

*На правах рукописи*

**АЛЕКСЕЕВА ЖАННА ЛЕОНИДОВНА**

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

4.1.3. Агрехимия, агропочвоведение, защита и карантин растений

**Автореферат  
диссертации на соискание ученой степени  
кандидата сельскохозяйственных наук**

**Омск – 2024**

Диссертационная работа выполнена в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Омский государственный аграрный университет имени П.А. Столыпина», Министерство сельского хозяйства Российской Федерации

Научный руководитель: доктор сельскохозяйственных наук, профессор  
**Азаренко Юлия Александровна**

Официальные оппоненты: **Титова Вера Ивановна**,  
доктор сельскохозяйственных наук, профессор,  
федеральное государственное бюджетное  
образовательное учреждение высшего образования  
«Нижегородский государственный агротехнологический  
университет имени Л.Я. Флорентьева», заведующий  
кафедрой агрохимии и агроэкологии

**Васбиева Марина Тагирьяновна**,  
кандидат биологических наук, «Пермский научно-  
исследовательский институт сельского хозяйства» –  
филиал федерального государственного бюджетного  
учреждения науки Пермского федерального  
исследовательского центра Уральского отделения  
Российской академии наук, старший научный сотрудник

Ведущая организация: Федеральное государственное бюджетное  
образовательное учреждение высшего образования  
«Алтайский государственный аграрный университет»,  
г. Барнаул.

Защита состоится «27» ноября 2024 г. в 9<sup>00</sup> часов на заседании диссертационного совета 99.2.117.03 на базе федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Самарский государственный аграрный университет», по адресу: 446442, Самарская область, г. Кинель, п.г.т. Усть-Кинельский, ул. Учебная, д. 2, тел. 8 (846) 6346131.

С диссертацией можно ознакомиться в научной библиотеке федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Самарский государственный аграрный университет», на сайте <http://ssaa.ru> и на сайте ВАК Минобрнауки РФ <https://vak.minobrnauki.gov.ru>.

Автореферат разослан «\_\_» \_\_\_\_\_ 2024 г.

Ученый секретарь  
диссертационного совета



Троц Наталья Михайловна

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**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» (Rayne, 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; Титова, Рыбин, 2020; 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 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.** В результате проведенных исследований были получены новые данные о влиянии твердой и жидкой фракций свиного навоза на 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 лесостепной зоны Омского Прииртышья, а также в учебной деятельности по направлению подготовки «Агрохимия и агропочвоведение».

**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 бесподстильного свиного навоза оказывает положительное влияние на состояние органического вещества агрочерноземов: содержание и запасы углерода, подвижных гумусовых веществ, качественный состав гумуса, увеличивает их энергопотенциал.

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 их 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 рецензируемых изданиях.

**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 Азаренко Ю.А., 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)**

В главе представлен обзор научных работ отечественных и зарубежных учёных по вопросам: 1.1 Характеристика свиного навоза в качестве органического удобрения; 1.2 Влияние свиного навоза на агрохимические показатели почвы; 1.3 Влияние органического удобрения на гумусное состояние почв; 1.4 Влияние свиного навоза на содержание подвижных гумусовых веществ; 1.5 Влияние свиного навоза на биологическую активность и фитотоксичность почв; 1.6 Влияние свиного навоза на физико-химические и физические свойства почв; 1.7 Экологические аспекты применения свиного навоза в агроценозах.

В связи с слабой изученностью воздействия твердой и жидкой фракций свиного навоза на показатели плодородия пахотных черноземных почв Омского Прииртышья этот вопрос является актуальным, имеет как теоретическую, так и практическую значимость.

## 2 ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ПРОВЕДЕНИЯ ИССЛЕДОВАНИЙ

### 2.1 Природно-климатические условия территории проведения исследований

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

Климат Омского Прииртышья типично континентальный, продолжительность вегетационного периода – 160-165 дней, период активной вегетации ( $t^0 > 10$ ) – 125-130 дней с суммой положительных температур 1950-2100<sup>0</sup>С. Величина гидротермического коэффициента (ГТК) – 1,0-1,1. Среднегодовое количество осадков составляет 330-345 мм, за период активной вегетации – 220-230 мм (Агроклиматические ресурсы Омской области, 1971). Метеорологические условия в годы исследований были подвержены колебаниям по отдельным вегетационным периодам и месяцам, что оказывало влияние не только на развитие растений в опытах, но и на действие органических удобрений на почву и 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.

На поле Омского ГАУ опытный участок был представлен агрочерноземом квазиглееватым абрадированным среднепахотным малогумусированным легкосуглинистым (Полевой определитель..., 2008). По классификации почв 1977 г. почва отнесена к лугово-черноземной очень маломощной слабогумусированной легкосуглинистой и является среднеэродированной.

Почвенный покров опытных участков в д. Сосновка представлен агрочерноземами квазиглееватыми среднепахотными сильногумусированными тяжелосуглинистым и среднесуглинистым (по классификации почв 1977 г. лугово-черноземной маломощной малогумусной тяжелосуглинистой и среднесуглинистой почвами).

На опытном поле ОмГАУ опыты закладывали в 2016 (опыт 1) и 2017 (опыт 2) гг. Схема включала варианты с твердой фракцией навоза в дозах: контроль; навоз 20 т/га; навоз 30 т/га; навоз 40 т/га; навоз 50 т/га; навоз 60 т/га. Химический состав навоза при естественной влажности: N – 0,57-0,59%, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> – 0,11%, K<sub>2</sub>O – 0,14-0,21%, органическое вещество 81,2-82,1%, рН 7,4-8,0, влажность 73,6-73,7%. Возделываемая культура – мягкая яровая пшеница (*Triticum aestivum* L.) сорта Дуэт. Площадь делянки 20 м<sup>2</sup>, повторность трехкратная, расположение систематическое.

Опыты в д. Сосновка Кормиловского района были заложены в 2015 г. Схема опыта с твердой фракцией навоза: контроль; навоз 20 т/га; навоз 40 т/га; навоз 60 т/га; навоз 80 т/га; навоз 100 т/га; с жидкой фракцией: 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. Химический состав

твердой фракции навоза при естественной влажности: N – 0,58%, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> – 0,10%, K<sub>2</sub>O – 0,20%, органическое вещество 81,0%, рН 8,20, влажность 73,9%; жидкой фракции: N – 0,24%, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> – 0,03%, K<sub>2</sub>O – 0,10%, органическое вещество 1,70%, рН 8,30, влажность 95,5%. В опытах выращивали мягкую яровую пшеницу сорта Память Азиева. Опыты проводили в 3-х кратной повторности, площадь делянок 50 м<sup>2</sup>, расположение систематическое.

