

МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования «Российский государственный аграрный университет –
МСХА имени К.А. Тимирязева»

На правах рукописи

РОМАНОВ ЕВГЕНИЙ МИХАЙЛОВИЧ

**АГРОЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ИСПОЛЬЗОВАНИЯ САПОНИТ-
СОДЕРЖАЩИХ МАТЕРИАЛОВ ПРИ ВЫРАЩИВАНИИ
СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ ПРОДУКЦИИ НА ДЕРНОВО-
ПОДЗОЛИСТОЙ ПОЧВЕ**

Специальность:

4.1.3. Агрохимия, агропочвоведение, защита и карантин растений

Диссертация на соискание ученой степени
кандидата сельскохозяйственных наук

Научный руководитель:
доктор биологических наук, профессор
Серегина Инга Ивановна

Москва – 2023

Оглавление

ВВЕДЕНИЕ	5
ГЛАВА 1 ЛИТЕРАТУРНЫЙ ОБЗОР	12
1.1 Получение и свойства водной суспензии сапонита ПАО «Севералмаз»	12
1.2 Возможности использования глинистых минералов в отраслях народного хозяйства	17
1.3 Естественно-историческая характеристика региона исследования	30
1.3.1 Природно-климатические условия Архангельской области	30
1.3.2 Агрохимическое состояние почв сельскохозяйственных угодий Архангельской области	35
ГЛАВА 2 ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ	43
2.1 Почвенно-климатическая характеристика района исследований	43
2.2 Характеристика сапонит-содержащих материалов	48
2.3 Методика проведенных исследований по влиянию сапонит- содержащих материалов на агрохимические показатели почвы и урожайность сельскохозяйственных культур	49
2.3.1 Методика проведения исследований по изучению влияния водной суспензии сапонита на урожайность, качество картофеля и агрохимические показатели дерново-подзолистых супесчаных почв	49
2.3.2 Методика проведения исследований по изучению влияния водной суспензии сапонита на урожай и качество вико-овсяной смеси и агрохимические показатели дерново-подзолистых супесчаных почв	52
2.3.3 Методика проведения исследований по влиянию различных доз и сроков внесения водной суспензии сапонита на показатели кислотности дерново-подзолистой супесчаной почвы	55
2.3.4 Методика проведения исследований по влиянию различных доз водной суспензии сапонита на содержания основных элементов питания (NPK) в почве в условиях модельного опыт	57

2.4 Методика выполненных работ	58
2.5 Методика отбора проб и определения агрохимических показателей почвы	60
2.6 Определение урожайности культур и качества продукции	61
ГЛАВА 3 ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ	63
3.1 Влияние сапонит-содержащих материалов на свойства почв	63
3.1.1 Влияние водной суспензии сапонита на свойства почвы в чистом пару	63
3.1.2 Влияние водной суспензии сапонита на агрохимические свойства почвы при выращивании картофеля и вико-овсяной смеси	71
3.1.2.1 Кислотность почв, содержание подвижных форм фосфора и калия в опытах с картофелем и с вико-овсяной смесью	71
3.1.2.2 Содержание органического вещества и нитратного азота в почве при выращивании картофеля	83
3.1.2.3 Содержание обменного кальция и магния в почва при выращивании вико-овсяной смеси	87
3.1.3 Влияние различных доз водной суспензии сапонита на содержания основных элементов питания (NPK) в почве в условиях модельного опыта	90
3.2 Влияние сапонит-содержащего материала на урожайность и качество сельскохозяйственных культур на примере картофеля и вико-овсяной смеси	96
3.2.1 Влияние различных доз сапонит-содержащего материала на урожайность сельскохозяйственных культур	96
3.2.2 Влияние сапонит-содержащих материалов на качество сельскохозяйственной продукции	102
Заключение	113
Предложение производству	116
Список литературы	117

ПРИЛОЖЕНИЕ

Приложение А - Карта агроклиматических ресурсов Российской Федерации. М. 1:40 000 000	138
Приложение Б - Данные эксперимента на чистом пару	139
Приложение В - Данные эксперимента с картофелем	143
Приложение Г - Данные эксперимента с вико-овсяной смесью	145
Приложение Д - Данные модельного опыта	147
Приложение Е - Показатели урожайности и качества продукции	152
Приложение Ж - Копия протокола испытаний Сапонита	158

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность

В настоящее время в ряде регионов Российской Федерации, удаленных от промышленных центров страны, существует проблема обеспечения сельхозтоваропроизводителей минеральными удобрениями и мелиорантами. При этом большие расстояния от поставщиков до производителей сельскохозяйственной продукции региона увеличивает себестоимость конечной продукции. Одним из таких регионов является Архангельская область, где находится алмазодобывающее предприятие, побочной продукцией которого является глинистый минерал - сапонит, добываемый в огромных масштабах. Уникальные свойства глинистых минералов подобного типа, позволяют использовать их в различных отраслях промышленности (Шпилевая, 2005; Облицов, 2011; Миненко, 2013; Володченко, 2012; Коршунов, 2008; Рудь, 2005; Панько, 2013). При их использовании в сельскохозяйственном производстве в качестве минеральных добавок и наполнителей для почвогрунтов, они способны влиять на агрохимические показатели почвы, сорбировать гербициды и пестициды, вносимые в почву, а также тяжелые металлы (Nagy, 2010; Миненко, 2013; Плякин, 2005; Németh, 2003; Aggarwal., 2006; Alekseeva, 2014).

В связи с этим возникает потребность поиска путей практического применения имеющейся побочной продукции алмазодобывающей промышленности. Это позволит решить сразу несколько проблем: снизить экологическую нагрузку на территории алмазодобывающей фабрики путем уменьшения объемов складирования сапонита, сократить объемы ввозимых удобрений, и затраты на их применение, что позволит понизить и себестоимость конечной продукции. В тоже время, учитывая химический состав сапонит-содержащих минералов, их применение в качестве источника элементов минерального питания, может повысить урожайность и качество

сельскохозяйственных культур. (Агафонов, 2014; Наквасина, 2015; Босак, 2016; Стрельцова, 2016; Босак, 2017, 2019, 2022)

Степень разработанности темы

Исследованием использования сапонитовых глин и подобных минералов в сельском хозяйстве занимаются многие ученые (Плякин, 2005; Козлов, 2019). Сапонит изучают в качестве кормовой добавки при выращивании цыплят-бройлеров (Власов, 1992; Prasai, 2016), гусей-бройлеров (Кармацких, 2004) и кроликов (Цветкова, 2013).

Также рядом авторов отмечается положительный опыт применения сапонита из месторождений, расположенных в Белоруссии, в качестве мелиоранта и (или) минерального удобрения (в первую очередь, источника магния) на таких культурах, как яровая пшеница, овес, горох, зеленая фасоль и базилик (Стрельцова, 2016, 2017; Босак 2016, 2017).

При этом вопросы поиска путей использования сапонитсодержащих минералов в качестве минерального удобрения и (или) мелиоранта являются малоизученными, как и вопросы влияния минералов на агрохимические показатели почвы при выращивании сельскохозяйственных культур.

Цель и задачи исследований

Цель исследований – изучить возможность использования сапонитсодержащих материалов при выращивании сельскохозяйственной продукции на дерново-подзолистой почве.

В задачи исследования входило:

- установить эффективность влияния и последствие применения водной суспензии сапонита на агрохимическую характеристику дерново-подзолистой почвы в чистом пару, а также при выращивании картофеля и вико-овсяной смеси;
- изучить влияние и последствие применения водной суспензии сапонита на урожайность и показатели качества урожая картофеля и вико-овсяной смеси;
- оценить влияние различных доз водной суспензии сапонита на

содержания основных элементов питания (NPK) в почве в условиях модельного опыта.

Научная новизна

В Архангельской области впервые проведены исследования по изучению возможности применения водной суспензии сапонита из месторождения имени М.В. Ломоносова в сельскохозяйственном производстве при выращивании сельскохозяйственных культур. Впервые в условиях полевых исследований было изучено влияние водной суспензии сапонита на агрохимическую характеристику дерново-подзолистой почвы в условиях Архангельской области: кислотность почвы, содержание подвижного фосфора, калия, нитратного азота, органического вещества в почве. Установлено положительное действие сапонита на урожайность и показатели качества картофеля и вико-овсяной смеси. Эффективность действия сапонита зависела от дозы внесения в почву. Наибольшая эффективность сапонита при выращивании вико-овсяной смеси достигнута при использовании дозы 3,6 т/га сапонита, при выращивании картофеля - при использовании дозы сапонита 9,7 т/га. Впервые проведено исследование влияния водной суспензии сапонита на поглощение элементов питания, вносимых в качестве минеральных удобрений в дерново-подзолистой почве в условиях Архангельской области.

Теоретическая и практическая значимость работы

Предложены пути решения проблемы рационального вовлечения сапонита из месторождения имени М.В. Ломоносова в сельскохозяйственное производство в условиях Архангельской области. Разработана экологически обоснованная технология применения водной суспензии сапонита при выращивании картофеля и вико-овсяной смеси, обеспечивающая незначительное улучшение агрохимических свойств дерново-подзолистой почвы. Выявлено что применение водной суспензии сапонита не приводит к увеличению содержания тяжелых металлов и радионуклидов в продукции. Результаты, полученные в диссертационной работе, позволяют расширить

представления о возможностях использования сапонит-содержащих минералов в качестве минеральных удобрений.

Практическая значимость работы заключается в том, что проведенные исследования являются частью опытов, входящих в обязательный перечень работ по включению водной суспензии сапонита из месторождения имени М.В. Ломоносова в перечень агрохимикатов, разрешенных к применению на территории Российской Федерации.

Методология и методы исследований

Методология исследований основывалась на поиске научной литературы по изучению свойств и влияния сапонитовых глин на почву и сельскохозяйственную продукцию, что сформулировало цели и задачи научной работы. В ходе исследований все полевые опыты проводились в строгом соответствии со стандартными методиками. Фенологические наблюдения за наступлением фаз развития и роста растений картофеля проводили по методике Всероссийского научно-исследовательского института картофельного хозяйства (1967). Отбор почвенных проб осуществлялся согласно ГОСТ. Все агротехнические мероприятия проводились в соответствии зональными рекомендациями. Анализ всех образцов почв и продукции проводили на базе аккредитованной лаборатории ФГБУ САС «Архангельская» на основании стандартных методик. Полученные результаты обрабатывались общепринятыми методами с применением MS Excel и SPSS Statistics.

Положения, выносимые на защиту:

- использование водной суспензии сапонита в чистом пару, а также при возделывании картофеля и вико-овсяной смеси сопровождается изменением агрохимических показателей дерново-подзолистой почвы;
- применение водной суспензии сапонита дает прибавку урожайности и положительно влияет на основные показатели качества изучаемых сельскохозяйственных культур, не приводит к увеличению содержания тяжелых металлов и радионуклидов в сельскохозяйственной продукции;

- совместное применение водной суспензии сапонита и минеральных удобрений не приводит к снижению количества усвояемых растениями питательных веществ, поступающих в почву из минеральных удобрений.

Степень достоверности и апробация результатов

Полученные результаты исследований сапонит-содержащих материалов были учтены при составлении регламента применения сапонита, а также являлись частью исследований вошедших в отчет о регистрационных испытаниях для передачи на экспертизы для регистрации препарата как агрохимиката, разрешенного к применению на территории Российской Федерации в всероссийский научно-исследовательский институт агрохимии имени Д.Н. Прянишникова (ВНИИ агрохимии имени Д.Н. Прянишникова), Федеральное бюджетное учреждение науки «Федеральный научный центр гигиены им. Ф. Ф. Эрисмана» Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека (ФБУН «ФНЦГ имени Ф.Ф. Эрисмана» Роспотребнадзора) и Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова (МГУ имени М.В. Ломоносова).

Достоверность полученных результатов, практических рекомендаций, выводов, представленных в диссертации, обусловлена большим количеством экспериментальных наблюдений и числом повторностей, на полях производственного цикла, проведенных по стандартным методикам; применением апробированных стандартных методов агрохимических анализов, соответствующих цели и задачам исследования; статистической обработкой данных с использованием программного обеспечения.

Результаты исследования были апробированы на 8 международных и всероссийских конференциях: молодежная научно-исследовательская конференция «Геоэкологические проблемы Европейского Севера и Арктики», Архангельск, 2018 г.; 1 международная молодежная научно-практическая конференция «Арктические исследования: от экстенсивного освоения к комплексному развитию», Архангельск, 2018 г.; научно-практическая конференция «Ломоносовские научные чтения студентов,

аспирантов и молодых ученых – 2018», Москва, 2018 г.; X международная научно-практическая конференция «Перспективы развития науки в современном мире», Уфа., 2018 г.; международная конференция «Биомониторинг в Арктике», Архангельск, 2018 г.; X Сибирцевских научных чтениях, посвященных 160-летию со дня рождения выдающегося русского естествоиспытателя – геолога, почвовед и агронома Н.М. Сибирцева, Архангельск, 2020 г.; межрегиональная молодежная научно-исследовательская конференция «Геоэкологические проблемы Европейского Севера и Арктики», Архангельск, 2019 г.; научно-практической конференции в рамках месяца молодежной науки в САФУ «Лесохозяйственная наука и образование на Европейском Севере России», Архангельск, 2019 г.

Личный вклад автора

Диссертационная работа является законченной и самостоятельной научной работой. Исследования проводились с 2018 по 2020 гг. лично автором или при его непосредственном участии. В проведенных экспериментах автор принимал участие как организатор и исполнитель, осуществлял постановку научной проблемы, цели и задач исследования, участвовал в выполнении основной части экспериментальных исследований, самостоятельно осуществлял проектирование, разметку участков, отбор проб почв и растительности, учет урожайности, анализ и обобщение полученной информации, статистическую обработку и систематизацию полученных материалов, подготовку заключения по работе и предложений производству, апробацию результатов на конференциях, написание статей.

Публикации

При проведении исследования было опубликовано 18 печатных работ: в том числе 2 статьи в рецензируемых журналах из перечня изданий ВАК, 3 статьи в журналах, индексируемых в международных базах цитирования «SCOPUS» и «Web of Science», 11 статей в журналах, входящих в РИНЦ и 2 публикации по материалам конференций.

Структура и объем диссертации

Диссертация изложена на 158 страницах, состоит из введения, 3 глав, заключения и предложений производству. Работа содержит 33 рисунка, 5 таблиц и 7 приложений. Список литературы включает 161 источник, в том числе 32 источника иностранных авторов.

Благодарности.

Автор выражает глубокую признательность доктору сельскохозяйственных наук, профессору Елене Николаевне Наквасиной за неоценимую помощь, ценные рекомендации, научные консультации по теме исследований, а также научному руководителю, доктору биологических наук, профессору Инге Ивановне Серегиной за всестороннюю помощь и научные консультации по диссертации. Особую благодарность автор выражает сотрудникам ФГБУ САС «Архангельская» за помощь в организации исследований и проведение анализов. Так же автор благодарит руководство ПАО «Североалмаз» за финансовую и организационную поддержку на всех этапах исследования.

ГЛАВА 1 ЛИТЕРАТУРНЫЙ ОБЗОР

1.1 Получение и свойства водной суспензии сапонита ПАО «Севералмаз»

В Архангельской области расположено крупнейшее горнодобывающее предприятие ПАО «Севералмаз», основной продукцией которого являются алмазы, но вместе с тем на предприятии получают и побочную продукцию, она в настоящее время не используется должным образом, но в перспективе рассматривается как материалы незавершенного производства (Громов, 1982). В современном производстве помимо термина «отходы производства» приняты понятия - «вторичные материальные ресурсы» и «вторичное сырье», (Ласкорин, 1986). Последнее понятие представляет собой комплекс отходов производства и потребления, пригодных как для основной продукции, так и дополнительной (Дуденков, 1983). Мировой опыт доказывает снижение затрат в 2-3 раза при использовании в качестве материалов вторичное сырье, в сравнении с использованием первичного сырья (Ксинтарис, 1983; Joseph, 2018; Ericsson, 2019). Спектр применения отходов очень разнообразен. Считается, что при производстве строительных материалов возможно использование до 77% балластных пород, отходов добычи и переработки ископаемых, шлаков и зол тепловых станций (Безукладников, 2008; Боков, 1994; Исхаков, 2008; Csanyi, 2016; Christmann, 2017). Так же можно использовать отходы при балластировке железнодорожных путей и автодорог, использовать для улучшения структуры и состава почвы, для горнотехнической рекультивации земель, для заполнения пустых ненужных шахт, добавки в бетон, (Комаров, 2007; Краснов, 2007; Veretka, 1993; Christmann, 2021).

В исследованиях различных авторов (Jain, 2006; Kesler, 2015) показано, что для получения наибольшей экономической выгоды вторичное сырье не следует перерабатывать или подвергнуть малозначительной дополнительной переработки перед использованием в производстве. Однако в исследованиях (Moore, 2020; Antonella, 2018; Antonella, 2020) отмечено, что

одни и те же отходы в зависимости от направления их использования требуют значительной дополнительной очистки или обработки.

Помимо термина «вторичное сырье», используются и понятия «попутная» и «побочная» продукция. «Основная» продукция, которая считается целевой для производства, «попутная» и «побочная» продукция не цель данного производства, но могут быть использованы в других отраслях народного хозяйства (Уфимцев, 2010; Бурханова, 2019; Сидорова, 2019; Гусейнов, 2017). Данные виды продукции возникают либо при вскрышных работах по добыче основной продукции, либо при ее переработке. Отличие понятий «попутной» от «побочной» заключается в том, что «попутная» продукция получается из его отходов производства сразу. В то время как «побочная» продукция – это результат дополнительной переработки отходов производства, но при этом технологически связана с целевым производством. Помимо этого производство побочной продукции может быть основано на самостоятельных сырьевых источниках, обрабатываемых одним и тем же предприятием (Щипцовенко, 2018; Прудников, 2019; Karna, 2020, Щипцов, 2020; Тарасов, 2020).

Архангельская алмазоносная провинция (далее по тексту ААП), состоящая из 6 трубок, была открыта в начале 1980-х годов (Пенделяк, 2019). Она находится на территории Приморского района Архангельской области, в 100 км к северу от г. Архангельска и связана с ним автомобильной дорогой. В географическом плане район ААП расположен в пределах западной части Беломоро-Кулойского плато. В отличие от твердых массивных пород, как, например, в трубках Якутской провинции, минеральный состав образцов из скважин трубки Архангельская и отвальных продуктов обогащения кимберлитов показало высокую сапонитизацию в количестве от 10 до 99% (Карпенко, 2009). Начиная с 2014 года ежегодный объем добываемой руды на трубках ААП превышает 3 миллиона тонн (Деятельность ПАО «Севералмаз», 2019).

Вскрышные породы складываются в хвостохранилище в виде геля в дисперсной среде – водной суспензии. В минералогическом составе глин прудковой части хвостохранилища доля сапонит-содержащих материалов (сапонита) достигает 70 %. Общие запасы сапонита только на трубке Архангельская составляют 68 млн. тонн (Шпилева, 2005; Облицов, 2012), данный способ накопления имеет свои недостатки (Карпенко, 2008; Armstrong, 2019)

В 2017 году в ИГЕМ РАН был исследован представленный на анализ образец глинистого минерала, из месторождения имени М.В. Ломоносова, который по выводу являлся сапонитом с примесью кварца, альбита, гейландита, амбибола, иллита, талька, пирита, их суммарное количество не превышает 8-10% (Крупская, 2017). Проведенный рентгеновский дифракционный анализ позволил определить состав глинистых минералов: три-октаэдрический смектит (сапонит) – 70%, иллит (IL) и неупорядоченный смешанослойный иллит-смектит с преобладанием иллитовых межслоев (I/S R0 92/8) – 10%, неупорядоченный смешанослойный иллит-смектит с преобладанием смектитовых межслоев (I/S R0 50/50) – 22%, неупорядоченный смешанослойный каолинит-смектит (K/S R0 90/10) – 8%. Среди три-октаэдрических смектитов наиболее распространенным является сапонит. В составе смешанослойных иллит-смектитов и каолинитов смектитовым компонентом является диоктаэдрический смектит, скорее всего – монтмориллонит (Тюпина, 2017). Исследования с использованием ИК-спектроскопии показали, что образец представляет собой смесь три- и диоктаэдрических смектитов, что позволяет определить его как сапонит. В представленных образцах присутствуют в качестве примесей незначительное количество кварца (полосы поглощения валентных колебаний Si-O при 799 и 779 см⁻¹) и карбоната (полоса поглощения валентных колебаний CO₃ при 1450 см⁻¹). Изучение микроструктуры образцов с применением электронной микроскопии позволило выявить основные характеристики микроформологии частиц сапонита. Агрегаты и микроагрегаты глинистых

частиц имеют довольно крупные размеры и относительно большую толщину. Морфология агрегатов, загнутость краев частиц и тонкая микрослоистость позволяет предположить осадочный генезис. При добавлении порошка из глинистых минералов в воду, большинство остается в толще воды во взвешенном состоянии, не достигая дна. Таким образом, глинистый минерал проявляет высокую степень диспергирования. Через 24 часа после взбалтывания суспензия расслаивается на почти прозрачную верхнюю часть и довольно мутную нижнюю часть. При этом, в нижней части, остается довольно высокая концентрация твердых частиц, в подобном состоянии они остаются довольно долго. Проведенные опыты по разделению жидкой и твердой фазы показали, что насыщение суспензии специальным реагентом, приводит к коагуляции частиц и их самоосаждению. Коэффициент коллоидальности при самоосаждении составляет 80-90%. При центрифугировании полученной суспензии (скорость вращения 1200-2500 об/мин), твердая фаза полностью осаждается от солевого раствора. Оставшийся солевой раствор можно повторно применять при обработке следующей партии глинистой суспензии (Тюпина, 2017).

Сапонит – глинистый минерал, слоистый силикат из группы монтмориллонитов, подкласс филлосиликатов. По классификации Дана минерал относится к подгруппе триоктаэдрических смектитов; по классификации Никеля-Штрунца – к группе 9.ЕС.45. По цвету сапонит может быть белым, серым, с оттенком жёлтого, красного, коричневого, синего или зелёного цвета (Про-камни, 2021). Минерал по степени прозрачности оценивают, как «просвечивающий», по спайности – как совершенный. При проверке на излом - неровный. Минерал не обладает блеском, а является матовым. Твёрдость сапонита оценивают, как 1-2,5, а удельный вес - 2,24-2,30 г/см³. Минерал в сухом состоянии является хрупким, а во влажном – пластичным (Сапонит, 2021).

Было выявлено, что минерал обладает плеохроизмом. Высокая адсорбция достигается благодаря большой удельной поверхности частиц

минерала. Встречающиеся формы у мельчайших кристаллов - псевдогексагональные, таблитчатые, пластинчатые, волокнистые, чешуйчатые. Агрегаты небольших округлых масс представляют собой субпараллельные структурные компоненты, тонкозернистые, плотные скрытокристаллические. Сапонит встречается в почвах, широко развит в корках выветривания, но в основном образуется в осадочных, вулканогенных, метаморфических горных породах. Может иметь гидротермальное и метасоматическое происхождение: в жилах и порах в базальтах; по трещинам, секущим кальциево-силикатные богатые железом скарны, в амфиболитах и серпентинитах. Сапонит встречается в России (Алданский щит, Восточная Сибирь; Дальнегорск, Приморский край; на Северном Кавказе: в Чечне и Кабардино-Балкарии; в Архангельской и Мурманской областях; на Урале), Австралии, Австрии, Боливии, Бразилии, Великобритании, Венгрии, Греции, Германии, Египте, Израиле, Индии, Испании, Италии, Канаде, на Кипре, в Китае, в обеих Кореях, на Мадагаскаре, Новой Зеландии, Норвегии, Польше, Словакии, США, во Франции, в Чехии, Чили, Швеции, Швейцарии, ЮАР, Японии. Месторождение сапонитовых глин – Варваровское – разведано на Украине (север Хмельницкой области) (Сапонит, 2021).

Сапонит отличается от других глинистых минералов, высокодисперсным сильным набуханием. Эти свойства связаны с размером частиц менее 1 мкм (Коршунов, 2007), и строением минерала (Коршунов, 2009). Во влажном состоянии сапонит может содержать воду в различных формах (свободная, легкоотделяемая и связанная) и накапливать ее в межпакетных пространствах (Коршунов, 2009). В результате данный факт обеспечивает не только высокую влагопоглощающую и водоудерживающую способность сапонит-содержащих материалов, но и вызывает набухание минеральных частиц более чем в 3 раза (Коршунов, 2007).

Присутствующие в составе сапонита, но не участвующих в его кристаллической структуре катионов Na^+ , K^+ , Ca^{2+} , обеспечивают высокой сорбционной способностью и катионообменной емкостью (Тарасевич, 2011). Эти особенности и способность сапонита поглощать ионы H^+ позволяет снижать кислотность почвенных вод и даже нейтрализовать их, что было отмечено при изучении субстратов на основе торфа и хвостов обогащения (Наквасина, 2015; Тельминов, 2011).

1.2 Возможности использования глинистых минералов в отраслях народного хозяйства

Мировая практика показывает активное использование сапонита и подобных глинистых минералов в различных отраслях промышленности.

Например, в Украине его используют как лекарственное средство, разрешённое для применения на людях, а также его используют в курортно-оздоровительных целях (Панько, 2013). Природный и синтетический сапонит применяют в качестве «доставщика лекарственных средств» в организме человека (Kumaresan, 2019), для лечения бройлерных цыплят от афлатоксикоза (Fowler, 2015), так же изучают другие фармацевтические свойства этих минералов (Inderpreet, 2015). Глинистые минералы применяют в бумажной промышленности (Евсеев, 2014), для изготовления керамических изделий, стекла и стеклокристаллических материалов, (Кузьменкова, 2012), в строительстве (Тельминов, 2011), для производства портландцемента (Németh, 2003), для производства силикатных строительных материалов (Володченко, 2012), для приготовления буровых промывочных жидкостей (Dong, 2019), в качестве сорбентов (Кольненков, 2015; Калинин, 2018; Ikekweme, 2020) и сорбции гербицидов и пестицидов, вносимых в почву, а также тяжелых металлов (Németh, 2003; Aggarwal, 2006; Alekseeva, 2014; Кольненков, 2015), а так же в качестве адсорбционных материалов (Zeng, 2006; Turan, 2013).

Помимо этого, глинистые минералы используют для изоляции радиоактивных отходов (Савоненков, 2012), для гидроизоляции при обустройстве полигонов хранения ТБО (Коршунов, 2008) и радиоактивных могильников (Carlson, 2004; Савоненков, 2012), для фильтрации сточных вод (Рудь, 2015).

Также, сапонит используется для детоксикации техногенно- и радиационно-загрязненных почв, водных растворов (Mana, 2017).

Широкое распространение сапонитов позволило ученым из различных стран и регионов России проводить исследования с применением данного и подобного ему минералов в сельском хозяйстве.

Многие авторы (Власов, 1992; Кармацких, 2004; Матросов, 2010; Карболин, 2011; Цветкова, 2013; Магакян, 2003; Prasai, 2016) отмечают эффективность применения различных глин как кормовой добавки для сельскохозяйственных животных.

Отмечено, что при кормлении цыплят-бройлеров кормовые добавки из сапонита и глауконита, в количестве 6 % от массы корма, а также добавки 2 – 4 % сапонита и 3 % соапстока, обеспечивают не только сохранение поголовья (на 0,1 – 2,0 %), повышение массы цыплят-бройлеров (на 5,8 – 9,5 %), но и снижает затраты корма на единицу прироста массы (на 2,7 – 4,2 %), а также зафиксировано повышение категориальности на 8,1 – 10,1 %. Положительный эффект от применения природных минералов проявляется в улучшении пищеварения, снижении влажности помета (на 1,2 – 8,0 %), помимо этого улучшается обеспеченность организмов птиц бором, цинком, медью, марганцем, железом, кобальтом и калием, исследование крови показало достоверное повышение содержания гемоглобина в эритроцитах крови, что указывает на увеличение окислительно-восстановительных реакций в организмах цыплят (Власов, 1992).

Исследования показали, что при использовании для кормления цыплят-бройлеров комбикормом, с добавлением сапонита, позволяет существенно увеличить прирост выхода мяса и яиц. Однако исследования М.Н.

Крамаренко (2007) и А.А. Матросов (2010) показали, что при наличии в комбикорме микотоксинов, среднесуточный прирост массы птиц снижается на 6,8 %, при добавлении 0,25 % от сухого вещества рациона сухого глауконита снижение составляет лишь 1,9 – 2,7 %, а если увеличить дозу минерала до 0,5 %, то снижение составляет 1,4%. Помимо этого, добавка глауконита в корм способствуют удержанию витаминов в печени птиц, по сравнению с птицами, питающихся комбикормом без микотоксинов. Кроме того, происходит повышение уровня перевариваемости питательных веществ из корма у птиц. Так перевариваемость протеина возросла на 6,72%, сырой клетчатки – на 1,4 %, БЭВ – на 5,12 %, по сравнению с контрольной группой птиц. Так же отмечается, что при добавлении глауконита с пробиотиком в количестве 0,125 % от сухой массы рациона, в помете цыплят-бройлеров в 3 и более раза повышается число лакто бактерий, в 22 раза снижается количество кишечной палочки и в 100 раз – условно-патогенной микрофлоры. Похожие результаты фиксируют и другие исследователи (Prasai, 2016). П.В. Карболин (2011) в своих исследованиях отмечал, что при добавлении в рацион цыплят-бройлеров цеолита, масса потрошённой тушки повышается на 13,3 %, выход съедобных частей – на 18,7%, убойный выход на 1,9 %, при добавлении глауконита на 8,8 %, 9,2 % и 1,5% соответственно. Так же, фиксируется, увеличение мякоти тушки на 1,7 – 2,9 %, внутреннего жира – 0,4 – 0,5 %. При скармливании глауконита мышечная масса повышалась на 2,98 % (Магакян, 2003).

При выращивании гусей-бройлеров (Кармацких, 2004) и молодняка кроликов (Цветкова, 2013) авторами отмечены схожие результаты с исследованиями по цыплятам-бройлерам, однако наиболее продуктивна на гусях-бройлерах оказалась добавка бентонита в объеме 1 % от сухой массы комбикорма, а для кроликов – 2 %.

Большое количество исследований посвящены изучению эффективности применения сапонит-содержащих базальтовых туфов вендского (неопротерозойского) возраста (волынская серия, ратайчицкая

свита) месторождения расположенного в юго-западной части Республики Беларусь в сельском хозяйстве.

Е.С. Юркевич и В.И. Иода (2017) провели токсиколого-гигиеническую оценку сапонит-содержащего базальтового туфа с целью определения возможности использования в качестве мелиоранта (магнийсодержащего удобрения) и кормовой добавки для сельскохозяйственных животных в Республике Беларусь. Данные исследования позволили доказать отсутствие опасности для персонала при работе с сапонит-содержащими базальтовыми туфами. Было выявлено, что по параметрам острой внутрижелудочной токсичности они являются малоопасными, не отмечено сенсibiliзирующей способности, не установлено местного раздражающего действия. Так же выявлено слабовыраженное раздражающее действие на слизистые оболочки (Юркевич, 2017).

