 с.
36. Васбиева, М.Т. Влияние длительного применения органических и минеральных удобрений на гумусное состояние дерново-подзолистой почвы / М.Т. Васбиева, Н.Е. Завьялова, Д.С. Фомин, В.Р. Ямалтдинова // *Проблемы агрохимии и экологии*. – 2019. – №2. – С. 9-13.
37. Воронин, А.А. Динамика ферментативной активности чернозема обыкновенного в условиях полевого стационарного опыта Федерального полигона «Каменная степь» / А.А. Воронин, Н.А. Протасова, Н.С. Беспалова // *Вестник ВГУ. Серия: Химия. Биология. Фармация*. – 2006. – № 2. – С.122-127.
38. Воронкова, Н.А. Биологические ресурсы и их значение в сохранении почвенного плодородия и повышении продуктивности агроценозов Западной Сибири: монография / Н.А. Воронкова. – Омск : ОмГТУ, 2014. – 188 с.
39. Гавар, С.П. Действие жидкого бесподстилочного навоза на урожай сельскохозяйственных культур на выщелоченных черноземах Омской области : автореф. дис. канд. с.-х. наук : 06.01.04 / Станислав Петрович Гавар. – Омск, 1976. – 25 с.
40. Галстян, А.Ш. Унификация методов определения активности ферментов почв / А.Ш. Галстян // *Почвоведение*. – 1978. – № 2. – С. 107-113.
41. Гамзиков, Г.П. Азотный фонд почв Западной Сибири и эффективность азотных удобрений / Геннадий Павлович Гамзиков : автореф. дис. ... д-ра биол. наук : 06.01.04. – Новосибирск, 1978. – 40 с.
42. Гамзиков, Г.П. Состояние и перспективы исследований в длительных стационарных опытах с удобрениями в Сибири / Г.П. Гамзиков // *Плодородие*. – 2016. – № 5 (92). – С. 6-9.

43. Ганжара, Н.Ф. Методы определения содержания и состав мобильных форм органических веществ в почвах / Н.Ф. Ганжара, Б.А. Борисов, А.В. Шевченко, В.А. Дервягин // Известия ТСХА. – № 1. – 1987. – С. 173-177.
44. Ганжара, Н.Ф. Гумусообразование и агрономическая оценка органического вещества почв / Н.Ф. Ганжара, Б.А. Борисов. – М., 1990. – 82 с.
45. Ганжара, Н.Ф. Изменение гумусного состояния почв в процессе трансформации естественных фитоценозов в агроценозы / Н.Ф. Ганжара, В.И. Кирюшин // Концепция оптимизации режима органического вещества почв в агроландшафтах. – М. : МСХА, 1993. – С. 39-51.
46. Ганжара, Н.Ф. Легкоразлагаемое органическое вещество как источник гумуса и минерального азота в дерново-подзолистых почвах / Н.Ф. Ганжара, С.Ю. Миренков, Л.П. Родионова // Известия ТСХА. – 2001. – Вып. 4. – С. 69-80.
47. Ганжара, Н.Ф. Почвоведение. Практикум / Н.Ф. Ганжара, Б.А. Борисов, Р.Ф. Бейбеков. – М. : ИНФРА-М, 2021. – 256 с.
48. Гедройц, К.К. Избранные научные труды / К.К. Гедройц. – М. : Наука, 1975. – 638 с.
49. Гоман, Н.В. Эффективность применения жидкой фракции бесподстилочного свиного навоза под яровую пшеницу на лугово-черноземной почве / Н.В. Гоман, И.А. Бобренко, Н.К. Трубина, И.О. Шалак // Вестник КрасГАУ. – 2018. – № 5 (140). – С. 51-59.
50. ГОСТ 26204-91 «Почвы. Определение подвижных соединений фосфора и калия по методу Чирикова в модификации ЦИНАО». – М. : Комитет стандартизации и метрологии СССР, 1991. – 6 с.
51. ГОСТ 27593-88 «Почвы. Термины и определения». – М. : Стандартиформ, 1988. – 11 с.
52. ГОСТ 34103-2017 «Удобрения органические. Термины и определения». – М. : Стандартиформ, 2017. – 20 с.
53. ГОСТ Р 50683-94 «Почвы. Определение подвижных соединений меди и кобальта по методу Крупского и Александровой в модификации ЦИНАО». – М. : Госстандарт России, 1994. – 19 с.

54. ГОСТ Р 53117-2008 «Удобрения органические на основе отходов животноводства. Технические условия». – М. : Стандартинформ, 2009. – 15 с.
55. Гроздинский, А.М. Симбиоз с микроорганизмами – основа жизни растений / А.М. Гроздинский. – Минск : МСХА, 1990. – 134 с.
56. Губейдуллин, Х.Х. Химический состав свежего навоза / Х.Х. Губейдуллин, И.И. Шигапов, А.А. Кафиятуллова // Научный Вестник технологического института. – 2014. – № 13. – С. 152-159.
57. Дабахова, Е.В. Агроэкологические проблемы использования органических удобрений в сельском хозяйстве / Е.В. Дабахова, И.А. Питина // Агрохимический вестник. – 2017. – № 2. – С. 10-14.
58. Дедов, А.В. Органическое вещество почвы и его регулирование в Центральном Черноземье / А.В. Дедов. – Воронеж : ВГАУ, 1999 г. – 202 с.
59. Дедов, А.В. Трансформация послеуборочных остатков и содержание водорастворимого гумуса в черноземе выщелоченном / А.В. Дедов, Н.И. Придворев, В.В. Верзилин // Агрохимия. – 2004. – № 2. – С. 13-22.
60. Дедов, А.В. Воспроизводство органического вещества почвы ЦЧР / А.В. Дедов, М.А. Несмеянова, А.А. Дедов. – Воронеж : ФГБОУ Воронежский ГАУ, 2016. – 227 с.
61. Демина, О.Н. Разложение целлюлозы в пахотном черноземе выщелоченном лесостепной зоны Зауралья / О.Н. Демина // Вестник КрасГАУ. – 2021. – № 7. – С. 3-10.
62. Дергачёва, М.И. Система гумусовых веществ почв / М.И. Дергачёва. – Новосибирск : Наука. Сиб. отд-ние, 1989. – 110 с.
63. Добровольский Г.В. Экологические функции почвы / Г.В. Добровольский, Е.Д. Никитин. – М. : МГУ, 1986. – 136 с.
64. Добровольский, Г.В. Почва в биосфере и экосистемах (экологическое значение почв) / Г.В. Добровольский, Е.Д. Никитин. – М. : Наука, 1990. – 261 с.
65. Добровольский, Г.В. География почв / Г.В. Добровольский, И.С. Урусевская // География почв. – М. : МГУ, 2004. – 460 с.

66. Добровольский, Г.В. Экологическая роль почвы в биосфере и жизни человека / Г.В. Добровольский // Доклады по экологическому почвоведению. – 2007. – Т. 2. – № 6. – С. 1-16.
67. Добровольский, Г.В. Педосфера – оболочка жизни планеты Земля / Г.В. Добровольский // Биосфера. – 2009. – Т. 1. – № 1. – С. 6-14.
68. Дудкина, Т.А. Роль севооборота и удобрений в формировании биологических свойств почвы / Т.А. Дудкина, И.В. Дудкин // Земледелие. – 2006. – № 2. – С.12-13.
69. Дудкина, Т.А. Влияние севооборотов, минеральных и органических удобрений на токсичность почвы под ячменем / Т.А. Дудкина // Аграрная наука – сельскому хозяйству : мат. XIII Междунар. науч.-практ. конф. (Барнаул, 15 – 16 февраля 2018 г.). – г. Барнаул, 2018 г. – С. 288-290.
70. Дудкина, Т.А. Влияние севооборота и удобрений на целлюлозоразрушающую способность почвы под озимой пшеницей / Т.А. Дудкина // Агроэкологические проблемы почвоведения и земледелия : сб. докладов Междунар. науч.-практ. конф. Курского отделения МОО «Общество почвоведов имени В.В. Докучаева» (Курск, 24-25 апреля 2019 г.). – Курск, 2019. – С. 140-141.
71. Дьяконова, К.В. Оценка почв по содержанию и качеству гумуса для производственных моделей почвенного плодородия / К.В. Дьяконова, Н.А. Титова, Б.М. Когут, Н.Х. Исмаилова. – М. : Агропромиздат, 1990. – 27 с.
72. Емцев, В.Т. Сельскохозяйственная микробиология / В.Т. Емцев, Е.Н. Мишустин. – Москва : Юрайт, 2020. – 197 с.
73. Ермохин, Ю.И. Прикладная агрохимия / Ю.И. Ермохин. – Омск : ОмГАУ, 2020. – 140 с.
74. Еськов, А.И. Проблемы производства и использования органических удобрений / А.И. Еськов // Агрохимический вестник. – 1998. – № 4. – С. 84-85.
75. Еськов, А.И. Справочная книга по производству и применению органических удобрений / А.И. Еськов, М.Н. Новиков, С.М. Лукин. – Владимир : ВНИПТИОУ, 2001. – 496 с.

76. Еськов, А.И. Современное состояние и перспективы использования органических удобрений в сельском хозяйстве России / А.И. Еськов, С.М. Лукин, Г.Е. Мерзлая // Плодородие. – 2018. – № 1 (100). – С. 20-23.
77. Завьялова, Н.Е. Влияние длительного применения систем удобрения на дерново-мелкоподзолистой тяжелосуглинистой почве / Н.Е. Завьялова, В.Р. Ямалтдинова // Аграрный вестник Урала. – 2010. – № 4 (70). – С. 76-78.
78. Захаров, И.С. Развитие микрофлоры, образование и накопление гуминовой кислоты в почве при разложении растительных остатков и связь этих процессов с повышением урожая кукурузы / И.С. Захаров // Роль микроорганизмов в питании растений и повышении эффективности удобрений. – Л., 1965. – С. 37-42.
79. Звягинцев, Д.Г. Биологическая активность почв и шкала для оценки некоторых ее показателей / Д.Г. Звягинцев // Почвоведение. – 1978. – № 6. – С. 48–54.
80. Звягинцев Д.Г. Почва и микроорганизмы / Д.Г. Звягинцев. – М. : МГУ, 1987. – 255 с.
81. Звягинцев, Д.Г. Биология почв / Д.Г. Звягинцев, И.П. Бабьева, Г.М. Зенова. – М. : МГУ, 2005. – 445 с.
82. Зезюков, Н.И. Влияние удобрений на содержание органического вещества в черноземе выщелоченном // Н.И. Зезюков, А.В. Дедов // Агрохимия. – 1997. – № 12. – С. 17-22
83. Зинченко, М.К. Биологическая токсичность серой лесной почвы в зависимости от систем удобрений / М.К. Зинченко, О.В. Селицкая // Агрохимический вестник. – 2011. – № 5. – С. 38-40.
84. Зинченко, С.И. Действие различных систем удобрения на интенсивность биологических процессов в серой лесной почве / С.И. Зинченко, Л.Г. Стоянова // Владимирский земледелец. – 2014. – № 2-3 (68-69). – С. 19-21.
85. Зинченко, М.К. Влияние природных и антропогенных факторов на ферментативную активность серой лесной почвы / М.К. Зинченко, И.Ю. Винокуров // Система интенсификации земледелия как основа инновационной

модернизации аграрного производства : сб. статей. – Суздаль : ИПК «ПресСто», 2016. – С. 228-235.