Внесение различных фракций навоза осуществляли весной до посева с последующей заделкой под вспашку на глубину 20 см. Агротехника в опытах являлась общепринятой для зоны. Почвенные пробы отбирали после уборки пшеницы буром на глубину 0-20 см. В отобранных пробах определяли содержание гумуса методом Тюрина И.В. в модификации Симакова В.Н. с дополнениями Никитина Б.А.; групповой и фракционный состав гумуса по Тюрину И.В. в модификации Пономаревой В.В. и Плотниковой Т.А.; содержание подвижных гумусовых веществ в соответствии с методикой Санкт-Петербургского аграрного университета с различными экстрагентами; активность инвертазы по Купревичу В.Ф. с конечным определением сахаров по Бертрану; активность уреазы по Гоффману с колориметрическим окончанием; активность каталазы газометрическим методом. Обменно-поглощенные катионы вытесняли 1н уксуснокислым аммонием, содержание Ca<sup>2+</sup> и Mg<sup>2+</sup> определяли трилометрически, Na<sup>+</sup> – методом пламенной фотометрии, рН водной суспензии потенциометрическим методом. Общий азот определен по Кьельдалю, нитратный азот – дисульфофеноловым методом по Грандваль-Ляжу; подвижные фосфор и калий методом Чирикова в модификации ЦИНАО; подвижные формы меди, кобальта, цинка, марганца в 1н ацетатно-аммонийном буфере с рН 4,8 по Крупскому и Александровой атомно-абсорбционным методом; подвижный молибден по Григгу в модификации ЦИНАО. Гранулометрический состав почвы устанавливали пирофосфатным методом, структурно-агрегатный состав – по Саввинову Н.И., водопрочность структуры – по Андрианову П.И. в модификации Качинского Н.А. Величину энергopotенциала почв рассчитывали согласно методике, изложенной в руководствах (Орлов, Гришина, 1980; Ермохин, 2020).

Целлюлозоразрушающую способность почвы определяли в полевых и лабораторных опытах аппликационным методом (Звягинцев, 1991) с экспозицией хлопчатобумажных полотен 30, 60 и 90 суток. Фитотоксичность почвы определяли с помощью биотеста по методике Минеева В.Г. с соавторами (1991). В качестве тест-культуры использовали семена редиса (*Raphanus sativus* L.) сорта 18 дней. 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**

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<sub>орг</sub> 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 1).



Применение твердой фракции свиного навоза способствовало увеличению содержания и запасов углерода органического вещества в пахотном слое агрочернозема. За год действия навоза к концу вегетации они увеличились на 6,90-33,6% по отношению к контролю при существенном возрастании содержания  $C_{орг}$  начиная с дозы удобрения 30 т/га и более.

В первый год последействия твердой фракции навоза существенное увеличение  $C_{орг}$  (11,8-28,6%) наблюдалось в вариантах с дозами от 40 т/га и более.

Таблица 1 – 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 <sub>05</sub> | 0,08                 | 1,76 | 0,11                          | 2,53 | 0,16                          | 3,62 | 0,12                          | 2,76 |

Во второй год последействия удобрения сохранялась тенденция к возрастанию  $C_{орг}$  в почве, но существенное увеличение наблюдалось при его максимальной дозе. Уровень содержания  $C_{орг}$  в третий год последействия возрастал по отношению к контролю на 11,4-23,7% в вариантах с дозами навоза, превышающими 30 т/га.

Между содержанием  $C_{орг}$  и дозой навоза во все годы исследований была установлена сильная корреляционная зависимость ( $r = 0,70-0,98$ ). Внесение 1 т органического удобрения в год его действия и первый год последействия увеличивало содержание углерода почвы на 0,006-0,007%; во второй и третий годы последействия – на 0,004-0,005%. В опыте 2 были получены сходные по характеру влияния навоза результаты.

В полевых опытах в ООО «РУСКОМ-Агро» определяли содержание  $C_{орг}$  в первый год последействия твердой и жидкой фракций свиного навоза. Агрочерноземы имели среднее содержание и запасы гумуса (5,55-5,95% и 74,1-79,4 т/га, соответственно). В опыте с применением твердой фракции навоза в вариантах с его дозами от 20 до 100 т/га наблюдался более высокий уровень содержания углерода (на 1,74-14%) при количестве  $C_{орг}$  3,45% на контроле. Была установлена сильная зависимость между дозой навоза и  $C_{орг}$  ( $r = 0,98 \pm 0,07$ ). Применение 1 т удобрения обеспечивало прирост  $C_{орг}$  на 0,005%. В опыте с последействием жидкой фракции навоза в дозах 100-250 т/га количество углерода органического вещества было больше на 6,2-16,1% по сравнению с контролем (3,22%). Связь между дозой удобрения и  $C_{орг}$  была средней ( $r = 0,51$ ), что было обусловлено как небольшим содержанием органического вещества в жидкой фракции, так и пространственным варьированием углерода в почве.

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

Качественный состав гумуса отражает характер влияния на почву различных агрогенных воздействий, в том числе применения удобрений. Исследуемый агрочернозем слабогумусированный легкосуглинистый характеризовался преобладанием гуминовых кислот, среди которых доминировала фракция ГК2 (44,7-49,2% Сгк). В составе фульвокислот преобладала фракция ФК2 (33,8-41,2% от их суммы). Тип гумуса почвы – фульватно-гуматный (Сгк:Сфк = 1,49-1,79) (таблица 2).

Таблица 2 – 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 <sub>общ</sub> , % | Сгк, % от С <sub>общ</sub> |      |      |        | Сфк, % от С <sub>общ</sub> |      |      |      |        |
|---------------------------------------|----------------------|----------------------------|------|------|--------|----------------------------|------|------|------|--------|
|                                       |                      | 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   |

Применение твердой фракции навоза в год его действия способствовало увеличению содержания гуминовых кислот по сравнению с контролем. Среди них возросла доля свободных ГК на 13,9% и 71,5% в вариантах с дозами навоза 20 и 60 т/га, соответственно. Одновременно наблюдалось увеличение содержания фракций ГК2 на 19-33% и ГК3 на 21-21,7%. В составе фульвокислот резких изменений не наблюдалось. Увеличение доли ГК в составе гумуса привело к изменению его типа до гуматного (Сгк:Сфк = 2,00-2,21). В годы последействия удобрения сохранялись выявленные изменения состава гумуса, что и в год его действия. Однако к второму году последействия наблюдалось уменьшение Сгк:Сфк до 1,94-1,95. В вариантах с максимальной дозой твердой фракции навоза тип гумуса оставался гуматным.

