

Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего образования
«Воронежский государственный аграрный университет
имени императора Петра I»

На правах рукописи



Насонова Ксения Сергеевна

АГРОЭКОЛОГИЧЕСКОЕ СОСТОЯНИЕ ЧЕРНОЗЁМНЫХ ПОЧВ
ВЕРХНЕХАВСКОГО РАЙОНА ВОРОНЕЖСКОЙ ОБЛАСТИ ПРИ
УТИЛИЗАЦИИ СВИНОГО НАВОЗА

Специальность 4.1.3. Агрохимия, агропочвоведение,
защита и карантин растений (сельскохозяйственные науки)

ДИССЕРТАЦИЯ
на соискание ученой степени
кандидата сельскохозяйственных наук

Научный руководитель:
доктор сельскохозяйственных наук
Стекольников Константин Егорович

Воронеж
2023

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	4
1 ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ.....	9
1.2 Влияние длительного применения свиного навоза на компоненты природы.....	14
1.2 Утилизация отходов свиного комплекса, проблемы, пути решения	23
1.3 Экологическая безопасность промышленного производства на особо охраняемой природной территории	35
2 ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ	40
2.1 Объекты исследования	40
2.2 Условия почвообразования.....	42
2.2.1 Климат места проведения исследования	42
2.2.2 Геология и материнские породы	43
2.2.3 Рельеф и гидрография.....	44
2.2.4 Растительность	46
2.3 Методы исследования	46
3 ВЛИЯНИЕ СВИНОГО НАВОЗА НА СОСТАВ И ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ПОЧВ.....	48
3.1 Влияние свиного навоза на физико-химические свойства почв.....	48
3.2 Влияние свиного навоза на содержание и характер распределения по профилю органического вещества	57
4 ВЛИЯНИЕ СВИНОГО НАВОЗА НА СОДЕРЖАНИЕ И ХАРАКТЕР РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ПО ПРОФИЛЮ МАКРОЭЛЕМЕНТОВ.....	83
4.1 Влияние свиного навоза на содержание и характер распределения по профилю минерального азота.....	83
4.2 Влияние свиного навоза на содержание и характер распределения по профилю различных форм фосфора.....	104
4.3 Влияние свиного навоза на содержание и характер распределения по профилю подвижного фосфора.....	113
4.3 Влияние свиного навоза на содержание и характер распределения по профилю обменного калия	121

5 ВЛИЯНИЕ СВИНОГО НАВОЗА НА УРОЖАЙНОСТЬ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ КУЛЬТУР И ИХ КАЧЕСТВО.....	135
5.1 Влияние свиного навоза на урожайность и качество сельскохозяйственных культур	139
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	144
РЕКОМЕНДАЦИИ ПРОИЗВОДСТВУ.....	149
ПЕРСПЕКТИВЫ ДАЛЬНЕЙШЕЙ РАЗРАБОТКИ ТЕМЫ ИССЛЕДОВАНИЯ ..	150
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....	151

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность темы исследования. Ведение с.-х. производства и темпы его развития в современном мире значительно увеличились в своих объёмах. Основной идеей является внедрение и применения новых высокоэффективных технологий, которые позволяют в кратчайшие сроки достигать максимальных результатов. В настоящее время в нашей стране, а также непосредственно в Центральном Черноземье, наблюдается резкий рост строительства животноводческих комплексов, так называемых мегаферм на большое поголовье скота.

В настоящее время в Воронежской области производством свинины заняты 44 крупных агрохолдинга. За период с 2019 по 2022 гг. поголовье свиней выросло с 1429 тыс. голов до 1925 тыс. голов [96, 101]. Такая концентрация свиноводства создаёт проблемы с утилизацией свиного навоза. Ситуация осложняется тем, что свинокомплексы размещаются у крупных населённых пунктов, что существенно затрудняет утилизацию навоза, так как внесение его возможно на ограниченной и, как правило, недостаточной площади.

В связи с вышеизложенными аспектами проблема утилизации свиного навоза, как одного из отходов животноводства, воздействующего на окружающую среду и влияющего на физико-химический состав почв, является актуальной и требуют проведения дополнительных исследований. Это обусловило необходимость проведения настоящего диссертационного исследования.

Степень разработанности темы исследования. Существенный вклад в анализ состояния отрасли свиноводства внесли исследования Лукина С.В., Чекмарева П.А., Рассолова С.Н., Колмацкого Г.В. и др. [136, 114, 56]. Исследованиями Титовой В.И. с соавт. [129], показано, что грамотное применение жидкого свиного навоза может существенно повысить производительную способность почв.

Поэтому проблемы развития промышленного животноводства в различных почвенно-климатических условиях России достаточно полно освещены в многочисленных работах последних десятилетий, но работ посвящённых агроэкологическим проблемам утилизации свиного навоза с влажностью 96-98% в условиях

ЦЧР мало. Это обусловило необходимость проведения автором исследований в производственных условиях Воронежской области.

Цель и задачи исследования. Цель диссертационной работы заключается в изучении агроэкологического состояния чернозёмных почв Верхнехавского района Воронежской области при утилизации свиного навоза.

Для достижения заявленной цели были поставлены следующие задачи:

- изучить влияние применения свиного навоза на состав и свойства комплекса чернозёмов типичных с лугово-чернозёмными почвами под влиянием жидкой фракции свиного навоза;
- исследовать влияние длительного применения свиного навоза на содержание, подвижность и характер распределения по профилю органического вещества изучаемых почв;
- исследовать влияние длительного применения свиного навоза на содержание и характер распределения по профилю макроэлементов;
- выявить влияние длительного применения свиного навоза на урожайность сельскохозяйственных культур и их качество.

Научная новизна диссертационного исследования. Впервые в условиях ЦЧР выполнены исследования по влиянию утилизации свиного навоза на агроэкологическое состояние чернозёмных почв.

Установлено, что длительное применение свиного навоза способствует подкислению изучаемых почв, снижению суммы обменных оснований и степени насыщенности основаниями.

Установлено что длительное внесение свиного навоза повышает содержание и запасы в почве органического вещества. Поступление в почву значительного количества минерального азота в отдельные годы обуславливает превышение ПДК по нитратам и опасность загрязнения грунтовых вод. Длительное внесение свиного навоза повышает запасы общего фосфора, а в его составе возрастает доля органического фосфора. Повышается содержание подвижного фосфора до уровня слабого и среднего зафосфачивания. Изучаемые почвы под влиянием свиного

навоза подвергаются зафосфачиванию, от низкого – 500 мг/кг, до высокого уровня – более 1000 мг/кг. Создаётся дисбаланс макроэлементов питания. При существенном избытке подвижного фосфора в минимуме остаётся минеральный азот.

Внесение свиного навоза обеспечивает получение высоких урожаев сельскохозяйственных культур, возделываемых на кормовые цели.

Теоретическая и практическая значимость работы. Впервые в условиях ЦЧР установлено, что следствием внесения свиного навоза в верхней полуметровой толще пахотных лугово-чернозёмных почв и чернозёма типичного наблюдается резкое, в 1,8-2,5 раза, повышение содержания общего фосфора по отношению к целинной лугово-чернозёмной почве. В составе общего фосфора резко, в 3,4-5,3 раза в лугово-чернозёмных почвах и в 2,7 раза в чернозёме типичном возросла доля органического фосфора.

Изучаемые почвы имеют очень высокое содержание подвижного фосфора. Внесение свиного навоза повышает его содержание в пахотном слое в 2-2,4 раза в чернозёмах типичных и лугово-чернозёмных почвах. По существующей шкале обеспеченности почв подвижным фосфором и зафосфаченности лугово-чернозёмные почвы имеют уровень зафосфачивания от низкого, до высокого, а чернозёмы типичные от низкого до повышенного.

Обеспеченность целинной лугово-чернозёмной почвы обменным калием соответствует 5 классу (высокая). Внесение свиного навоза повышает её в 1,2-2,1 раза в чернозёмах типичных и в 1,4-1,7 раза в лугово-чернозёмных почвах.

Методология и методы исследования. Методология исследований основана на системном подходе к обоснованию и выбору задач для достижения поставленной цели с учётом публикаций отечественных и зарубежных учёных. В работе использованы эмпирические методы исследований (почвенное обследование и лабораторный анализ) теоретические (дисперсионный и корреляционный анализ) а также цифровое и текстовое отображение полученных результатов.

Степень достоверности результатов исследования подтверждается данными проведенного анализа значительного количества опубликованных источников

информации, обобщением теоретических достижений российских и зарубежных исследователей, собственных экспериментальных данных, полученных в полевых и лабораторных условиях в соответствии с обоснованной целью и задачами исследования, использованием гостированных методик, необходимого количества наблюдений, учётов и анализов, статистической обработкой экспериментальных данных.

Положения, выносимые на защиту:

– хорошо развитый микрорельеф изучаемой территории способствует неравномерности внесения свиного навоза вследствие его перераспределения по элементам микрорельефа, что обуславливает существенную пестроту состава и свойств изучаемых почв;

– длительное внесение свиного навоза обуславливает повышение содержания органического вещества и его подвижность, что обуславливает существенное повышение мощности гумусового горизонта на 20-40 см и более, особенно в лугово-чернозёмных почвах;

– длительное внесение свиного навоза обуславливает высокое поступление в почвы минеральных форм азота, различных форм фосфора, подвижного фосфора и обменного калия, что обуславливает опасность загрязнения грунтовых вод нитратами и зафосфачивание изучаемых почв, формируется дисбаланс макроэлементов питания с явно выраженным дефицитом азота;

– внесение свиного навоза способствует формированию высоких урожаев возделываемых культур.

Апробация результатов исследования. Основные положения и результаты диссертационного исследования опубликованы в периодических изданиях и докладывались на различных научно-практических конференциях: ежегодных научно-практических конференциях преподавателей ВГАУ (2020-2023 гг.), национальной научно-практической конференции (15 сентября 2020 г), Воронеж, 2020 г., национальной научно-практической конференции (29-30 апреля 2021 г.), Международной научно-практической конференции «Коняевские чтения – 2021» Екате-

ринбург, 9-10 декабря 2021 г., международной молодёжной научной школы (Ростов-на-Дону, 27-30 сентября 2022 г.), национальной научно-практической конференции секция: «Инновационные направления агрономии, агрохимии и экологии» (19-21 апреля 2022 г.), международной научно-практической конференции молодых ученых и обучающихся / СПбГАУ – 2022 г., материалах международной научно-практической конференции молодых ученых и обучающихся / СПбГАУ – 2023 г., всероссийской научно-практической конференции молодых учёных, посвящённой памяти Р.Г. Гареева, Казань – 2023 г., 2023 Научно-практический журнал «Сахарная свекла» – 2023 г.

Личный вклад соискателя. Автор принимал личное участие в планировании и проведении экспериментов, обобщении данных, опубликованных в российских и зарубежных литературных источниках, анализе и обработке результатов собственных исследований (полевые исследования, отбор и анализ почвенных образцов и др.), обработке и систематизации полученных результатов, подготовке научных публикаций и оформлении диссертационной работы (доля участия автора – 80 %).

Публикация результатов исследования. Основные положения и результаты диссертационного исследования нашли отражение в 14 опубликованных работах (общий объем – 3,35 п.л., из них подготовлено самостоятельно – 2,85 п.л.), из них 2 работы опубликованы в рецензируемых научных изданиях.

Структура и объем диссертации. Диссертационная работа состоит из введения, 5 глав, заключения, рекомендаций производству, списка литературы, изложена на 170 страницах компьютерного текста, содержит 29 таблиц, 51 рисунок, 3 схемы и 3 фотоиллюстрации. Список литературы включает 166 источников, в том числе 11 на иностранных языках.

Благодарности. Автор благодарен научному руководителю доктору сельскохозяйственных наук Стекольникову Константину Егоровичу за методическую помощь и научные консультации по теме исследований.

1 ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ

1.1 Проблемы промышленного животноводства

Интенсификация промышленности и сельскохозяйственного производства неразрывно связана с увеличением объемов потребления природных ресурсов и непрерывным ростом образующихся отходов, размещение которых происходит в окружающей среде. Побочные воздействия объектов хозяйственной деятельности могут привести к необратимым изменениям в экосистеме. В связи с этим необходимо выявление изменений, произошедших в окружающей среде вследствие уже осуществленной антропогенной деятельности, то есть на этапе функционирования хозяйственных объектов. Ещё на этапе планирования хозяйственной деятельности необходимо рассчитать результат антропогенного воздействия на окружающую природную среду: разработать качественные и количественные прогнозы возможных изменений в экосистеме [56].

К сожалению, животноводческие комплексы в настоящее время продолжают оставаться основными источниками загрязнения земель и прочих компонентов окружающей среды, что является одной из крупнейших экологических проблем, ставших перед современным обществом. Начиная с 1980 гг. ООН включает ее в число четырех самых важных угроз [34].

С одной стороны, сельское хозяйство даёт нам пищу, а с другой, оказывается очень опасным. Отходы и сточные воды животноводческих комплексов, ферм и птицефабрик, использование в земледелии пестицидов и агрохимикатов, отходы животноводческой перерабатывающей промышленности, проблемы захоронения отходов животноводства и осуществления контроля на сельскохозяйственных объектах, разбросанных на обширных территориях, и многие другие факторы приводят к ухудшению состояния почв и окружающей среды, что, согласно государственным докладам об охране окружающей среды, вызывает серьезную тревогу [9, 50, 96]. Большая часть регионов нашей страны обладают признаками зон чрезвычайной экологической ситуации, где сосредоточены свино-

водческие комплексы Северный Кавказ, Поволжье, Центральное Черноземье [33, 18].

Свиноводство является одной из важнейших и стратегически значимых подотраслей животноводства для обеспечения продовольственной безопасности России и ее регионов. В условиях хозяйствования, сложившихся в настоящее время в России, отмечается достаточно устойчивый прирост производства свинины в хозяйствах всех форм собственности, однако существует целый ряд системных проблем [1, 5].

В настоящее время в нашей стране, а также непосредственно в Центральном Черноземье наблюдается резкий рост строительства животноводческих комплексов, так называемых мегаферм на большое поголовье скота. Основной задачей является внедрение новых технологий, позволяющих в кратчайшие сроки достигать максимальных результатов. В соответствии с «Государственной программой развития сельского хозяйства и регулирования рынков сельскохозяйственной продукции, сырья и продовольствия на 2013-2020 годы» примерно половину объема свинины будут производить зерновые районы: Центральный, Южный, Приволжский и Сибирский федеральные округа [147].

В плане ведения бизнеса свиноводство обладает рядом преимуществ перед остальными видами животноводства (высокая плодовитость, всеядность и т. д.), что существенно влияет на рост и развитие данной отрасли. Достаточно обратиться к статистическим данным, чтобы оценить масштабы разрастания этой отрасли (схема 1). В отличие от других животноводческих хозяйств, где наблюдается тенденция к снижению поголовья скота, в свиноводстве заметно стабильное увеличение численности поголовья. За 5 лет (2017–2021 гг.) поголовье свиней в хозяйствах всех категорий РФ увеличивалось на 5 млн. [96].

Только за период с 2010 по 2016 гг. было введено в эксплуатацию и реконструировано 298 объектов, а доля животных, производимых на предприятиях, выросла до 55%, с прогнозом увеличения к 2020 году до 75%. Программа ускоренного импортозамещения 2015-2020 гг. предусматривает прирост производства

свинины за счет ввода эксплуатацию новых промышленных производств поголовья [62].

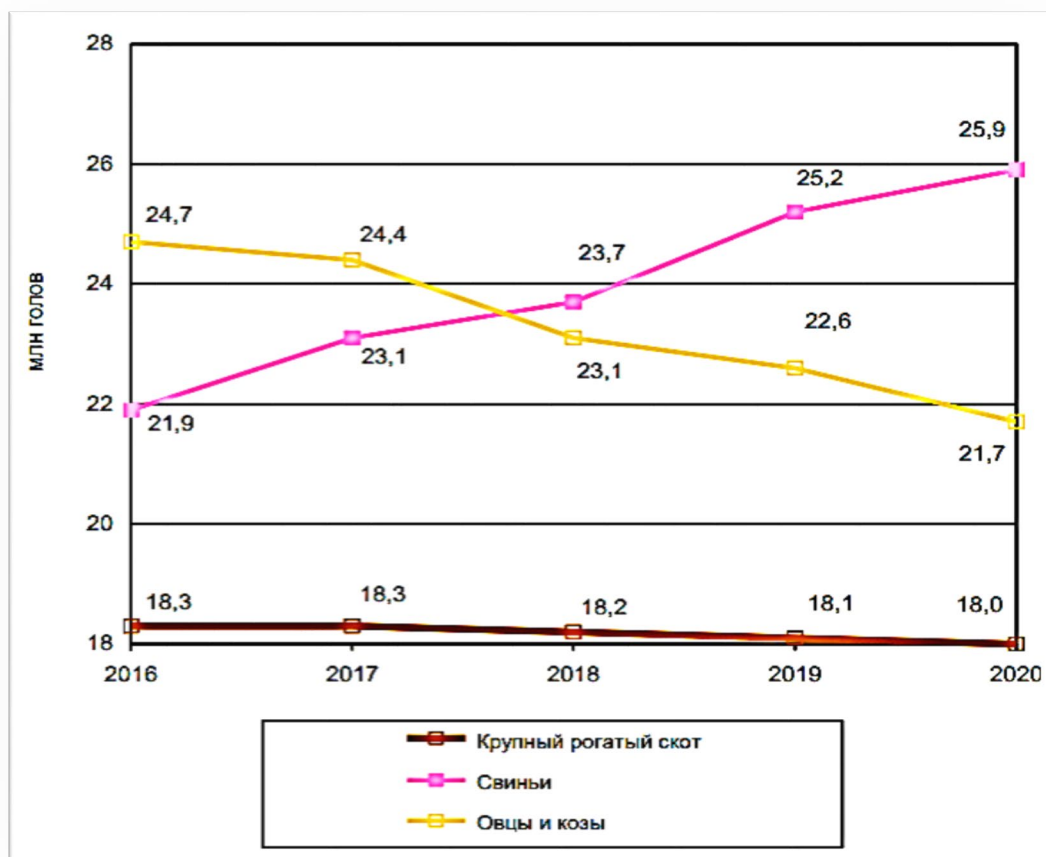


Схема 1 – Поголовье скота по данным федеральной службы государственной статистики

В последние 2-3 года приняты к финансированию, одобрены на комиссии Минсельхоза России и начали реализовываться проекты дополнительной мощностью на 1 млн т в живом весе. В 2020 году производство свинины составит в среднем 27 кг на душу населения в год поголовья [147].

По данным Национального Союза свиноводов (НСС) в рейтинг крупнейших российских производителей свинины по итогам 2022 года вошли АПХ МИРАТОРГ, АО «Сибagro», Группа компаний «РусАгро», ГК АГРОЭКО, ООО «Великолукский свиноводческий комплекс» (см. табл. 1).

Лидером, как и в 2015 году, с большим отрывом стал АПХ «Мираторг», на долю которого приходится 11,20% (555,2 тыс. тонн на убой в живом весе) общего

объема промышленного производства свинины в России. Также в первую пятерку сумел войти «Великолукский свиноводческий комплекс», занимавший в 2015 году только восьмое место, на долю которого в настоящее время приходится 6,20% (309,2 тыс. тонн на убой в живом весе) Отметим, что из предприятий, находящихся на территории СЗФО, в ТОП-20 входит только ООО «Великолукский свиноводческий комплекс» [148].

Таблица 1 – Рейтинг крупнейших производителей свинины в России по данным 2022 года

№ п/п	Организация	Производство свинины на убой в живом весе в 2022 году, тысяч тонн**	Доля в общем объеме промышленного*** производства в РФ
1	АПХ МИРАТОРГ	665	12,6%
2	АО «Сибагро»	388	7,40%
3	Группа компаний «РусАгро»	336,1	6,4%
4	ГК АГРОЭКО	321,7	6,1%
5	ООО «Великолукский свиноводческий комплекс»	299,2	5,7%
6	ООО «Агропромкомплектация»	270,7	5,1%
7	ООО «Управляющая компания РБПИ» и СПФ	263,4	5,0%
8	ООО «ГК Агро-Белогорье» ГК «Черкизово»	262,8	5,0%
9	ГК «Черкизово»	156,7	3,0%
10	Агрохолдинг «Талина»	156,7	2,1%
11	«ГК «Агрокомплекс им. Н.И. Ткачёва»	111,4	2,0%
12	ООО «Агрофирма Ариант»	105,3	1,9%
13	ООО «Башкирская мясная компания»	101,3	1,8%
14	АВК «Эксима»	96,4	1,8%
15	ГК «ОСТАНКИНО»	73	1,4%
16	ООО «Белгранкорм»	72,7	1,4%
17	ГК «КоПИТАНИЯ»	62,6	1,2%
18	ООО «Камский Бекон»	60,7	1,2%
19	ООО СПК «Звениговский»	55,5	1,1%
20	ООО «КОМОС ГРУПП»	47,2	0,9%

* - По данным компаний на 06.02.2023 г. включая сделанные приобретения в 2022 году.

** - Согласно приказу Росстат №429 31.07.19 г. «Поголовье скота, произведенного на убой, исчисляется как сумма скота, проданного на убой, и скота, забитого в хозяйстве.» (Форма №24-СХ).

*** - Промышленное производство свинины в РФ включает в себя объемы производства в СХП и КФХ.

**** - Предварительные данные Росстат.

Наибольшая численность поголовья свиней в 2020 г. зафиксирована в Центральном (13,4 млн. голов), Приволжском (3,96 млн. голов) и Сибирском (2,45 млн. голов) федеральных округах.

В последнее пять лет тенденция к увеличению производства мясной свинины выросла и в Воронежской области (схема 2). В настоящее время производством свинины заняты 44 крупных агрохолдинга. Поголовье свиней в Воронежской области превысило 1.1 млн. [149].

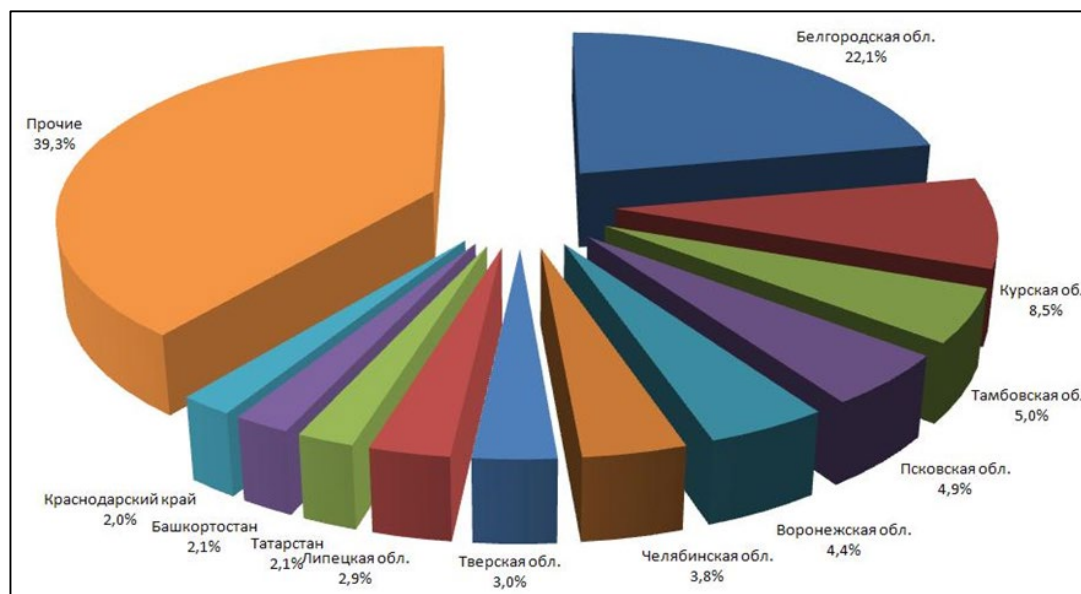


Схема 2 – Структура поголовья свиней по регионам России в животноводческих хозяйствах по состоянию на 1 июля 2017 года

В девяностые годы основу мясного рациона воронежцев составляла говядина, однако в последние десять лет агрокомплексы с их промышленным свиноводством изменили ситуацию в корне [150].

Проанализировав данные Воронежстата за разные годы, можно сделать следующие выводы [2]. В 2019 году поголовье свиней составляло 1 миллион 429 тысяч голов, в 2020-м – 1 миллион 470 тысяч голов, в 2021-м – 1 миллион 790 тысяч голов, в 2022-м – 1 миллион 925 тысяч голов [101, 96]. Увеличение поголовья стало результатом открытия трёх производственных площадок в Воронежской области одной из лидирующих Групп компаний «АГРОЭКО», которые являются лидером по производству свинины в России [12].

На территории, где выполнялись исследования на площади около 6 км² расположены 5 свинокомплексов [131, 160]. Современные свинокомплексы помимо большого объема отходов производства в виде навоза, являются активными загрязнителями окружающей среды. Свинокомплекс мощностью 54 тыс. голов ежедневно выбрасывает в атмосферу 578 кг аммиака, 3.1 кг сероводорода, 8 кг меркаптанов, 96 кг CO₂, 167 кг пыли и миллиарды микроорганизмов [101, 94].

1.2 Влияние длительного применения свиного навоза на компоненты природы

Главной экологической проблемой животноводства является утилизация биологических отходов. Свиноводческие предприятия в производственной деятельности используют различные виды природных ресурсов, такие как подземные и поверхностные воды, атмосферный воздух, земля, животный и растительный мир [74 13]. В отличие от промышленных предприятий особенностью сельскохозяйственных производств является диффузный характер источников загрязнения, при этом затруднительно выделить конкретные точки, откуда происходят выбросы в атмосферу, водные объекты и где можно замерить и оценить воздействие [147, 140, 45].

Степень влияния животноводческих предприятий на окружающую среду зависит от мощности предприятия, места расположения, а также определяется рационами кормления животных и системой удаления навоза и вентиляции на предприятии [15, 139, 161].

В результате реализации приоритетного национального проекта «Развитие АПК» и мероприятий Госпрограммы объемы производства полужидкого, жидкого навоза и навозных стоков в РФ увеличились в несколько раз. При этом основную часть соответствующих отходов составляют бесподстилочный навоз и навозные стоки, которые характеризуются значительным содержанием токсичных, в том числе запахообразующих соединений (скатола, индола, меркаптанов, фенолов, крезола, аммиака, сероводорода и др.). Основное негативное воздействие на

окружающую среду возникает при переработке навоза, внесении, хранении и удалении навоза из животноводческих помещений [45, 105, 95].

Свиной навоз, вносимый в качестве органического удобрения, оказывает влияние на физические и агрохимические показатели почвы [67, 73]. Ненормированное применение бесподстилочного навоза негативно отражается на состоянии окружающей среды, ухудшая процессы саморегуляции плодородия почвы, вызывая её засоление, деградацию почвенной структуры, бактериальному заражению и паразитарному обсеменению почвы [6, 135, 39].

По сведениям Министерства природных ресурсов и экологии РФ и Департамента земельных ресурсов свыше 2,4 млн. га пахотных земель в стране относятся к сильно деградировавшим и утратившим свое плодородие в результате бесконтрольного применения бесподстилочного навоза [90, 160].

Утилизация свиного навоза осуществляется в основном путём внесения его в почву близлежащих сельскохозяйственных угодий. Следует отметить, что внесение свежего навоза в почву запрещено, так как он представляет не только биологическую опасность, но и приводит к деградации почвы [58, 76]. В соответствии с РД-АПК 1.10.15.02-17 Методические рекомендации по технологическому проектированию систем удаления и подготовки к использованию навоза и помета (с Изменением N 1) свежий навоз должен храниться в навозохранилищах (лагунах) от 8 до 12 месяцев, затем подвергаться и другим способам очистки: термическая сушка, химические методы, биотермическая обработка и компостирование, вермикомпостирование, анаэробная переработка [102, 68].

Текущий бесподстилочный жидкий навоз не способен задерживаться на поверхности почвы, поэтому загрязняет окружающую среду значительно больше, чем подстилочный. Ограниченная земельная площадь животноводческих комплексов и невыгодность перевозок навоза на дальние расстояния часто вызывают необходимость применения на прилегающих к хозяйству сельхозугодиях сверхвысоких доз жидкого бесподстилочного навоза. Длительное и бесконтрольное

внесение навоза ведет к загрязнению почвенного профиля нитратами, соединениями фосфора и другими веществами в опасных концентрациях [66, 103].

Свиноводческие комплексы являются поставщиками таких загрязняющих атмосферный воздух веществ, как NH_3 , H_2S , NO_x , CO_2 , CH_4 , SO_2 , пыль. По данным российских исследователей, в атмосферном воздухе вблизи животноводческих предприятий обнаружено порядка 27 азот-, кислород- и серосодержащих органических соединений из группы аминов (R-NH_2), амидов (R-CO-NH_2), спиртов (R-OH), дисульфидов (R-S-R), меркаптанов (R-SH) [147, 128, 129].

Американские ученые идентифицировали порядка 200 химических соединений, содержащихся в воздухе свиноферм. Наибольшее значение имеют углекислый газ, микроорганизмы, метан, аммиак, пыль, диметилсульфид, метанол, этилформиат, пропаналь, сероводород, гексановая кислота, фенол, метиламин (расположены в процессе убывания). Приоритетными запахообразующими веществами свинокомплексов считаются NH_3 и H_2S , однако неприятный запах обуславливают чаще всего тиолы или метилмеркаптаны [134, 159].

Отходы свиноводческих комплексов характеризуются относительно высоким содержанием фосфора и калия, что при их использовании в качестве удобрений приводит к дисбалансу элементов питания в почве. Немаловажную роль играет применение кормовых добавок, антибиотиков, способствующих повысить содержание в почве микроэлементов и тяжелых металлов. Выраженные действия ряда веществ зачастую скрыто, но они передаются по трофическим цепям с выраженным кумулятивным эффектом и негативными изменениями [165, 162]. При внесении таких удобрений в почву наблюдается существенное изменение основных агрохимических показателей почвы и накопление в ней экотоксикантов, что, в первую очередь отражается на плодородии, а затем и на продуктивности культур, качестве и безопасности растительной продукции. Применение свежего навоза может привести не только к закислению почвы, но и гибели растений, так как корневая система при внесении высоких доз вероятнее всего просто сгорит [118, 26].

Напрашивается вывод о необходимости нормирования количества, вносимого бесподстилочного навоза и его жидкой фракции с учётом содержания азота, фосфора, калия, органического вещества в почве, потребности растений в них, коэффициента использования биогенных веществ, типа и качества почвы, климатических условий региона, методов подготовки навоза [104].

Отличительной особенностью размещения свинокомплексов является близость населенных пунктов, при этом свинокомплексы могут располагаться как на землях сельхоз назначения, так и на землях населенных пунктов, соседствуя с жилыми объектами. От неприятных запахов свинокомплексов страдает проживающее вблизи населения. В процессе разложения навоза в атмосферу выделяются разнообразные органические и неорганические вещества, имеющие навязчивый неприятный запах, не всегда фиксирующийся приборами-анализаторами, но на которые чётко реагирует человеческое обоняние, и оказывающие негативное влияние на здоровье человека, к тому же внося определенный вклад в образование парниковых газов [104, 128, 77].

Сероводород является одним из наиболее токсичных и опасных газов даже в небольших концентрациях, а чувствительность к нему быстро снижается. Образуется при бактериальном гниении белковых серосодержащих веществ, поступающих из кишечных выделений животных, а также при хранении навоза, например, в лагунах и накопителях. Запах от свинокомплексов напрямую зависит от способа удаления навоза со свинокомплекса, варианта его разделения на фракции и выбора способа обеззараживания и дегельминтизации [102].

В настоящее время на свиноводческих предприятиях возможны различные системы удаления: гидравлические, механические. Выбор системы обоснован прежде всего мощностью предприятия, типом питания и особенностями содержания свиней. Так, для свинокомплексов мощностью до 24000 голов в год, использующих корма собственного производства и пищевые отходы согласно РД АПК 1.10.15.02-17, рекомендуется использовать механические способы удаления навоза с использованием транспортёров. На крупных свинокомплексах при кормлении

концентрированными кормами при бесподстилочном содержании используют систему удаления навоза периодического действия с использованием навозных ванн, а при индивидуальном содержании животных (хряки, холостые и супоросные свиноматки) – систему гидросмыва [147, 28].

Основная проблема заключается в том, что неприятный запах от животноводческих комплексов (аммиак и сероводород), не нормируются в Российском законодательстве. В 2019 году вышло Постановление правительства РФ от 13 февраля 2019 года № 149, согласно которому органы исполнительной власти РФ местного самоуправления должны подготовить нормативы по запаху в атмосферном воздухе. В соответствии с п. 4 данного постановления нормативы качества должны разрабатываться и устанавливаться для отдельных компонентов природной среды:

- атмосферного воздуха;
- вод поверхностных водных объектов;
- вод подземных водных объектов - источников питьевого и хозяйственно-бытового водоснабжения и подземных водных объектов, пригодность которых для указанных целей определена на основании санитарно-эпидемиологических заключений;
- почв (земель) [105].

Для реализации данного постановления есть всё необходимое: приборы, методы контроля, статистические данные, однако, проект всё ещё находится в разработке и брать на себя ответственность и запускать «пилотный проект» никто не хочет

В зарубежных странах, таких как Дания и Швеция в современных фермах закрытого типа в целях снижения неприятных запахов навоза, выбросов соединений азота в атмосферу с выводящими газами предусмотрено оборудование вентиляционных систем ловушками-фильтрами. Ловушки, предусматривающие химическую очистку воздуха, снижают содержание аммиака в выводящем из помещения воздухе на 90%. Ловушки, предусматривающие биологическую очистку воз-

духа, снижают содержание аммиака в выводящем из помещения воздухе на 40-75%, содержание микроорганизмов – на 95-99%. Ловушки-фильтры в основном применяют в свинарниках и птицефабриках [151].

Следует отметить, что в законодательстве РФ существует понятие санитарно-защитной зоны для предприятия, которое регламентируется СанПиН 2.2.1/2.1.1.1200-03.

Свиноводческие комплексы, с открытыми хранилищами навоза и помета имеют I класс опасности, для них санитарно-защитная зона равна 1000 м.

Свинофермы от 4 до 12 тыс. голов, имеющие открытые хранилища биологически обработанной жидкой фракции навоза, закрытые хранилища навоза и помета, относятся ко II классу опасности, с санитарно-защитной зоной в 500 м [105].

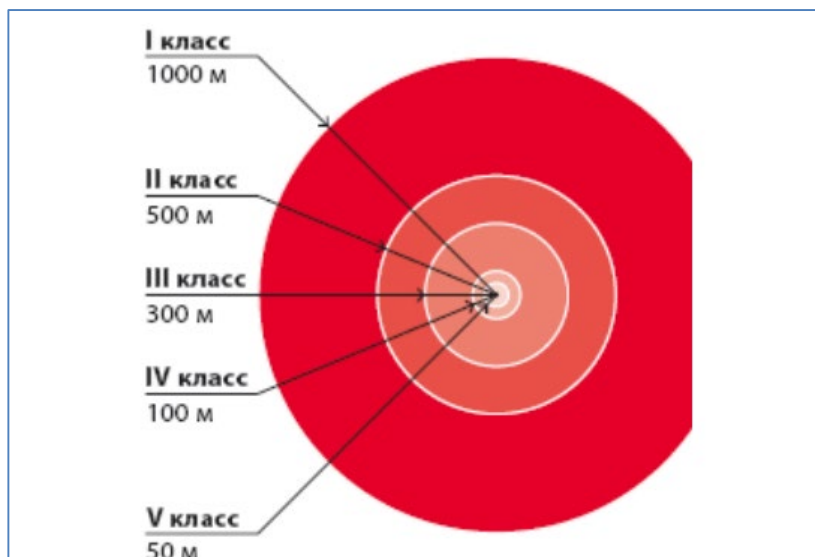


Схема 3 – Ориентировочный размер СЗЗ для предприятия различных отраслей 5 классов опасности

В случае со свиноводческими комплексами, строительство которых набирает обороты в настоящее время санитарно-защитная зона варьирует от 500 до 1000 м. Она является определенным защитным барьером, который обеспечивает безопасность населения при эксплуатации объекта в штатном режиме. Однако, следует отметить, что это расстояние в случае с мегакомплексам чрезмерно мало, так как концентрации загрязняющих веществ в несколько раз превышают фо-

новые значения и предприятия обходятся лишь незначительными штрафами раз [132, 116].

Необходимо также учитывать и состояние поверхностных и подземных вод. Избыточная доза внесения жидкого органического удобрения может привести к переувлажнению почвы, образованию потоков сточных вод на поверхности поля, фильтрации навозной жижи через слой почвы, к вымыванию питательных элементов из почвы и угрозе загрязнения открытых водных источников и грунтовых вод. Длительное регулярное орошение сточными водами свиного комплекса, богатыми различными химическими соединениями, ведёт к ухудшению качества грунтовых вод за счёт накопления различных форм азота – основного загрязняющего вещества – выше нормативных величин в несколько раз [42]. Также отмечается тенденция постепенного увеличения нитритов за счёт их концентрации в свиноводческих стоках [41, 85].

Помимо содержания макро- и микроэлементов, свиноводческие стоки характеризуются загрязнением патогенной микрофлорой и яйцами гельминтов, имеющих длительные сроки выживаемости (от 20 до 475 дней), которые могут негативно сказаться при выращивании сельскохозяйственных культур [33].

Учитывая расположение свиного комплекса, грунтовые воды, к примеру, в сельской местности являются единственным источником водоснабжения, могут стать непригодными для использования в хозяйственно-питьевых целях [160].

В местах с регулярным применением бесподстилочного навоза в больших дозах возникает ряд экологических рисков: накопление в почве нитратов, тяжёлых металлов до уровня, превышавшего ПДК, фосфатов, калия миграция которых в нижележащие горизонты может явиться причиной загрязнения грунтовых вод. В большинстве случаев отсутствует техника для компостирования навоза или происходит внесение ещё не перепревшего навоза [127].

Следует учитывать фактор глобального расхода воды в целях поддержания санитарных и гигиенических условий. Ею моют животных и помещения, с ее помощью проводят дезинфекции, вода используется при подготовке кормов, мытье

аппаратуры и посуды, для смыва навоза и так далее. С возрастанием количества потребляемой воды одновременно увеличивается и сброс обратно в водоемы сточных вод с высоким содержанием навоза, что приводит к их загрязнению и, как следствие, массовому мору рыбы [33, 85].

Для наблюдений и динамики, прогноза и охраны контроля химического и бактериологического состава грунтовых вод необходимо использовать сеть наблюдательных скважин, в ряде многих хозяйств их попросту не существует.

Целесообразным является выполнение гидроизоляции всех строительных элементов систем удаления жидкого навоза, его обработки и хранения, в целях исключения инфильтрации грунтовых вод, а также фильтрацию жидкого навоза и стоков в водоносные горизонты. Кроме того, не исключено загрязнение грунтовых вод азотсодержащими удобрениями, особенно если они вносятся на песчаные и супесчаные почвы [57].

Вывозить свиной навоз, который по нормативам не отстоялся в лагунах 8 месяцев, вносить его в почву в качестве удобрения категорически не допускается – это вызовет эрозию почвы, гибель растений, цветение воды и заморы в близлежащих водоемах, заражает воздух, почву и воду патогенными микроорганизмами и гельминтами.

Ещё одной из основных нерешенных проблем, является проблема отсутствия на свинокомплексах современных очистных сооружений. Данная проблема стоит очень остро, и её решение требует вложений в новые современные технологии и материалы, из-за дороговизны которых на предприятиях они практически не используются.

В настоящее время на территории России практически не существует ферм, на которых для переработки отходов используются очистные сооружения.

Профессор кафедры электрификации и автоматизации МСХА им. Тимирязева Георгий Дектерев замечает, что современных очистных сооружений нет даже в Московской области, где за соблюдением экологических норм следят гораздо более внимательно.

В большинстве случаев применяются так называемые лагуны – котлованы, куда сбрасывается навоз. После заполнения лагуны, ее содержимое выносится на поля без какой-либо переработки.

За последние десять лет ситуация с внедрением современных технологий немного сдвинулась. Так, например, на рынке появились новые материалы, в лагунах используют пленку с полной гидроизоляцией вместо обычных дренажных бетонных сооружений [138, 164].

В ряде Европейских стран уже около 10 лет действует закон, запрещающий выбрасывать на поля непереработанные органические отходы. Также на западе из-за опасности проникновения сырья в грунт запрещено заглубленное хранение отходов, которое в России применяется повсеместно. Экологическая катастрофа из-за отсутствия очистных сооружений в свинокомплексах уже неоднократно возникала в Тверской области (Животноводческий комплекс ООО «Коралл»), Краснодарском крае (свинокомплекс «Красноярский»), в Уральском крае (предприятие Сибирской аграрной группы), здесь вблизи расположенных водоёмов начала массово гибнуть рыба, а показали ряда веществ в скважинах питьевого водоснабжения превысили предельно-допустимые концентрации [96].

На законодательном уровне в Российской Федерации, в соответствии с законами ФЗ-7 и Минприроды России №238, сброс неочищенных сточных вод, содержащих токсичные тяжелые металлы и жесткие органические соединения, запрещен непосредственно на рельеф и в водоемы, без прохождения очистки в очистных сооружениях [108, 132].

Из практики, которая давно существует в Российской Федерации можно сделать выводы о несоблюдении установленных правил и полной недоработки проблемы на государственном уровне [88].

Свиной навоз, уже давно перестал быть органическим удобрением, за которое его принимали ранее, до масштабного скачка в развитии промышленной индустрии, теперь это – опасный отход, работа с которым должна регламентироваться на законодательном уровне [72].

Возведение животноводческих комплексов должно проходить с соблюдением всех установленных правил, касающихся качества и вида очистных сооружений и устройств, а также предусматривать проведение необходимых мероприятий по утилизации производственных отходов для их дальнейшего использования, в том числе и в сельском хозяйстве [20, 161].

1.2 Утилизация отходов свиного комплекса, проблемы, пути решения

Сложившаяся практика функционирования российских свиных комплексов базируется на использовании обычных отстойников и лагун для вывоза и хранения свиного навоза. Размеры таких хранилищ огромны и запах от них очень неприятен. Фильтрат навоза попадает в грунтовые воды, от чего сильно страдают животные и растения. Избыток в воде белка, жиров, других органических продуктов вызывает негативные, зачастую необратимые воздействия на метаболизм животных и растений [130, 4, 161].

Мировая практика очистки сточных вод свиных комплексов отдает предпочтение биологическим методам, предусматривающим биохимическое окисление в аэробных или анаэробных условиях с последующим обеззараживанием. Биологическая очистка сточных вод является важным этапом в работе очистных сооружений. Принцип биологической очистки сточных вод основан на способности микроорганизмов расщеплять органические соединения до простых веществ – воды, метана, сероводорода, углекислого газа [52, 143, 19, 3]. Органические примеси, содержащиеся в сточных водах, являются источником энергии и пищи для разнообразных микроорганизмов, которые в процессе своей жизнедеятельности перерабатывают составные органические соединения до простых аминокислот, белков и т. д. Ключевым компонентом в технологии биологической очистки можно назвать активный ил [92, 3, 27].

Сократить срок отстоя навоза в лагунах и, соответственно, уменьшить их объем можно, только применив его анаэробную обработку в установках биогаза.

Биогаз

Утилизация свиного навоза базируется на одной из методик, с помощью использования биогазовых установок, производящих из навоза биогаз и биоудобрения. Биогазовые установки используют принцип гниения или безкислородного брожения навоза с получением биогаза [145, 126, 162, 101].

Основными серийными производителями биогазовых установок являются Германия и Голландия. Средний срок окупаемости таких установок 2,5-3 года.

Расчеты компании «bioHYPOR» показывают, что завод биогаза, установленный на Свинокомплексе мощностью 5000 свиноматок, способен производить приблизительно 600-700 кВт/час электроэнергии. Если же 20-30% перерабатываемого продукта составят отходы, обеспечивающие больший выход биогаза (к ним относятся отходы бойни; падеж, плацента и прочие органические отходы самого свинокомплекса; сторонние органические отходы типа зеленой массы, сточного и использованного жира, отходов спиртового, пивного, сахарного и свекловичного и других производств, прошедшие измельчение и стерилизацию), то в этом случае суммарный выход электроэнергии превысит 1 мегаватт/час [99, 96]. Такая мощность обеспечит практически полную энергетическую независимость свинокомплекса, что немаловажно в условиях постоянного роста стоимости энергоносителей [11, 144, 155].

После анаэробной обработки полезные элементы, содержащиеся в навозе, лучше усваиваются растениями и могут полностью заменить химические и синтетические удобрения. Поскольку биогазовые установки расположены до лагун отстоя нечистот и оперирует со свежим субстратом, жидкая фракция, поступающая в лагуну, не имеет надоедливой аммиачной запаха и не требует долгого периода выстаивания. Аэробный метод очистки особенно актуален для крупных комплексов, не располагающих достаточным количеством земель для утилизации [53, 54, 64].

В США полученный из твердой фракции биогаз используют для отопления теплиц. Перебродивший осадок компостируют в течение 30 дней в смеси с соломой или другими содержащими целлюлозу отходами, после чего реализуют в

расфасованном виде как удобрение для огородников и садоводов. Жидкую фракцию навоза используют в теплицах для выращивания цветов гидропонным способом и аквакультуры. Полный цикл прохождения фракции навоза составляет 40 дней. Очищенная на выходе вода снова поступает в свиарник и используется для гидросмыва навоза [78, 55].

Это достаточно применяемая технология утилизации свиного навоза при строительстве свинокомплексов, позволяющая получить качественный объект, способный эффективно функционировать в течение долгого периода времени [54].

Газификация свиного навоза

Другим направлением утилизации свиного навоза является его газификация в газогенераторах с получением генераторного газа. Такой газ можно напрямую сжигать в котлах для производства тепловой энергии либо в двигателях внутреннего сгорания электростанций для получения электрической энергии [163].

Средний состав генераторного газа, следующий: 20 % - CO (окись углерода), 20 % - H₂ (водород), 50 % - N₂ (азот), 7 % - CO₂ (углекислый газ) и 3 % - CH₄ (метан). Средний выход генераторного газа из 1 тонны сухого свиного навоза с добавлением соломы составляет 80-85 м³. Из 1 м³ генераторного газа можно произвести 0,3-0,5 кВт часов электроэнергии [159, 163].

Основными серийными производителями газогенераторных установок являются США, Германия, Россия и др. Средний срок окупаемости таких установок достигает 4,5-5 лет [151, 7].

Утилизация методами пиролиза

В последние 10 лет в ряде стран (США, Япония, Южная Корея, Германия, Голландия, Италия, Финляндия и др.) усиленно развиваются технологии переработки органосодержащего сырья (в том числе свиного навоза) методом пиролиза без доступа кислорода (воздуха). Такой пиролиз обеспечивает деструкцию органики с её разложением на газообразные, жидкие и твердые горючие продукты.

Эти продукты представляют собой топливо и могут быть использованы для производства тепловой и электрической энергии. Жидкое пиролизное топливо при определенной доработке может использоваться в качестве моторного топлива [7, 151].

В зависимости от конструкций пиролизного реактора, температурных и скоростных режимов пиролиза, средний выход продуктов из 1 тонны сухого свиного навоза составляет: горючий газ 20-40 %, жидкие углеводороды 20-70 %, полукокс 15-30 %. Средний срок окупаемости пиролизных установок, серийно производимых в зарубежных странах, составляет от 3 до 6 лет.

В России такого рода проекты сейчас несут только пробную версию, так как они делают весь проект дороже, а сроки окупаемости больше, и неохотно применяются аграриями [75].

Один из таких совместных проектов у «Агро-Белогорья» и «Белэнерго». Проект подразумевает переработку в биоэнергию отходов и стоков свинокомплексов, боен и мясокомбината группы. Проект пилотный, его стоимость – 5 млн.руб. Специалисты компании изучают возможность использования отработанной биомассы как органических удобрений на полях «Агро-Белогорья» (сейчас холдинг закупает 40 тыс. т/год минудобрений). Еще одним продуктом переработки отходов производства будет биогаз, который можно использовать для обогрева свинокомплексов. Срок окупаемости проекта, по мнению гендиректора, может составить примерно 7 лет [152].

Еще одним методом, широко применяемым за рубежом, является использование анаэробных водоемов.

Применяют их для хранения и обработки отходов свиноводства благодаря низкой стоимости и простоте оборудования. Но используют их не всегда успешно: иногда возникает сильный запах; содержимое водоемов, просачиваясь через грунты основания, загрязняет поверхностные и грунтовые воды; отходы разлагаются не полностью, и через некоторое время водоемы заиливаются. Максималь-

ная скорость загрузки анаэробных водоемов определяется их размером и колеблется в зависимости от температуры [97, 17].

Место для анаэробного водоема выбирают вдали от жилых строений при условии, что преобладающие ветры не относят запах к населенным пунктам. Грунт под водоемом должен быть непроницаемым. Однако одни исследователи считают, что отходы свиноводства могут кольматировать основание, а другие указывают, что несколько лет после внесения происходит просачивание отходов через придонные слои. Нельзя устраивать водоемы на песчаных почвах или известняковых формациях без специальных противofiltrационных экранов [125, 162].

Эксплуатацию водоема лучше начинать летом, а отходы в водоеме размещать после того, как он будет заполнен водой хотя бы наполовину.

Для улучшения условий работы водоема и продления срока его эксплуатации в некоторые периоды года отходы можно разбрызгивать на сельскохозяйственные угодья, а водоем использовать только тогда, когда вывезти их на поля невозможно. Поступающие органические вещества необходимо перемешивать с уже накопившимся в водоеме илом, вводя их через входную трубу. Перемешивание происходит также под действием ветра и пузырьков выделяющегося газа [154].

Один из наиболее распространенных способов удаления отходов животноводства в Российской практике это утилизация биологических отходов – внесением их в почву, как в твердом, так и в жидком виде. Эти способы экономически выгоднее, но имеют ряд недостатков, как на стадии образования, так и на стадии удаления [18].

Внесение навоза в жидком виде

На сегодняшний день утилизация свиного навоза осуществляется в основном путём внесения последнего в почву близлежащих сельскохозяйственных угодий. Внесение свежего свиного навоза в почву запрещено, так как он представляет не только биологическую опасность, но и приводит к деградации почвы. Све-

жий навоз должен храниться в течение 8-12 месяцев перед внесением в почву либо подвергаться другим способам очистки. Внесение жидкого свиного навоза на поля в качестве жидкого органического удобрения (ЖОУ) должно осуществляться мобильным транспортом с незамедлительной заправкой для исключения попадания навоза в водные объекты. Необходимо нормировать количество вносимого бесподстилочного навоза и его жидкой фракции с учётом содержания азота, фосфора, калия, органического вещества в почве, потребности растений в них, коэффициента использования биогенных веществ, типа и качества почвы, климатических условий региона, методов подготовки навоза. Например, согласно РД АПК 1.10.15.02-17 комплекс на 54000 голов при механическом разделении фракций навоза при внесении по N:P:K в соотношении 200:100:200 кг должен иметь площадь сельскохозяйственных угодий 1535 га [102].

Также распространён способ удаления жидкого навоза и сточных вод с использованием дождевальных машин, применяемых при орошении. В этом случае в местах содержания животных предусматривают системы гидронавозоудаления, резервуар-хранилище, систему гидротранспорта, дождевальные машины типа ДДН. При использовании этого способа удаления навоза необходимо: разбавлять навоз водой до концентрации твердых веществ от 5 до 10 %, перемешивать навоз перед перекачкой, промывать всю систему чистой водой после перекачки навоза га [90, 41].

Более детально необходимо рассмотреть способы внесения навоза, так как они напрямую влияют на дальнейшие физико-химические показатели почвенного покрова.

Один из способов внесения свиного навоза – поверхностный

Данный способ внесения навоза в почву фактически представляет разбрызгивание субстрата по поверхности. При этом значительно снижается концентрация азота в удобрении, зависящая от степени распыления в воздухе. Взвешенные вещества, содержащиеся в навозе, оседают на земле в виде пленки (корки). По-

этому требуется использование рабочих органов почвообрабатывающих орудий, чтобы осуществить полноценную заделку навоза в грунт.

Главным достоинством такой методики является высокая производительность агрегатов, производящих внесение навоза, относительно небольшая потребляемая мощность трактора, низкая стоимость оборудования. Из недостатков отмечается затрудненность получения равномерности распределения, повышенные выбросы аммиака в атмосферу, опасность образования поверхностного стока, особенно при больших уклонах [59, 152].

Существуют разбрызгиватели с двумя форсунками. Они осуществляют, разлив жидкого навоза с полосой до 12 метров. На этом разбрызгивателе есть возможность регулировки установки форсунок для изменения ширины захвата и улучшения равномерности внесения. Для работы устройства для поверхностного внесения требуется остаточное давление 10-15 м водяного столба, что не приводит к существенному снижению производительности шланговых систем [139].



Фото 1 – Поверхностный способ внесения свиного навоза

Следует отметить, что на законодательном уровне строительные правила по гидроизоляции лагун разрешают использовать геомембраны, бентонитовые маты и железобетонные конструкции.

В соответствии с п. 5.5 ГОСР Р 113.15.01-2019 хранение жидкого навоза в навозохранилищах должно быть с твердым гидроизоляционным покрытием днища и откосов. Данный регламент допускает хранение навоза в накопителях (лагунах), с пленочным покрытием, исключая попадания эмиссии в почву и воду из хранилищ жидкого навоза [28].