86. Зинченко, М.К. Ферментативная активность аграрных почв Верхневолжья / М.К. Зинченко, С.И. Зинченко, А.А. Борин, О.П. Камнева // Современные проблемы науки и образования. – 2017. – № 3. – С. 143.

87. Зинченко, М.К. Ферментативные процессы в серых лесных почвах Верхневолжья : монография / М.К. Зинченко. – Иваново : ПресСто, 2019. – 140 с.

88. Зинченко, М.К. Численность и активность целлюлозолитической микрофлоры в агроценозах серой лесной почвы / М.К. Зинченко, С.И. Зинченко, И.Д. Федулова // Современные тенденции в научном обеспечении агропромышленного комплекса : сб. статей / ФГБНУ Верхневолжский ФАНЦ. - Иваново, 2019. – С. 102-107.

89. Зинченко, М.К. Мониторинг активности каталазы в серой лесной почве Верхневолжья / М.К. Зинченко // Владимирский земледелец. – 2021. – № 1 (95). – С. 7-11.

90. Золкина, Е.И. Влияние длительного применения удобрений на плодородие дерново-подзолистой почвы и продуктивность культур / Е.И. Золкина // Плодородие. – 2019. – № 5 (110). – С. 20-23.

91. Иванова, Т.Н. Изменение содержания и состава гумуса черноземов выщелоченных (luvic chernozems) южной лесостепи республики Башкортостан при сельскохозяйственном использовании / Т.Н. Иванова, Ф.Я. Багаутдинов, И.Г. Асылбаев // Вестник Башкирского государственного аграрного университета. – 2015. – № 1 (33). – С. 19-23.

92. Караксин, В.Б. Влияние предприятия промышленного свиноводства на компоненты окружающей среды и оптимизация функционирования региональной экосистемы : автореф. дис. ... д-ра с.-х. наук : 03.00.16 / Владимир Борисович Караксин, 2004. – 41 с.

93. Кирюшин, В.И. Концепция оптимизации режима органического вещества почв в агроландшафтах / В.И. Кирюшин, Н.Ф. Ганжара, И.С. Кауричев, Д.С. Орлов, А.А. Титлянова, А.Д. Фокин. – М. : МСХА, 1993. – 99 с.

94. Кислых, Е.Е. О плодородии почв, его формировании и сути / Е.Е. Кислых // Нива Поволжья. – 2011. – № 1 (18). – С. 27-30.
95. Классификация и диагностика почв России / Л.Л. Шишов, В.Д. Тонконогов, И.И. Лебедева, М.И. Герасимова. – Смоленск : Ойкумена, 2004. – 342 с.
96. Кленов, Б.М. Устойчивость гумуса почв Западной Сибири в условиях антропогенного влияния : автореф. дис. ... д-ра биол. наук : 03.00.27 / Борис Михайлович. – Новосибирск, 1998. – 40 с.
97. Кленов, Б.М. Устойчивость гумуса автоморфных почв Западной Сибири / Б.М. Кленов. – Новосибирск : СО РАН, филиал «Гео», 2000. – 176 с.
98. Кленов, Б.М. Географические закономерности потерь гумуса почв Западной Сибири / Б.М. Кленов // Проблемы геологии и географии Сибири : сб. статей / Национальный исследовательский Томский государственный университет. – Томск, 2003. – С. 268-269.
99. Кленов, Б.М. Органическое вещество черноземов Западной Сибири и антропогенный фактор / Б.М. Кленов // ИНТЕРЭКСПО ГЕО-СИБИРЬ. – 2014. – Т.4. – № 2. – С. 38-42.
100. Ковда, В.А. Почвенный покров, его улучшение, использование и охрана / В.А. Ковда. – М. : Наука, 1981. – 182 с.
101. Когут, Б.М. Принципы и методы оценки содержания трансформируемого органического вещества в пахотных почвах / Б.М. Когут // Почвоведение. – 2003. – № 3. – С. 308–316.
102. Когут, Б.М. Водопрочность и лабильные гумусовые вещества типичного чернозема при разном землепользовании / Б.М. Когут, С.А. Сысуев, В.А. Холодов // Почвоведение. – 2012. – № 5. – С. 555–561.
103. Когут, Б.М. Эволюция доминирующих парадигм в учении о гумусе и почвенном органическом веществе / Б.М. Когут, В.М. Семенов // Агрохимия. – 2015. – № 12. – С. 3-19.
104. Когут, Б.М. Дегумусирование и почвенная секвестрация углерода / Б.М. Когут, В.М. Семенов, З.С. Артемьева, Н.Н. Данченко // Агрохимия. – 2021. – № 5. – С. 3-13.

105. Колесникова, И.Я. Действие различных агроприемов на численность микромицетов и фитотоксичность дерново-подзолистой глееватой почвы / И.Я. Колесникова, П.А. Котьяк, Е.В. Чебыкина // Вестник АПК Верхневолжья. – 2010. – № 1 (9). – С. 36-40.
106. Кольга, Д.Ф. Переработка навоза в экологически безопасные органические удобрения : монография / Д.Ф. Кольга, А.С. Васько. – Минск : БГАТУ, 2017. – 128 с.
107. Комякова, Е.М. Состав навоза КРС и свиней, особенности использования и перспективы переработки / Е.М. Комякова, О.И. Антонова // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. – 2020. – № 6 (188). – С. 63-68.
108. Кононова, М.М. Органическое вещество почвы: его природа, свойства и методы изучения / М.М. Кононова. – М. : АН СССР, 1963. – 314 с.
109. Кочергин, А.Е. Условия питания зерновых культур азотом, фосфором и калием и применение удобрений на чернозёмах Западной Сибири : автореф. дис. ... д-ра с.-х. наук / Алексей Ефимович Кочергин. – Москва, 1965. – 40 с.
110. Кочергин, А.Е. Бесподстилочный жидкий навоз – ценное органическое удобрение / А.Е. Кочергин, С.П. Гавар, В.А. Пиварчук. – Новосибирск : СО ВАСХНИЛ, 1981. – 23 с.
111. Кравченко, В.Н. Эффективность жидкого навоза свиней при возделывании яровой пшеницы на южном чернозёме Оренбургской области. / В.Н. Кравченко, О.С. Гречишкина, Д.В. Овсянникова // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. – 2011. – № 9. – С. 59-61.
112. Красницкий, В.М. Эколого-агрохимическая оценка плодородия почв и эффективности применения удобрений в Западной Сибири : автореф. дис. ... д-ра с.-х. наук : 06.01.04 / Владимир Михайлович Красницкий. – Омск, 2002. – 52 с.
113. Красницкий, В.М. Динамика плодородия пахотных почв Омской области и эффективность использования средств его повышения в современных условиях / В.М. Красницкий, А.Г. Шмидт // Достижения науки и техники АПК. – 2016. – Т. 30. – № 7. – С. 34-37.

114. Красницкий, В.М. Оценка состояния плодородия почв Омской области / В.М. Красницкий, А.Г. Шмидт, О.Д. Шойкин // Плодородие. – 2017. – № 7 (97). – С. 27-29.
115. Красницкий, В.М. Агрохимическая характеристика пахотных почв и эффективность сельскохозяйственного производства в Омской области / В.М. Красницкий, А.Г. Шмидт // Плодородие. – 2018. – № 1 (100). – С. 64-67.
116. Красницкий, В.М. Элементы мониторинга для оценки плодородия пахотных земель / В.М. Красницкий, А.Г. Шмидт // Почвоведение и агрохимия. – 2019. – № 3. – С. 88-96.
117. Кудеяров, В.Н. Современное состояние почв агроценозов России, меры по их оздоровлению и рациональному использованию / В.Н. Кудеяров, М.С. Соколов, А.П. Глинушкин // Агрохимия. – 2017. – № 6. – С. 3-11.
118. Кудеяров, В.Н. Баланс азота, фосфора и калия в земледелии России / В.Н. Кудеяров // Агрохимия. – 2018. – № 10. – С. 3-11.
119. Кудеяров В.Н. Современное состояние баланса гумуса и питательных веществ в земледелии России / В.Н. Кудеяров // Агрохимия в XII веке : мат. Всероссийской науч. конф. с междунар. участием, посвящ. памяти академика РАН В.Г. Минеева «Агрохимия в XXI веке» (Москва, 27 – 28 сентября 2018 г.). – Москва, 2018. – С. 23-29.
120. Кудеяров, В.Н. Почвенно-биогеохимические аспекты состояния земледелия в Российской Федерации / В.Н. Кудеяров // Почвоведение. – 2019. – № 1. – С. 109-121.
121. Куликова, М.А. Оценка эффективности нового органоминерального удобрения на основе свиного навоза / М.А. Куликова, Т.А. Колесникова, Е.А. Грибут, О.А. Суржко, Г.Е. Мерзлая, Э.Н. Аканов // Плодородие. – 2019. – № 4 (109). – С. 49-51.
122. Купревич, В.Ф. Почвенная энзимология / В.Ф. Купревич, Т.А. Щербакова. – Минск : Наука и техника, 1966. – 275 с.