При последействии твердой фракции навоза в дозах 20-80 т/га на агрочерноземе сильногумусированном тяжелосуглинистом (ООО «РУСКОМ-Агро») было отмечено увеличение общего количества гуминовых кислот на 15-26%. При этом отношение Сгк:Сфк увеличивалось до 2,24-2,28 при его значении на контроле – 1,94. Жидкая фракция свиного навоза в период последействия приводила к увеличению доли фульвокислот в агрочерноземе сильногумусированном среднесуглинистом, снижению

в них гуминовых кислот и уменьшению Сгк:Сфк от 1,97 до 1,76.

### **3.3 Показатели гумусного состояния агрочерноземов в зависимости от применения свиного навоза**

Проведенные исследования позволили выявить изменения основных показателей гумусного состояния агрочерноземов в зависимости от применения органических удобрений. Состояние органического вещества агрочернозема легкосуглинистого было неудовлетворительным. Внесение твердой фракции навоза в почву способствовало увеличению содержания и запасов гумуса (на 5,26-33,6%), доли свободных ГК1 до 25%, степени гумификации, расширению соотношения Сгк:Сфк и трансформации типа гумуса от фульватно-гуматного до гуматного.

Аналогичные изменения гумусового состояния отмечались в первый год последействия твердой фракции на агрочерноземе сильногумсированном тяжелосуглинистом: увеличение содержания и запасов гумуса (на 1,68-14,1%), доли ГК и их фракции, связанной с кальцием (на 10,5-27,8%), степени гумификации и расширение соотношения Сгк:Сфк. В опыте с последействием жидкой фракции навоза установлена тенденция к увеличению доли свободных и прочно связанных ГК (на 14,5-22,0% и 10,2-58,8%, соответственно) при уменьшении степени гумификации и сужении отношения Сгк:Сфк с 1,97 до 1,76-1,78 при сохранении фульватно-гуматного типа.

Отношение С:N в пахотном слое агрочернозема легкосуглинистого при валовом содержании азота 0,11-0,13% было низким и средним (10,6-12,2). Внесение твердой фракции навоза в дозе 60 т/га способствовало увеличению содержания азота в почве до 0,18% и уменьшению С:N в год действия. В последующие годы закономерных изменений соотношения С и N в вариантах с удобрением не наблюдалось при значительных колебаниях его от 10,9 до 16,4.

В агрочерноземах сильногумсированных средне- и тяжелосуглинистом содержание валового азота было значительно больше: 0,37-0,40%, отношение С:N среднее и низкое. При последействии твердой фракции навоза наблюдался более высокий уровень содержания азота в почве и уменьшение величины С:N до 10,5-6,38 при 11,1 на контроле, что может свидетельствовать об усилении минерализации органического вещества. Однако прямая зависимость величины С:N от дозы удобрения не наблюдалась. В опыте с последействием жидкой фракции навоза, напротив, отмечалось расширение отношения С:N от среднего (9,24) на контроле до низкого (11,1-13,7) в вариантах с навозом.

### **3.4 Влияние свиного навоза на содержание подвижных гумусовых веществ**

В современных исследованиях особое внимание уделяется подвижным гумусовым веществам, которые играют важную роль в плодородии и питании растений. Нами было изучено влияние разных фракций свиного навоза на содержание гумусовых соединений, извлекаемых водой, раствором щелочи (0,1н NaOH) и пирофосфата натрия (0,1н Na<sub>4</sub>P<sub>2</sub>O<sub>7</sub> с pH = 7).

В результате исследований было установлено, что содержание С<sub>Н2О</sub> в агрочерноземе малогумсированном легкосуглинистом (опыты 1, 2) на контроле было небольшим (120-240 мгС/кг) и составляло 1-1,9% содержания общего углерода (рисунок 1). Применение твердой фракции навоза способствовало увеличению содержания водорастворимого гумуса в период его действия и последействия

пропорционально дозе удобрения до 220-490 мгС/кг (1,9-3,2%  $C_{\text{общ}}$ ) при значении коэффициентов корреляции  $r = 0,69-0,96$ .

Содержание водорастворимых гумусовых веществ в агрочерноземах сильногумусированных средне- и тяжелосуглинистом было существенно больше (330-370 мгС/кг) при небольшой их доле (1-1,1%) от общего углерода. Применение твердой фракции навоза обеспечивало увеличение  $C_{\text{H}_2\text{O}}$  на 21,6-64,9% (рисунок 2). Зависимость между дозой удобрения и количеством  $C_{\text{H}_2\text{O}}$  характеризовалась как сильная ( $r = 0,91$ ). Жидкая фракция навоза также способствовала существенному увеличению  $C_{\text{H}_2\text{O}}$  на 81,8-127,3% в зависимости от дозы удобрения ( $r = 0,76$ ).

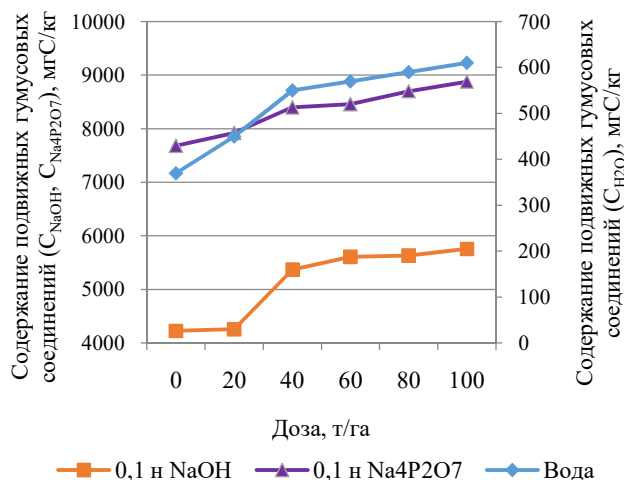
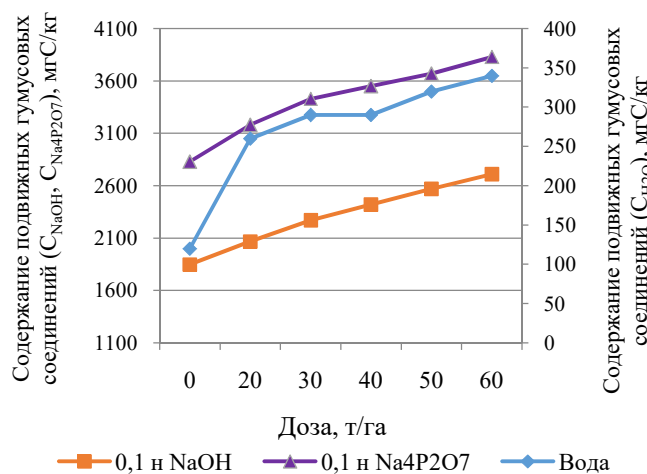