Исследователи (Босак, 2022) изучили процессы химического выветривания сапонит-содержащих базальтовых туфов и глауконит-содержащие породы, представленных глауконит-кварцевые слюдистые алевриты, алевролиты и тонко-мелкозернистые пески из месторождений, расположенных в Республики Беларусь. Авторы установили, что в процессе выветривания из глауконитов активно выветриваются щелочные (калий), щелочноземельные катионы (кальций и магний) и кислотные катионы (алюминия и железа). Особенно выделялись катиона кальция, от 1686,3 мг/кг при воздействии водой, до 1893,8 мг/кг при воздействии серной кислотой при рН 5 и 2146,5 мг/кг – серной кислотой при рН 4. Несмотря на значительный переход катионов Са, кислотность конечного раствора составила 2,79 и 2,80 ед. рН при воздействии серной кислотой с рН 4 и 5 соответственно, с водой – 2,81 ед. рН. В связи с этим, авторы рекомендуют применять глаукониты на нейтральных и слабощелочных почвах.

При исследовании зафиксировано, что из сапонит-содержащих базальтовых туфов в почвенные раствор входящие в состав минерала алюминий и железо, практически не вымывались, ни при воздействии

растворов серной кислоты с рН 4 (Al – 1,7 мг/кг, Fe – 2,0 мг/кг) и рН 5 (Al – 1,2 мг/кг, Fe – 1,5 мг/кг), ни при воздействии воды (Al – 0,9 мг/кг, Fe – 0,9 мг/кг). При этом в раствор активно выделялись катионы калия, кальция и магния. При воздействии на сапонит-содержащие базальтовые туфы растворов серной кислоты с рН 4 в конечном растворе было зафиксировано 60,5 мг/кг катионов калия, 54,4 мг/кг – магния, 188,3 – кальция, при этом кислотность конечного раствора составила 7,23 ед. рН. На растворах серной кислоты с рН 5 и водой значительно меньше катионов перешло в конечный раствор (H₂SO₄ (рН 5): 35,1 – К, 42,5 – Mg и 85,0 мг/кг – Ca; H₂O: 34,4 – К, 29,5 – Mg и 72,8 мг/кг – Ca). Конечная кислотность растворов составила 7,28 и 7,30 ед. рН соответственно.

Схожие результаты были получены (Босак, 1996, 2012) при изучении выветривания гранита, входящие в решетку Al и Si, вымывались в незначительном количестве, а более активно выветривались катионы калия, кальция, натрия и магния.

Авторы (Босак (б), 2016, 2017) провели трехлетний полевой опыт с яровой пшеницей сорта Тома, с овсом сорта Запавет, с горохом посевным сорта Эйфель и с фасолью овощной сорта Чыжовенка. Варианты опыта предусматривали контрольные варианты без применения удобрений, варианты с внесением в предпосевную культивацию полного минерального удобрения NPK (карбамид, аммонизированный суперфосфат, хлористый калий) и различных доз сапонит-содержащих базальтовых туфов. Дозы минерала высчитывались по содержанию в нем магния соответственно от 20 до 80 кг/га магния.

Полученные результаты свидетельствуют об увеличении урожайности всех исследуемых культур при применении сапонит-содержащих базальтовых туфов. В частности, при применении минерала в дозе 20 кг/кг в пересчете на магний, прибавка урожая зерна яровой пшеницы в сравнении с фоновым вариантом составила + 2,6 ц/га, у овса – + 2,4 ц/га, в дозе 40 кг/га – + 5,3 и + 5,0 ц/га соответственно. Увеличение дозы до 60 кг/га не привело к

значительному повышению урожайности в сравнении с дозой 40 кг/га и составило + 5,0 ц/га зерна яровой пшеницы и + 5,1 ц/га овса от фонового варианта (Босак (а), 2016). Максимальная прибавка урожайности гороха (+ 4,5 ц/га) и фасоли овощной (+ 16 ц/га), по сравнению с фоновым вариантом, была зафиксирована при внесении сапонит-содержащих базальтовых туфов в дозе 60 кг/га магния.

Исследование по применению сапонит-содержащих базальтовых туфов на таких овощных культурах как фасоль овощная и базилик обыкновенный (Босак, 2017) проводилось в течение трех лет (2014–2016 гг.) в Дзержинском районе Минской области, на дерново-подзолистой супесчаной почве, с использованием минеральных удобрений ($N_{50}P_{60}K_{120}$), а также различных доз сапонит-содержащих базальтовых туфов, рассчитанных по норме магния от 8 до 80 кг/га, помимо этого в опыте предусматривался контрольный вариант без применения удобрений.

Исследования доказали, что прибавка урожая в вариантах с применениями только минеральных удобрений ($N_{50}P_{60}K_{120}$) дает прибавку урожайности бобов фасоли в 93,6 ц/га. Внесение сапонит-содержащих базальтовых туфов совместно с минеральными удобрениями дает дополнительно прибавку урожайности 14,2 – 16,2 ц/га, при этом с увеличением дозы сапонита – прибавка увеличивается незначительно.

Прибавка зеленой массы базилика при применении минеральных удобрений ($N_{50}P_{60}K_{120}$) составила 0,21 кг/м². При применении сапонита получена прибавка зеленой массы сапонита 0,36 – 0,45 кг/м², по сравнению с контрольным вариантом без применения удобрений. Наивысшая урожайность зеленой массы базилика в данных условиях выращивания получена при добавлении сапонит-содержащих базальтовых туфов, количество которых было рассчитано по дозе внесения магния 40 кг/га и составила 2,51 кг/м² в среднем за три года наблюдений (Босак, 2017).

В урожае обеих культур определяли содержание сырого протеина. Было установлено, что добавление сапонит-содержащих базальтовых туфов

не приводит к изменению данного показателя. Также, было показано, что при применении минерала содержание в продукции азота, фосфора и калия не изменялось. При этом незначительно повышается содержание магния в вариантах с возрастающими дозами сапонит-содержащих базальтовых туфов.

В период с 2014 по 2018 года в исследованиях с различными культурами: фасоль овощная (*Phaseolus vulgaris* L.) сорта Чыжовенка, базилик обыкновенный (*Ocimum basilicum* L.) сорта Магия, пажитник голубой (*Trigonella caerulea* (L.) Ser.) сорта Процветание, укроп пахучий (*Anethum graveolens* L.) сорта Грибовский применяли различные сочетания сапонит-содержащих базальтовых туфов и минеральных удобрений (Босак, 2019). В результате опытов было зафиксировано увеличение урожайности всех изучаемых культур при использовании минерала. Урожайность фасоли овощной возросла на 0,14 – 0,16 кг/м², зеленой массы базилика обыкновенного – на 0,16–0,22 кг/м², зеленой массы пажитника голубого – на 0,18–0,21 кг/м², зеленой массы укропа пахучего – на 0,23–0,25 кг/м², по сравнению с контрольными вариантами. Однако наибольшая эффективность сапонит-содержащих базальтовых туфов была получена при совместном применении с минеральными удобрениями. Так максимальная урожайность фасоли овощной и пажитника голубого составила соответственно 2,65 и 1,54 кг/м², базилика обыкновенного и укропа пахучего – соответственно 2,45 и 1,41 кг/м².

В трехлетних микрополевых экспериментах в условиях Нижегородской области с применяли различные дозы бентонитовых глин (3 т/га, 6 т/га и 9 т/га.) Зырянского месторождения, расположенного в Курганской области на дерново-подзолистой легкосуглинистой почве с целью определить насколько изменятся кислотно-основные свойства почвы. Изучаемые бентонитовые глины имеют схожий состав с сапонитом из месторождения имени М.В. Ломоносова. Элементный состав данных минералов отличается лишь процентным соотношением содержания элементов (Козлов, 2019).

При оценке влияния бентонитовой глины на кислотные свойства почвы исследователи (Козлов, 2019) отмечают снижение значений обменной и гидролитической кислотности. В частности, на протяжении трех лет наблюдений наибольшее снижение обменной кислотности выявлено при применении двойной дозы бентонитовых глин 6 т/га, а гидролитической кислотности при дозе 9 т/га. Так же зафиксировано повышение в почве содержания обменных форм кальция и магния. Причем, при оценке изменений содержания обменных форм кальция и магния, можно отметить, что увеличение дозы бентонита, способствует возрастанию их количества в почве. Так же в данном исследовании отмечается значительное снижение количества подвижного алюминия в почвах опыта. Помимо этого, авторы исследования зарегистрировали отсутствие влияния бентонитовых глин на содержание органического вещества в почве, а также увеличение содержания подвижных соединений фосфора и калия. При применении минимальных доз (3 т/га) повышение содержания данных элементов в течение периода наблюдения составляло 17 %. При применении более высоких доз (6 т/га и 9 т/га) зафиксировано повышение содержания подвижных соединения фосфора и калия в почве до 26 – 30 %. Помимо влияния бентонитовых глин на агрохимические свойства почвы, авторы также исследовали изменения урожайности озимой пшеницы, ячменя и гороха. Наибольшая эффективность действия бентонитовой глины при дозе 6 т/га была получена при выращивании озимой пшеницы и ячменя. Прибавка урожайности составила 17 % и 37 % соответственно. При выращивании гороха прибавка урожайности составила 27 % при внесении бентонитовой глины в дозе 9 т/га. Авторы отмечают, что наибольший эффект по всем рассматриваемым показателям достигается на второй и третий годы наблюдения, это связано с пролонгированным действием внесенных в почву бентонитовых глин.

В исследованиях П.С. Герасименко (2008) в течении трех вегетационных сезонов изучено влияние бентонитовых глин Тарасовского месторождения на урожайность ярового ячменя и кукурузы на южных

черноземах в условиях Миллеровского района Ростовской области. В результате исследования удалось выявить увеличение содержания нитратного азота в слое почвы 60 см на 3,8-4,6 кг/га по сравнению с контрольным вариантом без внесения бентонита. При совместном внесении бентонитовых глин с минеральными удобрениями в дозе $N_{60}P_{60}K_{60}$ отмечается повышение содержания подвижного фосфора (при выращивании ячменя 16,7-26,1 %, при выращивании кукурузы 25,3-30,7 %), обменного кальция (на 6-16 мг/кг почвы и на 9-21 мг/кг почвы). Помимо изменений в агрохимических свойствах, выявлено увеличение содержания физической глины на 3,5-9,5 %, повышение ЕКО (1,2-4,4 мг-экв/100 г почвы), улучшение агрегатного состава почвы с повышением (10,1-24,6 %) доли фракции 1-3 мм. Зафиксировано усиление микробиологической активности в почве и повышение содержания гумуса на 0,03-0,07 % по сравнению с контролем.

Урожайность ярового ячменя в среднем за 3 года исследований, при использовании бентонитовой глины в дозах 10, 15 и 20 т/га, повысилась на 26,8-29,1 % по сравнению с контрольными вариантами. Максимальная прибавка урожайности кукурузы на силос отмечается при применении дозы бентонитовой глины 10 т/га и составляет 14,7 т/га по сравнению с контрольным вариантом и превышает прибавку от применения минеральных удобрений в дозе $N_{60}P_{60}K_{60}$ (11,1 т/га от контроля) (Герасименко, 2008).

П.С. Герасименко (2008) отмечает, что применение бентонитовой глины на южных черноземах способствовало повышению содержания белка в зерне ярового ячменя на 0,6-0,9%, а в силосной массе кукурузы на 1,5-1,6 % в перерасчёте на абсолютно сухое вещество. Авторы отмечают, что наибольший экономический эффект проявляется при использовании бентонитовой глины в дозе 10 т/га в сочетании с минеральными удобрениями в дозе $N_{60}P_{60}K_{60}$.

А.В. Цыганковский (2011) в исследованиях изучал влияние бентонитовых глин того же месторождения, но на темно-каштановой почве и при выращивании озимой пшеницы. В результате исследований выявлено

незначительное, но устойчивое повышение водоудерживающих свойств почвы при применении бентонитовой глины. Также отмечается увеличение в почве нитратного азота (на 5,9-10,4 кг/га в сравнении с контролем), подвижного фосфора (до 3,2 мг/кг почвы в сравнении с контрольным вариантом), обменного калия (10,5-11,0 мг/кг почвы в сравнении с контролем). Выявлено увеличение микробиологической активности, повышение содержания гумуса на 0,05-0,1 % от контроля и ЕКО (с 29,3 до 33,7 мг-экв/100 г почвы), ЕКО (с 29,3 до 33,7 мг-экв/100 г почвы). Изменение кислотности почвы под влиянием бентонитовых глин не зарегистрировано.

При применении бентонитовых глин отмечается незначительное увеличение количества стеблей озимой пшеницы в фазе колошения, а также их высоты и массы, помимо этого, в растениях немного увеличилось содержание азота, фосфора (0,02-0,04 %) и калия (0,09%). При совместном применении бентонита и минеральных удобрений в дозе $N_{60}P_{60}K_{60}$ выявлено более значительное возрастание содержания азота (0,11 %) и калия (0,17 %) в изучаемых растениях.

При применении бентонитовых глин в дозах 7,5 – 12,5 т/га отмечается увеличение урожайности озимой пшеницы на 15,1 – 16,3 %. Прибавка от применения только минеральных удобрений в дозе $N_{60}P_{60}K_{60}$ составила 18,9 – 20,1 % по сравнению с контрольным вариантом. При этом совместное применение бентонитовых глин с минеральными удобрениями в дозе $N_{60}P_{60}K_{60}$ позволило получить прибавку 25,4 – 26,7 % (Цыганковский, 2011).

Применение бентонитовых глин способствовало увеличению количества белка в зерне озимой пшеницы. Так при применении дозы 7,5 т/га содержание белка увеличилось на 1,6 %.

Группа ученых (Громаков, 2012) исследовала влияние бентонитовых глин из того же Тарасовского месторождения на подсолнечник, выращиваемый на южном черноземе. Эксперимент был поставлен в период с 2008 по 2010 года в условиях Чертковского района Ростовской области. Схема опытов включала 16 вариантов опыта в трехкратной повторности.

Было изучено применение бентонитовых глин, минеральных удобрений, совместного применения бентонитовых глин и минеральных удобрений. В контрольном варианте растения выращивали без применения минеральных удобрений и бентонитовых глин.

Авторы отмечают, что применение бентонитовых глин привело к увеличению запасов продуктивной влаги в метровом слое почвы как в начале вегетационного сезона (4,7 – 5,8 мм по сравнению с контролем), так и в конце (2,9 – 3,2 мм по сравнению с контрольным вариантом). Так же применение бентонитовых глин способствовало увеличению содержания в почве нитратного азота (29,8 – 44,5 % от контроля), обменного калия (35-49 мг/кг почвы). При этом на содержание подвижного фосфора внесение бентонитовых глин практически не повлияло (Громаков, 2012).

Прибавка урожайности растений подсолнечника при применении весной бентонитовой глины в дозе 5 т/га составила от 9,4 % по сравнению с контролем в среднем за три года исследований. Применение бентонитовых глин в дозах 10 и 15 т/га способствовало получению прибавок урожайности растений подсолнечника до 21,7 % по сравнению с контрольным вариантом. Применение различных доз минеральных удобрений привело к увеличению урожайности растений подсолнечника на 20,3-32,6 % по сравнению с контрольным вариантом без внесения удобрений. Совместное применение минеральных удобрений и бентонитовых глин привело к получению прибавок урожайности подсолнечника от 21 до 34,1 % по сравнению с контрольным вариантом.

М.В. Хаванским (2009) в период с 2007 по 2009 года изучалось влияние бентонитовых глин Тарасовского месторождения на выращивание зернового сорго на черноземе обыкновенном. В данном опыте так же, как и у других исследователей отмечается увеличение запасов продуктивной влаги (на 4,4 % от контроля) в вариантах опыта с применением бентонитовых глин. Помимо этого, выявлено увеличение содержания в почве нитратного азота на 16,4 кг/га от контроля, обменного калия – на 15,0 мг/кг, подвижного фосфора на 7

мг/кг и микробиологической активности. Авторы особенно выделяют дозу 7,5 т/га бентонитовых глин.

Внесение бентонитовых глин положительно повлияло на агрофизические свойства почвы. Так отмечается увеличение количества частиц от 0,25 до 10,0 мм, их водопрочность, улучшился микроагрегатный и механический состав, повысилась доля физической глины (Хаванским, 2009).

Применение бентонитовых глин способствовало усилению ростовых функций растений и привело к увеличению вегетативной массы растений сорго. При этом выявлено незначительное увеличение содержания сырого протеина в зерне. Максимальная прибавка урожайности растений сорго при применении бентонитовых глин составила 16,3 % в среднем за три года наблюдения по сравнению с контрольными вариантами и была установлена при применении их в дозе 7,5 т/га. При совместном применении минеральных удобрений и бентонитовых глин прибавка составляла от 39,0 до 61,5 % по сравнению с контролем.

Международная группа ученых (Savchuk, 2018), провела ряд исследований 3 образцов нанокомпозитов на основе синтетически созданных минералов – сапонитов (nanocomposite Saponite (H), nanocomposite Nb-Saponite (Et), nanocomposite Nb-Saponite (Cl)), синтезированных в CNR-Институте молекулярных технологий, расположенном в Итальянском Милане. Исследование проводилось путем замачивания семян кукурузы в растворах нанокомпозита, для определения всхожести семян. В результате опыта удалось доказать, что предпосевная обработка семян кукурузы растворами нанокомпозитов увеличила энергию прорастания, всхожесть и длину проростков растений. В варианте опыта с обработкой Nb-сапонит (Et) в дозе 300 мг/л отмечается 100 % всхожесть, энергия прорастания увеличилась на 10,6 % по сравнению с контрольным вариантом, увеличение стеблей проростков в два раза в сравнении с контролем, корневая часть растений увеличилась на 30 % (Savchuk, 2018).

В вариантах опыта с применением нанокompозитов выявлено увеличение высоты стебля растения в среднем на 26% по сравнению с контролем. Отмечается двукратное увеличение длины корневой части растений, а также количества корней, помимо этого установлено повышение массы и площади листовой пластинки. Благодаря проведению спектрофотометрического анализа удалось получить увеличение суммы хлорофиллов (а + в) в листьях растений, семена которых ранее были обработаны нанокompозитами (Savchuk, 2018).

Изучение сапонита из месторождения имени М.В. Ломоносова проводилось учеными (Наквасина, 2015) для оценки изменения степени кислотности торфов и их агрофизические свойства. Опыт проводился на 27 делянках, с изменением пропорции содержания хвостов обогащения содержащих сапонит и торф, от 10 до 90 %. На следующий вегетационный сезон на делянках посеяли злаковые травы, с отбором почвенных образцов на третий год наблюдений. В результате, удалось установить, что добавление даже 10 % сапонит-содержащих хвостов обогащения, резко повышало рН субстрата, в три раза увеличивается плотность сложения, в 1,5 раза увеличивается плотность твердой фазы, при этом отмечается сохранение высокой скважности. Схожие тенденции наблюдаются при увеличении концентрации хвостов обогащения в субстрате (Наквасина, 2015).

Таким образом, можно сделать вывод, что многочисленные исследования, проведенные различными учеными, позволяют предположить возможность использования сапонита из месторождения алмазов расположенного в Архангельской области в сельскохозяйственном производстве региона. Однако исследования по применению сапонита из месторождения имени Ломоносова отсутствуют, а для использования данного минерала в производстве сельскохозяйственных культур необходимо его включение в перечень агрохимикатов разрешенных к применению на территории Российской Федерации. Для этого необходимо провести регистрационные испытания, подтверждающие положительные

свойства и отсутствие негативного воздействия на почву, и выращиваемые культуры.

1.3 Естественно-историческая характеристика региона исследования

1.3.1 Природно-климатические условия Архангельской области

Архангельская область является крупнейшим субъектом в европейской части Российской Федерации и крупнейшей областью (провинцией) в Европе. Общая площадь области составляет 589 913 км². Согласно областному закону «Об административно-территориальном устройстве Архангельской области» в состав Архангельской области входят 7 городов областного значения (Архангельск, Коряжма, Котлас, Мирный, Новодвинск, Онега, Северодвинск) и 21 административный район, а также островные территории - Земля Франца-Иосифа, Новая Земля и остров Виктория и отдельный субъект РФ - Ненецкий автономный округ (НАО) (областной закон № 65-5-ОЗ). Островные архипелаги, острова Белого моря (Соловецкий архипелаг); территория НАО, Лешуконский, Мезенский, и Пинежский районы, а также городской округ Северодвинск являются районами Крайнего Севера, оставшаяся часть области представляют собой территории, приравненные к районам Крайнего Севера (Архангельская область, 2020).

Регион находится на севере Восточно-Европейской равнины, область омывается Белым, Баренцевым, и Карским морями. Архангельская область граничит с республиками Коми и Карелией, а также с Вологодской и Кировской областями.

Архангельская область во время ледникового периода была полностью покрыта мощными ледниками, которые сходя, оставили моренные холмы и гряды. Такой рельеф особенно распространен на юго-западной части области, где простирается кристаллическая гряда Ветреного пояса, вытянутая с северо-запада на юго-восток и представляющая собой плоскую гряду шириной 10-15 км и высотой 250-300 метров с отдельными скалистыми выступами до 300 м надо уровнем моря. К северу от Ветреного пояса

расположена моренная равнина Прионежья. К югу и юго-западу от Ветреного пояса простирается полоса морен, уходящая за пределы Архангельской области и спускающаяся к Онежскому озеру (Туфанова, 1971).

Архангельская область разделена на следующие климатические пояса: арктический (Северный остров Новой Земли и Земля Франца-Иосифа), субарктический (Ненецкий автономный округ, Южный остров Новой Земли, острова Колгуев и Вайгач) и умеренный (остальная часть Архангельской области). Зима на территории региона продолжительная преобладает умеренно холодные и снежные погодные условия. Весной в Архангельской области доминирует малооблачная погода, лето в основном умеренно теплое, осенью господствует облачная и дождливая погода. Самый холодный месяц года - январь, а самый теплый – июль (Корелина, 2016).

Распределение годового количество осадков по территории области не равномерно, уменьшаясь с юга на север. Так, в районе города Няндомы выпадает до 700 мм осадков, на возвышенных местах сумма осадков может возрастать до 788 мм, а на острове Рудольфа на Земле Франца-Иосифа - от 150 мм. Среднегодовое количество осадков распределяется следующим образом: около 27 % выпадает в виде снега, 55 % - в виде дождя и 12 % приходится на смешанные осадки (мокрый снег, снег с дождем) (География области и города, 2019).

В Архангельской области нет горных хребтов, в связи с этим регион легкодоступен для циклонов и потоков холодного арктического воздуха. Частая смена воздушных масс приводит к резким изменениям и неустойчивости погоды. Циклоны с Атлантики приносят осадки, пасмурную погоду, зимой - потепление, а арктический воздух вызывает сильное снижение температур и морозы. Средняя годовая температура воздуха уменьшается с юго-запада на северо-восток от + 1,5...+1,8 С на юге до – 1,2 С на северо-востоке.

По данным ФГБУ «Северное управление по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды», сумма активных температур (выше +10°C) в северной материковой части области составляет около 1000°C (Мезень), на юге области (Вельск) достигает 1843°C. Среднемесячная температура июля на севере региона составляет 13-14°C, на юге – 16-17°C, с относительной влажностью воздуха 70-72 %. За период активной вегетации растений (температура выше 10°C) на севере области выпадает до 130 мм осадков, на юге – до 160 мм (Корелина, 2016).

Регион представлен четырьмя природными зонами, имеющими свой тип растительности и почв: это зоны арктических пустынь (Земля Франца-Иосифа, Северный остров Новой Земли и ряд мелких арктических островов), тундры (прочие острова Северного Ледовитого океана и большая часть территории Ненецкого автономного округа), лесотундры (Мезенский район, северная часть Приморского района и часть территории Ненецкого автономного округа) и тайги (География области и города, 2019).

Распределение растительности на территории области сменяется в соответствии с широтной зональностью. В северной части арктических островов доминирует сообщество мхов и лишайников, которые сменяются арктической тундрой на южном острове Новой Земли. Для севера материковой части области характерна типичная тундра, при продвижении на юг она сменяется южной тундрой, затем лесотундрой и тайгой. Для арктической пустыни характерны лишь незначительные по площади участки травянистых растений, мхов и лишайников. В типичной тундре преобладают разнотравно-осоково-моховые сообщества, сочетающиеся с осоково-гипновыми и полигональными болотами. В северной части южной тундры преобладают мелкоерниковые сообщества, а в южной части – крупноерниковые, а также ивняки. По южным склонам и речным долинам северной лесотундры встречаются участки еловых и березовых редколесий, при этом в данной зоне преобладают крупноерниковые заросли и бугристые болота. В южной лесотундре редколесья выходят на водоразделы рек, а в

долинах и на склонах встречаются участки сомкнутых насаждений. Разреженные березово-еловые и еловые леса, постепенно переходят в типичные северотаежные ельники, зеленомошные, долгомошные и сфагновые. К югу от полосы лесотундры находится северотаежная зона. Для нее характерен угнетенный и не очень высокий древостой. Характерный тип почв – оглеенные подзолы (Атлас Архангельской области, 1976).

Средняя тайга располагается южнее линии: кряж Ветренный Пояс - станция Обозерская - устье реки Ваги - поселок Нюхча в верховьях реки Пинеги. В ней преобладают ельники-черничные, заболоченные еловые и сосновые леса, так же встречаются лиственные леса, тип леса зависит от материнских пород почв. В отличие от северной тайги, в средней - леса более густые, высокие и производительные; преобладают типичные подзолистые и дерново-подзолистые почвы (Атлас Архангельской области, 1976).

На территории области большую площадь (около 14%) занимают болота (преимущественно верховые). На луга (пойменные и материковые) приходится лишь 2,5 %. Наиболее ценные кормовыми угодьями, используемыми в основном в качестве сенокосов, являются пойменные луга. Наибольшая продуктивность отмечается у пойменных лугов по Северной Двине (Черевковские, Холмогорские, Емецкие) и по Мезени (Ценогорские). Важную роль играют заливные луга в низовьях Печоры, в поймах рек Пинега, Онега, Вага (География области и города). Хорошо выраженная широтная зональность проявляется как в распределении почв, так и климата, и растительности (Корелина, 2016).

Архангельская область относится к числу регионов России с наибольшей площадью лесов. По геоботаническому районированию зона тайги Архангельской области делится на притундровые, северотаежные и среднетаежные леса (Моисеев, 1967). К притундровым лесам относятся лесотундру и северную часть редкостойной тайги. Южнее условной линии через верховья реки Токша, поселка Ярнема, далее через поселок Обозерский на село Семеновское и через верховья рек Юла и Выя к границе с

республикой Коми начинаются среднетаежные леса (Скляр, 1970). Тайга покрывает большую часть материковой территории, ее площадь достигает 20 млн. га, 86 % площади лесов региона покрыты хвойными лесами (главным образом еловых и сосновых) и 14 % - мелколиственными, преимущественно березовыми (Атлас Архангельской области, 1976).

Согласно научно обоснованной системе земледелия и технологии возделывания сельскохозяйственных культур в Архангельской области (Корелина, 2016), по агроклиматическому районированию территория области делится на два агроклиматических пояса по теплообеспеченности (холодный и умеренный) (Приложение А) и четыре сельскохозяйственных района:

1-й сельскохозяйственный район включает Пинежский, Мезенский и Лешуконский районы. Для данного района характерна сумма активных температур от 1000 до 1300 °С. Агроклиматические условия благоприятны для произрастания однолетних культур (овес, горох), пригодных на зеленый корм и силос, скороспелых сортов картофеля, на небольших участках - капусты и корнеплодов. Естественные луга, расположенные в пойме рек Мезени и Кулоя, а также по побережью Белого моря, пригодны для использования в качестве сенокосов и пастбищ. В данном сельскохозяйственном районе развит рыбный промысел.

2-й сельскохозяйственный район состоит из Приморского, Холмогорского, Ленского, Коношского и Плесецкого районов. Наиболее подходящее направление развития сельского хозяйства - молочное и племенное животноводство, на базе естественных лугов поймы рек Северной Двины и Пинеги. Характерная для района сумма активных температур составляет 1430-1560 °С). В настоящее время в Холмогорском районе сконцентрировано производство основных объемов картофеля, овощей открытого грунта, производство продукции животноводства.

3-й сельскохозяйственный район объединяет пять административных районов: Онежский, Виноградовский, Верхнетоемский, Вилегодский,

Няндомский. В данном сельскохозяйственном районе преобладают заливные луга. Агроклиматические условия благоприятны для развития картофелеводства, огородничества. Сумма активных температур составляет 1600-1660 °С. В сельском хозяйстве преобладает молочно-животноводческое направление, на основе лугового и полевого кормопроизводства.

В 4-й сельскохозяйственный район входят Вельский, Красноборский, Котласский, Шенкурский, Каргопольский и Устьянский административные районы. Данный сельскохозяйственный район представляет собой наибольшую часть пахотных земель области. Здесь наиболее благоприятные агроклиматические условия для производства зерна и молочного животноводства. Сумма активных температур составляет 1700-1850 °С.

Основой ресурсного потенциала области является почва с ее климатическими условиями и сельскохозяйственной ценностью. Земледелие является основой сельскохозяйственного производства (Корелина, 2016).

1.3.2 Агрохимическое состояние почв сельскохозяйственных угодий Архангельской области

По данным РОСРЕЕСТРА на 01.01.2020 в Архангельской области 2312,4 тыс. га земель сельскохозяйственного назначения из них 630,5 тыс. га сельскохозяйственных угодий. Распределение сельскохозяйственных угодий по площади следующее: 275,5 тыс. га – пашни, 247,5 тыс. га – сенокосы, 97,5 тыс. га – пастбища, 8,2 тыс. га – многолетние насаждения, 1,8 тыс. га – залежь (Отчет, 2020).

Сельскохозяйственные земли нуждаются в постоянном мониторинге и учете показателей плодородия. Согласно приказу Министерства сельского хозяйства Российской Федерации от 4 мая 2010 г. № 150 «Порядок государственного учета показателей состояния плодородия земель сельскохозяйственного назначения», учет показателей проводится федеральными государственными учреждениями – центрами, станциями

агрохимической службы и федеральными государственными учреждениями - центрами химизации и сельскохозяйственной радиологии.

Таблица 1 - Распределение сельскохозяйственных земель Архангельской области по гранулометрическому составу, тыс.га / % (на 01.01.2020 г.) (Доклад, 2021)

Вид угодий	Обследованная площадь	Песчаные	Супесчаные	Легко суглинистые	Средне суглинистые	Тяжело суглинистые	Глинистые	Торфяные
Пашня								
Сенокосы								
Пастбища								
Все сельхозугодия								

-

В Архангельской области данные функции осуществляет Федеральное государственное бюджетное учреждение станция агрохимической службы «Архангельская» (Антропова, 2017). Согласно данным ФГБУ САС «Архангельская» (табл. 1.), в регионе среди покрова сельхозугодий преобладают легкосуглинистые, супесчаные и среднесуглинистые почвы. Песчаные, тяжелосуглинистые, глинистые и торфяные почвы встречаются значительно реже (Антропова, 2017).

Одним из основных показателей плодородия является кислотность почвы. Динамика изменения количества кислых ($pH_{\text{сол}} < 5,5$) пахотных почв в Архангельской области за все время наблюдения представлена на рисунке 1.