123. Лабораторно-практические занятия по почвоведению: учебное пособие / М.В. Новицкий, И.Н. Донских, Д.В. Чернов и др. – СПб. : Проспект Науки, 2009. – 320 с.
124. Лагутина, Т.Б. Повышение продукционного потенциала мелиорированных агродерновых аллювиальных почв Архангельской области / Т.Б. Лагутина, Л.А. Попова // Мелиорация и водное хозяйство. – 2015. – № 6. – С. 27-30.
125. Лапа, В.В. Влияние длительного применения удобрений на лабильность гумусовых веществ дерново-подзолистой легкосуглинистой почвы / В.В. Лапа, Т.М. Серая, Е.Н. Богатырева, О.М. Бирюкова // Вестник национальной академии наук Беларуси. – 2009. – № 4. – С. 46-50.
126. Лапа, В.В. Ферментативная активность дерново-подзолистых почв при разных уровнях применения удобрений / В.В. Лапа, Н.А. Михайловская // Доклады Национальной Академии наук Беларуси. – 2015. – Т. 59. – № 5. – С. 122-128.
127. Литвинцев, П.А. Перспективы применения органических удобрений в Алтайском крае и их влияние на показатели почвенного плодородия / П.А. Литвинцев // Повышение продуктивности сельскохозяйственных угодий в условиях Алтая и Казахстана : сб. науч. трудов. – Барнаул : ФГБНУ Алтайский НИИСХ, 2012. – С. 80-85.
128. Лозановская, И.Н. Теория и практика использования органических удобрений / И.Н. Лозановская, Д.С. Орлов, П.Д. Попов. – М. : Агропромиздат, 1987. – 96 с.
129. Лошаков, В.Г. Продуктивность зерновых севооборотов при использовании зеленого удобрения / В.Г. Лошаков, Ю.Д. Иванов, Ю.Н. Синих // Известия ТСХА. – 1997. – Вып. 3. – С. 3–20.
130. Лукин, С.В. Биологизация земледелия в Белгородской области: итоги и перспективы / С.В. Лукин // Достижение науки и техники АПК. – 2016. – Т. 30. – № 12. – С. 20-23.

131. Лукин, С.В. Агроэкологическая оценка влияния органических удобрений на микроэлементный состав почв / С.В. Лукин, С.В. Селюкова // Достижение науки и техники АПК. – 2016. – Т. 30. – № 12. – С. 61-65.
132. Лукин, С.М. Экологические проблемы использования органических удобрений в земледелии России / С.М. Лукин, С.И. Тарасов // Почвы – стратегический ресурс России: тезисы докладов VIII съезда Общества почвоведов им. В.В. Докучаева и Школы молодых ученых по морфологии и классификации почв (Сывтывкар, 22 апреля – 08 июня 2021 г.). – Сывтывкар, 2021. – Ч. 3. – С. 394-395.
133. Лукьянчикова, З.И. Содержание и состав гумуса в почвах при интенсивном земледелии / З.И. Лукьянчикова // Почвоведение. – 1980. – № 6. – С.78-90.
134. Лыков, А.М. Страж плодородия / А.М. Лыков. – М. : Моск. рабочий, 1976. – 112 с.
135. Макаров, И.Б. Плодородие и продуктивность почв: соотношение понятий / И.Б. Макаров // Плодородие. – 2007. – № 3 (36). – С. 33-35.
136. Мамонтов, В.Г. К вопросу о лабильном органическом веществе почв / В.Г. Мамонтов, Р.А. Афанасьев, Л.П. Родионова, О.М. Быканова // Плодородие. – 2008. – № 2. – С. 20-22.
137. Мамонтов, В.Г. Уровни содержания лабильных гумусовых веществ в пахотных почвах / В.Г. Мамонтов, Л.П. Родионова, О.М. Бруевич // Известия Тимирязевской сельскохозяйственной академии. – 2009. – № 4. – С. 121-123.
138. Мамонтов, В.Г. О лабильной форме органических веществ почвы / В.Г. Мамонтов, Ж.У. Мамутов, М.М. Кузелев // Почвоведение и агрохимия. – 2011. – № 3. – С. 55-66.
139. Мамонтов, В.Г. Лабильные гумусовые вещества – особая группа органических соединений чернозема обыкновенного / В.Г. Мамонтов, Р.А. Афанасьев, Е.Л. Соколовская // Плодородие. – 2018. – № 5 (104). – С. 15-19.
140. Мамонтов, В.Г. Химический анализ почв и использование аналитических данных. Лабораторный практикум / В.Г. Мамонтов. – Спб. : Лань, 2019. – 328 с.

141. Марцинкявичене, А. Влияние севооборотов, промежуточных посевов и органических удобрений на ферментативную активность почвы и содержания гумуса в органическом земледелии / А. Марцинкявичене, В. Богужас, С. Балните, Р. Пупалене, Р. Величка // Почвоведение. – 2013. – № 2. – С. 219-225.
142. Масютенко, Н.П. Энергетический потенциал органического вещества черноземов и управление его воспроизводством : автореф. дис. ... д-ра с.-х. наук : 06.01.03, 03.00.16 / Нина Петровна Масютенко. – Курск, 2003. – 47 с.
143. Мерзлая, Г.Е. Агроэкологическая оценка нетрадиционных органических удобрений / Г.Е. Мерзлая // Экологический вестник России. – 2006. – № 4. – С. 3-14.
144. Мерзлая, Г.Е. Агроэкологические основы и технологии использования бесподстилочного навоза / Г.Е. Мерзлая М.Н. Новиков, А.И. Еськов, С.И. Тарасов. – М. : РАСХН, ВНИПТИОУ, 2006. – 463 с.
145. Мерзлая, Г.Е. Использование свиного навоза для удобрения сельскохозяйственных культур / Г.Е. Мерзлая, И.В. Щеголева, М.В. Леонов // Перспективное свиноводство: теория и практика. – 2012. – № 5. – С. 3-9.
146. Мерзлая, Г.Е. Эффективность длительного применения биологизированных систем удобрения / Г.Е. Мерзлая // Агрохимия. – 2018. – № 10. – С. 27–33.
147. Методические указания по проведению комплексного мониторинга почв земель сельскохозяйственного назначения / В.Г. Сычев [и др.]. – М. : Росинформагротех, 2003. – 240 с.
148. Методы почвенной микробиологии и биохимии / Д. Г. Звягинцев. – М. : МГУ, 1991. – 304 с.
149. Минеев, В.Г. Определение суммарной токсичности почвы, корневой системы и конечной продукции при применении химических средств защиты растений; методика и результаты / В.Г. Минеев, Е.Х. Ремпе, Л.П. Воронина, Л.В. Коваленко // Вестник сельскохозяйственной науки. – 1991. – № 6 (417). – С. 63-71.
150. Мишустин, Е.Н. Определение биологической активности почвы / Е.Н. Мишустин, А.Н. Петрова // Микробиология. – 1963. – Т. 32. – Вып. 3 – С. 479-483.

151. Мишустин, Е.Н. Микроорганизмы и продуктивность земледелия / Е.Н. Мишустин. – М. : Наука, 1972. – 344 с.
152. Мищенко, Л.Н. Почвы Омской области и их сельскохозяйственное использование / Л.Н. Мищенко. – Омск, 1991. – 164 с.
153. Мищенко, Л.Н. Прошлое, настоящее и будущее опытного поля / Л.Н. Мищенко, С.Д. Халилова // Вестник ОмГАУ. – 1999. – № 2. – С. 17-19.
154. Мищенко, Л.Н. Почвы Западной Сибири / Л.Н. Мищенко, А.Л. Мельников. – Омск : ФГОУ ВПО ОмГАУ, 2007. – 247 с.
155. Надежкин, С.М. Влияние удобрений на качественный состав органического вещества почв лесостепи Поволжья / С.М. Надежкин // Бюллетень ВИУА им. Д.Н. Прянишникова «60 лет географической сети опытов с удобрениями». – 2001. – № 114. – С. 131-132.
156. Найденко, В.К. Уменьшение негативного воздействия свиноводческих предприятий на окружающую среду / В.К. Найденко // Технологии и технические средства механизированного производства продукции растениеводства и животноводства. – 2015. – № 87. – С. 201-212.
157. Наплекова, Н.Н. Аэробное разложение целлюлозы микроорганизмами в почвах Западной Сибири / Н.Н. Наплекова. – Новосибирск : Наука, 1974. – 250 с.
158. Наплекова, Н.Н. Метаболиты аэробных целлюлозоразрушающих микроорганизмов и их роль в почвах / Н.Н. Наплекова. – Новосибирск : НГАУ, 2010. – 228 с.
159. Научные основы и методы оценки энергетического состояния почв в агроландшафтах / Н.П. Масютенко, В.В. Шеховцова, А.И. Шеховцов, Е.В. Леонтьева. – Курск : Всероссийский НИИ земледелия и защиты почв от эрозии Россельхозакадемии, 2004. – 60 с.
160. Никитин, В.В. Агрохимические и энергетические основы воспроизводства плодородия чернозёмов в юго-западной части Центрально чернозёмной зоны / В.В. Никитин, В.З. Гетманский // Бюллетень ВИУА им. Д.Н. Прянишникова «60 лет географической сети опытов с удобрениями». – 2001. – № 114. – С. 136-137.

161. Никифорова, Л.И. Влияние удобрения и обработки почв на содержание в них гумуса / Л.И. Никифорова // Агрохимия. – 1985. – № 8. – С. 105-122.
162. Никифорова, Ю.Ю. Проблемы и возможности использования свиного навоза в качестве удобрения / Ю.Ю. Никифорова // Проблемы трансформации естественных ландшафтов в результате антропогенной деятельности и пути их решения : сб. науч. тр. по мат. Междунар. научн. эколог. конф., посвящ. году науки и технологий / Кубанский гос. аграр. ун-т имени И.Т. Трубилина. – Краснодар, 2021. – С. 623-625
163. Новиков, М.Н. Исследование вопросов эффективного использования различных видов и форм органических удобрений : автореф. дис. ... д-ра с.х. наук : 06.01.04 / Михаил Николаевич Новиков. – Москва, 1994. – 44 с.
164. Новоселов, С.И. Эффективность внутрипочвенного внесения жидких органических удобрений на основе свиного навоза / С.И. Новоселов // Отходы, причины их образования и перспективы использования : сб. науч. тр. по мат. Междунар. науч. эколог. конф. / Кубанский гос. аграр. ун-т имени И.Т. Трубилина. – Краснодар, 2019. – С. 550-552.
165. Органические удобрения в интенсивном земледелии. – М. : Колос, 1984. – 303 с.
166. Орлов, Д.С. Практикум по химии гумуса / Д.С. Орлов, Л.А. Гришина. – М. : МГУ, 1981. – 272 с.
167. Орлов, Д.С. Органическое вещество почвы и органические удобрения / Д.С. Орлов, И.Н. Лозановская, П.Д. Попов. – М., 1985. – 97 с.
168. Орлов, Д.С. Гумусовые кислоты почв и общая теория гумификации / Д.С. Орлов. – М. : МГУ, 1990. – 325 с.
169. Орлов, Д.С. Органическое вещество почв Российской Федерации / Д.С. Орлов, О.Н. Бирюкова, Н.И. Суханова. М. : Наука, 1996. – 254 с.
170. Орлов, Д.С. Дополнительные показатели гумусного состояния почв и их генетических горизонтов / Д.С. Орлов, О.Н. Бирюкова, М.С. Розанова // Почвоведение. – 2004. – № 8. – С. 918-926.