Рисунок 1 – Влияние твердой фракции свиного навоза на содержание подвижных гумусовых соединений в агрочерноземе квазиглееватом легкосуглинистом (опыт 1, опытное поле Омского ГАУ, 2016 г., год действия навоза)

Рисунок 2 – Влияние твердой фракции свиного навоза на содержание подвижных гумусовых соединений в агрочерноземе квазиглееватом тяжелосуглинистом (ООО «РУСКОМ-Агро», 1-й год последействия, 2016 г.)

Применение в качестве экстрагента раствора 0,1н NaOH способствовало извлечению из почвы большего количества подвижных гумусовых соединений. Содержание углерода подвижного гумуса в агрочерноземе легкосуглинистом варьировало в диапазоне 1360-1850 мгС/кг (10,2-16%  $C_{\text{орг}}$ ) и ориентировочно оценивалось как низкое. Применение твердой фракции свиного навоза способствовало увеличению количества подвижных гумусовых веществ в агропочве в разные годы до 1880-2710 мгС/кг (12,2-17,5%  $C_{\text{орг}}$ ) при  $r = 0,88-0,96$ . Одна тонна твердой фракции способствовала увеличению  $C_{0,1\text{н NaOH}}$  на 4,46-14,6 мгС/кг.

Количество  $C_{0,1\text{н NaOH}}$  в агрочерноземах сильногумусированных в опытах с твердой и жидкой фракциями навоза составляло 4020-4230 мгС/кг. Применение 1 т твердой фракции навоза в период последействия увеличивало содержание  $C_{0,1\text{н NaOH}}$  на 17 ( $r = 0,85$ ), жидкой фракции – на 3,42 мгС/кг ( $r = 0,88$ ).

Пирофосфатная вытяжка извлекала наибольшее количество углерода органического вещества по сравнению с другими экстрагентами. Содержание  $C_{0,1\text{н Na}_4\text{P}_2\text{O}_7}$  в агрочерноземе легкосуглинистом без удобрения составляло 2180-2830 мгС/кг (17,9-24,4%  $C_{\text{орг}}$ ). Применение 1 т твердой фракции навоза увеличивало количество  $C_{0,1\text{н Na}_4\text{P}_2\text{O}_7}$  на 2,3-20,2 мгС/кг ( $r = 0,93-0,99$ ).

Количество углерода, извлекаемого  $0,1n \text{ Na}_4\text{P}_2\text{O}_7$  из агрочерноземов сильногумусированных составляло 7560-7680 мгС/кг (22,3-23,5%  $C_{\text{орг}}$ ). При последствии твердой фракции навоза в дозах от 40 т/га и больше содержание  $C_{0,1n \text{ Na}_4\text{P}_2\text{O}_7}$  превышало контроль на 9,4-15,6% ( $r = 0,97$ ). Жидкая фракция навоза в период последствия способствовала увеличению данного показателя на 5-13,9% ( $r = 0,89$ ). Одна тонна твердой фракции увеличивала содержание  $C_{0,1n \text{ Na}_4\text{P}_2\text{O}_7}$  на 12, жидкого – на 4,0 мгС/кг. В целом, проведенные исследования указывают на положительное влияние свиного навоза, особенно его твердой фракции на показатели гумусного состояния агрочерноземов. Даже однократное внесение в почву навоза способствовало замедлению процессов деградации и увеличению ее плодородия.

#### **4 ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ ПОТЕНЦИАЛ АГРОЧЕРНОЗЕМОВ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ПРИМЕНЕНИЯ СВИНОГО НАВОЗА**

Одной из важнейших функций гумуса является аккумуляция в нем химически связанной энергии, поэтому было изучено изменение запасов энергии в агрочерноземах в условиях применения свиного навоза.

Агрочернозем легкосуглинистый малогумусированный обладал низким содержанием органического вещества в слое 0-20 см и в связи с этим низкими энергетическими запасами (966-1136 гДж/га). Твердая фракция навоза в дозах от 20 до 60 т/га обеспечивала их прирост до 1011-1365 гДж/га. Увеличение количества энергии в определенной степени было обусловлено возрастанием концентрации подвижных гумусовых соединений: на 10,8-57,7% относительно контроля. На их долю приходилось 13,5-16% общих запасов энергии гумусовых веществ.

Агрочерноземы сильногумусированные имели большие запасы энергии (2693-2764 гДж/га). При внесении различных фракций удобрения энергопотенциал увеличивался до 2859-3382 гДж/га. Жидкая фракция свиного навоза увеличивала количество энергии в меньшей степени, чем твердая: на 3,4-16,2% вариантах с дозами от 50 до 250 т/га. Таким образом, использование различных фракций свиного навоза способствовало увеличению энергопотенциала агрочерноземов за счет возрастания в них содержания углерода органического вещества.

#### **5 БИОЛОГИЧЕСКАЯ АКТИВНОСТЬ АГРОЧЕРНОЗЕМОВ В УСЛОВИЯХ ПРИМЕНЕНИЯ СВИНОГО НАВОЗА**

##### **5.1 Влияние навоза на целлюлозолитическую активность почв**

Целлюлозоразрушающая способность почвы изучалась в полевых и лабораторных опытах. В полевых условиях она зависела от срока экспозиции, дозы навоза и гидротермических условий (температуры воздуха и количества осадков). Почва контрольного варианта на опытном поле ОмГАУ во все годы исследований характеризовалась слабой целлюлозоразрушающей способностью (Методы почвенной микробиологии ..., 1991), связанной с низким содержанием в нем гумуса, валового (0,11-0,13%) и нитратного азота (4,48 мг/кг до посева), длительным использованием в пашне. Разложение клетчатки за вегетационные периоды 2017-2019 гг. составляло 7,2-16,8% (рисунок 3). Результаты опытов свидетельствуют о существенном увеличении целлюлозоразрушающей способности агрочернозема при внесении твердой фракции свиного навоза. Разложение хлопчатобумажных аппликаторов за 90 суток экспозиции увеличивалось по сравнению с контролем при дозе удобрения 20 т/га на 22,9% в год

действия и 9,1-48,6% в годы последействия; при дозе 60 т/га – на 112 и 70,5-129%, соответственно. Варьирование показателей скорости и интенсивности деструкции целлюлозы зависело от метеорологических условий, они были больше во влажные периоды.