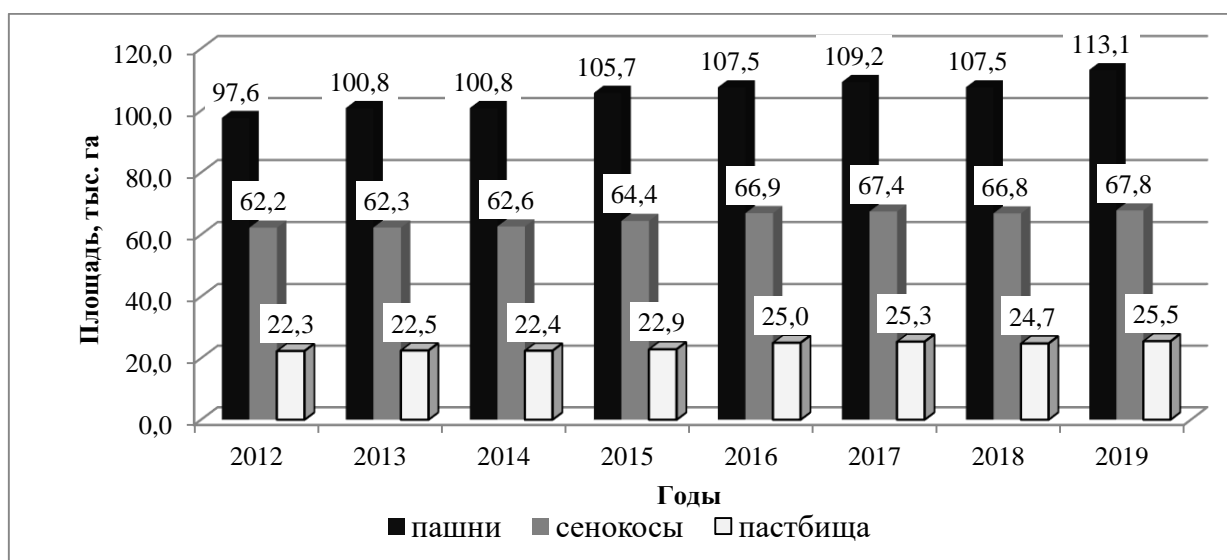


Рисунок 1- Изменение площадей кислых почв сельскохозяйственных угодий в Архангельской области по годам (Косарева, 2020).

Приведенные данные (рис. 1) демонстрируют тенденцию на снижение количества кислых пахотных почв на начальных этапах наблюдения, это связано с интенсивным применением средств химической мелиорации и их последствием. Затем, в конце 90-х годов прошлого века, когда последствие известкования снизилось, появилась тенденция на увеличение количества площадей кислых пахотных почв. Данная тенденция характерна не только для пахотных почв, но и для сенокосов и пастбищ.

Средневзвешенный показатель кислотности пахотных почв представлен на рисунке 2 (Косарева, 2020).

Данные (рис. 2) показывают постепенное снижение средневзвешенного показателя кислотности пахотных почв Архангельской области.

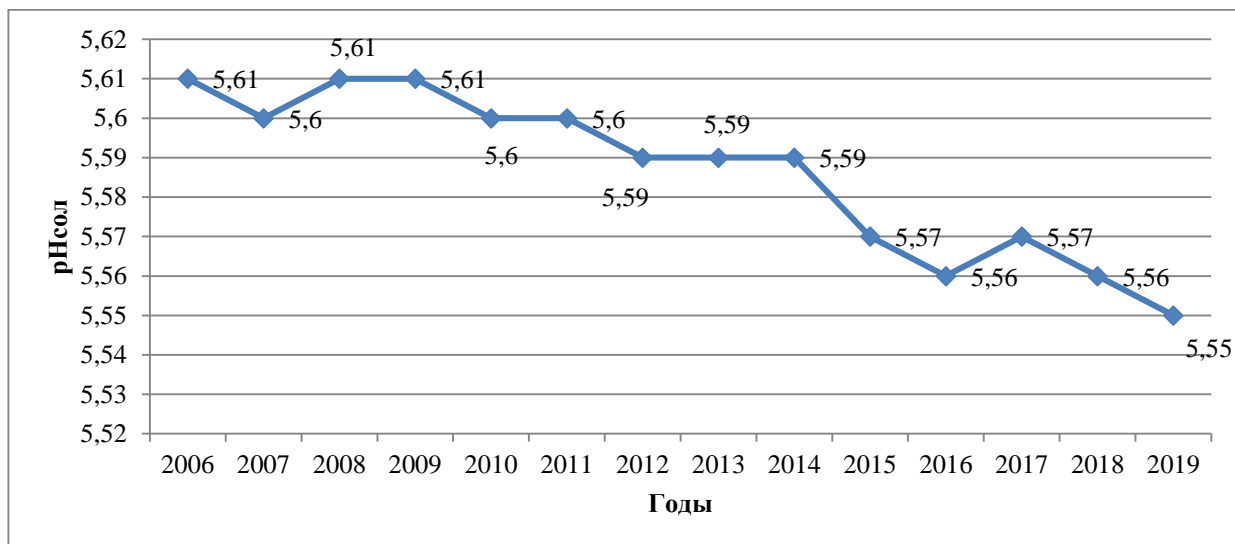


Рисунок 2 - Динамика изменения рНсол. пахотных почв Архангельской обл. (средневзвешенные показатели по годам с 2006 по 2019 гг) (Косарева, 2020).

Наиболее эффективным способом снижения кислотности почв является проведение известкования. Данные по объему проводимых работ в сравнении 1986-1990, 1994-1995 и последних лет представлен в таблице 2 (Косарева, 2020).

Таблица 2 - Объемы известкования кислых почв по годам внесения

Показатель	1986-1990 гг.	1994-1995 гг.	2015 г.	2016 г.	2017 г.	2018 г.	2019 г.	2020 г.
Площадь известкования, га	192 983	16 664	262	332	-	-	0,45	0,8
Внесено, тыс. тонн	262 168	-	2,3	1,9	-	-	0,3	0,5
Средняя доза внесения, т/га	1,4	-	8,8	5,6	-	-	0,9	0,5

Как видно из приведенных данных (табл. 2.), по сравнению с постсоветским периодом объемы известкования значительно сократились, а в 2017 и 2018 годах вообще не проводилось. Однако с 2019 года правительством Российской Федерации проводятся работы, связанные с федеральной поддержкой сельхоз товаропроизводителей на проведение работ, связанных с известкованием кислых почв, а также с приобретением специализированной техники, необходимой для данных работ. В связи с этим известкование кислых почв вновь начало производиться, и его темпы постепенно нарастают (Косарева, 2020).

Основными показателями плодородия сельскохозяйственных почв является— содержание подвижных форм фосфора и калия. Проанализировав данные по динамике количества площадей сельскохозяйственных угодий с низким содержанием обменного фосфора (рис. 3) и калия (рис. 4) за последние 8 лет, можно сделать вывод о сокращении запаса данных элементов в Архангельской области (Косарева, 2020).

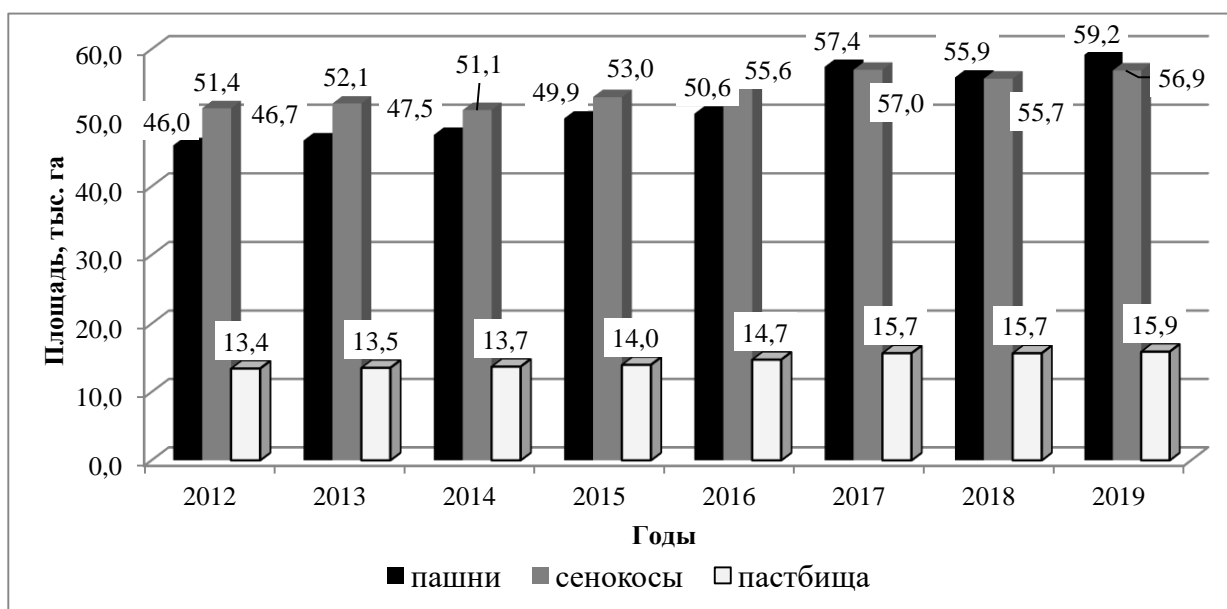


Рисунок 3 - Динамика изменения площади почв (тыс. га) с низким содержанием P_2O_5 в Архангельской обл. (Косарева, 2020)

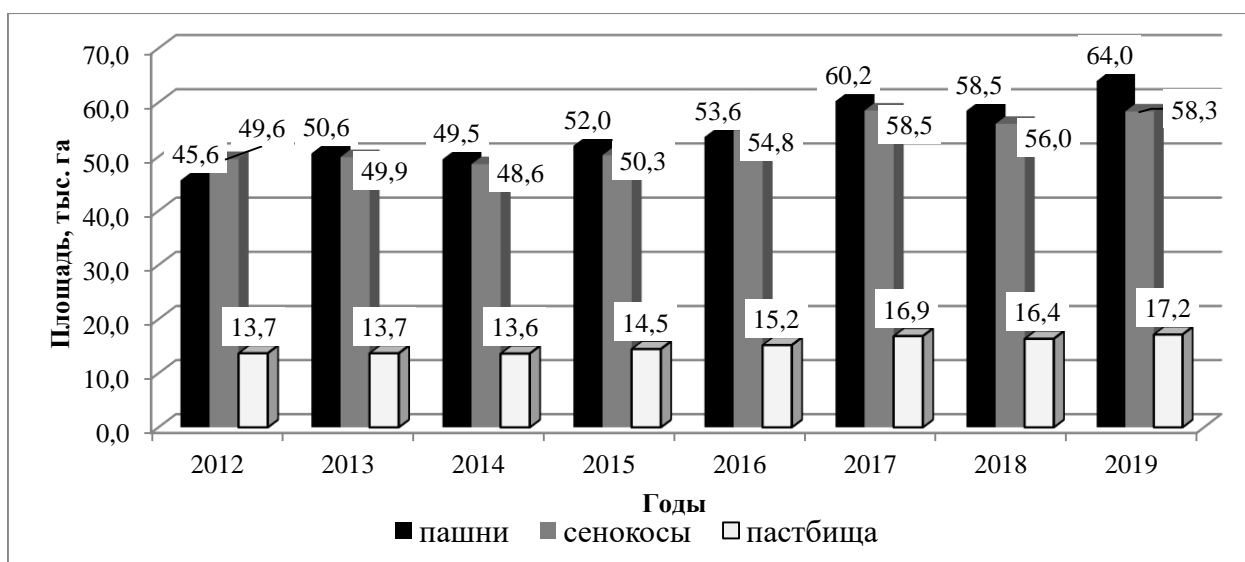


Рисунок 4 - Динамика изменения площади почв (тыс. га) с низким содержанием K_2O в Архангельской обл. (Косарева, 2020)

В почвах сельхозугодий региона наблюдается уменьшение площади почв с содержанием органического вещества менее 1,5 % (рис. 5). Вероятнее всего данные изменения связаны с накоплением растительных остатков на неиспользуемых площадях для сельскохозяйственного производства, которые составляют 199 тыс. га из 275 тыс. га пахотных угодий.

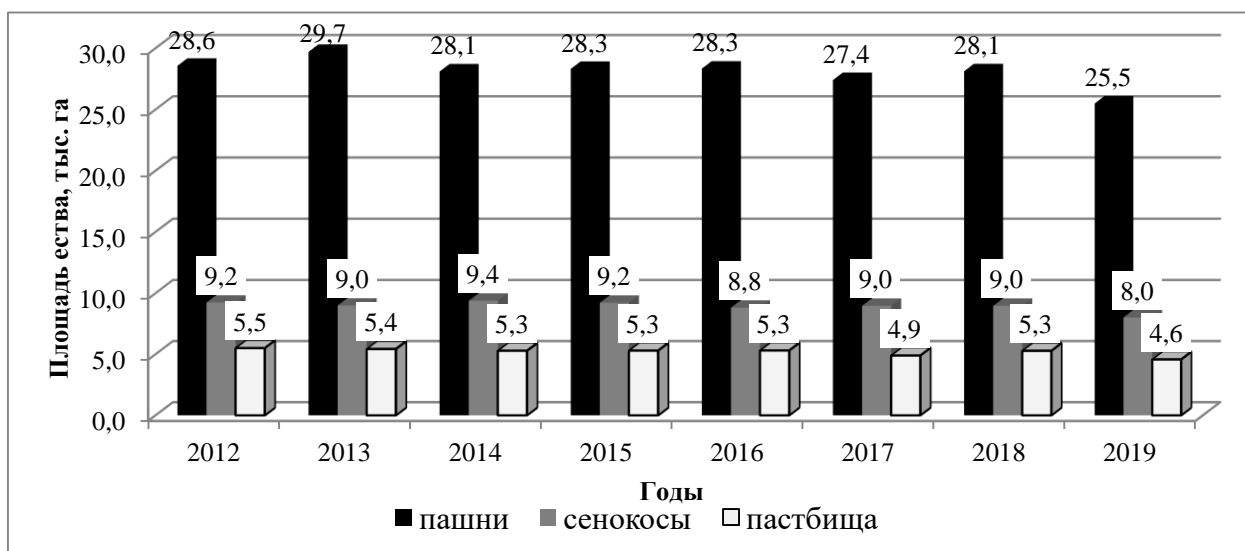


Рисунок 5 - Динамика изменения площади пахотных почв (тыс. га) с низким содержанием органического вещества в Архангельской обл. (Косарева, 2020)

В Архангельской области преобладают сельскохозяйственные угодия с дерново-подзолистой почвой. Приведенные данные свидетельствуют о снижении количества питательных веществ в доступных формах и

подкисление почв сельскохозяйственных угодий. Существует необходимость в увеличении плодородия используемых земель. Однако в регионе отсутствуют местные производители, продукция которых внесена в перечень агрохимикатов, разрешенных к использованию в Российской Федерации. Стоимость использование ввозимых минеральных удобрений значительно повышается в связи с удаленностью области от производства. Использование органических удобрений усложняется требованиями современного законодательства по переводу данных веществ из категории отходов производства в категорию органических удобрений.

Опыты, приведенные в данном исследовании, проводятся в рамках регистрационных испытаний по включению побочной продукции обогатительной фабрики ПАО «СЕВЕРАЛМАЗ» - сапонита (Сапонит-содержащих материалов, водной суспензии сапонита), в реестр агрохимикатов, разрешенных к использованию в Российской Федерации. В случае успешных результатов опытов и положительных экспертных заключений профильных организаций по безопасности применения сапонита в качестве минерального удобрения, в Архангельской области появится производитель эффективных минеральных удобрений. Это сможет положительно отразиться как на финансовой составляющей работы сельхоз-товаропроизводителей, так и на качестве и количестве получаемой продукции.

ГЛАВА 2 ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

2.1 Почвенно-климатическая характеристика района исследований

Основная часть исследований проходила на территории МО «Матигорское» (бывшее МО «Копачевское») и МО «Емецкое» Холмогорского района Архангельской области. Производственный участок ООО «Агрофирмы «Холмогорская», на котором проводились опыты с вико-овсяной смесью и оценка возможности снижения кислотности почв при использовании сапонита, располагался на берегу реки Пеновка, вблизи деревни Хетка и деревни Надручей, МО «Матигорское», Холмогорский район, Архангельской области, географические координаты участка N 64.194935 E 41.627210 (рис. 6).

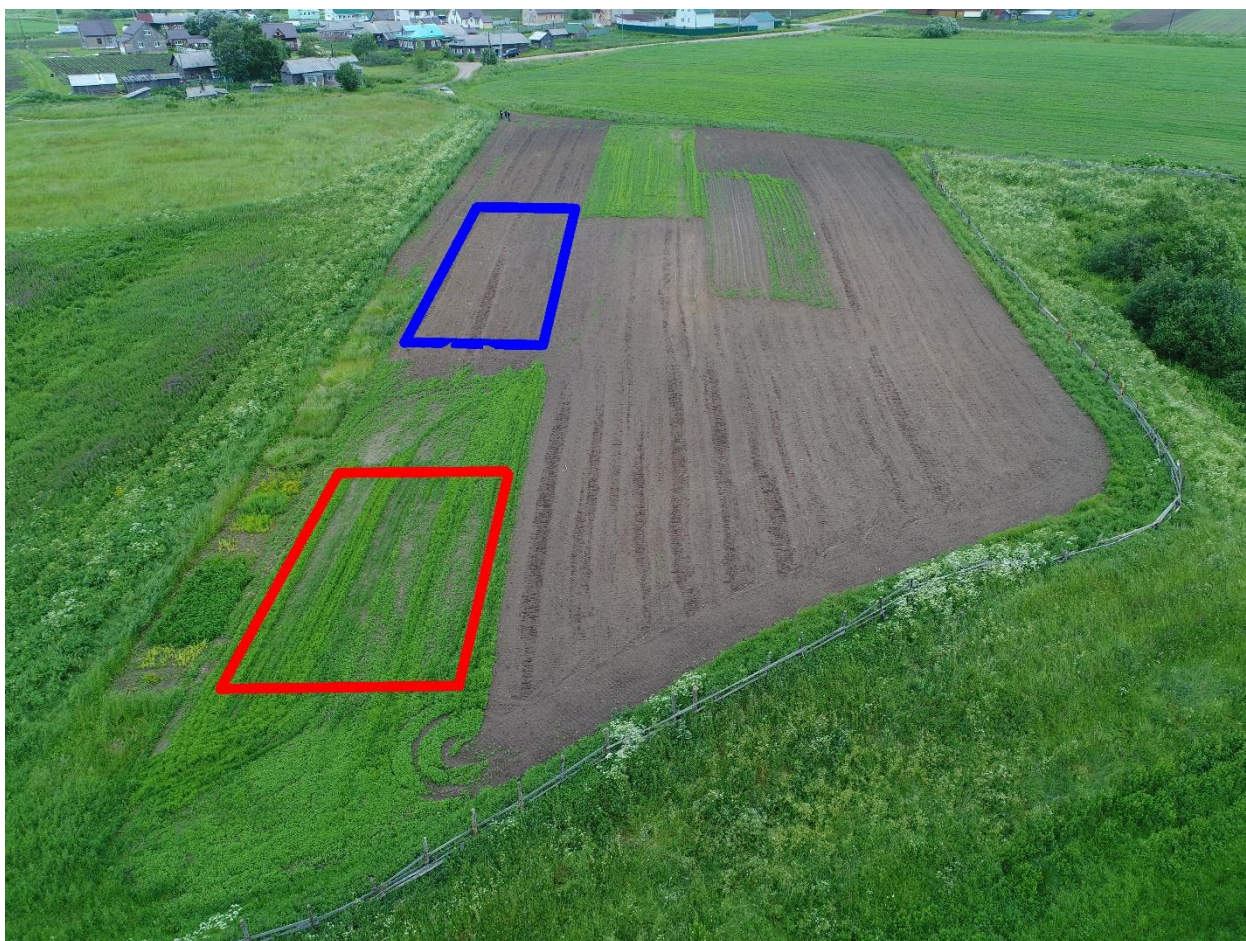


Рисунок 6 - Расположение участков опыта с вико-овсяной смесью и опыта по оценка возможности снижения кислотности почв при использовании сапонита на производственном участке ООО «Агрофирма

Холмогорская» (Синим цветом обозначен участок опыта по оценке возможности снижения кислотности почв; красным цветом участок опыта с вико-овсяной смесью)

Опыт по изучению влияния сапонита на плодородие почв и урожайность картофеля проводился на участке, который располагался на берегу протоки Буяр-Курья, вблизи деревни Хетка и Буты, географические координаты участка N 64.199344 E 41.625115 (рис. 7).



Рисунок 7 - Расположение участка по изучению влияния сапонита на плодородие почв и урожайность картофеля на производственном участке ООО «Агрофирма Холмогорская»

Холмогорский район расположен на северо-западе Архангельской области, по берегам и на слиянии двух крупных рек - Пинеги и Северной Двины (Открытый север). По рельефу район в основном представлен равниной (средние высоты не превышают 200 метров над уровнем моря), которая местами нарушается конечно-моренными всхолмлениями,

образовавшиеся в результате деятельности древнего ледника. В Холмогорском районе развитие карста обусловлено наличием известняков, доломитов, гипсов и ангидритов (Лыжин, 2009). В целом территория Холмогорского района составляет 1680 тыс. гектар, из которых согласно данным РОСРЕЕСТРА 136 807 гектар земель сельскохозяйственного назначения, в том числе 42885 га сельскохозяйственных угодий (6,8% от сельскохозяйственных угодий области) (Отчет, 2020). Среди пахотных угодий Холмогорского района преобладают почвы с близкой к нейтральной реакции среды (32%) и слабокислые (30%), но общее количество почв пашни с реакцией среды ниже 5,5 ед. рН составляет 52%, средневзвешенный показатель рН – 5,49. Доля пахотных земель с высоким содержанием подвижного фосфора составляет 38%, а с очень высоким – 36%, при этом всего почв с низким содержанием данного элемента (менее 10 мг/кг почвы) – 11%. Средневзвешенное содержание подвижных форм фосфора составляет – 209 мг/кг почвы. Средневзвешенное содержание подвижных форм калия в сельскохозяйственных пашнях Холмогорского района составляет 144 мг/кг почвы, при этом 28% всех пахотных угодий имеет содержание данного элемента менее 80 мг/кг мг/кг почвы.

Среди кормовых угодий Холмогорского района 39% почв сенокосов и 49% почв пастбищ имеют рН менее 5,5 ед. Средневзвешенная кислотность почв сенокосов составляет 5,7, а почв пастбищ - 5,64 ед. рН. По содержанию подвижных форм фосфора преобладают почвы с повышенным (42% почв сенокосов и 31% почв пастбищ) и высоким (32% почв сенокосов и 48% почв пастбищ) содержанием данного элемента питания. Средневзвешенное содержание подвижных форм фосфора в почвах сенокосов составляет 140 мг/кг почвы, а в почвах пастбищ – 160 мг/кг почвы. По содержанию подвижных форм калия наблюдается следующая тенденция: под сенокосами преобладают почвы с низким содержанием (менее 80 мг/кг почвы) – 43%, а под пастбищами – средним содержанием подвижных форм калия (40%). При

этом средневзвешенное содержание подвижных форм калия в почвах сенокосов составляет 98 мг/кг почвы, а в почвах пастбищ – 112 мг/кг почвы (Косарева, 2020).

Район, где проводили исследования, находится на севере лесной зоны умеренного климатического пояса и расположен в области атлантико-арктического влияния. Климат района холодный и влажный, континентальный, с присущим ему непостоянством погоды, в связи с частым изменением воздушных масс, поступающих из Арктики, Сибири и с Атлантического океана. Холмогорский район входит в Атлантико–Арктическую область умеренного пояса. Так же на погодные условия оказывает влияние близость Северного Ледовитого океана.

Для района исследований характерны ясно выраженные сезоны года, с холодной зимой, продолжительность которой длится более полугода, короткое умеренно-тёплое и пасмурное лето, длительные с частой и резкой сменой температур весна и осень.

Весна длится два месяца, с начала апреля и до конца мая. Летняя погода устанавливается с конца мая и длится около трёх месяцев. Неустойчивость температуры воздуха характерна как в зимнее, так и в летнее время, зимой возможны оттепели, а летом бывают заморозки.

Средняя годовая температура воздуха составляет $-0.1...-0.2$ °С. Самым холодным месяцем является январь, температура может достигать -46 °С ... -48 °С, а самым теплым – июль, с температурой до $+30...+32$ °С. Среднемноголетняя температура воздуха составляет $+0,2$ °С, при средних температурах июля $+14,3$ °С и января $-14,7$ °С. Абсолютный минимум температуры воздуха (-53 °С) отмечался в январе 1973 года. Абсолютный максимум наблюдался в июле 1972 года, и составил 36 °С.

В тёплый период на территории наблюдается увеличение количества дней с комфортными погодными условиями (при температуре воздуха от $+15$ до $+25$ °С, относительной влажности воздуха от 30% до 100 % и скорости ветра 3 м/с) и

субкомфортными теплыми погодами (ГП МО «Копачевское», 2016; ГП МО «Емецкое», 2016).

Заморозки в основном прекращаются в начале июня и начинаются в первой декаде сентября. В отдельные годы заморозки возможны в июле и августе.

Территория получает значительное количество атмосферных осадков. Годовая сумма их составляет 570 - 630 мм, причем большая их часть приходится на теплый период (с апреля по октябрь). Самые обильные осадки (70-80 мм) – в июле. Летом осадки в основном ливневого характера, и нередко сопровождаются грозами. Осенью преобладают обложные осадки, хотя в отдельные годы грозы случаются даже в октябре. В теплое время выпадает 55% осадков, а в холодное – 45%. В году бывает около 200 дней с осадками. Годовое количество осадков превышает возможное испарение, поэтому увлажнение района избыточное.

Зимой характерен снежный покров, который устанавливается в первой декаде ноября и сходит в первой декаде мая. Снег лежит в среднем около 180 дней. Зимой часты метели. Средняя высота снежного покрова 60 см.

Воздух влажный во все сезоны года. Самые влажные месяцы - октябрь и ноябрь, когда относительная влажность воздуха достигает 90%. Наименее влажные май и июнь, относительная влажность в эти месяцы составляет около 70%.

Ветровой режим преимущественно двух направлений: юго - западного, юго – восточного, среднегодовая скорость - 5,6 м/с. Сильных ветров и ураганов практически не бывает. Весной и летом много солнечного тепла и света. В июне - июле солнце почти не заходит за горизонт, и наблюдаются сумеречные или «белые» ночи. Зимой солнце низко стоит над горизонтом, и долгота дня сокращается до 5 часов.

Согласно агроклиматическому районированию области, Холмогорский район относится по теплообеспеченности к III умеренно-холодному агроклиматическому району, значительная часть которого находится в

западном подрайоне, где переход с температуры выше 10°C длится 85-90 дней. Сумма эффективных температур воздуха – 1228°C, сумма активных температур воздуха – 1520°C (Игнатенко, 2017).

Средняя температура воздуха в период проведения опытов (с 21 мая по 20 сентября) в 2018 году составила 14,8°C, а количество осадков – 2,4 мм, в 2019 году – 12,5°C, количество осадков – 4,6 мм, в 2020 году – 14,0°C, количество осадков – 2,7 мм.

2.2 Характеристика сапонит-содержащих материалов

Согласно протоколу испытаний, проведенных в испытательной лаборатории ФГБУ САС «Архангельская» (Приложение Ж), сапонит, полученный при переработке алмазоносных пород в Архангельской области, имеет водородный показатель рН 7,8; содержит 2900 мг/кг подвижного фосфора, 350 мг/кг подвижного калия и 5,6 мг/кг кальция. Присутствуют также химические элементы из группы тяжелых металлов в подвижной форме: медь – 0,18 мг/кг, цинк – 0,24 мг/кг, никель – 4,4 мг/кг, свинец – 5,0 мг/кг, не превышающие по содержанию ПДК. Массовая доля влаги в хвостах обогащения составила 76 %. Содержание радионуклидов приведено в таблице 3.

Таблица 3 - Содержание радионуклидов естественного и техногенного происхождения в сапоните

Показатель	Результат испытаний, Бк/кг	Норма по ТУ 20.15.79-001-26043171-2018, Бк/кг, не более
Удельная активность калия-40	менее 3,0	740
Удельная активность цезия-137	менее 7	
Удельная активность радия-226	менее 8	
Удельная активность тория-232	менее 40	
Удельная активность стронция-90	менее 0,5	

В связи с тем, что сапонит-содержащие материалы обладали высокой влажностью (78%), была необходимость в пересчете применяемых в опытах дозировок на содержание в водной суспензии сухого сапонита.

2.3 Методика проведенных исследований по влиянию сапонит-содержащих материалов на агрохимические показатели почвы и урожайность сельскохозяйственных культур

2.3.1 Методика проведения исследований по изучению влияния водной суспензии сапонита на урожайность, качество картофеля и агрохимические показатели дерново-подзолистых супесчаных почв

В задачи исследований входило изучение влияния водной суспензии сапонита на урожайность, качество картофеля и агрохимические показатели дерново-подзолистых супесчаных почв Архангельской области. Для решения поставленных задач был проведен полевой опыт в соответствии с методикой (Доспехов, 1985, Методика исследований по культуре картофеля, 1967).

Полевой опыт проводили в 2018-2020 гг. (продолжался 28 месяцев), с мая 2018 года по сентябрь 2020 года (охватывал 3 вегетационных сезона). Дерново-подзолистая супесчаная почвы опытного участка обладала следующими агрохимическими показателями: рН 5,4 (солевая вытяжка), что соответствует слабокислой степени кислотности, содержание гумуса 3,0 % (степень обеспеченности - среднегумусированная) (по Тюрину), содержание подвижных форм фосфора составило 985 мг/кг (очень высокая степень обеспеченности), содержание подвижных форм калия 192 мг/кг (высокая степень обеспеченности) по (по Кирсанову).

Полевой опыт закладывали на делянках с общей площадью 18 м² (на 3 м х 6 м) в 4-х кратной повторности с рендомизированным однорядным методом расположения делянок на опытном участке. Расстояние между делянками составляло 0,5 м.

Схема опыта состояла из 5 вариантов: 1 - контроль (без внесения); 2 - внесение водной суспензии сапонита в объеме 27 л/делянку (в пересчете на сухой сапонит - 3,6 т/га), 3 - 48 л/ делянку (в пересчете на сухой сапонит - 7,3т/га), 4 – 61 л/ делянку (в пересчете на сухой сапонит - 9,7 т/га) и 5 – 82 л/ делянку (в пересчете на сухой сапонит – 12т/га).

Предшественником картофеля являлись однолетние травы (вико-овсяная смесь). Схема посадки картофеля 70х21 см. Норма посадки из расчета 68 тыс. шт./га. В качестве посевного материала использовались клубни картофеля сорта «Фреско» (Картофель Фреско), категория высаженных клубней суперэлита.