В соответствии с РД-АПК 1.10.15.02-17 в отстойниках-накопителях необходимо предусматривать надежную гидроизоляцию и твердое покрытие (бетон, железобетон, асфальтобетон) стенок и днища.

Согласно п. 13.10 методических рекомендаций РД-АПК 1.10.15.02-17 конструктивные решения навозохранилищ и прудов-накопителей должны исключать фильтрацию навоза и навозных стоков. Пруды накопители (лагуны) следует устраивать, как правило, из монолитного или сборного бетона или железобетона, пленочных гидроизоляционных материалов толщиной не менее 1,5 мм или их комбинаций [68].

ГОСТ 26074-84 Навоз жидкий. Ветеринарно-санитарные требования к обработке, хранению, транспортированию и использованию, регламентирует нас о таких же строительных элементах системы удаления и хранения жидкого навоза, которые должны быть выполнены с гидроизоляцией, исключаяющей инфильтрацию грунтовых вод, а также фильтрацию жидкого навоза и стоков в водоносные горизонты [28].

Исходя из вышеизложенного можно сделать вывод об отсутствии конкретных требований к строительству и проектированию лагун, учитывающих климатическую зону, гидрологическую характеристику района проектирования, направление розы ветров. Как итог конструкция навозохранилища определяется исходя из конкретно заданных проектных решений и сметной стоимости проекта. Это сказывается на негативном воздействии окружающей среде, так как не дает

возможности, в первую очередь со стороны государства внедрить более новые и менее экологически опасные технологии хранения навоза.

Рассмотрим наиболее часто используемую в производстве и проектировании животноводческих комплексов систему гидроизоляции галун.

Разбрызгиватель с одной форсункой – способен распределить навоз полосой до 7 м. тот разбрызгиватель не предусматривает регулировку положения разбрызгивателя, и его использование не отличается равномерностью внесения (фото 1). Единственным достоинством этого устройства является его низкая стоимость.

Внутрипочвенный метод внесения часто называют инжекторным. Он имеет несколько видов, зависящих от типа используемых рабочих органов (фото 2).

Дисковая борона – этот способ внесения предполагает создание разреза почвы с глубиной 5 см. В него осуществляется инжектирование состава. Такие системы прекрасно показали себя на междурядьях пропашных культур, давая возможность осуществить введение небольшого количества вещества без его разбрызгивания. При повышении норм навоз начинает выступать на поверхность почвы [16].

Применяют также инжектор-культиватор с плоскорежущими крыльями, он способен делать разрез горизонтального типа под поверхностью почвы на заданной глубине. В эту полость и подается навоз, питательные вещества которого распределяются сплошным горизонтом непосредственно под верхним слоем земли.

Данная методика значительно увеличивает количество инжектируемого вещества. Его же выход на поверхность практически полностью устраняется. Это не вымывает плодородный слой и препятствует распространению неприятного запаха [36].



Фото 2 – Внутрипочвенный способ внесения свиного навоза

Однако использование жидкой фракции навоза после сепарирования или неразделенного на фракции жидкого навоза для удобрения имеет и определенные недостатки. Они связаны с определенной сложностью применения такого удобрения, связанной, прежде всего, с большими объемами.

Стандартное внесение навоза предполагает его выкачку из резервуара хранения – лагун, доставки на поле и равномерное распределение по поверхности поля.

Лагуны – наиболее выгодный метод навозохранилищ, который чаще всего используют в Воронежской области.

Лагуна представляет собой заглубленный котлован, грунт, вынутый из котлована, используется для образования замкнутой дамбы по периметру.

На нижней части Лагуны создается 300-миллиметровая песчаная подушка, далее на песчаную подушку и боковые стенки наносится и утрамбовывается глиняный замок толщиной 250 мм. Далее укладывается защитная пленка, текстильный дренаж и нижняя пленка. Нижнее уплотнение выполняется из пленки "Nisoflex"1000 HSPO (высокопрочный полиолефин) с удельным весом 1000 г/м².

Пленка раскатывается из рулона и растягивается по всей площади лагуны, выравнивается, чтобы не было зон натяжения, при помощи экскаватора. Края пленки закладываются в канавку, выкопанную по верху дамбы, для лучшей фикс-

сации пленочного покрытия. Пленка склеивается внахлест сварочным экструдером ПСТ-2 или ручным аппаратом РЭСУ-500. Верхнее покрытие выполняется из пленки "Nisoflex"800 HSPO (высокопрочный полиолефин), удельный вес 800 г/м², изготавливается с армированием из полиэстера, что обеспечивает пленке достаточную прочность [100, 18].

Преимущества этой пленки – это долговечность (стойкость к воздействию УФ лучей) и эластичность при высоких и низких температурах. Верхняя пленка фиксируется на опорных элементах конструкции и стенках таким образом, что достигается полная герметичность стыков. Укладка пленки производится при скорости ветра не более 5 м/с.

По верхнему периметру дамбы при помощи подвесов монтируется пластиковая перфорированная гибкая труба, предназначенная для отвода метановых газов, образующихся при брожении. При установке крышки труба деформируется и плотно прилегает к стыкуемым объектам. В результате происходит процесс полной герметизации хранилища, а также отвода газов, препятствуя распространению неприятного запаха, выделению аммиака и защищая емкости от заполнения атмосферными осадками [100, 119].

Уничтожение возбудителей болезней и семян сорняков в лагуне происходит в процессе анаэробного сбраживания. Сброженные в анаэробном процессе навозные стоки богаты питательными веществами в легкоусвояемой форме, не имеют запаха и практически дегельминтизированы, что решает проблемы санитарного и агрохимического характера. Резервуар может быть открытым – иметь только нижнюю пленку, препятствующую попаданию хранимого вещества в землю, или закрытым – иметь, кроме нижней, еще и верхнюю пленку, плавающую поверх содержимого резервуара [123, 10]. На ферме должно быть минимум две лагуны, обеспечивающие последовательное накопление и 6-месячное выдерживание (обеззараживание) навоза по средствам добавления 1 кг CaCO₃ на 1 тонну навоза с периодической гомогенизацией. Выгрузка производится для весенне-осеннего внесения на поля годового объема навоза [14, 125].

Система циркуляции посредством специального трехлопастного миксера, предназначенного для резервуаров с пленочным покрытием, гомогенизации навоза в период его накопления и перед опорожнением. Лагуны служат для более быстрого обеззараживания стоков. Миксер с лопастями помещается в раму, которая защищает от повреждения пленку. Рама оборудована регулируемыми насадками, которые в процессе перемешивания могут управляться с верха дамбы [166, 59].

Подача навоза в лагуну производится самовсасывающими насосами для жидкого навоза, например, фирмы «JOZ». Выгрузная станция устраивается в месте, обеспечивающем подъезд тракторов с самовсасывающими бочками. Таким образом, полностью исключается попадание навоза на землю и загрязнение прилегающих территорий.

Открытая лагуна монтируется по аналогии закрытой, исключая верхнюю покрывную пленку [65, 158].

Преимущества лагун перед типовыми навозохранилищами заключается в следующем:

- лагуна значительно дешевле железобетонных и металлических навозохранилищ;
- возможность совмещения в одном сооружении функций хранения и обеззараживания;
- простота устройства и монтажа отдельных узлов и сооружения в целом;
- возможно увеличение объемов за счет надстройки высоты стен, отсутствие загрязнений территории рядом с фермой [21, 48, 164].

Внесение органических удобрений.

Для транспортировки с последующим внесением навоза на поля используются спредеры. Ёмкость бака от 20 500 до 27 300 л. Спредер оборудован независимой подвеской, системой автосмазки, дисковыми тормозами, системой рециркуляции, перемешивания навоза и рукавами для разбрызгивания с зоной охвата от 10 до 14 м [60, 156, 28].

Важнейшим элементом цепочки «концепция» - «проектирование» - «строительство» - «поставка племенного стада» - «генетическая поддержка» - «технологическое сопровождение» в этом смысле являются последние три фазы, в которых центральное место занимает организация биобезопасности, ветеринарно-санитарных мероприятий, защиты внутренней и внешней среды [124, 158].

1.3 Экологическая безопасность промышленного производства на особо охраняемой природной территории

Особо охраняемая природная территория (ООПТ) используется, как правило с ограничением и является целостной экосистемой, основой которого является сохранение природно-ресурсного потенциала, стабилизация показателей биологического разнообразия посредством охраны видов флоры и фауны. Особо охраняемые природные территории представляют собой не только ценный ресурс с точки зрения экологии, но и важный с социальной точки зрения, как показатель ответственного отношения к будущим поколениям [93, 157].

Существуют различные подходы к созданию ООПТ, большинство которых направлены на сохранение отдельных видов животных и растительных сообществ, ландшафтного разнообразия [70, 25, 156]. Данные территории являются ценностью для экосистемы как отдельных видов, так в целом для работы всего механизма природопользования. Снижение антропогенной нагрузки на особо охраняемую природную территорию является важнейшим аспектом работы органов государственного управления [16, 46].

Строительство и эксплуатация промышленных объектов, на особо охраняемой природной территории должна осуществляться в соответствии с Федеральными законами и опираться на правовой режим этих территорий. Иногда возникает необходимость возвести новый объект капитального строительства или реконструировать старый в пределах особо охраняемой природной территории (ООПТ). Для таких случаев существует особый порядок и процедура согласования, которая отличается от стандартной. При намечаемой промышленной дея-

тельности в границах ООПТ, в большинстве случаев, необходимый земельный участок выводят из зоны ООПТ и изменяют вид разрешения использования данного земельного участка, т.е. меняют категорию выводимого земельного участка [20, 153].

Именно по такой схеме сложилась работа действующего свинокомплекса, территория которого, ранее имела вид пользования особо охраняемой природной территории.

Также особо охраняемая природная территория должна иметь статус, который определяется на федеральном и региональном уровнях, который позволит установить в ней особый режим охраны и использования [153, 132].

Изучаемая нами территория промышленных свинокомплексов ООО МТС Агро Верхнехавского района Воронежской области расположена в зоне функционирования действующего ООПТ регионального значения. Комплексный природный заказник областного значения «Байгоровский» был создан 11 июня 1994 года и имеет общую площадь 5009,5 га.

Основными целями создания заказника, являются:

- сохранения и восстановления природных комплексов территории заказника;
- снижения уровня антропогенного воздействия на уникальные ландшафтные комплексы;
- поддержания экологического баланса в регионе на основе рационального природопользования.

Заказник образован для выполнения следующих задач:

- сохранение природных комплексов и объектов в естественном состоянии, восстановление и воспроизводство природных ресурсов;
- проведение научных исследований;
- осуществление экологического мониторинга;
- экологическое просвещение, распространение экологических знаний, экологический туризм.

Запрещенные виды деятельности и природопользования:

- все виды охоты, за исключением охоты в целях регулирования численности охотничьих ресурсов;
- промышленное рыболовство;
- разорение муравейников, кладок, нор, гнезд, других мест обитания животных, сбор яиц диких птиц;
- сбор и заготовка пищевых ресурсов, лекарственных растений, за исключением сбора и заготовки, осуществляемых гражданами для собственных нужд;
- сбор и заготовка недревесных лесных ресурсов (за исключением сбора и заготовки недревесных лесных ресурсов, осуществляемых гражданами для собственных нужд);
- нахождение с огнестрельным, пневматическим оружием, капканами и другими орудиями охоты, в том числе с охотничьим огнестрельным оружием, за исключением случаев, указанных в подпункте 1 пункта 3.1;
- уничтожение или повреждение шлагбаумов, стендов и других информационных знаков, и указателей, а также оборудованных экологических троп и мест отдыха;
- распашка земель (за исключением земель, используемых правообладателями земельных участков для производства сельскохозяйственной продукции);
- взрывные работы;
- пускание палов, выжигание растительности;
- мойка автотранспортных средств на берегах водных объектов;
- выгул собак без привязи и поводка, нагонка и натаска собак;
- добыча водных биологических ресурсов, за исключением любительского рыболовства незапрещенными орудиями лова (удочкой);
- размещение отвалов размываемых грунтов;
- организация летних лагерей для сельскохозяйственных животных;
- сброс загрязненных сточных вод, в том числе дренажных, в водные объекты;

– иные виды деятельности, влекущие за собой снижение экологической ценности данной территории или причиняющие вред природным комплексам, за исключением случаев предупреждения и ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций.

Разрешенные виды деятельности и природопользования:

Основные виды разрешенного использования земельных участков, расположенных в границах заказника, в соответствии с классификатором видов разрешенного использования земельных участков, утвержденным Приказом Федеральной службы государственной регистрации, кадастра и картографии от 10.11.2020 N П/0412:

- природно-познавательный туризм;
- охрана природных территорий.

Вспомогательные виды разрешенного использования земельных участков, расположенных в границах заказника:

- растениеводство;
- животноводство;
- сенокошение;
- выпас сельскохозяйственных животных;
- предоставление коммунальных услуг;
- резервные леса;
- на территории заказника проведение работ по строительству, реконструкции объектов капитального строительства, некапитальных строений, сооружений, линейных объектов, по уничтожению и (или) повреждению лесов, зеленых насаждений, а также проведение иных мероприятий и (или) работ допускается при условии согласования с департаментом природных ресурсов и экологии Воронежской области [36, 109].

Следует отметить, что год создания заповедника 1994, а время, на которое пришлось активное промышленное строительство и развитие свинокомплексов по Воронежской области – это последние пять-семь лет. В случае такого вида дея-

тельности, которое влечет за собой существенные изменения в окружающей среде строительство свинокомплекса в зоне территории с особым режимом использования может нанести существенный экологический ущерб. Даже при работе с максимальным циклом очистки, соблюдением ПДК в санитарно-защитной зоне свинокомплекса и еще целым рядом природоохранных мероприятий экологический ущерб окружающей среде может стоить гораздо дороже, чем экономическая выгода, которой живет организация [59].

Расположенные вблизи с Байгоровским заказником свинокомплексы, в скором времени могут уничтожить флору и фауну, сократить биологическое разнообразие, изменить формы рельефа, которые формировались на протяжении многих столетий [36].

Добавим, что территория данного района в геоморфологическом отношении представляет собой слабоволнистую равнину с рядом террас эрозионного или абразивного происхождения. Территориально район относится к зоне избыточного увлажнения, с максимально высоким уровнем залегания грунтовых вод.

При проектировании полей орошения сточными водами свинокомплекса и их эксплуатации необходимо учитывать возможный подъем уровня грунтовых вод, что может привести к ухудшению водного режима, условий произрастания сельскохозяйственных культур, а также загрязнению грунтовых вод химическими соединениями, поступающими в почву с оросительной водой [40].

Длительное регулярное орошение сточными водами свинокомплекса, богатыми различными химическими соединениями, приведет к ухудшению качества грунтовых вод за счет накопления различных форм азота – основного загрязняющего вещества - выше нормативных величин в несколько раз [78].

Также необходимо добавить о проблеме загрязнения грунтовых вод для питьевых скважин, расположенных вблизи населенных пунктах (с. Верхняя Хав, пос. Виноградовка, пос. Малиновка, пос. Вишнёвка).

2 ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

2.1 Объекты исследования

Объектом исследований являлся комплекс чернозёмов типичных с лугово-чернозёмными почвами ООО МТС Агро Верхнехавского района Воронежской области. Он приурочен к подзоне чернозёмов типичных, обычных лугово-чернозёмных почв [8]. Данная подзона расположена на южной покатости Окско-Донской равнины. В ландшафтном отношении эта территория входит в Центральный плоскоместный и Южный Битюго-Хопёрский районы Окско-Донской лесостепной провинции [8]. Особенностью объекта исследований является наличие комплексного почвенного покрова [106].

Хорошо развитый микрорельеф в виде западин разной площади и глубины вреза обусловил развитие комплекса чернозёмов типичных с лугово-чернозёмными почвами. Микрорельеф обуславливает перераспределение жидкой фракции свиного навоза по элементам микрорельефа, в результате которого, в западины поступают дополнительные объёмы жидкого свиного навоза, формируя его неоднородное внесение.

Общая площадь хозяйства 1530 га, в т. ч. пашни – 1280 га. Преобладающими почвами хозяйства являются лугово-чернозёмные почвы, занимающие 828 га, из них в пашне 776 га. Чернозёмы выщелоченные занимают 261 га, в т. ч. в пашне 201 га, а чернозёмы типичные 109 га, из них пашни 107 га. По гранулометрическому составу преобладающие почвы хозяйства глинистые.

В таблице 2 приводим данные по гранулометрическому составу чернозёмов типичных и лугово-чернозёмных почв. По единой классификационной шкале почв по гранулометрическому составу почвы легкоголинистые (содержание физической глины 50-65%). Характерной особенностью гранулометрического состава изучаемых почв является их низкая обеспеченность. Содержание фракций среднего и мелкого песка колеблется в пределах 0,-0,8 и 0,7-4,3% соответственно. Почвообразующей породой является лёссы. По мнению Чижикова П.Н. [137], если на

долю крупнопылеватой фракции 0,05-0,01 мм приходится 25-30%, то почвообразующей породой являются лёссовидные суглинки.

Таблица 2 – Гранулометрический состав почв

Индекс почвы	Слой, см	Размер механических элементов (мм) и их содержание, %							Гран. состав
		1-0,25	0,25-0,05	0,05-0,01	0,01-0,005	0,005-0,001	< 0,001	< 0,01	
Ч _{Т4} ^{III} Г	0-28	0,4	0,7	38,4	13,5	24,5	22,5	60,5	Л. глинистый
	50-60	0,4	0,7	31,9	11,0	19,3	36,7	67,0	Л. глинистый
	90-100	0,3	1,5	28,7	14,7	17,0	37,8	69,5	Л. глинистый
	115-125	0,3	4,3	28,1	13,4	16,6	37,3	67,3	Л. глинистый
Лч ₄ ^{III} Г	0-24	0,4	0,8	40,7	13,1	22,5	22,5	58,1	Л. глинистый
	28-38	0,4	0,7	37,0	8,2	21,7	32,0	61,9	Л. глинистый
	67-77	0,3	2,9	37,0	9,2	21,9	38,7	69,8	Л. глинистый
	108-118	0,3	1,1	29,8	11,1	20,3	37,4	68,8	Л. глинистый
	118-128	0,5	1,9	29,1	13,1	15,8	39,6	68,5	Л. глинистый

В почвоведении уже давно прижилось к этой фракции (0,05-0,01 мм) такое понятие как лёссовая фракция. Как следует из приведённых в таблице 2 данных, в пахотном слое чернозёма типичного содержание лёссовой фракции составляет 38,4%, а у лугово-чернозёмной почвы 40,7%. Так что у нас есть все основания считать почвообразующей породой лёсс или лёссовидную глину. Ведь даже в нижней части профиля содержание этой фракции варьирует в пределах 28,7-29,1%.

Важное генетическое значение имеет не только содержание отдельных гранулометрических фракций, но и характер их распределения по профилю. Этом отношении наибольший интерес представляют тонкие гранулометрические фракции, тонкая пыль (0,005-0,001 мм) и ил (<0,001 мм). Содержание тонкой пыли в чернозёме типичном изменяется от 24,5% в пахотном слое до 16,6% в почвообразующей породе. Характер распределения по профилю постепенно убывающий. В лугово-чернозёмной почве содержание тонкой пыли несколько ниже, чем в чернозёме типичном, а распределение по профилю постепенно убывающее.

По содержанию ила чернозём типичный мало отличается от лугово-чернозёмной почвы, а вот распределение его по профилю разное. Если в чернозё-

ме типичном оно постепенно возрастающее, то в лугово-чернозёмной почве элювиально-иллювиальное.

К сожалению, в почвенном очерке мало информации о составе и свойствах изучаемых почв. Отметим только то, что изучаемые почвы имели очень высокую сумму обменных оснований в пахотном слое – 46,7 мг.-экв/100 г почвы, высокую гумусированность – 7,57 и 8,18% соответственно в чернозёме типичном и лугово-чернозёмной почве. Мощность гумусового горизонта изучаемых почв 70-90 см, причём наблюдается резкое снижение содержания гумуса в переходных горизонтах, в 2-раза. Реакция среды нейтральная.

Очень важной для нас информацией, почерпнутой из почвенного очерка, являются сведения о содержании подвижного фосфора и обменного калия. Так содержание подвижного фосфора в пахотном слое чернозёма типичного 35 мг/кг, а лугово-чернозёмной 10 мг/кг, т. е. соответствует низкой и очень низкой обеспеченности. Содержание обменного калия в чернозёме типичном и лугово-чернозёмной почве 60 мг/кг почвы, что соответствует средней обеспеченности.

Жидкая фракция свиного навоза имела влажность 0,97-0,98%, содержание азота, фосфора и калия – 0,22%, 0,18% и 0,14% на естественную влажность соответственно. Содержание сухого вещества колебалось в пределах 2,2-1,6%, в среднем 0,19%. Доза внесения 200 м³/га.

Концентрация тяжёлых металлов (Pb, Cd, Hg, As) не превышает ПДК. Таким образом, жидкий свиной навоз соответствует требованиям ГОСТ 33830-2016 по качеству и безопасности.

2.2 Условия почвообразования

2.2.1 Климат места проведения исследования

Согласно агроклиматическим ресурсам изучаемой территории умеренно-континентальный со средними температурами января – -10-15°C, июля – +20-25°C [1]. Солнечное продолжительное лето сменяется относительно холодной зимой с постоянным снежным покровом. В последние десятилетия снежный покров ста-

новится неустойчивым. За зимний период могут наблюдаться длительные оттепели, иногда приводящие к полному сходу снега.

Годовая амплитуда колебаний достигает 28-32°C. Сумма активных температур достигает 2500-2600°C. На изучаемой территории последние морозы наблюдаются в первой декаде мая, а первые морозы осенью отмечаются в последней декаде ноября или первой декаде декабря.

Среднегодовое количество осадков 450-475 мм. Активный вегетационный период составляет 147-155 дней. Существенное влияние на баланс тепла изучаемой территории оказывает атмосферная циркуляция, оказывающая влияние на сезонное перераспределение тепла и влаги [23, 51]. Режим антициклональной солнечной сухой погоды доминирует в течение тёплого периода времени. Данный режим формируется в массах континентально-умеренного воздуха. Этот режим господствует и течение всего года.

Коэффициент увлажнения вегетационного периода по Селянинову Г.Т. составляет в среднем 1,0 [47]. О влагообеспеченности с.-х. культур можно судить по запасам продуктивной влаги. Так в начале вегетации запасы продуктивной влаги могут достигать 200-225 мм.

2.2.2 Геология и материнские породы

Геологическое строение территории достаточно сложное. По данным Спиридонова [122] на кристаллическом основании залегают отложения девона. Они покрыты нижнемеловыми песками и глинами. На них залегают неогеновые песчано-глинистые осадки мощностью до 100 метров. Они покрыты флювиогляциальными песками, моренными и покровными лёссовидными суглинками, и глинами. Они являются основными почвообразующими породами на водораздельных пространствах.

Важнейшим фактором почвообразования являются почвообразующая, или материнская, порода. Именно она определяет гранулометрический, химический, минералогический состав почв, их химические, физические, физико-механические

и другие свойства и режимы почв. Почвообразующая порода оказывает влияние на формирование почвенного профиля. От неё зависят интенсивность и направленность почвообразования. Рыхлые осадочные отложения являются главными почвообразующими породами. Именно на них почти повсеместно развиваются почвы. Структура почвенного покрова во многом определяется пестротой почвообразующих пород.

На территории хозяйства почвообразующими породами являются лёсс и лёссовидные глины. Одним из важнейших признаков лёссов и лёссовидных глин является высокое содержание фракции крупной пыли 0,01-0,05 мм, т. н. лёссовой. Признак лёссовидности, по мнению Чижикова П.Н. [137], является содержание этой фракции 25-30%. В преобладающих почвах хозяйства, как отмечено выше, содержание фракции крупной пыли в пахотном слое достигает 38-40%, что даёт нам полное основание для утверждения, что почвообразующими породами на территории хозяйства являются именно лёссы и лёссовидные глины. Для лёссов помимо высокого содержания фракции крупной пыли характерна высокая карбонатность. В изучаемых почвах реакция среды нейтральная, а в нижней части профиля отмечаются скопления карбонатов в виде псевдомицелия.

2.2.3 Рельеф и гидрография

Рельеф является важнейшим фактором почвообразования. Он оказывает не прямое, а опосредованное влияние на направление и скорость почвообразования, перераспределяя осадки и солнечную радиацию по элементам рельефа. Именно рельеф обуславливает развитие эрозионных процессов. Современный эрозионно-аккумулятивный рельеф изучаемой территории сформировался по данным [113] в верхнечетвертичную эпоху, для которой характерны поднятия, протекавшие в три этапа. Поверхность территории Центрального плоскоместного района слабо расчленена долинно-балочной сетью. Изучаемая территория характеризуется преобладанием плакоров плоскоместного типа, которые занимают 64,4% Центрального

подрайона, а также водораздельно-западинные недренированные междуречья, которые занимают около 22% [133].

По Дроздову К.А. [38] изучаемая территория по стадии развития эрозионных процессов относится к первому типу – лощинно-плоскоместных районов с широким развитием слабодренированных пространств, слабым горизонтальным (менее 0,7 м/км²) и вертикальным (менее 20 м) расчленением. Характерной особенностью изучаемой территории является хорошо развитый микрорельеф с обилием западин различной площади и глубиной вреза. Это обуславливает формирование комплексного почвенного покрова чернозёмов типичных с лугово-чернозёмными почвами. Это в значительной мере обусловлено микрорельефом. Обилие западин разной площади и глубины вреза существенным образом перераспределяет атмосферные осадки на изучаемой территории. Данное обстоятельство подтверждается на приведённом ниже фотоиллюстрации 3.



Фото 3 – Влияние микрорельефа на распределение осадков

Гидрология представлена рекой Хава и многочисленными прудами. Грунтовые воды на слаборасчленённых водоразделах воды залегают на глубине 3-5

метров, а в годы с избыточным атмосферным увлажнением могут подниматься до 1-3 метров. Стационарными наблюдениями [8] установлено, что амплитуда колебаний уровня грунтовых вод по сезонам года и в годы с различным увлажнением может достигать 1-2,2, реже до 3,5 метров. Грунтовые воды имеют слабую минерализацию. Они гидро-карбонатно-кальциевые и гидро-карбонатно-кальций-магниевые.

2.2.4 Растительность

По ботанико-географическому районированию исследуемая территория относится по [47] к Аннинскому району снытевых дубрав, лесостепного комплекса и перисто-ковыльно-типчаково-разнотравных степей. На изучаемой территории в прошлом преобладали дерновинно-злаково-разнотравные степи. Небольшую площадь занимали осоково-снытевые и снытевые дубравы. По понижениям сохранились до настоящего времени элементы лесостепного комплекса – камышовые, крапивные, ежевичные, вейниковые, будровые, ландышевые, лисьеосоковые и разнотравные осинового кусты, ивняки и кочкарные болота. На засоленных и солонцовых почвах развивались галоидофитоценозы.

2.3 Методы исследования

Для выполнения исследований были заложены 7 почвенных разрезов, 3 на чернозёмах типичных, 3 на лугово-чернозёмных почвах. В качестве контроля использовали целинную лугово-чернозёмную почву.

Образцы почв отбирались до глубины 1 метр с шагом 20 см.

В лабораторных условиях были определены:

- гумус по Тюрину с фотометрическим окончанием (ОСТ 46 47-76);
- рН водной вытяжки потенциметрически в насыщенных водой пастах;
- рН солевой вытяжки потенциметрически в насыщенных пастах;
- гидролитическая кислотность по Каппену рН-метрическим методом (ОСТ 46 48-76);

- сумма обменных оснований трилонометрически;
- подвижный фосфор и обменный калий по Чирикову в модификации ЦИ-
НАО (ГОСТ 26204);
- общее содержание минеральных и органических фосфатов по Сэндерсу и
Вильямсу;
- нитратный азот с ионоселективным электродом;
- аммонийный азот с реактивом Неслера.

3 ВЛИЯНИЕ СВИНОГО НАВОЗА НА СОСТАВ И ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ПОЧВ

Длительное применение свиного навоза оказало существенное влияние на физико-химические свойства изучаемых почв.

3.1 Влияние свиного навоза на физико-химические свойства почв

Результаты исследований представлены в таблицах и на рисунках 1-5.

Целинный участок расположен на границе поля №1 (41 га), на котором заложены разрезы 1 и 2, а разрезы 4-7 заложены на поле №2 (120 га). Разрез 4; заложен на той части поля, где в 2020 году проведено известкование.

Образцы почв отбирались в октябре 2020-2022 гг. Утилизация свиного навоза сопровождается существенным изменением агроэкологического состояния чернозёмных почв. Это подтверждается полученными нами данными. Важнейшими показателями агроэкологического состояния чернозёмных почв являются все виды кислотности, состояние почвенно-поглощающего комплекса и содержание доступных форм макроэлементов питания [81, 142].

По данным почвенного очерка хозяйства [106] изучаемые почвы характеризовались нейтральной реакцией среды, высокой суммой поглощённых оснований – 48 мг.-экв/100 г почвы. Содержание гумуса варьировало в пределах 7,6-8,2%, а мощность гумусового горизонта в среднем 77 см.

В таблице 3 приведены данные по влиянию свиного навоза на рН водной и солевой вытяжки в изучаемых почвах. Как следует из данных таблицы 2, наиболее стабильна рН водной вытяжки в целинной лугово-чернозёмной почве, амплитуда колебаний в слое 0-20 см 0,34 единицы рН. Внесение свиного навоза по-разному влияет на рН водной вытяжки в исследуемых почвах. В целом наблюдается понижение рН водной вытяжки в пахотном слое исследуемых почв, однако в большей степени это проявляется в лугово-чернозёмных почвах. Это вполне закономерно, так как помимо влияния внесения навоза играет роль и поверхностное переувлажнение западин, что усиливает выщелачивание профиля лугово-

чернозёмных почв от всех форм карбонатов. Полученные данные не позволяют утверждать о явном развитии процесса декарбонизации, но тенденция к этому есть [86].

Таблица 3 – Влияние свиного навоза на изменение pH водной и солевой вытяжки

Разрезы	Слой, см	2020 г.	2021 г.	2022 г.	2020 г.	2021 г.	2022 г.
		pH _{вв}	pH _{вв}	pH _{вв}	pH _{св}	pH _{св}	pH _{св}
Целина, ЛЧ	0-20	6,67	6,82	6,48	6,20	6,36	5,20
	20-40	6,91	7,02	7,10	6,20	5,93	5,69
	40-60	7,11	7,33	7,58	6,30	6,26	5,87
	60-80	7,76	7,54	8,15	7,21	6,52	6,63
	80-100	7,92	8,13	8,12	7,40	7,55	6,73
p№1, ЧТ	0-20	7,95	7,78	6,48	7,44	7,33	5,47
	20-40	8,13	7,56	6,73	7,51	7,25	5,42
	40-60	8,21	7,73	7,12	7,62	7,44	5,99
	60-80	8,24	8,03	7,58	7,64	7,59	5,90
	80-100	8,24	8,11	7,36	7,68	7,66	6,28
p№3, ЛЧ	0-20	6,95	7,18	7,26	5,35	6,34	6,03
	20-40	7,50	7,44	7,27	5,44	6,63	6,41
	40-60	7,12	7,55	7,40	5,02	6,68	6,70
	60-80	7,07	7,58	7,56	4,48	6,63	6,97
	80-100	7,05	7,62	7,71	4,97	6,60	7,01
p№4, ЧТ	0-20	6,06	6,51	7,51	4,68	5,06	6,57
	20-40	6,68	6,41	6,81	6,00	5,02	6,33
	40-60	7,09	6,72	7,26	6,26	5,35	6,20
	60-80	7,36	6,83	7,60	6,41	5,38	6,50
	80-100	7,55	6,92	7,34	6,56	5,40	6,59
p№5, ЛЧ	0-20	5,73	6,44	6,57	4,46	5,34	5,37
	20-40	5,90	6,05	6,44	4,85	5,46	5,12
	40-60	6,04	6,46	6,37	5,02	5,73	5,01
	60-80	6,01	6,88	6,40	4,93	5,76	5,00
	80-100	5,99	7,07	6,57	4,87	5,91	5,30
p№6, ЧТ	0-20	6,43	6,95	6,21	5,61	6,09	5,13
	20-40	7,58	6,95	6,06	6,98	6,14	5,21
	40-60	7,75	6,90	7,16	7,19	6,05	6,07
	60-80	7,84	7,25	6,66	7,28	6,16	5,15
	80-100	7,88	7,28	6,54	7,33	6,10	5,54
p№7, ЛЧ	0-20	6,50	6,67	6,39	5,42	5,52	5,22
	20-40	6,60	6,33	6,07	5,54	5,48	5,46
	40-60	6,75	6,91	6,36	5,61	5,82	5,66
	60-80	6,85	7,26	6,37	5,73	6,33	5,69
	80-100	6,93	7,84	6,56	5,69	7,28	5,07
HCP ₀₉₅		0,41			0,67		

На рисунке 1 показано влияние внесения свиного навоза на величину рН водной вытяжки. На рисунке 1 красной пунктирной линией показан уровень рН 7,3, свидетельствующий о вскипании почвы.

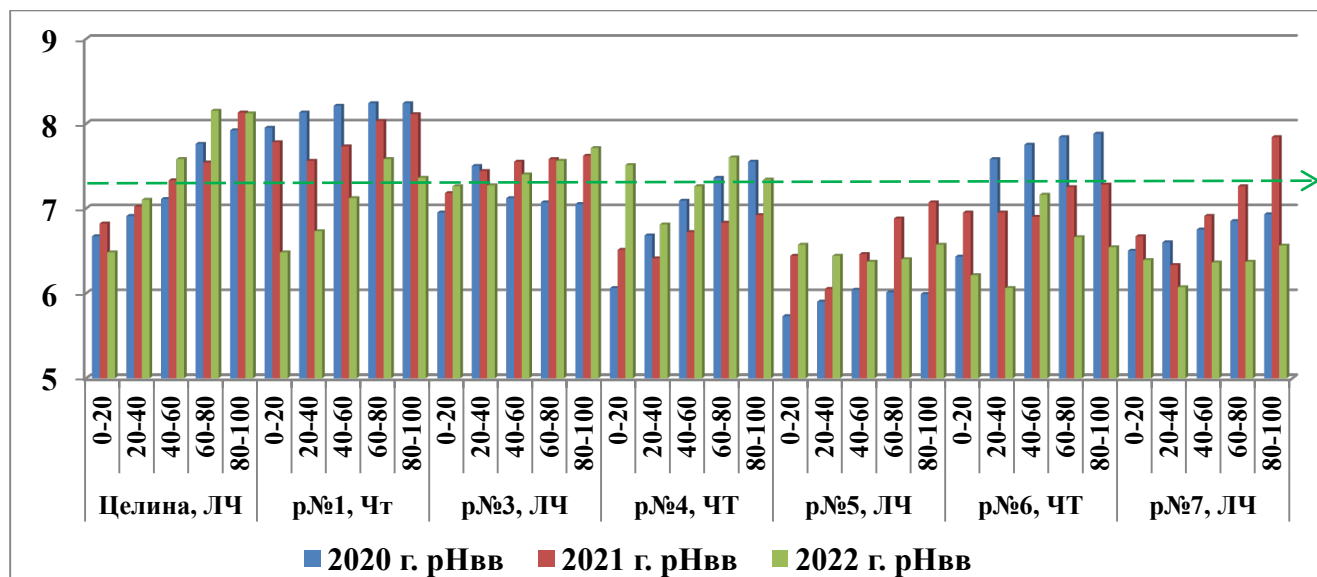


Рисунок 1 – Влияние внесения свиного навоза на величину рН водной вытяжки чернозёмных почв

Следует отметить, что чернозёмы типичные имеют в сравнении с лугово-чернозёмными почвами меньшую глубину залегания карбонатов и вскипают по всему профилю, как в разрезе №1, или с глубины 20-40 см. Это обусловлено более интенсивным выщелачиванием карбонатов в лугово-чернозёмных почвах за счёт дополнительного поверхностного увлажнения западин, к которым они приурочены [84].

Целинная лугово-чернозёмная почва в слое 0-20 см имеет нейтральную реакцию среды, которая изменяется в пределах 6,48-6,82, с амплитудой колебаний 0,34 единицы рН. Пахотные лугово-чернозёмные почвы в слое 0-20 см имеют более низкую величину рН водной вытяжки в сравнении с чернозёмами типичными (см. рис. 1). Минимальные значения рН водной вытяжки наблюдаются в пахотном слое лугово-чернозёмной почвы (разрез №5), 5,73-6,57 с амплитудой колебаний 0,84 единицы рН, а максимальная – в чернозёме типичном (разрез №1) 6,48-7,95 с амплитудой колебаний 1,47 единицы рН.

Подобные закономерности наблюдаются и по величине рН солевой вытяжки. Данные представлены в таблице 2 и на рисунке 2. Наиболее наглядно влияние внесения свиного навоза на рН солевой вытяжки представлено на рисунке 2.

На рисунке 2 представлены данные по величине рН солевой вытяжки. Красной пунктирной линией на рисунке 2 показан уровень рН солевой вытяжки 5,5, ниже этой величины чернозёмные почвы нуждаются в известковании [80]. Такая нуждаемость по всем срокам наблюдений выявлена у лугово-чернозёмной почвы (разрезы №5 и 7), и у чернозёма типичного (разрез №4). На части 2 поля №, где заложен 4 разрез, в 2020 году было проведено известкование. Поэтому в 2021 рН солевой вытяжки повысилась, а в 2022 году достигла величины 6,7 единицы рН, т.е. стала нейтральной [79, 91].

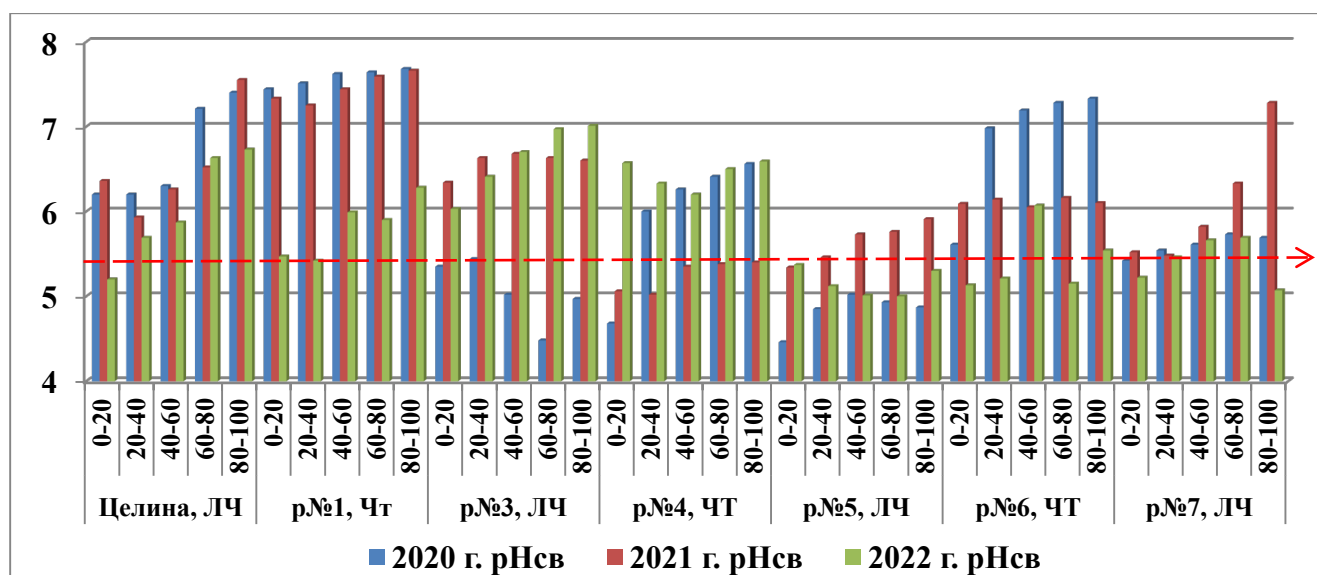


Рисунок 2 – Влияние внесения свиного навоза на величину рН солевой вытяжки чернозёмных почв

Отметим, что размах колебаний рН солевой вытяжки заметно выше, чем водной вытяжки. Минимален он в целинной лугово-чернозёмной почве и существенно возрастает на пашне. Это свидетельствует о существенном влиянии на данный показатель внесения свиного навоза.

Таблица 4 – Влияние свиного навоза на гидролитическую кислотность, сумму обменных оснований и степень насыщенности основаниями

Разрезы	Слой, см	2020 г.	2021 г.	2022 г.	2020 г.	2021 г.	2022 г.	2020 г.	2021 г.	2022 г.
		Нг	Нг	Нг	S	S	S	V, %	V, %	V, %
Целина, ЛЧ	0-20	1,15	1,60	0,91	33,77	30,50	34,15	97	93	96
	20-40	1,01	0,97	0,54	35,05	29,05	33,02	97	95	98
	40-60	0,61	0,64	0,24	30,57	25,52	25,49	98	96	99
	60-80	0,35	0,45	<0,24	31,20	23,25	21,16	99	98	99
	80-100	0,26	0,26	<0,24	27,80	25,00	23,75	99	99	99
р№1, ЧТ	0-20	<0,26	0,48	2,35	32,52	31,95	24,93	99	99	99
	20-40	<0,26	0,31	1,10	30,65	30,30	28,60	99	99	96
	40-60	<0,26	0,28	0,37	27,02	28,80	25,36	99	99	99
	60-80	<0,26	<0,23	0,25	26,82	23,40	28,05	99	99	99
	80-100	<0,26	<0,23	0,24	28,22	22,00	20,12	99	99	99
р№3, ЛЧ	0-20	3,33	1,18	0,45	25,05	32,60	35,44	88	96	99
	20-40	3,13	0,54	0,29	19,30	34,52	26,78	86	98	99
	40-60	2,74	0,49	0,25	22,02	32,75	23,40	89	98	99
	60-80	2,62	0,48	0,25	21,35	31,05	22,92	89	98	99
	80-100	1,67	0,44	0,24	26,55	29,22	21,62	94	98	99
р№4, ЧТ	0-20	5,37	0,53	0,29	28,52	26,80	25,99	87	98	99
	20-40	1,37	0,52	1,43	28,87	28,07	24,70	96	98	94
	40-60	0,67	2,41	0,52	31,20	25,65	26,78	98	91	98
	60-80	0,43	1,98	0,31	31,80	26,85	23,97	99	93	99
	80-100	0,37	1,46	0,31	32,30	26,20	24,00	99	95	99
р№5, ЛЧ	0-20	7,59	1,94	3,19	27,80	26,47	27,82	79	93	90
	20-40	4,42	2,02	2,25	28,10	29,25	28,60	86	93	93
	40-60	3,48	1,50	1,50	27,25	29,17	26,01	88	95	94
	60-80	2,99	1,03	1,06	25,30	28,05	24,99	89	96	96
	80-100	2,86	0,91	0,81	27,25	28,45	24,00	90	97	97
р№6, ЧТ	0-20	2,41	0,93	1,78	31,72	25,55	29,66	93	96	94
	20-40	2,31	0,95	1,46	33,30	27,22	25,22	93	97	94
	40-60	<0,26	1,23	0,63	30,22	25,60	25,23	99	95	98
	60-80	<0,26	0,61	1,01	30,35	24,07	23,71	99	97	96
	80-100	<0,26	0,54	0,75	29,65	24,80	25,75	99	98	97
р№7, ЛЧ	0-20	3,71	2,02	1,18	31,50	30,32	25,99	89	94	96
	20-40	2,57	1,63	0,93	31,82	29,47	24,70	93	92	96
	40-60	1,98	0,99	0,64	31,47	30,75	29,10	94	97	98
	60-80	1,53	0,51	0,61	30,52	30,80	24,48	95	98	98
	80-100	1,31	0,32	0,53	31,07	27,00	19,25	96	99	97

В таблице 4 представлены данные по влиянию внесения свиного навоза на гидролитическую кислотность, сумму обменных оснований и степень насыщенности основаниями. Как следует из данных таблицы 4, все показатели достаточно

динамичны во времени, хотя считаются довольно стабильными, особенно сумма обменных оснований.

Внесение свиного навоза существенно повышает величину гидролитической кислотности изучаемых почв. Данные представлены в таблице 4 и на рисунке 3. Как следует из данных таблицы 4 гидролитическая кислотность и сумма обменных оснований сильно изменяются во времени. Основной причиной таких изменений является влияние свиного навоза, особенно в годы его внесения. Наиболее наглядно изменения гидролитической кислотности представлены на рисунке 3.

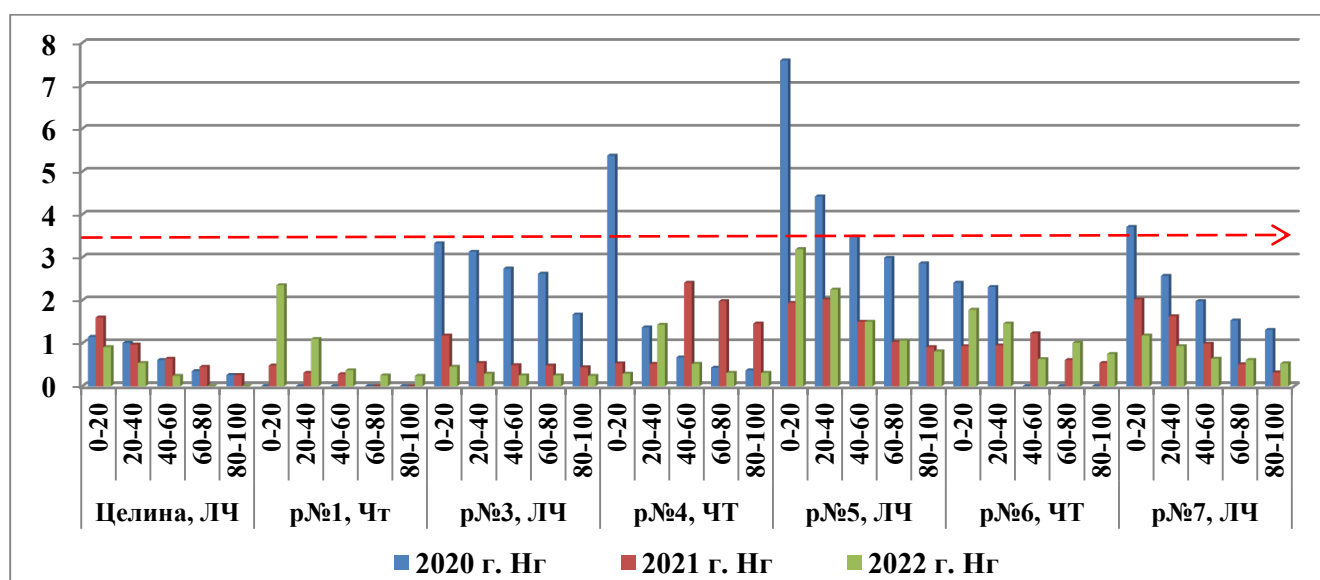


Рисунок 3 – Влияние внесения свиного навоза на величину гидролитической кислотности чернозёмных почв, мг.-экв/100 г почвы

Красной пунктирной линией на рисунке 3 показан уровень 3,5 мг.-экв/100 г почвы, ниже которого почва нуждается в известковании.

Отметим, что целинная лугово-чернозёмная почва и рядом расположенный участок чернозёма типичного имеют минимальную величину гидролитической кислотности в слое 0-20 см и по всему профилю по всем годам наблюдений. Внесение свиного навоза резко повышает величину гидролитической кислотности в пахотном слое и по профилю, особенно в 2020 году. И если повышение гидролитической кислотности в пахотном слое этом году наблюдается в чернозёме ти-

пичном (разрез №4), то её максимальная величина наблюдается в лугово-чернозёмной почве (разрез №5) – 7,59 мг.-экв/100 г почвы, т.е. в 6,6 раза выше, чем на целине. В лугово-чернозёмной почве (разрез №6) гидролитическая кислотность выше 3,5 мг. -экв/100 г почвы, что указывает на необходимость проведения известкования. Именно поэтому проведено известкование части поля №2, на которой размещён разрез №4 – чернозём типичный, в 2020 году было выполнено известкование, т.к. гидролитическая кислотность достигла 5,37 мг.-экв/100 г почвы. На этой части поля, после проведения известкования в последующие годы наблюдений гидролитическая кислотность резко снизилась по всему профилю.

Помимо кислотности о состоянии почвенного поглощающего комплекса судят по величине суммы обменных оснований. Данные приведены в таблице 4 и на рисунке 4.

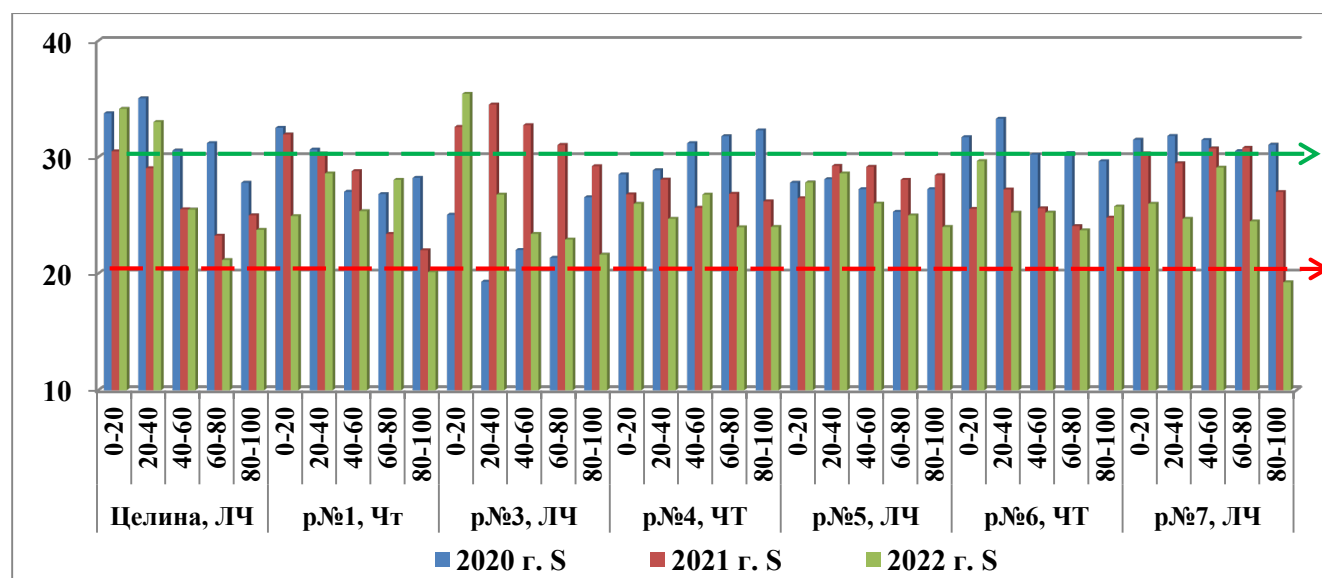


Рисунок 4 – Влияние внесения свиного навоза на величину суммы обменных оснований чернозёмных почв, мг.-экв/100 г почвы

На рисунке 4 красной пунктирной линией обозначена величина суммы обменных оснований 20 мг.-экв/100 г почвы в пахотном слое соответствующая повышенному уровню, а зелёной пунктирной линией 30 мг.-экв/100 г почвы, соответствующий очень высокому уровню. Этому уровню, как следует из данных рисунка 4, соответствует целинная лугово-чернозёмная почва, а в остальных почвах

он превышает только в отдельные годы. Сумма обменных оснований является одним из стабильных показателей состояния почвенного поглощающего комплекса. Наши данные свидетельствуют о значительной изменчивости её по годам исследований. Это обусловлено двумя причинами, естественной, и антропогенной.

Естественная причина связана с генезисом лугово-чернозёмных почв. Они сформировались по отрицательным формам рельефа при избыточном поверхностном увлажнении и высоком уровне грунтовых вод. Избыточное поверхностное увлажнение обуславливает выщелачивание карбонатов в нижнюю часть профиля, и как следствие, снижение суммы обменных оснований. При дефиците атмосферного увлажнения формируется восходящий ток влаги с капиллярной каймой от минерализованных грунтовых вод, содержащих растворимые карбонаты, следствием которого является повышение суммы обменных оснований.

Антропогенная причина заключается в воздействии на поглощающий комплекс изучаемых почв свиного навоза, с которым вносится не только органическое вещество, но и минеральные вещества, в т. ч. и растворимые карбонаты.

Общей тенденцией является снижение суммы обменных оснований по отношению к целинной лугово-чернозёмной почве под влиянием внесения свиного навоза. Наибольшие изменения наблюдаются у чернозёмов типичных в пахотном слое, а у лугово-чернозёмных почв по всему профилю. Причину мы уже указывали. Это влияние микрорельефа на перераспределение атмосферных осадков и свиного навоза.

Сумма обменных оснований изменяется по всему профилю, но характер её изменений неодинаков в чернозёмах типичных и лугово-чернозёмных почвах. Если на целинной лугово-чернозёмной почве действует только естественный фактор, то на пахотных почвах ещё и антропогенный. Это проявляется в амплитуде колебаний суммы обменных оснований по профилю изучаемых почв. В пахотном слое целинной лугово-чернозёмной почвы амплитуда колебаний суммы обменных оснований равна 3,65 мг.-экв/100 г почвы. У пахотных лугово-чернозёмных почв она составляет 10,39, 1,35 и 5,51 мг.-экв/100 г почвы соответственно (разрезы 3, 5,

7), а у чернозёмов типичных 7,59, 2,53 и 6,17 мг.-экв/100 г почвы соответственно (разрезы 1, 4, 6). Различия в интенсивности и размахе изменений суммы обменных оснований обусловлены микрорельефом изучаемой территории, особенно глубиной вреза и площадью западин. Это определяет уровень перераспределения атмосферных осадков и вносимого свиного навоза.