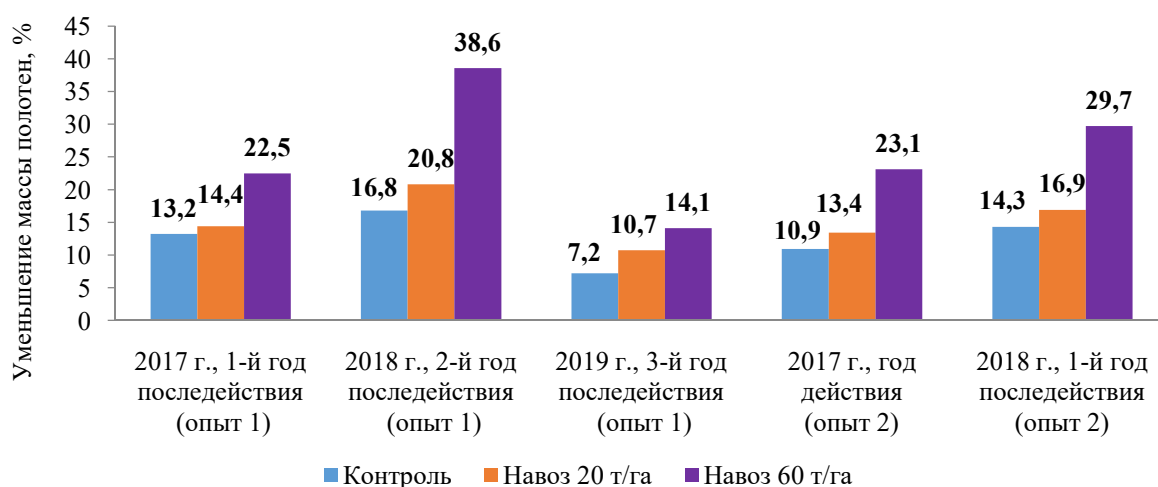


Рисунок 3 – Влияние действия и последействия твердой фракции свиного навоза на целлюлозоразрушающую способность слоя 0-20 см агрочернозема квазиглееватого за 90 суток (в 2019 г. за 60 суток) в полевых опытах (*НСР<sub>05</sub> в 2017 г. – 2,25 в год действия и 2,76 – в 1-й год последействия; в 2018 г. – 2,67 в 1-й год последействия и 2,06 во 2-й год последействия; в 2019 г. – 1,12 %*)

Была установлена существенная взаимосвязь целлюлозолитической активности агрочернозема с содержанием подвижных форм N-NO<sub>3</sub>, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, K<sub>2</sub>O ( $r = 0,74; 0,61$  и  $0,79$ , соответственно). Активизация деятельности целлюлозоразрушающих микроорганизмов также могла быть обусловлена увеличением содержания подвижных гумусовых веществ.

Полученные результаты подтверждались данными лабораторных опытов. Целлюлозолитическая активность агрочернозема в лабораторных условиях при оптимальной влажности почвы была в среднем на 30% больше, по сравнению с полевыми опытами. Твердая фракция навоза вызвала увеличение разложения аппликаторов в год действия на 26,1-35,8%. В годы последействия удобрения влияние дозы 20 т/га на целлюлозоразрушающую способность было неустойчивым, доза 60 т/га увеличивала ее на 16,8-33,7%.

В лабораторном опыте на агрочерноземе сильногумусированном среднесуглинистом интенсивность разложения целлюлозы за 60 суток (35,7%) превышала данный показатель на агрочерноземе малогумусированном легкосуглинистом. Дозы жидкой фракции навоза от 50 до 300 т/га увеличивали скорость и интенсивность разложения полотен на 14-26,6% при максимальном действии дозы 150 т/га. Таким образом, результаты проведенных полевых и лабораторных опытов показали, что применение разных фракций свиного навоза способствует усилению интенсивности процессов разложения и трансформации органического вещества почвы.

## 5.2 Влияние навоза на ферментативную активность почвы

Ферментативная активность почвы служит одним из важнейших диагностических показателей ее экологического состояния и плодородия. В наших опытах были проведены исследования активности почвенных ферментов, относящихся к классу гидролаз и оксидоредуктаз: каталазы, инвертазы и уреазы.

Агрочернозем малогумусированный легкосуглинистый в период исследований оценивался как бедный по содержанию каталазы (1,37-1,87 (см<sup>3</sup> O<sub>2</sub>/мин.)/г) и инвертазы (4,9-7,0 мг инвертного сахара/г·сутки) и очень бедный – по содержанию уреазы (0,19-0,37 мг NH<sub>3</sub>/г·сутки). Динамика активности ферментов по годам, вероятно, была обусловлена изменением гидротермических условий.

В вариантах с твердой фракцией навоза наблюдалось усиление деятельности ферментов, зависящее от дозы удобрения, срока его действия и последействия. В год действия навоза наиболее существенно увеличивалась активность уреазы: на 8,1-15,8% при дозе 20 т/га, на 18,9-68,4% – при дозе 60 т/га. В меньшей степени возрастала активность каталазы: на 4,4-8,8% и на 5,8-13,5%, соответственно. Инвертазная активность почвы не изменялась.

В годы последействия удобрения продолжалось его влияние на активность уреазы, которая увеличивалась на 20-60% и каталазы – на 3,2-14,6%. В отдельные годы происходила активизация инвертазы (на 4,1-26,5%) при максимальной дозе навоза. Во 2-й год последействия четкой зависимости уреазной и инвертазной активности почвы от дозы навоза не наблюдалось.

Агрочернозем сильногумусированный тяжелосуглинистый характеризовался большей активностью уреазы (0,41 мг NH<sub>3</sub>/г·сутки) и инвертазы (15,1 мг инвертного сахара/г·сутки) при содержании каталазы 1,84 (см<sup>3</sup>O<sub>2</sub>/мин.)/г. В первый год последействия твердой фракции навоза в удобренных вариантах наблюдалось увеличение активности каталазы на 30,4-40,2% и инвертазы на 39,0-57,6% по сравнению с контролем. Действие уреазы наиболее существенно (на 29,3%) увеличивалось при последействии высокой дозы удобрения – 100 т/га.