Полевой эксперимент включал несколько этапов. Первый этап производился с мая по август 2018 года. Он включал работы по разметке земельного участка согласно схеме опыта, отбор почвенных образцов для определения агрохимических показателей, подготовку земельного участка с нарезкой гребней (25 мая) при помощи агрегата – МТЗ-82 + КОН-2,8. Посадка картофеля осуществлялась 27 мая 2018 г с припосадочной обработкой фунгицидом Максим в дозе 0,4 л/т (расход рабочей жидкости 10 л/т). Использовались агрегаты – МТЗ-82 + СН-4Б, МТЗ-82 + 2-ПТС-4. Разделение участка на делянки, отбор проб почвы, внесение водной суспензии сапонита по схеме эксперимента производилось 5 июня 2018 г. Боронование посадок картофеля агрегатом – МТЗ-82 + КОН-2,8 с боронами выполнялось 11 июня 2018 г. Обработку посадок картофеля гербицидами провели 25 июня 2018 г: Зенкор Ультра 0,8 л/га + Бискайя 0,2 л/га в смеси (расход рабочей жидкости 200 л/га) проводили при помощи МТЗ-82 + ОНШ-600. Окучивание посадок картофеля – МТЗ-82 + КОН-2,8 проводилось 16 июля 2018 г. Обработка посадок картофеля фунгицидами проводилась 23 июля 2018 г: Филдер 69 2,0 кг/га + Бискайя 0,2 л/га в смеси (расход рабочей жидкости 200 л/га) проводилась агрегатами – МТЗ-82 + ОНШ-600. Вторая обработка посадок картофеля фунгицидами с десикацией ботвы проводилась 27 августа 2018 г. Использовали препараты: Ширлан 0,4

л/га + Реглон Супер 2,0 л/га в смеси (расход рабочей жидкости 200 л/га). Агрегат – МТЗ-82 + ОНШ-600. В сентябре 2018 г. проведено механическое удаление ботвы (агрегат – МТЗ-82 + Rafale), ручная уборка, учет урожая и отбора проб почвы. После этого проводилось осеннее дискование в один след, на глубину 16 см, агрегатом – Т-150К + БДТ-3,0.

В 2019 г. и 2020 г. не вносилась водная суспензия сапонита (изучалось последствие), остальные мероприятия дублировали проведенные в 2018 г.

В процессе выращивания исследуемых культур проводились вегетационные наблюдения. В 2018 году посадка картофеля осуществлялась 27 мая. 15 июня на 55 % посадок зафиксированы первые всходы. Массовые всходы (90% посадки, высота растений 5-7 см) были зарегистрированы лишь 22 июня. Начало бутанизации (30% посадки) отмечается 10 июля, а массовая бутонизация (85% посадки, высота растений 50-55 см) – 15 июля. Начало цветения (65% посадки) наблюдалось уже 17 июля, массовое цветение (85% посадки) – 23 июля. Конец цветения у 95% посадки зафиксирован 10 августа.

В 2019 году в связи с более холодной весной посадку картофеля проводили лишь 4 июня, в связи с этим сдвинулись все фенологические фазы. Так первые всходы (55 % посадок) зафиксированы лишь 24 июня, массовые (90% посадки, высота растений 5-7 см) – 28 июня. Начало бутанизации (30% посадки) отмечается 15 июля, а массовая бутонизация (85% посадки, высота растений 50-55 см) – 20 июля, в эту же дату зарегистрировано и начало цветения (65% посадки). Массовое цветение (85% посадки) отмечается 25 июня, а конец цветения у 95% посадки зафиксирован 16 августа.

В 2020 году посадку картофеля провели еще позже – 7 июня. Первые всходы (55 % посадок) зарегистрированы 27 июня, а массовые (90% посадки, высота растений 5-7 см) – 30 июня. Начало бутанизации, массовая бутонизация (85% посадки, высота растений 50-55 см) и начало цветения (65% посадки) зафиксировано на неделю позже чем в 2018, а именно – 17 июля, 22 июля и 24 июля соответственно. Массовое цветение (85% посадки)

зарегистрировано 23 июля. Конец цветения у 95% посадки зафиксирован на 7 дней позже чем в 2018 году – 10 августа.

2.3.2 Методика проведения исследований по изучению влияния водной суспензии сапонита на урожай и качество вико-овсяной смеси и агрохимические показатели дерново-подзолистых супесчаных почв

В задачи исследований входило изучение влияния водной суспензии сапонита на урожай и качество вико-овсяной смеси и агрохимические показатели дерново-подзолистых супесчаных почв. Для решения поставленных задач был проведен полевой опыт в соответствии с методикой (Доспехов, 1985; Кирюшин, 2005)

Полевой опыт проводили в 2018-2019 гг. (продолжался 15 месяцев), с мая 2018 года по июль 2019 года (охватывал 2 вегетационных сезона). Почва опытного участка была дерново-подзолистой супесчаной. Согласно агрохимическому обследованию, проведенному на изучаемом участке перед закладкой полевого опыта, почва имеет следующие агрохимические показатели: рН 6,2 (Потенциометрически), что соответствует нейтральной степени кислотности, содержание подвижных форм фосфора составило 567,0 мг/кг почвы (по Кирсанову), что соответствует очень высокой обеспеченности почвы, содержание подвижных форм калия составило 147,2 мг/кг почвы (по Кирсанову), что соответствует повышенной обеспеченности почвы, содержание обменного кальция составило 5,2 мг/кг почвы (по ЦИНАО), что соответствует средней обеспеченности почвы, а обменного магния 1,3 мг/кг почвы (по ЦИНАО), что соответствует средней обеспеченности почвы данным элементом.

Полевой опыт закладывали с общей площадью 18 м² (на 3 м х 6 м) в 4-х кратной повторности с рендомизированным однорядным методом расположения делянок на опытном участке. Расстояние между делянками составляло 0,5 м.

Схема опыта состояла из 5 вариантов: 1 - контроль (без внесения); 2 – внесение водной суспензии сапонита в объеме 27 л/делянку (в пересчете на сухой сапонит 3,6 т/га), 3 – внесение водной суспензии сапонита 48 л/делянку (в пересчете на сухой сапонит- 7,3т/га), 4 – внесение водной суспензии сапонита 61 л/делянку (в пересчете на сухой сапонит- 9,7 т/га) и 5 – внесение водной суспензии сапонита 82 л/делянку (в пересчете на сухой сапонит- 12 т / га).

В качестве семенного материала использовали вику яровую сорта «Льговская» (разновидность *immaculata*) и овёс яровой сорта «Лев» (Овес яровой Лев; Вика яровая Льговская). Посев осуществляли семенами первого класса со всхожестью 98 %, норма высева вики яровой из расчета 0,1 т/га; овёс яровой высевался из расчета норма высева 0,2 т/га. Глубина заделки семян 3-5 см.

Первый этап полевого опыта длился с мая по июль 2018 года и состоял из работ по разметке земельного участка согласно схеме опыта, с отборами почвенных образцов с каждой делянки опыта (10 мая), весеннего дискования в один след (22 мая), агрегатом – Т-150К + БДТ-3,0, на глубину 16 см. 24 мая произведено восстановление границ делянок и внесение водной суспензии сапонита согласно схеме опыта. Весенняя вспашка проведена 27 мая 2018 года на глубину 22 см агрегатом – МТЗ-80 + ПЛН-3-35. Культивация проведена 29 мая 2018 года на глубину 12 см агрегатом – МТЗ-82 + РКЕ-300. Посев вико-овсяная смеси с последующим прикатыванием (Агрегат МТЗ-82 + ЗГВК-1,4) был проведен 04 июня 2018 года. Предшественник – однолетние травы (вико-овсяная смесь). Агрегаты – МТЗ-82 + СЗ-3,6, МТЗ-82+2-ПТС-4. Культивация защитных полос была проведена 25 июня 2018 года, 20 июля 2018 года агрегатом - МТЗ-82 + РКЕ-300, на глубину 12 см.

Второй этап (июль – август 2018 года) состоял из восстановления границ опытного участка, определения урожайности методом пробных площадок, отбор образцов культур (20 июля 2018 года). 05 сентября 2018 года Отбор почвенных образцов на каждой делянке был произведен 05

сентября 2018 года согласно схеме опыта для определения изменения агрохимических показателей почвы за летний период. Культивация защитных полос была проведена 15 августа 2018 года агрегатом - МТЗ-82 + РКЕ-300, на глубину 12 см. В 2019 году были продублированы этапы 2018 года без внесения водной суспензии сапонита.

В течение вегетационного периода на опытном участке регулярно проводились вегетационные наблюдения. В 2018 году посев вико-овсяной смеси провели 4 июня, а массовые всходы отмечались 14 июля. Фаза 3 листа зарегистрирована 19 июня, преобладающий размер растений составлял 10 см. Начало кущения у овса зарегистрировано 23 июня, с размером растений 15 см, а начало побегообразования у вики – 28 июня, с размером растений – 20 см, в эту же дату фиксируется начало выхода в трубку у овса, с размером растений 18 см. Начало бутонизации у вики отмечается 14 июля, преобладающий размер растений составляет 35 см, начало колошения у овса регистрируется на день позже - 15 июля, размер растений при этом - 65 см.

В 2019 году посев вико-овсяной смеси провели так же как и в 2018 году – 4 июня, но массовые всходы были зарегистрированы на 4 дня раньше – 10 июня, а фаза 3 листа на 3 дня позже чем в 2018 году – 22 июня, преобладающий размер растений составлял 7-10 см. Начало кущения так же сдвинулось на 5 дней и отмечается 28 июня, с размером растений 20 см. При этом начало побегообразования у вики регистрируется в ту же дату, что и в 2018 году – 28 июня, преобладающий размер растений составлял 18 см. Начало колошения у овса отмечается 14 июля, что значительно позже, чем в 2018 году, преобладающий размер растений овса – 30 см. Начало бутонизации у вики и начало колошения у овса, фиксируются позже, чем в 2018 году – 22 и 26 июля соответственно, но преобладающий размер растений уже больше размеров зафиксированных в 2018 году и составляют 45 см у вики (в 2018 году – 35 см) и 70 см у овса (в 2018 году – 65 см).

2.3.3 Методика проведения исследований по влиянию различных доз и сроков внесения водной суспензии сапонита на показатели кислотности дерново-подзолистой супесчаной почвы

В задачи исследований входило изучение влияния различных доз и сроков внесения водной суспензии сапонита на показатели кислотности (рН) дерново-подзолистой супесчаной почвы в чистом пару. Для решения поставленных задач был проведен полевой.

Исследование проводили период 2018-2019 гг., продолжительность полевого эксперимента составила 16 месяцев, с мая 2018 по август 2019 года (охватывал 2 вегетационных сезона).

Почва опытного участка была дерново-подзолистая супесчаная. По данным агрохимического обследования участок имел следующие агрохимические показатели: рН 5,4 (Потенциометрически), что соответствовало слабокислой степени кислотности почвенной среды, содержание гумуса 3,0 % (средняя степень гумусированности) (по Тюрину), содержание подвижных форм фосфора составляло 985 мг/кг (по Кирсанову), что соответствовало очень высокой степени обеспеченности, содержания подвижных форм калия составляло 192 мг/кг (по Кирсанову), что соответствовало средней степени обеспеченности почвы.

Для минимизации возможного влияния растений на кислотность почвы эксперимент проводили на чистом пару, то есть без посадки культур и с применением всех необходимых агротехнических мероприятий по уничтожению сорной растительности.

Схема эксперимента состояла из 9 вариантов: 1 - контроль (без внесения); 2, 3, 4 и 5 варианты - внесение водной суспензии сапонита в мае 2018 г. (весеннее внесение) из расчета 27 л на делянку (в пересчете на сухой сапонит 3,6 т/га), 48 л на делянку (в пересчете на сухой сапонит 7,3 т/га), 61 л на делянку (в пересчете на сухой сапонит 9,7 т/га) и 82 л на делянку (в пересчете на сухой сапонит 12 т / га) соответственно; 6, 7, 8 и 9 варианты

представляют внесение водной суспензии сапонита в сентябре 2018 года (осеннее внесение) в тех же пропорциях, соответственно.

Эксперимент проводился 4-кратной повторности, делянки с общей площадью 18м²(3 м на 6 м) располагались рендомизированным двухрядным методом. Расстояние между делянками составляло 0,5 м.

Полевой эксперимент состоял из 4 этапов. Первый этап производился с мая по сентябрь 2018 года и включал: работы по разметке земельного участка согласно схеме опыта, с отборами почвенных образцов с каждой делянки опыта (10 мая 2018 года); весеннее дискование в один след на глубину 16 см (15 мая 2018 года), агрегат – Т-150К + БДТ-3,0; весенняя вспашка на глубину 22 см (20 мая 2018 года), агрегат – МТЗ-80 + ПЛН-3-35; культивация на глубину 12 см (22 мая 2018 года), агрегат – МТЗ-82 + РКЕ-300.

Весеннее внесение сапонита (29 мая 2018 года), согласно схеме опыта (варианты 2-5) производилось вручную. После этого проводили культивацию паров (20 июня, 15 июля и 10 августа 2018 года), агрегат - МТЗ-82 + РКЕ-300. Осеннее внесение сапонита согласно схеме опыта (варианты 6-9) было произведено 10 сентября 2018 г. После этого провели осеннее дискование на глубину 16 см (20 сентября 2018 года), агрегат – Т-150К + БДТ-3,0.

Для определения изменений агрохимических показателей в почве за вегетационный период проводили отбор почвенных образцов 05 сентября 2018 г. на каждой делянке, согласно схеме опыта.

Третий и четвертый этапы были проведены с мая по июль 2019 г. и в августе 2019 г. для оценки последствий водной суспензии сапонита. Данные этапы включали в себя проведение необходимых агротехнических мероприятий, восстановление границ опытного участка и отбор проб почвы на показатели рН_{KCl}, гидролитическую кислотность (по Каппену в модификации ЦИНАО), а также количества эквивалентов алюминия (по ЦИНАО). Отбор проб производился с каждой делянки опыта 10 мая 2018 г., 5 сентября 2018 г., 7 мая 2019 г. и 29 августа 2019 г.

2.3.4 Методика проведения исследований по влиянию различных доз водной суспензии сапонита на содержания основных элементов питания (NPK) в почве в условиях модельного опыта

Для определения влияния водной суспензии сапонита на содержание основных элементов питания в почве были проведены модельный опыт на базе лаборатории биогеохимических исследований при кафедре химии и химической экологии Северного федерального (Арктического) университета имени М.В. Ломоносова (САФУ). Химический анализ почв выполнен на базе аккредитованной испытательной лаборатории ФГБУ САС «Архангельская».

Опыт проводился в емкостях объемом $0,0016 \text{ м}^3$ ($0,08\text{м} \times 0,1\text{м} \times 0,2\text{м}$), с примерным объемом почвы - $0,0013 \text{ м}^3$ (рис. 8), в 4х кратной повторности. Дозы внесения водной суспензии сапонита и минерального удобрения (нитрофоска 11:10:11) пересчитаны на объем почвы в емкости.



Рисунок 8 - Проведение модельного опыта

В опыте использовали дерново-подзолистую супесчаную почву Приморского района Архангельской области, которая не подвергалась влиянию антропогенных факторов. Исходная почва имела $\text{pH}_{\text{KCl}} 5,4$

(потенциметрически), содержание нитратного азота 8,49 мг/кг почвы (по ЦИНАО), 325 мг/кг почвы подвижного фосфора (по Кирсанову) и 95 мг/кг почвы подвижного калия (по Кирсанову). Схема опыта состояла из 6 вариантов: 1 – контроль (без внесения водной суспензии сапонита и минеральных удобрений); 2–внесение водной суспензии сапонита в объеме 0,018 мл на 1 кг почвы (в пересчете на сухой сапонит - 4,0 т/га), 3 – внесение водной суспензии сапонита в объеме 0,031 мл на 1 кг почвы (в пересчете на сухой сапонит - 7,0 т/га), 4 – внесение водной суспензии сапонита в объеме 0,040 мл на 1 кг почвы (в пересчете на сухой сапонит - 9,0 т/га), 5 – 0,053 мл на 1 кг почвы (в пересчете на сухой сапонит - 12,0 т/га) и 6 – без внесения водной суспензии сапонита, но с внесением минерального удобрения. Доза внесения удобрения составляет 10 г на одну емкость.

Модельный опыт был заложен в 2019 году и длился 16 недель, с марта по июнь. Опыт состоял из подготовки почвы, внесения водной суспензии сапонита и минеральных удобрений согласно схеме опыта, полива и отбора почвенных образцов на 2, 4, 6, 8, 12 и 16 неделях. В образцах почвы определяли pH_{KCl} – потенциметрически по ГОСТ 26483-85, содержание в почве подвижных соединений фосфора и калия (по Кирсанову) – ГОСТ Р 54650-2011, нитратного азота (по ЦИНАО) – ГОСТ 26488-85.

Для поддержания оптимальной влажности почвы 1 раз в неделю производился полив. Для поддержания влажности на уровне 20 % от полной влагоемкости вносили воду в количестве 170 мг / кг почвы. Емкости оставляли приоткрытыми для естественной вентиляции.

2.4 Методика выполненных работ

Полевые опыты по определению влияния водной суспензии сапонита на pH, гидролитическую кислотность, содержание подвижного фосфора и калия, нитратного азота, кальция и магния, органического вещества, эквивалентов алюминия в почве, а также на качественные и количественные показатели картофеля и вико-овсяной смеси, проводились в строгом

соответствии со стандартными методиками (Доспехов, 1985; Кирюшин, 2005; Литвинов, 2011; Никляев, 2000; Методика исследований по культуре картофеля, 1967). Фенологические наблюдения за наступлением фаз развития и роста растений картофеля проводили по методике НИИКХ (1967).

Все агротехнические мероприятия проводились в соответствии зональными рекомендациями (Корелина, 2016).

Разбивка опытного участка проводилась в соответствии с методикой (Доспехов, 1985; Литвинов, 2011). Схема разбивки опытного участка представлена на рисунке (рис. 9.).



Рисунок 9 - Разбивка участка на делянки (Зеленым цветом – границы делянок; фиолетовым цветом – временные колышки на границах делянок; красным цветом – постоянные колышки; желтым цветом временные линии для восстановления границ делянок)

Статистическая обработка результатов исследований проводилась для определения степени влияния вносимых доз водной суспензии сапонита на агрохимические и эколого-токсикологические показатели почвы, а также на качественные и количественные показатели сельскохозяйственных культур.

Для достижения цели решались следующие задачи:

- сбор, обобщение, группировка, выбраковка аномальных данных;
- проведение описательной статистики;
- выбор методов статистической обработки и проверка законов распределения экспериментальных данных, оценка параметров и числовых характеристик наблюдаемых случайных величин;
- выдвижение гипотез о структуре взаимосвязи переменных данных исследований.

Полученные результаты обрабатывались общепринятыми методами с применением MSExcel и SPSSStatistics. Достоверность различий средних величин оценивалась по критериям Краскела-Уоллиса и Манна-Уитни. Различия для всех приведённых анализов считались значимыми при $p < 0,05$. Дисперсионный и корреляционный анализ экспериментальных данных проводили по методике Доспехова Б.А. (1985).

2.5 Методика отбора проб и определения агрохимических показателей почвы

Отбор почвенных образцов для определения изначальных показателей плодородия земельных участков, на которых будут заложены полевые опыты проводился согласно ГОСТ Р 58595-2019 (Почвы. Отбор проб.).

Отбор почвенных образцов на каждой делянке опытов производился почвенным тростьевым буром, на глубину пахотного горизонта, в количестве 20 уколов. Маршрутный ход прокладывался посередине делянки вдоль ее длинной стороны. Из точечных проб составлялась объединенная проба, масса около 200 г, которая помещалась в холщовый мешочек с вложенной

этикеткой, на которой был обозначен опыт, номер делянки в опыте и вариант опыта.

В камеральных условиях на базе аккредитованной лаборатории ФГБУ САС «Архангельская» в образцах почвы определяли $pH_{КСГ}$ – потенциметрически по ГОСТ 26483-85, гидrolитическую кислотность (по Каппену в модификации ЦИНАО) – ГОСТ 26212-91, содержание в почве подвижных соединений фосфора и калия (по Кирсанову) – ГОСТ Р 54650-2011, нитратного азота (по ЦИНАО) – ГОСТ 26488-85, органического вещества (по Тюрину) – ГОСТ 26213-91, количество эквивалентов алюминия (по ЦИНАО) – ГОСТ 26485-85. Содержание подвижных форм тяжелых металлов меди, цинка, свинца, кадмия, никеля определяли по методике измерений массовых концентраций элементов атомно-абсорбционным методом по ФР 1.31.2012.13573, валовых форм ртути по ФР 1.31.2013.16678, валовое содержание мышьяка определялось согласно МУ «по определению мышьяка в почвах фотометрическим методом».

В модельном опыте в образцах почвы определяли $pH_{сол}$, содержание нитратного азота, подвижных форм фосфора и калия, определяли потери влаги при высушивании почвы (ГОСТ 28268-89), объемную массу (плотность сложения) почвы (ГОСТ 5180-2015).

2.6 Определение урожайности культур и качества продукции

В эксперименте с использованием сапонита при выращивании картофеля учет и уборка урожая производилась следующим образом – на каждой делянке опыта при учете урожая, для минимизации влияния соседних делянок, производилась уборка защитных полос (2 рядка). Уборка картофеля с делянок производилась сплошным методом.

В эксперименте с использованием сапонита при выращивании вико-овсяной смеси, уборка и учет урожая проводились методом пробных площадок. Площадь пробной площадки составляла 0,25 м², число пробных площадок на каждой делянке опыта составляло 4 штуки, итого с каждой

делянки опыта были отобраны пробы с 1 м². Пробы растительности на каждой пробной площадке отбирались вручную, взвешивались и затем вычислялась урожайность.

В образцах картофеля и зеленой массы вико-овсяной смеси определяли содержание сухого вещества гравиметрическим методом (ГОСТ 31640-2012), титриметрическим методом в сухом веществе определяли массовую долю кальция (ГОСТ 26570-95), сырого протеина (ГОСТ 32044.1-2012), растворимых углеводов (сахаров) методом с антроновым реактивом (ГОСТ 26176-91), легкогидролизуемые углеводы (крахмал) (весовой метод) – ГОСТ 26176-91, сырой клетчатки гравиметрическим методом (ГОСТ 31675-2012), сырого жира в аппарате Сокслета по обезжиренному остатку (ГОСТ 13496.15-2016), содержание тяжелых металлов атомно-абсорбционным методом (свинец, кадмий - ГОСТ 30692-2000) удельной активности цезия-137 (ГОСТ 32161-2013) и стронция-90 (ГОСТ 32163-2013) в соответствии с требованиями радиационной безопасности.

В образцах картофеля дополнительно проводили анализы на содержание нитратов фотометрическим методом – МУ 5048-89 и определяли содержание ртути – ГОСТ 34427-2018. В образцах зеленой массы вико-овсяной смеси делали анализы на содержание железа ГОСТ 26928-86 и содержание сырой золы ГОСТ 26226-95.

ГЛАВА 3 ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

3.1 Влияние сапонит-содержащих материалов на свойства почвы

3.1.1 Влияние водной суспензии сапонита на свойства почвы в чистом пару

Вопросы изучения влияния водной суспензии сапонита на свойства почвы в пару изучались в 2018-2019 гг. В исследованиях изучали дозы и сроки внесения сапонита.

Динамика изменения кислотных свойств почвы (обменной и гидролитической кислотности) в чистом пару при внесении водной суспензии сапонита в *весенний* период (май 2018 года) за двухлетний период наблюдения представлена на рисунках (рис. 10, 11).

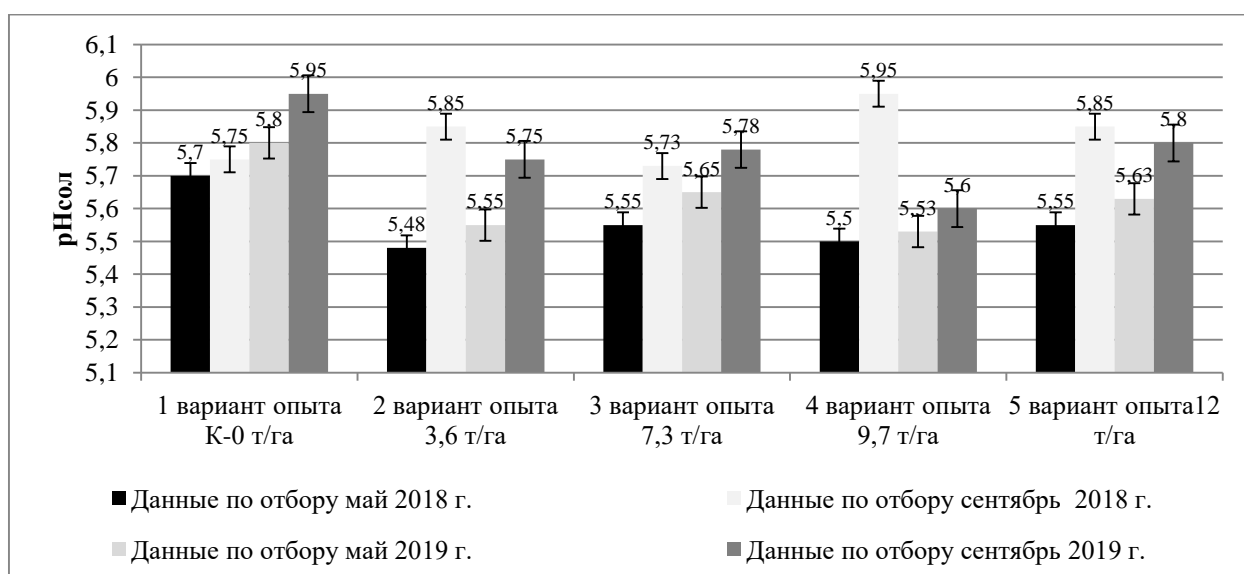


Рисунок 10 - Динамика изменений обменной кислотности почв при внесении сапонита весной (май 2018г.) в чистом пару

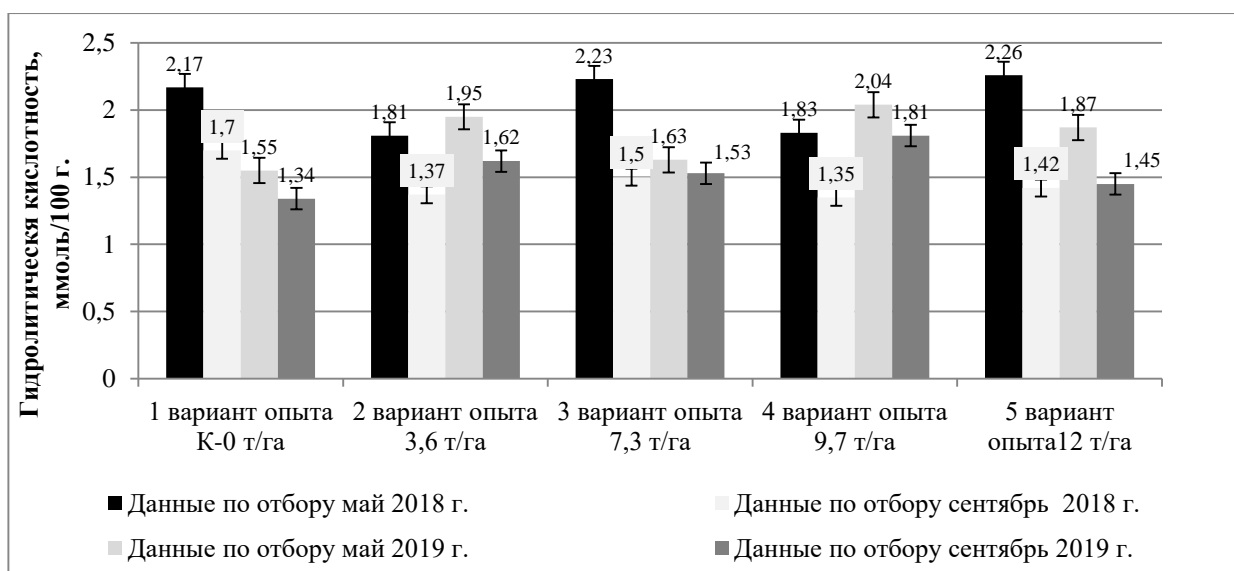


Рисунок 11 - Динамика изменений гидролитической кислотности почв при внесении сапонита весной (май 2018г.) в чистом пару

За период наблюдения с мая 2018 года по сентябрь 2019 года $pH_{\text{сол}}$ почвы в варианте опыта без применения водной суспензии сапонита (контроль) увеличилось на 0,25 единиц pH (с 5,70 до 5,95 ед pH), а значения гидролитической кислотности закономерно снизились на 0,83 ммоль/100 г почвы (с 2,17 до 1,34 ммоль/100 г). Полученные колебания характеризуют естественные природные изменения кислотных свойств почвы на фоне проводимых агротехнических мероприятий в пару, необходимых для борьбы с сорной растительностью.

При тех же механических обработках в вариантах опыта с внесением водной суспензии сапонита в мае 2018 года, наблюдаются схожие колебания изучаемых свойств, но с разной степенью проявления в различные периоды наблюдения (рис. 10). Выявлены колебания значений $pH_{\text{сол}}$ в период лета 2018 года (с 5,48 в мае 2018 года до 5,85 ед. pH в сентябре 2018 при дозе сапонита 3,6 т/га, с 5,55 в мае 2018 года до 5,73 ед. pH в сентябре 2018 при дозе сапонита 7,3 т/га, с 5,50 в мае 2018 года до 5,95 ед. pH в сентябре 2018 при дозе сапонита 9,7 т/га, с 5,55 в мае 2018 года до 5,85 ед. pH в сентябре 2018 при дозе сапонита 12,0 т/га), со снижением к весне 2019 года (с 5,85 ед. pH в сентябре 2018 до 5,55 ед. pH в мае 2019 при дозе сапонита 3,6 т/га, с 5,73 ед. pH в сентябре 2018 до 5,65 ед. pH в мае 2019 при дозе сапонита 7,3

т/га, с 5,95 ед. рН в сентябре 2018 до 5,53 ед. рН в мае 2019 при дозе сапонита 9,7 т/га, с 5,85 ед. рН в сентябре 2018 до 5,63 ед. рН в мае 2019 при дозе сапонита 12,0 т/га) и новым увеличением к осени 2019 года (с 5,55 ед. рН в мае 2019 до 5,75 ед. рН в сентябре 2019 при дозе сапонита 3,6 т/га, с 5,65 ед. рН в мае 2019 до 5,78 ед. рН в сентябре 2019 при дозе сапонита 7,3 т/га, с 5,53 ед. рН в мае 2019 до 5,60 ед. рН в сентябре 2019 при дозе сапонита 9,7 т/га, с 5,63 ед. рН в мае 2019 до 5,80 ед. рН в сентябре 2019 при дозе сапонита 12,0 т/га).

При внесении сапонита в чистом пару весной (май 2018г.) получены противоположные изменения средних значений гидролитической кислотности почв по сравнению с колебаниями значений рН_{сол}. Наибольшие снижения средних значений гидролитической кислотности относительно по сравнению со средними значениями весенних показателей 2018 года (до внесения водной суспензии сапонита) зафиксировано в осенний период 2018 года на делянках при дозе внесения сапонита 12 т/га (-0,83 ммоль/100 г почвы с 2,26 ммоль/100 г почвы до 1,43 ммоль/100 г почвы) и 7,3 т/га (-0,73 ммоль /100 г почвы с 2,23 ммоль/100 г почвы до 1,50 ммоль/100 г почвы). В период дальнейших наблюдений изменения на данных делянках приближались к показателям контрольных делянок.