Комплексным показателем состояния почвенного поглощающего комплекса чернозёмных почв является степень насыщенности основаниями. Данные по определению степени насыщенности основаниями представлены в таблице 4 и на рисунке 5. Красной пунктирной линией на рисунке 5 показан уровень степени насыщенности основаниями 93%. Снижение степени насыщенности основаниями до 93% и ниже указывает на необходимость проведения известкования [22].

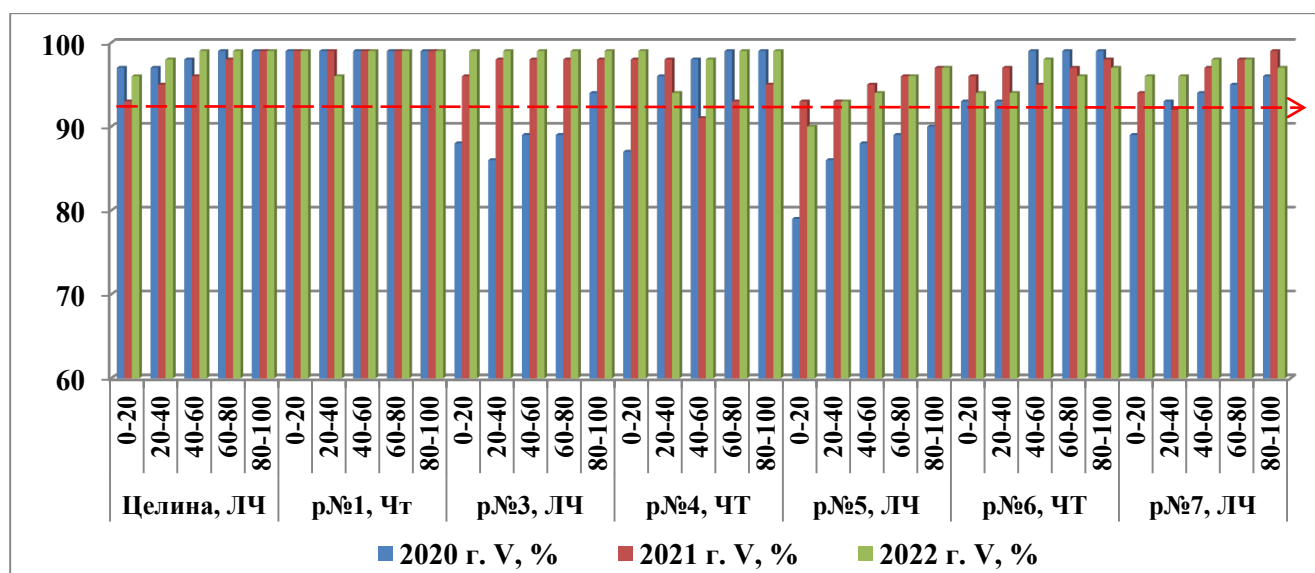


Рисунок 5 – Влияние внесения свиного навоза на величину степени насыщенности основаниями чернозёмных почв, %

Как следует из данных рисунка 5, целинная лугово-чернозёмная почва не нуждается в проведении известкования, т.к. степень насыщенности основаниями за весь период наблюдений превышает уровень 93% не только в слое 0-20 см, но и по всему профилю. Наиболее высокая степень насыщенности основаниями выявлена у чернозёма типичного (разрез №1) по всему профилю, что обусловлено высоким залеганием карбонатов. Именно поэтому здесь наблюдается самая стабиль-

ная за годы наблюдение степень насыщенности основаниями. Минимальная степень насыщенности основаниями выявлена у лугово-чернозёмной почвы (разрез №5), она ниже 93% по всем годам наблюдений, особенно в 2020 году, когда она снижается до 79%. В последующие годы она возрастает, однако остаётся ниже 93%.

Полученные результаты позволяют нам сделать вывод о подкисляющем эффекте внесения свиного навоза на изучаемые почвы. Это проявляется в снижении pH водной и солевой вытяжки, уменьшении суммы обменных оснований и снижении степени насыщенности основаниями. В наибольшей степени это проявляется по отрицательным формам рельефа, к которым приурочены лугово-чернозёмные почвы.

3.2 Влияние свиного навоза на содержание и характер распределения по профилю органического вещества

В системе управления плодородием пахотных почв особая роль принадлежит регулированию режима органического вещества. Имеющаяся информация по-разному оценивается и ориентирует агрономическую общественность на восприятие по этой проблеме. Как недооценка этой проблемы, так и абсолютизация одинаково вредны. В связи с утилизацией свиного навоза эта проблема приобретает особое значение.

Почвы Верхнехавского района характеризуются высоким содержанием органического вещества. Из 32 районов Воронежской области только в четырёх средневзвешенное содержание органического вещества выше 7%, это Верхнехавский, Новоусманский, Панинский и Эртильский районы. В Верхнехавском районе в почвенном покрове высока доля чернозёмно-луговых почв. В связи с из повышенным увлажнением, они в большей степени гумусированы по отношению к чернозёмам выщелоченным и типичным. В бывшем спецхозе «Вишнёвский» основной фон почвенного покрова составляют чернозёмно-луговые почвы. Для них характерен мощный гумусовый горизонт, превышающий 70-80 см, и высокое со-

держание органического вещества 7-8% и более. Длительное внесение свиного навоза способствует обогащению изучаемых почв ОВ. Это подтверждается полученными нами данными. Внесение жидкого свиного навоза существенно изменяет органофильный профиль изучаемых почв за счёт перераспределения по профилю твёрдой и жидкой фаз навоза. Как нами уже отмечалось выше, навоз вносится внутрипочвенно. При таком способе внесения основная масса ОВ в виде твёрдой фракции концентрируется в слое 20-40 см. При вспашке, которая практикуется в хозяйстве, значительная часть вносимого ОВ поступает в слой 0-20 см. Именно поэтому, наибольшее содержание ОВ наблюдается в этом слое. Жидкая фракция свиного навоза содержит растворимое ОВ, которое распределяется по профилю. Накопление ОВ и его распределение по профилю зависит от доз вносимого навоза и структурного состояния изучаемых почв. Влияние структуры обуславливает скорость и глубину промачивания жидкой фракцией навоза профиля почв. Так как лугово-чернозёмные почвы приурочены к бессточным западинам, они имеют повышенное атмосферное увлажнение за счёт перераспределения осадков по элементам микрорельефа. Это усиливает и ускоряет передвижение жидкой фракции свиного навоза по профилю. Это в свою очередь влияет на мощность органофильного профиля, содержание и запасы ОВ. Отметим, что целинная лугово-чернозёмная почва имеет минимальную мощность органофильного профиля – 60 см (см. табл. 4).

В таблице 5 и на рисунках 6-13 представлены данные по изменению содержания органического вещества изучаемых почв под влиянием внесения свиного навоза.

Как следует из данных таблицы 5, содержание ОВ в изучаемых почвах весьма динамично во времени. На это указывают не только величины его содержания, но и амплитуда колебания. Если на целинной лугово-чернозёмной почве в слое 0-20 см амплитуда колебания содержания ОВ составляет всего 0,32%, то на пахотных почвах она резко возрастает. Это, несомненно, влияние внесения свиного навоза, т.к. амплитуда колебаний содержания ОВ возрастает не в разы, а на порядок.

Таблица 5 – Влияние внесения свиного навоза на содержание и запасы органического вещества изучаемых почв

Разрезы	Слой, см	Содержание, %			Амплитуда колебаний	Среднее, %	Запасы, т/га		
		2020 г.	2021 г.	2022 г.			послойно	0-100 см	0-50 см
Целина	0-20	8,28	7,96	8,09	0,32	8,11	178	478	<u>366</u> 76,57%
	20-40	6,13	6,78	7,13	1,00	6,68	160		
	40-60	1,87	2,30	2,24	0,43	2,14	56		
	60-80	1,09	0,83	2,17	1,34	1,39	39		
	80-100	1,30	1,56	1,78	0,48	1,55	45		
р№1 Чт	0-20	5,74	7,72	8,89	3,15	7,45	164	500	<u>343</u> 68,60%
	20-40	4,56	4,41	7,78	3,37	5,58	134		
	40-60	3,37	3,52	3,59	0,22	3,49	91		
	60-80	2,06	1,92	2,54	0,64	2,17	61		
	80-100	2,00	1,04	1,98	1,96	1,67	50		
р№3 Лч	0-20	7,80	8,70	9,52	1,72	8,67	191	650	<u>412</u> 63,38%
	20-40	6,22	7,70	5,98	1,48	6,65	160		
	40-60	5,39	5,06	3,65	1,74	4,70	122		
	60-80	4,09	3,09	3,15	1,00	3,44	96		
	80-100	3,52	1,98	2,61	1,44	2,70	81		
р№4 Чт	0-20	9,22	6,83	7,39	2,39	7,81	172	654	<u>302</u> 46,18%
	20-40	6,52	6,98	6,52	0,46	6,67	160		
	40-60	5,85	4,72	5,61	1,13	5,39	140		
	60-80	3,56	3,87	3,52	0,35	3,65	102		
	80-100	2,41	2,54	3,09	0,68	2,68	80		
р№5 Лч	0-20	9,24	6,33	8,02	2,91	7,86	173	729	<u>430</u> 58,98%
	20-40	8,91	6,59	6,74	2,32	7,41	178		
	40-60	7,39	6,72	4,20	3,19	6,10	159		
	60-80	4,22	4,17	3,76	0,41	4,05	113		
	80-100	3,76	2,93	2,91	0,83	3,20	96		
р№6 Чт	0-20	7,50	7,17	6,93	0,57	7,20	158	677	<u>394</u> 58,20%
	20-40	6,26	6,98	6,59	0,72	6,61	159		
	40-60	5,57	6,96	5,41	1,55	5,98	155		
	60-80	4,78	2,91	4,22	1,87	3,97	111		
	80-100	4,91	1,09	3,46	3,82	3,15	94		
р№7 Лч	0-20	9,04	7,33	7,63	1,71	8,00	176	738	<u>430</u> 58,26%
	20-40	8,09	7,17	6,85	1,24	7,37	177		
	40-60	6,22	5,24	6,30	1,06	5,92	154		
	60-80	5,41	3,91	4,65	1,50	4,32	121		
	80-100	4,37	3,43	3,24	1,13	3,68	110		
НСР ₀₉₅		1,31							

Для большей наглядности характера изменения содержания ОВ в изучаемых почвах приводим рисунок 6.

Важнейшим показателем агроэкологического состояния чернозёмных почв является содержание, характер распределения по профилю и запасы органического вещества, что будет показано нами чуть ниже.

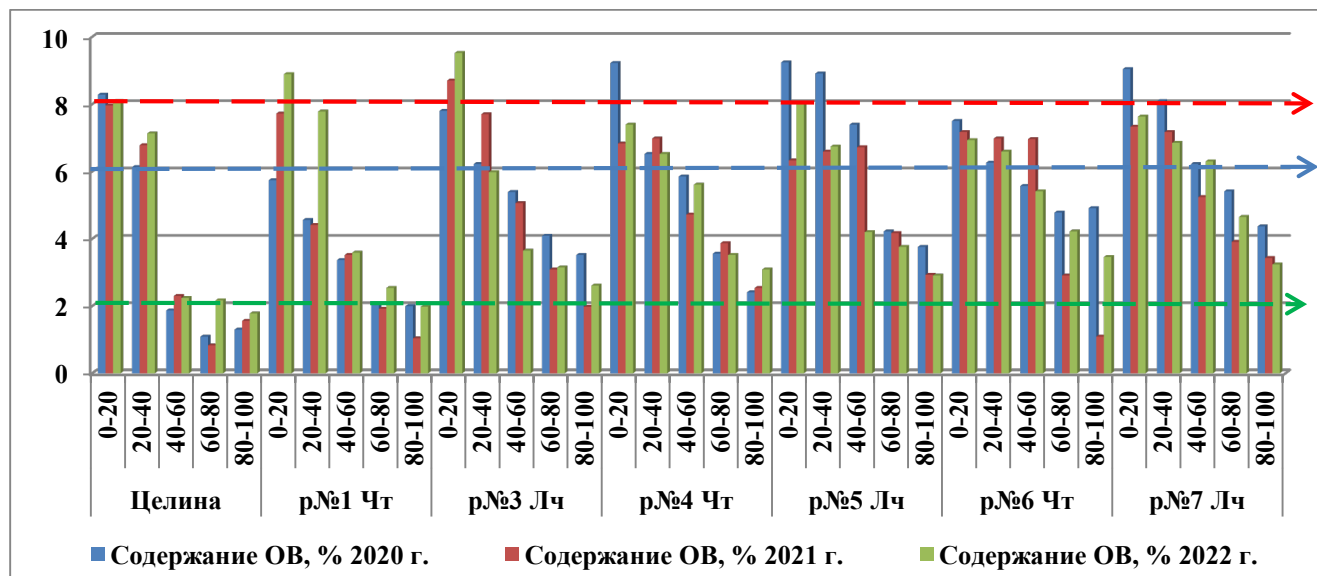


Рисунок 6 – Влияние внесения свиного навоза на содержание органического вещества в изучаемых почвах, %

Синей пунктирной линией на рисунке 6, отмечен уровень содержания органического вещества (ОВ) 6% – верхний уровень малогумусной градации, а зелёной пунктирной линией 8% – верхний уровень среднегумусной градации. Как следует из полученных нами данных (см. рис. 6), только чернозём типичный разреза №2 относится к малогумусным. Все остальные по содержанию ОВ в пахотном слое относятся к высокогумусным, что характерно для чернозёмных почв Верхнехавского района. Содержание ОВ в пахотном слое изучаемых почв за изучаемый период очень динамично. Это обусловлено внесением свиного навоза. Он вносится внутрипочвенно. На целине в слое 0-20 см содержание ОВ достаточно стабильно. Отметим неодинаковое изменение содержания ОВ в разрезах чернозёмов типичных и лугово-чернозёмных почв. Так на поле №1 максимальное содержание ОВ отмечается в 2022 году после внесения навоза, а на поле №2 в 2020 году и тоже после внесения навоза. Обращает на себя внимание варьирование содержания ОВ в пахотном слое изучаемых почв.

Зелёной пунктирной линией на рисунке 6 показан уровень содержания ОВ 2% – соответствующий нижней границе органопрофиля. В целинной лугово-чернозёмной почве мощность органопрофиля составляет 60 см, а в чернозёмах типичных и пахотных аналогах лугово-чернозёмных почв его мощность возрастает до 100 см и более. Несомненно, это следствие длительного применения свиного навоза.

Среднее содержание ОВ в слое 0-20 см на целине 8,11%, амплитуда колебаний за три года 0,32%, т.е. можно утверждать, что оно стабильно. Разрезы 1, 4, 6 представлены чернозёмами типичными. Среднее содержание ОВ в пахотном слое составляет 8,47, 7,81 и 7,20%, а амплитуда колебаний 1,12, 2,39 и 0,57% соответственно. Разрезы 3, 5 и 7 представлены лугово-чернозёмными почвами, среднее содержание ОВ в пахотном слое составляет 8,67, 7,86 и 8,00%, а амплитуда колебаний 1,72, 2,91 и 1,71% соответственно. Отметим более высокое содержание ОВ в лугово-чернозёмных почвах. Это обусловлено перераспределением жидкой фракции свиного навоза по элементам микрорельефа даже при внутрипочвенном внесении. Дополнительное количество жидкой фракции свиного навоза, поступающего в западины, обуславливает заметное повышение содержания ОВ в профиле лугово-чернозёмных почв. Но это не ухудшает агроэкологическое состояние изучаемых почв.

На рисунке 7 показано влияние внесения свиного навоза на среднее содержание ОВ в изучаемых почвах и характер распределения по профилю. Отметим две особенности по содержанию и характеру распределения ОВ по профилю изучаемых почв по данным рисунка 7.

Первая особенность по среднему содержанию ОВ. Она заключается в том, что в целинной лугово-чернозёмной почве в слое 0-20 см содержание ОВ выше 8%. В пахотных чернозёмах типичных содержание ОВ в этом слое максимально 7,81%. А вот в пахотных лугово-чернозёмных почвах, содержание ОВ в пахотном слое достигает 8.67% (разрез №3).

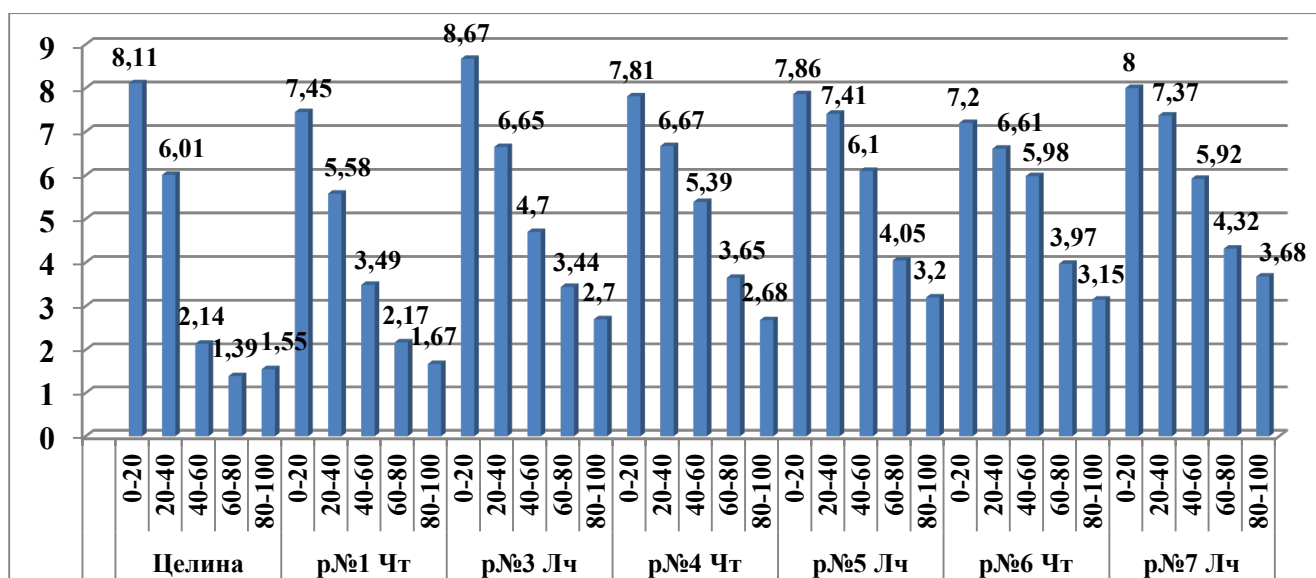


Рисунок 7 – Влияние внесения свиного навоза на среднее содержание органического вещества, %

Вторая особенность заключается в характере распределения ОВ по профилю. Если в целинной лугово-чернозёмной почве он прогрессивно убывающий, то в пахотных почвах постепенно убывающий. Если в целинной лугово-чернозёмной почве в слое 40-60 см среднее содержание ОВ составляет 2,14%, то в чернозёмах типичных оно повышается до 5,98% (разрез №4), а в лугово-чернозёмных почвах до 6,10% (разрез №5).

Эти изменения содержания и характера распределения по профилю, вне всякого сомнения, обусловлены влиянием внесения свиного навоза. Это подтверждается и данными рисунка 8, на котором показано влияние внесения свиного навоза на амплитуду колебаний содержания ОВ в изучаемых почвах.

Разрез №1 чернозёма типичного расположен близко от места обора целинной лугово-чернозёмной почвы. Однако амплитуда колебаний содержания ОВ в нём существенно выше, причём по всему профилю. В пахотных лугово-чернозёмных почвах амплитуда колебаний содержания ОВ существенно выше, чем в целинном аналоге. Разумеется, это следствие внесения свиного навоза, т.к. только дополнительным поступлением ОВ может быть объяснены столь существенные колебания его содержания по всему профилю.

На рисунке 8 показано влияние внесения свиного навоза на амплитуду колебаний содержания ОВ в изучаемых почвах.

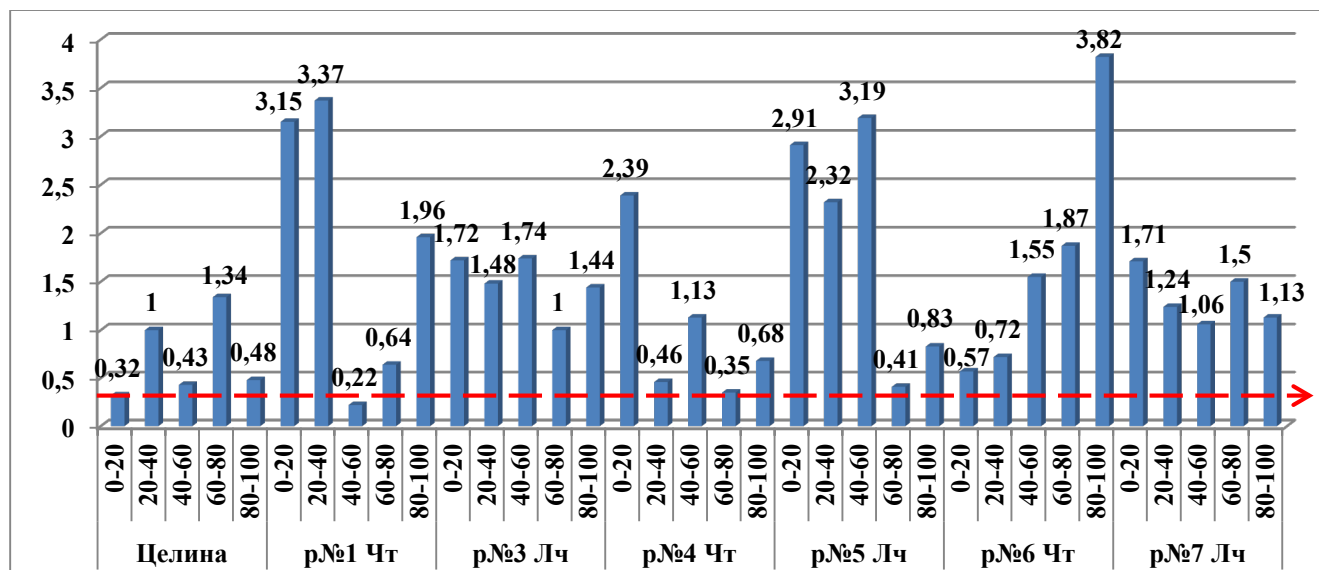


Рисунок 8 – Влияние внесения свиного навоза на амплитуду колебаний содержания органического вещества, %

На рисунке 8 красной пунктирной линией показана амплитуда колебания содержания ОВ в слое 0-20 см целинной лугово-чернозёмной почвы. Амплитуда колебания содержания ОВ в пахотном слое выше уровня целинной лугово-чернозёмной почвы во всех пахотных почвах.

Отметим, что амплитуда колебаний содержания ОВ по всему органопрфилю максимальна в лугово-чернозёмных почвах, что обусловлено их приуроченностью к отрицательным формам рельефа, особым режимом увлажнения и перераспределением свиного навоза по микрорельефу. У чернозёмов типичных амплитуда колебаний содержания ОВ максимальна в верхней 0-40 см части профиля (разрезы №1 и 4), или в нижней части (разрез №6), где в слое 80-100 см она достигает максимального значения – 3,82%.

Определённый интерес представляет градиент распределения ОВ по профилю изучаемых почв. В таблице 6 и на рисунках 9 и 10 представлены градиенты распределения ОВ по профилю изучаемых почв.

Таблица 6 – Влияние внесения свиного навоза на градиент распределения
ОВ по профилю изучаемых почв

Разрезы	Слой, см	Содержание ОВ, %			g, ОВ			g, ОВ
		2020 г.	2021 г.	2022 г.	2020 г.	2021 г.	2022 г.	среднее
Целина	0-20	8,28	7,96	8,09	6,37	5,10	4,54	5,34
	20-40	6,13	6,78	7,13	4,71	4,35	4,01	4,36
	40-60	1,87	2,30	2,24	1,44	1,47	1,26	1,39
	60-80	1,09	0,83	2,17	0,84	0,53	1,22	0,86
	80-100	1,30	1,56	1,78	-	-	-	-
р№1 Чт	0-20	5,74	7,72	8,89	2,87	7,42	4,49	4,93
	20-40	4,56	4,41	7,78	2,28	4,24	3,93	3,48
	40-60	3,37	3,52	3,59	1,68	3,38	1,81	2,29
	60-80	2,06	1,92	2,54	1,03	1,85	1,28	1,39
	80-100	2,00	1,04	1,98	-	-	-	-
р№3 Лч	0-20	7,80	8,70	9,52	2,21	4,39	3,65	3,42
	20-40	6,22	7,70	5,98	1,77	3,89	2,29	2,65
	40-60	5,39	5,06	3,65	1,53	2,57	1,40	1,83
	60-80	4,09	3,09	3,15	1,16	1,56	1,21	1,31
	80-100	3,52	1,98	2,61	-	-	-	-
р№4 Чт	0-20	9,22	6,83	7,39	3,83	2,69	2,39	2,97
	20-40	6,52	6,98	6,52	2,70	2,75	2,11	2,52
	40-60	5,85	4,72	5,61	2,43	1,86	1,81	2,03
	60-80	3,56	3,87	3,52	1,48	1,52	1,14	1,38
	80-100	2,41	2,54	3,09	-	-	-	-
р№5 Лч	0-20	9,24	6,33	8,02	2,46	2,16	2,76	2,79
	20-40	8,91	6,59	6,74	2,37	2,25	2,32	2,31
	40-60	7,39	6,72	4,20	1,79	2,29	1,44	1,84
	60-80	4,22	4,17	3,76	1,12	1,42	1,29	1,28
	80-100	3,76	2,93	2,91	-	-	-	-
р№6 Чт	0-20	7,50	7,17	6,93	1,53	6,58	2,00	3,37
	20-40	6,26	6,98	6,59	1,27	6,40	1,90	3,19
	40-60	5,57	6,96	5,41	1,13	6,38	1,56	3,02
	60-80	4,78	2,91	4,22	0,97	2,67	1,22	1,62
	80-100	4,91	1,09	3,46	-	-	-	-
р№7 Лч	0-20	9,04	7,33	7,63	2,07	2,14	2,35	2,19
	20-40	8,09	7,17	6,85	1,85	2,09	2,11	2,02
	40-60	6,22	5,24	6,30	1,42	1,53	1,94	1,63
	60-80	5,41	3,91	4,65	1,24	1,14	1,43	1,27
	80-100	4,37	3,43	3,24	-	-	-	-

Как уже отмечалось выше, внесение свиного навоза оказывает существенное влияние на содержание ОВ в изучаемых почвах. Отметим, что за годы наблюдений содержание ОВ сильно изменялось. Однако наименьшие его колебания наблюдались на целинной лугово-чернозёмной почве, что объясняется нами от-

сутствием воздействия свиного навоза. Именно поэтому наблюдаются относительно незначительные колебания градиента содержания ОВ на этой почве. ОН в слое 0-20 см варьирует в пределах 4,54-6,37, т.е. амплитуда колебаний составляет 1,83.

Характер изменения градиента погодам наблюдений более наглядно представлен на рисунке 9.

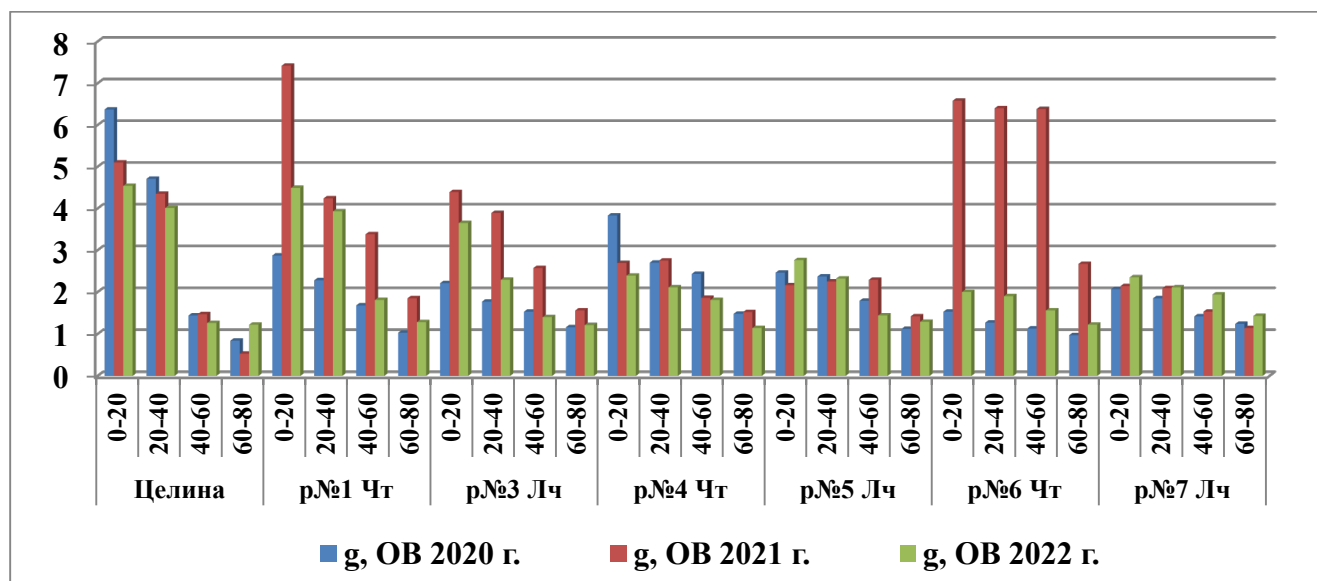


Рисунок 9 – Влияние внесения свиного навоза на градиент ОВ в изучаемых почвах

Как следует из данных таблицы 6 и рисунка 9, наибольшие колебания градиента ОВ в слое 0-20 см наблюдаются в чернозёмах типичных. Амплитуда колебаний составляет 4,55, (разрез №4) и 4,03 (разрез №6). Высокая амплитуда колебаний в почвах этих разрезов сохраняется по всему профилю. Амплитуда колебаний градиента ОВ в слое 0-20 у лугово-чернозёмных почв ниже и составляет 2,18, 0,60 и 0,28 соответственно в разрезах №3, 5, 7.

На рисунке 10 показаны усреднённые данные градиента ОВ в изучаемых почвах.

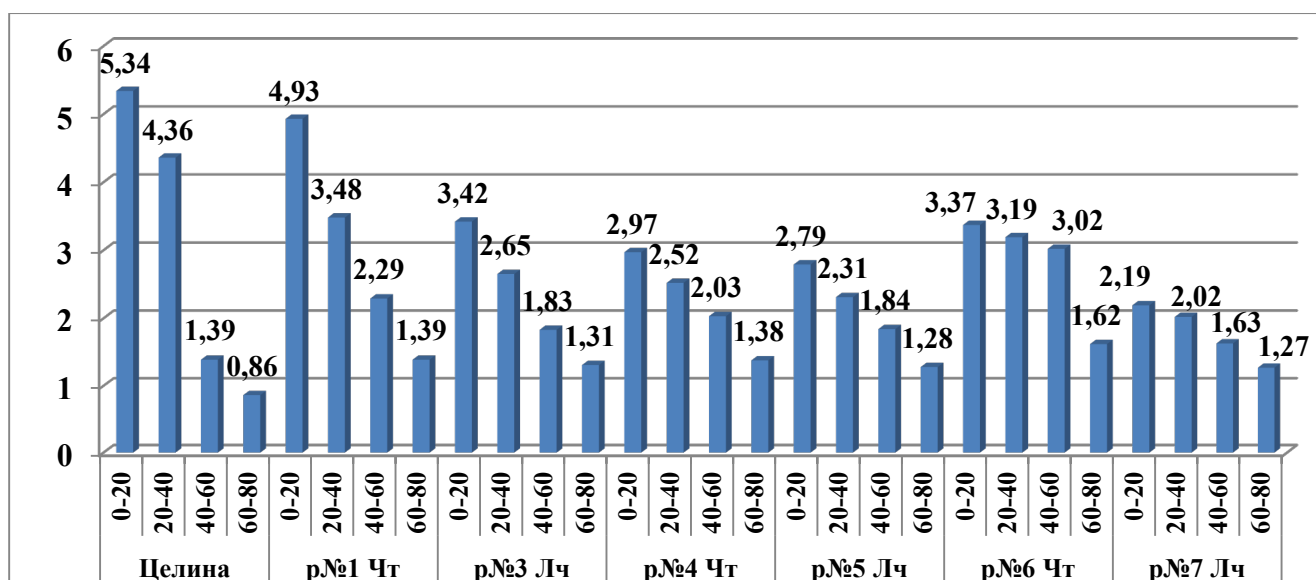


Рисунок 10 – Влияние внесения свиного навоза на градиент ОВ в изучаемых почвах в среднем за три года

Как следует из данных рисунка 10, закономерности изменений градиента ОВ сохраняются. Наиболее высокие значения градиента ОВ выявлены в целинной лугово-чернозёмной почве. Минимальные значения градиента ОВ установлены для лугово-чернозёмных почв.

Внесение свиного навоза повышает содержание и запасы ОВ в изучаемых почвах, как это показано в таблице 5. Более наглядно влияние внесения свиного навоза на послойные запасы ОВ представлено на рисунках 11 и 13.

На рисунке 11 красной пунктирной линией показан запас ОВ в нижней части органо профиля целинной лугово-чернозёмной почвы – 56 т/га.

Как следует из полученных нами данных (см. табл. 5, рис. 11), в чернозёмах типичных и пахотных аналогах целинной лугово-чернозёмной почвы, этот уровень запаса ОВ в 1,5-2 раза выше, по всему профилю и даже в слое 80-100 см. И это при том, что запасы ОВ в слое 0-20 см в целинной лугово-чернозёмной почве 178 т/га, превышены только в пахотной лугово-чернозёмной почве (разрез №3) – 191 т/га. Отметим, что целинный участок граничит с полем №1, на котором заложены разрезы №1 и 3.

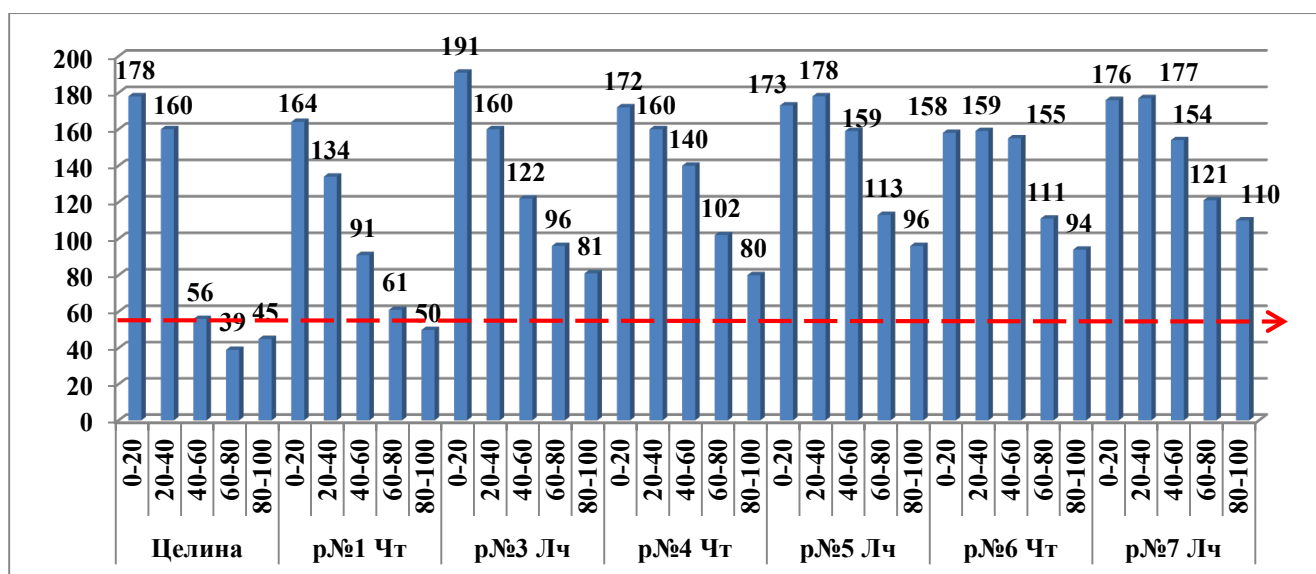


Рисунок 11 – Влияние внесения свиного навоза на послойные запасы ОВ в изучаемых почвах, т/га

Однако в чернозёме типичном (разрез №1) запасы ОВ в пахотном слое заметно ниже – 164 т/га. И если изменение содержания и запасов ОВ в верхней полуметровой толще можно объяснить влиянием корневых систем с.-х. культур, то в нижней части профиля существенных источников ОВ нет. Таковым являются, вне всякого сомнения, только свиной навоз, точнее его жидкая фракция, проникающая на эту глубину.

Несомненный интерес представляют данные по распределению запасов ОВ по профилю изучаемых почв. Это наглядно представлено на рисунке 12.

Запасы ОВ в слое 0-100 см целинной лугово-чернозёмной почвы составляют 478 т/га. Внесение свиного навоза существенно повышает его запасы как в пахотных аналогах целинной лугово-чернозёмной почвы, так и в чернозёмах типичных. Отметим, что запасы ОВ в лугово-чернозёмных почвах выше, чем в чернозёмах типичных. Если в лугово-чернозёмных почвах он варьирует в пределах 650-738 т/га, то в чернозёмах типичных в пределах 500-677 т/га, т.е. на 51-150 т/га выше.

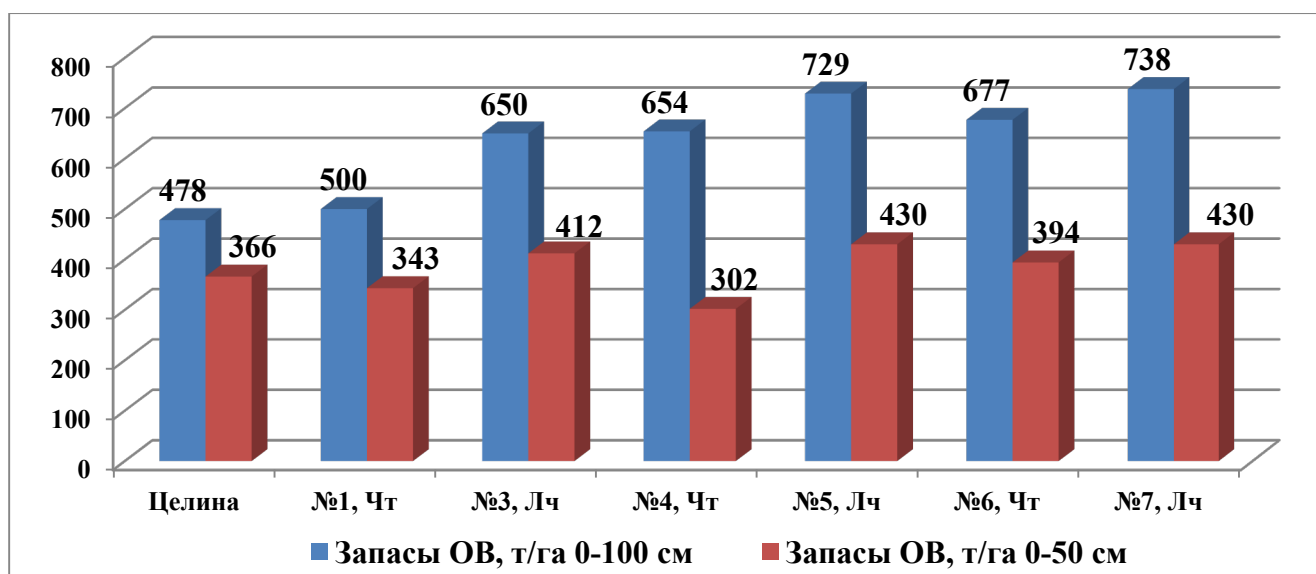


Рисунок 12 – Влияние внесения свиного навоза на запасы ОВ в слое 0-100 и 0-50 см, т/га

Запасы ОВ в верхнем 0-50 см слое в целинной лугово-чернозёмной почве составляют 366 т/га. Внесение свиного навоза повышает содержание ОВ в этом слое до 412-430 т/га. Запасы ОВ в слое 0-50 см чернозёмов типичных ниже и составляют 302-394 т/га.

На рисунке 13 показаны запасы ОВ в изучаемых почвах в слое 0-50 см, в относительных процентах от его содержания в слое 0-100 см.

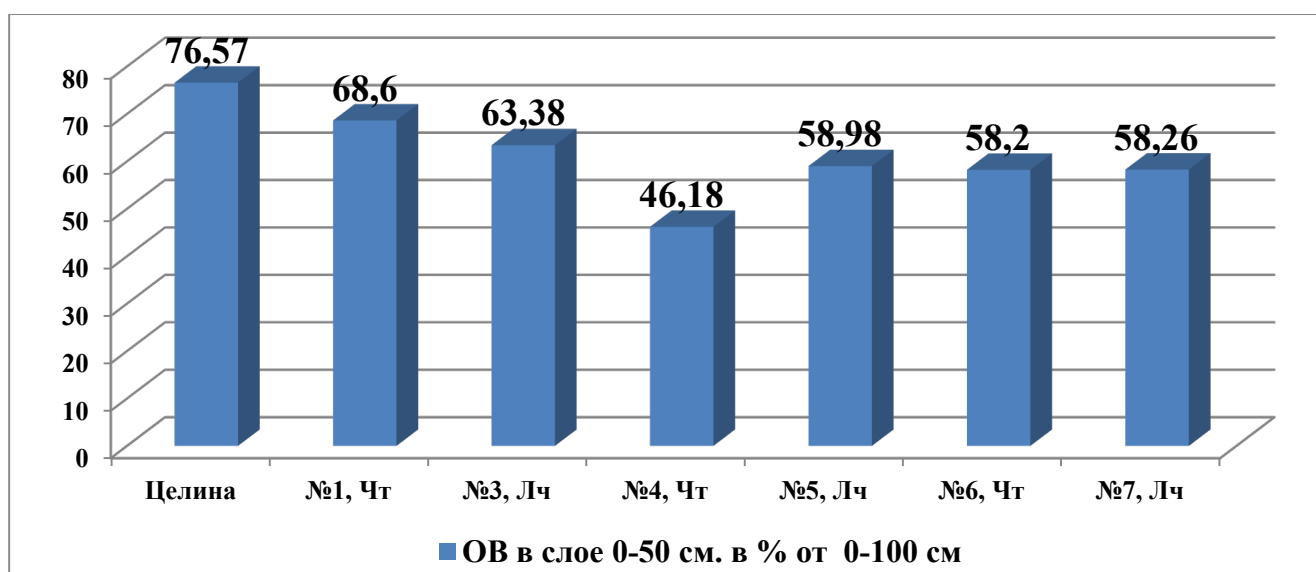


Рисунок 13 – Влияние внесения свиного навоза на запасы ОВ в слое 0-50 см, по отношению к запасам в слое 0-100 см, %

Как следует из данных рисунка 13, основной запас ОВ в целинной лугово-чернозёмной почве – 76,57% сосредоточен в слое 0-50 см. Внесение свиного навоза снижает аккумуляцию ОВ в этом слое до 46,16-68,60% в чернозёмах типичных и до 58,26-63,38% в лугово-чернозёмных почвах.

Если в целинной лугово-чернозёмной почве аккумуляция ОВ происходит вследствие природного процесса, то в пахотных аналогах и чернозёмах типичных на этот процесс накладывается антропогенный – внесение свиного навоза. Большой объём жидкой фракции свиного навоза обуславливает глубокое промачивание профиля изучаемых почв, что обуславливает повышение содержания и запасов ОВ в нижней части профиля.

Вопросы, связанные с образованием гумусовых веществ, их миграции по профилю и закрепления на минеральной массе почв изучаются давно, и полученные результаты разных авторов показывают важнейшую роль в этих процессах минеральной матрицы почв. Исследованиями Зубковой [44] было показано, что синтез высокомолекулярных ОВ протекает на почвенной минеральной матрице. Она в данном процессе действует как катализатор, обуславливающего полимеризацию органических соединений. Из данного исследования можно сделать вполне определённый вывод. Накопление ОВ в почве ограничивается наличием свободной поверхности минеральной матрицы, на которой происходит их закрепление. Поэтому в каждой конкретной почве количество аккумулируемого ОВ будет ограничено этим фактором. Именно поэтому, стремление к максимальному накоплению в почвах ОВ без учёта состояния минеральной матрицы лишено смысла.

Работой Золотарёвой [43] было установлено, что подвижность гумусовых веществ определяется г. о. составом минеральных элементов в илистых фракциях почв. Исследованиями Добровольского [37] установлено, что в процессе почвообразования на поверхности высокодисперсных минеральных частиц почвы формируются полимерные полимолекулярные плёнки гумусовых кислот.

Для выявления взаимосвязи аккумуляции ОВ с минеральной матрицей, нами рассчитаны коэффициенты корреляции содержания ОВ с гранулометрическими фракциями. Данные представлены в таблице 7 и на рисунках 14-16.

Таблица 7 – Коэффициенты корреляции связи содержания ОВ с гранулометрическими фракциями

Разрезы	0,05-0,01 мм			0,001-0,005 мм			< 0,001 мм			< 0,01 мм		
	2020 г.	2021 г.	2022 г.	2020 г.	2021 г.	2022 г.	2020 г.	2021 г.	2022 г.	2020 г.	2021 г.	2022 г.
Целина	0,83	0,84	0,79	0,60	0,59	0,61	-0,95	-0,91	-0,92	-0,98	-0,96	-0,98
Чт, р№1	0,94	0,98	0,89	0,93	0,98	0,88	-0,79	-0,88	-0,73	-0,82	-0,87	-0,77
Лч, р№3	0,96	0,94	0,85	0,80	0,81	0,64	-0,91	-0,87	-0,99	-0,87	-0,88	-0,96
Чт, р№4	0,94	0,80	0,87	0,93	0,78	0,86	-0,80	-0,57	-0,69	-0,79	-0,59	-0,70
Лч, р№5	0,97	0,91	0,87	0,82	0,92	0,73	-0,75	-0,51	-0,95	-0,77	-0,48	-0,95
Чт, р№6	0,98	0,69	0,76	0,97	0,67	0,83	-0,87	-0,45	-0,52	-0,90	-0,45	-0,65
Лч, р№7	0,92	0,93	0,96	0,77	0,78	0,93	-0,91	-0,83	-0,78	-0,90	-0,87	-0,73

Нами рассчитаны коэффициенты корреляции связи содержания ОВ с гранулометрическими фракциями – 0,05-0,01 мм, 0,001-0,005 мм, <0,001 мм и <0,01 мм. Как следует из данных таблицы 6, связь содержания ОВ с фракцией крупной пыли тесная, а с фракцией тонкой пыли средняя на целине и тесная на пахотных почвах. Связь содержания ОВ с фракциями ила и физической глины тесная отрицательная. Наиболее наглядно эти зависимости показаны на рисунках 14-17.

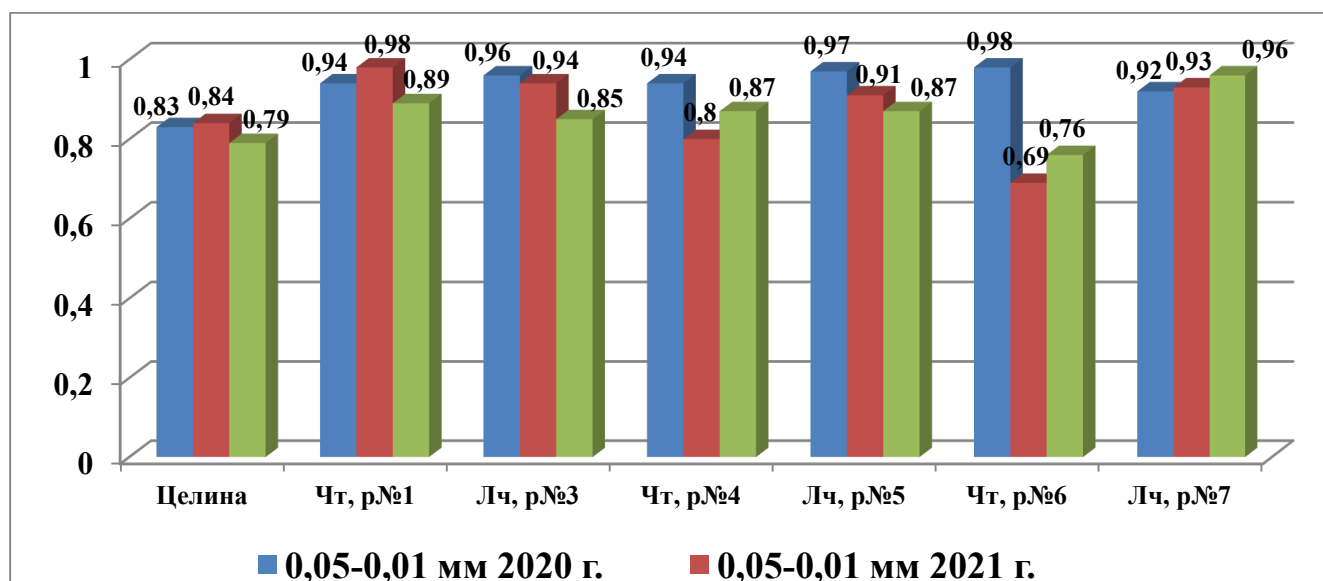


Рисунок 14 – Коэффициенты корреляции связи содержания ОВ с фракцией крупной пыли (0,05-0,01 мм)

Как следует из данных рисунка 14, коэффициенты корреляции связи содержания ОВ с фракцией крупной пыли мало изменяется по годам исследований. Связь содержания ОВ с фракцией крупной пыли для всех изучаемых почв тесная.

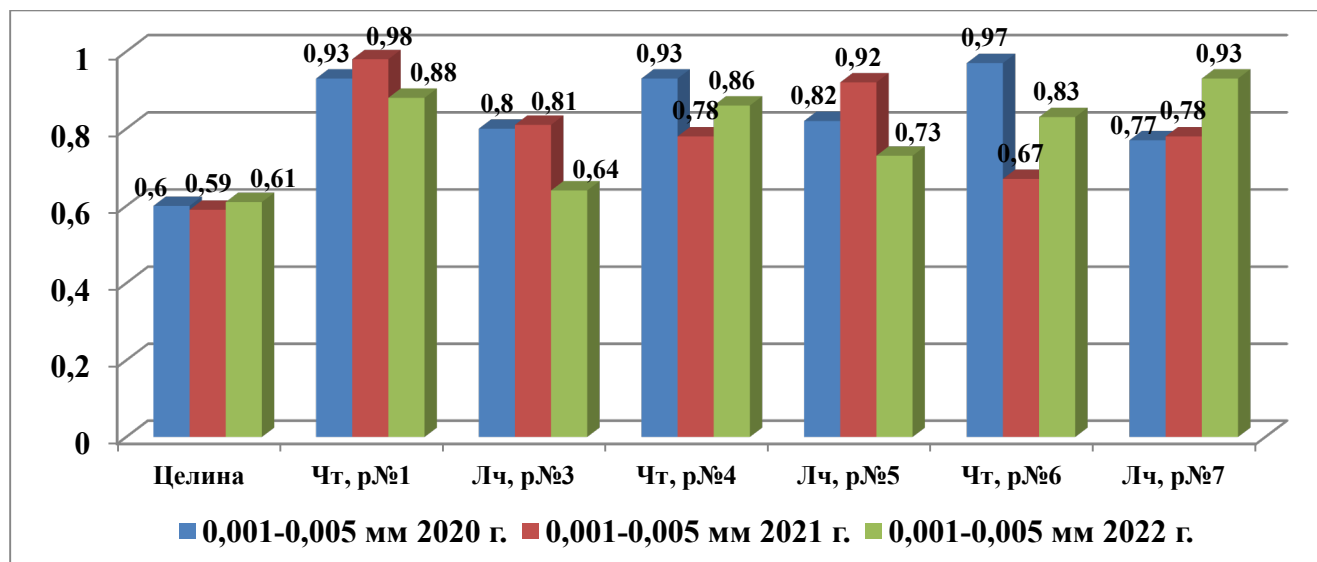


Рисунок 15 – Коэффициенты корреляции связи содержания ОВ с фракцией тонкой пыли (0,001-0,005 мм)

Несколько иной характер связи содержания ОВ установлен с фракцией тонкой пыли. Прежде всего, отметим более высокий размах колебаний величин коэффициентов корреляции для пахотных чернозёмов типичных и лугово-чернозёмных почв. В целинной лугово-чернозёмной почве коэффициенты корреляции за годы исследований практически постоянные, т.к. варьируют в пределах 0,59-0,61. Связь средняя. Связь содержания ОВ с фракцией тонкой пыли для пахотных почв тесная, однако для чернозёмов типичных она несколько выше, чем у лугово-чернозёмных почв.

В науке и практике считается, что основная масса ОВ закрепляется на илистой фракции. Нашими исследованиями установлено, что между содержанием ОВ существует отрицательная связь с фракциями или и физической глины. Более наглядно это представлено на рисунках 16 и 17 соответственно.