Применение жидкой фракции свиного навоза на агрочерноземе сильногумусированном среднесуглинистом также вызывало увеличение активности ряда ферментов. На удобренных вариантах деятельность каталазы превышала контроль на 15,1-16,8%, уреазы – в 1,9 раза, при этом отсутствовала прямая зависимость от дозы навоза. Жидкая фракция навоза не оказала влияние на инвертазную активность.

Таким образом, исследованиями было установлено, что твердая и жидкая фракции навоза способствуют активизации деятельности ферментов агрочерноземов, прежде всего – уреазы и каталазы.

## 5.3 Оценка фитотоксичности почв

Была проведена оценка фитотоксичности почвы, как одного из показателей ее экологического состояния, в условиях применения твердой фракции свиного навоза. Результаты исследований показали, что в почвенных пробах контрольного варианта за годы исследований общая фитотоксичность в основном отсутствовала. Снижение длины корешков тест-культуры (редиса) на 1,27% было установлено в первый год последействия органического удобрения (опыт 1), однако оно было на уровне абсолютного контроля (стерильной воды). Слабый фитотоксический эффект также отмечался в первый год последействия навоза в опыте 2 (– 26,2% к абсолютному

контролю). В остальные годы показатель средней длины корешков тест-культуры в неудобренной почве превышал контроль на 15,4-26,7%.

В вариантах с применением твердой фракции почвенная токсичность за весь период исследований не проявлялась. В год ее действия в вариантах с дозой 20 т/га установлено увеличение длины корешков на 8,7-22%, с дозой 60 т/га – на 0,23-17,5%. В 1-3 годы последствия органического удобрения в вариантах с его применением наблюдалось стимулирование развития корней и увеличение их длины на 13,1-38,4%.

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

### 6.1 Состав обменно-поглощенных катионов и реакция среды

Почвенное плодородие существенно зависит от физико-химических свойств почвы: содержания и соотношения обменно-поглощенных катионов, суммы оснований, реакции среды. Агрочернозем малогумусированный легкосуглинистый характеризовался низкой для почв черноземного ряда суммой обменных оснований (12,2-14,9 ммоль/100 г), обусловленной низким содержанием физической глины (22,8%) и ила (13,3%), эродированностью, низким содержанием гумуса. В составе катионов преобладал  $\text{Ca}^{2+}$  (69,4-81,3%) при доле  $\text{Mg}^{2+}$  16,4-26,7% и  $\text{Na}^+$  – 1,95-3,89% (таблица 3).

Таблица 3 – Физико-химические свойства слоя 0-20 см агрочернозема квазиглееватого легкосуглинистого в условиях применения твердой фракции свиного навоза (опыт 1, опытное поле Омского ГАУ)

| Вариант   | рН <sub>вод</sub> | $\text{Ca}^{2+}$ |      | $\text{Mg}^{2+}$ |      | $\text{Na}^+$   |      | S*,<br>ммоль/<br>100 г |
|---|-------------------|------------------|------|------------------|------|-----------------|------|------------------------|
|   |                   | ммоль/<br>100 г  | %    | ммоль/<br>100 г  | %    | ммоль/<br>100 г | %    |                        |
| 2016 г., год действия навоза                                |                   |                  |      |                  |      |                 |      |                        |
| Контроль  | 6,62              | 9,58             | 73,7 | 2,92             | 22,5 | 0,48            | 3,69 | 13,0                   |
| Навоз 20 т/га   | 6,76              | 10,4             | 71,7 | 3,60             | 24,8 | 0,48            | 3,31 | 14,5                   |
| Навоз 30 т/га   | 6,47              | 10,6             | 71,6 | 3,63             | 24,5 | 0,52            | 4,26 | 14,8                   |
| Навоз 40 т/га   | 6,50              | 10,7             | 70,9 | 3,83             | 25,4 | 0,57            | 4,44 | 15,1                   |
| Навоз 50 т/га   | 6,46              | 11,0             | 70,5 | 4,03             | 25,8 | 0,55            | 4,74 | 15,6                   |
| Навоз 60 т/га   | 6,42              | 11,2             | 71,8 | 4,20             | 26,9 | 0,24            | 1,54 | 15,6                   |
| 2017-2019 гг. (средние значения за весь период последствия) |                   |                  |      |                  |      |                 |      |                        |
| Контроль  | 6,50              | 10,5             | 78,9 | 2,36             | 17,7 | 0,49            | 3,68 | 13,3                   |
| Навоз 20 т/га   | 6,50              | 10,4             | 77,6 | 2,63             | 17,6 | 0,35            | 2,61 | 13,4                   |
| Навоз 30 т/га   | 6,53              | 10,1             | 69,7 | 4,03             | 27,8 | 0,38            | 2,62 | 14,5                   |
| Навоз 40 т/га   | 6,57              | 10,6             | 70,7 | 4,03             | 26,9 | 0,41            | 2,73 | 15,0                   |
| Навоз 50 т/га   | 6,53              | 10,4             | 68,0 | 4,47             | 29,2 | 0,40            | 2,61 | 15,3                   |
| Навоз 60 т/га   | 6,56              | 10,7             | 69,0 | 4,33             | 28,3 | 0,46            | 2,97 | 15,5                   |

Примечание. \* – сумма поглощенных оснований.

В год внесения твердой фракции навоза происходило увеличение данного показателя за счет возрастания содержания обменных  $\text{Ca}^{2+}$  и  $\text{Mg}^{2+}$ . В годы



последствия навоза при его дозах от 30 т/га и более сохранялось более высокое содержание в почве обменно-поглощенного  $Mg^{2+}$ .

В год последствия твердой фракции навоза в пахотном слое агрочернозема сильногумусированного тяжелосуглинистого отмечалось превышение величины суммы (39,7-45,5 ммоль/100 г) и содержания  $Ca^{2+}$  (32,0-36,3 ммоль/100 г) относительно контроля – 39,7 и 25,0 ммоль/100 г, соответственно. При последствии жидкой фракции навоза определенной зависимости между ее дозами и содержанием обменно-поглощенных катионов не было установлено.

Реакция среды пахотного слоя исследованных агрочерноземов изменялась от слабокислой до близкой к нейтральной. Внесение навоза (рН 7,4-8,3) не приводило к ее существенному изменению. В целом, проведенные исследования свидетельствуют о стабильности физико-химических свойств исследуемых агрочерноземов при использовании свиного навоза и о положительных тенденциях изменения в них количества обменных катионов.