Таким образом, можно отметить, что на окультуренных дерново-подзолистых почвах при внесении сапонита изменения кислотности почвы заметны лишь в первый период наблюдений (сентябрь 2018 г.). Дальнейшие исследования в вариантах при весеннем внесении (май 2018 г.) водной суспензии сапонита показали снижение к осени 2019 года четких изменений кислотности почвы как обменной, так и гидролитической.

Установленные закономерности можно объяснить тем, что благодаря высокой сорбционной способности частиц сапонита, внесенная в мае 2018 года водная суспензия сапонита способствовала существенному уменьшению концентрации ионов Н⁺ в период с мая по сентябрь 2018 года, что

подтверждается увеличением рН (в среднем с 5,52 до 5,85 ед рН) и снижением гидролитической кислотности (в среднем с 2,03 ммоль/100 г до 1,41 ммоль/100 г) в почвах. Подобные результаты зафиксированы другими авторами (Коршунов, 2007). Дальнейшее снижение величины рН и увеличение гидролитической кислотности к весне 2019 года, вероятно, связано с более активным высвобождением ионов водорода из ППК при насыщении почвы талыми водами.

Динамика изменения кислотных свойств почвы в чистом пару с внесением водной суспензии сапонита в осенний период (сентябрь 2018 года) за период наблюдения представлена на рисунках (рис. 12, 13).

В вариантах опыта при осеннем внесении (сентябрь 2018 г.) водной суспензии сапонита исходные данные значений обменной кислотности выше, чем в вариантах с весенним внесением (май 2018 г.). При этом динамика изменений данного показателя при разных периодах внесения различна. Так, при весеннем внесении (май 2018 г.) наблюдается снижение кислотности на всех вариантах опыта, а при осеннем внесении (сентябрь 2018 г.) тенденция сохранения большей стабильности в значениях рН_{сол}.

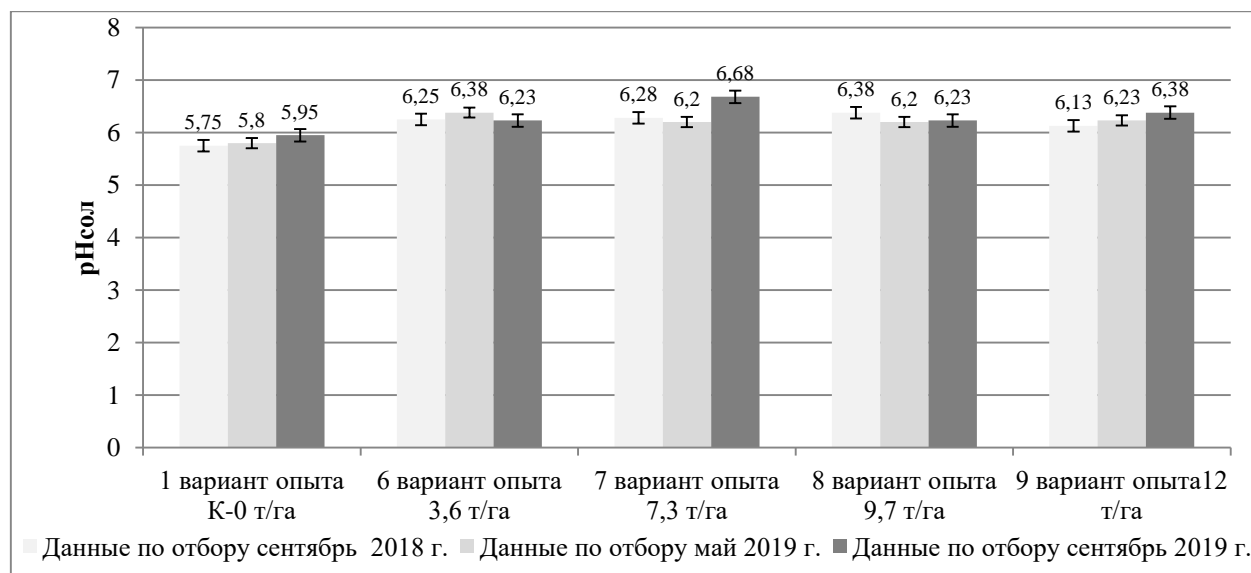


Рисунок 12 - Динамика изменений обменной кислотности при осеннем внесении сапонита (сентябрь 2018 г.) в чистом пару

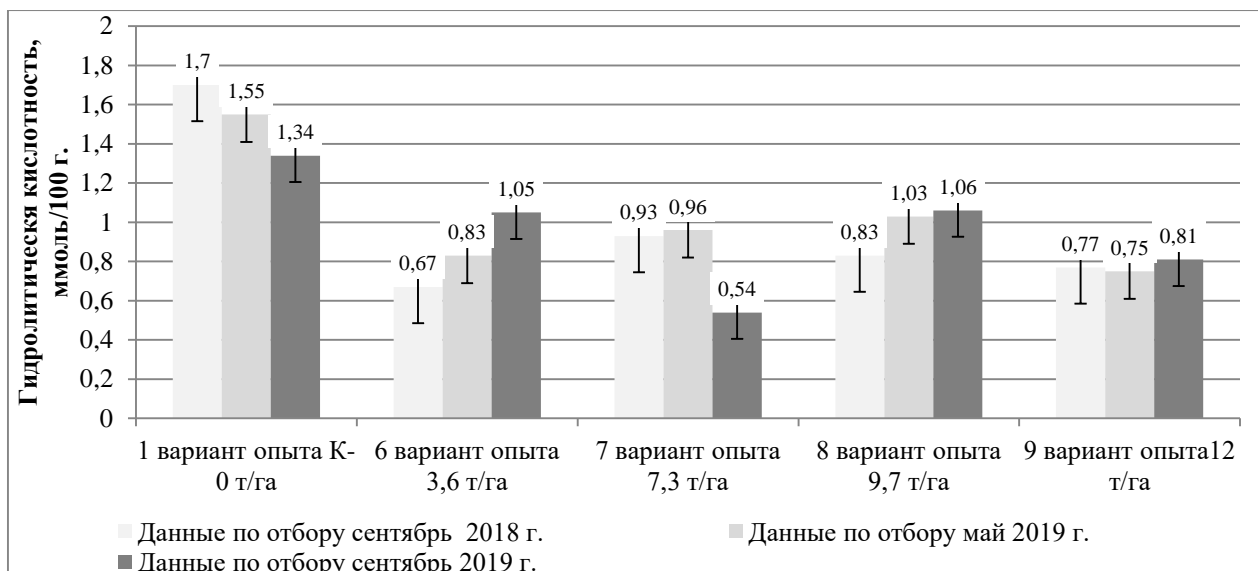


Рисунок 13 - Динамика изменений гидролитической кислотности почв при осеннем внесении сапонита (сентябрь 2018 г.) в чистом пару

Значения гидролитической кислотности на момент отбора осенью 2018 года в вариантах опыта с внесением сапонита в сентябре 2018 года ниже (в среднем 0,77 ммоль/100 г), чем в вариантах с внесением в мае 2018 года (в среднем 1,41 ммоль/100 г). При этом и в динамике значительных изменений не прослеживается. В целом значения гидролитической кислотности, как и значений рН_{сол} в вариантах с осенним внесением (сентябрь 2018 г.), более устойчивы к изменениям, на фоне природно-антропогенных факторов.

Было сделано предположение, что высокие дозы (9 т/га и 12 т/га) водной суспензии сапонита, применяемые в осенний период способны минимизировать естественные природные колебания обменной и гидролитической кислотности.

В исследованиях при весеннем (май 2018 г.) и осеннем (сентябрь 2018г.) внесении сапонита оценивали: влияние сезонных изменений на обменную и гидролитическую кислотность; влияние внесений различных доз сапонита на обменную и гидролитическую кислотность; совместное влияние сезонных изменений и различных доз сапонита на обменную и гидролитическую кислотность. Результаты исследований представлены (Приложение Б, табл. 2-5). Проведение многофакторного дисперсионного анализа позволило выявить, что сезонные изменения при весеннем (май 2018

г.) внесении сапонита статистически значимы. Внесение сапонита весной (май 2018 г.) способствует достоверному изменению обменной (Р-значения $0,007 < \alpha 0,05$, и гидролитической (Р-значения $0,0008 < \alpha 0,05$) кислотности почвы.

В тех же условиях в опыте по изучению различных доз водной вытяжки сапонита изменения показателей кислотности почв оказались не достоверными. Были выявлены несущественные изменения величины рН_{сол} (Р-значение $0,878 > \alpha 0,05$) и гидролитической кислотности (Р-значение $0,988 > \alpha 0,05$). Взаимное влияние различных доз сапонита и сезонности изменений на обменную (Р-значение $0,990 > \alpha 0,05$) и гидролитическую (Р-значение $0,904 > \alpha 0,05$) кислотности почвы так же оказались не существенными.

При осеннем внесении сапонита (сентябрь 2018 г.) влияние различных доз внесения сапонита на показатели обменной кислотности почвы оказались существенными (Р-значение $0,0004 < \alpha 0,05$). В тех же условиях статистическая оценка сезонных изменений показателей кислотности (Р-значение $0,243 > \alpha 0,05$) и взаимного влияния этих двух факторов показала статистически не значимые изменения обменной кислотности (Р-значения $0,903 > \alpha 0,05$). Однако было доказано влияние на гидролитическую кислотность как различных доз сапонита (Р-значение $0,00001 < \alpha 0,05$), так и сезонных изменений (Р-значение $0,027 < \alpha 0,05$), при этом взаимного влияния этих двух факторов доказано не было (Р-значения $0,950 > \alpha 0,05$).

Колебания значений гидролитической кислотности в вариантах с весенним и осенним внесением водной суспензии сапонита не выходят за оптимальные нормы для сельскохозяйственных растений.

Помимо ионов H^+ потенциальную кислотность также определяют и ионы Al^{3+} . Наличие алюминия в поглощенном состоянии повышает кислотность твердой фазы и почвенного раствора. Помимо этого, высокие концентрации алюминия являются токсичными для растений, так же алюминий переводит подвижный фосфор в труднодоступные формы

(Уровень токсических веществ в почве, 2022). Широко известно, что основным источником обменного алюминия в почве считается алюминий кристаллической решетки глинистых минералов и гидроксид алюминия. В связи с тем, что сапонит - это глинистый минерал, теоретически предполагалось его влияние на увеличение содержания Al^{3+} в почве. Поэтому в задачи проведенных исследований входила оценка влияния различных доз водной суспензии сапонита на количество эквивалентов ионов алюминия (рис.14).

Во всех вариантах опыта вне зависимости от периода внесения и использованных доз водной суспензии сапонита отмечается постепенное незначительное увеличение средних значений количества эквивалентов ионов алюминия, но величина изменений не превышает 0,09 ммоль/100г.

Статистическая обработка с использованием многофакторного дисперсионного анализа (Приложение Б, табл. 6) показала статистически значимое влияние сезонных изменений внесения сапонита на количество эквивалентов ионов алюминия (P -значение $0,00001 < \alpha 0,05$). При этом статистически не значимым оказались изменения количества эквивалентов ионов алюминия, как при внесении различных доз водной суспензии сапонита (P -Значение $0,973 > \alpha 0,05$), так и при взаимном влиянии доз сапонита и сезонных колебаний (P -Значение $0,597 > \alpha 0,05$).

Незначительные изменения содержания алюминия в почве позволяют сделать вывод об отсутствии его дополнительного поступления в почву за счет внесения сапонит-содержащих материалов.

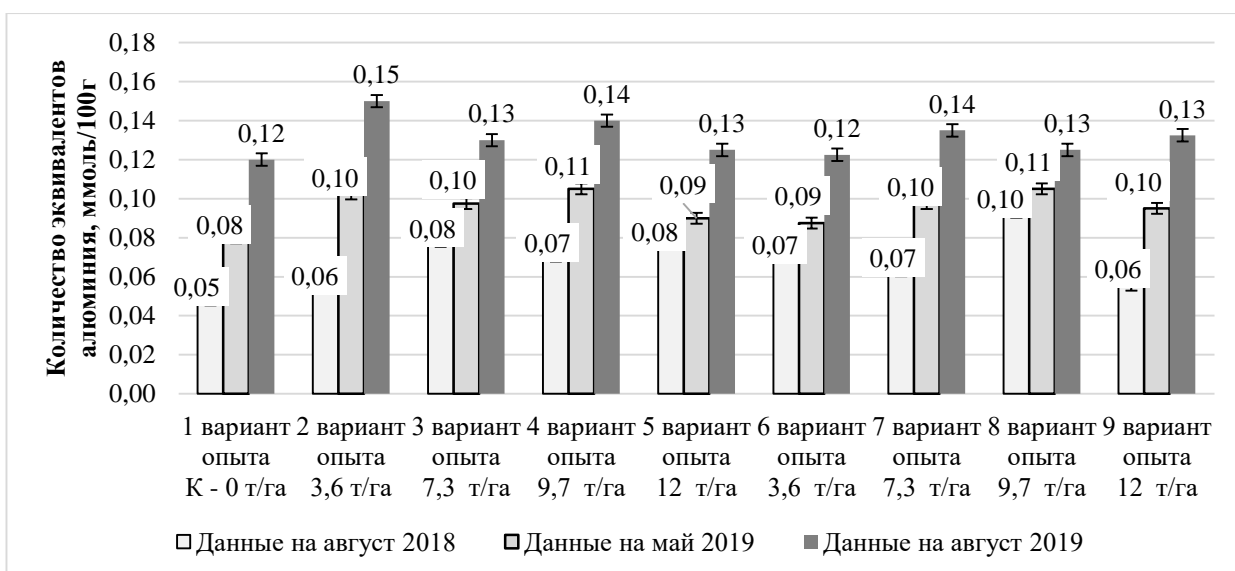


Рисунок 14 - Влияние сапонита на количество эквивалентов ионов алюминия при внесении водной суспензии сапонита в мае 2018 г. (варианты 2, 3, 4 и 5) и сентябре 2018 г. (варианты 6, 7, 8 и 9)

Таким образом, можно сделать выводы, что внесение водной суспензии сапонита в весенний период оказывает устойчивое снижение обменной и гидролитической кислотности (на 0,35 ед. рН) за первый вегетационный период, на фоне агротехнических мероприятий, производимых на чистом пару, наиболее значительные изменения наблюдаются при применении доз 3,6 т/га (с 5,48 до 5,85 ед. рН) и 9,7 т/га (с 5,50 до 5,95 ед. рН). На второй год наблюдений влияние водной суспензии сапонита снижается.

Осеннее внесение водной суспензии сапонита (сентябрь 2018 г.) способствовало большему влиянию минерала на гидролитическую кислотность, чем на обменную кислотность. Вероятно, сапонит оказывает глубокое действие почвенно-поглощающий комплекс почвы, вытесняя поглощенный водород из почвенной мицеллы, за счет обеспеченности минерала кальцием и магнием, который в свою очередь поглощается ППК почвы.

На дерново-подзолистых супесчаных почвах в условиях северо-таежной зоны, при однократном внесении в осенний период водной суспензии сапонита может незначительно снижаться кислотность за зимний период (в среднем с 6,1 до 6,26 ед. рН) и проявляться последствие по

поддержанию оптимального кислотного и солевого режима почв. В тоже время однократное применение водной суспензии сапонита, как при весеннем, так и при осеннем внесении не оказывает существенного влияния на обменную и гидролитическую кислотность дерново-подзолистой супесчаной окультуренной почвы в среднем за двухлетний период наблюдения.

3.1.2 Влияние водной суспензии сапонита на агрохимические свойства почвы при выращивании картофеля и вико-овсяной смеси

Приоритетной отраслью агропромышленного комплекса Архангельской области определено молочное животноводство (Правительство Архангельской области, 2021). Поэтому в области преобладает выращивание кормовых трав. Область расположена на севере России, где продолжительный световой период в течение вегетации предполагает благоприятные условия для выращивания картофеля, а сильные морозы в зимний период не позволяют развиваться вредителям. В связи с этим в задачи исследований входило изучение влияния водной суспензии сапонита на урожайность и качество наиболее востребованных у сельхозтоваропроизводителей Архангельской области культур – картофеля и вико-овсяную смесь.

В опытах с *картофелем* и *вико-овсяной смесью* изучали влияние внесенного минерала на кислотность почвы, содержание в почве питательных элементов (подвижных форм фосфора, подвижных форм калий и нитратный азот) и органического вещества. В опытах с *вико-овсяной смесью* помимо перечисленных показателей, определяли содержание обменного кальция и магния в почвах.

3.1.2.1 Кислотность почв, содержание подвижных форм фосфора и калия в опытах с картофелем и с вико-овсяной смесью

Динамика изменения кислотность почв.

Если рассматривать тенденцию естественных природных изменений (контрольный вариант – 0 т/га), то за летний период 2018 года в опытах с картофелем и с вико-овсяной смесью, наблюдается снижение значений рН_{сол} (рис. 15, 16), с дальнейшим увеличением данного значения к весне 2019 года и вновь снижением к осени 2019 год. Данные колебания характерны для двух разных опытов, заложенных в один и тот же период, но на разных полях. В 2020 году (рис 15) тенденция колебаний повторяется. Все наблюдаемые изменения проходят на фоне агротехнических мероприятий, проводимых при выращивании *картофеля* (рис. 15) и *вико-овсяной смеси* (рис.16).

В опыте *с картофелем* (рис. 15) исходные значения (показатели на весну 2018 г.) во всех вариантах опыта равны (рН5.4) и соответствуют слабокислой реакции почвенной среды. При этом колебания изменений кислотности в вариантах с применением водной суспензии сапонита дублируют естественные природные (контроль - сапонит 0 т/га), но с меньшей амплитудой изменений, выравнивая кислотность. Изменения составляют менее 10 %, что является незначительным и соответствует природным колебаниям.

Примечательно, что при внесении сапонита весной (май 2018 г.) в чистом пару (рис.10) во всех вариантах наблюдаются диаметрально противоположные колебания (рис. 15). При внесении различных до сапонита (3,6 т/га, 7,3 т/га, 9,7 т/га и 12 т/га) осенью (сентябрь 2018 г.) в чистом пару получены схожие колебания (рис. 11), что и в контрольном варианте.

Уровень кислотности на опытном участке к осени 2020 года во всех вариантах опыта остался на прежнем уровне (слабокислая реакция почвенной среды).

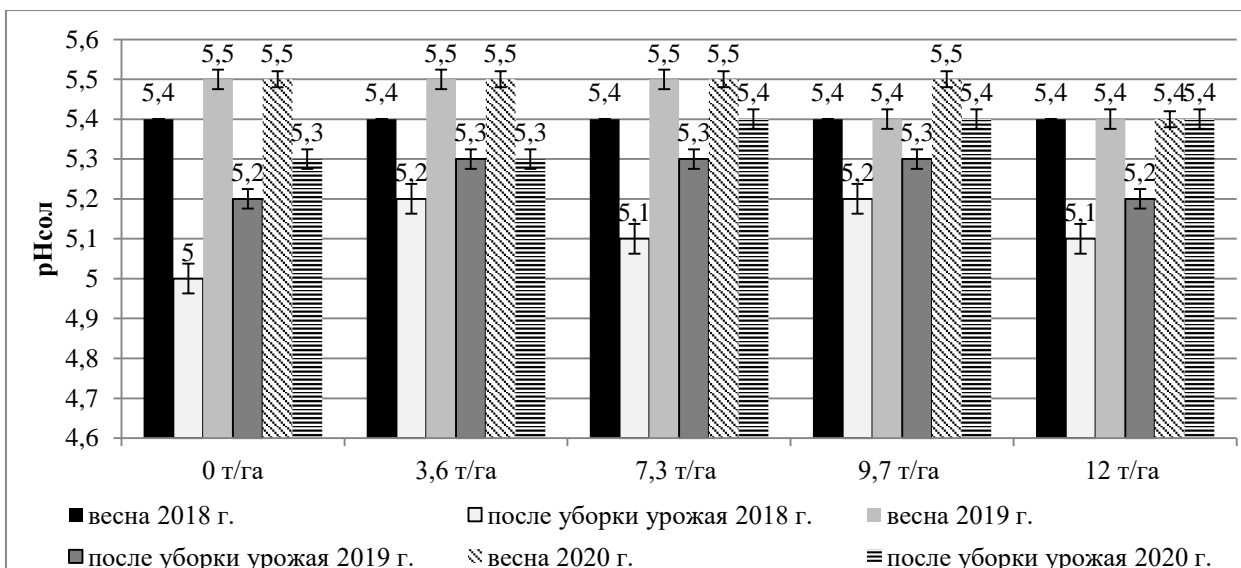


Рисунок 15 - Влияние сапонита на изменения обменной кислотности почв в опыте с картофелем

Статистическая обработка методом многофакторного дисперсионного анализа (Приложение В, табл. 2) в опыте с картофелем не выявила значимого влияния различных доз сапонита на $pH_{\text{сол}}$ за весь период проведения опыта (P -значение $0,344 > \alpha 0,05$). Однако при этом зафиксировано значимое влияние сезонных изменений на кислотность почвы (P -значение $0,000 < \alpha 0,05$). Взаимное влияние этих двух факторов не доказано (P -значение $0,684 > \alpha 0,05$).

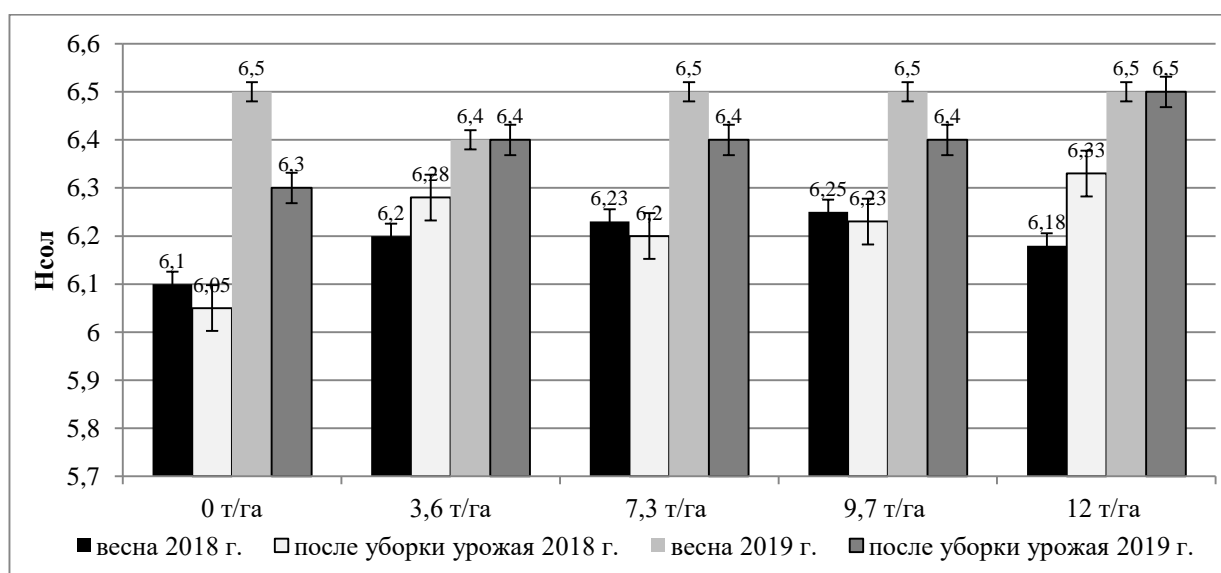


Рисунок 16 - Влияние сапонита на изменения обменной кислотности почв в опыте с вико-овсяной смесью

Исходные показатели (данные на весну 2018 г.) кислотности почв во всех вариантах опыта с *вико-овсяной смесью* (рис. 16) соответствуют нейтральной реакции почвенной среды. При этом изменения в контрольном варианте дублируют лишь варианты с дозировкой сапонита 7,3 т/га и 9,7 т/га, а в вариантах с дозировками сапонита 3,6 т/га и 12 т/га наблюдается стабильное незначительно подщелачивание почвы весь период наблюдения. В варианте с дозой сапонита 3,6 т/га с 6,2 ед. рН весной 2018 года до 6,4 ед. рН осенью 2019 года, а в варианте с дозой сапонита 12 т/га весной 2018 года – 6,2 ед. рН, осенью 2019 года – 6,5 ед. рН.

Похожие изменения были зафиксированы в опыте при внесении сапонита в дозе 12,0 т/га осенью (сентябрь 2018 г.) в чистом пару (рис. 12). Так в опыте с *вико-овсяной смесью* в варианте с дозой сапонита 3,6 т/га весной 2018 года $pH_{КС1}$ составлял 6,2, а осенью 2019 года – 6,4 ед. рН, а в варианте с дозой сапонита 12 т/га весной 2018 года – 6,1 ед. рН, осенью 2019 года – 6,5 ед. рН.

Статистическая обработка методом многофакторного дисперсионного анализа (Приложение Г, табл. 2) в опыте с *вико-овсяной смесью* не выявила значимого влияния на рН почвенной среды, ни различных доз сапонита (Р-значение $0,983 > \alpha 0,05$), ни сезонных изменений (Р-значение $0,938 > \alpha 0,05$), ни при взаимодействии этих факторов (Р-значение $0,999 > \alpha 0,05$).

Динамика изменения содержания подвижных форм фосфора. Естественные природные изменения в контрольных вариантах (сапонит – 0 т/га) содержания подвижных форм фосфора в почве в опытах с картофелем и *вико-овсяной смесью* подвержены тенденции незначительного снижения за летний период и накопления за зимний период (рис. 17, 18). В опыте с картофелем в контрольном варианте за летний период 2018 года снизились с 978 мг/кг почвы до 859 мг/кг почвы, с дальнейшим повышением за осенне-весенний период до 995 мг/кг почвы, за летний период 2019 года фиксируется вновь снижение с 995 мг/кг почвы до 946 мг/кг почвы, с

дальнейшим повышением до 1123 мг/кг почвы к весне 2020 года и снижением до 1070 мг/кг почвы к осени 2020 года. В опыте с вико-овсяной смесью тенденция колебаний содержания подвижного фосфора в контрольном варианте, без внесения сапонита, сохраняется. Весной 2018 года содержание подвижного фосфора в почве контрольного варианта составляет 534,5 мг/кг почвы, снижается к осени 2018 года до 505,7 мг/кг почвы, затем фиксируется повышение к весне 2019 года до 584 мг/кг почвы и вновь снижение до 554 мг/кг почвы к осени 2019 года. Данные изменения вероятно связаны с выносом подвижных форм фосфора за летний период с урожаем, а накопление – переходом валовых форм фосфора в подвижные и поступление в почву элементов с растительным опадом.

Изменения содержания подвижных форм фосфора в почве при выращивании *с картофеля* (рис. 17) во вариантах опыта с применением водной суспензии сапонита на протяжении периода наблюдения дублируют тенденцию естественных изменений в контрольном варианте (сапонит– 0 т/га), но с большим приростом к весне 2020 года в вариантах с дозой сапонита 7,3 т/га, 9,7 т/га и 12 т/га. Так в контрольном варианте прирост содержания подвижного фосфора к весне 2020 года составил 145 мг/кг почвы (с 978 мг/кг весной 2018 года до 1123 мг/кг весной 2020 года), в то время как прирост в варианте с дозой сапонита 7,3 т/га составил – 270 мг/кг (с 988 мг/кг весной 2018 года до 1258 мг/кг весной 2020 года), в варианте с дозой 9,7 т/га – 253 мг/кг (с 1011 мг/кг весной 2018 года до 1264 мг/кг весной 2020 года), а в варианте с дозой сапонита 12 т/га – 167 мг/кг (с 992 мг/кг весной 2018 года до 1159 мг/кг весной 2020 года).

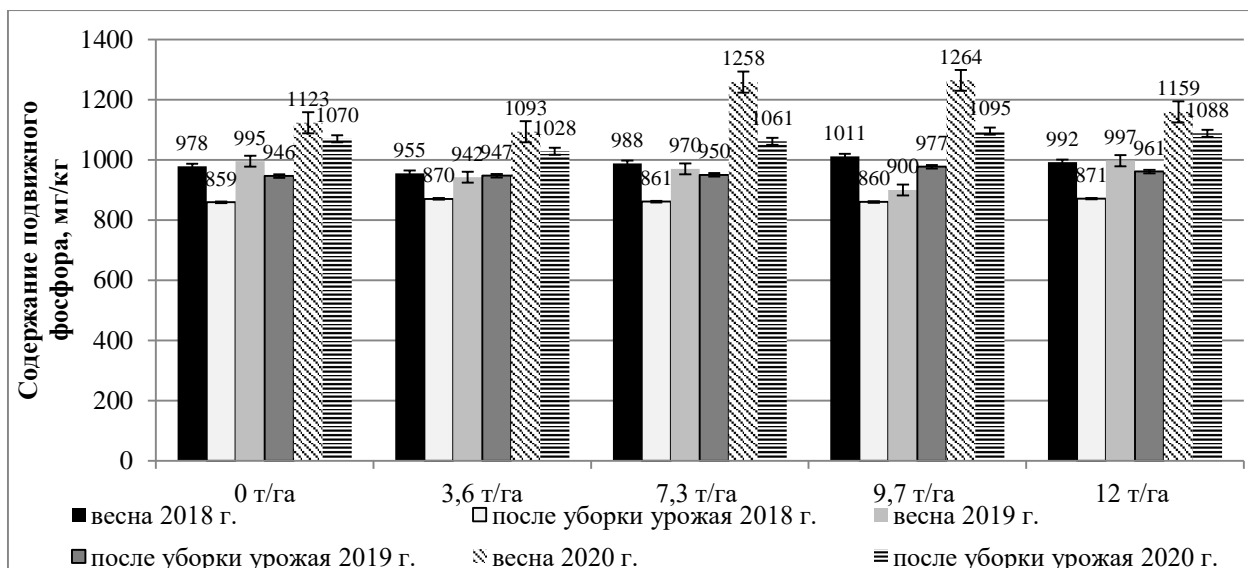


Рисунок 17 - Влияние сапонита на изменения содержания подвижных форм фосфора в почве при выращивании картофеля

На третий год проведения полевого опыта (результаты испытаний, после уборки урожая 2020 г.) показано увеличение содержания подвижных форм фосфора во всех вариантах опыта относительно исходных данных 2018 года. Изменения в содержании подвижных форм фосфора находятся в пределах 10% (содержание фосфора в почве опытного участка осталось по-прежнему очень высоким), что можно объяснить естественными природными колебаниями. Так в контрольном варианте прирост содержания подвижного фосфора к осени 2020 года составил 92 мг/кг почвы (с 978 мг/кг весной 2018 года до 1070 мг/кг осенью 2020 года), в то время как прирост в вариантах с дозами сапонита 3,6 т/га и 7,3 т/га составил – 73 мг/кг (с 955 мг/кг весной 2018 года до 1028 мг/кг осенью 2020 года в варианте с дозой сапонита 3,6 т/га и с 988 мг/кг весной 2018 года до 1061 мг/кг осенью 2020 года в варианте с дозой сапонита 7,3 т/га), в варианте с дозой 9,7 т/га – 84 мг/кг (с 1011 мг/кг весной 2018 года до 1095 мг/кг осенью 2020 года), а в варианте с дозой сапонита 12 т/га – 96 мг/кг (с 992 мг/кг весной 2018 года до 1088 мг/кг осенью 2020 года).