Установлено, что наиболее тесная отрицательная связь содержания ОВ с фракцией ила наблюдается на целинной лугово-чернозёмной почве, которая за годы наблюдений варьирует в очень узком пределе $g = -0,91-0,95$.

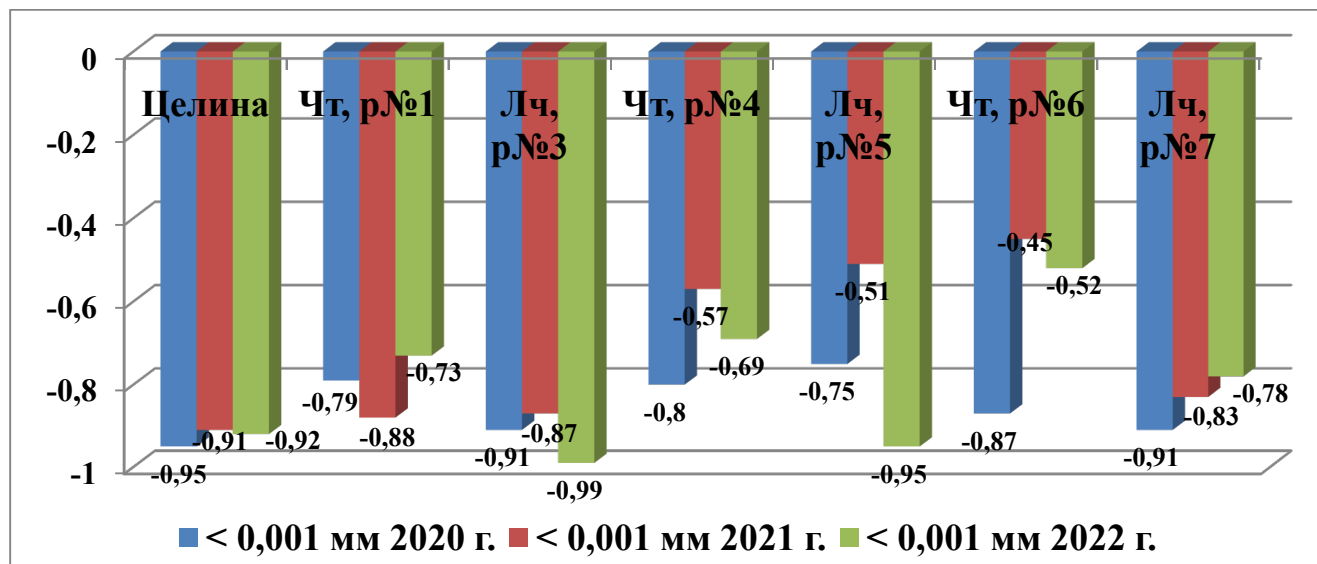


Рисунок 16 – Коэффициенты корреляции связи содержания ОВ с фракцией ила (<0,001 мм)

В чернозёмах типичных и лугово-чернозёмных почвах она ниже, чем на целине и сильно варьирует по годам наблюдений. В чернозёмах типичных она изменяется от тесной отрицательной в разрезе №1 ($g = -0,73-0,88$), до средней и тесной в разрезе №6 ($g = -0,45-0,87$). В лугово-чернозёмных почвах она тесная отрицательная и более стабильная, в разрезе №3 и 7 $g = -0,87-0,99$ и $g = -0,78-0,91$ соответственно. Только в лугово-чернозёмной почве (разрез № 5) она варьирует в пределах $g = -0,57-0,80$, т. е. от средней до тесной отрицательной.

Подобная закономерность тесноты связи содержания ОВ выявлена с фракцией физической глины (см. табл. 7 и рис. 17). На целинной лугово-чернозёмной почве связь содержания ОВ с фракцией физической глины тесная отрицательная – $g = -0,91-0,95$. В чернозёме типичном (разрез №1) связь содержания ОВ с фракцией физической глины стабильная тесная отрицательная – $g = -0,73-0,88$. В чернозёмах типичных разрезов №4 и 6 она варьирует в пределах $g = -0,59-0,79$ и $g = -0,45-0,90$, т.е. от средней и слабой до тесной отрицательной.

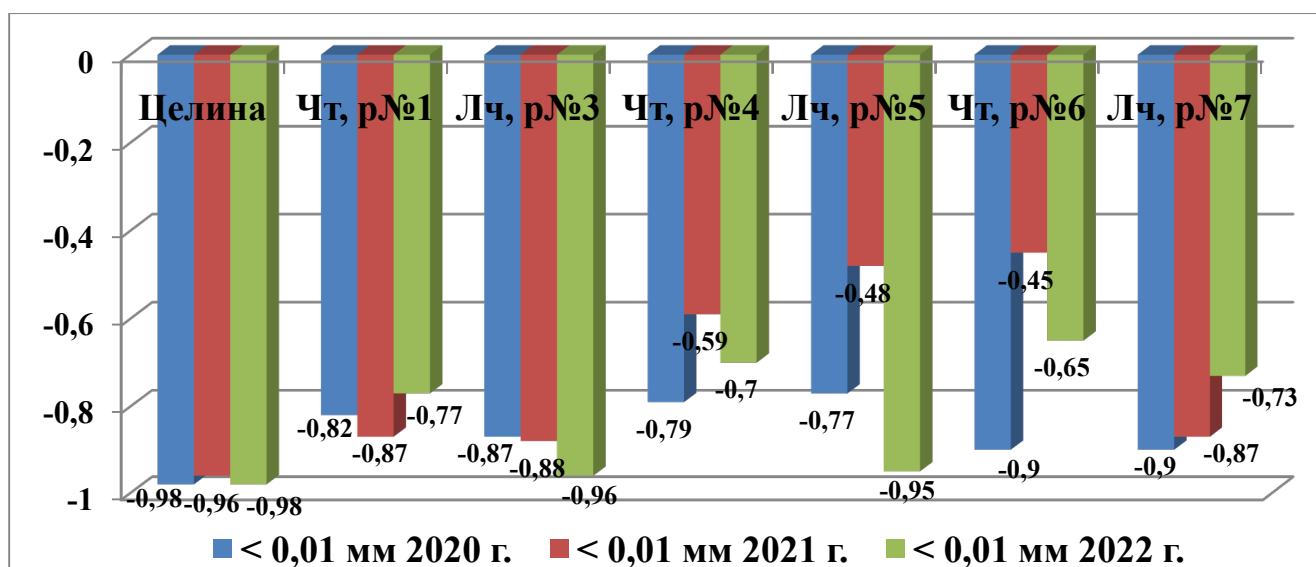


Рисунок 17 – Коэффициенты корреляции связи содержания ОВ с фракцией физической глины (<0,01 мм)

Связь содержания ОВ с фракцией физической глины более стабильная. В лугово-чернозёмных почвах (разрезы №3 и 7) она стабильная тесная отрицательная $g = -0,87-0,96$ и $g = -0,73-0,90$ соответственно. А в лугово-чернозёмной почве (разрез №5) связь содержания ОВ с фракцией физической глины нестабильна и варьирует в пределах $g = -0,48-0,95$, т.е. слабая и тесная отрицательная.

Органическое вещество почв как уже было показано нами выше, тесно связано с минеральной матрицей. Однако значительная его часть может находиться в свободном состоянии. Это, как правило, новообразованные гумусовые вещества, органические остатки различной степени разложения и продукты разложения. Они ещё не связаны с минеральной матрицей – это так называемое подвижное ОВ. Количество подвижного ОВ в разных почвах зависит, прежде всего, при жизненных выделениях ОВ корневыми системами с.-х. культур, от массы поступающей в почву органики, в виде корневых остатков, или органических удобрений. На закрепление ОВ в почвах решающее значение имеет наличие свободного кальция. Гуматы кальция малорастворимы в воде, и практически не мигрируют по профилю. Результаты определения подвижного ОВ (ПОВ) в изучаемых почвах представлены в таблице 7.

Таблица 8 – Влияние внесения свиного навоза на запасы подвижного ОВ и их распределение по профилю изучаемых почв

Разрезы	Слой, см	Содержание ПОВ, %			Среднее	Запасы ПОВ, т/га			ПОВ, т/га
		2020 г.	2021 г.	2022 г.		2020 г.	2021 г.	2022 г.	
Целина	0-20	0,80	0,63	0,76	0,73	17,60	13,86	15,20	15,55
	20-40	0,51	0,09	0,59	0,40	12,24	2,16	14,16	9,52
	40-60	0,09	0,06	0,08	0,08	2,34	1,56	1,56	1,82
	60-80	0,08	0,03	0,03	0,05	2,24	0,84	4,20	2,43
	80-100	0,04	0,02	0,01	0,02	1,16	0,58	0,29	0,68
р№1 Чт	0-20	0,13	0,23	1,83	0,72	2,86	5,06	40,26	16,06
	20-40	0,09	0,08	0,72	0,30	2,16	1,92	17,28	7,12
	40-60	0,06	0,04	0,09	0,06	1,56	1,04	2,34	1,65
	60-80	0,04	0,03	0,02	0,03	1,12	0,84	0,56	0,84
	80-100	0,03	0,02	0,01	0,02	0,87	0,58	0,29	0,58
р№3 Лч	0-20	0,62	0,86	0,49	0,66	13,64	18,92	10,78	14,45
	20-40	0,14	0,30	0,15	0,20	3,36	7,20	3,60	4,72
	40-60	0,09	0,06	0,05	0,07	2,34	1,56	1,30	1,73
	60-80	0,06	0,03	0,02	0,04	1,68	0,84	0,56	1,02
	80-100	0,02	0,02	0,01	0,02	0,59	0,59	0,29	0,49
р№4 Чт	0-20	4,60	2,61	0,85	2,67	101,20	54,42	18,70	58,11
	20-40	3,64	2,39	0,95	2,33	87,36	57,36	22,80	55,84
	40-60	1,43	0,90	0,30	0,88	37,18	23,40	7,80	22,79
	60-80	0,47	0,46	0,12	0,35	13,16	12,88	3,36	9,80
	80-100	0,43	0,13	0,05	0,20	12,47	3,77	1,45	5,90
р№5 Лч	0-20	3,87	1,39	1,71	2,32	85,14	30,58	37,62	51,11
	20-40	0,71	1,15	1,35	1,07	17,04	27,60	32,40	25,68
	40-60	0,34	0,81	0,49	0,55	8,84	21,06	12,74	14,21
	60-80	0,12	0,36	0,31	0,26	3,36	5,60	8,68	5,88
	80-100	0,04	0,20	0,18	0,14	1,16	5,80	5,22	4,06
р№6 Чт	0-20	2,77	1,63	1,05	1,82	60,94	35,86	23,10	39,97
	20-40	2,59	1,27	1,10	1,65	62,16	27,94	24,20	38,10
	40-60	2,33	0,80	0,75	1,29	60,58	20,80	19,50	33,63
	60-80	0,84	0,46	0,43	0,59	23,52	12,88	12,04	16,15
	80-100	0,68	0,20	0,33	0,40	19,72	5,80	9,57	11,69
р№7 Лч	0-20	1,37	1,60	1,40	1,46	30,14	35,20	30,80	32,05
	20-40	0,37	1,02	1,11	0,83	8,88	24,48	26,64	20,00
	40-60	0,15	0,71	0,64	0,50	3,90	18,46	16,64	13,00
	60-80	0,12	0,43	0,62	0,39	3,36	12,04	17,36	10,92
	80-100	0,17	0,34	0,41	0,31	4,93	9,86	11,89	8,89
НСР ₀₉₅		0,53							

Как следует из полученных нами данных (см. табл. 8), содержание ПОВ в изучаемых почвах неодинаково по годам наблюдений. На целинной лугово-чернозёмной почве содержание ПОВ было наиболее стабильным по годам наблю-

дений. Его содержание в верхнем 0-20 см слое варьировало в пределах 0,63-0,80%, т.е. амплитуда колебаний составляла 0,17%. Максимальное количество ПОВ извлекалось из почв, расположенных на поле №2. В очень широком диапазоне на этом поле изменяется и амплитуда колебаний содержания ПОВ. В чернозёмах типичных (разрезы 4 и 6) она составляет 3,75 и 1,72% соответственно. В лугово-чернозёмных почвах (разрезы № 5 и 7) амплитуда колебаний содержания ПОВ ниже и составляет 2,16 и 0,97% соответственно. Распределение ПОВ по профилю в изучаемых почвах прогрессивно убывающее. Столь же существенны колебания запасов ПОВ. Они изменяются в пахотном слое в очень широких пределах от 13,86-17,60 т/га в целинной лугово-чернозёмной почве до 18,70-101,20 т/га в чернозёме типичном (разрез №4).

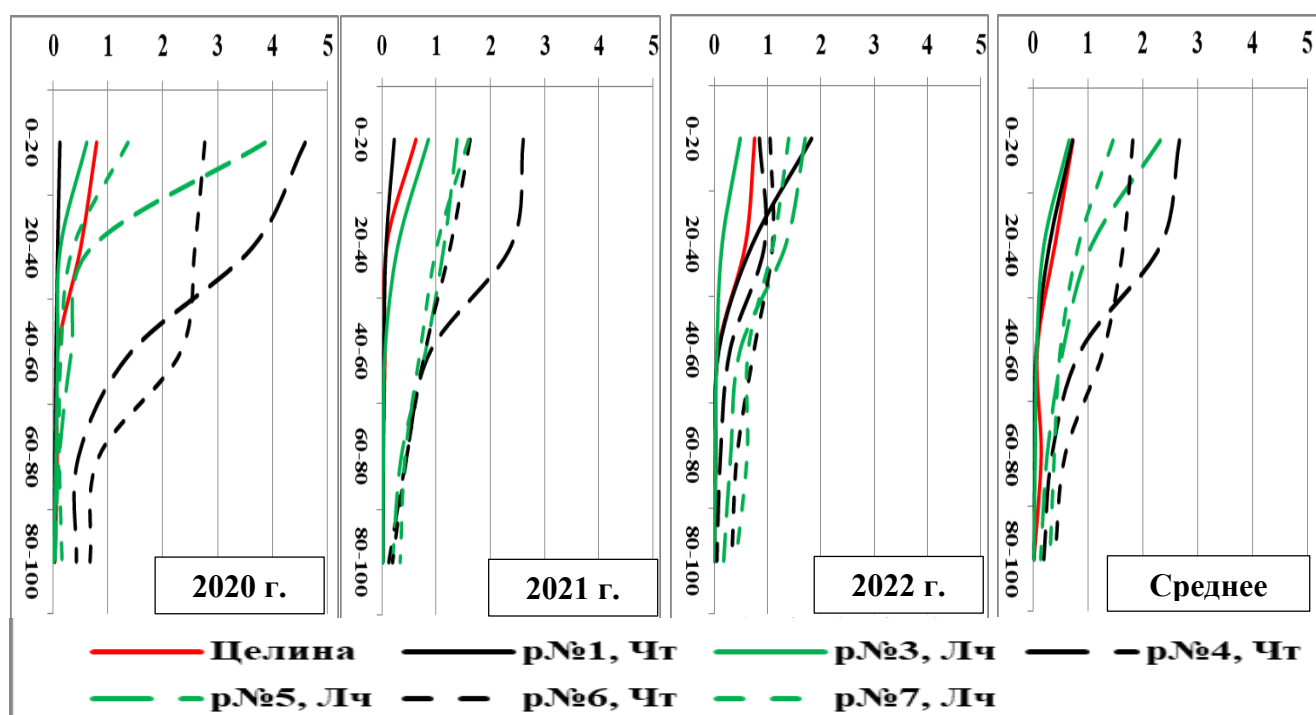


Рисунок 18 – Влияние внесения свиного навоза на содержание и характер распределения по профилю подвижного органического вещества, в %

Более наглядно закономерности изменения содержания и запасов ПОВ представлены на рисунках 18 и 19.

Как уже отмечалось выше, наибольшее количество ПОВ выявлено в 2020 году (см. рис.18), когда в слое 0-20 см в чернозёмах типичных извлекалось 0,13-

4,60 % (разрезы №1 и 4) ПОВ. Такая же закономерность наблюдалась и в 2021 году, но извлекалось гораздо меньше ПОВ – 0,23-2,61% (разрезы №1 и 4). Наименьшее количество ПОВ извлекалось в 2022 году, причём минимальное содержание его выявлено в лугово-чернозёмной почве (разрез №3) – 0,49%, а наибольшее в чернозёме типичном (разрез №4) – 1,83% (разрез №1). Среднее содержание ПОВ показывает различие по извлекаемому ПОВ на полях №1 и 2.

Наименее дифференцирован по содержанию ПОВ профиль лугово-чернозёмных почв, а в чернозёмах типичных наиболее.

Содержание и характер распределения запасов ПОВ и изучаемых почвах полностью согласуется с закономерностями содержания и распределения содержания ПОВ. Это наглядно представлено на рисунке 19.

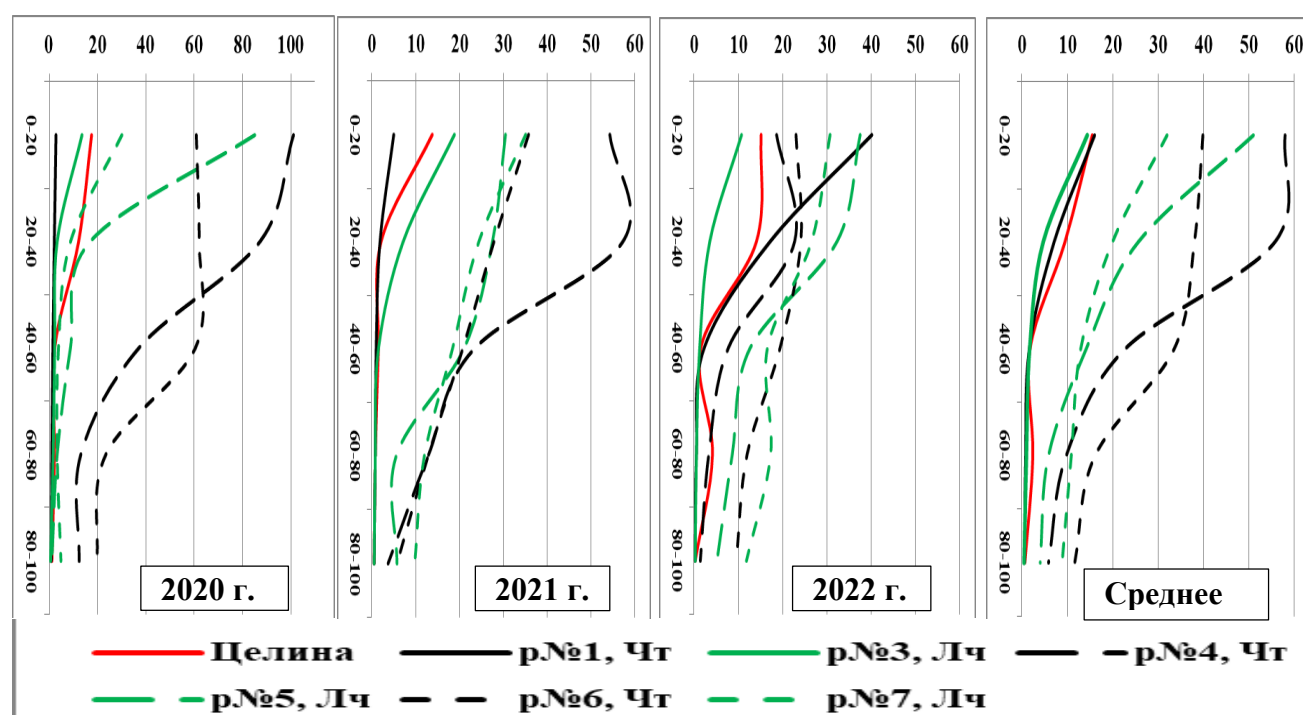


Рисунок 19 – Влияние внесения свиного навоза на запасы и характер распределения по профилю подвижного органического вещества, в т/га

Как следует из данных рисунка 19, максимальные запасы ПОВ выявлены в 2020 году, а минимальные в 2022 году. Если в целинной лугово-чернозёмной почве в слое 0-20 см запасы ПОВ составляют 17,60 т/га, то чернозёмах типичных оно

находится в пределах 2,86-101,20 т/га, а в лугово-чернозёмных почвах 13,64-85,14 т/га. В 2022 году в целинной лугово-чернозёмной почве запасы ПОВ составили 15,20 т/га, то в чернозёмах типичных они находились в пределах 23,10-40,26 т/га, а в лугово-чернозёмных почвах 10,78-37,62 т/га.

По средним запасам ПОВ выявляется существенное различие между почвами на поле №1 и №2. В почвах на поле №1 запасы ПОВ в слое 0-20 см минимальны и изменяются в пределах от 15,55 т/га в целинной лугово-чернозёмной почве до 14,45-16,06 т/га в лугово-чернозёмной почве и чернозёме типичном соответственно. В почвах на поле №2 запасы ПОВ в слое 0-20 изменяются в пределах 32,05-58,11 т/га в лугово-чернозёмной почве и чернозёме типичном соответственно.

Как следует из полученных нами данных, содержание и запасы ПОВ в чернозёмах типичных выше, чем в целинной лугово-чернозёмной почве и в пахотных лугово-чернозёмных почвах. Это связано с различиями в извлекаемости ПОВ из изучаемых почв. Для выявления в степени извлекаемости ПОВ из изучаемых почв мы выразили их содержание в относительных процентах к общему содержанию ОВ. Данные представлены в таблице 9 и на рисунке 20.

Как следует из данных таблицы 9, максимальная извлекаемость ОВ, наблюдалась в 2020 году на поле №2. Если в целинной лугово-чернозёмной почве в слое 0-20 см извлекалось 9,66% от общего содержания ОВ, в чернозёмах типичных до 36,33-41,37%, а в лугово-чернозёмных почвах 15,15-49,78%. Минимальное количество ПОВ извлекалось в 2022 году. В целинной лугово-чернозёмной почве в слое 0-20 см извлекалось 0,76%. В чернозёмах типичных оно изменялось в пределах 0,72-1,05%, а в лугово-чернозёмных почвах в пределах 0,49-1,71%. В среднем за три года в целинной лугово-чернозёмной почве в слое 0-20 см извлекалось 6,07% от общего содержания ОВ.

Таблица 9 – Влияние внесения свиного навоза на содержание подвижного
ОВ по профилю изучаемых почв

Разрезы	Слой, см	Содержание ОВ, %			ПОВ в относительных %			ПОВ среднее
		2020 г.	2021 г.	2022 г.	2020 г.	2021 г.	2022 г.	
Целина	0-20	8,28	7,96	8,09	9,66	7,79	0,76	6,07
	20-40	6,13	6,78	7,13	8,32	1,33	0,59	3,41
	40-60	1,87	2,30	2,24	4,81	2,61	0,08	2,50
	60-80	1,09	0,83	2,17	7,34	3,61	0,03	3,66
	80-100	1,30	1,56	1,78	3,08	1,28	0,01	4,37
р№1 Чт	0-20	5,74	7,72	8,89	2,26	2,98	1,83	2,36
	20-40	4,56	4,41	7,78	1,97	1,81	0,72	1,50
	40-60	3,37	3,52	3,59	1,78	1,14	0,09	1,00
	60-80	2,06	1,92	2,54	1,94	1,56	0,02	1,17
	80-100	2,00	1,04	1,98	1,50	1,92	0,01	1,14
р№3 Лч	0-20	7,80	8,70	9,52	7,95	9,88	0,49	6,11
	20-40	6,22	7,70	5,98	2,25	3,90	0,15	2,10
	40-60	5,39	5,06	3,65	1,67	1,19	0,05	0,97
	60-80	4,09	3,09	3,15	1,47	0,97	0,02	0,82
	80-100	3,52	1,98	2,61	0,57	1,01	0,01	0,53
р№4 Чт	0-20	9,22	6,83	7,39	41,37	38,21	0,85	26,81
	20-40	6,52	6,98	6,52	10,89	34,24	0,95	15,36
	40-60	5,85	4,72	5,61	5,81	19,07	0,30	8,39
	60-80	3,56	3,87	3,52	3,37	11,89	0,12	5,13
	80-100	2,41	2,54	3,09	1,66	5,12	0,05	2,28
р№5 Лч	0-20	9,24	6,33	8,02	49,78	21,96	1,71	24,48
	20-40	8,91	6,59	6,74	40,85	17,45	1,35	19,88
	40-60	7,39	6,72	4,20	19,35	12,05	0,49	10,63
	60-80	4,22	4,17	3,76	11,14	8,63	0,31	6,69
	80-100	3,76	2,93	2,91	11,44	6,83	0,18	6,15
р№6 Чт	0-20	7,50	7,17	6,93	36,33	22,73	1,05	20,04
	20-40	6,26	6,98	6,59	41,13	18,19	1,10	20,14
	40-60	5,57	6,96	5,41	41,83	11,46	0,75	18,01
	60-80	4,78	2,91	4,22	17,57	15,81	0,43	11,27
	80-100	4,91	1,09	3,46	13,85	18,35	0,33	10,84
р№7 Лч	0-20	9,04	7,33	7,63	15,15	21,83	1,40	12,79
	20-40	8,09	7,17	6,85	4,57	14,23	1,11	6,64
	40-60	6,22	5,24	6,30	2,41	13,55	0,64	5,53
	60-80	5,41	3,91	4,65	2,22	11,00	0,62	4,61
	80-100	4,37	3,43	3,24	3,89	9,91	0,41	4,74

В чернозёмах типичных извлекалось 2,36-26,81%, а в лугово-чернозёмных почвах 6,11-24,48% от общего содержания ОВ. Более наглядно выявленные закономерности по извлекаемости ПОВ представлены на рисунке 20.

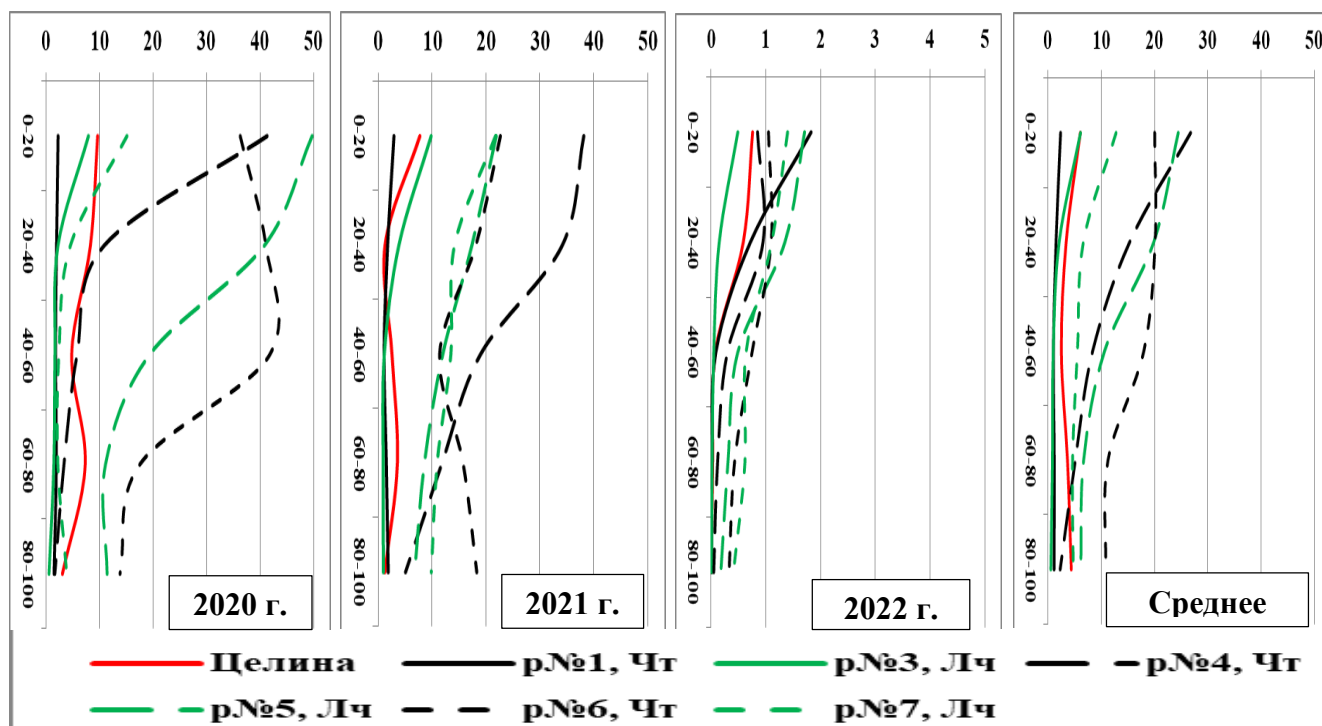


Рисунок 20 – Влияние внесения свиного навоза на содержание и характер распределения по профилю подвижного органического вещества, в относительных к общему ОВ процентах

Как следует из данных рисунка 20, наблюдается неодинаковая извлекаемость ПОВ на полях №1 и 2. Минимальная она на поле №1, а максимальная на поле №2. Очень низкая извлекаемость ПОВ выявлена в 2022 году. Сохраняется общая закономерность по степени дифференциации профиля изучаемых почв и по степени дифференциации профиля. В наибольшей степени она наблюдалась в 2020 и 2021 году, а минимальная в 2022 году. Для чернозёмов типичных она более выражена, чем в лугово-чернозёмных почвах.

Для выявления причин, обуславливающих такие закономерности, нами рассчитаны коэффициенты корреляции содержания ПОВ с рН водной и солевой вытяжки и суммой обменных оснований. Данные приведены в таблице 10. Как следует из данных таблицы 10, между содержанием ПОВ и рН водной и солевой вытяжки установлена преимущественно тесная отрицательная связь. Связь содержания ПОВ в изучаемых почвах с суммой обменных оснований преимущественно средняя и тесная.

Таблица 10 – Коэффициенты корреляции содержания ПОВ с рН_{вв}, рН_{св} и суммой обменных оснований

Разрезы	рН _{вв}			рН _{св}			S		
	2020 г.	2021 г.	2022 г.	2020 г.	2021 г.	2022 г.	2020 г.	2021 г.	2022 г.
Целина	-0,85	-0,68	-0,95	-0,71	-0,24	-0,88	0,81	0,77	0,97
Чт, р №1	-0,97	-0,39	-0,90	-0,99	-0,62	-0,78	0,90	0,76	0,13
Лч, р №3	-0,35	-0,99	-0,71	0,54	-0,92	-0,93	0,27	0,36	1,00
Чт, р №4	-0,97	-0,97	-0,52	-0,88	-0,98	-0,99	0,61	-0,17	0,34
Лч, р №5	-0,94	-0,86	0,30	-0,95	-0,96	0,45	0,43	-0,31	0,92
Чт, р №6	-0,65	-0,80	-0,51	-0,65	-0,13	-0,22	0,72	0,65	0,53
Лч, р №7	-0,81	-0,75	-0,52	-0,88	-0,79	-0,13	0,38	0,37	0,39
Среднее г Чт	-0,86	-0,72	-0,64	-0,84	-0,58	-0,66	0,74	0,41	0,33
Среднее г Лч	-0,70	-0,87	-0,31	-0,42	-0,89	-0,20	0,36	0,14	0,77

Для более наглядного представления о связи содержания ПОВ с актуальной, обменной кислотностью и суммой обменных оснований на рисунке 21 представлены коэффициенты корреляции в целинной лугово-чернозёмной почве и средние коэффициенты корреляции в чернозёмах типичных и лугово-чернозёмных почвах.

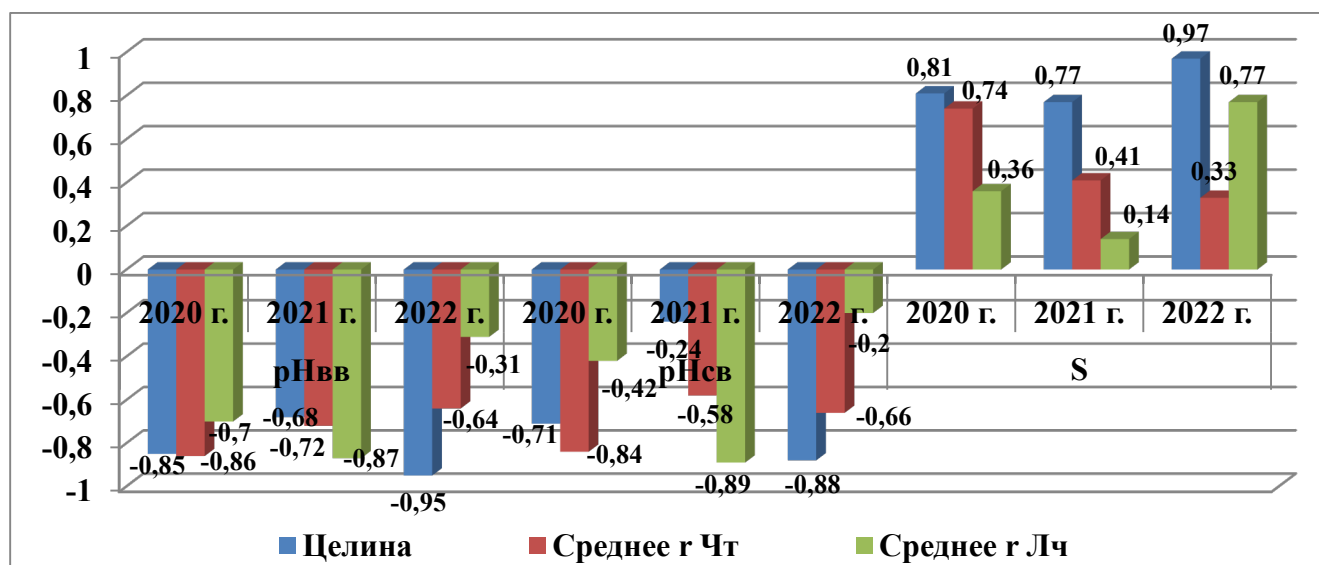


Рисунок 21 – Коэффициенты корреляции содержания ПОВ с рН_{вв}, рН_{св} и суммой обменных оснований (S)

Как уже было показано по данным таблицы 10, связь содержания ПОВ с рН_{вв} и рН_{св} тесная отрицательная. На целинной лугово-чернозёмной почве $r = -0,85$ - $-0,95$. Средняя величина коэффициентов корреляции в чернозёме типичном находится в пределах $r = -0,58$ - $-0,86$, т.е. изменяется от средней до тесной отрица-

тельной. В лугово-чернозёмных почвах средняя величина находится в пределах $r = -0,20-0,89$, т.е. изменяется от слабой, до тесной отрицательной.

Связь содержания ПОВ в целинной почве с суммой обменных оснований находится в пределах $r = 0,77-0,97$, т.е. тесная. В чернозёмных почвах средняя величина коэффициента корреляции изменяется в пределах $r = 0,33-0,74$, т.е. изменяется от средней до тесной. В лугово-чернозёмных почвах величина коэффициента корреляции изменяется в пределах $r = 0,14-0,77$, т.е. изменяется от отсутствия связи, до средней и тесной.

Полученные нами данные позволяют сделать следующие выводы по влиянию внесения свиного навоза на режим ОВ изучаемых почв.

1. Установлено, что среднее содержание ОВ в слое 0-20 см на целине 8,11%, амплитуда колебаний за три года 0,32%, т.е. оно стабильно. В чернозёмах типичных среднее содержание ОВ в пахотном слое составляет 8,47, 7,81 и 7,20%, а амплитуда колебаний 1,12, 2,39 и 0,57% соответственно. В лугово-чернозёмных почвах, среднее содержание ОВ в пахотном слое составляет 8,67, 7,86 и 8,00%, а амплитуда колебаний 1,72, 2,91 и 1,71% соответственно. Более высокое содержание ОВ в лугово-чернозёмных почвах обусловлено повышенным поверхностным увлажнением, что обуславливает поступление органического вещества жидкой фракции свиного навоза на большую глубину. В результате перераспределения жидкой фракции свиного навоза по элементам микрорельефа, в западины поступает дополнительное количество ОВ.

2. Длительное внесение свиного навоза изменяет характер распределения ОВ по профилю. Если в целинной лугово-чернозёмной почве он прогрессивно убывающий, то на пашне с внесением навоза постепенно убывающий.

3. Длительное применение свиного навоза не только повышает содержание ОВ, но и увеличивает мощность органопрофиля. Если в целинной лугово-чернозёмной почве он равен 60 см, то применение свиного навоза повышает его до 100 см и более.

4. Запасы ОВ в слое 0-100 см целинной лугово-чернозёмной почвы составляют 478 т/га. Внесение свиного навоза повышает содержание ОВ в лугово-чернозёмных почвах до 650-738 т/га, а в чернозёмах типичных до 500-677 т/га.

5. Большая часть ОВ – 76,57% в целинной лугово-чернозёмной почве – сосредоточен в слое 0-50 см. Внесение свиного навоза снижает аккумуляцию ОВ в этом слое до 46,16-68,60% в чернозёмах типичных, и до 58,26-63,38% в лугово-чернозёмных почвах.

6. Установлено, что между содержанием ОВ и фракцией крупной пыли существует тесная связь. Связь ОВ с фракцией тонкой пыли на целине средняя, а на пахотных почвах тесная. Связь содержания ОВ с фракциями ила и физической глины варьирует от слабой, до тесной отрицательной.

7. Внесение свиного навоза повышает содержание подвижного органического вещества. Содержание подвижного органического вещества имеет тесную отрицательную связь с рН водной и солевой вытяжки, связь с суммой обменных оснований варьирует от средней до тесной.

4 ВЛИЯНИЕ СВИНОГО НАВОЗА НА СОДЕРЖАНИЕ И ХАРАКТЕР РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ПО ПРОФИЛЮ МАКРОЭЛЕМЕНТОВ

Длительное внесение свиного навоза обуславливает существенные изменения в содержании минерального азота, подвижного фосфора и обменного калия. По данным [61] в жидком свином навозе содержится 0,12-0,20% азота, 0,14-0,30% фосфора и 0,07-0,09% калия, а в твёрдой фазе. При этом в твёрдой фазе содержится 0,29% азота 0,02% фосфора и 0,062% калия. Содержание подвижных форм составляет 280-480 мг/кг N-NO₃. 147-215 мг/кг фосфора и 327-420 мг/кг калия. В твёрдой фазе соответственно 2220 мг/кг азота, 2190 мг/кг фосфора и 975 мг/кг калия. Таким образом, жидкий свиной навоз следует рассматривать как азотно-фосфорное удобрение. Оно не сбалансировано, в дефиците будет калий.

4.1 Влияние свиного навоза на содержание и характер распределения по профилю минерального азота

Длительное внесение свиного навоза оказывает влияние не только на содержание и запасы ОВ в изучаемых почвах, но и на содержание минерального азота, подвижного фосфора и обменного калия.

Если по содержанию, характеру распределения и запасам ОВ в изучаемых почвах выявлены общие закономерности, то иное положение наблюдается по влиянию жидкой фракции свиного навоза на содержание нитратов и аммонийного азота в изучаемых почвах.

Данные по влиянию внесения жидкого свиного навоза на содержание нитратов в изучаемых почвах представлены в таблице 11 и на рисунках 22-26.

Нитратный азот не закрепляется в почве и способен мигрировать по профилю почвы с нисходящим током влаги. В условиях высокого уровня грунтовых вод возникает опасность поступления в них нитратов и загрязнения. Фоновыми почвами хозяйства являются лугово-чернозёмные почвы. Они формируются при высоком уровне залегания грунтовых вод – 1,5-3 м. После внесения свиного навоза

нитраты мигрируют по профилю, о чем свидетельствуют полученные нами данные (см. табл. 11 и рис. 22). Содержание нитратов существенно изменяется во времени и в почвах. Как правило, в лугово-чернозёмных почвах содержание нитратов выше, чем в чернозёмах типичных (см. табл. 11).

Таблица 11 – Влияние внесения свиного навоза на содержание, характер распределения по профилю и градиента нитратов (* в слое 0-60 см)

Разрезы	Слой, см	N-NO ₃ , мг/кг								g N-NO ₃			Среднее g N-NO ₃
		2020 г.		2021 г.		2022 г.		среднее		2020 г.	2021 г.	2022 г.	
Целина Лч	0-20	1,5	1,4*	2,5	2,1	1,7	1,6	1,9	1,4	0,015	0,52	0,85	0,46
	20-40	1,6		2,1		2,4		2,0		0,016	0,44	1,20	0,55
	40-60	1,1		1,7		0,8		1,2		0,011	0,35	0,40	0,25
	60-80	1,5		1,5		2,1		1,7		0,015	0,31	1,05	0,48
	80-100	10,0		4,8		2,0		5,6		-	-	-	-
р№1 Чт	0-20	3,2	3,4	14,8	8,7	3,2	5,4	7,1	5,9	0,54	4,00	0,74	1,76
	20-40	3,5		5,9		7,9		5,8		0,59	1,59	1,84	1,34
	40-60	3,5		5,5		5,0		4,7		0,59	1,49	1,16	1,08
	60-80	3,0		4,7		6,3		4,7		0,51	1,27	1,46	1,08
	80-100	5,9		3,7		4,3		4,3		-	-	-	-
р№3 Лч	0-20	6,8	5,6	44,7	42,7	5,8	20,4	19,1	22,9	0,57	0,81	0,16	0,51
	20-40	5,6		43,6		25,1		24,8		0,47	0,79	0,71	0,66
	40-60	4,5		39,8		30,2		24,8		0,37	0,72	0,85	0,65
	60-80	9,3		74,1		70,8		51,4		0,77	1,35	1,99	1,37
	80-100	12,0		55,0		35,5		34,2		-	-	-	-
р№4 Чт	0-20	3,5	2,5	3,6	2,6	8,9	7,6	5,3	4,2	1,35	2,12	0,15	1,17
	20-40	1,4		2,7		3,7		2,6		0,54	1,59	0,06	0,73
	40-60	2,7		1,5		10,2		4,8		1,04	0,88	0,18	0,70
	60-80	2,6		1,6		38,9		14,4		1,00	0,94	0,68	0,87
	80-100	2,6		1,7		57,5		20,6		-	-	-	-
р№5 Лч	0-20	8,9	18,6	40,7	132,2	5,1	3,9	18,2	51,6	1,02	2,81	1,76	1,86
	20-40	27,5		246,0		4,2		92,6		3,16	16,96	1,45	7,19
	40-60	19,5		110,0		2,5		44,0		2,24	7,59	0,86	3,56
	60-80	15,1		23,4		2,2		13,6		1,41	1,61	0,76	1,26
	80-100	8,7		14,5		2,9		8,7		-	-	-	-
р№6 Чт	0-20	16,2	17,3	11,0	52,3	3,1	5,9	10,1	25,2	1,04	1,00	0,94	0,99
	20-40	8,9		87,1		4,4		33,5		0,59	7,92	1,33	3,28
	40-60	26,9		58,9		10,2		32,0		1,78	5,35	3,09	3,41
	60-80	12,9		12,0		4,4		9,8		0,85	1,09	1,33	1,09
	80-100	15,1		11,0		3,3		9,8		-	-	-	-
р№7 Лч	0-20	75,9	30,0	22,4	59,1	4,6	9,3	34,3	32,8	13,80	0,81	0,71	4,87
	20-40	8,6		99,9		12,9		40,5		1,56	3,63	1,98	2,39
	40-60	5,5		55,0		10,5		23,7		1,00	2,00	1,61	1,54
	60-80	5,1		26,9		8,1		13,4		0,93	0,98	1,25	1,05
	80-100	5,5		27,5		6,5		13,2		-	-	-	-

Максимальное содержание нитратов наблюдалось в 2021 и 2022 годы, что обусловлено последствием внесения свиного навоза в 2020 году. Отметим, что в разрезе №1 чернозёма типичного наблюдается сравнимое с целинной лугово-чернозёмной почвой низкое содержание нитратов по всем годам наблюдений. Это связано с тем, что разрез был заложен на части поля, припаханной целины в 2019 году. Относительно низкое содержание нитратов наблюдается и в чернозёме типичном на поле №2 в разрезе №4. Этот разрез был заложен на части поля, где в 2020 году произведено известкование.

По всем годам наблюдений выявляется резкое колебание содержания нитратов в исследуемых почвах. Столь заметные различия по содержанию нитратов в изучаемых почвах обусловлено хорошо развитым микрорельефом территории. В западины поступает дополнительное количество свиного навоза, что и является причиной повышенного содержания нитратов в лугово-чернозёмных почвах. Более наглядно содержание и характер распределения по профилю нитратного азота показано на рисунке 22. Оценим влияние внесения свиного навоза на содержание нитратов в изучаемых почвах с использованием градации, предложенной Гамзиковым Г.П. [24], которая представлена в таблице 12.

Таблица 12 – Обеспеченность растений минеральным азотом почвы (мг/кг) и потребности, полевых культур в азотных удобрениях (Гамзиков Г.П., 2000)

Обеспеченность почвы азотом	0-20 см	0-40 см	0-60 см	Потребность в удобрениях
N-NO ₃				
Очень низкая	< 10	< 5	< 3	Очень высокая
Низкая	10-15	5-10	3-8	Высокая
Средняя	15-20	10-15	8-12	Средняя
Высокая	> 20	> 15	> 12	Отсутствует
N-NO ₃ + N-NH ₄				
Очень низкая	< 15	< 7	< 5	Очень высокая
Низкая	15-30	7-15	5-10	Высокая
Средняя	30-50	15-25	10-20	Средняя
Высокая	> 50	> 25	> 20	Отсутствует

Как следует из данных таблицы 12, мы можем провести оценку влияния внесения свиного навоза в слое 0-60 см, что для нас представляет особый интерес,

т.к. навоз вносился внутрипочвенно на глубину 20-40 см. Ведь нитраты весьма лабильны в почве и могут перемещаться по профилю.

С учётом высокой миграционной способностью нитратов большое значение имеет определение их содержания в нижней части профиля. Это наглядно представлено на рисунке 22.

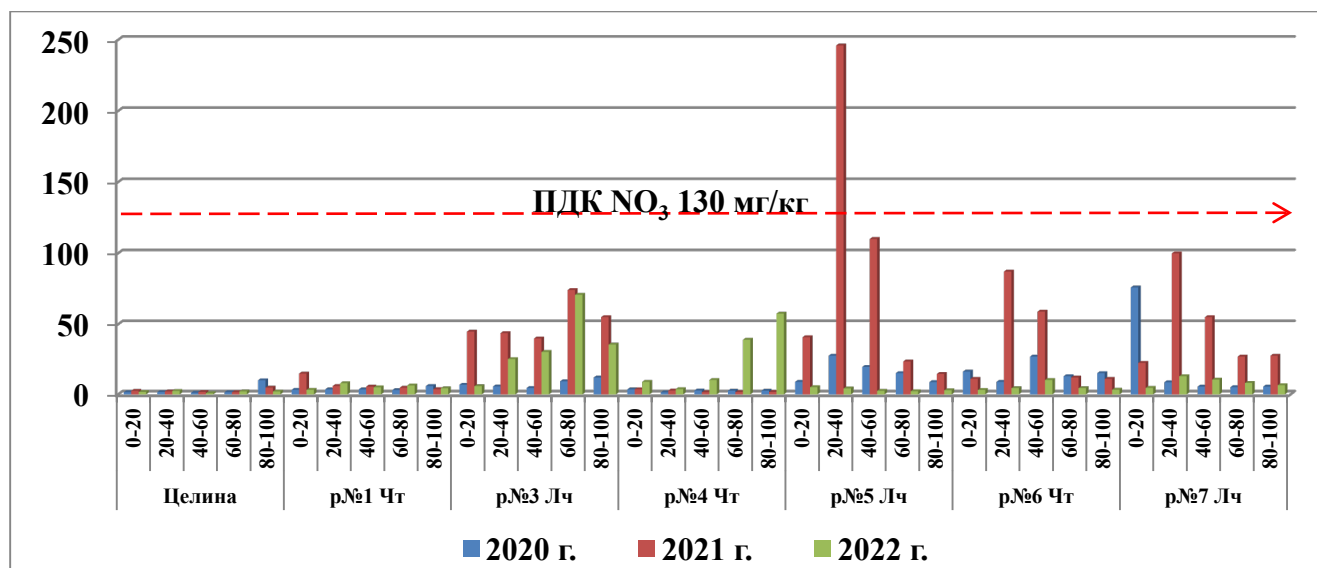


Рисунок 22 – Влияние внесения свиного навоза на содержание нитратов в изучаемых почвах, мг/кг

Красной пунктирной линией на рисунке 22 отмечен уровень ПДК по нитратам. Нитраты в отличие от аммонийного азота не закрепляются почвенным поглощающим комплексом почв. При достаточном или избыточном увлажнении нитраты мигрируют с нисходящим током влаги в нижнюю часть профиля и за его пределы. При высоком уровне грунтовых вод возникает опасность загрязнения их нитратами. Как следует из полученных нами данных (см. рис. 22) угроза загрязнения грунтовых вод нитратами вполне реальна.

Максимальное содержание нитратов в профиле наблюдалось в 2021 году. Если на целине содержание нитратов находится в пределах 1,5-4,8 мг/кг, то в рядом расположенном чернозёме типичном на поле №1 оно возрастает до 3,7-14,8 мг/кг почвы, а в лугово-чернозёмной почве до 39,8-55,0 мг/кг почвы. На поле №2 содержание нитратов в чернозёмах типичных резко возрастает с 1,5-3,6 до 11,0-

87,1 мг/кг почвы. На этом же поле содержание нитратов в лугово-чернозёмных почвах возрастает от 22,4-99,9 (разрез №7) до 14,5-246,0 мг/кг почвы (разрез №5), т.е. превышает ПДК по нитратам почти в два раза. Внутрипочвенное внесение свиного навоза обуславливает максимальное содержание нитратного азота на глубине внесения – в слое 20-40 см. Особенно ясно это видно на поле №2 в лугово-чернозёмных почвах содержание нитратного азота в этом слое достигает 246,0 мг/кг и 99,9 мг/кг почвы в разрезах № 5 и 7 соответственно. В чернозёме типичном (разрез №6) в слое 20-40 см содержание нитратного азота достигает 87.1 мг/кг почвы.

С учётом ежегодного внесения свиного навоза, опасность загрязнения грунтовых вод нитратами возрастает. Это усугубляется наличием многочисленных западин с избыточным поверхностным увлажнением. После схода снежного покрова западины полностью заполняются талой водой, и это затопление длится в зависимости от площади западин и глубины их вреза часто не только до начала весенних полевых работ, но и затрудняют, а в отдельные годы полностью исключают возможность посева с.-х. культур.

Обеспеченность нитратным азотом слоя 0-20 см существенно изменяется как по годам наблюдений, так и в изучаемых почвах. В целинной лугово-чернозёмной почве за наблюдаемый период она оценивается как очень низкая 1,-2,5мг/кг почвы. В чернозёмах типичных в этом слое содержание нитратов находится в пределах 3,2-16,2 мг/кг, т.е. обеспеченность ими изменяется от очень низкой, до средней. В лугово-чернозёмных почвах содержание нитратного азота в слое 0-20 см находится в пределах 5,8-44,7 мг/кг и обеспеченность нитратным азотом оценивается от низкой, до высокой.

В чернозёмах типичных обеспеченность нитратным азотом (см. табл. 12) в слое 0-60 см в 2020 году изменяется в пределах 2,5-17,3 мг/кг, т.е. изменяется от низкой до высокой. В лугово-чернозёмных 5,6-30,0 мг/кг, т.е. изменяется от низкой, до высокой. В целинной лугово-чернозёмной почве она находится на уровне 1,4 мг/кг, т.е. очень низкая. В 2021 году обеспеченность нитратным азотом слоя 0-

60 см на целине остаётся очень низкой – 2,1 мг/кг. В чернозёмах типичных она возрастает до 2,6-52,3 мг/кг, изменяется от очень низкой, до высокой. В лугово-чернозёмной почве обеспеченность нитратным азотом повышается до 8,7-132,2 мг/кг почвы, т.е. изменяется от низкой, до высокой. В 2022 году обеспеченность нитратным азотом значительно снижается. Если на целине она остаётся на очень низком уровне – 1,4 мг/кг, то в чернозёмах типичных она находится в пределах 5,4-7,6 мг/кг, т.е. низкая, а в лугово-чернозёмных остаётся на высоком уровне – 3,9-20,4 мг/кг почвы. Отметим, что содержание нитратов в этом слое в чернозёмах типичных в 1,5-3 раза ниже, чем в лугово-чернозёмных почвах.

На рисунке 23 показано влияние внесения свиного навоза на среднее за три года наблюдений содержание нитратов в изучаемых почвах.