171. Пивоваров, Г.Е. Ферментативная активность и фитотоксичность почвы в специализированных звеньях севооборота / Г.Е. Пивоваров // Известия ТСХА. – 1981. – Вып. 3. – С.29-38.
172. Пилип, Л.В. Метод очистки воздуха от запахообразующих веществ свинокомплексов / Л.В. Пилип // Технологии и технические средства механизированного производства продукции растениеводства и животноводства. – 2019. – № 4 (101). – С. 137-146.
173. Погребцова, Е.А. Свиноводческий подкомплекс Омской области: современное состояние и пути развития / Е.А. Погребцова // Сборник научных трудов Ставропольского научно-исследовательского института животноводства и кормопроизводства. – 2014. – Т. 3. – № 7. – С. 547-551.
174. Поддубная, О.В. Влияние минерального питания на разложение целлюлозы в дерново-подзолистой легкосуглинистой почве / О.В. Поддубная, О.В. Симанков // Аграрна наука – селському хозяйству : XI Междунар. науч.-практ. конф. (Барнаул, 04 – 05 февраля 2016 г.). – Барнаул, 2016. – С. 221-223.
175. Полевой определитель почв. – М. : Почвенный ин-т им. В.В.Докучаева, 2008. – 182 с.
176. Пономарева, В.В. Гумус и почвообразование / В.В. Пономарева, Т.А. Плотникова. – М. : Наука, 1980. – 222 с.
177. Попова, Ю.С. Влияние различных технологий возделывания сельскохозяйственных культур на энергопотенциал органического вещества чернозема выщелоченного / Ю.С. Попова, Т.В. Швец // Научное обеспечение агропромышленного комплекса : сб. статей по мат. 71-й науч.-практ. конф. (Красноярск, 09 февраля 2016 г.). – Красноярск, 2016. – С. 64-66.
178. Практикум по агрохимии / В.В. Кидин, И.П. Дерюгин, В.И. Кобзаренко и др. – М. : КолосС, 2008. – 599 с.
179. Рейнгард, Я.Р. Деградация почв экосистем юга Западной Сибири : монография / Я.Р. Рейнгард. – Лодзь-Польша, 2009. – 636 с.

180. Рейнгард, Я.Р. Почвы и почвенный покров зеленой зоны города Омска «Сельхозакадемическая» / Я.Р. Рейнгард, Л.М. Рейнгард, С.В. Долженко, М.С. Рейнгард. – Омск : Литера, 2016. – 194 с.
181. Романов, В.Н. Применение показателей активности ферментов для оперативной диагностики экологического состояния агрогенных почв / В.Н. Романов, А.В. Заушенцена, Н.В. Кожевников // Достижения науки и техники АПК. – 2019. – Т. 33. – № 7. – С. 44-47.
182. Савич, В.И. Энергетика плодородия почв / В.И. Савич, А.М. Керимов, А.В. Болтенков // Аграрная наука. – 1994. – № 5. – С. 17-20.
183. Савосьев, П.Д. Влияние животноводческих стоков Лузинского свиноводческого комплекса на условия минерального питания и урожай ячменя на обыкновенном черноземе : автореф. дис. ... канд. с.-х. наук : 06.01.04 / Павел Дмитриевич Савосьев. – Омск, 1982. – 16 с.
184. Селюкова, С.В. Тяжелые металлы в органических удобрениях / С.В. Селюкова // Агрехимический вестник. – 2016. – № 5. – С. 47-51.
185. Семенов, В.М. Почвенное органическое вещество / В.М. Семенов, Б.М. Когут. – ГЕОС, 2015. – 233 с.
186. Семенов, В.М. Биологически активное органическое вещество в почве: диагностика и способы регулирования запасов / В.М. Семенов, Н.А. Семенова // Современное состояние, проблемы и перспективы развития аграрной науки : мат. III Междунар. науч. конф. (Ялта, 24 сентября – 28 октября 2018 г.). – Ялта, 2018. – С. 176-177.
187. Серая, Т.М. Виды органических удобрений и методика расчета их потребности для обеспечения бездефицитного баланса гумуса в пахотных почвах / Т.М. Серая, Е.Н. Богатырева, Т.М. Кирдун, Н.Ю. Жабровская // Почвоведение и агрохимия. – 2022. – № 2 (69). – С. 37-56.
188. Слюсарев, В.Н. Влияние способов внесения свиного навоза на водно-физические свойства и структуру чернозема выщелоченного Прикубанской низменной равнины / В.Н. Слюсарев, А.В. Осипов, С.В. Кузнецов // Энтузиасты аграрной науки : сб. статей по мат. Всерос. науч.-практ. конф., посвящ. 200-летию

со дня рождения Ильенкова Павла Антоновича (Краснодар, 07 – 08 сентября 2021 г.). – Краснодар, 2021. – С. 103-108.

189. Соколовский, А.Н. Почвоведение и агрохимия: избранные труды /А.Н. Соколовский. – К. : Урожай, 1971. – 368 с.

190. Солдатова, В.В. Как снизить концентрацию аммиака в воздухе / В.В. Солдатова, В.Н. Большаков, Г.Ю. Лаптев // Свиноводство. – 2011. – № 9. – С.24-31.

191. Справочная книга по производству и применению органических удобрений. – Владимир : РАСХН, ВНИПТИОУ, 2001. – 495 с.

192. Сычев, В.Г. Биологическая активность почвы и урожайность яровой пшеницы при использовании органических и минеральных удобрений / В.Г. Сычев, Г.Е. Мерзлая, С.П. Волошин // Плодородие. – 2016. – № 6 (93). – С. 2-4.

193. Сычев, В. Г. Взаимодействие циклов углерода и азота в основных типах почв при длительном применении различных систем удобрения / В.Г. Сычев, Л.К. Шевцова, М.В. Беличенко, О.В. Рухович, О.И. Иванова // Проблемы агрохимии и экологии. – 2018. – № 4. – С.68-77.

194. Сычев, В.Г. Современное состояние плодородия почв и основные аспекты его регулирования / В.Г. Сычев. – М. : РАН, 2019. – 328 с.

195. Сычев, В.Г. Влияние длительного применения различных систем удобрения на органофильные основные зональные типы почв. Сообщение 2. Серые лесные и черноземные почвы / В.Г. Сычев, Л.К. Шевцова, М.В. Беличенко, О.В. Рухович, О.И. Иванова // Плодородие. – 2019. – № 3 (108). – С. 10-14.

196. Сычев, В.Г. Влияние систем удобрения на содержание органического почвенного углерода и урожайность сельскохозяйственных культур: результаты длительных полевых опытов географической сети России / В.Г. Сычев, А.Н. Налиухин, Л.К. Шевцова, О.В. Рухович, М.В. Беличенко // Почвоведение. – 2020. – № 12. – С. 1521-1536.

197. Теучеж, А.А. Химический состав различных видов навоза // Экологический Вестник Северного Кавказа. – 2018. – Т. 14. – № 1. – С. 54-58.

198. Титова, В.И. Влияние жидкого свиного навоза на урожайность пшеницы, содержание и баланс элементов питания в светло-серой лесной почве легкого гранулометрического состава / В.И. Титова, Л.Д. Варламова, Р.Н. Рыбин, Т.В. Андропова // Аграрная наука Евро-Северо-Востока. – 2019. – Т. 20. – № 5.– С. 456-466.
199. Титова, В.И. Характеристика физико-химических свойств светло-серой лесной почвы при утилизации свиного навоза / В.И. Титова, Л.Д. Варламова, Р.Н. Рыбин, М.К. Малышева // Экологический Вестник Северного Кавказа. – 2019а. – Т. 15. – № 2. – С. 14-18.
200. Титова, В.И. Агрэкология промышленного свиноводства : монография / В.И. Титова, Р.Н. Рыбин. – Нижний Новгород : Сельскохозяйственные технологии, 2020. – 172 с.
201. Тихомирова, Л.Д. Биологический метод определения плодородия почвы / Л.Д. Тихомирова // Сибирский вестник сельскохозяйственной науки. – 1973. – № 5. – С. 15-18.
202. Трубников, Ю.Н. Влияние удобрений на агрохимические свойства и производительную способность черноземов Приенисейской Сибири / Ю.Н. Трубников, А.А. Шпедт // Плодородие почв и оценка продуктивности земледелия : мат. науч.-производственной конф. с международн. участием (Тюмень, 16 – 20 июля 2018 г.). – Тюмень, 2018. – С. 182-189.
203. Тюрин, И.В. Органическое вещество почв и его роль в плодородии / И.В. Тюрин. – М. : Наука, 1965. – 320 с.
204. Тютюнов, С.И. Животноводческие отходы – это ценное органическое удобрение / С.И. Тютюнов, В.Д. Соловichenко, В.Н. Самыкин, И.В. Логинов // Инновационные технологии возделывания сельскохозяйственных культур в Нечерноземье : сб. докладов Всероссийской науч.-практ. конф., посвящ. 75-летию образования Владимирского НИИСХ Россельхозакадемии (Суздаль, 02 – 04 июля 2013 г.). – Суздаль, 2013. – С. 287-291.
205. Тютюнов, С.И. Использование свиных стоков в качестве органических удобрений / С.И. Тютюнов, В.Д. Соловichenко, Е.В. Навольнева //

Международный научно-исследовательский журнал. – 2015. – № 10-3 (41). – С. 76-79.

206. Тютюнов, С.И. Инновационные решения использования свиных стоков в качестве органических удобрений / С.И. Тютюнов, В.Д. Соловиченко // Владимирский земледелец. – 2020. – № 2 (92). – С. 4-10.