Статистическая обработка методом многофакторного дисперсионного анализа (Приложение В, табл. 3) результатов, полученных в опыте с картофелем за весь период наблюдения, выявила значимое влияние на

содержание подвижного фосфора сезонных изменений (P -значение $0,000 < \alpha < 0,05$). При этом ни применение различных доз сапонита (P -значение $0,887 > \alpha > 0,05$), ни взаимного влияния этих факторов (P -значение $0,999 > \alpha > 0,05$) статистически не влияют на содержание подвижных форм фосфора.

Изменения содержания подвижных форм фосфора в почве при выращивании *вико-овсяной смеси* (рис. 18) в вариантах опыта с применением различных доз водной суспензии сапонита за период с весны 2018 года до весны 2019 года дублируют тенденцию естественных изменений в контрольном варианте – 0 т/га. Однако в отличие от контрольного варианта, во всех вариантах с применением водной суспензии сапонита зафиксировано увеличение содержания подвижных форм фосфора за летний период 2019 года. При этом, если сравнивать начальные показатели (результаты испытаний, весна 2018 г.) с конечными показателями (результаты испытаний, после уборки урожая 2019 г.), то наблюдается незначительное снижение содержания подвижного фосфора в почве (в пределах 10%) - во всех вариантах опыта, кроме контрольного варианта (без внесения сапонита). Так в контрольном варианте прирост содержания подвижного фосфора к осени 2019 года составил 19,2 мг/кг почвы (с 534,5 мг/кг весной 2018 года до 554 мг/кг осенью 2019 года), в то время как в вариантах с дозами сапонита 3,6 т/га снижение составило 16,3 мг/кг (с 566,3 мг/кг весной 2018 года до 550 мг/кг осенью 2019 года), в варианте с дозой сапонита 7,3 т/га снижение на 31,75 мг/кг (с 582,8 мг/кг весной 2018 года до 551 мг/кг осенью 2019 года), в варианте с дозой 9,7 т/га снижение на 24,3 мг/кг (с 581,3 мг/кг весной 2018 года до 557 мг/кг осенью 2019 года), а в варианте с дозой сапонита 12 т/га снижение на 14,3 мг/кг (с 570,3 мг/кг весной 2018 года до 556 мг/кг осенью 2019 года).

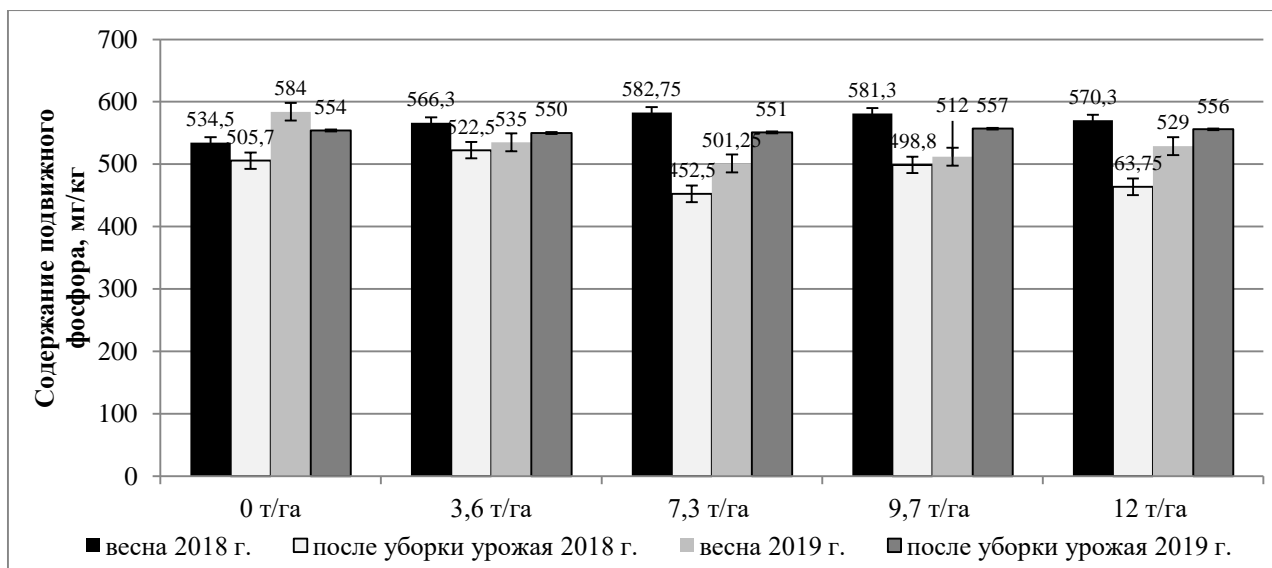


Рисунок 18 - Влияние сапонита на изменение содержания подвижных форм фосфора почв при выращивании вико-овсяной смеси

Статистическая обработка, полученных результатов методом многофакторного дисперсионного анализа (Приложение Г, табл. 3) в опыте с вико-овсяной смесью не выявила значимого влияния на содержание подвижных форм фосфора, ни при внесении различных доз сапонита (P -значение $0,476 > \alpha 0,05$), ни при оценке сезонных изменений (P -значение $0,688 > \alpha 0,05$), ни при оценке взаимного влияния этих факторов (P -значение $0,996 > \alpha 0,05$).

Динамика изменений содержания подвижных форм калия в почве. При анализе изменений содержания подвижных форм калия в почве при выращивании *картофеля* (рис. 19) показано снижение содержания данного элемента во всех вариантах опыта за вегетационные периоды 2018 и 2019 гг. Так в контрольном варианте снижение содержания подвижного калия к осени 2018 года составил 65 мг/кг почвы (с 179 мг/кг весной 2018 года до 114 мг/кг осенью 2018 года), в вариантах с дозами сапонита 3,6 т/га снижение составило 69 мг/кг (с 177 мг/кг весной 2018 года до 108 мг/кг осенью 2018 года), в варианте с дозой сапонита 7,3 т/га снижение на 99 мг/кг (с 216 мг/кг весной 2018 года до 117 мг/кг осенью 2018 года), в варианте с дозой 9,7 т/га снижение на 71 мг/кг (с 197 мг/кг весной 2018 года до 126 мг/кг осенью 2018

года), а в варианте с дозой сапонита 12 т/га снижение на 57 мг/кг (с 176 мг/кг весной 2018 года до 119 мг/кг осенью 2018 года).

Вместе с тем за осенне-зимний период 2018-2019 гг. произошло значительное повышение содержания подвижных форм калия во всех вариантах опыта. В контрольном варианте повышение содержания подвижного калия к весне 2019 года составил 94 мг/кг почвы (с 114 мг/кг осенью 2018 года до 208 мг/кг весной 2019 года), в варианте с дозой сапонита 3,6 т/га повышение составило 71 мг/кг (с 108 мг/кг осенью 2018 года до 179 мг/кг весной 2019 года), в варианте с дозой сапонита 7,3 т/га повышение на 116 мг/кг (с 117 мг/кг осенью 2018 года до 233 мг/кг весной 2019 года), в варианте с дозой 9,7 т/га повышение на 112 мг/кг (с 126 мг/кг осенью 2018 года до 238 мг/кг весной 2019 года), а в варианте с дозой сапонита 12 т/га отмечается повышение на 106 мг/кг (с 119 мг/кг осенью 2018 года до 225 мг/кг весной 2019 года). За осенне-зимний период 2019-2020 гг содержание калия в почве в контрольном варианте и при внесении сапонита в дозе 12 т/га осталось на прежнем уровне, так в контрольном варианте опыта содержание подвижного калия повысилось лишь на 2 мг/кг (с 166 мг/кг осенью 2019 года до 168 мг/кг весной 2020 года), а в варианте опыта с дозой сапонита 12 т/га содержание подвижного калия уменьшилось на 5 мг/кг (с 151 мг/кг осенью 2019 года до 146 мг/кг весной 2020 года). В остальных же вариантах зафиксировано накопление данного элемента. В варианте опыта с дозой сапонита 3,6 т/га повышение составило 30 мг/кг (с 142 мг/кг осенью 2019 года до 172 мг/кг весной 2020 года), в варианте с дозой сапонита 7,3 т/га повышение на 54 мг/кг (с 152 мг/кг осенью 2019 года до 206 мг/кг весной 2020 года), в варианте с дозой 9,7 т/га повышение на 22 мг/кг (с 167 мг/кг осенью 2019 года до 189 мг/кг весной 2020 года). Накопление подвижных форм калия в почве за летний период 2020 года, вероятно, связано с погодными условиями (теплый и достаточно влажный год).

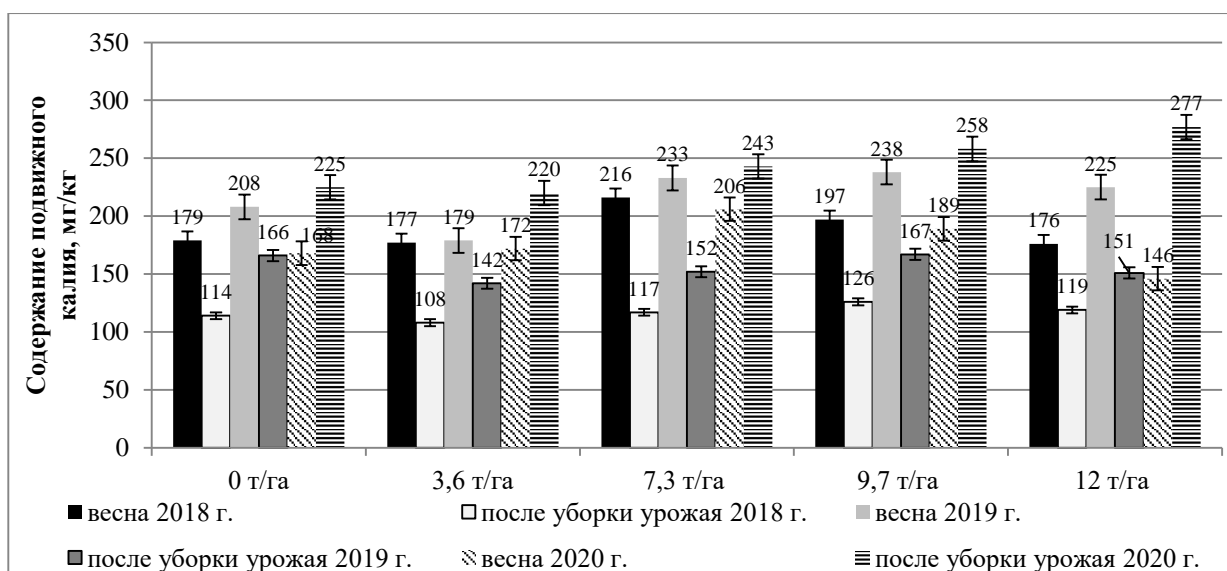


Рисунок 19 - Влияние сапонита на изменение содержания подвижных форм калия в почве при выращивании картофеля

При сравнении исходных данных (результаты испытаний, весна 2018г) с полученными показателями после уборки урожая (2020 г) выявлено увеличение содержания подвижных форм калия во всех вариантах опыта. Больше всего накопление элемента наблюдалось в варианте 12 т/га (43% по сравнению с контролем без внесения сапонита). Однако, статистическая обработка результатов исследований методом многофакторного дисперсионного анализа (Приложение В, табл. 4) в опыте с картофелем не выявила существенного влияния на содержание подвижных форм калия, ни при оценке действия различных доз сапонита (P -значение $0,385 > \alpha 0,05$), ни при оценке сезонных изменений (P -значение $0,147 > \alpha 0,05$), ни при оценке взаимного влияния этих факторов (P -значение $0,608 > \alpha 0,05$).

Тенденция изменений содержания подвижных форм калия в почве при выращивании *вико-овсяной смеси* (рис. 20) при применении различных доз сапонита схожа с естественными изменениями в контрольном варианте (без внесения сапонита). За вегетационный период 2018 г выявлен незначительный прирост в контрольном варианте (с 130,8 мг/кг весной 2018 года до 186,3 мг/кг осенью 2018 года) и при внесении сапонита в дозах 3,6 т/га (с 131,8 мг/кг весной 2018 года до 180,5 мг/кг осенью 2018 года) и 9,7 т/га (с 132,0 мг/кг весной 2018 года до 176,8 мг/кг осенью 2018 года), при

внесении сапонита в дозах 7,3 т/га (с 168,8 мг/кг весной 2018 года до 145,0 мг/кг осенью 2018 года) и 12 т/га (с 172,5 мг/кг весной 2018 года до 170,8 мг/кг осенью 2018 года) отмечается незначительное снижение содержания подвижных форм калия. За осенне-зимний период 2018-2019 гг. произошло значительное повышение содержания подвижного калия со значительным снижением к осени 2019 г. во всех вариантах опыта. Так в контрольном варианте повышение содержания подвижного калия за летний период 2019 года составило 177,7 мг/кг (с 186,3 мг/кг осенью 2018 года до 364 мг/кг к весне 2019 года) с дальнейшим снижением на 255 мг/кг к осени 2019 года (до 109 мг/кг). В варианте с дозой сапонита 3,6 т/га повышение содержания подвижного калия за летний период 2019 года составило 329,5 мг/кг (с 180,5 мг/кг осенью 2018 года до 510 мг/кг к весне 2019 года) с дальнейшим снижением на 399 мг/кг к осени 2019 года (до 111 мг/кг). В варианте с дозой сапонита 7,3 т/га повышение содержания подвижного калия за летний период 2019 года составило 249,0 мг/кг (с 145 мг/кг осенью 2018 года до 394 мг/кг к весне 2019 года) с дальнейшим снижением на 273 мг/кг к осени 2019 года (до 121 мг/кг). В варианте с дозой сапонита 9,7 т/га повышение содержания подвижного калия за летний период 2019 года составило 127,2 мг/кг (с 176,8 мг/кг осенью 2018 года до 304 мг/кг к весне 2019 года) с дальнейшим снижением на 182 мг/кг к осени 2019 года (до 122 мг/кг). В варианте с дозой сапонита 12 т/га повышение содержания подвижного калия за летний период 2019 года составило 183,2 мг/кг (с 170,8 мг/кг осенью 2018 года до 354 мг/кг к весне 2019 года) с дальнейшим снижением на 225 мг/кг к осени 2019 года (до 129 мг/кг).

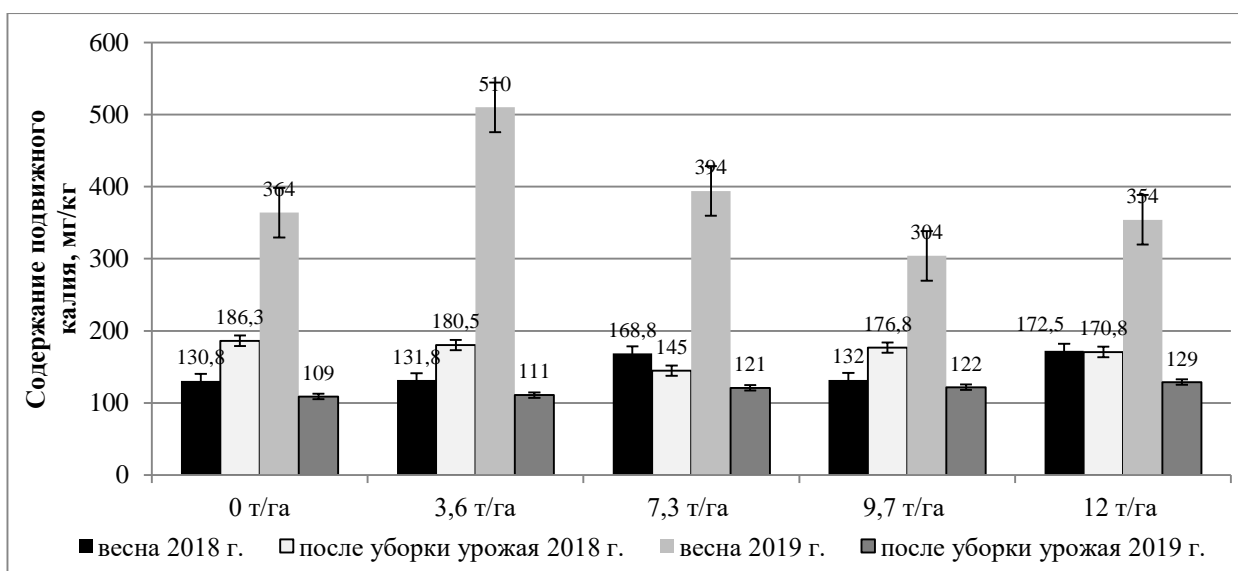


Рисунок 20 - Влияние сапонита на изменение содержания подвижных форм калия в почве при выращивании вико-овсяной смеси

При сравнении исходных данных (результаты испытаний, весна 2018 г) с конечными показателями, полученными после уборки урожая (2019 г) получено снижение содержания подвижных форм калия (в пределах 14-25%) во всех вариантах опыта, что можно объяснить естественными природными колебаниями и выносом питательных веществ с урожаем основной продукции вико-овсяной смеси. Наибольшее снижение содержания подвижных форм калия на 25 % получено при внесении сапонита в дозах 7,3 т/га и 12 т/га по сравнению с контрольным вариантом (без внесения сапонита). Так в контрольном варианте без внесения сапонита снижение составило 21,8 мг/кг (с 130,8 мг/кг весной 2018 года до 109 мг/кг осенью 2019 года), в варианте опыта с внесением сапонита в дозе 7,3 т/га снижение составляет 47,8 мг/кг (с 168,8 мг/кг весной 2018 года до 121,0 мг/кг осенью 2019 года). Меньше всего потери подвижного калия (14 %) наблюдались в варианте с дозой внесения сапонита 9,7 т/га (с 132 мг/кг весной 2018 года до 122 мг/кг осенью 2019 года).

Статистическая обработка полученных результатов исследований в опыте с вико-овсяной смесью методом многофакторного дисперсионного анализа (Приложение Г, табл. 4) выявила существенные изменения содержания подвижных форм калия при оценке сезонных изменений (Р-

значение $0,000 < \alpha 0,05$). При этом оценка изменений содержания подвижных форм при применении различных доз сапонита (Р-значение $0,714 > \alpha 0,05$), а также оценка взаимного влияния этих факторов (Р-значение $0,998 > \alpha 0,05$) статистически не доказывают значимость этих изменений.

3.1.2.2 Содержание органического вещества и нитратного азота в почве при выращивании картофеля

Изменения содержания органического вещества при выращивании картофеля (рис. 21). В период с весны 2018 по весну 2020 гг. во всех вариантах опыта зафиксирована схожая тенденция: на снижение содержания органического вещества за летний период с повышением за зимний период. Так в контрольном варианте зафиксировано снижение содержания органического вещества на 0,5 % органического вещества (с 2,7 % весной 2018 года до 2,2 % осенью 2018 года) с дальнейшим повышением на 0,5 % органического вещества (до 2,7 % весной 2019 года) повторным снижением к осени 2019 года на 0,4% органического вещества (до 2,3 %) и вновь повышением на 1 % органического вещества (до 3,3 весной 2020 года). В вариантах с внесением сапонита данное снижение проявляется сильнее. Так в период с весны 2018 года до осени 2019 года самые значительные изменения наблюдаются в варианте с дозой внесения сапонита 9,7 т/га – 1,4 % органического вещества с весны 2018 года (до 3,2 % органического вещества) до осени 2018 года (до 1,8 % органического вещества), 1% органического вещества с осени 2018 года до весны 2019 года (до 2,8 % органического вещества). А в период с весны 2019 года по весну 2020 года максимальное повышение содержание органического вещества зафиксировано в варианте с дозой внесения сапонита 12 т/га и составило соответственно снижение на 0,7 % органического вещества к осени 2019 года (с 2,9 % органического вещества весной 2019 года до 2,2 % органического вещества осенью 2019 года), повышение на 1,1 % органического вещества к весне 2020 года (до 3,3 % органического вещества).

В летний период 2020 года тенденция изменений в вариантах с внесением сапонита отличается от изменений в контрольном варианте. В вариантах с дозами сапонита 3,6 и/га и 12 т/га наблюдается фиксация значений содержания органического вещества на значениях 3,2 % и 3,3 % органического вещества соответственно. В вариантах опыта с дозами 7,3 т/га и 9,7 т/га отмечается незначительный прирост содержания органического вещества с 3,2 % до 3,5 % органического вещества в варианте с дозой сапонита 7,3 т/га и с 3,2 % до 3,3 % органического вещества в варианте с дозой сапонита 9,7 т/га. В контрольном варианте, без внесения сапонита замечено снижение содержания органического вещества с 3,3% весной 2020 года до 2,5% осенью 2020 года.

При сравнении содержания органического вещества в почве перед посадкой картофеля (результаты испытаний, весна 2018 г.) с конечными показателями после уборки урожая основной продукции (осень 2020 г.) отмечается рост показателя в вариантах с дозами 3,6 т/га и 7,3 т/га (на 0,4 % органического вещества), в остальных вариантах при внесении водной суспензии сапонита наблюдалось малозначительное повышение содержания органического вещества. В контрольном варианте количество органического вещества снизилось на 0,2 % органического вещества (с 2,7 % весной 2018 года до 2,5 % осенью 2020 года).

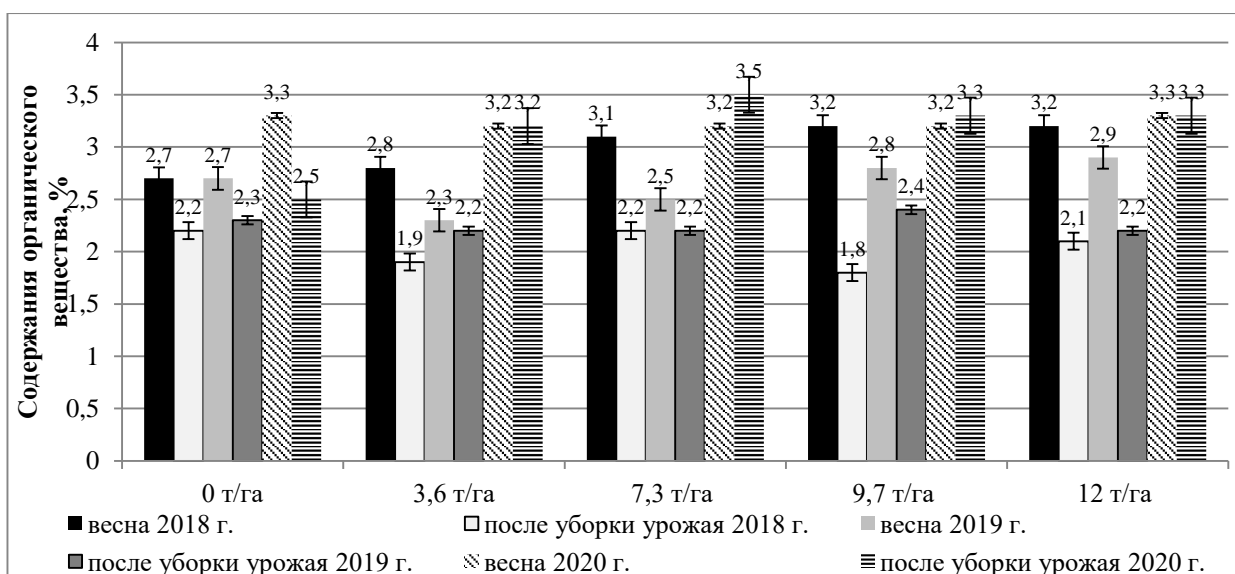


Рисунок 21 - Влияние сапонита на содержание органического вещества в почве при выращивании картофеля (по годам исследований)

Статистическая обработка, полученных результатов исследований методом многофакторного дисперсионного анализа (Приложение В, табл. 5) в опыте с картофелем выявила значимое влияние на содержание органического вещества сезонных изменений (P -значение $0,0008 < \alpha 0,05$). При этом ни применение различных доз сапонита (P -значение $0,930 > \alpha 0,05$), ни взаимного влияния этих факторов (P -значение $0,999 > \alpha 0,05$) статистически не влияют на содержание органического вещества в почве.

Содержание нитратного азота в почве при выращивании картофеля. За вегетационные периоды 2018 и 2020 гг наблюдалось снижение нитратного азота во всех вариантах опыта (рис. 22). Самое значительное снижение содержания нитратного азота зафиксировано в варианте с дозой внесения сапонита 7,3 т/га и составило 3,2 мг/кг (с 11,5 мг/кг весной 2018 года до 8,3 мг/кг осенью 2018 года), а минимальное снижение отмечается в варианте с дозой внесения сапонита 9,7 т/га – 1 мг/кг (с 12,2 мг/кг весной 2018 года до 11,2 мг/кг осенью 2018 года). В 2019 году содержание нитратного азота за вегетационный период увеличилось в вариантах опыта с дозами сапонита 3,6 т/га (с 8,6 мг/кг весной 2019 года до 10,6 мг/кг осенью 2019 года) и 9,7 т/га (с 9,4 мг/кг весной 2019 года до 11,7 мг/кг осенью 2019 года), а также в

контрольном варианте без внесения сапонита (с 9,5 мг/кг весной 2019 года до 10,7 мг/кг осенью 2019 года). При внесении сапонита в дозах 7,3 т/га и 12 т/га содержание нитратного азота в почве не изменилось и осталось на уровне 10 мг/кг и 9 мг/кг соответственно. В целом за весь период опыта отмечена тенденция к снижению содержания нитратного азота во всех вариантах опыта. Так в контрольном варианте отмечается снижение содержания нитратного азота на 9,2 мг/кг (с 11,8 мг/кг весной 2018 года до 2,6 мг/кг осенью 2020 года), в вариантах с применением сапонита снижение колеблется в пределах от 9 мг/кг в варианте с дозой внесения 3,6 т/га до 8,5 мг/кг в варианте с дозой внесения 12 т/га.

Высокая подвижность нитратов, технология возделывания *картофеля* и промывной тип водного режима, характерный для региона исследований, объясняет снижение содержания нитратного азота в почве за летний период.

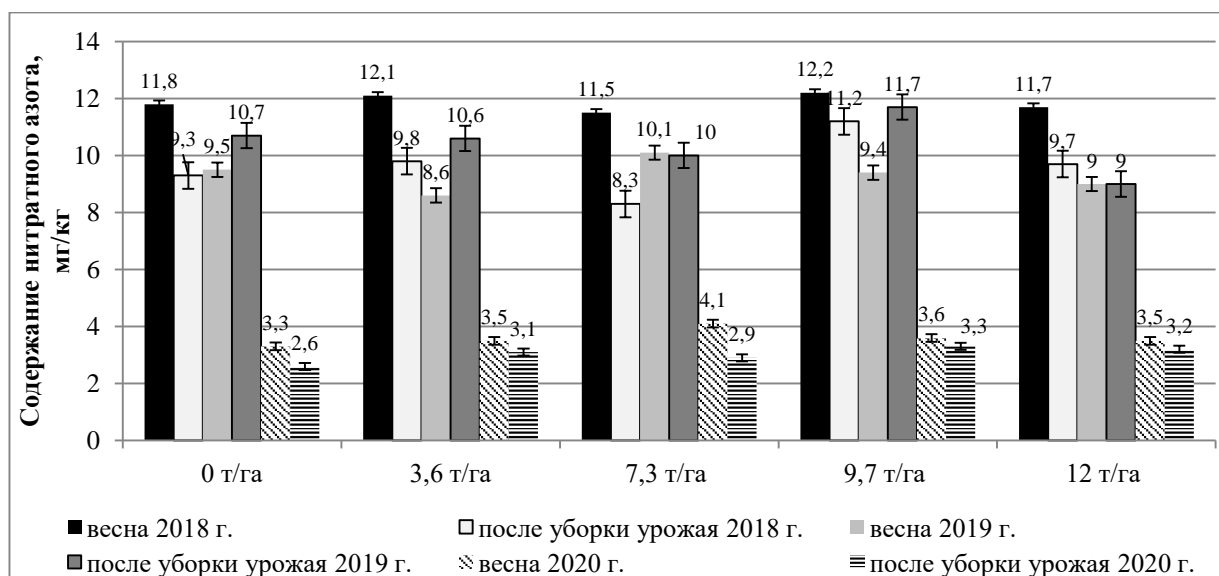


Рисунок 22 - Влияние сапонита на изменение содержания нитратного азота в почвах при выращивании картофеля

Статистическая обработка, полученных результатов в опыте картофелем, методом многофакторного дисперсионного анализа (Приложение В, табл. 6) выявила достоверные изменения при оценке влияния на содержание нитратного азота сезонных изменений (P -значение $0,000 < \alpha 0,05$). При этом ни применение различных доз сапонита (P -значение

0,730 > α 0,05), ни взаимное влияние этих факторов (Р-значение 0,996 > α 0,05) статистически не влияют на содержание нитратного азота в почве.

3.1.2.3 Содержание обменного кальция и магния в почва при выращивании вико-овсяной смеси

При проведении количественного анализа водной суспензии сапонита было установлено, что в составе минерала содержится большое количество магния (25,93 %) и кальция (4,27 %). Было принято решение установить влияние сапонита на содержание данных веществ в почве. В условиях вегетационного опыта 2018 г было выявлено снижение содержания обменного кальция во всех вариантах опыта в пределах от 0,4 ммоль/100 г в варианте опыта с дозой внесения сапонита 3,6 т/га до 0,8 ммоль/100 г в контрольном варианте, с дальнейшим повышением к весне 2019 года в пределах от 1,2 ммоль/100 г в вариантах опыта с дозами сапонита 3,6 т/га, 9,7 т/га и контрольном варианте, до 1,45 ммоль/100 г в варианте опыта с дозой внесения сапонита 7,3 т/га (рис. 23). В вегетационный период 2019 года выявлены незначительные колебания содержания обменного кальция во всех вариантах опыта по сравнению с вегетационным периодом 2018 года.

При сравнении исходных данных, полученных перед посевом вико-овсяной смеси (весна 2018 г.) с конечными показателями после уборки урожая основной продукции (осень 2019 г.) отмечается увеличение содержания обменного кальция в почве во всех вариантах опыта. Наибольшее увеличение содержания кальция получено при внесении сапонита в дозе 3,6 т/га – на 1 ммоль/100 г (с 5,1 ммоль/100 г весной 2018 года до 6,1 ммоль/100 г осенью 2019 года), в дозе 12 т/га – 0,9 ммоль/100 г. (с 4,9 ммоль/100 г весной 2018 года до 5,8 ммоль/100 г осенью 2019 года) и в дозе 7,3 т/га – 0,8 ммоль/100 г. (с 5,1 ммоль/100 г весной 2018 года до 5,9 ммоль/100 г осенью 2019 года).