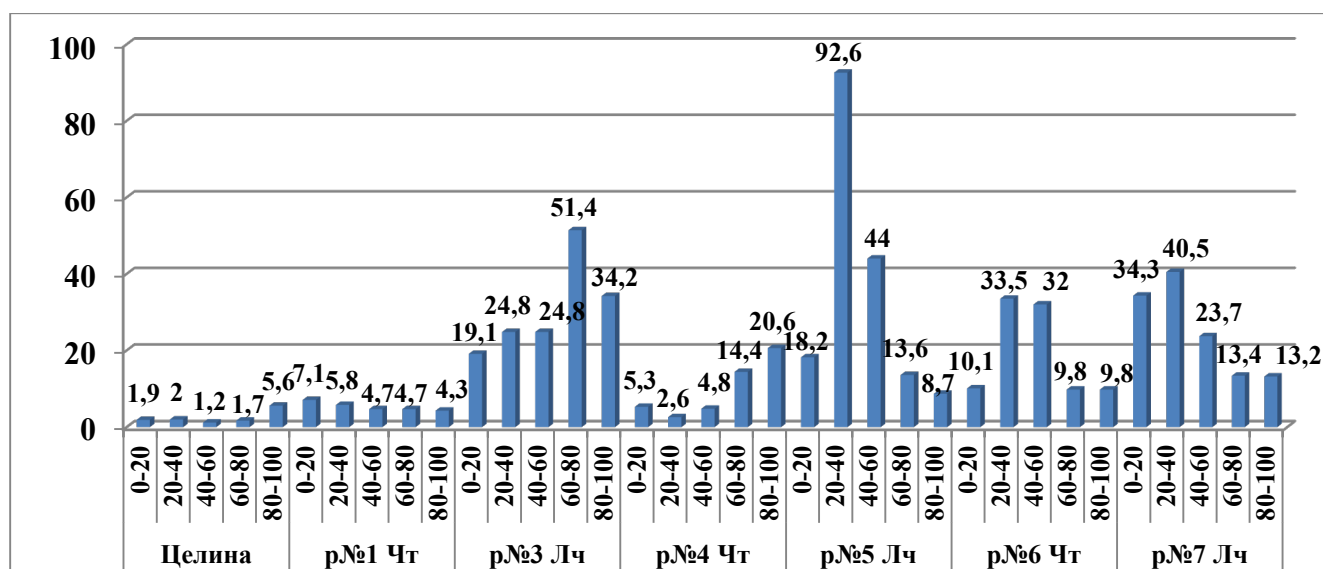


Рисунок 23 – Влияние внесения свиного навоза на среднее содержание нитратного азота в изучаемых почвах

Как следует из данных рисунка 23, основные закономерности содержания и характера распределения по профилю изучаемых почв сохраняются. Мы наблюдаем повышенное содержание нитратов в лугово-чернозёмных почвах относительно целины и чернозёмов типичных.

Если в слое 0-20 см на целинной лугово-чернозёмной почве среднее содержание нитратов составляет 1,9 мг/кг, то в чернозёмах типичных оно варьирует в пределах 5,3-10,1 мг/кг, что соответствует очень низкой и низкой обеспеченности. В лугово-чернозёмных почвах среднее содержание нитратного азота достигает 18,2-34,3 мг/кг, т.е. соответствует высокой обеспеченности.

В целинной лугово-чернозёмной почве среднее содержание нитратов в пределах профиля изменяется в пределах 2,0-1,2 мг/кг, а в пахотных аналогах и чернозёмах типичных наблюдается существенное повышение. Резкое повышение среднего содержания нитратного азота наблюдается в лугово-чернозёмных почвах. Среднее содержание нитратного азота в профиле лугово-чернозёмной почвы (разрез №3) находится в пределах 19,1-51,4 мг/кг почвы, а максимальное их содержание наблюдается в разрезе №5 – 8,7-92,6 мг/кг почвы. Подобное изменение содержания нитратного азота является следствием внесения свиного навоза.

О характере распределения нитратного азота по профилю изучаемых почв можно судить по величине градиента нитратов. Данные представлены на рисунке 24.

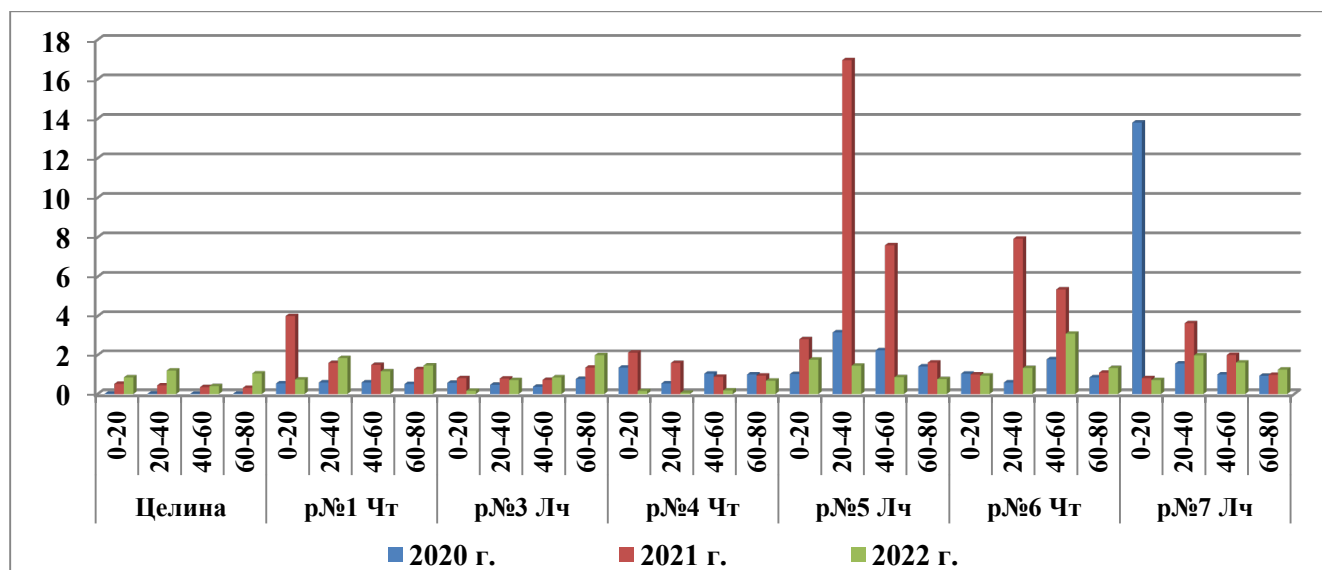


Рисунок 24 – Влияние внесения свиного навоза на градиент распределения нитратного азота по профилю изучаемых почв

Как следует из полученных нами данных (см. рис. 24) на целинной лугово-чернозёмной почве наблюдается повышение величины g с глубиной практически по всем годам наблюдений. В пахотных аналогах целинной почвы изменения величины g носит неоднозначный характер и сохраняется только в лугово-чернозёмной почве (разрез №3) в чернозёме типичном (разрез №1).

Как следует из данных таблицы 11 и рисунка 24, минимальный средний градиент нитратов, выявлен в целинной лугово-чернозёмной почве, варьирующий по профилю в пределах 0,25-0,55. Длительное внесение свиного навоза резко повышает градиент содержания нитратов в изучаемых почвах. Так в чернозёмах типичных он возрастает до 0,99-3,41 (разрез №6), а в лугово-чернозёмных почвах до 0,126-7,19.

Как известно [70, 107] основная часть почвенного азота входит в состав ОВ. Как и ОВ он аккумулируется в верхних горизонтах почв, а точнее в пределах гумусового горизонта. В верхнем слое почв валовое содержание азота изменяется в пределах 0,10-0,85%. Для большинства почв содержание азота в ОВ достигает примерно 5%. В связи с этим нами рассчитаны коэффициенты корреляции содержания нитратов с ОВ изучаемых почв. Данные представлены в таблице 13 и на рисунке 25.

Таблица 13 – Коэффициенты корреляции содержания нитратов с ОВ изучаемых почв

Разрезы	2020 г.	2020 г.	2022 г.	Среднее
Целина	-0,39	-0,13	0,30	-0,07
Разрез №1 Чт	-0,47	0,94	0,95	0,47
Разрез №3 Лч	-0,68	-0,63	-0,75	-0,69
Разрез №4 Чт	0,67	0,81	-0,92	0,19
Разрез №5 Лч	0,41	0,66	0,92	0,66
Разрез №6 Чт	-0,05	0,60	0,03	0,19
Разрез №7 Лч	0,73	0,48	0,17	0,46

Как следует из данных таблицы 13, в целинной лугово-чернозёмной почве связь содержания нитратов с ОВ почвы слабая отрицательна и положительная, или отсутствует. Внесение свиного навоза существенно изменяет связь содержа-

ния нитратов с ОВ изучаемых почв. Однако характер связи неодинаков для изучаемых почв.

Наиболее наглядно это представлено на рисунке 25. Как следует из данных рисунка 25, внесение свиного навоза существенно повышает связь содержания нитратов с ОВ изучаемых почв. Так в чернозёме типичном (разрез №1), Связь содержания нитратов с ОВ средняя отрицательная в 2020 году и тесная в 2021 и 2022 годы – $r = -0,47$ и $0,94-0,95$. В лугово-чернозёмной почве, разреза №3, заложенного, как и разрез №1 на поле №1, эта связь отрицательная, средняя и тесная $r = -0,63-0,75$.

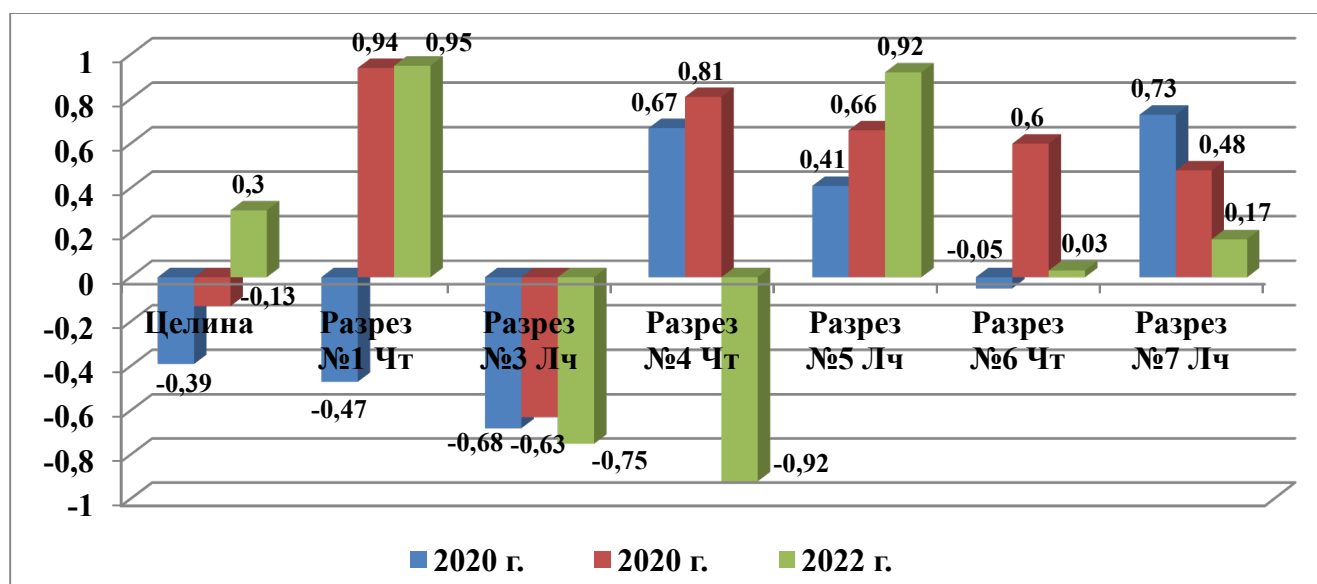


Рисунок 25 – Коэффициенты корреляции содержания нитратов с ОВ изучаемых почв

Несколько иная закономерность наблюдается в почвах поля №2. Часть поля, на которой заложен разрез №4 чернозёма типичного, была производственной в 2020 году. Связь содержания нитратов с ОВ в данной почве варьирует от средней $r = 0,67$ в 2020 году, до тесной в 2021 году – $r = 0,81$ и тесной отрицательной в 2022 году – $r = -0,93$. В лугово-чернозёмной почве (разрез №5) она изменяется от средней $r = 0,41$ в 2020 году, до тесной – $r = -0,93$. В чернозёме типичном (разрез №6) она средняя – $r = 0,60$ в 2021 году и отсутствует в остальные годы. В лугово-

чернозёмной почве (разрез №7) связь содержания нитратов с ОВ изменяется от тесной, $r = 0,73$ в 2020 году до средней – $r = 0,48$ и отсутствует в 2022 году.

Таким образом, установлено, что внесение свиного навоза существенно повышает связь содержания нитратов с ОВ изучаемых почв.

Как известно, аммонийный азот не мобилен в почве, поскольку вовлекается в обменные процессы с почвенным поглощающим комплексом [120, 24]. Независимо от типа почв, динамика содержания этой формы азота довольно монотонна: наибольшее количество наблюдается весной, снижается летом и вновь возрастает осенью. Предшественник, возделываемая культура и обработка почвы слабо влияют на накопление обменного аммония. Азотсодержащие органические и минеральные удобрения временно повышают его количество в почве, но в последующем внесённый аммоний быстро нитрифицируется до конечного продукта – нитратов.

На режим аммонийных соединений в почве существенно влияют гидротермические условия: при избыточном или недостаточном увлажнении и холодной погоде количество их, как правило, возрастает. Внесение свиного навоза оказывает влияние на содержание аммонийного азота только в нижней части профиля по сравнению с целинной лугово-чернозёмной почвой [89]

Данные о влиянии свиного навоза на содержание аммонийного азота представлены в таблице 14.

По данным таблицы 14, содержание аммонийного азота в слое 0-20 см в целинной почве изменяется по годам исследований в пределах 24,80-31,68 мг/кг. В слое 80-100 см содержание аммонийного азота составляет 9,60-15,44 мг/кг почвы.

Как следует из данных таблицы 14, в чернозёмах типичных и лугово-чернозёмных почвах содержание аммонийного азота в слое 0-20 см ниже, чем на целинной лугово-чернозёмной почве. В пахотном слое чернозёмов типичных содержание аммонийного азота варьирует в пределах 16,16-23,20 мг/кг почвы, а в лугово-чернозёмных почвах 14,96-27,76 мг/кг почвы.

Таблица 14 – Влияние внесения свиного навоза на содержание, характер распределения по профилю и градиент аммонийного азота

Разрезы	Слой, см	N-NH ₄ , мг/кг				g N-NH ₄			Среднее g N-NH ₄
		2020 г.	2021 г.	2022 г.	Среднее	2020 г.	2021 г.	2022 г.	
Целина Лч	0-20	26,95	24,80	31,68	27,59	2,13	2,58	2,05	2,25
	20-40	23,12	21,28	28,32	24,24	1,83	2,22	1,83	1,96
	40-60	19,92	14,88	23,92	19,57	1,58	1,55	1,27	1,47
	60-80	18,64	9,92	18,40	15,65	1,47	1,03	1,19	1,23
	80-100	12,64	9,60	15,44	12,56	-	-	-	-
р№1, Чт	0-20	16,16	20,48	18,96	18,53	0,67	2,69	1,18	1,51
	20-40	15,12	15,20	18,96	16,43	0,62	2,00	1,18	1,27
	40-60	18,83	11,28	14,72	14,94	0,78	1,48	0,92	1,06
	60-80	16,80	10,88	16,24	14,64	0,69	1,43	1,01	0,71
	80-100	24,16	7,60	16,00	15,92	-	-	-	-
р№3, Лч	0-20	24,40	14,96	26,88	22,08	101	1,91	1,65	1,52
	20-40	30,16	13,76	20,48	21,47	1,25	1,75	1,25	1,42
	40-60	21,12	13,44	20,24	18,27	0,88	1,71	1,24	1,28
	60-80	23,68	9,12	12,88	15,23	0,98	1,16	0,79	0,98
	80-100	24,08	7,84	16,32	16,08	-	-	-	-
р№4, Чт	0-20	17,12	16,16	18,16	17,15	1,45	3,67	1,23	2,12
	20-40	20,56	15,20	21,20	18,99	1,74	3,45	1,43	2,21
	40-60	16,08	8,96	13,92	12,99	1,36	2,04	0,94	1,45
	60-80	14,32	7,28	19,20	13,60	1,21	1,65	1,30	1,39
	80-100	11,84	4,40	14,80	11,68	-	-	-	-
р№5, Лч	0-20	15,92	16,40	19,20	17,17	1,06	2,30	1,52	1,63
	20-40	17,12	15,68	18,00	16,93	1,14	2,20	1,42	1,59
	40-60	16,16	13,28	17,04	15,49	1,07	1,86	1,35	1,43
	60-80	15,28	10,24	16,72	14,08	1,02	1,44	1,32	1,26
	80-100	15,04	7,12	12,64	11,60	-	-	-	-
р№6, Чт	0-20	23,20	16,80	18,00	19,33	1,36	2,06	1,10	1,51
	20-40	22,96	18,16	15,04	18,72	1,35	2,22	0,92	1,50
	40-60	20,88	14,00	16,24	17,04	1,22	1,72	0,99	1,31
	60-80	14,32	10,08	13,92	38,32	0,84	1,23	0,85	0,97
	80-100	17,04	8,16	16,32	13,84	-	-	-	-
р№7, Лч	0-20	27,76	17,60	20,80	22,05	1,35	1,90	1,06	1,44
	20-40	17,04	14,56	20,64	17,41	0,83	1,57	1,05	1,15
	40-60	21,92	13,44	20,24	18,53	1,07	1,45	1,03	1,18
	60-80	14,56	9,60	18,64	14,27	0,71	1,03	0,95	0,90
	80-100	20,56	9,28	19,68	16,51	-	-	-	-
НСР ₀₉₅		6,14							

В слое 80-100 см содержание аммонийного азота в чернозёмах типичных и лугово-чернозёмных почвах выше, чем на целине, но варьирует в более широком диапазоне 4,40-24,16 и 7,84-24,08 мг/кг почвы соответственно. Такое положение

обусловлено поступлением аммонийного азота с жидкой фракцией свиного навоза в нижнюю часть профиля за счёт нисходящего тока влаги в изучаемых почвах.

Более наглядно влияние внесения свиного навоза на содержание аммонийного азота в изучаемых почвах и характер его распределения по профилю представлено на рисунке 26.

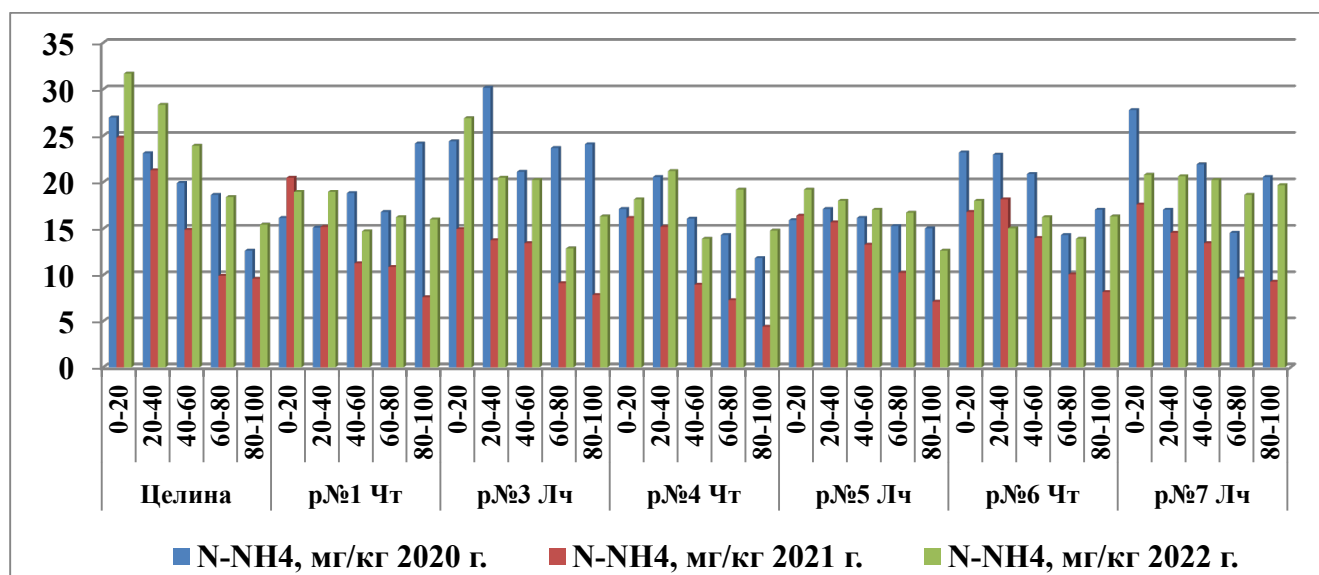


Рисунок 26 – Влияние внесения свиного навоза на содержание и характер распределения по профилю аммонийного азота в изучаемых почвах

Отметим сильное варьирование содержания аммонийного азота, как по годам наблюдений, так и в изучаемых почвах. И если по отношению к целинной лугово-чернозёмной почве в пахотных чернозёмах типичных и лугово-чернозёмных не наблюдается превышения содержания аммонийного азота, то различия между чернозёмами типичными и лугово-чернозёмными почвами по этому показателю достаточно наглядны. В наибольшей степени об этом можно судить по амплитуде колебаний содержания аммонийного азота в пределах профиля. Амплитуда колебаний содержания аммонийного азота в лугово-чернозёмных почвах ниже, чем в чернозёмах типичных. Это хорошо выявляется по среднему за три года наблюдений по данным таблицы 14 и рисунка 27. Амплитуда колебаний в целинной лугово-чернозёмной почве 15,03 мг/кг, в пахотных аналогах 5,57-7,78 мг/кг.

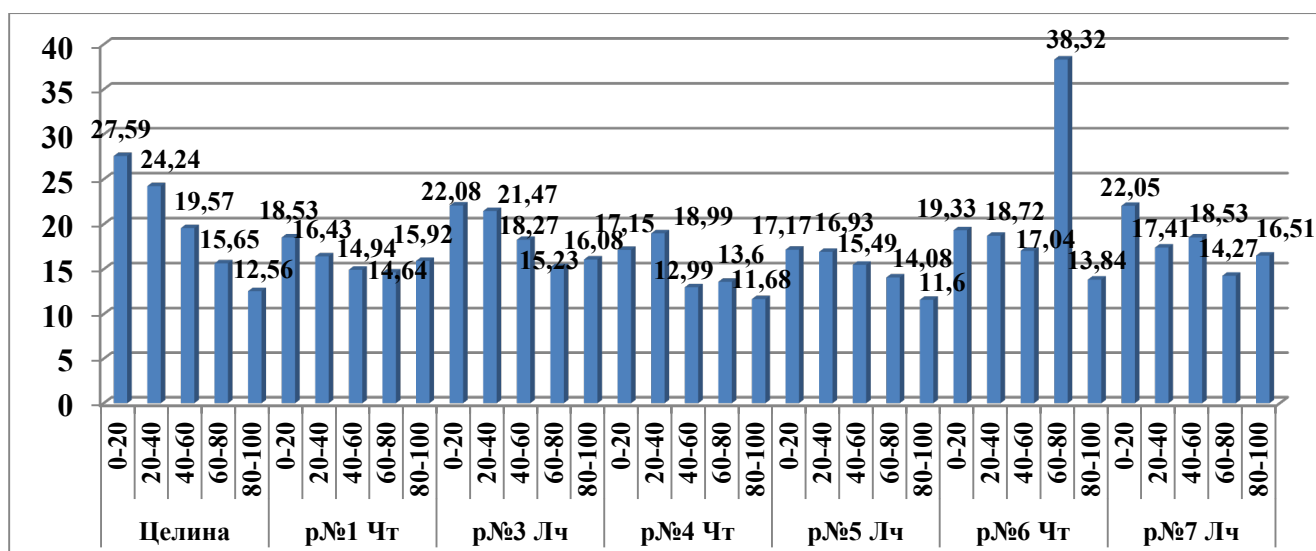


Рисунок 27 – Влияние внесения свиного навоза на среднее содержание аммонийного азота в изучаемых почвах

В чернозёмах типичных 3,89-5,47, а в разрезе №6 27,48 мг/кг почвы. По этим данным нельзя сделать однозначного вывода. И это справедливо, если обратить внимание на среднепрофильное содержание аммонийного азота. Выявляется иная закономерность при рассмотрении среднепрофильного содержания аммонийного азота в изучаемых почвах (см. табл. 14 и рис. 27).

Как следует из данных рисунка 27, среднепрофильное содержание аммонийного азота на целинной лугово-чернозёмной почве составляет 31,60 мг/кг почвы. Среднепрофильное содержание аммонийного азота в чернозёмах типичных равно 16,09, 14,88 и 21,45 мг/кг почвы соответственно в разрезах 1, 4, и 6. В лугово-чернозёмных почвах оно составляет 18,63, 15,05 и 17,75 мг/кг почвы соответственно в разрезах 3, 5 и 7. Таким образом, среднепрофильное содержание аммонийного азота в чернозёмах типичных и лугово-чернозёмных почвах ниже, чем в целинной лугово-чернозёмной почве. Это обусловлено повышенным выносом азота с урожаем с.-х. культур. Отметим различный характер распределения аммонийного азота по профилю изучаемых почв.

Если в целинной лугово-чернозёмной почве, он прогрессивно убывающий, то чернозёмах типичных он элювиально-иллювиальный.

Как уже отмечалось выше, поведение аммонийного азота в почве существенно отличается от нитратного азота. С целью выяснения связей содержания аммонийного азота с физико-химическими параметрами изучаемых почв нами выполнен корреляционный анализ. Данные представлены в таблицах 15, 16 и рисунках 28, 29.

Таблица 15 – Коэффициенты корреляции содержания аммонийного азота с рН водной и солевой вытяжки изучаемых почв

Разрезы	2020 г.	2020 г.	2022 г.	Средний г NH ₄ /рН _{вв}	2020 г.	2020 г.	2022 г.	Средний г NH ₄ /рН _{св}
Целина	-0,93	-0,91	-0,97	-0,94	-0,85	-0,65	-0,98	-0,83
р №1, Чт	0,52	-0,62	-0,76	-0,29	0,73	-0,81	-0,86	-0,31
р №3, Лч	0,79	-0,78	-0,78	-0,26	0,55	-0,42	-0,94	-0,27
р №4, Чт	-0,70	-0,97	-0,30	-0,66	-0,46	-0,96	0,11	-0,44
р №5, Лч	-0,28	-0,91	-0,24	-0,48	-0,04	-0,94	-0,09	-0,36
р №6, Чт	-0,64	-0,89	-0,12	-0,55	-0,63	-0,10	0,15	-0,19
р №7, Лч	-0,53	-0,81	-0,39	-0,58	-0,74	-0,85	-0,35	-0,65
г	г NH ₄ /рН _{вв}				г NH ₄ /рН _{св}			

Как следует из полученных нами данных (см. табл. 15), между содержанием аммонийного азота и рН водной и солевой вытяжки выявлена отрицательная связь. Это хорошо оценивается по средним за три года коэффициентам корреляции (см. табл. 15 и рис. 28).

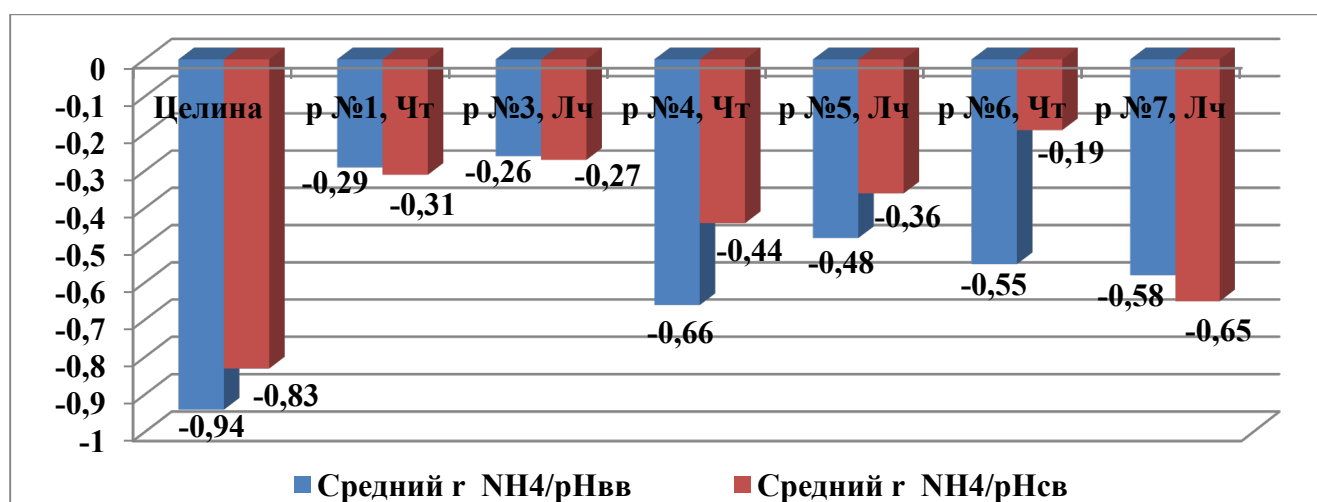


Рисунок 28 – Коэффициенты корреляции содержания аммонийного азота с рН водной и солевой вытяжки изучаемых почв

Связь содержания аммонийного азота с рН водной и солевой вытяжки очень динамична по годам исследований. Более наглядно это представлено на рисунке 28.

По среднему за три года исследований она наиболее стабильна в целинной лугово-чернозёмной почве, т.к. $r = -0,94$, т.е. тесная отрицательная. В чернозёмах типичных она варьирует в пределах $r = -0,29-0,66$, т.е. от слабой до средней отрицательной, а у лугово-чернозёмных почв $r = -0,26-0,58$, т.е. она на том же уровне, что и у чернозёмов типичных.

Аммоний входит в состав ОВ почвы и активно поглощается почвенным поглощающим комплексом. Нами выполнен расчёт коэффициентов корреляции содержания аммонийного азота с ОВ и суммой поглощённых оснований. В таблице 15 приводим данные по корреляции содержания аммонийного азота с содержанием ОВ и суммой обменных оснований (S).

Таблица 16 – Коэффициенты корреляции содержания аммонийного азота с содержанием ОВ и суммой поглощённых оснований

Разрезы	2020 г.	2020 г.	2022 г.	Ср. r $\text{NH}_4/\text{ОВ}$	2020 г.	2020 г.	2022 г.	Ср. r NH_4/S
Целина	0,87	0,98	0,91	0,92	0,90	0,97	0,92	0,93
р №1, Чт	-0,64	0,98	0,88	0,41	-0,43	0,88	0,34	0,26
р №3, Лч	0,28	0,94	0,89	0,70	-0,46	0,86	0,88	0,43
р №4, Чт	0,72	0,99	0,34	0,68	-0,86	0,61	-0,38	-0,21
р №5, Лч	0,83	0,93	0,84	0,87	0,63	-0,21	0,84	0,42
р №6, Чт	0,87	0,94	0,41	0,74	0,71	0,84	0,92	0,82
р №7, Лч	0,46	0,95	0,75	0,72	0,45	0,42	0,33	0,40
r	r $\text{NH}_4/\text{ОВ}$				r NH_4/S			

Как следует из полученных нами данных (см. табл. 16), между содержанием аммонийного азота и ОВ в целинной лугово-чернозёмной почве выявлена тесная связь, $r = 0,87-0,98$. В чернозёмах типичных она изменяется от средней отрицательной, до тесной – $r = -0,64-0,99$, а в лугово-чернозёмных почвах она изменяется от средней, $r = 0,46$ до тесной – $r = 0,95$.

Связь содержания аммонийного азота с суммой обменных оснований в целинной лугово-чернозёмной почве тесная, $r = 0,90-0,97$, в чернозёмах типичных она изменяется от средней отрицательной $r = -0,38$ до тесной – $r = 0,92$. В лугово-

чернозёмных почвах она изменяется от слабой отрицательной $r = -0,21$, до тесной – $r = 0,88$. Наиболее стабильные коэффициенты корреляции получены по целинной лугово-чернозёмной почве.

На рисунке 29 приводим средние коэффициенты корреляции связи содержания аммонийного азота с ОБ и суммой обменных оснований.

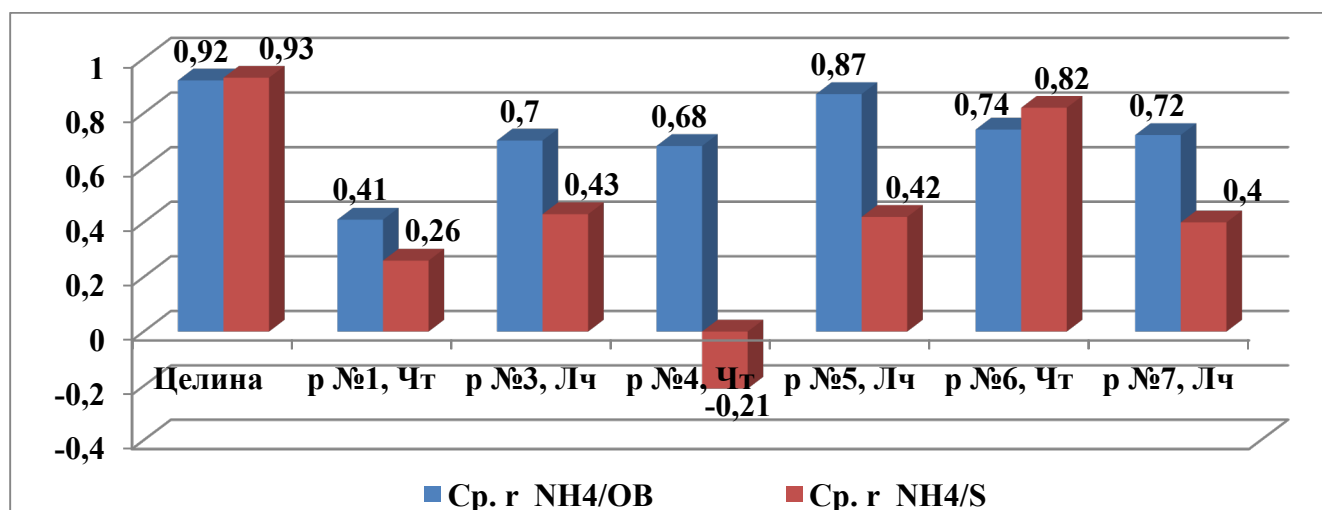


Рисунок 29 – Средние коэффициенты корреляции связи содержания аммонийного азота в ОБ и суммой обменных оснований (S)

По данным таблицы 16 и рисунка 29 установлено, что в целинной лугово-чернозёмной почве средняя за годы наблюдений связь содержания аммонийного азота с ОБ и суммой поглощённых оснований тесная – $r = 0,92$ и $r = 0,93$. В лугово-чернозёмных почвах средняя связь содержания аммонийного азота с ОБ варьирует от $r = 0,68$ до $r = 0,87$, т.е. средняя и тесная. В чернозёмах типичных она изменяется в пределах $r = 0,41-0,74$ и оценивается как средняя и тесная.

Средняя связь содержания аммонийного азота с суммой обменных оснований в лугово-чернозёмных почвах изменяется в пределах $r = 0,40-0,43$, т.е. средняя. В чернозёмах типичных коэффициенты корреляции варьируют в более широком диапазоне от $r = -0,21$ слабой отрицательной, до $r = 0,82$ – тесной. Внесение свиного навоза оказывает существенно влияние на обеспеченность с.-х. культур минеральным азотом. Данные по влиянию внесения свиного навоза на содержание минерального азота в изучаемых почвах приведены в таблице 17. Оценку

обеспеченности с.-х. культур минеральным азотом выполним с использованием таблицы 12.

Таблица 17 – Влияние внесения свиного навоза на содержание, характер распределения по профилю и градиент минерального азота

Разрезы	Слой, см	N-NO ₃ + N-NH ₄ , мг/кг				g N-NO ₃ + N-NH ₄			Среднее g N-NO ₃ + N-NH ₄
		2020 г.	2021 г.	2022 г.	среднее	2020 г.	2021 г.	2022 г.	
Целина Лч	0-20	28,45	27,30	33,38	29,71	1,26	1,89	1,64	1,60
	20-40	24,72	23,38	30,72	26,27	1,09	1,62	1,45	1,39
	40-60	21,02	16,58	24,72	20,77	0,93	1,15	1,36	1,15
	60-80	20,14	11,42	20,50	17,35	0,89	0,79	0,95	0,88
	80-100	22,64	14,40	17,44	18,16	-	-	-	-
р№1 Чт	0-20	19,36	35,28	22,16	25,60	0,64	3,12	1,25	1,67
	20-40	18,62	21,10	26,86	22,19	0,62	1,87	1,08	1,19
	40-60	22,33	16,78	19,72	19,61	0,74	1,48	0,95	1,06
	60-80	19,80	15,58	22,54	19,31	0,66	1,38	0,94	0,99
	80-100	30,06	11,30	20,30	20,55	-	-	-	-
р№3 Лч	0-20	31,20	59,66	32,68	41,18	0,84	0,95	0,82	0,87
	20-40	35,76	57,36	45,58	46,23	0,99	0,91	0,92	0,94
	40-60	25,62	53,24	50,44	43,10	0,71	0,85	0,86	0,81
	60-80	32,98	83,22	83,68	56,63	0,91	1,32	1,13	1,11
	80-100	36,08	62,84	51,82	50,25	-	-	-	-
р№4 Чт	0-20	20,62	19,76	27,06	22,48	1,43	3,24	0,73	1,82
	20-40	21,96	17,90	24,90	21,59	1,52	2,93	0,70	1,72
	40-60	18,78	10,46	24,12	17,79	1,30	1,71	0,57	1,19
	60-80	16,92	8,88	58,10	27,97	1,17	1,46	0,90	1,18
	80-100	14,44	6,10	72,30	30,95	-	-	-	-
р№5 Лч	0-20	24,82	57,10	24,30	35,41	1,04	2,64	1,66	1,78
	20-40	44,62	261,68	22,20	109,50	1,88	12,10	4,95	6,31
	40-60	35,66	123,28	19,54	59,49	1,50	5,70	2,79	3,33
	60-80	30,38	33,64	18,92	27,65	1,28	1,56	1,30	1,38
	80-100	23,74	21,62	18,54	21,30	-	-	-	-
р№6 Чт	0-20	39,40	27,80	21,10	29,43	1,78	1,45	1,45	1,56
	20-40	31,86	105,26	19,44	52,19	1,44	5,49	2,57	3,17
	40-60	50,48	72,90	26,44	49,94	2,28	3,80	2,46	2,85
	60-80	25,22	22,08	18,32	21,87	1,14	1,15	1,08	1,12
	80-100	22,14	19,16	19,62	20,31	-	-	-	-
р№7 Лч	0-20	130,56	40,00	25,40	65,32	5,01	1,09	2,20	2,77
	20-40	25,64	114,46	33,54	57,88	0,98	3,11	1,95	2,01
	40-60	27,42	68,44	30,74	42,20	1,05	1,86	1,42	1,44
	60-80	19,66	36,50	26,74	27,63	0,75	0,99	0,93	0,89
	80-100	26,06	36,78	26,18	29,64	-	-	-	-

Содержание минерального азота в слое 0-20 см в целинной лугово-чернозёмной почве находилось в пределах 27,30-33,38 мг/кг почвы.

Уровень обеспеченности минеральным азотом оценивается как низкий и средний. В чернозёмах типичных уровень обеспеченности минеральным азотом изменяется от 19,76-27,06 мг/кг до 21,10-39,40 мг/кг почвы, т.е. изменяется от низкого до среднего. В лугово-чернозёмных почвах он изменяется от 24,90-57,10 мг/кг до 25,40-130,56 мг/кг почвы, изменяясь т. о. от среднего до высокого. Внесение свиного навоза повышает содержание минерального азота в пахотных чернозёмах типичных и лугово-чернозёмных почвах по сравнению с целинной лугово-чернозёмной почвой. Для наглядности на рисунке 30 показано влияние внесения свиного навоза на содержание минерального азота в изучаемых почвах.

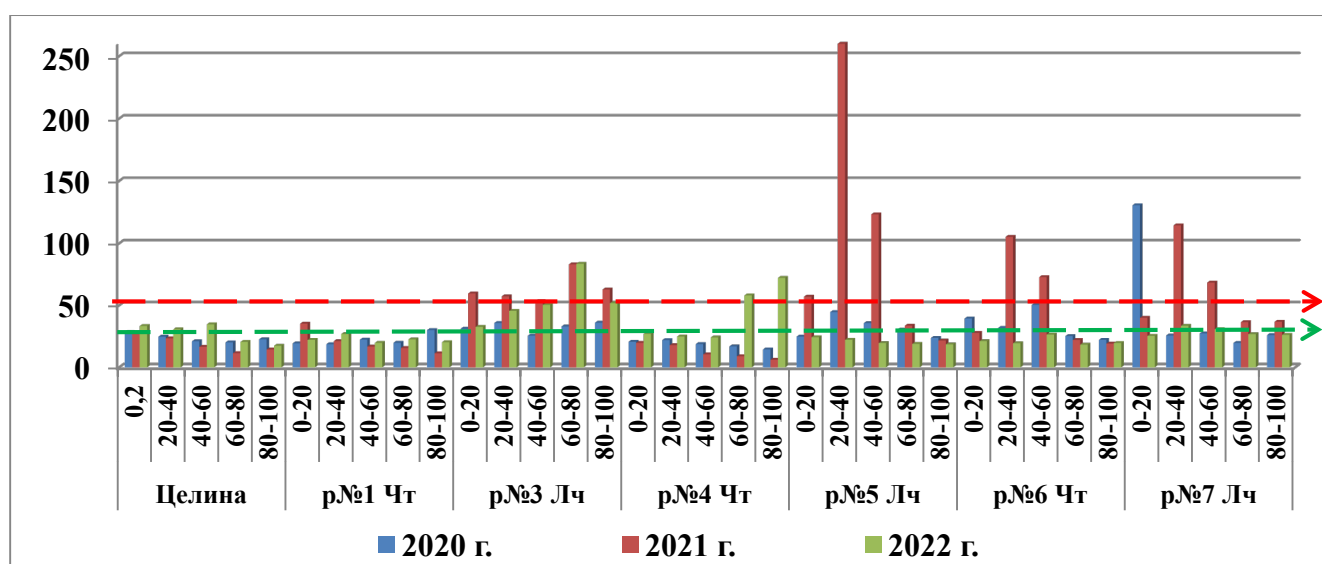


Рисунок 30 – Влияние внесения свиного навоза на содержание и характер распределения по профилю минерального азота

На рисунке 30 зелёной пунктирной линией показан уровень обеспеченности 30 мг/кг почвы минеральным азотом, соответствующий верхней границе низкой обеспеченности, а красной пунктирной линией показан уровень 50 мг/кг почвы – высокий. Как следует из данных рисунка 30, уровень низкой обеспеченности минеральным азотом в слое 0-20 см превышен в лугово-чернозёмных почвах по всем годам наблюдений, а в чернозёмах типичных только в разрезах №1 (2021 г.) и №6 (в 2020 г.). Уровень высокой обеспеченности минеральным азотом превышен

только в лугово-чернозёмных почвах в 2020 году (разрез №7) и в 2021 году (разрезы №3 и 5).

Нами выявлены особенности профильного распределения минерального азота в изучаемых почвах. Распределение минерального азота, по профилю изучаемых почв, соответствует преимущественно прогрессивно убывающему типу. Исключением являются лугово-чернозёмная почва (разрез №5) и чернозём типичный (разрез №6), оно соответствует элювиально-иллювиальному типу. О типе распределения минерального азота можно судить и по среднему его содержанию за три года наблюдений. Данные представлены на рисунке 31.

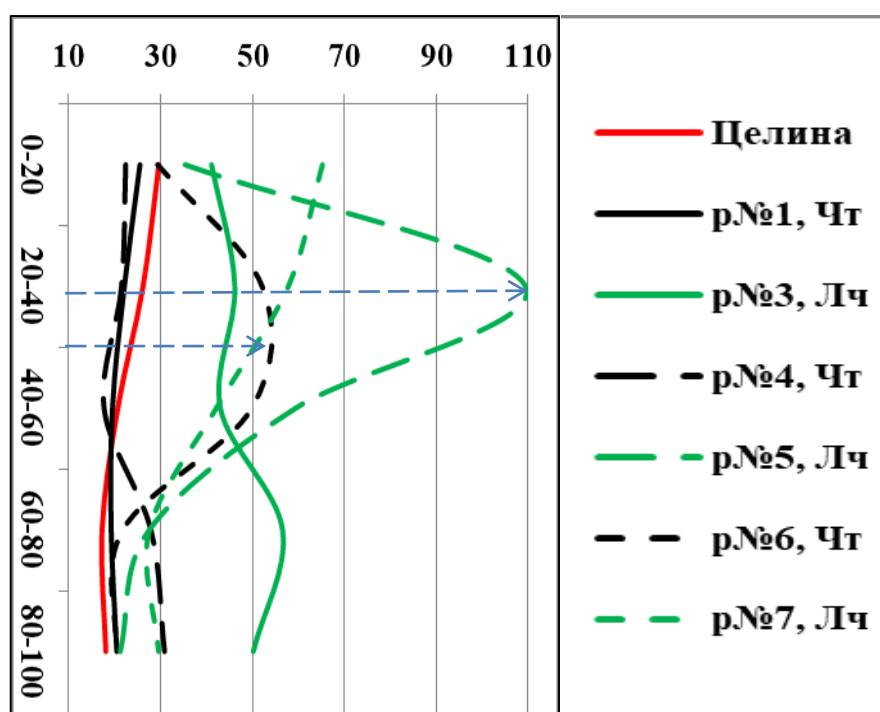


Рисунок 31 – Влияние внесения свиного навоза на среднее содержание и характер распределения минерального азота по профилю изучаемых почв, мг/кг

Синими пунктирными линиями на рисунке 31 показаны максимумы среднего содержания минерального азота в профиле лугово-чернозёмной почвы (разрез №5) и чернозёма типичного (разрез №6) – 109,50 и 52,19 мг/кг почвы соответственно. Этот максимум приходится на слой 20-40 см, т.е. на глубину внутрипочвенного внесения свиного навоза. Как следует из полученных нами данных, минеральный азот в данном случае практически весь закрепился в зоне внесения,

ведь вниз по профилю содержание его резко снижается [87]. В целинной лугово-чернозёмной зоне и чернозёме типичном (разрез №1) содержание минерального азота вниз по профилю постепенно снижается. А в чернозёме типичном (разрез №4) содержание минерального азота вниз по профилю возрастает. В лугово-чернозёмной почве (разрез №3) содержание минерального азота вниз по профилю возрастает с 41,18 мг/кг в слое 0-20 см до 56,63 мг/кг почвы в слое 60-80 см [79].

На рисунке 32 представлен градиент минерального азота в изучаемых почвах.

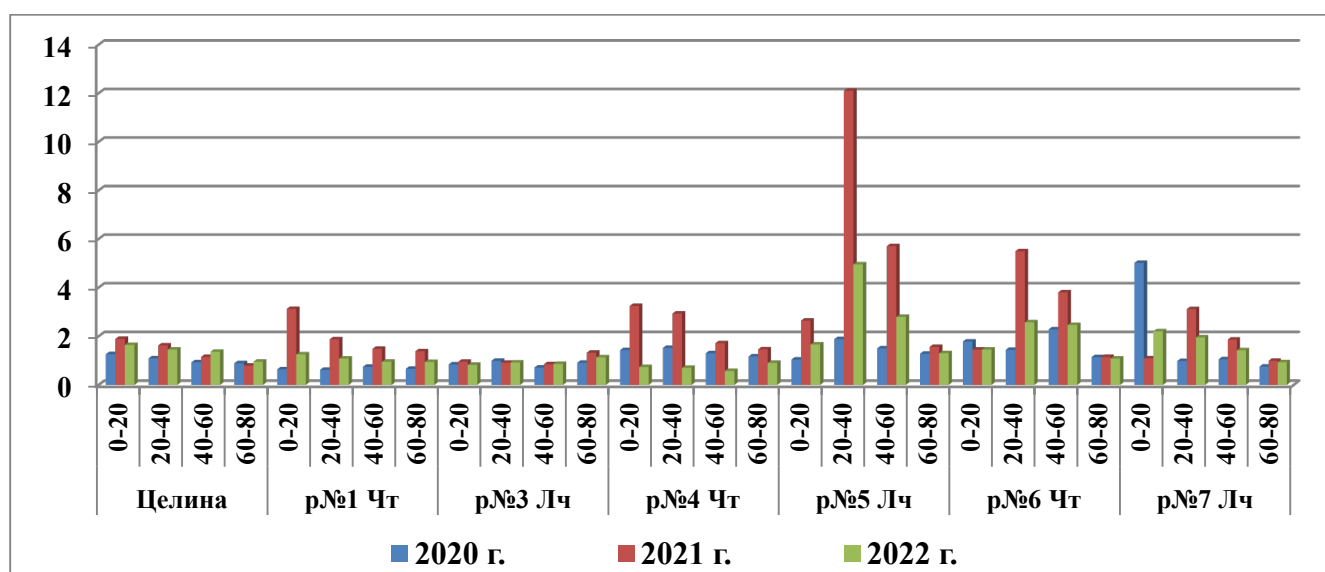


Рисунок 32 – Влияние внесения свиного навоза на градиент минерального азота в изучаемых почвах

Следует отметить, что с 200 м³ свиного навоза поступает много минерального азота, однако основное депо по минеральному азоту это ОВ почвы, которое связывает его в гумусовых веществах. Для изучения этого процесса необходимо выполнить исследование в дальнейшей перспективе. При наличии CNSH-анализатора эта проблема может быть решена просто и быстро.

Выявленные особенности профильного распределения минерального азота подтверждаются и величинами градиентов, представленных в таблице 17 и на рисунке 32. Наиболее наглядно эти закономерности представлены на рисунке 33, где

показаны средние за три года наблюдений градиенты минерального азота в изучаемых почвах.

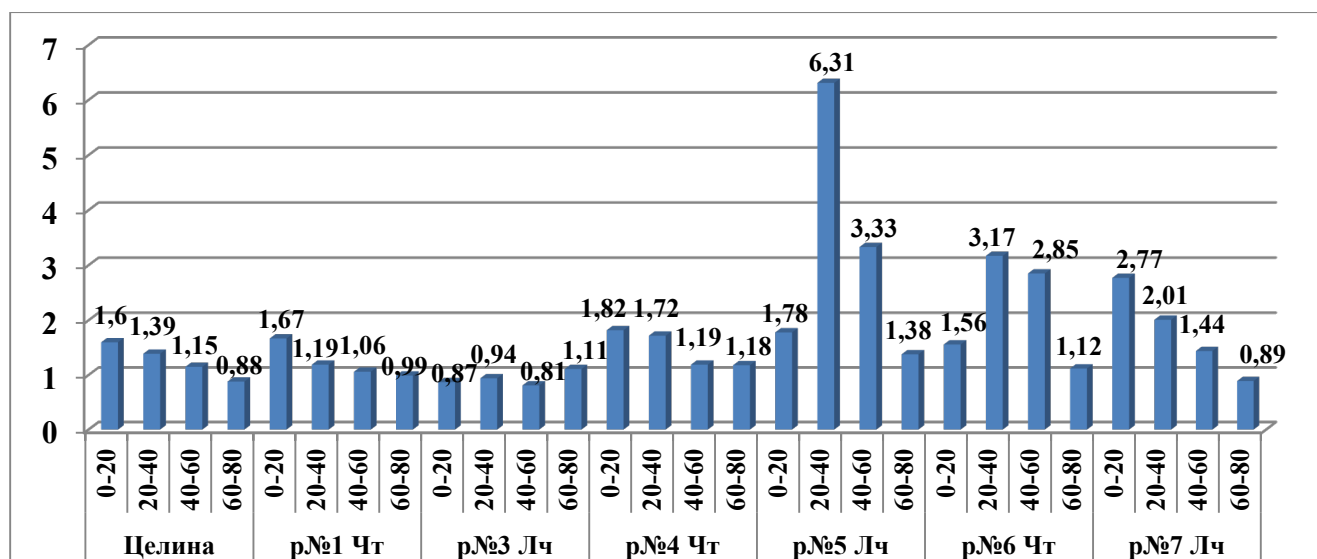


Рисунок 33 – Влияние внесения свиного навоза на средний за три года градиент минерального азота в изучаемых почвах

В целинной лугово-чернозёмной почве градиент минерального азота изменяется по профилю от 1,60 в слое 0-20 см до 0,88 в слое 60-80 см. В чернозёме типичном (разрез №1) он изменяется в этих слоях от 1,67 до 0,99. В чернозёме типичном (разрез №4) он возрастает до 1,82 в слое 0-20 см и 1,18 в слое 60-80 см. Максимальные величины градиента минерального азота в чернозёме типичном выявлены в разрезе №6, в слое 40-60 см он достигает 3,17. В лугово-чернозёмных почвах величина градиента минерального азота изменяется в очень широких пределах от 0,87 в слое 0-20 см 2,77 соответственно в разрезах №3 и 7.

В слое 20-40 см разреза №5 наблюдается максимальная величина градиента минерального азота – 6,71.

Полученные нами результаты являются основанием для утверждения о возможном загрязнении грунтовых вод нитратами.

Таким образом, по полученным данным можно сделать общие заключения о влиянии внесения свиного навоза на содержание и характер распределения по профилю нитратного и аммонийного азота изучаемых почв.

1. Внесение свиного навоза повышает содержание нитратов по сравнению с целинной лугово-чернозёмной почвой от 3-5 до 15-30 раз. В лугово-чернозёмных почвах ПДК по нитратам превышено в 1,9 раза. Возникает угроза загрязнения грунтовых вод нитратами [87].

2. Из минеральных форм азота в изучаемых почвах преобладает аммонийный азот. Однако его содержание в чернозёмах типичных и лугово-чернозёмных почвах ниже, чем на целине.

3. Установлено, что между содержанием нитратного азота и ОВ существует преимущественно слабая и средняя связь.