207. Уланов, А.К. Содержание и качественный состав гумуса каштановой почвы в динамике многолетних рядов систематического применения удобрений / А.К. Уланов, Л.В. Будажапов, Т.П. Лапухин, А.С. Билтуев // Вестник НГАУ. – 2019. – № 1 (50). – С. 58-67.

208. Усенко, В.И. Научные основы рационального использования органических удобрений на черноземах Западной Сибири : автореф. дис. ... доктора с.-х. наук : 06.01.04 / Владимир Иванович Усенко. – Барнаул, 2000. – 37 с.

209. Усенко, В.И. Роль органических удобрений в повышении плодородия и продуктивности черноземов Западной Сибири / В.И. Усенко, В.П. Старостенко // Современные проблемы сельского хозяйства и пути их решения : сб. науч. трудов. – Барнаул : Сибирское отделение Российской академии сельскохозяйственных наук, 2000. – С. 213-241.

210. Усенко, В.И. Органические удобрения на черноземных почвах Западной Сибири / В.И. Усенко, В.К. Каличкин. – Новосибирск, 2003. – 156 с.

211. Усенко, В.И. Влияние органических удобрений на физико-химические свойства чернозема обыкновенного и урожайность культур в условиях Алтайского Приобья / В.И. Усенко, Т.А. Литвинцева, П.А. Литвинцев // Научное обеспечение зернового производства Алтайского края : сб. статей / ФГБНУ Алтайский НИИСХ. – Барнаул, 2016. – С. 133-138.

212. Филиппович, Ю.Б. Основы биохимии / Ю.Б. Филиппович. – М. : Агар, 1999. – 512 с.

213. Хабилов, И.К. Содержание гумуса в чернозёме в зависимости от системы земледелия / И.К. Хабилов, В.С. Сергеев // Плодородие. – 2007. – № 1. – С. 16–17.

214. Хазиев, Ф.Х. Почвенные ферменты / Ф.Х. Хазиев. – М. : Знание, 1972. – 32 с.

215. Хазиев, Ф.Х. Ферментативная активность почв / Ф.Х. Хазиев. – М. : Наука, 1976. – 180 с.
216. Хазиев, Ф.Х. Системно-экологический анализ ферментативной активности почв / Ф.Х. Хазиев. – М. : Наука, 1982. – 204 с.
217. Хазиев, Ф.Х. Методы почвенной энзимологии / Ф.Х. Хазиев. – М. : Наука, 2005. – 251 с.
218. Хазиев, Ф.Х. Функциональная роль ферментов в почвенных процессах / Ф.Х. Хазиев // Вестник Академии наук Республики Башкортостан. – 2015. – № 20 (2). – С. 14-24.
219. Хазиев, Ф.Х. Экологические связи ферментативной активности почв / Ф.Х. Хазиев // Экобиотех. – 2018. – Т. 1. – № 2. – С. 80-92.
220. Хазиев, Ф.Х. Роль ферментативной активности в биохимическом гомеостазе почвы / Ф.Х. Хазиев // Экобиотех. – 2019. – Т. 2. – № 3. – С. 230-233.
221. Хамова, О.Ф. Фиксированный аммоний в почвах Омского Прииртышья и его доступность растениям : автореф. дис. ... канд. биол. наук : 06.01.04 / Ольга Федоровна Хамова. – Новосибирск, 1982. – 18 с.
222. Хамова, О.Ф. Биологическая активность лугово-черноземных почв Омского Прииртышья / О.Ф. Хамова, Л.В. Юшкевич, Н.А. Воронкова, В.С. Бойко, Н.Н. Шулико. – Омск : Омскбланкиздат, 2019. – 94 с.
223. Хмелёв, В.А. Земельные ресурсы Новосибирской области и пути их рационального использования / В.А. Хмелёв, А.А. Танасиенко. – Новосибирск : СО РАН, 2009. – 346 с.
224. Храмцов, И.Ф. Система применения удобрений и воспроизводство плодородия почв в полевых севооборотах лесостепи Западной Сибири : автореф. дис. ... д-ра с.-х. наук : 06.01.04 / Иван Федорович Храмцов. – Омск, 1997. – 32 с.
225. Цуркан, М.А. Агрохимические основы применения органических удобрений / А.М. Цуркан. – Кишинев : Штиинца, 1985. – 287 с.
226. Чимитдоржиева, Г.Д. Гумус дефлированных почв / Г.Д. Чимитдоржиева, Р.А. Егорова, В.А. Ревенский. – Улан-Удэ : БНЦ СО РАН, 2008. – 150 с.

227. Чупрова, В.В. Минерализуемый пул органического вещества в агропочвах Средней Сибири / В.В. Чупрова // Вестник КрасГАУ. – 2013. – № 9. С.83-89.
228. Чупрова, В.В. Запасы, состав и трансформация органического вещества в пахотных почвах средней Сибири / В.В. Чупрова // Бюллетень почвенного института им. В.В. Докучаева. – 2017. – № 90. – С. 96-115.
229. Чупрова, В.В. Водорастворимое органическое вещество в почвах склонового агроландшафта Красноярской лесостепи // В.В. Чупрова, И.В. Жукова // Вестник КрасГАУ. – 2017. – № 9 (132). – С. 140-149.
230. Шарков, И.Н. Исследование баланса углерода в почве в связи с применением органических и азотных удобрений : автореф. дис. ... канд. биол. наук: 06.01.04 / Иван Николаевич Шарков. – Новосибирск, 1986. – 20 с.
231. Шарков, И.Н. Удобрения и проблема гумуса в почве / И.Н. Шарков // Почвоведение. – 1987. – № 11. – С. 70-81.
232. Шарков, И.Н. Роль легкоминерализуемого органического вещества в стабилизации запасов углерода в пахотных почвах / И.Н. Шарков, И.П. Бреус, А.А. Данилова // Сибирский экологический журнал. – 1994. – № 4. – С. 363-368.
233. Шарков, И.Н. Совершенствование концепции воспроизводства органического вещества в почвах зерновых агроценозов Сибири / И.Н. Шарков // Сибирский вестник с.-х. науки. – 2003. – № 2. – С. 72-77.
234. Шарков, И.Н. Изучение изменений содержания лабильного органического вещества в почве при использовании ее в различных севооборотах / И.Н. Шарков, Л.М. Самохвалова, А.Г. Шепелев // Проблемы рационального использования малопродуктивных земель: мат. Междунар. науч.-практ. конф. (г. Омск, 28 – 29 апреля 2009) / РАСХН. Сиб. отд-ние. СибНИИСХ. – Омск, 2009. – С. 98-103.
235. Шарков, И.Н. Воспроизводство гумуса как составная часть системы управления плодородием почвы: методическое пособие / И.Н. Шарков, А.А. Данилова, А.С. Прозоров, Л.М. Самохвалова, Т.И. Бушмелева, А.Г. Шепелев. – Новосибирск, 2010. – 36 с.
236. Шарков И.Н. Концепция воспроизводства гумуса в почвах / И.Н. Шарков // Агрохимия. – 2011. – № 12. – С. 21–27.

237. Шевцова, Л.К. Действие длительного применения удобрений на состав гумуса и режим азота в почвах разных типов / Л.К. Шевцова, Х. Герлицц, Х. Фрайтаг и др. // Tag. Ber., Akad. Landwirtschaftswiss. DDR. – 1983. – Т. 214. – С. 67-77.
238. Шевченко, В.А. Изменение экологических функций почв при длительном воздействии природных и антропогенных факторов / В.А. Шевченко // Мелиорация и водное хозяйство. – 2016. – № 6. – С. 16-18.
239. Шеин, Е.В. Органическое вещество и структура почвы: учение В.Р. Вильямса и современность / Е.В. Шеин, Е.Ю. Милановский // Известия ТСХА. – 2014. – № 1. – С. 42-51
240. Шеуджен, А.Х. Органическое вещество почвы и его экологические функции / А.Х. Шеуджен, Н.Н. Нецадим, Л.М. Онищенко. – Краснодар : КубГАУ, 2011. – 202 с.
241. Шишов, А.Д. Агрохимические свойства дерново-подзолистой почвы при применении бесподстилочного свиного навоза/ А. Д. Шишов, Т.А. Николаева, С.Л. Гришанов // Плодородие. – 2010. – № 4 (55). – С. 33-34.
242. Шпедт, А.А. Зависимость урожая зерновых культур от содержания форм гумусовых веществ в черноземах / А.А. Шпедт // Вестник КрасГАУ. – 2007. – № 4. – С. 44-48.
243. Шпедт, А.А. Оценка и оптимизация органического вещества почв сельскохозяйственных угодий Красноярского края / А.А. Шпедт. – Красноярск : КрасГАУ, 2013. – 230 с.
244. Шпедт, А.А. Влияние гумусовых веществ черноземов Красноярского края на продуктивность зерновых культур / А.А. Шпедт // Агрохимия. – 2016. – № 2. – С. 3-9.
245. Шулико, Н.Н. Целлюлозолитическая активность чернозема выщелоченного в условиях юга Западной Сибири / Н.Н. Шулико, О.Ф. Хамова, Е.В. Тукмачева // Сельскохозяйственные науки и агропромышленный комплекс на рубеже веков. – 2016. – № 14. – С. 28-31.