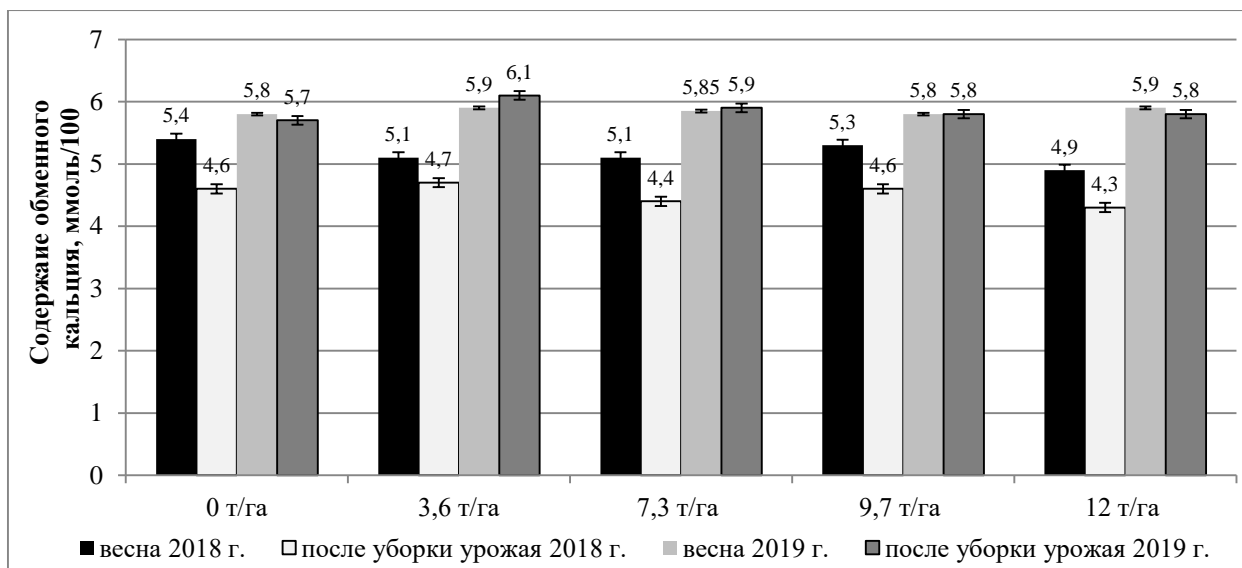


Рисунок 23 - Влияние сапонита на изменение содержания обменного кальция в почве при выращивании вико-овсяной смеси по годам исследований (2018, 2019 гг)

Статистическая обработка, полученных результатов в опыте с вико-овсяной смесью, методом многофакторного дисперсионного анализа (Приложение Г, табл. 5) не выявила значимого влияния на содержание обменного кальция, ни различных дозах сапонита (P -значение $0,486 > \alpha 0,05$), ни при оценке сезонных изменений по годам исследований (P -значение $0,972 > \alpha 0,05$), ни при оценке взаимного влияния этих факторов (P -значение $0,996 > \alpha 0,05$).

Было выявлено, что во всех вариантах опыта, кроме варианта с дозой внесения сапонита 3,6 т/га, зафиксировано снижение содержание обменного магния в пределах от 0,1 ммоль/100 г (контрольный вариант (с 1,2 ммоль/100 г весной 2018 года до 1,1 ммоль/100 г осень 2018 года), вариант с внесением сапонита в дозе 9,7 т/га (с 1,3 ммоль/100 г весной 2018 года до 1,2 ммоль/100 г осень 2018 года), до 0,2 ммоль/100 г (варианты с дозой внесения сапонита 7,3 т/га (с 1,4 ммоль/100 г весной 2018 года до 1,2 ммоль/100 г осень 2018 года) и 12 т/га (с 1,3 ммоль/100 г весной 2018 года до 1,1 ммоль/100 г осень 2018 года)) (рис. 24). При внесении водной суспензии сапонита в дозе 3,6 т/га показано незначительное возрастание содержания обменного магния на 0,1 ммоль/100 г почвы. Во всех вариантах опыта зафиксировано повышение

содержания обменного магния как за осенне-зимний период 2018-2019 гг., так и за вегетационный период 2019 года. Самые незначительные повышения зафиксированы в контрольном варианте опыта 0,09 ммоль/100 г за зимний период 2018-2019 гг (с 1,1 ммоль/100 г осенью 2018 года до 1,19 ммоль/100 г весной 2019 года) и 0,72 ммоль/100 г за летний период 2019 г. (с 1,19 ммоль/100 г весной 2018 года до 1,91 ммоль/100 г осенью 2019 года), а в вариантах с применением сапонита повышение колеблется г за зимний период 2018-2019 гг отмечается от 0,15 ммоль/100 г в варианте с дозой сапонита 7,3 т/га (с 1,2 ммоль/100 г весной 2018 года до 1,35 ммоль/100 г весной 2019 года), до 0,44 ммоль/100 г в варианте опыта с дозой сапонита 12 т/га (с 1,1 ммоль/100 г весной 2018 года до 1,54 ммоль/100 г весной 2019 года), а за летний период 2019 г. от 0,72 ммоль/100 г в варианте с дозой внесения сапонита 12 т/га (с 1,54 ммоль/100 г весной 2019 года до 2,26 ммоль/100 г осенью 2019 года), до 1,26 ммоль/100 г в варианте опыта с дозой внесения сапонита 3,6 т/га (с 1,6 ммоль/100 г весной 2019 года до 2,86 ммоль/100 г осенью 2019 года).

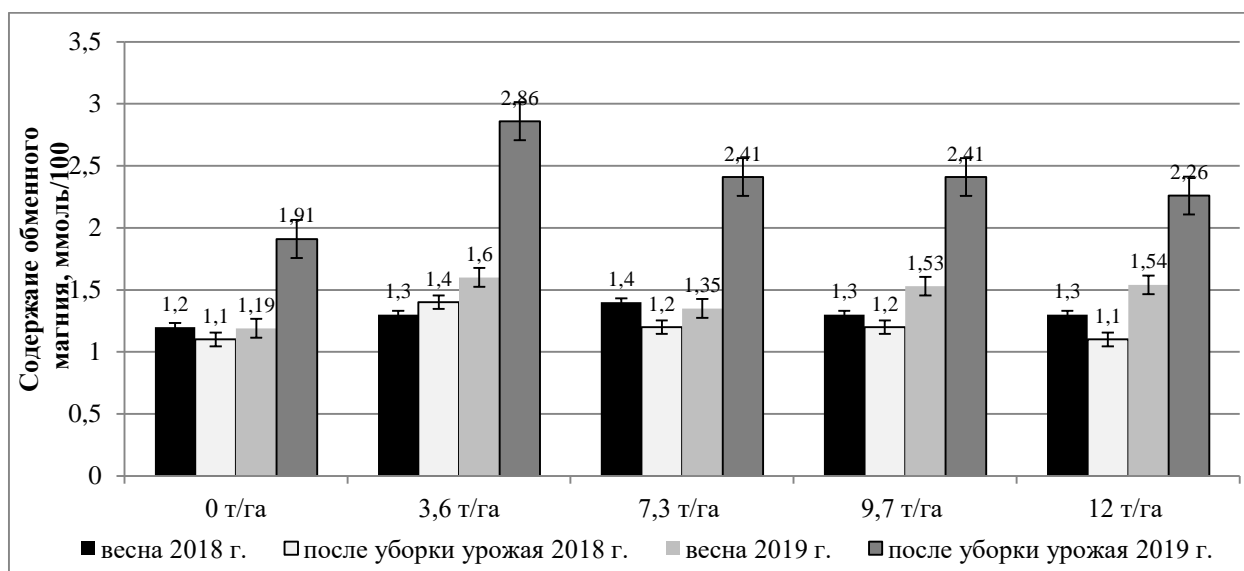


Рисунок 24 - Влияние сапонита на изменение обменного магния в почве при выращивании вико-овсяной смеси

При сравнении исходных данных, полученных перед посевом вико-овсяной смеси (весна 2018 г.) с конечными показателями анализа почвы

после уборки урожая 2019 г.) отмечается увеличение содержания обменного магния в почвах во всех вариантах опыта. При этом повышение в контрольном варианте опыта составило 0,71 ммоль/100 г (с 1,2 ммоль/100 г весной 2018 года до 1,91 ммоль/100 г осенью 2019 года), а в вариантах с применением сапонита повышение колеблется от 0,96 ммоль/100 г в варианте с дозой сапонита 12 т/га (с 1,3 ммоль/100 г весной 2018 года до 2,26 ммоль/100 г осенью 2019 года), до 1,56 ммоль/100 г в варианте опыта с дозой сапонита 3,6 т/га (с 1,3 ммоль/100 г весной 2018 года до 2,86 ммоль/100 г осенью 2019 года).

Статистическая обработка полученных результатов в опыте с вико-овсяной смесью методом многофакторного дисперсионного анализа (Приложение Г, табл. 6) выявила значимое влияние на содержание обменного магния как сезонных изменений (P -значение $0,023 < \alpha 0,05$), так и применения различных доз сапонита (P -значение $0,000 < \alpha 0,05$). При этом взаимное влияние на содержание обменного магния в почве этих двух факторов (P -значение $0,998 > \alpha 0,05$) статистически не доказано.

3.1.3 Влияние различных доз водной суспензии сапонита на содержания основных элементов питания (NPK) в почве в условиях модельного опыта

В задачи исследований входило изучение влияния водной суспензии сапонита и минеральных удобрений при их совместном применении на свойства почвы в условиях модельного опыта. В качестве минеральных удобрений (МУ) использовали нитрофоску (11:10:11) производства компании ООО «ТПК «НОВ-АГРО».

Благодаря своей слоистой структуре и мелкодисперсной структуре сапонит способен абсорбировать часть питательных веществ из минеральных удобрений при их совместном применении.

Для исследований использовали дерново-подзолистую супесчаную почву, типичную для Архангельской области. Исходные значения $pH_{\text{сол}}$ в

используемой для эксперимента почвы было 5,4 ед. рН. При совместном внесении минеральных удобрений с водным раствором сапонита заметно некоторое снижение средних значений величины $pH_{\text{сол}}$ во всех вариантах опыта с внесением водной суспензии сапонита до 8 недели наблюдения (рис.25). Изначально значения $pH_{\text{сол}}$ находились в пределах от 5,78 ед. рН (вариант с дозой внесения сапонита 12 т/га и минеральными удобрениями – 12+МУ) до 5,91 ед. рН (вариант с дозой внесения сапонита 4 т/га и минеральными удобрениями – 4+МУ). В варианте опыта без внесения сапонита, но с внесением минеральных удобрений (0+МУ) исходное значение величины $pH_{\text{сол}}$ было 5,73 ед. рН. К восьмой неделе наблюдения данные значения $pH_{\text{сол}}$ в вариантах с внесением сапонита (4+МУ, 7+МУ, 9+МУ, 12+МУ) и в варианте с без внесения сапонита, но с внесением минеральных удобрений (0+МУ) значение практически выровнялось и стало колебаться в пределах от 5,33 (вариант опыта 9+МУ) до 5,38 ед. рН (в варианте опыта 12+МУ). При дальнейших наблюдениях в варианте опыта без внесения сапонита, но с внесением минеральных удобрений (0+МУ) зафиксировано дальнейшее снижение $pH_{\text{сол}}$ к 16 неделе до 5,28 ед. рН. В то время как в вариантах опыта с совместным внесением минеральных удобрений и сапонита отмечается некоторое повышение значения $pH_{\text{сол}}$. Так минимальное повышение значения $pH_{\text{сол}}$ зафиксировано в варианте опыта с внесением минеральных удобрений и сапонита в дозе 4 т/га (4+МУ) с 5,35 ед. рН в 8 недели до 5,38 ед. рН к 16 неделе, а максимальное повышение отмечается в варианте опыта с совместным внесением минеральных удобрений и сапонита в дозе 12 т/га (12+МУ) с 5,38 ед. рН в 8 неделью до 5,65 ед. рН в 16 неделью.

В контрольном варианте опыта без внесения минеральных удобрений и сапонита (вариант опыта 0) зафиксирована та же тенденция что и в других вариантах – снижение значения $pH_{\text{сол}}$ с 5,40 ед. рН до 5,10 ед. рН к 8 неделе,

затем стабилизация на 12 неделе (5,10 ед. рН) и незначительное повышение до 5,20 к 16 неделе наблюдения.

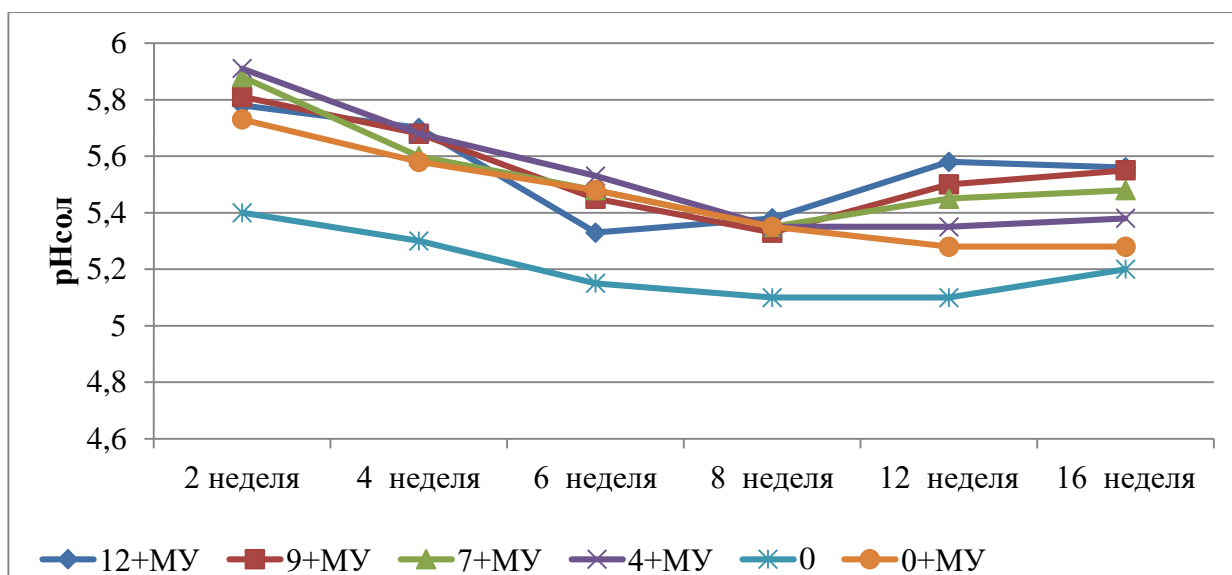


Рисунок 25 - Влияние сапонита на изменения рН_{сол} в образцах почвы модельного опыта

Статистическая обработка полученных результатов методом многофакторного дисперсионного анализа (Приложение Д, табл. 5) выявила значимые изменения величины рН_{сол} в зависимости от периода отбора (Р-значение $0,000 < \alpha 0,05$), так и при оценке применения различных доз сапонита, внесенных совместно с нитрофоской (Р-значение $0,000 < \alpha 0,05$), а также при оценке взаимного влияния на обменную кислотность почвы этих двух факторов (Р-значение $0,000 < \alpha 0,05$).

В исследованиях различных авторов сделано предположение, что внесение сапонита в почву повлияло на увеличение доли физической глины в почве, накоплению тонкодисперсных водопрочных частиц, что стабилизировало содержание фосфорного и азотного режимов почвы (Harley, 2000; Мосталыгина, 2010; Бухтояров, 2011; Агафонов, 2014). В связи с этим, в наших исследованиях были изучены вопросы влияния водной суспензии сапонита, внесенного совместно с минеральных удобрений на содержание в почве доступных для растений форм основных питательных веществ. Исследования проводили в течение 16 недель и каждые 2 недели

отбирали образцы почвы для изучения динамики изменения содержания подвижных форм элементов минерального питания.

Результаты исследований по изучению влияния различных доз сапонита, внесенного совместно с нитрофоской представлены на рисунке 26. Было выявлено, что содержание подвижных форм фосфора в контрольном варианте (без применения минерала и минеральных удобрений) варьирует с 193 до 370 мг/кг (Приложение Д, табл. 2). В вариантах, где вносили сапонит совместно с минеральным удобрением содержание подвижных форм фосфора колеблется в пределах от 620 мг/кг до 1500 мг/кг.

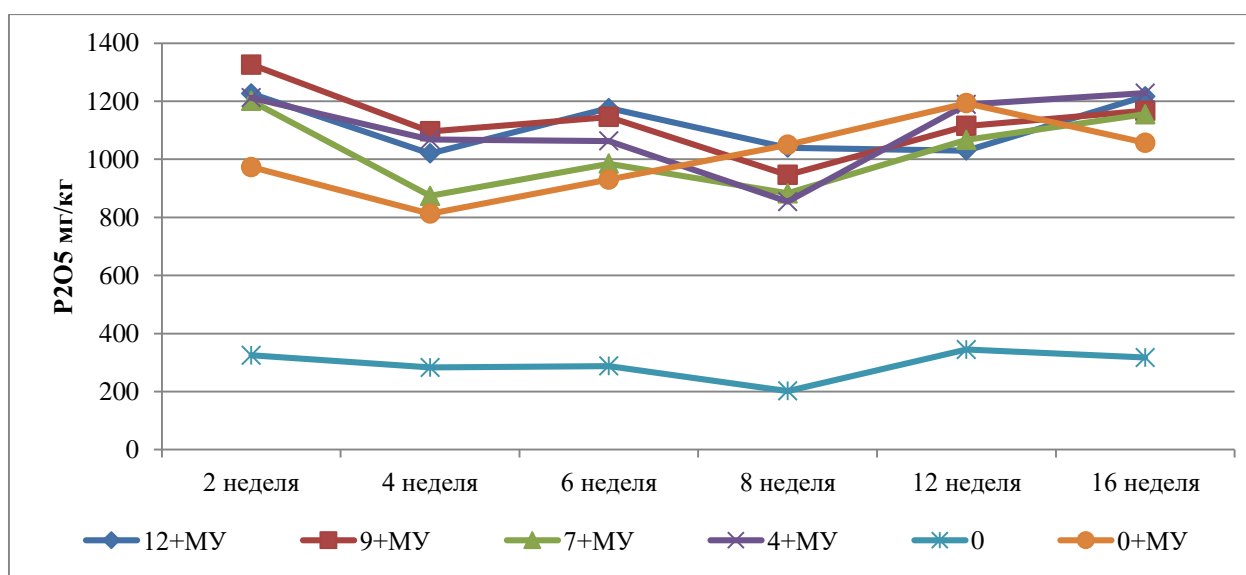


Рисунок 26 - Влияние нитрофоски и различных доз сапонита на содержание подвижных форм фосфора в почвах (модельный опыт)

Результаты исследований показали, что при внесении нитрофоски содержание подвижных форм калия варьирует в пределах от 169 мг/кг до 1140 мг/кг, по сравнению с контрольным вариантом без применения МУ и сапонита, когда колебания составляли 62- 129 мг/кг почвы (Приложение Д, табл. 3). Анализируя результаты исследований, представленных на рис. 27, выявлена тенденция повышения содержания подвижных форм калия в вариантах с МУ по сравнению с контрольным вариантом без применения МУ (колебания составляют от 95 мг/кг почвы в начале наблюдений до 65 мг/кг почвы к 16 неделе наблюдений). Было выявлено, что при совместном

внесении минеральных удобрений и сапонита в дозах 9 т/га (9+МУ) и 12 т/га (12+МУ) через 2 недели исследований снизилось содержание подвижных форм калия в почве – 181 мг/кг почвы (12+МУ) и 190 мг/кг почвы (9+МУ), с последующим увеличением через 4 недели до 854 мг/кг почвы (12+МУ) и 846 мг/кг почвы (9+МУ), что можно объяснить недостаточным растворением МУ в первый период наблюдения. К 16 неделе наблюдения в вариантах опыта с внесением минеральных удобрений содержания подвижного калия в почвах колебалось в пределах от 831 мг/кг почвы (0+МУ) до 908 мг/кг почвы (9+МУ).

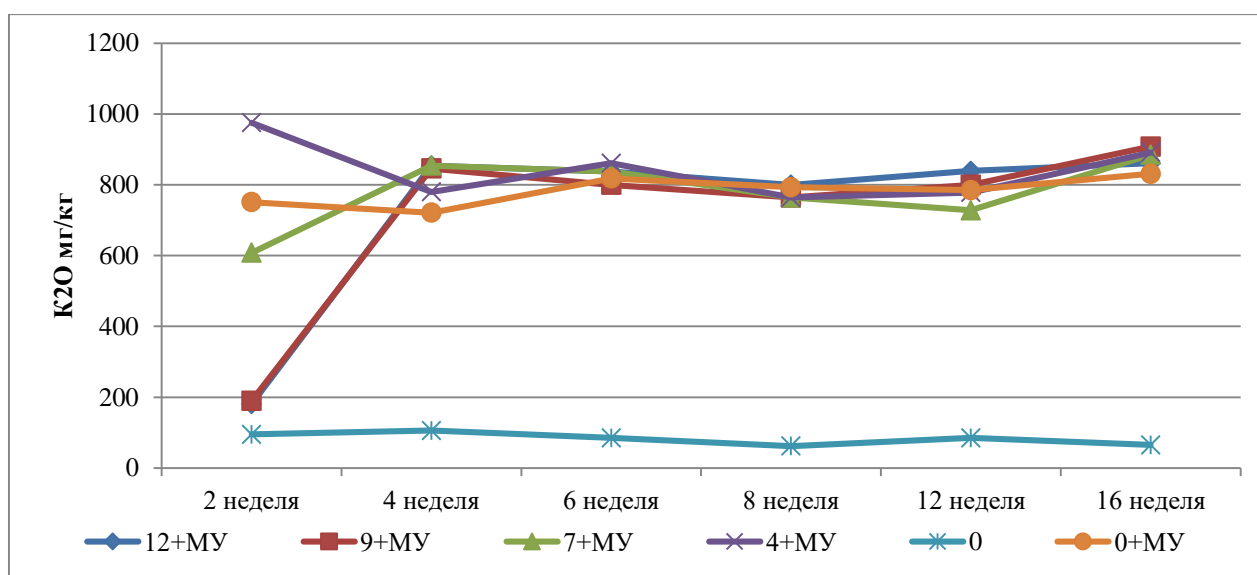


Рисунок 27 - Влияние сапонита на изменения содержания подвижного калия в почвах модельного опыта

Результаты статистической обработки результатов исследований методом многофакторного дисперсионного анализа (Приложение Д, табл. 6 и 7) выявила существенные изменения обменной кислотности, содержания подвижных форм фосфора и калия в зависимости от периода отбора (Р-значение $0,000 < \alpha 0,05$), так в зависимости от различных доз сапонита, внесенным совместно с минеральным удобрением (Р-значение $0,000 < \alpha 0,05$) и при оценке взаимного влияния на почвы этих двух факторов (Р-значение $0,011 < \alpha 0,05$, Р-значение $0,000 < \alpha 0,05$ соответственно).

В модельном опыте на протяжении всего эксперимента выявлено снижение содержания нитратного азота во всех вариантах опыта через 4

недели наблюдений. Так в начале наблюдения содержание нитратного азота колеблется в пределах от 5,3 мг/кг (0+МУ) до 9,59 мг/кг (7+МУ), а к 4 недели наблюдения зафиксированы колебания в пределах от 2,45 (контрольный вариант – 0), до 4,8 мг/кг (7+МУ). Дальнейшие наблюдения показали повышение содержания нитратной формы азота в почве (рис. 28). К 16 неделе наблюдений содержание нитратного азота колеблется в пределах от 16,59 (0+МУ) до 12,60 мг/кг (12+МУ). Сделано предположение, что данные изменения связаны с процессами нитрификации в почве при оптимальной для данного процесса влажности, а также это связано с отсутствием выноса нитратов от растений и снижения его количества от избыточных осадков, как в естественных условиях, что также подтверждается в исследованиях других авторов (Новосёлов, 2015).

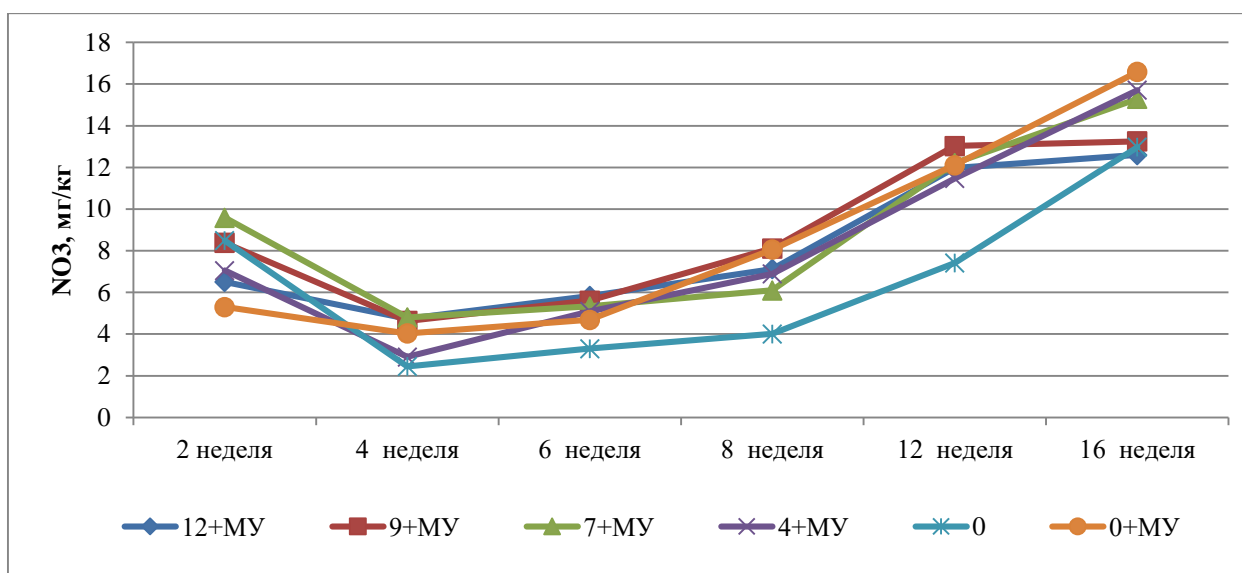


Рисунок 28 - Влияние сапонита и нитрофоски на содержание нитратного азота в почвах (модельный опыт)

Отсутствие значимых отличий в изменениях в вариантах опыта с применением различных доз водной суспензии сапонита с МУ и одного МУ, демонстрирует, что водная суспензия сапонита не приводит к закреплению питательных веществ в почве и не будет влиять на их доступность растениям при поступлении в почву из минеральных удобрений. В связи с этим отсутствует необходимость в повышении доз минеральных удобрений при совместном применении с водной суспензией сапонита.

3.2 Влияние сапонит-содержащего материала на урожайность и качество сельскохозяйственных культур на примере картофеля и вико-овсяной смеси

3.2.1 Влияние различных доз сапонит-содержащего материала на урожайность сельскохозяйственных культур

Результаты исследований по изучению влияния различных доз водной суспензии сапонита, внесенных в 2018 г на урожайность картофеля представлена на рисунке 29 (Приложение Е, табл. 2).

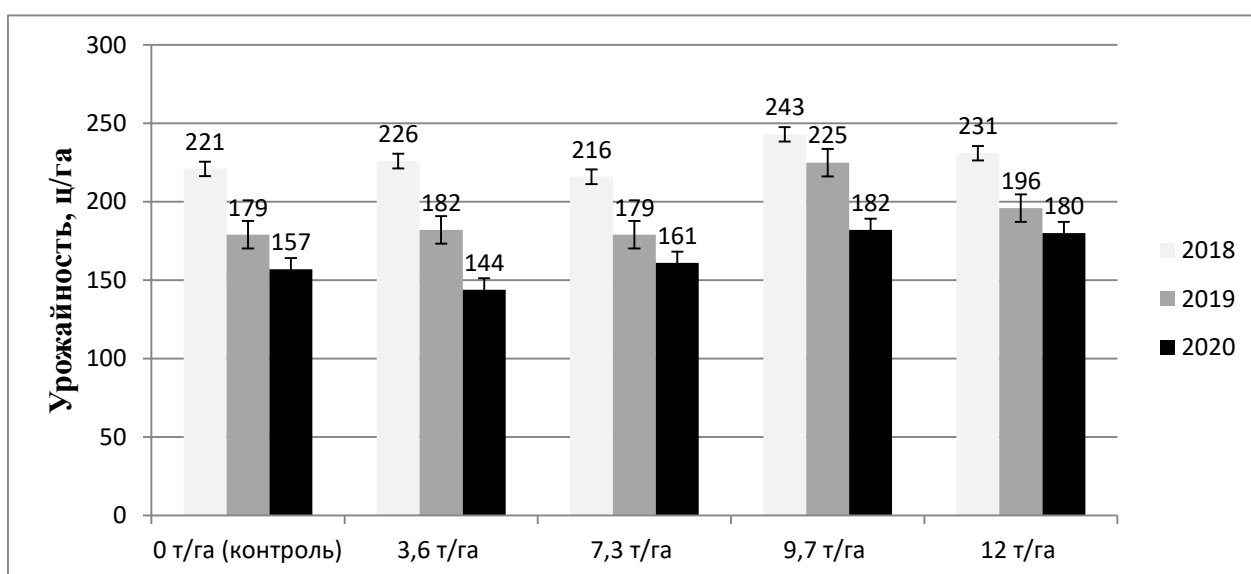


Рисунок 29 - Влияние различных доз сапонита на урожайность картофеля по годам исследований (2018-2020 гг)

При внесении сапонита в дозах 3,6 т/га и 7,3 т/га в первый год внесения урожайность картофеля колебалась в пределах на +/- 2 % (226 ц/га и 216 ц/га соответственно) от контроля (221 ц/га). Доза внесенного минерала 12 т/га в 2018 г дала прибавку урожайности на 5 % (231 ц/га), а доза 9,7 т/га прибавку в 10 % (243 ц/га) по сравнению с контролем без внесения сапонита (221 ц/га).

В 2019 году в результате последействия сапонита получена идентичная закономерность изменения урожайности. Однако по сравнению с 2018 г в варианте, где вносили дозу сапонита 9,7 т/га прибавка урожайности

картофеля составила 26 % (225 ц/га) соответственно по сравнению с контролем без внесения минерала (179 ц/га).

В 2020 году в варианте с дозой сапонита 3,6 т/га наблюдается снижение урожайности на 8 % (144 ц/га) относительно контроля (157 ц/га). При этом в варианте с дозой сапонита 7,3 т/га прибавка урожайности составила лишь 3 % (161 ц/га) по сравнению с контролем (157 ц/га). В вариантах с дозами сапонита 9,7 т/га и 12 т/га получена прибавка 16 % (182 ц/га) и 15 % (180 ц/га) соответственно по сравнению с контролем (157 ц/га).

Следует отметить, что наибольшая абсолютная величина урожайности была получена при внесении сапонита в дозе 9,7 т/га во все года исследований. В 2018 г. урожайность основной продукции картофеля составила 243 ц/га, в 2019 г – 225 ц/га, в 2020 г – 182 ц/га. Прибавка урожайности в данном варианте в среднем за три года наблюдения составила 17 % по сравнению с контролем.

Таким образом, анализируя влияние сапонит-содержащих материалов за три года наблюдений, можно сделать вывод, что урожайность картофеля зависела от дозы минерала, внесенного в почву. Внесение сапонита в дозах 3,6 и 7,3 т/га под картофель не оказывает существенного влияния на массу основной продукции изучаемой культуры в течение трех лет. При этом в варианте с максимальной дозой (12 т/га) наблюдается стабильный рост урожайности с 5 % в первый год, 9 % во второй и 15 % в третий год наблюдения, в сравнении с контрольным вариантом без внесения сапонита. При внесении сапонита в дозе 9,7 т/га прибавки урожайности максимальны (в среднем за три года наблюдения составила 17 % по сравнению с контролем) и достигают на второй год наблюдения максимальных величин – 26 % (225 ц/га) по сравнению с контролем (179 ц/га), а на третий год снижается до 16% (182 ц/га) по сравнению с контролем (180 ц/га).