Между содержанием аммонийного азота и рН водной и солевой вытяжки связь в целинной лугово-чернозёмной почве отрицательная тесная, $r = 0.94$ и 0.83 соответственно. В чернозёмах типичных и лугово-чернозёмных почвах она отрицательная слабая и средняя.

Связь содержания аммонийного азота с ОВ в целинной лугово-чернозёмной почве тесная, $r = 0.92$ и 0.93 соответственно. В чернозёмах типичных и лугово-чернозёмных почвах она средняя и тесная.

4. Установлено, что основная часть минерального азота на поле №1 распределяется в изучаемых почвах относительно равномерно, а на поле №2 г. о. в слое 20-40 см, т.е. на глубине внесения свиного навоза.

4.2 Влияние свиного навоза на содержание и характер распределения по профилю различных форм фосфора

В рабочей гипотезе мы предполагали, что длительное внесение свиного навоза может обусловить развитие зафосфачивания изучаемых почв. Мы исходили, прежде всего, из обогащённости свиного навоза фосфором.

Она подтвердилась по результатам рекогносцировочного обследования изучаемой территории, выполненного в середине июля 2019 года. В виду преобладания в почвенном покрове лугово-чернозёмных почв в качестве эталона, с которым предполагали сравнивать полученные результаты, использовали целинный уча-

сток. Целинный участок граничит с полем №1. Разрез №1 был заложен на части целины, распаханной в 2019 году. Разрезы №3 и 4 были заложены на поле №2. В образцах почв, отобранных по генетическим горизонтам, помимо общих анализов было определено содержание ОВ и различных форм фосфора. Данные представлены в таблице 18.

Таблица 18 – Влияние внесения свиного навоза на содержание органического вещества и различных форм фосфора в изучаемых почвах, мг/кг почвы

№ р-за	Горизонт	Слой, см	ОВ, %	P ₂ O ₅ общ	P ₂ O ₅ мин	%*	P ₂ O ₅ орг	%*
Целина, Лч	А	0-28	7,28	2057	1289	62,66	770	37,34
	AB	28-52	5,13	1692	787	46,51	905	63,49
	B ₁	52-81	1,97	1746	893	51,14	853	49,86
	B ₂	81-108	1,49	2362	1082	45,80	1280	64,20
	BC	108-120	1,30	2106	1216	57,77	890	42,23
р№1, Лч	A _{пах}	0-26	5,56	3759	1122	29,84	2637	70,16
	А	26-57	3,74	1574	453	28,78	1121	72,22
	AB	57-85	2,50	1624	571	35,16	1053	64,84
	B ₁	85-115	0,87	1791	1073	59,91	718	40,09
	B _к	115-130	1,33	1978	1161	58,70	817	41,30
р№3, Лч	A _{пах}	0-21	6,91	5343	1269	23,75	4074	76,25
	А	21-44	6,52	5058	1830	36,18	3228	63,82
	AB	44-53	3,48	3159	1535	48,59	1624	51,41
	B ₁	53-66	1,52	3247	1171	36,06	2076	63,94
	B ₂	66-108	1,41	1820	581	31,92	1239	68,08
р№4, Чт	A _{пах}	0-22	8,72	4192	2106	50,24	2086	49,76
	А	22-62	8,70	3287	1582	48,13	1705	51,87
	А	62-87	6,80	2303	1653	71,77	650	28,23
	AB	87-114	4,17	1712	1004	58,64	708	41,36
	B ₁	114-132	2,04	1908	1218	63,84	790	46,16

* – в % от общего фосфора

Как следует из полученных нами данных, все почвы высокогумусированы, за исключением лугово-чернозёмной почвы (разрез №1). Как уже было отмечено выше, данный разрез был заложен на распаханной целине и был под паром.

Последствия распашки проявились в существенном снижении содержания ОВ в верхней части гумусового горизонта. Если на целине содержание ОВ составляет 7,28%, то в распаханном участке 5,56%. На распаханном участке резко повысилось содержание общего фосфора, с 2057 мг/кг до 3757 мг/кг. А в его со-

ставе доля органического фосфора выросла с 37,34% до 70,16%. Однако подобная закономерность – повышение содержания общего и органического фосфора характерна и для почв поля №2. Считаем это следствием внесения свиного навоза. Это подтверждается данными таблицы 19.

Таблица 19 – Влияние внесения свиного навоза на содержание различных форм фосфора

Генетич. горизонт	Целина	р№1, Лч	р№3, Лч	р№4, Чт	Целина	р№1, Лч	р№3, Лч	р№4, Чт	Целина	р№1, Лч	р№3, Лч	р№4, Чт
	P ₂ O ₅ общ, мг/кг				P ₂ O ₅ мин, мг/кг				P ₂ O ₅ орг, мг/кг			
A _{пах}	2057	3759	5343	4192	1289	1122	1269	2106	770	2637	4074	2086
A	1692	1574	5058	3287	787	453	1830	1582	905	1121	3228	1705
AB	1746	1624	3159	2303	893	571	1535	1653	853	1053	1624	650
B ₁	2362	1791	3247	1712	1082	1073	1171	1004	1280	718	2076	708
B ₂	2106	1978	1820	1908	1216	1161	581	1218	890	817	1239	790

Как следует из данных таблицы 19, в верхней части гумусового горизонта, а точнее в верхней полуметровой толще, пахотных лугово-чернозёмных почв и чернозёма типичного наблюдается резкое, в 1,8-2,5 раза, повышение содержания общего фосфора. В составе общего фосфора резко возросла доля органического фосфора (см. табл. 18, рис. 34, 35). Данные таблицы 18 убедительно свидетельствуют о существенном влиянии внесения свиного навоза не только на содержание общего фосфора, но и на изменение соотношения между фосфором минеральным и органическим. Изменения в содержании различных форм фосфора выявлены не только в пределах верхней части гумусового горизонта, но и по всему профилю. Эти изменения разнонаправленные, но они очевидны. Поэтому характер распределения всех форм фосфора по профилю представляет несомненный интерес [83].

Рассмотрим особенности распределения разных форм фосфора на рисунках 34-39. На рисунке 34 представлены данные по влиянию внесения свиного навоза на содержание и характер распределения по профилю в изучаемых почвах общего фосфора. Как следует из данных рисунка 34, наибольшие изменения в содержании общего фосфора наблюдаются в пределах гумусового горизонта. Если в це-

линой лугово-чернозёмной почве в горизонте А содержится 2057 мг/кг почвы общего фосфора, то в пахотных лугово-чернозёмных почвах его содержание возрастает до 3759 и 5343 мг/кг, а в чернозёме типичном до 4192 мг/кг почвы.

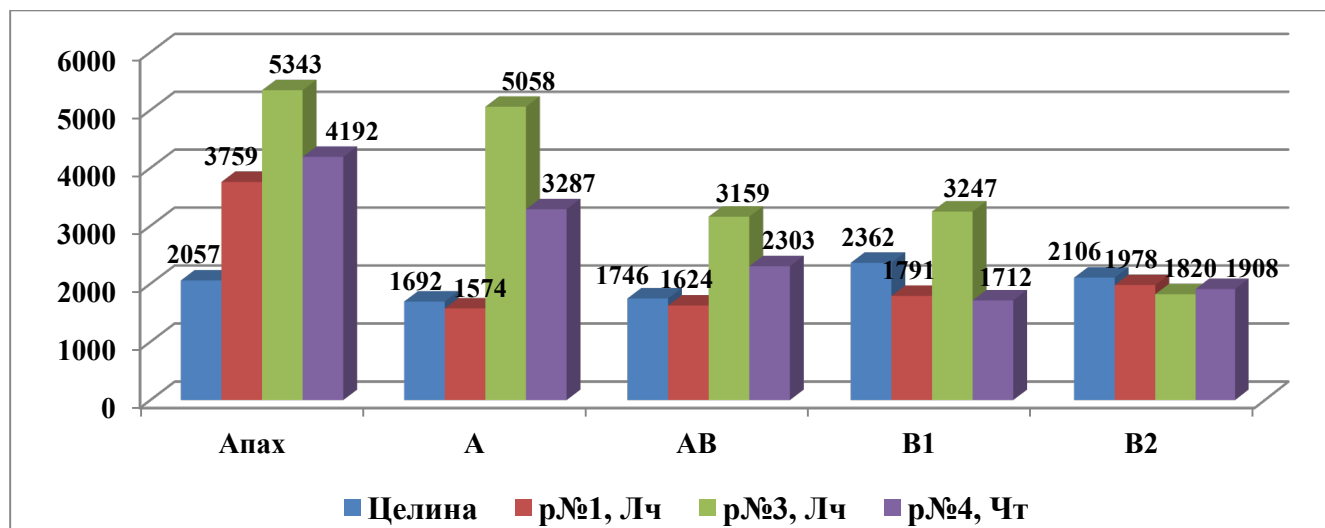


Рисунок 34 – Влияние внесения свиного навоза на содержание общего фосфора

В средней части гумусового горизонта (гор. А) содержание общего азота в целинной лугово-чернозёмной почве резко снижается до 1692 мг/кг, а в пахотных лугово-чернозёмных почвах и чернозёме типичном составляет 5058 и 3287 мг/кг почвы. В горизонте АВ сохраняется та же закономерность, при более низком содержании общего фосфора. В иллювиальном горизонте В1 максимальное содержание общего фосфора – 3247 мг/кг отмечается в лугово-чернозёмной почве (разрез №3), а в лугово-чернозёмной почве (разрез №1), и чернозёме типичном оно ниже, чем в целинной лугово-чернозёмной почве. В горизонте В2 максимальное содержание общего фосфора наблюдается в целинной лугово-чернозёмной почве – 2106 мг/кг почвы, а в остальных оно незначительно ниже.

Совсем иное содержание и распределение по профилю наблюдается по минеральному фосфору. Прежде всего, отметим, что содержание минерального фосфора ниже, чем органического. В принципе так и должно быть, ведь со свиным навозом фосфор поступает в органической форме. На рисунке 35 показано влияние внесения свиного навоза на содержание минерального фосфора.

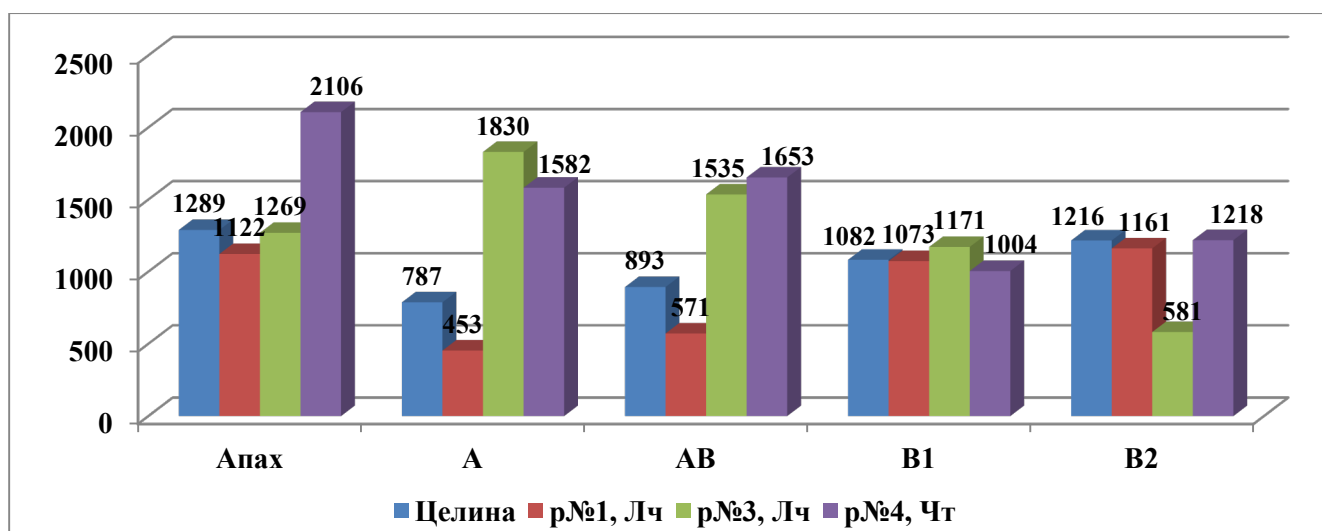


Рисунок 35 – Влияние внесения свиного навоза на содержание минерального фосфора

Содержание минерального фосфора в горизонте A_{пах} в целинной лугово-чернозёмной почве составляет 1289 мг/кг почвы. В распаханной лугово-чернозёмной почве (разрез №1), содержание его ниже, чем в целинной почве – 1122 мг/кг почвы. Совсем незначительно ниже, чем целинной лугово-чернозёмной почве содержание минерального фосфора в лугово-чернозёмной почве – 1269 мг/кг почвы. Только в чернозёме типичном содержание минерального фосфора существенно выше, чем в лугово-чернозёмных почвах – 2106 мг/кг почвы. В горизонте A максимальное содержание минерального фосфора наблюдается в лугово-чернозёмной почве (разрез №3) – 1830 мг/кг почвы, а минимальное в распаханной лугово-чернозёмной почве – 453 мг/кг почвы. Примерно такое же положение наблюдается и в горизонте AB, только максимальное содержание минерального фосфора в чернозёме типичном – 1653 мг/кг почвы, или вдвое выше, чем в целинной лугово-чернозёмной почве – 893 мг/кг почвы. В иллювиальном горизонте B1 содержание минерального фосфора находится в пределах 1004-1171 мг/кг почвы, а в горизонте B2 минимальное его количество – 581 мг/кг почвы в лугово-чернозёмной почве, при примерно равном в остальных почвах 1161-1218 мг/кг почвы.

Профиль изучаемых почв наиболее дифференцирован по содержанию органического фосфора. Это наглядно представлено на рисунке 36.

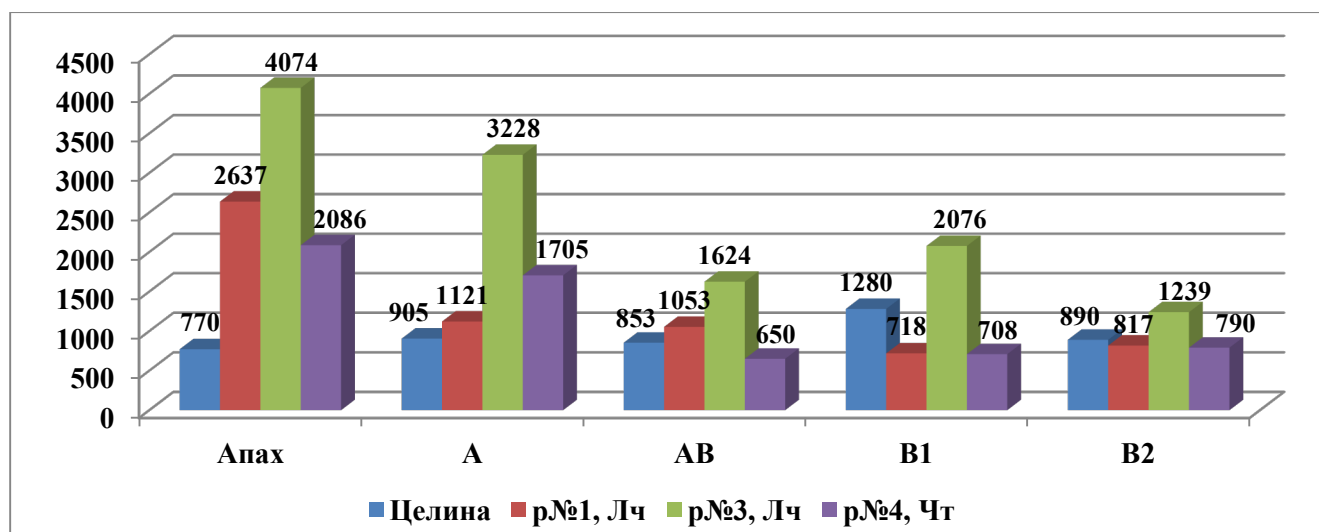


Рисунок 36 – Влияние внесения свиного навоза на содержание органического фосфора

Отметим, что в пределах верхней части гумусового горизонта содержание органического преобладает в сравнении с целинной лугово-чернозёмной почвой. Если в ней содержание органического фосфора в горизонте $A_{\text{пах}}$ составляет всего 770 мг/кг, то в чернозёме типичном 2086 мг/кг, а в лугово-чернозёмных почвах 2637 и 4074 мг/кг почвы, что в 2,7, 3,4 и 5,3 раза выше. В горизонте А содержание органического фосфора минимально в целинной лугово-чернозёмной почве – 905 мг/кг почвы, а максимальное в лугово-чернозёмной почве (разрез №3) – 3228 мг/кг почвы. По содержанию органического фосфора в горизонте АВ сохраняются особенности его содержания, как и в горизонте А, только минимальное содержание – 650 мг/кг почвы наблюдается в чернозёме типичном. В иллювиальных горизонтах В1 и В2 соблюдается примерно одинаковый характер содержания органического фосфора, различие в основном в его количестве. В горизонте В1 содержание органического фосфора в целинной лугово-чернозёмной почве и особенно в лугово-чернозёмной почве (разрез №3) существенно выше, чем в горизонте В2.

Считаем, что интерес представляет и долевое участие минерального и органического фосфора в составе общего фосфора. Данные представлены в таблице 20 и на рисунках 37 и 38.

Таблица 20 – Влияние внесения свиного навоза на содержание минерального и органического фосфора, в % от общего фосфора

Генетич. горизонт	Целина	р№1, Лч	р№3, Лч	р№4, Чт	Целина	р№1, Лч	р№3, Лч	р№4, Чт
	P ₂ O ₅ мин, %				P ₂ O ₅ орг, %			
A _{пах}	62,66	29,84	23,75	50,24	37,34	70,16	76,25	49,76
A	46,51	28,78	36,18	48,13	63,49	72,22	63,82	51,87
AB	51,14	35,16	48,59	71,77	49,86	64,84	51,41	28,23
B ₁	45,80	59,91	36,06	58,64	64,20	40,09	63,94	41,36
B ₂	57,77	58,70	31,92	63,84	42,23	41,30	68,08	46,16

Как следует из данных таблицы 20, целинная лугово-чернозёмная почва отличается от пахотных почв по доле минерального и органического фосфора. Если в верхней части гумусового слоя доля минерального фосфора составляет 62,66%, то в пахотных лугово-чернозёмных почвах она снижается до 23,75 и 29,84%. Ниже доля минерального азота и в чернозёме типичном, 50,24%. Эти различия наблюдаются по всему профилю.

Что касается доли органического фосфора в составе общего, то мы наблюдаем обратную зависимость. Если в целинной лугово-чернозёмной почве доля органического фосфора в верхней части гумусового горизонта составляет 37,34%, то в пахотных лугово-чернозёмных почвах она возрастает до 70,16 и 76,25% соответственно в разрезах №1 и 3, а в чернозёме типичном 49,76%.

Нет сомнений, что выявленные различия по долевого составу общего фосфора обусловлены внесением свиного навоза. Мы наблюдаем не только повышение содержания общего фосфора, но и различия в количестве минерального и органического фосфора в его составе. Наиболее наглядно выявленные различия по доле различных форм фосфора в изучаемых почвах представлены на рисунках 37 и 38.

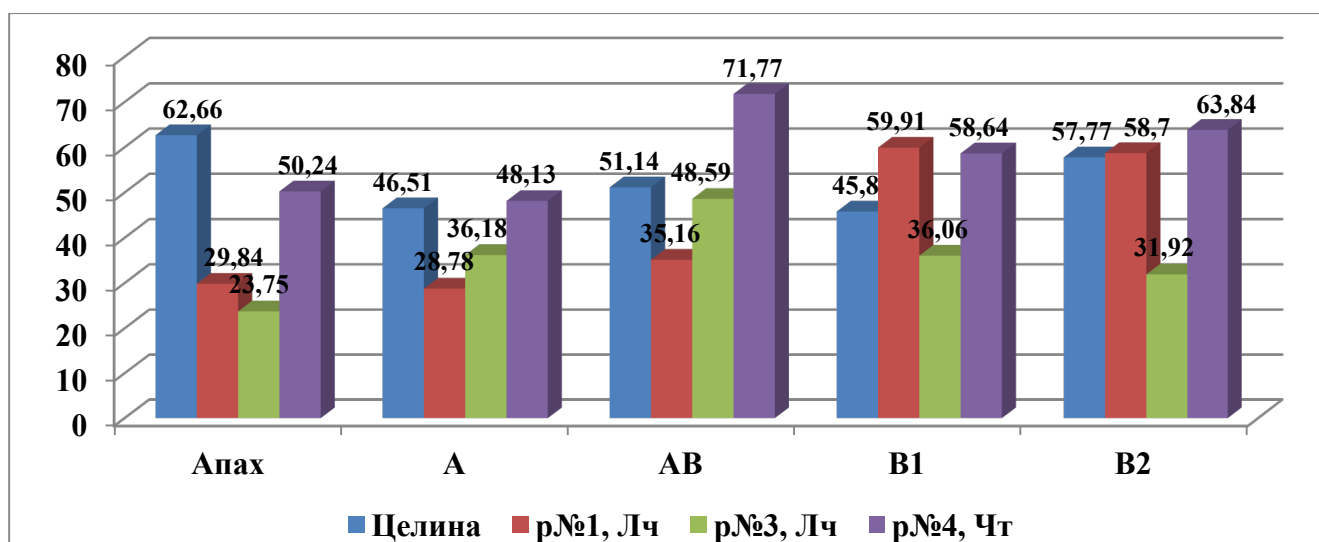


Рисунок 37 – Влияние внесения свиного навоза на содержание минерального фосфора, в % от общего фосфора

Как следует из данных рисунка 37, нами выявлена примерно одинаковая в пределах гумусового горизонта долевая структура состава общего фосфора в изучаемых почвах. В целинной лугово-чернозёмной почве явно преобладает минеральный фосфор, а в пахотных аналогах и чернозёме типичном его доля резко снижается. Следует отметить более высокую чем в целинной лугово-чернозёмной почве долю минерального азота в чернозёме типичном в горизонтах А и АВ, если на целине его доля составляет 46,51 и 51,14%, то в чернозёме типичном 48,13 и 71,77%.

В иллювиальных горизонтах В1 и В2 минимальная доля минерального фосфора выявлена в чернозёмно-луговой почве – 36,06 и 31,92%, а в лугово-чернозёмной почве (разрез №3) и чернозёме типичном его доля выше, чем в целинной лугово-чернозёмной почве. Такое различие скорее всего, обусловлено и разными дозами внесения свиного навоза на разных частях данного поля,

Обратная закономерность наблюдается по доле органического фосфора в составе общего фосфора (см. рис. 38). Это обусловлено поступлением большого количества органического фосфора со свиным навозом и его перераспределением по элементам микрорельефа даже при внутрипочвенном внесении.

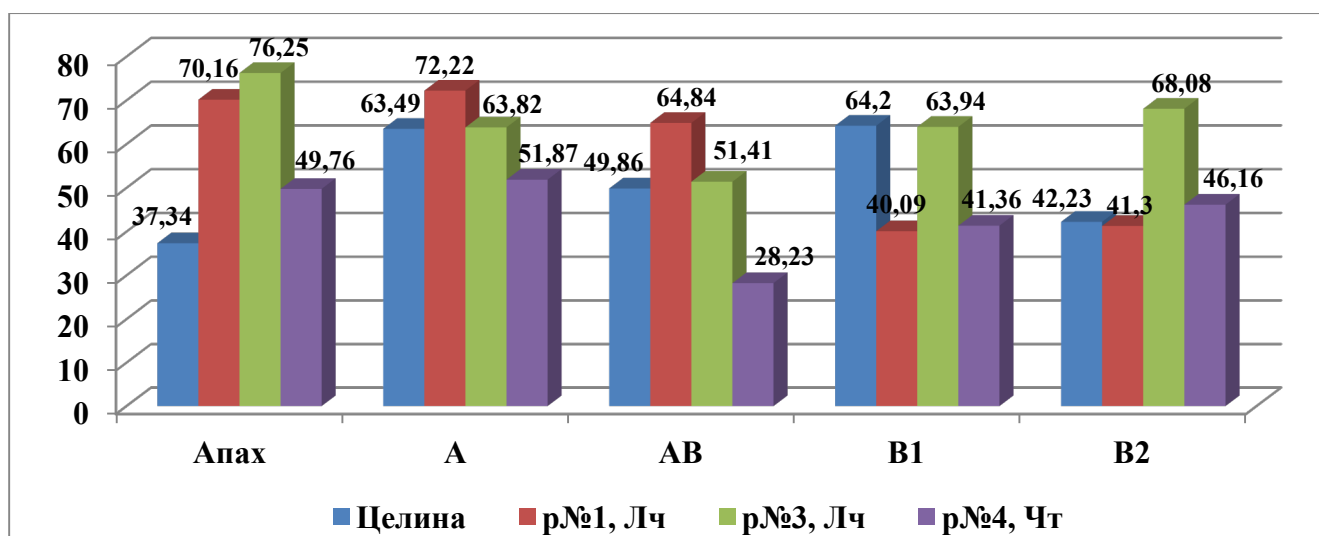


Рисунок 38 – Влияние внесения свиного навоза на содержание органического фосфора, в % от общего фосфора

В верхней части гумусового горизонта минимальная доля органического фосфора составляет в целинной лугово-чернозёмной почве 37,34%, а пахотных аналогах она возрастает до 70,16 и 76,25%, а в чернозёме типичном до 49,76%. В горизонте А минимальная доля органического фосфора – 51,87% выявлена в чернозёме типичном, а в пахотных аналогах целинной лугово-чернозёмной почвы она составляет 72,22 и 63,82% соответственно против 63,49%. Такая же закономерность сохраняется и в горизонте АВ. В иллювиальных горизонтах В1 и В2 наблюдаются иные соотношения. В горизонте В1 целинной лугово-чернозёмной почвы значительно выше, чем в пахотных аналогах – 64,20% против 40,09 и 63,94% соответственно. Максимальная доля органического фосфора в горизонте В2 наблюдается в лугово-чернозёмной почве (разрез №3) – 68,08%.

Полученные нами результаты позволяют сделать заключение о том, что внесение свиного навоза не только повышает содержание общего фосфора в изучаемых почвах, но и существенным образом меняет в нём содержание минерального и органического фосфора. Доля органического фосфора существенно выше, чем минерального. В наибольшей степени это характерно для гумусового профиля изучаемых почв. В связи с этим в разделе 4.3 мы представляем данные по влиянию внесения свиного навоза на содержание подвижного фосфора.

4.3 Влияние свиного навоза на содержание и характер распределения по профилю подвижного фосфора

Как уже отмечалось выше, помимо минерального азота в свином навозе относительно высокое содержание валового и подвижного фосфора. Длительное внесение его способствует резкому повышению содержания подвижного фосфора в изучаемых почвах.

В данном подразделе используются образцы почв, отобранные в 2020-2022 году, по которым выполнены все исследования, а данные использовались для написания предыдущих глав. Поэтому номера разрезов в данном случае не соответствуют номерам, показанным в подразделе 4.2.

Данные по влиянию внесения свиного навоза на содержание подвижного фосфора приведены в таблице 21.

Необходимо отметить, что повышение содержания подвижного фосфора наблюдаются не только на глубине внесения свиного навоза, а по всему профилю. И если в слое 0-20 см содержание подвижного фосфора в целинной лугово-чернозёмной почве в среднем за три года наблюдений находилось на уровне 301 мг/кг почвы, то в чернозёмах типичных оно повысилось до 613-716 мг/кг, а в лугово-чернозёмных почвах до 616-733 мг/кг почвы. Нами т. о. установлено, что по отношению к целинной почве содержание подвижного фосфора возросло более чем в 2 раза.

Повышение содержания подвижного фосфора наблюдается не только в зоне его внесения – 20-30 см, но и по всему профилю изучаемых почв. Это обусловлено инфильтрацией жидкой фракции свиного навоза вниз по профилю.

Как следует из данных таблицы 21, в нижней части профиля содержание подвижного фосфора значительно повышается. Если в целинной лугово-чернозёмной почве среднее за три года наблюдений содержание подвижного фосфора в слое 80-100 см составляет 268 мг/кг почвы, то в чернозёмах типичных оно возрастает до 367-440 мг/кг почвы, а в лугово-чернозёмных почвах до 359-425 мг/кг почвы [89].

Таблица 21 – Влияние внесения свиного навоза на содержание подвижного фосфора (P_2O_5 , мг/кг почвы) и его градиент

Разрезы	Слой, см	2020 г.	2021 г.	2022 г.	Среднее	2020 г.	2021 г.	2022 г.	Среднее
		P_2O_5 , мг/кг почвы				g P_2O_5			
Целина Лч	0-20	347	283	273	301	1,20	1,00	1,17	1,12
	20-40	337	251	224	271	1,17	0,89	0,96	1,01
	40-60	349	322	295	322	1,21	1,14	1,26	1,20
	60-80	487	288	182	319	1,69	1,02	0,78	1,16
	80-100	288	283	234	268	-	-	-	-
р№1, Чт	0-20	622	497	1028	716	1,01	1,45	4,23	2,23
	20-40	612	354	364	443	0,99	1,03	1,50	1,17
	40-60	640	551	327	506	1,04	1,61	1,35	1,33
	60-80	507	246	207	320	0,82	0,72	0,85	0,80
	80-100	617	342	243	401	-	-	-	-
р№3, Лч	0-20	721	849	630	733	1,04	3,19	2,51	2,25
	20-40	588	358	430	459	0,85	1,35	1,71	1,37
	40-60	546	322	133	334	0,79	1,21	0,53	0,84
	60-80	571	253	184	336	0,83	0,95	0,73	0,84
	80-100	691	266	251	403	-	-	-	-
р№4, Чт	0-20	839	443	558	613	1,93	1,19	1,10	1,41
	20-40	573	433	364	457	1,32	1,15	0,71	1,06
	40-60	608	536	389	511	1,40	1,42	0,76	1,19
	60-80	485	475	288	416	1,11	1,26	0,57	0,98
	80-100	435	376	509	440	-	-	-	-
р№5, Лч	0-20	767	583	499	616	1,18	1,38	2,45	1,67
	20-40	681	952	256	630	1,05	2,25	1,25	1,52
	40-60	699	718	192	536	1,08	1,70	0,94	1,24
	60-80	640	332	167	380	0,99	0,78	0,82	0,86
	80-100	647	423	204	425	-	-	-	-
р№6, Чт	0-20	920	782	310	671	1,63	2,33	1,52	1,83
	20-40	792	593	408	598	1,41	1,77	2,00	1,73
	40-60	657	765	295	572	1,17	2,28	1,45	1,63
	60-80	571	352	303	409	1,01	1,05	1,48	1,18
	80-100	563	335	204	367	-	-	-	-
р№7, Лч	0-20	1075	553	546	725	2,10	1,45	2,97	2,17
	20-40	829	435	467	577	1,62	1,14	2,54	1,77
	40-60	627	413	312	451	1,22	1,08	1,70	1,33
	60-80	514	371	261	382	1,00	0,97	1,42	1,13
	80-100	512	381	184	359	-	-	-	-
НСР ₀₉₅		165							

Внесение свиного навоза повышает содержание подвижного фосфора в слое 80-100 см в 1,6 раза по сравнению с целинной почвой. Отметим, что в целинной лугово-чернозёмной почве среднее содержание подвижного фосфора по существующей шкале (табл. 22) оценивается как очень высокое. Дальнейшее повыше-

ние содержания подвижного фосфора в изучаемых почвах при внесении свиного навоза даёт основание для заключения о *развивающемся зафосфачивании* изучаемых почв. Это подтверждается полученными нами данными, представленными в таблице 21.

Для оценки уровня обеспеченности изучаемых почв подвижным фосфором и степени зафосфачивания и зафосфачивания используем данные таблицы 22 [10].

Таблица 22 – Шкала экологического нормирования подвижных форм фосфора, P_2O_5 , мг/кг (по Чумаченко И.Н., 1999)

Уровень обеспеченности		Степень загрязнения (зафосфачивания)	
Очень низкий	< 20	Очень низкая	251-500
Низкий	26-50	Низкая	501-750
Средний	51-100	Средняя	751-1000
Повышенный	101-150	Повышенная	1001-2000
Высокий	151-250	Высокая	2001-3000
Очень высокий	251-500	Очень высокая	>3000

Данные по содержанию подвижного фосфора в изучаемых почвах, представленные в таблице 21 и градации обеспеченности почв подвижным фосфором и степени зафосфачивания, таблица 22, позволяют выполнить оценку фосфатного состояния.

Следует отметить, что целинная лугово-чернозёмная почва характеризуется очень высоким содержанием подвижного фосфора не только в слое 0-20 см, но и по всему профилю. Причём максимум содержания подвижного фосфора 322 мг/кг почвы наблюдается в слое 40-60 см. Для этой почвы это нижняя граница гумусового горизонта. Такое содержание подвижного фосфора в 1,3 раза выше уровня очень высокой обеспеченности подвижным фосфором. Надо отметить, что лугово-чернозёмные почвы богаты валовым фосфором. Если содержание валового фосфора в верхних горизонтах чернозёмов находится в пределах 0,14-0,162% [8], то в лугово-чернозёмных почвах по данным Ахтырцева А.Б. [8] в пределах метровой толщи содержится 0,20-0,28%. Поэтому высокая обеспеченность подвижным фосфором целинной лугово-чернозёмной почвы не должна смущать, тем более

что фосфор не отчуждается с урожаем с.-х. культур. Для большей наглядности, данные таблицы 21 представлены на рисунке 39.

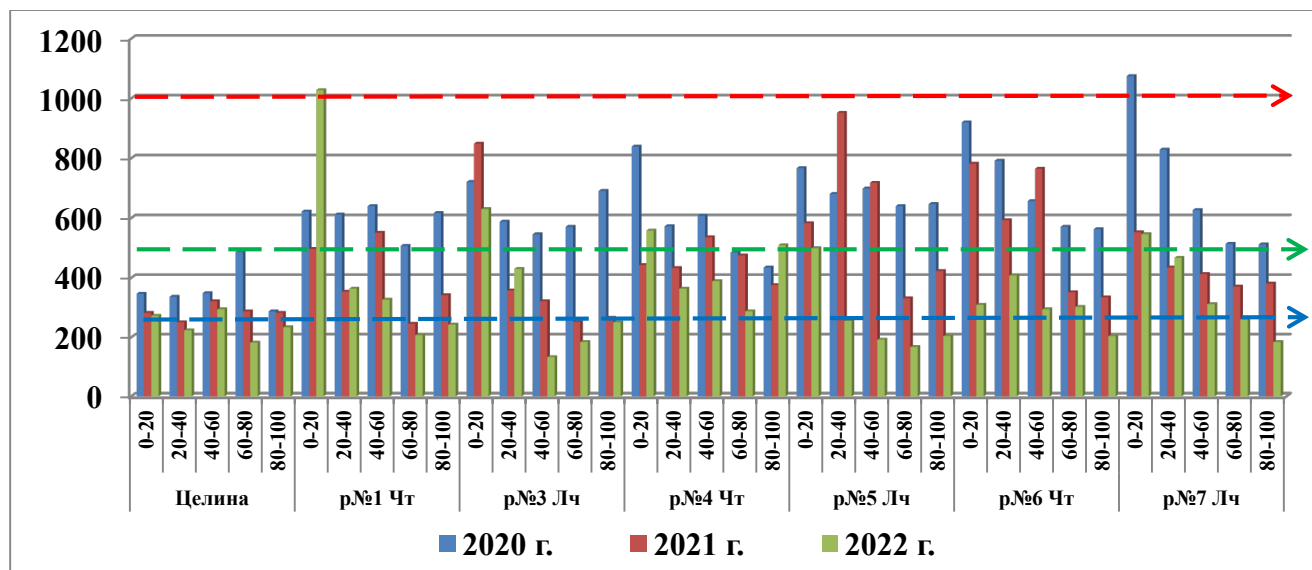


Рисунок 39 – Влияние внесения свиного навоза на содержание подвижного фосфора в изучаемых почвах, мг/кг

На рисунке 39, синей пунктирной линией показан уровень 250 мг/кг, соответствующий очень высокой обеспеченности подвижным фосфором (см. табл. 22). Зелёной пунктирной линией показан уровень низкой степени зафосфачивания (501-750 мг/кг), а красной пунктирной линией показан уровень повышенной зафосфачиванности (1001-2000 мг/кг).

Обеспеченность целинной лугово-чернозёмной почвы подвижным фосфором очень высокая (см. табл. 22 и рис. 39). В слое 0-20 см она варьирует в пределах 273-347 мг/кг почвы. У лугово-чернозёмных почв в пахотном слое содержание подвижного фосфора варьирует в пределах от 256-952 мг/кг (разрез №5) до 546-1075 мг/кг почвы (разрез №7), а степень зафосфачивания изменяется, от низкой до высокой.

В пахотном слое чернозёмов типичных содержание подвижного фосфора варьирует от 443-839 (разрез №4) до 497-1028 мг/кг почвы (разрез №1). Зафосфачиванность чернозёмов типичных по данным таблицы 22 оценивается от низкой, до повышенной.

Следует помнить, что фосфор удобрений отличается большей подвижностью, доступностью растениям, чем природные фосфаты почвы. При систематическом и длительном внесении этих удобрений необходимо изменять соотношения между питательными элементами с учётом их остаточного действия: дозу фосфора следует уменьшать, а дозу азотных удобрений увеличивать.

Впервые понятие «зафосфачивание» почв было выдвинуто Соколовым А.В. в 1958 г. при исследовании обогащённости почв подвижными фосфатами в результате длительного внесения фосфорных удобрений. Но до недавнего времени подавляющее большинство экспериментальных исследований и научных трудов было посвящено проблеме дефицита фосфорного питания растений и способам оптимального внесения фосфорных удобрений в почву.

Таким образом, длительное внесение жидкого свиного навоза обуславливает существенное повышение содержания подвижного фосфора, и зафосфачивание изучаемых почв до повышенного в чернозёмах типичных, и высокого в лугово-чернозёмных почвах. Зафосфачивание как процесс ещё недостаточно изучено. На содержание подвижного фосфора нет ПДК.

Нами определено среднее за годы наблюдений содержание подвижного фосфора и его градиенты за годы исследований. Данные представлены в таблице 20 и на рисунке 40.

Как следует из данных рисунка 40, минимальное среднее содержание подвижного фосфора в слое 0-20 см – 301 мг/кг почвы выявлено в целинной лугово-чернозёмной почве. Внесение свиного навоза существенно повышает его содержание в пахотных почвах. В чернозёмах типичных в пахотном слое среднее содержание подвижного фосфора возрастает до 613-716 мг/кг почвы, а в лугово-чернозёмных почвах до 616-733 мг/кг почвы, т.е. более чем в 2 раза в сравнении с целинной почвой. В слое 80-100 см в целинной лугово-чернозёмной почве содержание подвижного фосфора составляет 268 мг/кг почвы.

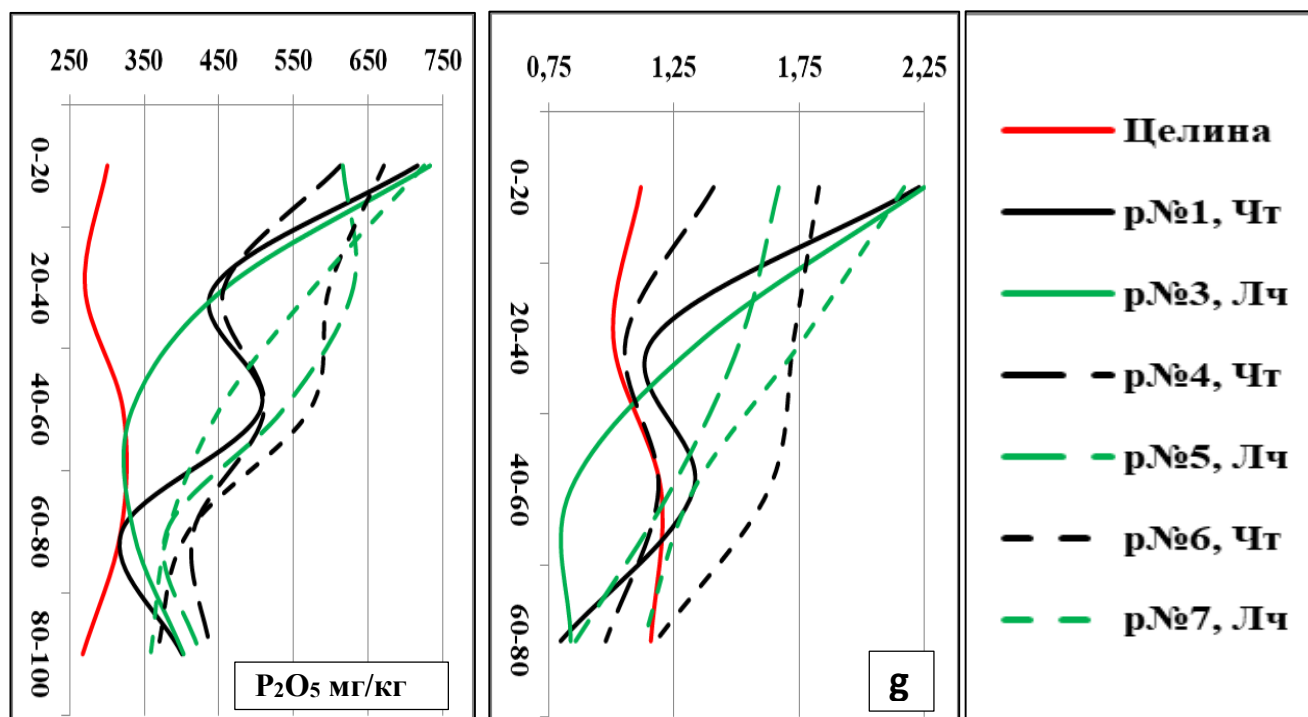


Рисунок 40 – Влияние внесения свиного навоза на среднее содержание и характер распределения подвижного фосфора (мг/кг) и среднего градиента в изучаемых почвах

В чернозёмах типичных содержание подвижного фосфора в этом слое возрастает до 367-440 мг/кг почвы, а в лугово-чернозёмных почвах до 359-425 мг/кг почвы, т. е. в 1,3 и 1,6 раза выше, чем в целинной почве. Считаем, что подобное повышение содержания подвижного фосфора в нижней части профиля чернозёмов типичных и лугово-чернозёмных почв связано с инфильтрацией жидкой фракции свиного навоза.

Фосфор в почвах активно взаимодействует с органическим веществом и минеральной матрицей. При этом значительная часть подвижного фосфора связывается органическим веществом почв и с тонкими гранулометрическими фракциями, а в чернозёмах также образует малорастворимые ди- и трифосфаты кальция. С внесённым свиным навозом в изучаемые почвы поступает большое количество ОВ, что нами было показано в главе 3. Для выявления влияния ОВ на содержание подвижного фосфора мы определили коэффициенты корреляции его с ОВ и ПОВ. Данные представлены в таблице 23 и рисунках 41 и 42.

Таблица 23 – Коэффициенты корреляции связи содержания подвижного фосфора с органическим веществом и подвижным органическим веществом

Разрезы	2020 г.	2020 г.	2022 г.	Ср. r P ₂ O ₅ /ОВ	2020 г.	2020 г.	2022 г.	Ср. r P ₂ O ₅ /ПОВ
Целина	-0,26	-0,52	0,19	-0,20	-0,18	-0,09	0,25	-0,12
р №1, Чт	0,48	0,59	0,79	0,62	0,29	0,41	0,96	0,88
р №3, Лч	0,28	0,77	0,94	0,66	0,61	0,98	0,92	0,97
р №4, Чт	0,96	0,18	0,30	0,48	0,85	0,01	0,22	0,70
р №5, Лч	0,82	0,79	0,85	0,82	0,92	0,68	0,86	0,78
р №6, Чт	0,99	0,92	0,76	0,89	0,88	0,80	0,79	0,99
р №7, Лч	0,96	0,82	0,94	0,91	0,92	0,97	0,99	0,99
г	г P ₂ O ₅ /ОВ				г P ₂ O ₅ /ПОВ			

На наш взгляд получены очень убедительное доказательство влияния внесения свиного навоза на содержание подвижного фосфора в изучаемых почвах.

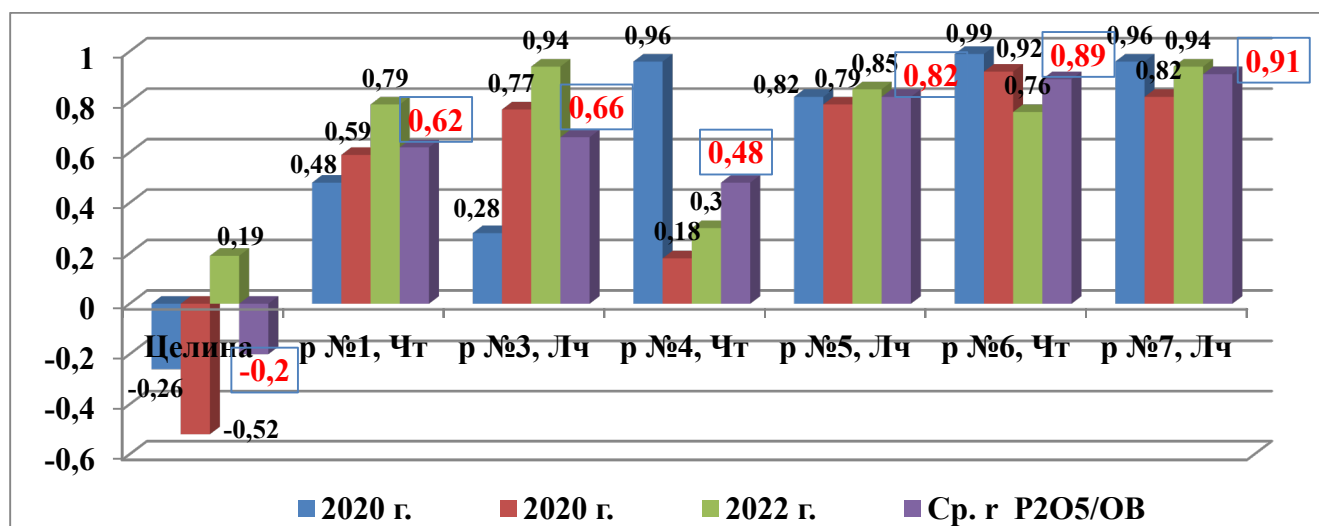


Рисунок 41 – Коэффициенты корреляции связи подвижного фосфора с органическим веществом

Как следует из полученных нами данных (см. табл. 23, рис. 41), в целинной лугово-чернозёмной почве связь содержания подвижного фосфора с ОВ и ПОВ отсутствует. По средним величинам коэффициентов корреляции связь содержания подвижного фосфора с ОВ в чернозёмах типичных изменяется в пределах $r = 0,48-0,89$, т.е. изменяется от средней, до тесной. В лугово-чернозёмных почвах она более тесная, $r = 0,66-0,91$ и оценивается как средняя и тесная.

На рисунке 42 представлены коэффициенты корреляции связи подвижного фосфора с подвижным органическим веществом.

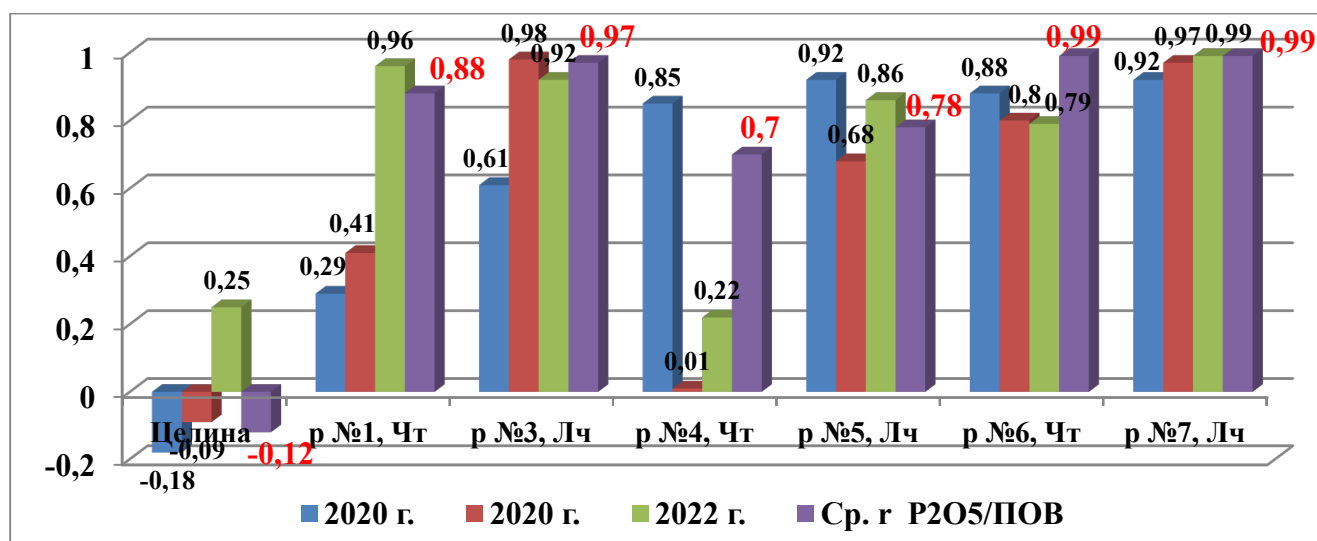


Рисунок 42 – Коэффициенты корреляции связи подвижного фосфора с подвижным органическим веществом

Как следует из полученных нами данных, связь содержания подвижного фосфора с ПОВ в целинной лугово-чернозёмной почве отсутствует – $r = -0,12$. В чернозёмах типичных средние коэффициенты корреляции связи подвижного фосфора с ПОВ изменяется в очень широких пределах – $r = 0,01-0,99$. Она отсутствует в чернозёме типичном (разрез №4) в 2021 году, а в 2020 и 2022 годы тесная. В лугово-чернозёмных почвах средние коэффициенты корреляции связи подвижного фосфора с ПОВ находятся в пределах $r = 0,78-0,99$ и оценивается как тесная. Как и в случае с ОВ связь содержания подвижного фосфора с ПОВ в лугово-чернозёмных почвах выше, чем в чернозёмах типичных. Это даёт нам основание для утверждения, что резкое повышение содержания подвижного фосфора в изучаемых почвах обусловлено внесением свиного навоза.

Полученные нами данные позволяют сделать заключение о том, что длительное применение свиного навоза обуславливает развитие зафосфачивания изучаемых чернозёмных почв.

4.3 Влияние свиного навоза на содержание и характер распределения по профилю обменного калия

Внесение свиного навоза повышает и содержание обменного калия в изучаемых почвах. Данные по влиянию свиного навоза на содержание обменного калия представлены в таблице 24 и на рисунке 43.

Таблица 24 – Влияние внесения свиного навоза на содержание и градиент обменного калия, K_2O , мг/кг почвы

Разрезы	Слой, см	2020 г.	2021 г.	2022 г.	среднее	2020 г.	2021 г.	2022 г.	g среднее
		K_2O , мг/кг почвы				g K_2O			
Целина Лч	0-20	156	120	151	142	1,18	1,85	1,68	1,57
	20-40	134	125	100	120	1,01	1,92	1,11	1,35
	40-60	109	115	96	107	0,83	1,77	1,07	1,22
	60-80	101	110	110	107	0,76	1,69	1,22	1,22
	80-100	132	65	90	96	-	-	-	-
р№1, Чт	0-20	121	123	283	176	1,44	2,62	2,77	2,28
	20-40	96	98	125	106	1,14	2,08	1,22	1,48
	40-60	120	61	115	99	1,43	1,30	1,13	1,29
	60-80	99	111	110	107	1,18	2,36	1,08	1,4
	80-100	84	47	102	78	-	-	-	-
р№3, Лч	0-20	276	240	144	220	1,76	2,93	3,35	2,68
	20-40	113	108	106	109	0,72	1,32	2,46	1,50
	40-60	134	69	86	96	0,85	0,84	2,00	1,23
	60-80	145	108	33	95	0,92	1,32	0,77	1,00
	80-100	157	82	43	94	-	-	-	-
р№4, Чт	0-20	113	113	215	147	0,94	1,07	2,05	1,02
	20-40	90	75	125	97	0,75	0,71	1,19	0,88
	40-60	91	105	90	95	0,76	0,99	0,86	0,87
	60-80	112	109	103	108	0,93	1,03	0,98	0,98
	80-100	120	106	105	110	-	-	-	-
р№5, Лч	0-20	104	192	121	139	1,02	1,65	1,03	1,23
	20-40	156	136	112	135	1,53	1,17	0,96	1,22
	40-60	105	139	102	115	1,03	1,20	0,87	1,03
	60-80	125	116	104	149	1,22	1,00	0,89	1,04
	80-100	102	116	117	112	-	-	-	-
р№6, Чт	0-20	398	392	101	297	3,40	3,14	1,05	2,53
	20-40	304	318	134	252	2,60	2,54	1,40	2,18
	40-60	302	302	87	230	2,58	2,42	0,91	1,97
	60-80	128	120	114	121	1,09	0,96	1,19	1,08
	80-100	117	125	96	113	-	-	-	-
р№7, Лч	0-20	223	224	279	242	2,35	2,05	2,47	3,29
	20-40	96	118	186	133	1,01	1,08	1,65	1,25
	40-60	95	124	153	124	1,00	1,14	1,35	1,16
	60-80	96	106	122	108	1,01	0,97	1,08	1,02
	80-100	95	109	113	106	-	-	-	-
НСР ₀₉₅		80							

Как следует из полученных нами данных (см. табл. 24), содержание обменного калия сильно варьирует как по годам наблюдений, так и в изучаемых почвах. В слое 0-20 см целинной лугово-чернозёмной почвы содержание обменного калия за изучаемый период находилось в пределах 120-156 мг/кг почвы, что соответствует высокой обеспеченности. В чернозёме типичном (разрез №1), содержание обменного калия выше – 121-283 мг/кг почвы, но по среднему за три года содержанию 176 мг/кг почвы, так же, как и в целинной почве, соответствует высокой и очень высокой обеспеченности.