246. Шулико, Н.Н. Фитотоксичность чернозема выщелоченного при выращивании ячменя ярового / Н.Н. Шулико, О.Ф. Хамова, Е.В. Тукмачева // Вестник ОмГАУ. – 2016а. – № 4 (24). – С. 52-57.
247. Шулико, Н.Н. Биологические и агрохимические свойства чернозема выщелоченного при применении удобрений : монография / Н.Н. Шулико, О.Ф. Хамова. – Омск : ФГБНУ «Омский АНЦ», 2022. – 152 с.
248. Щербакова, Т.А. Ферментативная активность почв и трансформация органического вещества / Т.А. Щербакова. – Минск : Наука и техника, 1983. – 221 с.
249. Щур, А.В. Целлюлозолитическая активность почв при разных уровнях агротехнического воздействия / А.В. Щур, Д.В. Виноградов В.П. Валько // Вестник КрасГАУ. – 2015. – № 7 (106). – С. 45-49.
250. Ямалтдинова, В.Р. Влияние длительного применения систем удобрений на агрохимические и биологические показатели дерново-подзолистой почвы Среднего Предуралья / В.Р. Ямалтдинова, Н.Е. Завьялова, М.Г. Субботина // Пермский аграрный Вестник. – 2019. – № 3 (27). – С. 95-102.
251. Яшин, М.А. Агрогенная трансформация лабильных гумусовых веществ и структуры дерново-подзолистой супесчаной почвы / М.А. Яшин, Т.Н. Авдеева, Б.М. Когут, Л.Г. Маркина, В.М. Семенов, С.И. Тарасов, А.С. Фрид // Агрохимия. – 2015. – № 9. – С. 3–13.
252. Balota, E.L. Soil enzyme activities under pig slurry addition and different tillagesystems / E.L. Balota, O. Machineski, P.V. Truber // Acta Scientiarum Agronomy. – 2011. – Vol. 33. – № 4. – P. 729-737.
253. Benouadah, S. Impact of organic amendments on soil physical properties under semi-arid climate (Tiaret, Algeria) / S. Benouadah, K. Oulbachir, L. Benaichata, L. Benaichata, F. Labdelli, F. Labdelli, W. Rezzoug // Journal of Fundamental and Applied Sciences. – 2020. – Vol. 12. – № 3. – P. 1386-1403.
254. Benouadah, S. Incidence of manure amendment on soil organic carbon stock under semi-arid environment / S. Benouadah, F. Fatiha, O. Karima // Fresenius Environment Bulletin. – 2022. – Vol. 31. – № 11. – P. 10892-10902.

255. Benouadah, S. Contribution to the valorization of three breeding by products-preliminary estimates / S. Benouadah, K. Oulbachir // *Ukrainian Journal of Ecology*. – 2022. – Vol. 12. – № 1. – P. 25-30.
256. Boyd, S.A. Enzyme interactions with clays and clay-organic matter complexes / S.A. Boyd, M.M. Mortland // *Soil Biochemistry*. – New York: Marcel Dekker, 1990. – P. 1-28.
257. Ciganek, M. Chemical characterization of volatile organic compounds on animal farms / M. Ciganek, J. Neca // *Veterinary Medicine*. – 2008. – Vol. 53. – № 12. – P. 641-651.
258. Couto, R.D.R. Microbiological and chemical attributes of a Hapludalf soil with swine manure fertilization / R.D.R. Couto, J.J. Comin, C.R.F.S. Soares, P.B. Filho, L. Benedet, M.P. de Moraes, G. Brunetto, C.L. Beber // *Pesquisa Agropecuaria Brasileira*. – 2013. – Vol. 48. – № 7. – P. 774-782.
259. Dick, R.P. A review: long-term effects of agricultural systems on soil biochemical and microbial parameters / R.P. Dick // *Agriculture, Ecosystems and Environment*. – 1992. – Vol. 40. – P. 25-36.
260. Dick, R.P. Soil enzyme activities as indicators of soil quality / R.P. Dick // *Defining Soil Quality for a Sustainable Environment* / eds. J. W. Doran [et al.]. – Madison: Soil Science Society of America. – 1994. – P. 107-124.
261. Du, Y. Effects of manure fertilizer on crop yield and soil properties in China: A meta-analysis / Y. Du, B. Cui, Q. Zhang, Z. Wang, J. Sun, W. Niu // *Cartena*. – 2020. – Vol. 193. – № 5. – P. 104617.
262. Hansen, M.J. Removal of hydrogen sulphide from pig house using biofilter with fungi / M.J. Hansen, C. L. Pedersen, L.H. S. Jensen, L.B. Guldborg, A. Feilberg, L.P. Nielsen // *Biosystems Engineering*. – 2018. – Vol. 167. – P. 32-39.
263. Hati, K. Changes in soil physical properties and organic carbon status at the topsoil horizon of a Vertisol of central India after 28 years of continuous cropping, fertilization and manuring / K. Hati, A. Swarup, A.K. Dwivedi, A.K. Misra, K.K. Bandyopadhyay // *Agriculture Ecosystems and Environment*. – 2007. – Vol. 119. – № 1-2. – P. 127-134.

264. Hati, K. Effect of inorganic fertilizer and farmyard manure on soil physical properties, root distribution, and water-use efficiency of soybean in vertisols of central India / K. Hati, K.G. Mandal, A.K. Misra, P.K. Ghosh, K.K. Bandyopadhyay // *Bioresource Technology*. – 2006. – Vol. 97. – P. 2182-2188.
265. Hayes, M.H.B. Solvent systems for the isolation of organic components from soils / M.H.B. Hayes // *Soil Science Society of America Journal*. – 2006. – Vol. 70. – № 3. – P. 986-994.
266. Kalbitz, K. Biodegradation of soil-derived dissolved organic matter as related to its properties / K. Kalbitz, J. Schmerwitz, D. Schwesig, E. Matzner // *Geoderma*. – 2003. – Vol.113. – № 3-4. – P. 273-291.
267. Kalbitz, K. Contribution of dissolved organic matter to carbon storage in forest mineralsoils / K. Kalbitz, K. Kaiser // *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*. – 2007. – Vol. 171. – № 1. – P. 52–60.
268. Koh, S.H. Gaseous emissions from wastewater facilities / S.H. Koh, A.R. Shaw // *Water Environment Research*. – 2016. – Vol.88. – № 10. – P. 1249-1260.
269. Köninger, J. Manure management and soil biodiversity: Towards more sustainable foodsystems in the EU / J. Köninger, E. Lugato, P. Panagos, M. Kochupillai, A. Orgiazzi, M.J.I. Briones // *Agricultural Systems*. – 2021. – Vol. 194. – № 3. – P. 103251.
270. Larney, F.J. Nutrient and trace element changes during manure composting at four southern Alberta feedlots / F.J. Larney, A.F. Olson, P.R. de Maere, B.P. Handerek, B.Tovell // *Canadian Journal of Soil Science*. – 2008. – Vol. 88. – № 1. – P. 45-49.
271. Liu, X. Effects of agricultural on soil organic matter and carbon transformation – a review / X. Liu, S.J. Herbert, A.M. Hashemi, X. Zhang, G. Ding // *Plant, Soil and Environment*. – 2006. – Vol. 52. – № 12. – P. 531-543.
272. Loss, A. Soil attributes and crops productivity: changes due to the long time use of animal manure / A. Loss, M. Souza, C. Rogério Lourenzi, G. Brunetto, P.E. Lovato, J.J. Comin // *Agroindustrial Science*. – 2022. – Vol. 12. – № 1. – P. 103-121.
273. Lützow, M.V. Stabilization mechanisms of organic matter in four temperate soils: Development and application of a conceptual model / M.V. Lützow, I. Kögel-Knabner,

- B. Ludwig, E. Matzner, H. Flessa, K. Ekschmitt, G. Guggenberger, B. Marschner, K. Kalbitz // *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*. – 2008. – Vol. 171. – № 1. – P. 111-124.
274. Matos, M.A. Chemical and microbiological attributes of soil under different management with application of swine wastewater / M.A. Matos, A.C. Filho, D.S. Andrade, G.M.C. Barbosa, K.C.G.P. de Goes, G.M. Lovato, M.A. Nogueira // *Journal of Agricultural Science*. – 2018. – Vol. 10. – № 8. – P. 286.
275. Mikhailouskay, N.A. Enzyme diagnostics for evaluation of effect of nitrogen fertilizers on mineralization and humification processes in sod-podzolic soils / N.A. Mikhailouskay, S.A. Kasyanchyk, A.G. Mezentseva // *Proceedings of the national academy of sciences of Belarus agrarian series*. – 2022. – Vol. 60. – № 4. – P. 362-371.
276. Navroski, D. Soil enzymatic activity and chemical attributes after continuous and interrupted application of pig slurry / D. Navroski, A.C. Filho, G.M. de C. Barbosa, A. Moreira // *Rev. Bras. Cienc. Agrar.* – 2019. – Vol. 14. – № 1. – P. e5619.
277. Older, M. Changes in soil chemical and microbiological properties during 4 years of application of various organic residues / M. Older, M. Pell, K. Svensson // *Waster Management*. – 2008. – Vol. 28. – № 7. – P. 1246-1254.
278. Plaza, C. Microbial activity in pig slurry-amended soils under semiarid conditions / C. Plaza, D. Hernandez, J.C. Garcia-Gil, A. Polo // *Soil Biology and Biochemistry*. – 2004. – Vol. 36. – № 10. – P. 1577-1585.
279. Rakhi, N.N. Animal Manure for Soil Fertility / N.N. Rakhi, A.A. Jubayer // *Animal Manure*. – 2022. – Vol. 64. – P. 159-184.
280. Ramos, M.L. Total content and availability of micronutrients in soils and livestock manure / M.L. Ramos, C.H. Moscuza, A.F. Cirelli // *Revista Internacional de Contamination Ambiental*. – 2020. – Vol. 36. – № 1. – P. 115-126.
281. Rayne, N. Livestock manure and the impacts on soil health: a review / N. Rayne, L. Aula // *Soil systems*. – 2020. – Vol. 4. – Is. 4. – P. 64.
282. Recarbonizing global soils: A technical manual of recommended management practices. Cropland, grassland, integrated systems and farming approaches – Practices overview. Rome, 2021. – Vol. 3. – 650 p.

283. Ren, F. A synthetic analysis of livestock manure substitution effects on organic carbon changes in China's arable topsoil / F. Ren, X. Zhang, J. Liu, N. Sun, L. Wu, Z. Li, M. Xu // *Catena*. – 2018. – Vol. 171. – P. 1-10.
284. Santos, C. Aggregation index and carbon and nitrogen contents in aggregates of pasture soils under successive applications of pig slurry in southern Brazil / C. Santos, A. Loss, M.d.C. Piccolo, E. Girotto, M.P. Ludwig, J. Decarli, J.L.R. Torres, G. Brunetto // *Agronomy*. – 2022. – Vol. 12. – № 1. – P. 320.
285. Scheller, K. Soil enzymes – valuable indicators of soil fertility and environmental impacts / K. Scheller // *Bulletin UASVM Horticulture*. – 2009. – Vol. 66. – № 2. – P. 911-915.
286. Shen, Y. Component analysis of volatile organic compounds and determination of key odor in pig manure aerobic fermentation process / Y. Shen, P. Zhang, Z. Lixin, H. Meng, H. Cheng // *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*. – 2016. – Vol. 32. – № 4. – P. 205–210.
287. Wander, M. Soil organic matter fractions and their relevance to soil function / M. Wander // *Soil Organic Matter in Sustainable Agriculture*. – 2004. – P. 67-102.
288. Yanardağ, I.H. Changes in carbon pools and enzyme activities in soil amended with pig slurry derived from different feeding diets and filtration process / I.H. Yanardağ, R. Zornoza, Á.F. Cano, A.B. Yanardağ, A.R. Mermut // *Geoderma*. – 2020. – Vol. 380. – P. 114640.
289. Zhu, J. A review of microbiology in swine manure odor control / J. Zhu // *Agriculture, Ecosystems and Environment*. – 2000. – Vol. 78. – № 2. – P. 93-106.