## 6.2 Структурное состояние агрочерноземов

Структура почвы оказывает важное влияние на свойства и режимы почв, и в целом, на их плодородие. В опытах на агрочерноземе малогумусированном легкосуглинистом были проведены исследования показателей структурного состояния почвы в зависимости от применения навоза (таблица 4).

Таблица 4 – 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                   | $K_{агр}$ | Количество АЦА, % | $K_{стр}$ | 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 последствия 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 последствия 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.  $K_{агр}$  – коэффициент агрегированности, рассчитан как сумма агрегатов (%) >0,50 мм;  $K_{стр}$  – 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 НСР<sub>05</sub> для количества водопрочных агрегатов в 2016 г. 6,33%, в 2017 г. 8,67%, в 2018 г. 9,46%.

Полученные результаты показали, что пахотный слой агрочернозема имел хорошее состояние по содержанию агрономически ценных агрегатов, среднюю и хорошую степень агрегированности. Однако неблагоприятным свойством структуры

являлась низкая водоустойчивость, обусловленная низким содержанием гумуса, илистой фракции, обменно-поглощенного кальция.

Твердая фракция свиного навоза не оказывала закономерного влияния на агрегированность и размеры почвенных агрегатов в среднем за весь период наблюдений. В то же время ее доза 60 т/га способствовала увеличению количества водопрочных агрегатов на 67% в год действия и в 1,8-2,5 раза – в первый и второй годы последействия, что связано с увеличением содержания в почве органического вещества, гуминовых кислот, подвижных гумусовых веществ и суммы обменно-поглощенных катионов.

## **7 ВЛИЯНИЕ НАВОЗА НА СОДЕРЖАНИЕ ЭЛЕМЕНТОВ ПИТАНИЯ В АГРОЧЕРНОЗЕМАХ**

Органические удобрения являются регулятором баланса биофильных элементов в агроэкосистемах. Проведенные исследования показали, что свиной навоз оказал существенное влияние на агрохимические параметры плодородия агрочерноземов.

Внесение его твердой фракции в дозах 20-60 т/га обеспечивало поступление в почву азота 114-354 кг/га, фосфора 22-66 кг/га, калия 28-144 кг/га; жидкая фракция в дозах 50-300 т/га – азота 120-720, фосфора 15-90 и калия 30-300 кг/га. В период вегетации яровой пшеницы под действием твердой фракции удобрения наиболее существенно увеличилось содержание нитратного азота от очень низкого (2,3-3,4 мг/кг) до высокого и очень высокого (25-47 мг/кг). Содержание подвижного фосфора возросло на 45-77%, калия – на 5-14% при их содержании на контроле 101-105 мг/кг и 337-344 мг/кг, соответственно. Между дозой навоза и содержанием элементов питания в почве существовала сильная связь ( $r = 0,92-0,94$  для  $N-NO_3$ ;  $0,95-0,97$  для  $P_2O_5$ ;  $0,76-0,92$  для  $K_2O$ ). В период последействия удобрения сохранялся более высокий уровень содержания фосфора, а также азота при максимальной дозе навоза. Применение жидкой фракции навоза в дозах 50-300 т/га в первую очередь обеспечивало увеличение содержания нитратного азота с 2,55 до 10-35 мг/кг, в меньшей степени подвижного калия (с 215 до 257 мг/кг) при отсутствии влияния на содержание фосфора.

В первые два года после внесения навоза в дозе 60 т/га в агрочерноземе существенно увеличивались концентрации подвижных форм микроэлементов: Zn и Mo от низких до высоких (с 0,88-1,01 до 2,87-3,87 мг/кг и с 0,15 до 0,43 мг/кг), Cu – от низкой до средней (с 0,09-0,10 до 0,13-0,21 мг/кг).

Улучшение режима питания на фоне положительных изменений количества и качества органического вещества, усиления биологической активности обеспечило повышение эффективного плодородия и урожайности пшеницы на агрочерноземе малогумусированном легкосуглинистом на 6,7-34% при использовании твердой фракции; на агрочерноземе сильногумусированном среднесуглинистом на 23,6-42,1% под действием жидкой фракции.

Анализ поступления в почвы нормируемых в органических удобрениях Cd, Pb, Hg, As указывает на то, что применяемые дозы навоза являются экологически безопасными. Вместе с твердой фракцией навоза в пахотный слой агрочерноземов было внесено Pb – 18-83, Cd – 1,7-6,0, Hg – 0,05-0,33, As – 4,8-49 г/га, с жидкой – 1,45-8,7; 0,18-1,05; 0,0017-0,01; 0,25-1,52 г/га, что незначительно влияло на их концентрацию в почвах.

## 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 ( $C_{\text{орг}}$ ) 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  $C_{\text{орг}}$  до 14%; при последействии доз 100-300 т/га жидкой фракции – на 7-16% по отношению к контролю. Между дозой твердого навоза и содержанием  $C_{\text{орг}}$  установлена сильная зависимость ( $r = 0,70-0,98$ ), с жидкой фракцией – средняя ( $r = 0,51$ ). Каждая тонна твердой фракции навоза обеспечивала увеличение содержания  $C_{\text{орг}}$  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  $C_{\text{гк}}:C_{\text{фк}}$  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  $C_{\text{гк}}:C_{\text{фк}}$  от 1,97 до 1,76.

3. Внесение в почву свиного навоза приводило к увеличению содержания углерода подвижных гумусовых веществ, извлекаемых водой ( $C_{\text{H}_2\text{O}}$ ), растворами щелочи ( $C_{0,1\text{H NaOH}}$ ) и пиродифосфата натрия ( $C_{0,1\text{H Na}_4\text{P}_2\text{O}_7}$ ). Наиболее сильное влияние на них оказывала твердая фракция в дозах 30-40 т/га и более. Внесение одной тонны удобрения увеличивало содержание  $C_{\text{H}_2\text{O}}$  в период действия и последействия на 2,3-4,3 мгС/кг ( $r = 0,69-0,91$ ),  $C_{0,1\text{H NaOH}}$  – на 9,2-17 мгС/кг ( $r = 0,88-0,96$ ),  $C_{0,1\text{H Na}_4\text{P}_2\text{O}_7}$  – на 5,6-20 мгС/кг ( $r = 0,93-0,99$ ). Одна тонна жидкой фракции свиного навоза в период последействия вызывала увеличение  $C_{\text{H}_2\text{O}}$  на 1,2 мгС/кг,  $C_{0,1\text{H NaOH}}$  на 3,4 мгС/кг,  $C_{0,1\text{H Na}_4\text{P}_2\text{O}_7}$  – 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 последействия твердого свиного навоза в дозах 20 и 60 т/га не обнаруживалось проявление фитотоксичности агрочернозема. Исследования целлюлозолотической 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<sub>3</sub>, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, K<sub>2</sub>O ( $r = 0,74; 0,61$  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 последействия 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 последействия 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 последствия обеспечивает увеличение в слое 0-20 см почв углерода органического вещества ( $C_{\text{орг}}$ ) на 30-70 мгС/кг, углерода подвижных гумусовых веществ:  $C_{\text{H}_2\text{O}}$  на 2,3-4,3 мгС/кг,  $C_{0,1\text{H NaOH}}$  – на 9,2-17 мгС/кг;