На поле №2 среднее содержание обменного калия варьирует в более широком диапазоне – 139-297 мг/кг почвы, что соответствует высокой и очень высокой обеспеченности. Конечно же, обращает на себя внимание очень высокое колебание содержания обменного калия в пахотном и подпахотном слое, 101-398 и 75-318 мг/кг почвы соответственно. Считаем это следствием неравномерности внесения свиного навоза даже при внутрипочвенном внесении, обусловленной хорошо развитым микрорельефом изучаемой территории.

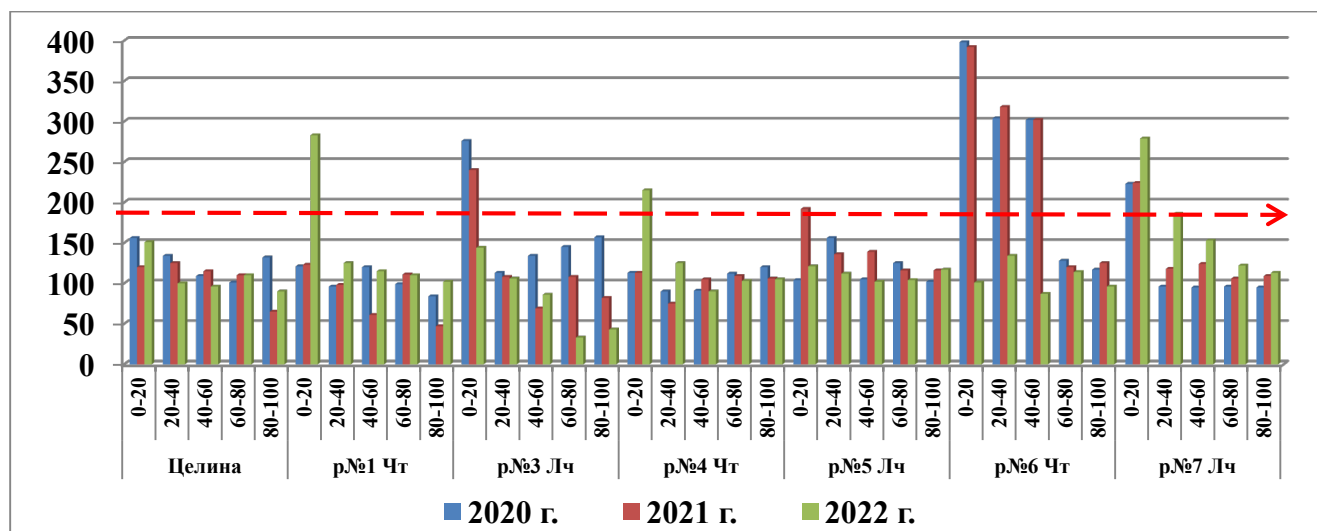


Рисунок 43 – Влияние внесения свиного навоза на содержание обменного калия в изучаемых почвах, мг/кг

Красной пунктирной линией на рисунке 43 показан очень высокий уровень содержания обменного калия (>180 мг/кг). Как следует из данных рисунка 43, на целине в слое 0-20 см амплитуда колебаний содержания обменного калия дости-

гает 36 мг/кг, а среднее содержание 142 мг/кг почвы. В чернозёме типичном (разрез №1) содержание обменного калия в пахотном слое изменяется от 121 до 283 мг/кг, а амплитуда колебаний достигает 162 мг/кг, а среднее содержание 176 мг/кг почвы. В лугово-чернозёмной почве (разрез №3) содержание варьирует в пределах 144-276 мг/кг, амплитуда колебаний 132 мг/кг, а среднее содержание 220 мг/кг почвы.

На поле №2, где заложены разрезы №4-7 содержание обменного калия в чернозёмах типичных и лугово-чернозёмных почвах в пахотном слое изменяется в очень широких пределах. Это обусловлено как тем, что поле разделено на три рабочих участка со своими наборами с.-х. культур, так и проведённым известкованием в 2020 году там, где заложен разрез №4, а также разновременным внесением свиного навоза. Содержание обменного калия в чернозёмах типичных изменяется от 113-215 до 101-398 мг/кг почвы, при амплитуде колебаний 102, 207 мг/кг и среднем содержании 147, 294 мг/кг почвы. Содержание обменного калия в лугово-чернозёмных почвах изменяется от 104-192 до 223-279 мг/кг, при амплитуде колебаний 88, 56 мг кг и среднем содержании 138, 242 мг/кг почвы. В чернозёмах типичных уровень содержания в пахотном слое обменного калия выше 180 мг/кг почвы превышен за 1-2 года, а в чернозёмно-луговых почвах в 2-3 года (разрез №7).

О характере распределения обменного калия по профилю изучаемых почв будем судить по его среднему содержанию за три года наблюдений и градиенту, представленном в таблице 23 и на рисунках 44-46. Среднее содержание обменного калия варьирует в очень широком диапазоне в пределах профиля. В целинной лугово-чернозёмной почве он изменяется в диапазоне 142-96 мг кг почвы. В чернозёмах типичных 176-78, 147-95 и 297-113 мг/кг почвы соответственно в разрезах №1, 4 и 6. В лугово-чернозёмных почвах колебания среднего содержания в пределах профиля обменного калия составляют 220-94, 149-112 и 242-106 мг/кг почвы соответственно в разрезах № 3, 5 и 7.

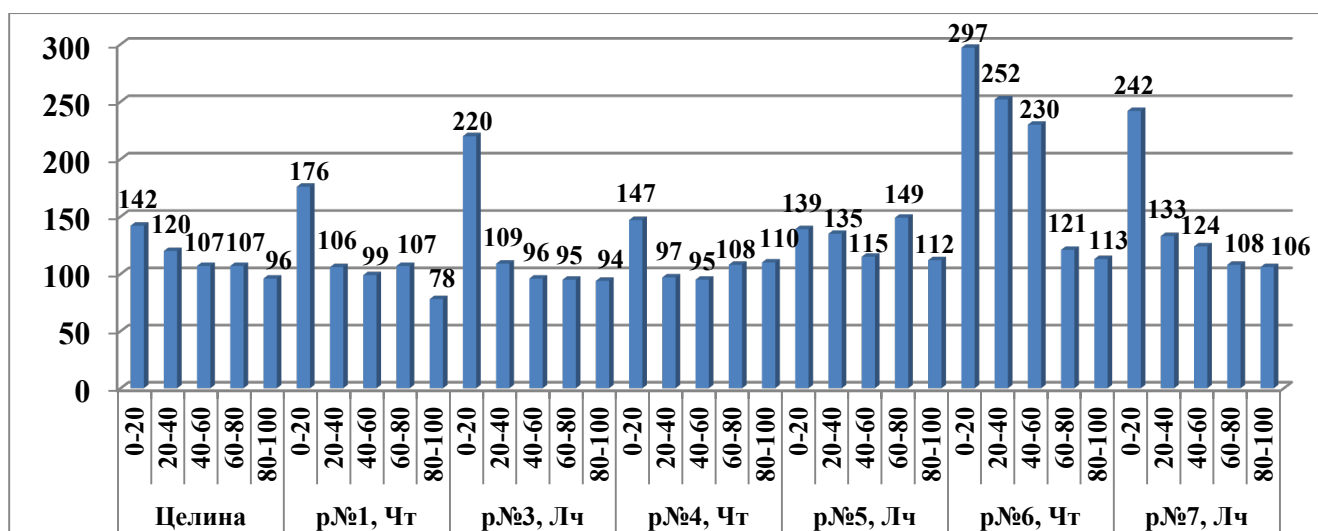


Рисунок 44 – Влияние внесения свиного навоза на среднее содержание обменного калия в изучаемых почвах, K_2O , мг/кг почвы

В целинной лугово-чернозёмной почве распределение обменного калия по профилю прогрессивно убывающее. Подобный тип распределения наблюдается и в лугово-чернозёмных почвах разрезов №3 и 7 и чернозёме типичном, в разрезе №6. В чернозёмах типичных, разрезы №1 и 4, а также лугово-чернозёмной почве (разрез №5) распределение обменного калия по профилю соответствует элювиально-иллювиальному типу. На рисунке 45 представлен градиент обменного калия в изучаемых почвах.

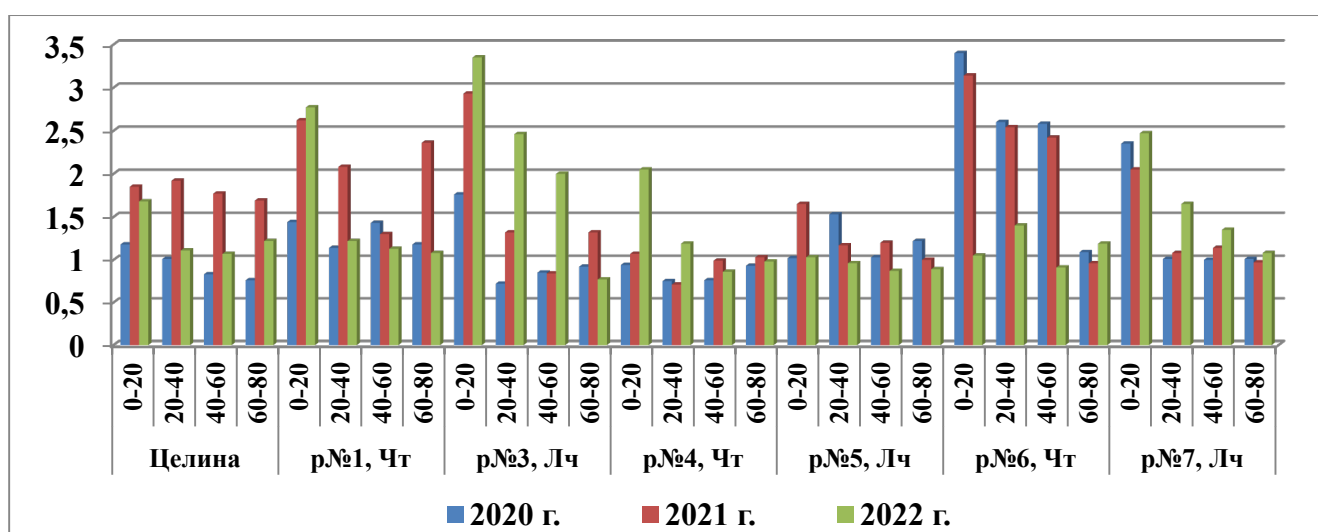


Рисунок 45 – Влияние внесения свиного навоза на градиент содержания обменного калия в изучаемых почвах

Как следует из данных рисунка 45, максимальные величины градиента наблюдались в 2021 и 2022 годы на целине и в почвах разрезов 1, 3, и 4. В остальных почвах максимальные величины градиента наблюдались в 2020 и 2021 годы. Это обусловлено внесением свиного навоза в разные сроки. Тем более, что поле №2 разделено на три рабочих участка [82].

Наиболее наглядно особенности изменения градиента обменного калия можно рассмотреть по средним его величинам за годы исследований. Данные представлены на рисунке 46.

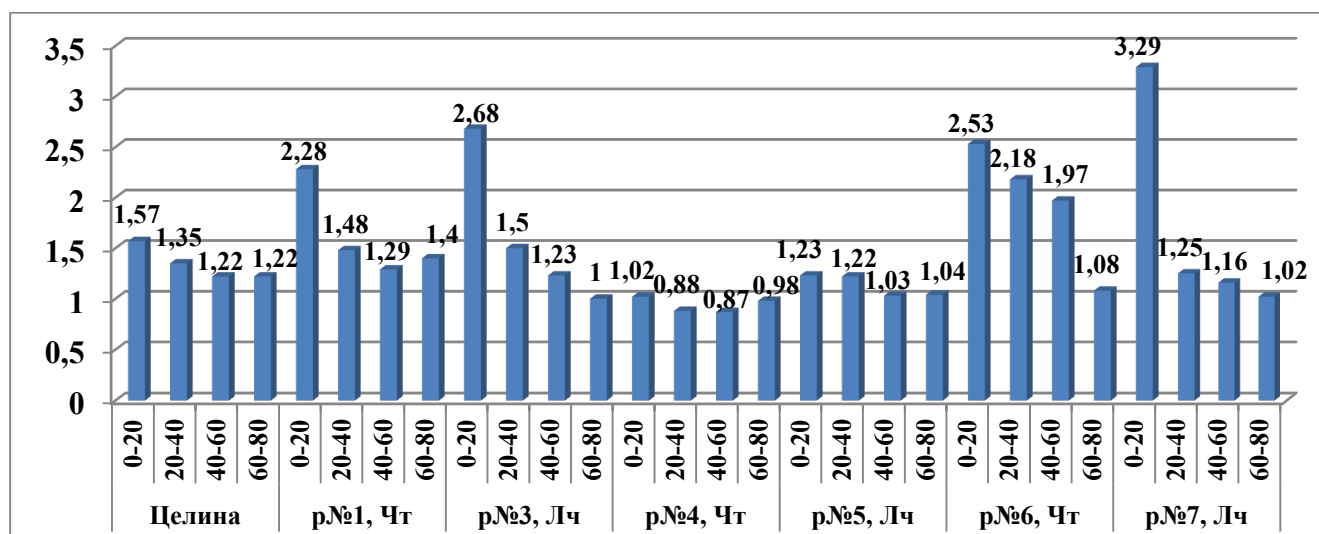


Рисунок 46 – Влияние внесения свиного навоза на средний градиент содержания обменного калия в изучаемых почвах

Как следует из данных рисунка 46, минимальные средние величины градиента наблюдаются в чернозёме типичном (разрез №4), а максимальные в лугово-чернозёмной почве (разрез №7) от 2,53 до 1,08 и 3,29 до 1,02 в слоях 0-20 и 60-80 см соответственно. В целинной лугово-чернозёмной почве градиент изменяется от 1,57 в слое 0-20 см до 1,22 в слое 60-80 см. В чернозёме типичном (разрез №1) он изменяется от 2,28 в слое 0-20 см до 1,29 в слое 40-60 см. В лугово-чернозёмной почве (разрез №3) градиент изменяется по профилю от 2,68 в пахотном слое до 1,00 в слое 60-80 см. Наименьшие изменения градиента наблюдаются

в профиле чернозёма типичного (разрез №4) от 1,02 в пахотном слое до 0,87 в слое 40-60 см.

Известно, что калий в почве мало мобилен, так как он активно взаимодействует с ППК почвы и формирует обменный фонд. В почвах со смешанослойными минералами группы монтмориллонита, поступает в межpacketное пространство и прочно фиксируется. Это практически недоступная форма калия. Для выявления связи обменного калия с ППК изучаемых почв мы рассчитали коэффициенты корреляции его с суммой обменных оснований и ОВ исследуемых почв. Данные представлены в таблице 25 и рисунках 47 и 48.

Таблица 25 – Коэффициенты корреляции связи содержания обменного калия с суммой обменных оснований и органическим веществом изучаемых почв

Разрезы	2020 г.	2020 г.	2022 г.	Ср. r K ₂ O/ S	2020 г.	2020 г.	2022 г.	Ср. r K ₂ O/ ОВ
Целина	0,39	0,49	0,57	0,88	0,83	0,58	0,69	0,92
р №1, Чт	0,26	0,49	0,01	0,24	0,62	0,65	0,76	0,85
р №3, Лч	0,61	0,22	0,89	0,97	0,60	0,69	0,93	0,85
р №4, Чт	0,37	-0,73	0,27	-0,64	-0,34	-0,45	0,69	0,44
р №5, Лч	0,11	-0,69	0,25	0,08	0,29	0,62	0,50	0,27
р №6, Чт	0,62	0,70	-0,25	0,89	0,93	0,94	0,33	0,99
р №7, Лч	0,25	0,27	0,40	0,35	0,70	0,66	0,86	0,78
r	r K ₂ O/S				r K ₂ O/ОВ			

Нами получены несколько неожиданные результаты. Предполагалась более тесная связь содержания обменного калия с суммой обменных оснований, чем с ОВ. Как следует из полученных нами данных, наиболее тесная связь содержания обменного калия с суммой обменных оснований установлена в лугово-чернозёмной почве (разрез №3), $r = 0,22-0,89$. Наименьшая теснота связи содержания обменного калия с суммой обменных оснований выявлена в лугово-чернозёмной почве (разрез №5) – $r = 0,11- -0,69$.

Наиболее тесная связь содержания обменного калия с ОВ почв установлена в чернозёме типичном (разрез №6) – $r = 0,33-0,94$. Наименьшая теснота связи обменного калия с ОВ почв установлена в лугово-чернозёмной почве (разрез №5) – $r = 0,29-0,62$.

На рисунках 47 и 48 представлены результаты корреляционного анализа, позволяющие более наглядно выявить основные закономерности связи содержания обменного калия с суммой обменных оснований и содержанием ОВ почвы.

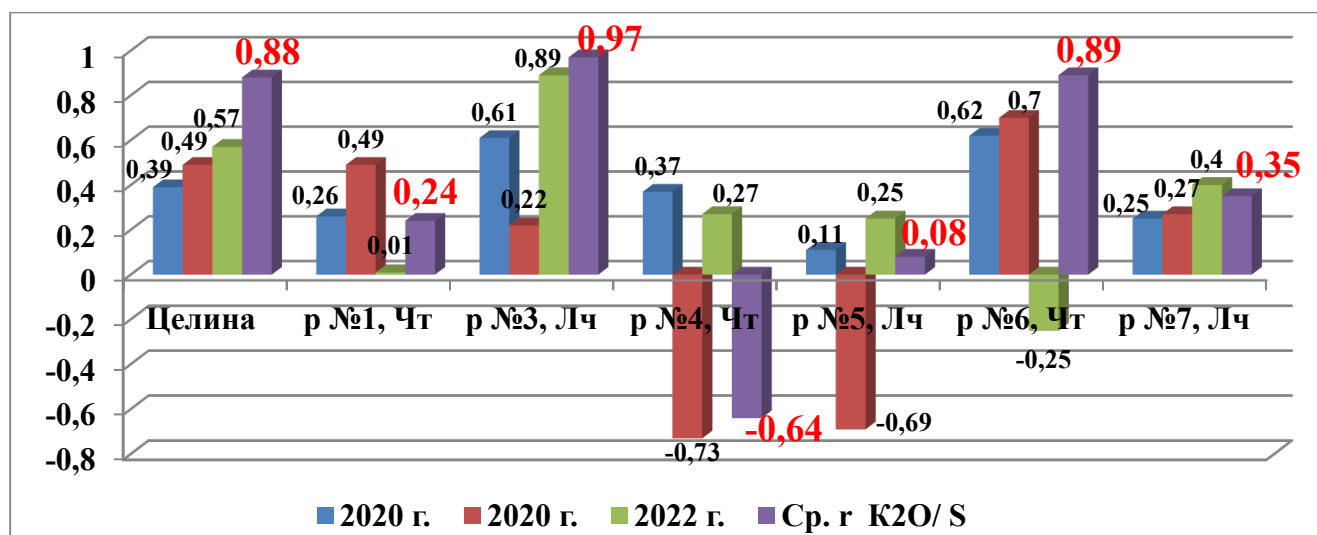


Рисунок 47 – Коэффициенты корреляции связи содержания обменного калия с суммой обменных оснований

Как уже отмечено выше, мы ожидали более тесные связи содержания обменного калия с суммой обменных оснований. Исходили из того, что калий активно поглощается ППК. Но полученные нами данные, конечно же, представляют интерес. Прежде всего, полученные результаты позволяют решить вопрос о влиянии внесения свиного навоза на содержание обменного калия в изучаемых почвах. Красным цветом показаны средние величины коэффициентов корреляции, полученные по средним величинам содержания обменного калия и суммы обменных оснований за три года, т.е. это не среднеарифметические величины. Так среднеарифметический коэффициент корреляции на целинной лугово-чернозёмной почве $r = 0,48$ – т.е. связь средняя, а по среднему содержанию $r = 0,88$ – связь тесная.

В пахотных аналогах целинной почвы и чернозёмах типичных коэффициент корреляции изменяется в очень широких пределах. Так если судить по средним коэффициентам корреляции, то связь содержания обменного калия с суммой об-

менных оснований отсутствует в чернозёме типичном (разрез №1) и в лугово-чернозёмной почве (разрез №5) – $r = 0,24$ и $r = 0,08$ соответственно. В лугово-чернозёмной почве (разрез №3) и чернозёме типичном (разрез №6) связь содержания обменного калия с суммой обменных оснований тесная, $r = 0,97$ и $r = 0,89$ соответственно. В чернозёме типичном (разрез №4) она средняя отрицательная – $r = -0,64$, а в лугово-чернозёмной почве слабая – $r = 0,35$.

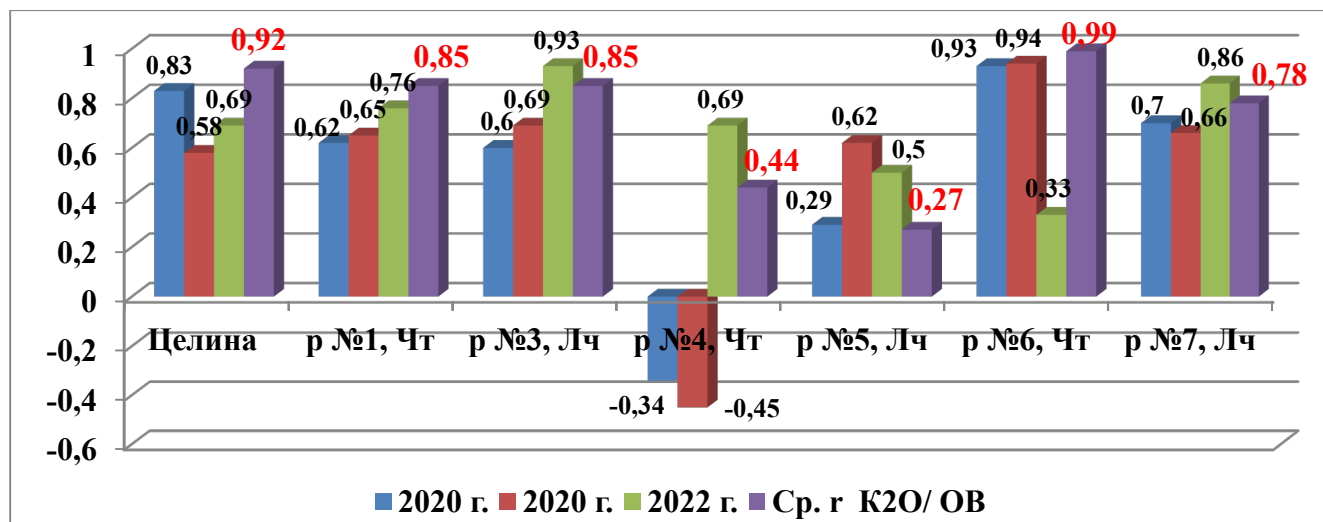


Рисунок 48 – Коэффициенты корреляции связи содержания обменного калия с органическим веществом исследуемых почв

Как следует из данных рисунка 48, связь содержания обменного калия с ОВ почвы по средним коэффициентам корреляции варьирует от слабой, до тесной. Если в целинной лугово-чернозёмной почве она тесная, $r = 0,92$, то в пахотных аналогах она изменяется от слабой – $r = 0,27$ (разрез №5), до тесной – $r = 0,85$ и $r = 0,78$ соответственно в разрезах № 3 и 7. В чернозёмах типичных она варьирует в пределах от тесной, – $r = 0,85$ и $r = 0,99$ (разрезы №1 и 6), до средней – $r = 0,44$ (разрез №4).

Выявленные закономерности связи обменного калия с суммой обменных оснований и ОВ почвы не дают полного представления о влиянии внесения свиного навоза.

Считаем необходимым для уточнения влияния внесения свиного навоза на содержание обменного калия уточнить, что в почвах основным источником калия является минеральная часть почвы. Если говорить о валовом калии, то его содержание определяется минералогическим и гранулометрическим составом почв и почвообразующих пород. В тяжелосуглинистых чернозёмных почвах содержание валового калия может достигать 2,5%. Из минералов главными источниками калия в почвах являются полевые шпаты (микроклин, ортоклаз), содержащие примерно 13% этого элемента, и слюды (мусковит, биотит) – 9-10%.

Калий этих минералов прочно входит в кристаллическую структуру и только в малой своей части может включаться в биологический круговорот. Поэтому валовой калий является индифферентным показателем обеспеченности выращиваемых культур этим элементом. Около 1% от общего запаса калия в почве входит в состав ППК и почвенного раствора, непосредственно участвуя в питании растений; ещё примерно 10% калия связано с глинистыми минералами и служат резервом пополнения подвижного фонда. Многолетними исследованиями [112, 110, 146 и др.] показано, что в агроценозах с сильно дефицитным калийным балансом содержание подвижных форм калия в почве в течение нескольких лет становится фактором, существенно ограничивающим продуктивность выращиваемых культур.

Выполненный автором [146] анализ литературных источников, в которых оценивалась эффективность вносимого калия на региональных почвах, показал, что большинство проведенных опытов были краткосрочными (до 3-4 лет), чаще всего выращивалась яровая пшеница, фоновые дозы удобрений и урожайность культур во многих опытах были невысокими. Зачастую при вносимых дозах NP в 90-120 кг/га норма калия составляла 15-30 кг. Сделанные в таких условиях выводы о нецелесообразности использования калийных удобрений являются, вполне очевидно, недостаточно обоснованными. Вместе с тем, имеющиеся многолетние данные указывают на рост эффективности K по мере удовлетворения потребности

культур в N и P, повышения общего уровня урожайности и, как следствие, увеличения масштабов отчуждения почвенного калия [111, 146 и др.].

Результаты проведенных длительных исследований свидетельствуют, что эффект от калия, почти повсеместно элемента «третьего минимума», может прежде всего и наиболее отчётливо проявляться в следующих случаях:

- при исходно низком его содержании в почве (почвы легкого гранулометрического состава – песчаные, супесчаные, легкосуглинистые, а также органогенные почвы);

- после достаточного обеспечения культур азотом и фосфором (содержание этих элементов в минеральных почвах, как правило, значительно ниже, чем калия);

- при длительном интенсивном использовании почвы (в высокоурожайных агроценозах при сильно дефицитном балансе калия его почвенные запасы истощаются достаточно быстро);

- при выращивании калиелюбивых культур (культуры, формирующие большой урожай углеводов – картофель, сахарная свёкла, кукуруза и др. – потребляют значительное количество калия);

- в неблагоприятных погодных условиях (оптимальная обеспеченность растений калием усиливает их устойчивость к колебаниям температуры, влажности и освещенности).

Кроме того, важными аспектами воздействия калия на агроценоз являются значительное улучшение качества растительной продукции, снижение ее потерь при хранении, повышение устойчивости выращиваемых культур к различным болезням и вредителям [69, 111, 146 и др.].

Как уменьшение ниже допустимых пределов, так и увеличение выше допустимых пределов содержания подвижных форм калия в почвах приводят к появлению в почве ряда неблагоприятных агрономических свойств. Увеличение выше допустимого предела содержания подвижных форм калия в почвах в ряде случаев приводит к их диспергированию, ухудшению структуры, уменьшению водопр-

нищаемости, увеличению подвижности и потере гумуса, к неблагоприятному изменению соотношения подвижных форм К:Са и т. д.

Известно, что подвижность обменного калия в почвах, и его доступность растениям, тесно зависит (обратная пропорция) от ЕКО и гранулометрического состава почв; в связи с этим учёт данных характеристик при почвенной калийной диагностике является обязательным. Оценка калийного состояния почв с использованием величин их ЕКО в ряде случаев может быть затруднена из-за отсутствия соответствующих данных.

Вышеизложенное обусловило необходимость расчёта коэффициентов корреляции связи обменного калия с отдельными гранулометрическими фракциями изучаемых почв. Данные представлены в таблице 26.

Таблица 26 – Коэффициенты корреляции связи содержания обменного калия с содержанием ила и крупнопылевой фракцией изучаемых почв

Разрезы	2020 г.	2020 г.	2022 г.	Ср. r $K_2O/<0,001$ мм	2020 г.	2020 г.	2022 г.	Ср. r $K_2O/0,05-0,01$ мм
Целина	-0,79	-0,54	-0,91	-0,98	0,56	0,73	0,61	0,84
р №1, Чт	-0,79	-0,59	-0,99	-0,95	0,66	0,65	0,97	0,95
р №3, Лч	-0,79	-0,95	-0,87	-0,96	0,47	0,61	0,97	0,71
р №4, Чт	-0,29	-0,37	-0,98	-0,94	-0,02	0,11	0,95	0,79
р №5, Лч	-0,06	-0,92	-0,64	-0,49	0,06	0,88	0,26	0,12
р №6, Чт	-0,70	-0,67	0,13	-0,67	0,87	0,85	0,03	0,86
р №7, Лч	-0,91	-0,91	-0,97	-0,95	0,66	0,76	0,89	0,79
r	$r K_2O/<0,001$ мм				$r K_2O/0,05-0,01$ мм			

Как следует из данных таблицы 26, связь содержания обменного калия с фракцией ила ($<0,001$ мм) отрицательная и в целинной лугово-чернозёмной почве изменяется от средней, $r = -0,54$ до тесной, $r = -0,91$. В пахотных аналогах лугово-чернозёмной почвы эта связь может отсутствовать – $r = -0,06$, или быть тесной отрицательной $r = -0,64$ – $-0,97$. В чернозёмах типичных связь содержания обменного калия с фракцией ила может отсутствовать, $r = 0,13$, или варьировать в пределах $r = -0,37$ – $-0,99$, т.е. изменяться от слабой отрицательной до тесной.

Связь содержания обменного калия с фракцией крупной пыли (0,05-0,01 мм) варьирует в очень широких пределах от её отсутствия – $r = -0,02$, до средней $r = 0,56$ и тесной $r = 0,97$. Так в целинной лугово-чернозёмной почве она изменяется от средней – $r = 0,56$, до тесной, $r = 0,73$. В пахотных её аналогах она преимущественно средняя – $r = 0,47-0,66$ и тесная, $r = 0,76-0,97$. В чернозёмах типичных она в редких случаях отсутствует – $r = -0,02-0,03$, или средняя $r = 0,65-0,66$ и тесная $r = 0,87-0,97$.

Известно, что содержание калия во фракциях разного гранулометрического состава может отличаться в 3-5 раз. Наблюдается чёткая закономерность: увеличение содержания калия в почве по мере уменьшения размера частиц до фракции 0,1-0,005 мм (мелкого песка и пыли), состоящей преимущественно из первичных минералов – полевых шпатов и слюд. Фракции крупного песка и ила содержат меньше калия, так как в песке преобладает кварц (SiO_2), а в илистых и коллоидных частицах – вторичные глинистые минералы, значительно утратившие калий в процессе выветривания [98]. Это подтверждается и нашими данными.

Корреляционным анализом выявлена преимущественно тесная связь обменного калия с фракцией крупной пыли, а с фракцией ила она средняя и тесная отрицательная.

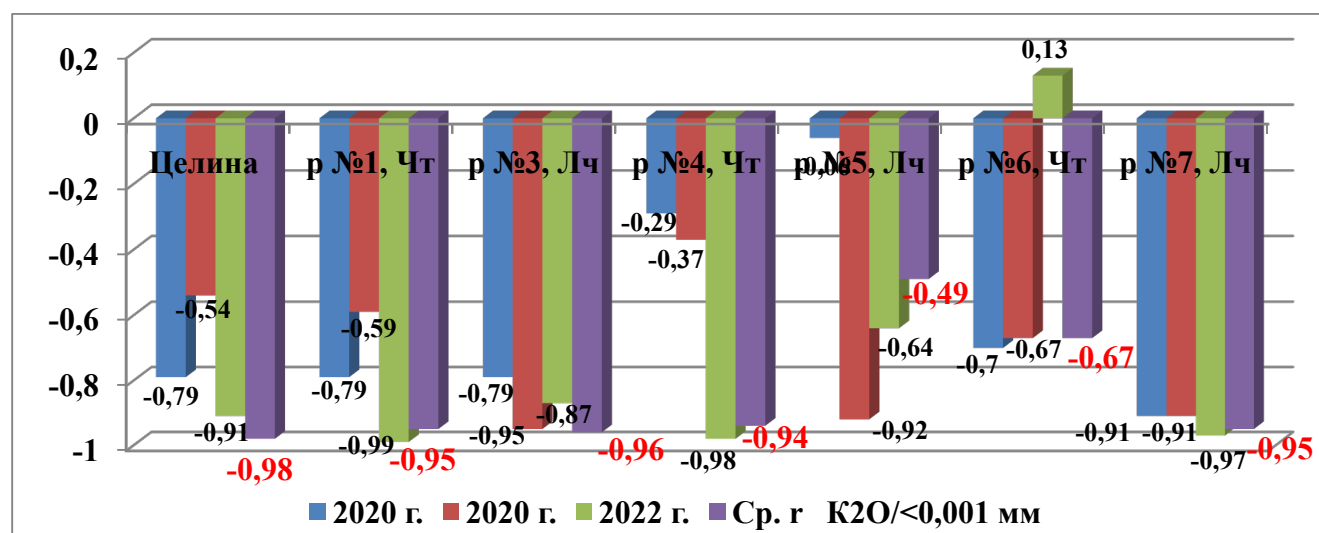


Рисунок 49 – Коэффициенты корреляции связи содержания обменного калия с фракцией ила

Более наглядно выявленные корреляционные зависимости представлены на рисунках 49 и 50.

На рисунке 49 представлены данные корреляции обменного калия с фракцией ила. Красным цветом показаны средние коэффициенты корреляции. Именно по ним оценим корреляционные связи обменного калия с фракцией ила. Отметим, что эта связь отрицательная. На целине связь обменного калия с фракцией ила тесная отрицательная, $r = -0,98$. В пахотных аналогах целинной лугово-чернозёмной почвы она средняя отрицательная $r = -0,49$ (разрез №5), а в остальных тесная отрицательная, $r = -0,96$ и $r = -0,95$ соответственно в разрезах №3 и 7.

В чернозёмах типичных средняя связь содержания обменного калия с фракцией ила средняя отрицательная $r = -0,67$ (разрез №6) и тесная отрицательная, $r = -0,95$ и $r = -0,94$ в разрезах №1 и 4.

На рисунке 50 представлены коэффициенты корреляции обменного калия с фракцией крупной пыли.

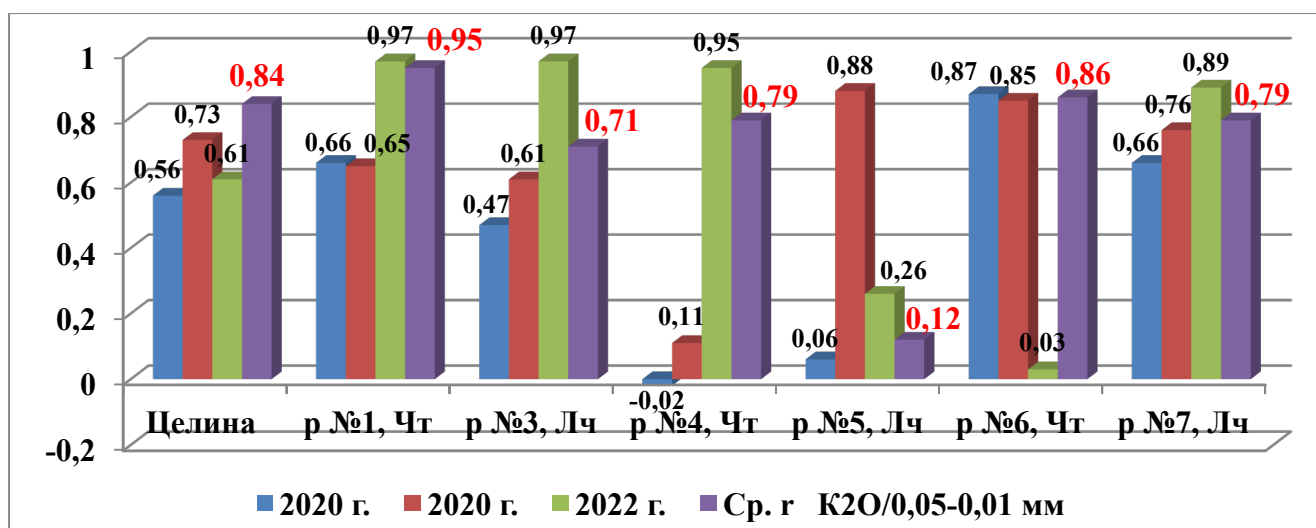


Рисунок 50 – Коэффициенты корреляции связи содержания обменного калия с фракцией крупной пыли

Оценку связи выполним по средним коэффициентам корреляции, выделенным на рисунке 50 красным цветом. В целинной лугово-чернозёмной почве связь содержания обменного калия с фракцией крупной пыли тесная, $r = 0,84$. В пахотных её аналогах она отсутствует в разрезе №5, $r = 0,12$, а в разрезах №3 и 7 она

тесная, $r = 0,71$ и $r = 0,79$ соответственно. В чернозёмах типичных она тесна, $r = 0,95$, $r = 0,79$ и $r = 0,86$ соответственно в разрезах № 1, 4 и 6.

Полученные нами данные хорошо согласуются с литературными источниками, ведь основная часть калия сосредоточена в первичных минералах, а они преобладают в пылеватых фракциях. Чернозёмы богаты монтмориллонитом, однако он содержит очень мало калия [98].

5 ВЛИЯНИЕ СВИНОГО НАВОЗА НА УРОЖАЙНОСТЬ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ КУЛЬТУР И ИХ КАЧЕСТВО

В хозяйстве основное внимание уделяют возделыванию кормовых культур. Озимая пшеница тоже возделывается на корм. Это довольно требовательная культура к уровню плодородия почв. Они должны быть высокоплодородными, структурными, содержать достаточное количество питательных веществ: азота, фосфора, калия и др. Реакция почвенного раствора в почвах должна быть нейтральной или слабокислой (рН 6,0-7,5). Лучшими для неё являются чернозёмы. В них содержится в среднем 4-8% органического вещества. Азот и калий пшеница усваивает до цветения, а фосфор – до молочной спелости зерна, а в условиях повышенной влажности до молочно-восковой спелости. Основное количество азота, фосфора и калия пшеница потребляет до колошения.

Имея хорошо развитую корневую систему, подсолнечник предъявляет довольно высокие требования к условиям минерального питания. Он отличается от других с.-х. культур высоким выносом элементов питания. Из почвы он выносит: N и P_2O_5 в 1,6-2 раза, K_2O в 6-10 раз больше, нежели зерновые культуры. Вынос элементов питания подсолнечником определяется урожайностью и плодородием почвы. В зависимости от условий возделывания и сортовых особенностей подсолнечника, на формирование 10 ц семян и соответствующего количества побочной продукции (стебли, листья, вымолоченные корзинки) затраты элементов питания составляют: N – 50-60 кг, P_2O_5 – 25-30, K_2O – 150-180, Ca – 14 и Mg – 12 кг. Биологический вынос элементов питания (надземной массой растений и корнями) примерно на 28-35% выше по сравнению с хозяйственным выносом. С урожаем 20-22 ц/га семян и соответствующего количества побочной продукции выносятся N 110-130 кг/га, P_2O_5 – 50, K_2O – 300-350 кг/га, а при урожае семян 30 ц/га хозяйственный основных питательных веществ составляет: N – 135-180 кг/га, P_2O_5 – 75-90, K_2O – 450-500, Ca – 35-45 и Mg – 30-35 кг/га.

Потребность подсолнечника в элементах питания наблюдается в течение всего периода прироста вегетативной массы. Наиболее интенсивное потребление

азота и фосфора азота подсолнечником происходит от фазы образования корзинок до налива семян, калия – от начала налива семян до начала созревания. Эта особенность питания указывает на возможность регулирования роста и развития подсолнечника за счёт целенаправленного применения удобрений.

Несмотря на довольно высокий биологический вынос азота подсолнечником, оптимальные дозы азотных удобрений составляют 60-80 кг N/га. Более высокие дозы азота значительно снижают его устойчивость к полеганию и болезням, задерживают налив и созревание семян.

Характер потребления подсолнечником фосфора заметно отличается от потребления азота. Период от всходов подсолнечника до образования корзинки является критическим в потреблении фосфора. Даже кратковременное исключение его из питательной среды снижает способность корней поглощать азот и другие элементы питания и приводит к существенному снижению урожая. Фосфор, внесённый через 25-30 дней после всходов, используется примерно так же, как и внесённый до всходов, однако эффективность его значительно ниже. При недостатке фосфорного питания в первый период роста и развития подсолнечника образуется меньше листьев, уменьшается их поверхность и длина стебля. Фосфорные удобрения способствуют развитию репродуктивных органов с большим количеством цветков в корзинке. Дефицит фосфора приводит к тому, что в корзинке закладывается меньшее число цветков и образуется меньше семян.

Растения потребляют фосфор из почвы от всходов до конца цветения. Первоначально высокое содержание фосфора в стеблях и днищах корзинок, а после цветения он постепенно перемещается в семена, где сосредотачивается к периоду полного созревания семян около 75% фосфора, потребляемого подсолнечником и поэтому отчуждается с поля.

При достаточном фосфорном питании ускоряется развитие растений, более экономно расходуется ими влага, в результате чего они лучше переносят недостаток влаги в почве. При хорошей обеспеченности растений фосфором происходит максимальное накопление масла в семенах. По своему действию азотные и фос-

формные удобрения дополняют друг друга. После цветения подсолнечник менее требователен к уровню фосфорного питания.

Потребление подсолнечником калия зависит от фазы развития, интенсивности роста и уровня калийного питания растений в предшествующий период. При высоком уровне содержания калия в почве растения способны накапливать его в различных органах, поэтому кратковременное исключение калия из питательной среды не вызывает заметных нарушений роста и развития подсолнечника. Но при пониженном и умеренном уровнях калийного питания, дефицит калия в период образования корзинки приводит к значительному снижению урожая семян, что, вероятно, связано с усилением в этот период накопления сухого вещества в растении важной ролью калия в передвижении ассимилянтов в генеративные органы.

Ячмень очень пластичная культура, хорошо использующая последствие удобрений. Ячмень часто даёт более высокие прибавки урожая от минеральных удобрений и навоза, чем яровая пшеница. По биологическим особенностям ячмень довольно требовательный к уровню минерального питания, что обуславливается коротким вегетационным периодом (80-100 дней) и чрезвычайно активным потреблением элементов питания. Поглощение питательных веществ из почвы у ячменя заканчивается в фазе колошения, примерно за 30-35 дней, до созревания. Наиболее интенсивное потребление элементов питания происходит в период кушения и выхода в трубку до колошения. На формирование 1 т зерна и соответствующего количества побочной продукции ячмень потребляет примерно такое же количество элементов питания, как и другие зерновые культуры: 25-30 кг N, 10-15 кг P₂O₅ и 20-26 кг K₂O.

Потребность в удобрениях при выращивании кукурузы (как и других культур) определяют исходя из выноса питательных элементов запланированным урожаем, содержания подвижных элементов питания в почве и их доступности растениям. При этом следует различать потребление растениями и потребность кукурузы в удобрениях. Потребление элементов питания показывает, какое их количество содержится в растениях (усвоено) в данный период роста и развития

растений, а потребность в удобрениях показывает какое их количество необходимо применить (внести), чтобы из них было усвоено растениям требуемое в данный период количество элементов питания. В целом потребность в удобрениях показывает, какое количество удобрений следует внести в почву, чтобы они могла обеспечить получение заданной урожайности. Следовательно, потребность в удобрениях обусловлено потребностью растений в элементе трансформированного через коэффициент его использования. В 100 ц зелёной массы кукурузы содержится 28-35 кг N, 10-15 P_2O_5 , 40-45 K_2O , 8-12 CaO и 6-8 кг MgO. Повышенный уровень фосфорного питания кукурузы заметно улучшает качество силоса и ускоряет созревание початков. Кроме того, хорошая обеспеченность растений фосфором повышает холодостойкость кукурузы особенно в начале роста и развитие. Эффективность возрастающих доз азотных и калийных удобрений также в значительной мере зависит от уровня обеспечения кукурузы фосфором.

Кукуруза на формирование единицы урожая потребляет значительно больше калия, нежели другие зерновые культуры. Наряду с повышением урожайности кукурузы калий существенно повышает её устойчивость к неблагоприятным условиям произрастания, в т. ч. к низкой и высокой температуре, корневым гнилям и полеганию. Он также необходим для образования полноценных початков, накопления сахара и крахмала. Оптимальное содержание калия K_2O в растениях кукурузы в фазе 5-6 листьев составляет 4,5-5,0%.

Нашими исследованиями установлено, что внесение свиного навоза существенным образом изменяет содержание и соотношение макроэлементов в изучаемых почвах.

Считается, что избыток фосфора не страшен, ведь растение берёт столько, сколько ему необходимо. Но повышенные дозы фосфора блокируют поступление других питательных элементов к растению – это железо, цинк, медь, калий и др. В связи с этим, полученные нами данные представляют несомненный интерес.

5.1 Влияние свиного навоза на урожайность и качество сельскохозяйственных культур

В хозяйстве возделываются зерновые и технические культуры преимущественно на кормовые цели. Это озимая пшеница, ячмень и овёс, из зерновых культур, а из технических кукуруза на зерно и подсолнечник, жмых которого после отжима масла используется на корм. Данные по урожайности с.-х. культур представлены в таблице 27.

Таблица 27 – Влияние внесения свиного навоза на урожайность и качество с.-х. культур

Годы	Площадь, га	Культуры	Урожайность, ц/га	Зачётная урожайность, ц/га	Клейковина, %	Белок, %
Поле №1						
2020	53	Подсолнечник	50,6	44,7	-	-
2021	53	Овёс	36,8	36,8	-	11,0
2022	53	Ячмень озимый	82,3	78,0	-	11,4
2023	53	Пар	-	-	-	-
Поле №2						
2020	120	Подсолнечник	41,4	36,4	-	-
2021	120	Ячмень яровой	36,1	34,7	-	14,1
2022	120	Пар	-	-	-	-
2023	120	Озимая пшеница	59,0	58,0	25,0	14,5
Поле №2						
2020	41	Озимая пшеница	78,6	77,7	24,0	13,7
2021	41	Ячмень яровой	36,1	34,7	-	14,4
2022	41	Кукуруза на зерно	102,0	92,0	-	9,0
2023	41	Пар	-	-	-	-

Урожайность с.-х., культур в таблице 27, показана в т.н. бункерном весе, т.е. без очистки, и в зачётном весе – после очистки. Для оценки влияния внесения свиного навоза на урожайность с.-х. культур мы будем использовать данные урожаев в зачётном весе. Как следует из данных таблицы 27 урожайность с.-х. культур варьирует в довольно широких пределах. Если на поле №1 урожайность подсолнечника в 2020 году составила 44,7 ц/га, то на поле №2 36,4 ц/га, т.е. ниже на 8,3 ц/га. На разных участках поля №2 яровой ячмень в 2021 году дал одинаковую урожайность – 34,7 ц/га. Озимая пшеница возделывалась за изучаемый период только на поле №2 и 3,68 на разных участках в 2020 и в 2023 году с урожайно-

стью 58,0 и 77,7 ц/га соответственно, т.е. в пределах поля в разные годы различалась на 15,7 ц/га. Высокая урожайность отмечается по озимому ячменю – 78,0 ц/га, которая превышает урожайность ярового ячменя – 34,7 ц/га более чем в два раза. За период наблюдений кукуруза на зерно возделывалась только в 2022 году с урожайностью 92,0 ц/га. Подсолнечник возделывался только в 2020 году на полях №1 и 2, при этом урожайность его составила 44,7 и 34,6 ц/га соответственно. Урожайность овса, возделываемого на поле №1 в 2021 году, составила 36,8 ц/га.

В растениях содержание белка обычно ниже, чем углеводов. Среднее содержание белков в злаках составляет от 7 до 17%. Причём наибольшее содержание его в пшенице, наименьшее количество белка – в рисе и кукурузе (7-9%). На содержание белка влияют азотные удобрения в сочетании с фосфорно-калийными. Как следует из полученных данных, содержание белка в озимой пшенице колеблется в пределах 13,7-14,5%. Яровой ячмень немного уступает озимой пшенице по содержанию белка – 14,1-14,4%, а минимально его содержание отмечается в зерне кукурузы – 9,0%. По содержанию белка овёс и ячмень озимый мало различаются, 11,0 и 11,4% соответственно.

Клейковина определена только в зерне озимой пшеницы, и её содержание варьирует в пределах 24-25%, что соответствует третьему классу.

В 2011-2012 гг. были введены в действие национальные стандарты на кормовое зерно: ГОСТ Р 53900-2010 «Ячмень кормовой», ГОСТ Р 53901-2010 «Овес кормовой», ГОСТ Р 53903-2010 «Кукуруза кормовая», ГОСТ Р 54078-2010 «Пшеница кормовая» (ИУС №3-2011, №9-2012) [29, 30, 31, 32]

В зависимости от содержания сырого протеина, сырой золы, сырой клетчатки, обменной энергии зерно делится на 3 класса. Оценивая качество зерновых культур, можно сделать заключение о соответствии их требованиям стандартов.

Для выяснения фактора, обуславливающего подобное варьирование урожайности, мы рассчитали баланс элементов питания по культурам. Мы понимаем, что расчёт баланса по азоту не совсем корректен, так как содержание его минеральных форм весьма динамичен во времени. Особенно это характерно для нит-

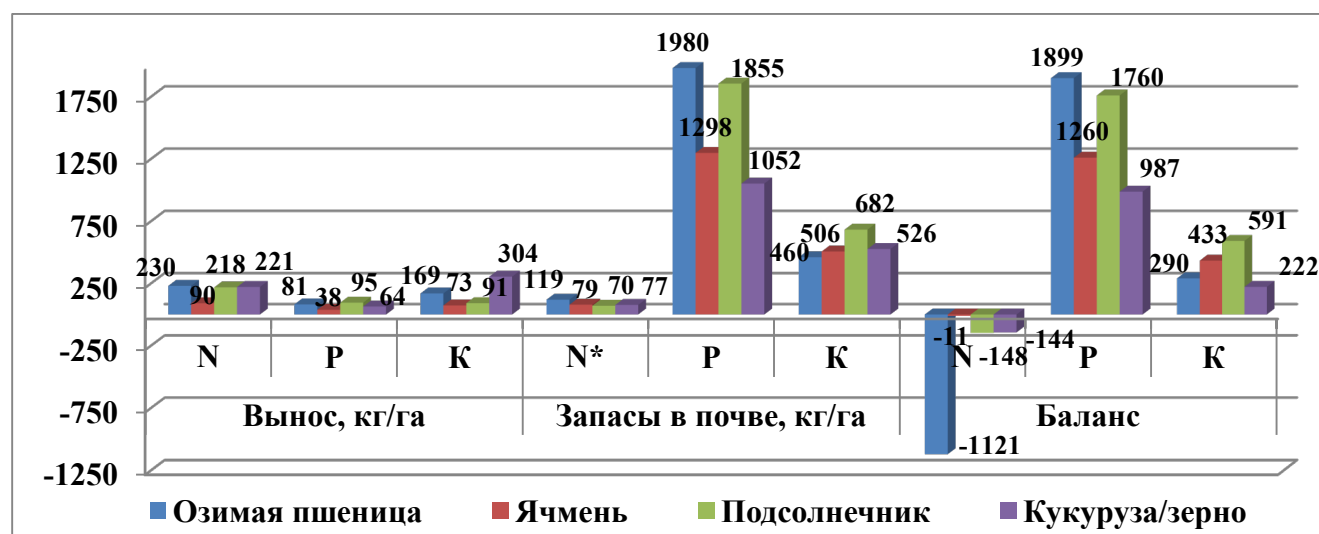
ратной формы. Для расчётов использовали данные по полю №2. Озимая пшеница и подсолнечник возделывались в 2020 году (поле разделено на рабочие участки). Ячмень возделывался в 2021 году, а кукуруза в 2022 году. Данные представлены в таблице 28 и на рисунке 51.

Таблица 28 – Баланс элементов питания

Культуры	Урожай, т/га	Вынос, кг/га			Запасы в почве, кг/га			±		
		N	P	K	N*	P	K	N	P	K
Озимая пшеница	6,78	230,5	81,4	169,5	118,8	1980,0	459,8	- 111,7	+1898,6	+290,3
Ячмень	3,47	90,2	38,2	72,9	79,2	1298,0	506,0	-11,0	+1259,8	+433,1
Подсолнечник	3,64	218,4	94,6	91,0	70,4	1854,6	682,0	-148,0	+1760,0	+591,0
Кукуруза/зерно	9,20	220,8	64,4	303,6	77,0	1051,6	525,8	-143,8	+987,2	+222,2

* – минеральный азот

Отрицательный баланс под всеми с.-х. культурами наблюдается только по азоту. Это несколько неожиданно, т.к. содержание азота в свином навозе по сравнению с фосфором и калием самое высокое. Это обусловлено потерями нитратного и аммонийного азота в лагунах. Минимальный его дефицит наблюдается под ячменём – -11,0 кг/га, а максимальный под подсолнечником – -148,0 кг/га.