ПРИЛОЖЕНИЯ

Приложение А

Температура воздуха, °С за 2016-2019 гг. (метеостанция г. Омск)

Год	Месяц	Температура воздуха, °С				
		1 декада	2 декада	3 декада	Среднемесячная температура, °С	Отклонение от нормы, °С
2016	май	8,8	11,9	17,2	12,8	+0,2
	июнь	17,3	18,6	18,8	18,2	+0,3
	июль	19,6	20,9	18,8	19,7	+0,1
	август	19,7	20,9	17,2	19,3	+2,3
	сентябрь	16,8	13,1	9,4	13,1	+2,7
2017	май	10,8	12,8	15,5	13,1	+0,6
	июнь	17,0	21,8	21,4	20,1	+2,2
	июль	18,1	17,0	20,2	18,5	-1,1
	август	19,7	14,5	20,2	18,1	+1,3
	сентябрь	13,3	11,2	3,1	9,2	-1,2
2018	май	5,8	6,7	10,3	7,7	-4,8
	июнь	16,9	16,6	18,2	17,2	-0,7
	июль	21,2	21,8	16,7	19,8	+0,2
	август	17,8	16,9	13,7	16,1	-0,9
	сентябрь	10,6	11,1	12,7	11,5	+1,1
2019	май	13,9	9,6	13,1	12,2	-0,3
	июнь	14,2	15,6	16,6	15,5	-2,4
	июль	18,8	22,2	20,5	20,5	+0,9
	август	19,5	19,2	15,3	18,0	+1,0
	сентябрь	11,3	14,0	7,1	10,8	+0,4

Приложение Б

Количество выпавших осадков, мм за 2016-2019 гг. (метеостанция г. Омск)

Год	Месяц	Количество осадков, мм				
		1 декада	2 декада	3 декада	Количество осадков за месяц, мм	Отклонение от нормы, %
2016	май	2	2	1	5	15
	июнь	0,6	40	55	96	188
	июль	16	20	74	110	166
	август	0	9	7	16	30
	сентябрь	5	6	0	11	28
2017	май	7	8	11	26	74
	июнь	29	1	0,9	31	62
	июль	11	32	27	70	107
	август	10	0	4	14	25
	сентябрь	12	16	2	30	78
2018	май	25	10	37	72	207
	июнь	8	5	49	62	121
	июль	0	5	40	45	69
	август	10	18	34	62	112
	сентябрь	7	0,3	11	18	48
2019	май	0,3	13	24	37	104
	июнь	52	21	11	84	165
	июль	23	0	6	29	44
	август	13	12	15	40	74
	сентябрь	22	2	23	47	128

Приложение В

Гранулометрический состав горизонтов РU агрочерноземов

Содержание фракций (мм), %						
1-0,25	0,25-0,05	0,05-0,01	0,01-0,005	0,005-0,001	< 0,001	< 0,01
Опытное поле Омского ГАУ						
0,8	64,4	12,0	6,60	2,90	13,3	22,8
д. Сосновка Кормиловского района (опыт с твердой фракцией навоза)						
0,10	10,4	41,0	7,40	16,6	24,5	48,5
д. Сосновка Кормиловского района (опыт с жидкой фракцией навоза)						
0,10	17,3	44,7	3,30	17,5	17,1	37,9

Приложение Г

Баланс гумуса в агрочерноземах при возделывании пшеницы

Урожайность, т/га	Вынос азота			Минерализация гумуса, т/га	Количество пожнивно- корневых остатков, т/га	Количество образованного гумуса, т/га	Баланс гумуса, т/га
	на 100 кг урожая	кг/га	за счет гумуса, кг/га				
Агрочернозем квазиглееватый легкосуглинистый, опытное поле Омского ГАУ							
2,00	2,5	50	25	0,72	0,26	0,39	-0,33
Агрочернозем квазиглееватый среднесуглинистый, ООО «РУСКОМ-Агро»							
2,70	2,5	67,5	33,8	0,81	0,35	0,53	-0,28

Приложение Д

Влияние последствий твердой и жидкой фракций свиного навоза на содержание подвижных гумусовых веществ в агрочерноземах квазиглееватых

(ООО «РУСКОМ-Агро», 1-й год последствий, 2016 г.),

экстрагент – вода

Вариант	Твердая фракция навоз		Вариант	Жидкая фракция навоза	
	мгС/кг	% к С _{общ}		мгС/кг	% к С _{общ}
Контроль	370	1,07	Контроль	330	1,02
Навоз 20 т/га	450	1,28	Навоз 50 т/га	390	1,17
Навоз 40 т/га	550	1,53	Навоз 100 т/га	460	1,33
Навоз 60 т/га	570	1,49	Навоз 150 т/га	540	1,44
Навоз 80 т/га	590	1,52	Навоз 200 т/га	750	2,03
Навоз 100 т/га	610	1,55	Навоз 250 т/га	670	1,90
НСР ₀₅	116	-	Навоз 300 т/га	600	1,75
			НСР ₀₅	136	-

Приложение Е

Влияние последствий твердой и жидкой фракций свиного навоза на содержание подвижных гумусовых веществ в агрочерноземах квазиглееватых (ООО «РУСКОМ-Агро», 1-й год последствий, 2016 г.),
экстрагент – 0,1н NaOH

Вариант	Твердая фракция навоз		Вариант	Жидкая фракция навоза	
	мгС/кг	% к С _{общ}		мгС/кг	% к С _{общ}
Контроль	4230	12,3	Контроль	4020	12,5
Навоз 20 т/га	4260	12,1	Навоз 50 т/га	4320	13,0
Навоз 40 т/га	5370	14,9	Навоз 100 т/га	4530	13,1
Навоз 60 т/га	5610	14,7	Навоз 150 т/га	4950	13,2
Навоз 80 т/га	5630	14,5	Навоз 200 т/га	4860	13,8
Навоз 100 т/га	5760	14,6	Навоз 250 т/га	5290	15,0
НСР ₀₅	131	-	Навоз 300 т/га	4950	14,5
			НСР ₀₅	156	-

Приложение Ж

Влияние последствий твердой и жидкой фракций свиного навоза на содержание подвижных гумусовых веществ в агрочерноземах квазиглееватых

(ООО «РУСКОМ-Агро», 1-й год последствий, 2016 г.),

экстрагент – пирофосфат натрия

Вариант	Твердая фракция навоз		Вариант	Жидкая фракция навоза	
	мгС/кг	% к С _{общ}		мгС/кг	% к С _{общ}
Контроль	7680	22,3	Контроль	7560	23,5
Навоз 20 т/га	7920	22,6	Навоз 50 т/га	7800	23,4
Навоз 40 т/га	8400	23,3	Навоз 100 т/га	7940	23,0
Навоз 60 т/га	8460	22,1	Навоз 150 т/га	8190	21,9
Навоз 80 т/га	8700	22,4	Навоз 200 т/га	8390	22,7
Навоз 100 т/га	8880	22,5	Навоз 250 т/га	8610	24,4
НСР ₀₅	267	-	Навоз 300 т/га	8520	24,9
			НСР ₀₅	292	-

Приложение И

Влияние твердой фракции свиного навоза на интенсивность разложения
целлюлозы в агрочерноземе квазиглееватом легкосуглинистом (полевой опыт 1,
опытное поле Омского ГАУ)

Доза навоза, т/га	30 дней		60 дней		90 дней	
	Степень разложения полотна, %	Скорость разложения, %/сутки	Степень разложения полотна, %	Скорость разложения, %/сутки	Степень разложения полотна, %	Скорость разложения, %/сутки
2017 г., 1-й год последствия навоза						
0	1,83	0,06	8,29	0,22	13,2	0,16
20	2,38	0,08	8,84	0,22	14,4	0,19
60	2,68	0,09	9,75	0,24	22,5	0,42
НСР ₀₅	1,00	0,03	2,25	0,08	2,76	0,09
2018 г., 2-й год последствия навоза						
0	5,22	0,17	8,15	0,10	16,8	0,29
20	6,82	0,23	12,5	0,19	20,8	0,28
60	10,4	0,35	16,5	0,20	38,6	0,74
НСР ₀₅	1,20	0,04	2,12	0,07	2,06	0,07
2019 г., 3-й год последствия навоза						
0	3,53	0,12	7,22	0,12	-	-
20	4,60	0,15	10,7	0,20	-	-
60	8,52	0,28	14,1	0,19	-	-
НСР ₀₅	1,31	0,04	1,12	0,04	-	-

Примечание. - определение не проводили.