– 1 тонна жидкой фракции в год последствия способствует увеличению  $C_{\text{орг}}$  на 9 мгС/кг,  $C_{\text{H}_2\text{O}}$  на 1,24 мгС/кг,  $C_{0,1\text{H NaOH}}$  – 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 ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ**

#### **Публикации в рецензируемых изданиях**

1. Алексеева Ж.Л. Влияние свиного навоза на гумусное состояние агрочернозема квазиглееватого южной лесостепи Омского Прииртышья / Ж.Л. Алексеева, Ю.А. Азаренко // Вестник Омского государственного аграрного университета. – 2020. – № 2 (38). – С. 22-32.

2. Алексеева Ж.Л. Влияние органического удобрения на целлюлозоразрушающую способность агрочернозема квазиглееватого / Ж.Л. Алексеева, Ю.А. Азаренко // Агрехимический вестник. – 2022. – № 6. – С. 21-27.

3. Алексеева Ж.Л. Влияние твердой фракции свиного навоза на структурное состояние агрочернозема квазиглееватого / Ж.Л. Алексеева, Ю.А. Азаренко // Вестник Омского государственного аграрного университета. – 2023. – № 23 (51). – С. 17-25.

#### **Публикации в базе Web of Science**

4. Alekseeva Z.L. The effect of the solid fraction of pig manure on the biological activity of agrochernozem / Y.A. Azarenko, Z.L. Alekseeva, N.V. Goman // International Conference on World Technological Trends in Agribusiness. IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science. – 2021. – P. 012007.

#### **Публикации в других научных изданиях**

5. Алексеева Ж.Л. Изменение показателей плодородия лугово-черноземной почвы Омского Прииртышья в условиях применения свиного навоза / Ю.А. Азаренко, Ж.Л. Алексеева // Успехи современного естествознания. – 2018. – № 12. – С. 266-271.

6. Алексеева Ж.Л. Влияние органического удобрения на ферментативную активность и фитотоксичность агрочернозема квазиглееватого / Ж.Л. Алексеева, Ю.А. Азаренко // Агрофизика. – 2022. – № 4. – С. 15-20.

7. Алексеева Ж.Л. Влияние органических удобрений на свойства лугово-черноземной почвы малого опытного поля Омского ГАУ / Ю.А. Азаренко, Ж.Л. Алексеева, К.В. Грибиниченко, А.Д. Фидцова // Экологические проблемы региона и пути их решения: материалы Национальной научно-практической конференции с международным участием (г. Омск, 13 – 15 октября 2016 г.). – С. 3-8.

8. Алексеева Ж.Л. Влияние твердой фракции свиного навоза на некоторые свойства эродированной лугово-черноземной почвы малого опытного поля Омского ГАУ / Ж.Л. Алексеева, Ю.А. Азаренко // Всемирный день охраны окружающей среды: материалы Международной научно-практической конференции (г. Омск, 05 – 06 июня 2017 г.). – С. 4-7.

9. Алексеева Ж.Л. Фракционно-групповой состав гумуса лугово-черноземной почвы малого опытного поля Омского ГАУ в условиях применения твердой фракции свиного навоза / Ж.Л. Алексеева, Ю.А. Азаренко, В.А. Михайлова // Проблемы охраны окружающей среды и рационального использования природных ресурсов: сборник I региональной (заочной) научно-практической конференции молодых ученых и обучающихся, посвященной 100-летию ОмГАУ (г. Омск, 06 декабря 2017 г.). – С. 249-254.

10. Алексеева Ж.Л. Целлюлозоразрушающая способность лугово-черноземной почвы в условиях применения свиного навоза / Ж.Л. Алексеева, Ю.А. Азаренко // Приоритетные направления научно-технического развития агропромышленного комплекса России: материалы Национальной научно-практической конференции (г. Рязань, 22 ноября 2018 г.). – С. 350-354.

11. Алексеева Ж.Л. Структурное состояние лугово-черноземной почвы в условиях применения твердой фракции свиного навоза / Ж.Л. Алексеева, Ю.А. Азаренко // Актуальные проблемы природообустройства, водопользования, агрохимии, почвоведения и экологии: материалы Всероссийской (национальной) конференции (г. Омск, 18 апреля 2019 г.). – С. 763-768.

12. Алексеева Ж.Л. Влияние свиного навоза на содержание подвижных гумусовых веществ в агрочерноземе / Ж.Л. Алексеева, Ю.А. Азаренко // Современное состояние и проблемы рационального использования почв Сибири: материалы Международной научно-практической конференции, посвященной 100-летию образования кафедры почвоведения (г. Омск, 1 – 2 октября 2020 г.). – С. 58-62.

13. Алексеева Ж.Л. Влияние органического удобрения на показатели плодородия агрочерноземов южной лесостепи Омского Прииртышья / Ж.Л. Алексеева // Почва – стратегический ресурс России: тезисы докладов VIII съезда Общества почвоведов им. В.В. Докучаева и Школы молодых ученых по морфологии и классификации почв (г. Сыктывкар, 22 апреля – 08 июня 2021 г.). – Часть 3. – С. 361-362.

14. Алексеева Ж.Л. Влияние применения свиного навоза на величину энергопотенциала агрочернозема квазиглееватого / Ж.Л. Алексеева, Ю.А. Азаренко // Экологические чтения – 2022: сборник материалов XIII Национальной научно-практической конференции с международным участием (г. Омск, 09 июня 2022 г.). – С. 21-25.

Отпечатано с готового оригинал-макета.  
Бумага офсетная. Гарнитура Times. Печать оперативная.  
Усл. печ. л.1. Тираж 100 экз.  
Подписано в печать 25.09.2024  
Отпечатано в типографии ИП Макшеевой Е.А.  
г. Омск, ул. Долгирева, 126, тел.: 89083194462