* – минеральный азот

Рисунок 51 –Вынос элементов питания с.-х. культурами, их запасы и баланс

Как следует из данных таблицы 28 и рисунка 51, максимальный вынос азота наблюдается у озимой пшеницы, а минимальный у ячменя. На поле под озимой

пшеницей наблюдается максимальный запас подвижного фосфора – 1980 мг/кг., а минимальный под кукурузой – 1052 мг/кг.

Запасы подвижного фосфора очень высокие и превышают уровень 250 мг/кг почвы под озимой пшеницей в 7,9, под ячменём в 5,2, под подсолнечником в 7,4 и кукурузой на зерно в 4,2 раза соответственно.

Запасы обменного калия в почве высокие и превышают уровень 180 мг/кг почвы под озимой пшеницей в 2,5, под ячменём в 2,8, подсолнечником в 3,8 и кукурузой в 2,9 раза соответственно.

Известно, что для получения максимального урожая зерна высокого качества, при высоких нормах внесения удобрений, необходимо преобладание азота в пределах N1,5 : P1 : K1-2. Нехватка одного из макро- или микроэлементов ограничивает урожайность и не позволяет растению правильно впитывать другие жизненно необходимые составляющие. Эффект от передозировки одной из составляющих такой же, как и от дефицита – наступает угнетение и блокировка жизненно важных процессов в культуре и, как результат, деформация плодов, зерен, снижение качественно-количественных показателей урожая.

Нами рассчитаны коэффициенты использования питательных элементов из почвы. Знание коэффициентов использования питательных веществ растениями из почвы необходимо для расчёта запасов доступных элементов питания. Для определения этих коэффициентов требуется знать общие запасы подвижных питательных веществ и вынос элементов питания. Расчёт проводят по формуле:

$$K_{и} = B/Z_o$$

где, $K_{и}$ – коэффициент использования питательных веществ растениями из почвы;

B – вынос элемента с фактическим урожаем, кг/га;

Z_o – общий запас питательных веществ в почве, кг/га.

Рассчитанные нами коэффициенты использования питательных веществ растениями из почвы приведены в таблице 29.

Таблица 29 – Коэффициенты использования питательных веществ из почвы

Культуры	Урожай, т/га	Вынос, кг/га			Запасы в почве, кг/га			К _и	
		N	P	K	N*	P	K	P	K
Озимая пшеница	6,78	230,5	81,4	169,5	118,8	1980,0	459,8	0,041	0,369
Ячмень	3,47	90,2	38,2	72,9	79,2	1298,0	506,0	0,029	0,144
Подсолнечник	3,64	218,4	94,6	91,0	70,4	1854,6	682,0	0,051	0,133
Кукуруза/зерно	9,20	220,8	64,4	303,6	77,0	1051,6	525,8	0,061	0,577

* – минеральный азот

Как следует из полученных нами данных, минимальные коэффициенты получены для фосфора, колеблющиеся в пределах 0,029-0,061, а максимальные для калия, которые варьируют в пределах 0,133-0,577. Как следует из полученных нами данных, величины К_и по фосфору ниже стандартных почти на порядок, а по калию в 1,5-6,5 раз. Считаем, что это следствие избыточного запаса доступных форм фосфора и калия в изучаемых почвах.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Внесение свиного навоза способствует подкислению изучаемых почв. Это проявляется в снижении рН водной и солевой вытяжки, уменьшении суммы обменных оснований и снижении степени насыщенности основаниями. В наибольшей степени это проявляется по отрицательным формам рельефа, к которым приурочены лугово-чернозёмные почвы.

2. Установлено, что среднее содержание ОВ в слое 0-20 см на целине 8,11%, амплитуда колебаний за три года 0,32%, т.е. оно стабильно. В чернозёмах типичных среднее содержание ОВ в пахотном слое составляет 8,47, 7,81 и 7,20%, а амплитуда колебаний 1,12, 2,39 и 0,57% соответственно. В лугово-чернозёмных почвах, среднее содержание ОВ в пахотном слое составляет 8,67, 7,86 и 8,00%, а амплитуда колебаний 1,72, 2,91 и 1,71% соответственно. Более высокое содержание ОВ в лугово-чернозёмных почвах обусловлено повышенным поверхностным увлажнением, что обуславливает поступление органического вещества жидкой фракции свиного навоза на большую глубину. В результате перераспределения жидкой фракции свиного навоза по элементам микрорельефа, в западины поступает дополнительное количество ОВ.

- Длительное применение свиного навоза не только повышает содержание ОВ, но и увеличивает мощность органопрофиля. Если в целинной лугово-чернозёмной почве он равен 60 см, то применение свиного навоза повышает его до 100 см и более.

- Запасы ОВ в слое 0-100 см целинной лугово-чернозёмной почвы составляют 478 т/га. Внесение свиного навоза повышает содержание ОВ в лугово-чернозёмных почвах до 650-738 т/га, а в чернозёмах типичных до 500-677 т/га.

- Большая часть ОВ – 76,57% в целинной лугово-чернозёмной почве – сосредоточен в слое 0-50 см. Внесение свиного навоза снижает аккумуляцию ОВ в этом слое до 46,16-68,60% в чернозёмах типичных, и до 58,26-63,38% в лугово-чернозёмных почвах.

- Установлено, что между содержанием ОВ и фракцией крупной пыли существует тесная связь. Связь ОВ с фракцией тонкой пыли на целине средняя, а на пахотных почвах тесная. Связь содержания ОВ с фракциями ила и физической глины варьирует от слабой, до тесной отрицательной. Внесение свиного навоза повышает содержание подвижного органического вещества. Содержание подвижного органического вещества имеет тесную отрицательную связь с рН водной и солевой вытяжки, связь с суммой обменных оснований варьирует от средней до тесной.

- Установлено, что в верхней части гумусового горизонта, а точнее в верхней полуметровой толще, пахотных лугово-чернозёмных почв и чернозёма типичного наблюдается резкое, в 1,8-2,5 раза, повышение содержания общего фосфора. В составе общего фосфора резко возросла доля органического фосфора, что обусловлено влиянием внесения свиного навоза не только на содержание общего фосфора, но и на изменение соотношения между фосфором минеральным и органическим. Изменения в содержании различных форм фосфора выявлены не только в пределах верхней части гумусового горизонта, но и по всему профилю. Эти изменения разнонаправленные, но они очевидны.

3. Внесение свиного навоза повышает содержание нитратов по сравнению с целинной лугово-чернозёмной почвой от 3-5 до 15-30 раз. В лугово-чернозёмных почвах в отдельные годы ПДК по нитратам превышено в 1,9 раза. Возникает угроза загрязнения грунтовых вод нитратами. Из минеральных форм азота в изучаемых почвах преобладает аммонийный азот. Однако его содержание в чернозёмах типичных и лугово-чернозёмных почвах ниже, чем на целине.

- Установлено, что между содержанием нитратного азота и ОВ существует преимущественно слабая и средняя связь. Между содержанием аммонийного азота и рН водной и солевой вытяжки связь в целинной лугово-чернозёмной почве отрицательная тесная, $r = -0.94$ и -0.83 соответственно. В чернозёмах типичных и лугово-чернозёмных почвах она отрицательная слабая и средняя.

- Связь содержания аммонийного азота с ОБ в целинной лугово-чернозёмной почве тесная, $r = 0.92$ и 0.93 соответственно. В чернозёмах типичных и лугово-чернозёмных почвах она средняя и тесная.

- Установлено, что основная часть минерального азота на поле №1 распределяется в изучаемых почвах относительно равномерно, а на поле №2 г. о. в слое 20-40 см, т.е. на глубине внесения свиного навоза.

- Уровень обеспеченности минеральным азотом оценивается как низкий и средний. В чернозёмах типичных уровень обеспеченности минеральным азотом изменяется от 19,76-27,06 мг/кг до 21,10-39,40 мг/кг почвы, т.е. изменяется от низкого до среднего. В лугово-чернозёмных почвах он изменяется от 24,90-57,10 мг/кг до 25,40-130,56 мг/кг почвы, изменяясь т. о. от среднего до высокого. Внесение свиного навоза повышает содержание минерального азота в пахотных чернозёмах типичных и лугово-чернозёмных почвах по сравнению с целинной лугово-чернозёмной почвой.

- Выявлено, что существенное повышение содержания подвижного фосфора не только на глубине внесения свиного навоза, а по всему профилю. И если в слое 0-20 см содержание подвижного фосфора в целинной лугово-чернозёмной почве в среднем за три года наблюдений находилось на уровне 301 мг/кг почвы, то в чернозёмах типичных оно повысилось до 613-716 мг/кг, а в лугово-чернозёмных почвах до 616-733 мг/кг почвы. Нами т. о. установлено, что по отношению к целинной почве содержание подвижного фосфора возросло более чем в 2 раза.

- Установлено, что внесение свиного навоза повышает содержание подвижного фосфора в слое 80-100 см в 1,6 раза по сравнению с целинной почвой. Отметим, что в целинной лугово-чернозёмной почве среднее содержание подвижного фосфора по существующей шкале оценивается как очень высокое. Дальнейшее повышение содержания подвижного фосфора в изучаемых почвах при внесении свиного навоза даёт основание для заключения о развивающемся зафосфачивании изучаемых почв.

- Установлено, что внесение свиного навоза повышает содержание обменного калия в пахотном слое лугово-чернозёмной почвы от 121 до 283 мг/кг, амплитуда колебаний достигает 162 мг/кг, а среднее содержание 176 мг/кг почвы. В лугово-чернозёмной почве содержание варьирует в пределах 144-276 мг/кг, амплитуда колебаний 132 мг/кг, а среднее содержание 220 мг/кг почвы. Содержание обменного калия в лугово-чернозёмных почвах на поле №2 изменяется от 104-192 до 223-279 мг/кг, при амплитуде колебаний 88, 56 мг/кг и среднем содержании 138, 242 мг/кг почвы соответственно.

- Содержание обменного калия в чернозёмах типичных изменяется от 113-215 до 101-398 мг/кг почвы, при амплитуде колебаний 102, 207 мг/кг и среднем содержании 147, 294 мг/кг почвы. В чернозёмах типичных уровень содержания в пахотном слое, обменного калия выше 180 мг/кг почвы превышен за 1-2 года, а в чернозёмно-луговых почвах в 2-3 года.

4. Установлено, что под влиянием внесения свиного навоза урожайность с.-х. культур варьирует в довольно широких пределах. Урожайность подсолнечника изменяется в пределах 34,6-44,7 ц/га. Урожайность ярового ячменя – 34,7 ц/га. Урожайность озимой пшеницы 58,0-77,7 ц/га, т.е. в пределах поля в разные годы различалась на 15,7 ц/га. Урожайность кукурузы на зерно составила 92,0 ц/га, а подсолнечника изменялась в пределах 34,6-44,7 ц/га соответственно. Урожайность овса составила 36,8 ц/га.

- Установлено, что на поле под озимой пшеницей наблюдается максимальный запас подвижного фосфора – 1980 мг/кг, а минимальный под кукурузой – 1052 мг/кг. Запасы подвижного фосфора очень высокие и превышают уровень 250 мг/кг почвы под озимой пшеницей в 7,9, под ячменём в 5,2, под подсолнечником в 7,4 и кукурузой на зерно в 4,2 раза соответственно.

- Запасы обменного калия в почве высокие и превышают уровень 180 мг/кг почвы под озимой пшеницей в 2,5, под ячменём в 2,8, подсолнечником в 3,8 и кукурузой в 2,9 раза соответственно.

- Установлено, что фактором, лимитирующим урожайность с.-х. культур является азот, который поступает в почву при внесении свиного навоза в меньшем, чем фосфор и калий, количестве.

РЕКОМЕНДАЦИИ ПРОИЗВОДСТВУ

1. Учитывая локальное переувлажнение изучаемых почв, по отрицательным формам рельефа обуславливающее выщелачивание карбонатов с последующим подкислением необходимо проводить выборочное известкование. Дозы извести определять по величине гидролитической кислотности. В качестве известкового материала следует использовать дефекаат.
2. Для устранения дефицита азота с.-х. культур необходимо вносить азотные удобрения в дозе 60 кг. д.в./га.
3. Для устранения влияния микрорельефа на перераспределение атмосферных осадков необходимо выполнять поздней осенью щелевание западин на глубину 40-60 см.
4. Для кардинального устранения влияния микрорельефа необходимо выполнить планировку поверхности. Мощность гумусового горизонта 60-80 см и более позволяют допустить срезку поверхностного слоя 10-20 см без существенного снижения уровня плодородия изучаемых почв.

ПЕРСПЕКТИВЫ ДАЛЬНЕЙШЕЙ РАЗРАБОТКИ ТЕМЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Дальнейшая разработка диссертационного исследования планируется по следующим направлениям:

1. Для полноценной агроэкологической оценки влияния внесения жидкого свиного навоза необходимо выполнить исследования по влиянию внесения свиного навоза на микробиологические свойства изучаемых почв.

2. Для оценки влияния внесения свиного навоза на изучаемые почвы необходимо выполнить исследования по содержанию тяжёлых металлов и характера их распределения по профилю.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Агроклиматические ресурсы Воронежской области: [Справочник] / Гл. упр. гидрометеорол. службы при Совете Министров СССР. Упр. гидрометеорол. службы центр.-чернозем. обл. Кур. гидрометеорол. обсерватория. – Ленинград: Гидрометеиздат, 1972. – 108 с.
2. Агропромышленный комплекс России в 2020 году / Министерство сельского хозяйства и продовольствия Российской Федерации. – Москва, 2021. – 564 с.
3. Андреев, А.В. К методике исследования процессов анаэробной очистки сточных вод с применением энергосберегающих технологий / А.В. Андреев, Д.А. Панов, М.В. Свалова // Наука и инновации в современных условиях. – 2016. – № 1. – С. 215-219.
4. Андреев, Л.Н. Мониторинг состояния воздушной среды вблизи крупных животноводческих комплексов Тюменской области / Л.Н. Андреев, Е.А. Басуматорова // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. – 2020. – № 5 (85). – С. 179-181.
5. Анищенко, А.Н. Актуальные проблемы и перспективы развития подотрасли свиноводства / А.Н. Анищенко // Проблемы развития территории. – 2017. – Вып. 4(90) – С. 146-157.
6. Асмус, Ф. Эффективное использование жидкого навоза в растениеводстве / Ф. Асмус // Вестник с.-х. науки. – 1990. – №8. – С.15-18.
7. Афанасьев, В.Н. Сельскохозяйственные отходы: от ликвидации до эффективного безопасного использования / В.Н. Афанасьев, А.Ю. Брюханов // Механизация и электрификация сельского хозяйства. – 2012. – № 3. – С. 30-33.
8. Ахтырцев, А.Б. Лугово-чернозёмные почвы центральных областей Русской равнины / А.Б. Ахтырцев, П.Г. Адерихин, Б.П. Ахтырцев // Воронеж: Изд-во ВГУ, 1981. – 176 с.
9. Ашихмина, Т.В. Геоэкологический мониторинг накопленного экологического вреда при обращении с отходами животноводства в Воронежской обла-

сти / Т.В. Ашихмина, Н.В. Каверина // Региональные геосистемы. – 2022. – 46(4) – С. 596-614.

10. Баранников, В.Д. Охрана окружающей среды в зоне промышленного животноводства / В.Д. Баранников. – Москва: Россельхозиздат, 1985. – 118 с.

11. Баранова, М.П. Комплексная технология переработки отходов свиноводства для получения биогаза и органических удобрений для климатических условий АПК Сибири / М.П. Баранова, А.В. Бастрон, С.Н. Шахматов, О.А. Ульянова // Вестник КРАСГАУ. – 2017. – № 1 (124) – С. 92-99.

12. Беляев, А.Ю. Влияние отходов животноводческого комплекса на грунтовые и поверхностные воды / А. Ю. Беляев, Р. Г. Джамалов, В. Л. Злобина, Ю. А. Медовар, И. О. Юшманов // Геоэкология, инженерная геология, гидрогеология, геоэкология. – 2008. – № 4. – С. 331-337.

13. Богачев, А.И. Решение проблемы утилизации навоза как фактор обеспечения экологической безопасности и социально-экономического роста отрасли свиноводства / А.И. Богачев, М.Г. Полухина // Эффективное животноводство. – 2015. – № 8 (117). – С. 31-33.

14. Брюханов, А.Ю. Анализ и решения экологических проблем в животноводстве / А.Ю. Брюханов, В.Д. Попов, Э.В. Васильев, Е.В. Шалавина // Сельскохозяйственные машины и технологии. – 2021. – Т. 15, № 4. – С. 48-55.

15. Брюханов, А.Ю. Способы утилизации навоза как инструмент обеспечения экологической устойчивости сельских территорий / А.Ю. Брюханов, Е.В. Шалавина, Э.В. Васильев, Н.П. Козлова // Теории и технические средства механизированного производства продукции растениеводства и животноводства. – 2018. – №3 (96). – С. 231-243.

16. Брюханов, А.Ю. Проблемы обеспечения экологической безопасности животноводства и наилучшие доступные методы их решения / А.Ю. Брюханов, Э.В. Васильев, Е.В. Шалавина // Региональная экология. – 2017. – № 1 (47). – С. 37-43.

17. Брюханов, А.Ю. Информационная система для мониторинга и управления органическими отходами животноводства / А.Ю. Брюханов, Е.В. Шалавина, Х. Хухта, Э.В. Васильев // АгроЭкоИнженерия. – 2021. – № 4(109). – С.94-106.
18. Васильев, Э.В. Перспективы и экологические проблемы развития птицеводства в России / Э.В. Васильев, Е.В. Шалавина // Технологии и технические средства механизированного производства продукции растениеводства и животноводства. – 2017. – № 92. – С. 175-186.
19. Васильев, Э.В. Оценка эффективности наилучших доступных технологий для интенсивного животноводства / Э.В. Васильев, А.Ю. Брюханов, Н.П. Козлова // Технологии и технические средства механизированного производства продукции растениеводства и животноводства. – 2016. – №88. – С.131-142.
20. Возмилов, А.Г. Проблемы загрязнения воздуха в животноводстве и пути их решения / А.Г. Возмилов, В.Б. Файн, Д.В. Астафьев, Л.Н. Андреев // Вестник НГИЭИ. – 2021. – № 9 (124). – С. 38-49.
21. Воронин, Б.А. Эколого-экономические аспекты использования в аграрном производстве отходов животноводства / Б.А. Воронин, Я.В. Воронина // Аграрное и земельное право. – 2023. – № 7(223). С. – 43-45.
22. Временные рекомендации по составлению проектно-сметной документации на комплексное агрохимическое окультуривание полей в Центрально-чернозёмном экономическом районе. – Воронеж, 1983. – 70 с.
23. Галохов, Н.Н. Климат // Центрально-Чернозёмные области. Москва: 1952. – С.29-47.
24. Гамзиков, Г.П. Азот в земледелии Западной Сибири. – Москва, Изд-во Наука, 1981. – 266 с.
25. Гейгер, Е.Ю. Действие жидкого свиного навоза на продуктивность агрофитоценоза и состояние экосистемы в зоне влияния крупного свиного комплекса: автореферат дис. ... кандидата с-х наук: 03.00.16, 06.01.04 / Е.Ю. Гейгер – Саранск, 2003. – 18 с.

26. Головки, А.Н. Оптимизация процесса глубокой переработки жидкого навоза животноводческих предприятий / А.Н. Головки, А.М. Бондаренко, А.В. Хаценко // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. – 2023. – № 2 (100). – С. 125-128.

27. Головки, А.Н. Эколого-экономическая модель технологического процесса получения, переработки жидкого навоза и применения полученных удобрений / А.Н. Головки, А.М. Бондаренко, А.В. Хаценко // Дальневосточный аграрный вестник. – 2022. – Т. 16, № 3.– С. 81-88.

28. ГОСТ 26074 – 84 Навоз жидкий. Ветеринарно-санитарные требования к обработке, хранению, транспортированию и использованию; утвержден и введен в действие. Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 28 октября 2010 г. № 336-ст. Москва: Изд-во стандартов, 1984. – 7 с.

29. ГОСТ Р 53900 – 2010 Ячмень кормовой. Технические условия; утвержден и введен в действие Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 28 октября 2010 г. № 336-ст. Москва: Изд-во стандартиформ, 2011. – 8 с.

30. ГОСТ Р 53901 – 2010 Овес кормовой. Технические условия; утвержден и введен в действие Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 28 октября 2010 г. № 337-ст. Москва: Изд-во стандартиформ, 2011. – 8 с.

31. ГОСТ Р 53903-2010 Кукуруза кормовая. Технические условия; утвержден и введен в действие Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 29 октября 2010 г. № 337-ст. Москва: Изд-во стандартиформ, 2011. – 8 с.

32. ГОСТ Р 54078-2010 Пшеница кормовая. Технические условия; утвержден и введен в действие Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 30 ноября 2010 г. № 732-ст. Москва: Изд-во стандартиформ, 2011. – 12 с.

33. Глеба, О.В. Экологические проблемы животноводческой отрасли / О.В. Глеба // Аграрное и земельное право. – 2019. – № 7(175) – С. 67-72.
34. Гусев, А.Н. Сельскохозяйственные факторы производства как источник загрязнения окружающей среды / А.Н. Гусев, З.Р. Цуканова, Е.Н. Мерцалов // Селекция и сорторазведение садовых культур. – 2021. – Т.8, № 1-2 – С. 23-26.
35. Деградация и охрана почв; под общей ред. Акад. РАН Г. В. Добровольского. – Москва; Изд-во МГУ, 2002. – 654 с.
36. Дмитрук, М.Н. Правовой режим отдельных особо охраняемых природных территорий / М.Н. Дмитрук // Вестник МГУ. – Серия 3. – 2016. – №2. – С.125-130.
37. Добровольский, В.В. Роль гуминовых кислот в формировании миграционных потоков тяжёлых металлов // Почвоведение. – 2004. – С.32.
38. Дроздов, К.А. Основные этапы развития / В кн. Окско-Донское плоскоместье. // Воронеж: Изд-во Воронеж. ун-та, 1976. – 175 с.
39. Еськов, А.И. Результаты многолетних исследований эффективности последствий бесподстилочного навоза / А.И. Еськов, С.И. Тарасов, Н.А. Тамонова // Плодородие. – 2010. – № 6 – С. 10-12.
40. Желябовская, Д.С. Экологические правонарушения и ответственность. Часть 1 /Д.С. Желябовская // Экология производства. – 2022. – № 6 (215). – С. 56-63.
41. Желязко, В.И. Экологическое состояние подземных вод на сельскохозяйственных полях орошения стоками свиноводческих комплексов // Экологическое состояние природной среды и научно-практические аспекты современных мелиоративных технологий. – 2004. – С. 208-213.
42. Захарова, О.А. Изучение режима грунтовых вод в последствии длительного орошения сточными водами свиного комплекса // Проблемы развития мелиорации и водного хозяйства и пути их решения: материалы Международной науч.-практ. конф., г. Москва. Ч. 4. – Москва: Моск. гос. ун-т природообустройства, 2011. – С.113-118.

43. Золотарёва, Б.Н. Гидрофильные коллоиды и почвообразование. Монография. – Москва: Наука, 1982. – 289 с.
44. Зубкова, Т.А. Матричная организация почв / Т.А. Зубкова, Л.О. Карпачевский // Москва: Русакки, 2001. – 207 с.
45. Иванов, Ю. А. Экологичное животноводство, проблемы и вызовы / Ю. А. Иванов, В. В. Миронов // Технологии и технические средства механизированного производства продукции растениеводства и животноводства. – 2015. – № 87. – С. 35-48.
46. Камилов, М.К. Экологические проблемы в сельском хозяйстве как следствие интенсификации развития агропромышленного комплекса России / М.К. Камилов, П.Д. Камилова, З.М. Камилова // Региональные проблемы преобразования экономики, 2017. – № 1. – С. 11-20.
47. Камышев, Н.С. Растительный покров Воронежской области и его охрана / Н.С. Камышев, К.Ф. Хмелёв // Воронеж: Изд-во Воронеж. ун-та, 1976. – 168 с.
48. Караксин, В.Б. Влияние предприятия промышленного свиноводства на компоненты окружающей среды и оптимизация функционирования региональной экосистемы: автореферат дис. ... д-р с.-х. наук: 03.00.16 / В.Б. Караксин. – Москва-Немчиновка, 2003. – 41 с.
49. Кирюшин В.И. Агрономическое почвоведение. / СПб, КВАДРО, 2013. – 680 с.
50. Кирюшин, В.И. Экологизация земледелия и технологическая политика / В.И. Кирюшин. – Москва: Изд-во МСХА, 2000. – 473 с.
51. Климатические ресурсы Центрально-Чернозёмной, Брянской и Орловских областей. / Л.: Гидрометеостат, 1978. – 15 с.
52. Ковалев, Д.А. Повышение энергетической эффективности процесса предварительного нагрева жидких органических отходов перед анаэробной обработкой бесподстилочного навоза КРС / Д.А. Ковалев, А.А. Ковалев, Ю.А. Соченко

// Вестник Всероссийского НИИ механизации животноводства. – 2018. – №4. – С.92-94.

53. Ковалев, Д.А. Основные элементы технологической линии анаэробно-аэробной очистки навозных стоков свинокомплексов / Д.А. Ковалев, А.А. Ковалев, Е.И. Азимжанов // Вестник всероссийского научно-исследовательского института механизации животноводства. – 2016. – № 4 (24) – С. 158-161.

54. Ковалев, Д.А. Применение компрессионного теплового насоса в системе очистки навозных стоков / Д.А. Ковалев, А.А. Ковалев // Вестник всероссийского научно-исследовательского института механизации животноводства. – 2014. – № 3 (15) – С. 149-152.

55. Колосова, Н.В. Математическая модель тепломассообмена при получении биогаза в метантенке / Н.В. Колосова, С.И. Монах // Современное промышленное и гражданское строительство. – 2019. – Т. 15, № 2. – С. 67-74.

56. Колмацкий, Г.В. Индустриализация и интенсификация отрасли свиноводства на юге России Диссертация на соискание ученой степени доктора сельскохозяйственных наук: 06.02.10, 06.02.07 / Г.В. Коломацкий. – Черкесск, 2014. – 367 с.

57. Кольга, Д.Ф. Переработка навоза в экологически безопасные органические удобрения / Д.Ф. Кольга, А.С. Васько. – Минск: БГАТУ, 2017. – 128 с.

58. Комарова, Е. В. Современные проблемы применения отходов животноводства в качестве удобрения: анализ правового поля / Е.В. Комарова, А. В. Слабунова // Экология и водное хозяйство. – 2021. – Т. 3, № 4. – С.27-45.

59. Комарова, Е.В. Экологически безопасные технологии подготовки животноводческих стоков / Е.В. Комарова, М.А. Ляшков // Экология и водное хозяйство. – 2021. – Т. 3, № 3. – С.72-88.

60. Комарова, Е.В. Применение эффекта кавитации при очистке сточных вод животноводства / Е.В. Комарова, А.В. Слабунова, С.Е. Харитонов // Экология и водное хозяйство [Электронный ресурс]. – 2021 – Т. 3, № 2.– С. 61-74. URL: <http://www.rosniipm-sm1.ru/article?n=110> (дата обращения: 12.08.2021).

61. Комякова, Е.М. Состав навоза КРС и свиней, особенности использования и перспективы использования / Е.М. Комякова, О.И. Антонова // Вестник Алтайского ГАУ, 2020. – №6 (188). – С.63-66.
62. Кузьмина, Т.Н. Современное состояние свиноводства / Т.Н. Кузьмина., В.Н. Кузьмин // Техника и технологии в животноводстве, 2022. – №3(47) – С.53-58.
63. Курьшев, А.А. Характеристика предприятия по переработке биоотходов как потенциального источника загрязнения окружающей среды / А.А. Курьшев, Е.Д. Сысоева // Экологическая геология: теория, практика и региональные проблемы: VI Междунар. науч.-практич. конф., Севастополь, 16-18 сентября 2019 года. Севастополь: «Цифровая полиграфия», 2019. – С. 113-116.
64. Лягушкин И. Вечная утилизация // Агротехника и технологии: электрон. науч. журн. 2008 – [№ 6]. – С. 263-272. URL: <https://www.agroinvestor.ru/technologies/article/14816-vechnaya-/.pdf> (дата обращения: 02.03.2023).
65. Максимов, Д.А. Методика принятия решения об экологически безопасном размещении сельхозпредприятия / Д.А. Максимов, А.Ю. Брюханов, И.А. Субботин, Э.В. Васильев, Е.А. Шалавина, Н.П. Козлова // Техника в сельском хозяйстве. – 2014. – №5. – С. 24-26.
66. Мерзлая, Г.Е. Агроэкологические основы и технологии использования бесподстильного навоза / Г.Е. Мерзлая, М.Н. Новиков, М.Н., А.И. Еськов, С.И. Тарасов. – Москва: Россельхозакадемия – ГНУ ВНИПТИОУ, 2006. – 463 с
67. Мерзлая, Г.Е. Использование свиного навоза для удобрения сельскохозяйственных культур / Г.Е. Мерзлая, И.В. Щеглова, М.В. Леонов // Перспективное свиноводство: теория и практика. – 2012. – № 5. – С.22-32.
68. Методические рекомендации по технологическому проектированию систем удаления и подготовки к использованию навоза и помета: РД-АПК 1.10.15.02-17 / [разработаны Федоренко В. Ф. и др.]. – Москва, 2017. – 167 с.

69. Минеев В.Г. Агрохимия и экологические функции калия. – Москва: Изд-во МГУ, 1999. – 332 с.
70. Минеев, В.Г. Экологические проблемы агрохимии. – Москва: Изд-во МГУ, 1988. – 282, [3] с.
71. Михеев, В.Г. Агрохимия, биология и экология почвы / В.Г. Минеев, Е.Х. Ремпе. – Москва: Росагропромиздат, 1990. – 206 с.
72. Михайлова, О.А. Современные аспекты Европейского свиноводства: тенденции, проблемы и перспективы / О.А. Михайлова // Биология в сельском хозяйстве. – 2017. – № 4(17). – С.13-23.
73. Михайлова, О.А. Мировые тенденции производства продукции свиноводства: учебное пособие / О.А. Михайлова, В.С. Буяров. – Орёл: Изд-во ФГБОУ ВО Орловского ГАУ, 2017. – 135 с.
74. Монастырский, О.А. Проблема обеспечения продовольственной безопасности России и пути ее решения / О.А. Монастырский, А.П. Глинушкин, М.С. Соколов // Агрохимия. – 2016. – № 11. – С. 3-11.
75. Морозов, Н.М. Технологические, социальные, экологические и экономические аспекты модернизации свиноводства / Н.М. Морозов, Т.Н. Кузьмина // Техника и оборудование для села. – 2017 – № 4. – С.2-7.
76. Морозов, Н.М. Повышение эффективности производства свинины на основе применения инновационной техники / Н.М. Морозов, Л.М. Цой, А.Н. Расказов // Международный технико-экономический журнал. – 2020. – № 4. С. 16-23.
77. Муха, В.Д. Почвенные анализы (Практикум по почвоведению) / В.Д. Муха, А.Ф. Сулима. – Курск: Изд-во Курской ГСХА, 2010. – 237 с.
78. Нагорных, Ю.А. Влияние сточных вод свиного комплекса при орошении на основные показатели чернозема типичного / Ю.А. Нагорных // Экология. – 2014. – № 4 – С. 56-58.
79. Насонова, К.С. Влияние свиного навоза на содержание различных форм фосфора в почвах западных комплексов лесостепи ЦЧР / К.С. Насонова, К.Е. Стекольников // Управление инновационным развитием аграрного сервиса

России. Материалы Национальной науч.-практ. конф. (15 сентября 2020 г). – Воронеж, 2020. – С. 249-256.

80. Насонова, К.С. Влияние свиного навоза на физико-химические свойства чернозёмных почв западных комплексов / К.С. Насонова, П.С. Попова, К.Е. Стекольников // Теория и практика инновационных технологий в АПК: Материалы нац. науч. практ. конф (29 апреля-30 апреля 2021 г.).– ФГБОУ ВО Воронежский ГАУ, 2021.– С.137-146.

81. Насонова, К.С. Влияние свиного навоза на состав и свойства комплекса чернозёма типичного и лугово-чернозёмной почвы в условиях лесостепи ЦЧР / К.С. Насонова, К.Ю. Зотова, К.Е. Стекольников // Международная науч.-практ. конф. «Коняевские чтения 2021» Екатеринбург, 9-2-10 декабря 2021 года. Изд-во Уральского ГАУ, 2022. – С.135-142.

82. Насонова, К.С. Влияние жидкой фракции свиного навоза на содержание подвижных форм фосфора и обменного калия в чернозёмах типичных и лугово-чернозёмных почвах // К.С. Насонова, К.Е. Стекольников // Мониторинг, охрана и восстановление почвенных экосистем в условиях антропогенной нагрузки: Мат-лы Междунар. молодёжной науч. школы (Ростов-на-Дону, 27-30 сентября 2022 г.); - Южный федеральный ун-т, Ростов-на-Дону; Таганрог: Изд-во Южного федерального ун-та, 2022. – С.581-587.

83. Насонова, К.С. Влияние свиного навоза на содержание фосфора и калия в чернозёме типичном / К.С. Насонова // Интеллектуальный потенциал молодых ученых как драйвер развития АПК. материалы международной научно-практической конференции молодых ученых и обучающихся. Санкт-Петербургский государственный аграрный университет. – Санкт-Петербург, 2022. С.– 97-102.

84. Насонова, К.С. Влияние применения жидкой фракции свиного навоза на состав и свойства комплекса чернозёма типичного с лугово-чернозёмными почвами / К.С. Насонова, К.Е. Стекольников // Теория и практика инновационных технологий в АПК: материалы национальной научно-практ. конф. Секция: «Иннова-

ционные направления агрономии, агрохимии и экологии» (19-21 апреля 2022 г.). Ч. VII. – Воронеж: ФГБОУ ВО Воронежский ГАУ, 2022. – С.188-194.

85. Насонова, К.С. Влияние мегаферм на экологию и почвы сельских поселений / К.С. Насонова, К.Е. Стекольников // Теория и практика инновационных технологий в АПК: материалы национальной научно-практ. конф. Секция: «Инновационные направления агрономии, агрохимии и экологии» (19-21 апреля 2022 г.). Ч. VII. – Воронеж: ФГБОУ ВО Воронежский ГАУ, 2022. – С.194-202.

86. Насонова, К.С. Влияние свиного навоза на кислотность чернозёмных почв / К.С. Насонова, Э.С. Лоскутова // Интеллектуальный потенциал молодых ученых как драйвер развития АПК: мат. международной научно-практ. конф. молодых ученых и обучающихся / СПбГАУ. – СПб., 2022. – 102-106.

87. Насонова, К.С. Влияние свиного навоза на содержание минерального азота в чернозёмных почвах / К.С. Насонова, М.Ю. Васкаева // Интеллектуальный потенциал молодых ученых как драйвер развития АПК: мат. международной научно-практ. конф. молодых ученых и обучающихся / СПбГАУ. – СПб., 2022. – 59-63.

88. Насонова, К.С. Агроэкологическое состояние черноземных почв Верхнехавского района Воронежской области при утилизации свиного навоза / К.С. Насонова, К.Ю. Зотова, К.Е. Стекольников // Научно-практический журнал «Сахарная свекла». – 2023. – № 7. – С.23-26.

89. Насонова, К.С. Влияние свиного навоза на содержание и характер распределения по профилю чернозёмных почв различных форм фосфора / К.С. Насонова, К.Е. Стекольников // Научно-практический журнал «Сахарная свекла». – 2023. – № 9. – С.30-32.

90. Неверова, О.П. Современные методы утилизации навозосодержащих и сточных вод / О.П. Неверова, О.Р. Ильясов, Г.В. Зуева, П.В. Шаравьева // Аграрный вестник Урала. – 2015. – № 1 (131) – С. 149-152.

91. Небольсин, А.Н. Научная концепция известкования почв при современном уровне знаний / А.Н. Небольсин, З.П. Небольсина // Вопросы известкования почв. – Москва: ВИУА, 2002. – С. 132-134.

92. Николаева, Л.А. Биологическая очистка сточных вод предприятий нефтехимического комплекса и энергетики: учебное пособие / Л.А. Николаева, Р.Я. Исхакова. – Казань: КГЭУ, 2021. – 90 с.
93. Об особо охраняемых природных территориях: Закон Российской Федерации от 15.02.1995 г. №33-ФЗ [Электронный ресурс] // СПС «Консультант-Плюс». – Москва, 2020.
94. Овчинникова, Т.В. Оценка состояния земель и условий землепользования Воронежской области / Т.В. Овчинникова, Т.В. Ашихмина, М.В. Скрынникова // Вестник Воронежского государственного технического университета. – 2011. – Т. 7, № 2. С. 159-164.
95. Орлов, Д.С. Экология и охрана биосферы при химическом загрязнении почв / Д.С. Орлов, Л.К. Садовникова, И.Н. Лозановская. – Москва: Высшая школа, 2002. – 223 с.
96. О ходе и результатах реализации в 2020 году госпрограммы развития сельского хозяйства и регулирования рынков с.-х. продукции. – Москва, 2021. – 172 с.
97. Пашикова, М.В. Результаты исследований процесса анаэробного сбраживания отходов животноводства и осадков сточных вод с применением биогазовой установки / М.В. Пашикова, В.В. Касаткин, Н.Ю. Касаткина, А.А. Литвинюк // АгроЭкоИнженерия. – 2023. – №2(115). – С. 140-158.
98. Пейве, Я.В. Биохимия почв. / Я.В. Пейве – Москва: Сельхозгиз, 1961. – 122 с.
99. Пилип, Л.В. Животноводческие комплексы как источники загрязнения окружающей среды тяжелыми металлами (Cu, Zn) / Л.В. Пилип, Н.В. Сырчина, Д.А. Кузнецов // Принципы экологии. – 2023. – № 1. – С. 82-89.
100. Пилип Л.В. Экологическая проблема отрасли свиноводства // Аграрная наука-сельскому хозяйству / Л.В. Пилип, Н.В. Сырчина // материалы XIV Международной научно-практической конференции. Барнаул: Алтайский государственный аграрный университет. – 2019. – С. 193-196.

101. 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.
102. Пилип, Л.В. Анализ экологических рисков отрасли свиноводства в Кировской области / Л. В. Пилип // Вестник Вятский ГСХА – 2020. – №1. – С. 99-106.
103. Пилип, Л. В. Отходы свиноводческих комплексов – проблемы, пути решения. / Л.В. Пилип, Т.Я. Ашихмина // Биодиагностика состояния природных и природно-техногенных систем: материалы XV Всероссийской научно-практической конференции с международным участием. – Киров: ВятГУ, 2017. – С. 180-183.
104. Пилип, Л.В. Новые подходы к дезодорации свиного навоза / Л.В. Пилип, Н.В. Сырчина. // Иппология и ветеринария. – 2018. – № 4 (30). – С. 99-106.
105. Постановление Правительства РФ от 13 февраля 2019 г. N 149 "О разработке, установлении и пересмотре нормативов качества окружающей среды для химических и физических показателей состояния окружающей среды, а также об утверждении нормативных документов в области охраны окружающей среды, устанавливающих технологические показатели наилучших доступных технологий" [Электронный ресурс]: постановление Правительства РФ от 13.02.2019 г., Москва. Доступ из справ.-правовой системы «ГАРАНТ».
106. Почвенный очерк спецхоза «Вишнёвский» Верхнехавского района Воронежской области. – Воронеж, 1986. – 46 с.
107. Практикум по агрохимии: Учебное пособие. – 2-е издание, переработанное и дополненное. Под редакцией академика РАСХН В.Г Минеева – Москва: Изд-во МГУ, 2001. – 689 с.
108. Приказ Минприроды России от 08.07.2010 N 238 (ред. от 11.07.2018) "Об утверждении Методики исчисления размера вреда, причиненного почвам как объекту охраны окружающей среды" (Зарегистрировано в Минюсте России

07.09.2010 N 18364) [Электронный ресурс]: приказ Правительства РФ от 08.07.2010 г., Москва. Доступ из справ.-правовой системы «Консультант-Плюс».

109. Приказ Росреестра от 10.11.2020 N П/0412 (ред. от 23.06.2022) "Об утверждении классификатора видов разрешенного использования земельных участков" (Зарегистрировано в Минюсте России 15.12.2020 N 61482) [Электронный ресурс]: приказ Правительства РФ от 08.07.2010 г., Москва. Доступ из справ.-правовой системы «Консультант-Плюс».

110. Прокошев, В.В. Агрохимия калийных удобрений: Автореф. дис. ... д-ра биол. наук. – Москва, 1984. – 40 с.

111. Прокошев, В.В. Калий и калийные удобрения / В.В. Прокошев, И.П. Дерюгин. – Москва: Ле-дум, 2000. – 185 с.

112. Пчелкин, В.У. Почвенный калий и калийные удобрения – Москва: Колос, 1966. – 336 с.

113. Раскатов, Г.И. Геоморфология и неотектоника территории Воронежской антеклизы. // Воронеж: Изд-во Воронеж. ун-та, 1969. – 163 с.

114. Рассолов, С.Н. Биологический способ утилизации свиного навоза / С.Н. Рассолов, О.А. Багно, К.В. Беспоместных // Вестник КрасГАУ. – 2015. – №11. – С. 220-225.

115. Рыбак, Л. Экологические проблемы животноводства / Л. Рыбак // Агробизнес – Россия – 2005 – №12 – С. 17-20.

116. Санитарно-защитные зоны и санитарная классификация предприятий, сооружений и иных объектов. Санитарно-эпидемические правила и нормативы СанПин 2.2.1/2.1.1.1200-03. Постановление Правительства РФ №74 от 25.09.2007.

117. Сайфулина, Г.Ш. Административная ответственность за экологические правонарушения: к определению дефиниции / Г.Ш. Сайфулина // Молодой ученый. – 2022. – № 17 (412). – С. 247-249.

118. Свинарев, И.Ю. Влияние промышленного свиноводства на благосостояние жизни людей и животных / И.Ю. Свинарев, Н.К. Сковороднева // Эффективное животноводство. – 2018. – №8 (147). – С. 68-71.

119. Сельское хозяйство в России. 2021: Стат. сб./Росстат. – Москва, 2021 – 100 с.
120. Славнина, Т.П. Азот в почвах элювиального ряда / Т.П. Славнина // Томск: ТГУ. – 1978. – 392 с.
121. Сорокина, Н.А. Оценка влияния функционирования предприятия промышленного птицеводства на компоненты окружающей природной среды: дис. канд. с.-х. наук: 03.00.16 / Н.А. Сорокина. – Н. Новгород, 2003. – 181 с.
122. Спиридонов, А.И. Геоморфология европейской части СССР. Учебное пособие для студентов-географов университетов – Москва: Высш. Школа, 1978. – 335 с.
123. Сырчина, Н.В. Трансформация подвижности железа в почвах агроэкосистем под влиянием навозных стоков / Н.В. Сырчина, Л.В. Пилип // Известия КГТУ. – 2023. – № 69. – С. 35-43.
124. Тарасов, С.И. Актуальные вопросы загрязнения окружающей среды при использовании органических удобрений / С.И. Тарасов // Экологические проблемы использования органических удобрений в земледелии. – Владимир. – 2015. – С. 284-294
125. Тарасов, С.И. Скандинавский опыт снижения экологических рисков при интенсивном применении органических удобрений / С.И. Тарасов // Международный сельскохозяйственный журнал. – 2017. – № 3. – С. 32-37.
126. Тарасов, С.И. Зарубежный опыт экологически безопасного использования бесподстилочного навоза / С.И. Тарасов // Техника и технологии в животноводстве. – 2020. – № 2(38). – С. 69-79.
127. Тарасов, С.И. Влияние длительного регулярного применения бесподстилочного навоза на плодородие, экологическую безопасность дерново-подзолистой супесчаной почвы / С.И. Тарасов, М.Е. Кравченко, Т.А. Бужина // Техника и технологии в животноводстве. – 2020. – № 3 (38). – С. 86-90.
128. Терентьев, Ю.Н. Снижение эмиссии запахообразующих веществ в условиях промышленных свиноводческих предприятий // Ю. Н. Терентьев, Н. В.

Сырчина, Т. Я. Ашихмина, Л. В. Пилип // Теоретическая и прикладная экология. – 2019. – № 2. – С. 113-120.

129. Титова, В.И. Влияние жидкого свиного навоза на урожайность пшеницы, содержание и баланс элементов питания в светло-серой лесной почве лёгкого гранулометрического состава / В.И. Титова, Л.Д. Варламова, Р.Н. Рыбин, Т.В. Андропова // Аграрная наука Евро-Северо-Востока. – 2019. – 20(5). – С. 456-466.

130. Трифанов, А. В. Состояние и тенденции развития производства свинины в Российской Федерации / А.В. Трифанов, В.В. Калюга, В.И. Базыкин // Технологии и технические средства механизированного производства продукции растениеводства и животноводства. – 2016. – № 90. – С. 5-14.

131. Фалак, А. Результаты мониторинга природно-антропогенной трансформации агроэкосистем Воронежской области за период сельскохозяйственного природопользования / А. Фалак., Л.А. Межова // Самарский научный вестник. – 2020. – Т.9, №1(30). – С. 14-17.

132. Федеральный закон "Об охране окружающей среды" от 10.01.2002 N 7-ФЗ (последняя редакция) [Электронный ресурс]: ФЗ Правительства РФ от 10.01.0222 г., Москва. Доступ из справ.-правовой системы «Консультант-Плюс».

133. Физико-географическое районирование центральных черноземных областей / Под ред. проф. Ф.Н. Милькова. – Воронеж: Изд-во Воронеж. ун-та, 1961. – 262 с

134. Фисунова, Л.В. Анализ возможностей утилизации и переработки сельскохозяйственных отходов / Л.В. Фисунова, А.В. Вишневская // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. – 2022. – № 5 (97). – С. 232-236.

135. Флесс, Н.А. Фиторемедиация почв, подвергшихся загрязнению в результате применения жидких органических удобрений: автореферат дис. ... канд. Биол. наук: 06.01.04 / Н.А. Флесс. – Москва, 2007. – 24 с.

136. Чекмарев, П.А. Опыт использования органических удобрений в Белгородской области / П.А. Чекмарев, В.Я. Родионов, С.В. Лукин // Достижения науки и техники АПК. – 2011– №2. – С. 3-5
137. Чижилов, П.Н. Карта почвообразующих пород европейской части СССР6 Пояснительный текст. – Москва, 1968. – 40 с.
138. Чистяков, Г.В. Анализ отрасли свиноводства в рамках реализации государственных программ развития / Г.В. Чистяков, Д.И. Жиликов // Вестник Курской государственной сельскохозяйственной академии. – 2017. – №5. – С. 73-77.
139. Шалавина, Е.В. Анализ эффективности технологии разделения навоза на фракции с последующей ректификацией жидкой фракции / Е.В. Шалавина, Э.В. Васильев, Э.А. Папушин // Инженерные технологии и системы. – 2023 – Т. 33, №2 – С. 237-255.
140. Шалавина, Е.В. Использование технологий глубокой переработки навоза для повышения экологической безопасности природной среды / Е.В. Шалавина, Э.В. Васильев, А.Ю. Брюханов // Технологии и технические средства механизированного производства продукции растениеводства и животноводства. – 2019. – № 1 (98). – С. 209-218.
141. Шалавина, Е.В. Экологические проблемы отрасли свиноводства в России / Е.В. Шалавина // Теоретический и научно-практический журнал. – 2017. – № 92. – С. 165-172.
142. Шильников, И.А. Известкование как фактор формирования урожайности полевых севооборотов и экологической устойчивости агроценозов / И.А. Шильников, Н.И. Аканова, Е.В. Курносова и др. // Нива Поволжья. – 2012. – № 3. – С. 23–32.
143. Шубин, А.С. Использование свиного навоза для производства органических удобрений / А.С. Шубин, Т.П. Береснева, Н.В. Сырчина // Экология родного края: проблемы и пути их решения: материалы XII Всерос. науч. конф. с междун. участием, 13-14 апреля 2017 г. Киров, 2017. – С. 234-236.

144. Шубин, А.С. Переработка свежего свиного навоза в органоминеральные удобрения / А.С. Шубин, Н.В. Сырчина // Вопросы науки. – 2017. – С. 22-26.
145. Юхин, Д.П. К вопросу повышения эффективности функционирования метантенка биогазовой установки / Д.П. Юхин // Наука молодых – инновационном развитию АПК: материалы XII национальной научно-практической конференции молодых ученых. Уфа: Башкирский государственный аграрный университет. – 2019. – С. 168-172.
146. Якименко, В.Н. Калий в агроценозах Западной Сибири. – Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2003. – 231 с.
147. Информационно-технический справочник по наилучшим доступным технологиям (ИТС 41-2017 – Интенсивное разведение свиней). – 2017. – URL: <http://docs.cntd.ru/document/556173711> (дата обращения 23.12.2019). – Текст : электронный.
148. Рейтинг свиноводческих предприятий России. – 2021. – URL: <https://topreytings.ru/rejting-svinovodcheskikh-predpriyatiy-rossii/> (дата обращения 27.02.2023). – Текст : электронный.
149. Воронежская область попала в топ-3 по производству говядины и свинины в России. – 2022. – URL: <https://news.myseldon.com/ru/news/index/273196884/> (дата обращения 06.02.2023). – Текст : электронный.
150. поголовье свиней в Воронежской области ежегодно увеличивается. – 2021. – URL: <https://moe-online.ru/news/economy/1139400/> (дата обращения 25.10.2022). – Текст: электронный.
151. Утилизация биоотходов свиного комплекса // Экология URL: <https://pirolizeco.ru/utilizaciya-bioothodov-svinokompleksa/> (дата обращения: 03.03.2023).
152. Отходы свиного комплекса к 2015 году достигнут 65 млн куб. м // Журнал «Агроинвестор» URL: <https://www.agroinvestor.ru/markets/article/11721/> (дата обращения: 03.03.2023).

153. Официальный сайт Министерства природных ресурсов и экологии Российской Федерации. URL: www.mnr.gov.ru. (Дата обращения 15.07.2021.)
154. Сельхозпортал // Промышленное свиноводство и окружающая среда URL: <https://сельхозпортал.рф/articles/promyshlennoe-svinovodstvo-i-okruzhayu/> (дата обращения: 20.01.2023).
155. Antonious, G.F. Dawood M. H. Monitoring Soil Enzymes Activity Before and After Animal Manure Application / G.F. Antonious, E.T. Turley // Agriculture. – 2020. – Vol. 10, no. 5. – Article no. 166. <https://doi.org/10.3390/agriculture10050166>
156. Dong, R. Manure Treatment and Recycling Technologies / R. Dong R., W.Qiao, J.Guo, H. Sun H // Circular Economy and Sustainability. Vol. 2. Environmental Engineering. Elsevier; 2022. p. 161–180. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-821664-4.00009-1>
157. De Haas, D.W. The use of simultaneous chemical precipitation in modified activated sludge systems exhibited biological excess phosphate removal / D.W. De Haas, H.C. Wentzel, G.A. Ekama // Water SA. – 2001. – Vol. 2. – Pp. 135–150.
158. Flotats, X. Trends on Manure Processing in Europe / X. Flotats, A. Bonmatí, J. Palatsi, H.L. Foged // In: Book of Proceedings, 2nd International Conference of WASTES: Solutions, Treatments and Opportunities. Braga (Portugal), 11-13 September. Edition: CVR, Centro para a Valorização de Resíduos. – 2013. – p. 587-592.
159. Ciganek, M. Chemical characterization of volatile organic compounds on animal farms / M. Ciganek, J. Neca // Veterinary medicine. – 2008. – Vol. 53. – № 12. – P.641-651.
160. Gross, A. Meta-Analysis on How Manure Application Changes Soil Organic Carbon Storage / A. Gross, B. Glaser // Scientific Reports. – 2021. – Vol. 11. – Article no. 5516. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-82739-7>
161. Ten Hoeve, M. Environmental Impacts of Combining Pig Slurry Acidification and Separation under Different Regulatory Regimes – A Life Cycle Assessment / M. ten Hoeve [et al.] // Journal of Environmental Management. – 2016. – Vol. 181. – P. 710–720.

162. Goring, G. C.A.I. Biological transformations of phosphorus in soil. I. Theory and methods / C.A.I. Goring // *Plant Soil*. – 1955. – Vol. 6. – Pp. 17-25.
163. Loyon, L. Overview of Manure Treatment in France / L. Loyon // *Waste Management*. 2017 – 61:516–520. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2016.11.040>
164. Maksishko, L.M. Eco-Friendly Technology for the Processing of Livestock Manure Waste with Greenhouse Gas Absorption / L.M. Maksishko // *Theoretical and Applied Ecology*. – 2022. – (1):205–209. (In Russ., abstract in Eng.) <https://doi.org/10.25750/1995-4301-2022-1-205-209>
165. Rayne, N. Livestock Manure and the Impacts on Soil Health: A Review / N. Rayne, L. Aula // *Soil System*. – 2020. – 4(4):64. <https://doi.org/10.3390/soilsystems4040064>
166. Tang, H. Effects of Short-Term Manure Nitrogen Input on Soil Micro-bial Community Structure and Diversity in a Double-Cropping Paddy Field of Southern China / H. Tang [et al.] // *Scientific Reports*. – 2020. – Vol. 10. – Article no. 13540. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-70612>