Приложение К

Влияние твердой фракции свиного навоза на интенсивность разложения
целлюлозы в агрочерноземе квазиглееватом легкосуглинистом
(полевой опыт 2, опытное поле Омского ГАУ)

Доза навоза, т/га	30 дней		60 дней		90 дней	
	Степень разложения полотна, %	Скорость разложения, %/сутки	Степень разложения полотна, %	Скорость разложения, %/сутки	Степень разложения полотна, %	Скорость разложения, %/сутки
2017 г., год действия навоза						
0	1,30	0,04	3,50	0,07	10,9	0,25
20	2,51	0,08	4,98	0,08	13,4	0,28
60	3,51	0,12	6,43	0,10	23,1	0,56
НСР ₀₅	1,14	0,04	2,76	0,09	2,25	0,08
2018 г., 1-й год последствия навоза						
0	2,26	0,08	9,50	0,24	14,3	0,16
20	2,65	0,09	10,5	0,26	16,9	0,22
60	4,11	0,14	15,3	0,37	29,7	0,48
НСР ₀₅	1,71	0,06	1,37	0,05	2,67	0,09

Приложение Л

Влияние твердой фракции свиного навоза на интенсивность разложения целлюлозы в агрочерноземе квазиглееватом легкосуглинистом (лабораторный опыт 1, опытное поле Омского ГАУ)

Доза навоза, т/га	30 дней		60 дней		90 дней	
	Степень разложения полотна, %	Скорость разложения, %/сутки	Степень разложения полотна, %	Скорость разложения, %/сутки	Степень разложения полотна, %	Скорость разложения, %/сутки
2017 г., 1-й год последствия навоза						
0	5,34	0,18	14,5	0,31	21,6	0,24
20	6,69	0,22	15,9	0,31	22,8	0,23
60	8,72	0,29	21,0	0,41	29,9	0,30
НСР ₀₅	1,10	0,04	1,12	0,04	2,34	0,08
2018 г., 2-й год последствия навоза						
0	9,69	0,32	17,1	0,25	22,1	0,17
20	9,76	0,33	18,4	0,29	26,4	0,27
60	10,4	0,35	18,9	0,29	27,9	0,30
НСР ₀₅	1,26	0,04	1,13	0,04	2,05	0,07
2019 г., 3-й год последствия навоза						
0	5,60	0,19	7,50	0,06	14,3	0,23
20	5,81	0,19	7,70	0,06	15,9	0,27
60	7,31	0,24	9,10	0,06	16,7	0,25
НСР ₀₅	1,31	0,04	1,12	0,04	2,01	0,07

Приложение М

Влияние твердой фракции свиного навоза на интенсивность разложения целлюлозы в агрочерноземе квазиглееватом легкосуглинистом (лабораторный опыт 2, опытное поле Омского ГАУ)

Доза навоза, т/га	30 дней		60 дней		90 дней	
	Степень разложения полотна, %	Скорость разложения, %/сутки	Степень разложения полотна, %	Скорость разложения, %/сутки	Степень разложения полотна, %	Скорость разложения, %/сутки
2017 г., год действия навоза						
0	4,16	0,14	16,9	0,43	22,6	0,19
20	7,08	0,24	19,4	0,41	28,5	0,30
60	10,2	0,34	21,4	0,37	30,7	0,31
НСР ₀₅	1,16	0,04	1,77	0,06	2,26	0,08
2018 г., 1-й год последействия навоза						
0	6,13	0,20	13,8	0,26	19,9	0,20
20	8,33	0,28	15,4	0,23	24,9	0,32
60	10,6	0,35	16,2	0,19	25,6	0,31
НСР ₀₅	1,26	0,04	1,35	0,05	2,57	0,08
2019 г., 2-й год последействия навоза						
0	8,65	0,29	14,3	0,19	17,9	0,12
20	9,48	0,32	15,8	0,21	18,3	0,08
60	11,0	0,37	17,3	0,21	21,0	0,13
НСР ₀₅	1,23	0,04	1,50	0,05	2,38	0,08

Приложение Н

Результаты структурно-агрегатного анализа слоя 0-20 см агрочернозема квазиглееватого легкосуглинистого (опыт 1, опытное поле Омского ГАУ)

Вариант	Масса фракций (мм), %								
	>10	10-7	7-5	5-3	3-2	2-1	1-0,5	0,5-0,25	<0,25
2016 г., год действия навоза									
Контроль	20,2	8,00	8,10	9,10	6,30	9,50	6,20	10,5	22,1
Навоз 20 т/га	20,9	8,30	6,20	8,30	7,10	10,9	4,90	10,9	22,5
Навоз 60 т/га	36,9	7,00	6,70	7,70	5,70	8,40	3,60	7,10	16,9
2017 г., 1-й год последействия навоза									
Контроль	44,3	6,40	6,90	8,20	5,90	11,3	1,00	5,70	10,3
Навоз 20 т/га	41,2	6,90	6,40	8,70	6,00	12,6	1,20	6,60	10,4
Навоз 60 т/га	44,3	6,30	6,20	6,50	5,30	12,7	0,90	6,40	11,4
2018 г., 2-й год последействия навоза									
Контроль	51,4	8,60	6,50	7,80	5,60	9,10	1,90	3,90	5,20
Навоз 20 т/га	65,3	7,70	4,90	5,60	3,80	5,20	1,20	2,30	4,00
Навоз 60 т/га	54,0	8,30	6,00	7,70	5,80	9,30	1,60	3,30	4,00

Приложение II

Результаты структурно-агрегатного анализа слоя 0-20 см агрочернозема
квизиглееватого легкосуглинистого (опыт 2, опытное поле Омского ГАУ)

Доза, т/га	Масса фракций (мм), %									АЦА, %	K _{агр}	K _{стр}
	>10	10-7	7-5	5-3	3-2	2-1	1- 0,5	0,5- 0,25	<0,25			
2017 г., год действия навоза												
0	53,6	4,30	4,70	1,80	4,30	9,10	1,30	6,10	14,8	31,6	79,1	0,46
20	52,1	5,70	4,30	5,90	4,40	8,00	1,40	6,20	12,0	35,8	81,8	0,56
60	43,3	4,80	4,90	6,50	5,30	11,2	1,10	7,40	15,5	41,2	77,1	0,70
2018 г., 1-й год последействия навоза												
0	44,3	6,40	6,90	8,20	5,90	11,3	1,00	5,70	10,3	45,4	84,0	0,83
20	41,6	7,30	6,80	5,50	6,30	13,2	1,30	7,00	11,0	47,4	82,7	0,90
60	44,3	6,20	6,20	6,50	5,30	12,7	0,90	6,50	11,4	44,3	82,1	0,80

Примечание. АЦА – количество агрономически ценных агрегатов.

K_{стр} – коэффициент структурности. K_{агр} – коэффициент агрегированности.

Приложение Р

Содержание подвижных азота, фосфора и калия в слое 0-20 см агрочернозема квазиглееватого легкосуглинистого в год действия твердой фракции свиного навоза при выращивании яровой пшеницы (опытное поле ОмГАУ),
данные Гоман Н.В., Бобренко И.А., Трубиной Н.К., Шалак И.О.

Доза навоза, т/га	До посева			Кущение			Колошение			Уборка		
	N-NO ₃	P ₂ O ₅	K ₂ O	N- NO ₃	P ₂ O ₅	K ₂ O	N- NO ₃	P ₂ O ₅	K ₂ O	N- NO ₃	P ₂ O ₅	K ₂ O
2016 г.												
0	4,48	109	311	5,51	110	305	4,10	102	327	3,40	100	333
20				26,9	168	316	22,8	160	334	11,4	157	341
30				22,0	168	257	24,7	160	336	12,4	157	343
40				26,9	174	316	23,8	165	350	11,9	162	355
50				26,9	186	336	28,3	178	367	14,2	174	372
60				41,6	192	324	40,7	184	371	20,4	180	378
2017 г.												
0	4,75	109	222	4,52	114	315	3,20	111	327	3,3	105	338
20				25,9	156	319	21,8	158	344	11,3	145	342
30				22,0	158	337	24,1	162	346	13,4	156	353
40				26,0	171	326	25,4	165	344	13,9	161	356
50				26,8	182	331	27,3	176	364	14,2	174	376
60				42,6	191	328	39,1	189	374	20,3	184	387

Приложение С

Содержание подвижных азота, фосфора и калия в слое 0-20 см агрочернозема квазиглееватого среднесуглинистого в год действия жидкой фракции свиного навоза при выращивании яровой пшеницы (ООО РУСКОМ-АГРО),
данные Гоман Н.В., Бобренко И.А., Шалак И.О., Трубиной Н.К.

Доза, т/га	Кущение			Восковая спелость			Полная спелость		
	N- NO ₃	P ₂ O ₅	K ₂ O	N- NO ₃	P ₂ O ₅	K ₂ O	N- NO ₃	P ₂ O ₅	K ₂ O
2015 г.									
Контроль	4,20	115	218	1,84	118	216	1,60	118	212
50	13,3	122	216	8,60	120	213	8,40	124	213
100	21,4	112	218	12,8	124	215	12,3	118	213
150	32,6	118	235	20,1	128	226	19,4	126	224
200	39,4	115	249	21,6	130	239	21,6	125	237
250	45,0	125	250	26,0	132	242	25,8	123	239
300	50,3	115	264	27,2	128	254	27,4	118	252

ПРИЛОЖЕНИЕ Т

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«ОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АГРАРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ИМЕНИ П.А. СТОЛЫПИНА



УТВЕРЖДАЮ:
Проректор по образовательной
деятельности ФГБОУ ВО Омский ГАУ
С.Ю. Комарова
2023 г.

Справка

Об использовании результатов диссертации Ж.Л. Алексеевой
«Влияние органического удобрения на основе свиного навоза на плодородие
агрочерноземов южной лесостепи Омского Прииртышья»

Материалы диссертационной работы Алексеевой Ж.Л. используются в учебном процессе ФГБОУ ВО Омский ГАУ по дисциплинам: «Агрочвоведение», «Агрохимия», «Сельскохозяйственная экология», «Инновационные технологии в агрохимии» при подготовке бакалавров по направлению 35.03.03 – Агрохимия и агропочвоведение; магистров по направлению 35.04.03 – Агрохимия и агропочвоведение.

Заведующий кафедрой агрохимии
и почвоведения,
д-р с.-х. наук, профессор

И.А. Бобренко

Декан факультета агрохимии,
почвоведения, экологии,
природообустройства
и водопользования,
канд. с.-х. наук, доцент

Н.В. Гоман

ПРИЛОЖЕНИЕ У

МИНИСТРЕСТВО СЕЛЬСКОГО
ХОЗЯЙСТВА РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
(Минсельхоз России)

Федеральное государственное
бюджетное учреждение
«Центр агрохимической службы
«Омский»

(ФГБУ ЦАС «Омский»)

Королева пр., д. 34, Омск, 644012

Тел. (3812) 77-53-75

Факс (3812) 77-56-84

Email: krasnitsky@omsknet.ru

<http://www.agrohimcentr-omsk.ru>

ОКПО 00506722, ОГРН 1025500755280

ИНН/КПП 5502005925/550301001

№ _____
На № _____ от _____

Справка

об использовании результатов научной деятельности

Материалы диссертационной работы Алексеевой Жанны Леонидовны по теме «Влияние органического удобрения на основе свиного навоза на плодородие агрочерноземов южной лесостепи Омского Прииртышья» используются в производственной деятельности ФГБУ ЦАС «Омский» при составлении рекомендаций по использованию твердой и жидкой фракций свиного навоза в качестве органического удобрения на пахотных почвах Омской области.

Директор ФГБУ ЦАС «Омский»
д-р с.х. наук, профессор



В.М. Красницкий