При проведении многофакторного дисперсионного анализа результатов исследований (Приложение Е, табл. 7.) было доказано статистически

значимое изменение урожайности основной продукции картофеля сезонных изменений (P -значение $0,008 < \alpha 0,05$), при этом ни влияние вносимых доз сапонита P -значение $0,993 > \alpha 0,05$), ни взаимное влияние этих двух факторов (P -значение $0,992 > \alpha 0,05$) статистически не доказано.

Оценка структуры урожая картофеля 2018 года показала, что среднее количество клубней в одном растении колеблется в пределах 8-10 шт. Минимальные средние размеры клубней 54,5 мм получены при внесении сапонита в дозе 3,6 т/га, максимальные - 58,7 мм при внесении сапонита в дозе 12 т/га по сравнению с контролем (56,4 мм). Максимальные размеры колеблется в пределах 100 мм – 125 мм, минимальные – 10 мм – 23 мм.

Было выявлено положительное влияние сапонита на высоту растения в всех вариантах опыта по сравнению с контролем (52,3 см) (Приложение Е, табл. 3). Наибольшая высота растений получена при внесении сапонита в дозе 7,3 т/га, увеличение высоты надземной части растений 15 % по сравнению с контролем (59,9 см) (рис. 30), что возможно ограничило получение высокой прибавки урожая клубней в данных условиях выращивания. В других вариантах внесения минерала увеличение высоты надземной части растений составили 3-7 % по сравнению с контрольным вариантом без внесения минерала.

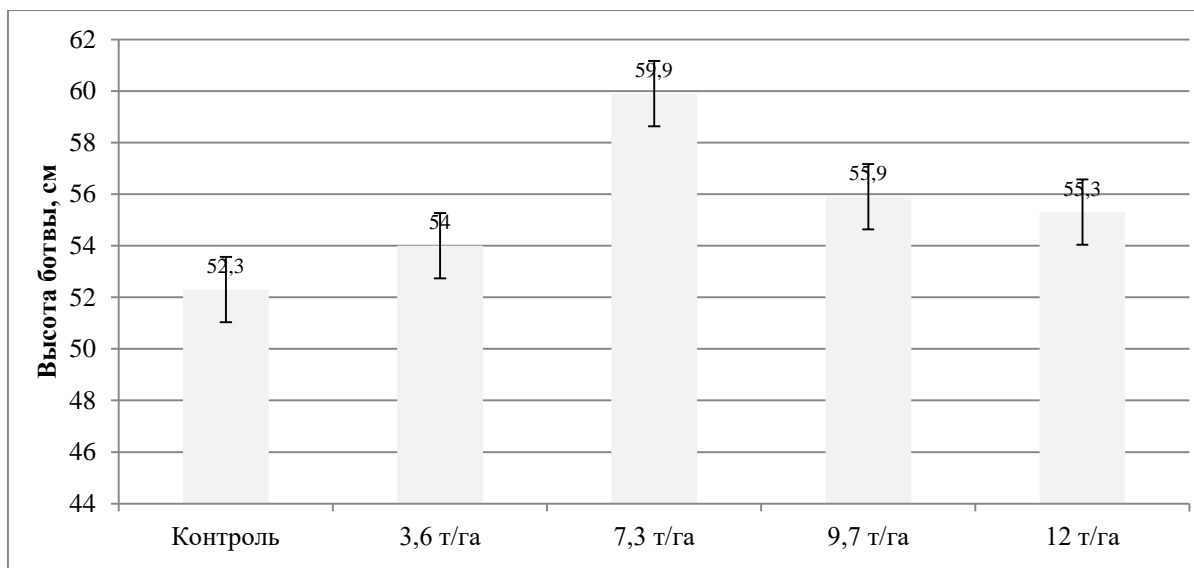


Рисунок 30 - Влияние различных доз сапонита на высоту надземной части растений картофеля (2018 г)

Как показали результаты исследований (рис. 31) наибольшая средняя масса клубней с одного куста была получена в 2019 и 2020 гг при внесении сапонита в дозах 7,3 т/га, 9,7 т/га и 12 т/га. В вариантах опыта с дозами сапонита 9,7 т/га и 12 т/га была получена наибольшая прибавка урожая основной продукции картофеля (в 2019 году 225 ц/га и 182 ц/га соответственно; в 2020 году – 182 ц/га и 180 ц/га соответственно), по сравнению с контрольными вариантами (в 2019 году – 179 ц/га, в 2020 году 157 ц/га). Получение высоких показателей урожайности картофеля в 2019 и 2020 гг обусловлено эффективным последствием внесенного минерала, внесенного в 2018 г.

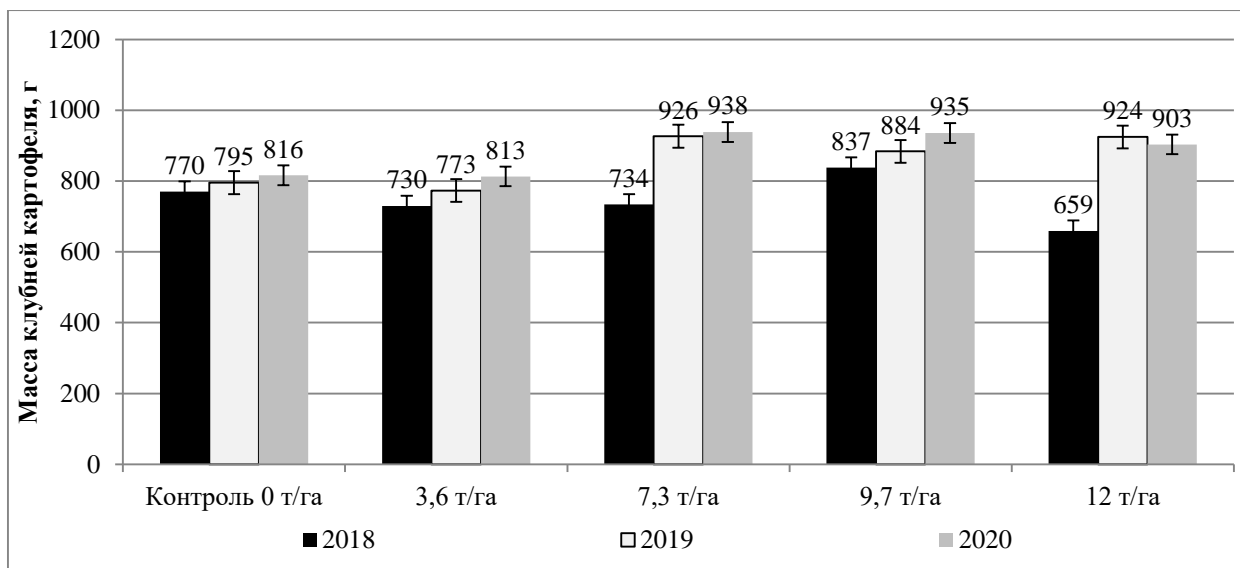


Рисунок 31 - Влияние сапонита на массу клубней картофеля с одного куста по годам исследований (2018)

Результаты исследований по изучению влияния сапонита на урожайность вико-овсяной смеси в полевых опытах в 2018-2019 годах представлена на рисунке 32.

Было выявлено, что урожайность основной продукции вико-овсяной смеси зависела от дозы внесенного сапонита. Показано, что в 2018 г при внесении сапонита в дозах 7,3 т/га и 3,6 т/га получена прибавка урожая 27 % (202 ц/га) и 32 % (210 ц/га) соответственно по сравнению с контролем (159 ц/га). В тоже время при увеличении доз сапонита до 9,7 т/га и 12 т/га урожайность практически не изменилась (160 ц/га и 155 ц/га соответственно) в сравнении с контролем (159 ц/га). Колебания массы основной продукции вико-овсяной смеси получена на уровне +1 -2 %. В 2019 г была получена достоверная прибавка урожайности во всех вариантах внесения сапонита (P -значение $0,014 < \alpha 0,05$), что свидетельствует о проявлении его эффективного последействия. Наибольшая прибавка урожайности 23 % (283 ц/га), полученная от последействия минерала, внесенного в 2018 г в дозе 3,6 т/га по сравнению с контролем (230 ц/га).

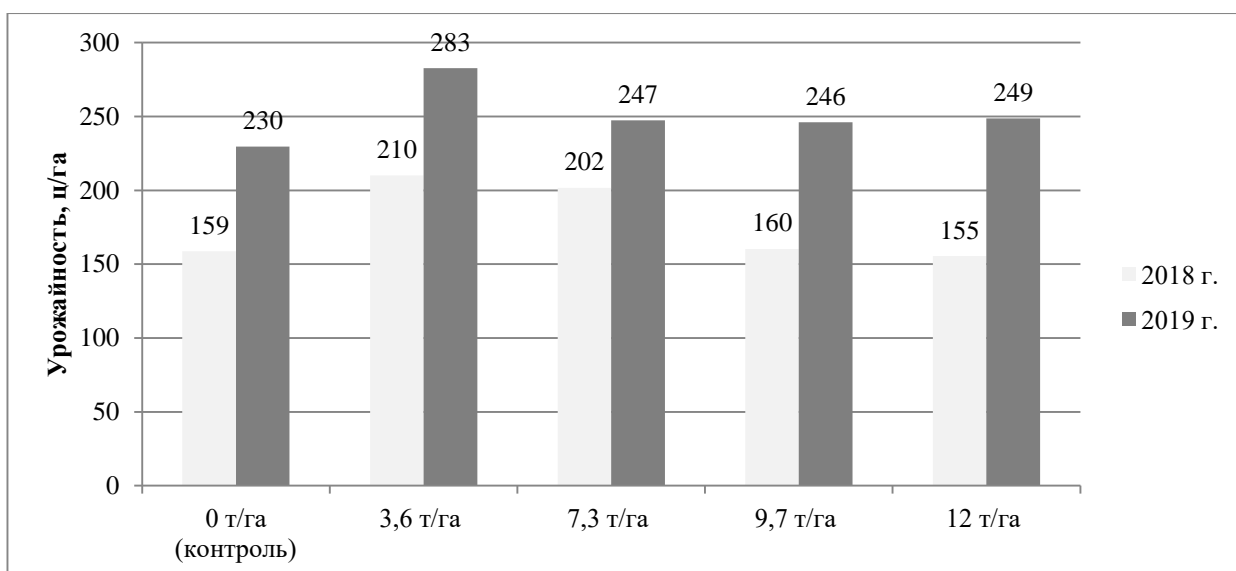


Рисунок 32 - Влияние действия и последействия различных доз сапонита на урожайность вико-овсяной смеси по годам исследований

Оценка статистических показателей полученных результатов при проведении многофакторного дисперсионного анализа (Приложение Е, табл. 8) было доказано статистически значимое влияние на урожайность вико-овсяной смеси вносимых доз сапонита (P -значение $0,014 > \alpha 0,05$) и сезонных изменений (P -значение $0,000 < \alpha 0,05$). При этом взаимное влияние этих двух факторов (P -значение $0,672 > \alpha 0,05$) статистически не доказано.

Таким образом, можно сделать вывод, что эффективность действия и последействия сапонит-содержащих материалов при внесении в почву зависела от биологических особенностей выращиваемой культуры. Так, было установлено, что наибольшая эффективность сапонита при выращивании смеси вики и овса, была получена при внесении минерала в дозах 3,6 и 7,3 т/га, когда были получены наибольшие прибавки основной продукции (210 ц/га в 2018 году и 283 ц/га в 2019 году при применении дозы сапонита 3,6 т/га, 202 ц/га в 2018 году и 247 ц/га в 2019 году при применении дозы сапонита 7,3 т/га). В отличие от вико-овсяной смеси, при выращивании картофеля максимальная прибавка урожайности основной продукции была получена при дозе сапонита 9,7 т/га (243 ц/га в 2018 году, 225 ц/га в 2019 году, 182 ц/га в 2020 году) Сделано предположение, что возможно, сапонит, как природный минерал, обладает пролонгированным действием и

постепенно изменяет физические свойства почвы, улучшая ряд агрохимических показателей. Это способствует получению более высоких прибавок урожая основной продукции изучаемых культур в последующие после внесения сапонита годы.

3.2.2 Влияние сапонит-содержащих материалов на качество сельскохозяйственной продукции

В соответствии с таблицей 5 СанПиН 2.3.2.1078-01 картофель должен соответствовать требованиям безопасности в отношении допустимого уровня содержания токсичных элементов: свинец не более 0,5 мг/кг, кадмий не более 0,03 мг/кг, ртуть не более 0,02 мг/кг, нитраты не более 250 мг/кг, удельная активность цезий – 137 не более 80 Бк/кг, удельная активность стронций – 90 не более 40 Бк/кг. Помимо этого, в каждом варианте опыта в 2018 году в картофеле определяли содержание сухого вещества, в сухом веществе определяли массовую долю кальция, сырого протеина, растворимых углеводов (сахаров), легкогидролизуемые углеводы (крахмал), сырой клетчатки и сырого жира.

Результаты исследований по оценке влияния сапонита на содержание нитратов в урожае клубней картофеля в 2018 и 2019 годов представлены на рисунке (рис.33).

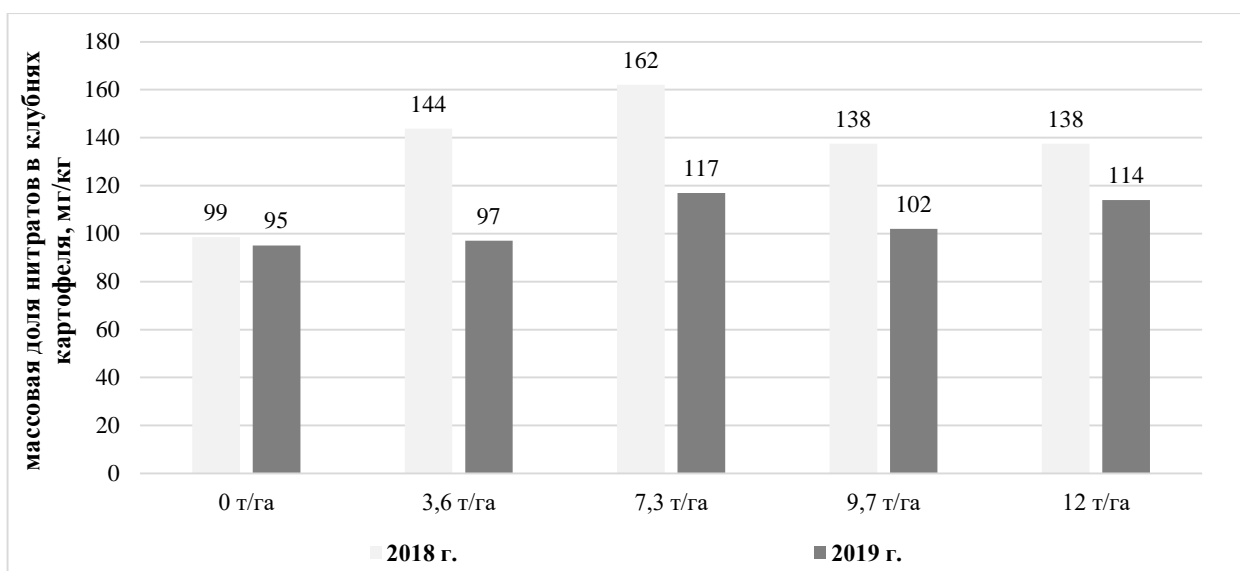


Рисунок 33 - Влияние сапонита на содержание нитратов в картофеле по годам исследований

В 2018 г. во всех вариантах опыта с применением водной суспензии сапонита содержание нитратов в картофеле значительно выше (от 138 мг/кг в вариантах опыта с дозой внесения сапонита 9,7 т/га и 12 т/га, до 162 мг/кг в варианте опыта с дозой внесения сапонита 7,3 т/га), чем в контрольном варианте (99 мг/кг). Наибольшее увеличение на 64 % наблюдается в варианте с внесением сапонита в дозе 7,3 т/га. В других вариантах внесения сапонита увеличение составляет в среднем 39-45 % по сравнению с контролем.

Было выявлено, что содержание нитратов в клубнях картофеля урожая 2019 г. ниже, по сравнению с предыдущим годом. Однако по сравнению с контрольным вариантом, где была получена массовая доля нитратов в клубнях (95 мг/кг), наблюдается увеличение количества нитратов во всех вариантах опыта с внесением сапонита. Наибольшее содержание нитратов получено при внесении сапонита в дозах 12 т/га и 7,3 т/га. Возрастание содержания нитратов в клубнях составило 20 % (114 мг/кг) и 23 % (117 мг/кг) соответственно по сравнению с контролем (95 мг/кг). Наименьшие показатели по содержанию нитратов в продукции получены при внесении минерала в дозах 3,6 т/га и 9,7 т/га. Увеличение содержания нитратов на 2 %

(97 мг/кг) и 7 % (102 мг/кг) соответственно, по сравнению с контролем (95 мг/кг).

Следует отметить, что предельно допустимая концентрация по содержанию нитратов в картофеле составляет 250 мг/кг (ТР ТС 021/2011, СанПиН 2.3.2.1078-01). Содержание нитратов в картофеле во всех вариантах опыта за два года наблюдения не превышает ПДК, что определяет хорошее качество полученной продукции.

Результаты исследований по оценке влияния сапонита на показатели качества основной продукции картофеля, полученного в 2018 г представлены в таблице 4. Из приведенных данных следует, что массовая доля сухого вещества в вариантах опыта колеблется в пределах от 18,2 % до 19,3 %, среднее содержание влаги составляет от 80,7 % до 81,8 %. Данные показатели характерны для сортов картофеля с низким содержанием сухого вещества, и соответствуют химическому составу раннеспелых сортов картофеля (Писарев, 1986).

Содержание кальция в клубнях картофеля во всех вариантах опыта не превышает 0,05 %, что значительно ниже оптимального значения – 8 – 12 % (Пшеченков, 2007; Ким, 2009).

Выявлено, что в вариантах опыта среднее количество сырого протеина колеблется от 6,6 % в контрольном варианте, до 10,0 %. В варианте с применением водной суспензии сапонита в дозировке 3,6 т/га превышение над контролем составляет 31,3 %, 47,7 % – доза 7,3 т/га, 52,3 % – доза 9,7 т/га, 23,3 – доза 12,0 т/га. Среднее допустимое содержание сырого протеина составляет 2,0–2,5 % (Кипер, 1972). Таким образом, можно сделать вывод, что внесение водной суспензии сапонита в первый год применения привело к существенному увеличению доли сырого протеина в клубнях картофеля.

Содержание сырого жира в клубнях картофеля во всех вариантах опыта составило 0,8 % в вариантах опыта с дозами сапонита 3,6 т/га, 7,3 т/га и 9,7 т/га, а в варианте с дозой сапонита 12 т/га – 0,9 % содержания сырого жира,

что не превышает характерные для картофеля показатели в 0,1 % (Ким, 2009).

Таблица 4 - Влияние сапонита на показатели качества клубней картофеля (2018 г), %

Показатель	Контроль 0 т/га	3,6 т/га	7,3 т/га	9,7 т/га	12 т/га	НСР
сухое вещество/ % от контроля	18,83	19,3 +2,3	18,4/ -2,3	18,2/ -3,6	18,2/ -3,6	2,3
кальций/ % от контроля	0,05	0,05/ 0	0,05/ 0	0,05/ 0	0,05/ 0	0,0
сырой протеин/ % от контроля	6,6	8,6/ +31,3	9,7/ +47,7	10,0/ +52,30	8,1/ +23,3	7,6
сырой жир/ % от контроля	0,78	0,8/ +3,5	0,8/ +1,0	0,8/ +3,5	0,9/ +8,3	0,1
растворимые углеводы/ % от контроля	3,9	5,9/ +51,9	7,4/ +89,1	5,8/ +48,7	5,5/ +41,0	9,9
легкорастворимые углеводы/ % от контроля	67	68/ +2,2	72/ +7,5	51/ -23,2	62/ -7,1	28,8
сырая клетчатка/ % от контроля	2,1	1,3/ -36,6	1,5/ -26,8	1,7/ -18,3	2,4/ +17,1	7,1

Во всех вариантах опыта с применением водной суспензии сапонита наблюдается увеличение содержание растворимых углеводов – сахаров. Наибольшее увеличение содержания растворимых углеводов по сравнению с контролем без применения сапонита получено при применении дозы сапонита 7,3 т/га (7,4 % содержания растворимых углеводов), углеводов, а наименьшее – при дозе 12 т/га (5,5 % содержания растворимых углеводов). При внесении сапонита в дозах 3,6 т/га и 9,7 т/га увеличение содержания растворимых углеводов составило 51,9 % (5,9 % содержания растворимых углеводов) и 48,7 % (5,8 % содержания растворимых углеводов) соответственно по сравнению с контролем (3,9 % содержания растворимых углеводов). Таким образом, можно сделать вывод, что внесение водной суспензии сапонита в первый год применения привело к существенному увеличению доли растворимых углеводов в клубнях картофеля. При анализе зависимости количества растворимых углеводов (сахаров) и количества сырого протеина в картофеле после внесения водной суспензии сапонита,

четкой зависимости не наблюдается, однако следует отметить, что в обоих случаях наибольшие прибавки фиксируются в вариантах опыта со средними по объему внесения водной суспензии сапонита дозами – 7,3 т/га (+ 89,1 % от контроля прибавка растворимых углеводов) и 9,7 т/га (+ 52,3 % от контроля прибавка сырого протеина).

При оценке влияния применения водной суспензии сапонита на легкорастворимые углеводы - крахмал, наблюдается как незначительное увеличение в вариантах опыта с дозами 3,6 т/га и 7,3 т/га на 2,2 % (68 % содержания крахмала) и 7,5 % (72 % содержания крахмала) от контрольного варианта без применения сапонита (67 % содержания крахмала), так и снижение – варианты с дозами 9,7 т/га и 12 т/га на 23,2 % (51 % содержания крахмала) и 7,1 % (62 % содержания крахмала) соответственно.

Характерное содержание сырой клетчатки в клубнях картофеля находится в пределах 1,0-3,17 % (Жукова, 2016). В наших исследованиях среднее содержание сырой клетчатки в клубнях находится в пределах от 1,3 % до 2,4 %. В вариантах опыта с применением водной суспензии сапонита наблюдается как значительное снижение содержания данного показателя в вариантах опыта с дозами сапонита – 3,6 т/га (1,3 % содержания сырой клетчатки), 7,3 т/га (1,5 % содержания сырой клетчатки) и 9,7 т/га (1,7 % содержания сырой клетчатки), так и повышение при применении дозы сапонита 12 т/га до 2,4 % содержания сырой клетчатки в сравнении с контрольным вариантом без применения сапонита (2,1 % содержания сырой клетчатки).

Сделан вывод, что внесение водной суспензии сапонита в первый год применения способствует значительному увеличению содержания сырого протеина (23,3 % - 52,3 % от контроля) и растворимых углеводов (41,0 % - 89,1 % от контроля) в клубнях картофеля, при этом незначительно возрастает количество сырого жира (1,0 % - 8,3 % от контроля). Результаты

исследований показали, что значительного влияния сапонита на содержание легкорастворимых углеводов и сырой клетчатки не выявлено.

При оценке качества урожая вико-овсяной смеси использовали свежескошенную зеленую массу. Исследования проводили на содержание сухого вещества, сырого протеина, растворимых углеводов – сахаров, легкорастворимых углеводов - крахмала, сырого жира, сырой золы, кальция и железа.

Результаты исследований по изучению влияния различных доз сапонита на показатели качества основной продукции вико-овсяной смеси урожая 2018 г. представлены в таблице 5.

Таблица 5 - Влияние сапонита на показатели качества основной продукции вико-овсяной смеси (2018 г), % на сухую массу

Показатель	Контроль 0 т/га	3,6 т/га	7,3 т/га	9,7 т/га	12 т/га	НСР
сухое вещество/ % от контроля	29,3	29,5/ +0,5	32,8/ +11,7	26,0/ -11,4	24,6/ -16,1	25,4
сырая клетчатка/ % от контроля	14,1	15,5/ +10,1	16,4/ +16,4	16,00/ +13,9	16,2/ +15,5	30,8
сырой протеин/ % от контроля	15,1	15,4/ +2,5	17,0/ +12,8	14,6/ -2,8	16,6/ +10,0	14,8
растворимые углеводы/ % от контроля	1,2	1,4/ +16,3	1,3/ +4,1	1,5/ +24,5	1,6/ +26,5	0,8
легкорастворимые углеводы/ % от контроля	3,0	2,9/ -0,9	3,6/ +20,3	3,0/ +1,7	2,9/ -0,9	1,5
сырой жир/ % от контроля	1,7	4,0/ +137,1	3,7/ +115,9	3,8/ +120,4	1,3/ -21,9	5,6
сырая зола/ % от контроля	13,2	15,2/ +15,6	13,9/ +5,1	12,3/ -6,6	12,4/ -5,9	11,3
кальций/ % от контроля	0,8	1,0/ +16,9	1,1/ +35,1	0,9/ +8,5	1,4/ +73,1	3,6
железо/ % от контроля	11,6	11,1/ -4,3	10,5/ -9,7	11,1/ -4,8	11,4/ -2,2	8,1

Содержание сухого вещества в основной продукции зеленой массы сеянных бобово-злаковых травах является очень важным показателем качества, так как определяет количество влаги в корме и содержание в зеленой массе различных питательных веществ. Согласно нормативным

требования оценки качества и питательности зеленых кормов содержание сухого вещества в сеянных бобово-злаковых однолетних травах должно быть не менее 20 % (Сычев, 2002). Во всех вариантах опыта данный показатель находится в пределах от 24,6 % до 32,8 %. При внесении сапонита в дозе 3,6 т/га и 7,3 т/га выявлено повышение содержания сухого вещества на 0,5 % (29,5 % сухого вещества) и 11,4 % (32,8 % сухого вещества) соответственно по сравнению с контролем - без внесения сапонита (29,3 % сухого вещества). В варианте опыта, где вносили минерал в дозах 9,7 т/га (26,0 % сухого вещества) 12 т/га (24,6 % сухого вещества) показано снижение массовой доли сухого вещества на 11,4 и 16,1 % соответственно, по сравнению с контролем (29,3 % сухого вещества).

Согласно нормативным требованиям оценки качества и питательности зеленых кормов (Сычев, 2002) содержание сырой клетчатки в сеянных бобово-злаковых однолетних травах должно быть не более 27 %. Во всех вариантах опыта данный показатель соответствует нормативам. Однако, следует отметить, что во всех вариантах опыта с внесением сапонита зафиксировано повышение содержания сырой клетчатки от 10,1% в варианте опыта с дозой сапонита 3,6 т/га (15,5 % содержания сырой клетчатки) до 16,4 % в варианте опыта с дозой сапонита 7,3 т/га (16,4 % содержания сырой клетчатки) относительно контрольного варианта – без внесения сапонита (14,1 % содержания сырой клетчатки).

Согласно методическим указаниям по качеству и питательности зеленых кормов (Сычев, 2002) содержание сырого протеина в сеянных бобово-злаковых однолетних травах должно быть не менее 15 % на сухую массу. Таким образом, при внесении сапонита в дозе 9,7 т/га полученный зеленый корм содержит 14,6 % сырого протеина, что на 2,8 % ниже содержания сырого протеина в контрольном варианте, и не соответствует нормативу. Оставшиеся варианты опыта с внесением доз сапонита (3,6 т/га, 7,3 т/га и 12 т/га), а также контрольный вариант соответствуют нормативу по

содержанию сырого протеина. В вариантах с применением сапонита в дозах 3,6 т/га, 7,3 т/га и 12 т/га отмечено повышение доли содержания сырого протеина относительно контроля на 2,5 % - 12,8 %.

Растворимые углеводы (сахара), способствуют лучшему использованию азота на производство молока, они благоприятны не только для организма животных, но являются еще и питательными веществами для микроорганизмов рубца, однако избыток в рационах сахара оказывает отрицательное влияние на переваримость клетчатки, приводит к большому образованию летучих жирных кислот, которые усиливают перистальтику кишечника и вызывают расстройства в пищеварении. И как следствие происходит снижение удоя. (АгроВестник, 2022). Наши исследования показали, что при применении водной суспензии сапонита наблюдается увеличение содержание растворимых углеводов в пределах от 4,1 % в варианте опыта с дозой внесения сапонита 7,3 т/га (1,3 % содержания растворимых углеводов) до 26,5 % в варианте опыта с дозой внесения сапонита 12 т/га (1,6 % содержания растворимых углеводов) в сравнении с контролем (1,2 % содержания растворимых углеводов). Таким образом, можно сделать вывод, что внесение водной суспензии сапонита в первый год применения привело к существенному увеличению доли растворимых углеводов в зеленой массе вико-овсяной смеси. Согласно нормам содержания элементов питания в сухом веществе рационов для лактирующих и сухостойных коров (Лапотко, 2012) содержание сахаров колеблется от 3-4% в сухостойный период до 6-7 % в лактационный период. Количество сахаров во всех вариантах опыта не превышает нормативов.

Легкорастворимые углеводы (крахмал) являются одним из продуктов фотосинтеза, главное запасное питательное вещество растений. При этом крахмал сравнительно легко подвергается гидролизу в кислой среде или под действием ферментов.

Было выявлено, что при внесении сапонита в дозе 7,3 т/га содержание легкорастворимых углеводов увеличивается на 20,3 % (3,6 % содержания легкорастворимых углеводов) по сравнению с контролем (3,0% содержания легкорастворимых углеводов). В тоже время при остальных дозах минерала не выявлено значительных изменений показателя. Оптимальным соотношением содержания крахмала к содержанию сахаров является 1/1,5-3. Во всех вариантах опыта с внесением сапонита это соотношение составляет от 1/1,8 в варианте опыта с дозой внесения сапонита 12 т/га, до 1/2,8 в варианте опыта с дозой внесения сапонита 7,3 т/га, что входит в оптимальные пределы. При этом в контрольном варианте, без внесения сапонита соотношение содержания сахаров к крахмалу составляет 1/1,2 что является ниже оптимальных значений.

Согласно нормам содержания элементов питания в сухом веществе рационов для лактирующих и сухостойных коров (Лапотко, 2012) содержание сырого жира должно находиться в пределах от 3,5 – 4,0 % в сухостойный период до 3,5 – 6,0 % в лактационный период. Количество сырого жира в вариантах опыта с дозами внесения сапонита 3,6 т/га, 7,3 т/га и 9,7 т/га имеют оптимальные значения, а в варианте опыта с дозой 12 т/га и контрольном варианте – ниже оптимума. Следует отметить, что содержание сырого жира в зеленой массе вико-овсяной смеси, полученный при проведении исследований в 2018 в вариантах опыта с внесении сапонита в дозах 3,6 т/га, 7,3 т/га и 9,7 т/га превышение на 137,1 (4,0 % сырого жира), 115,9 (3,7 % сырого жира), 120,4 (3,8 % сырого жира) соответственно по сравнению с контролем (1,7 % сырого жира). При этом в варианте опыта с дозой сапонита 12 т/га отмечается снижение содержания сырой золы на 21,90 % (1,3 % сырого жира) относительно контроля (1,7 % сырого жира).

Содержание сырой золы в сеянных бобово-злаковых однолетних травах должно быть не более 10 % (Сычев, 2002). При выращивании вико-овсяной смеси в контрольном варианте без внесения сапонита получен

зеленый корм, содержащий 13,2 % сырой золы, что не соответствует стандартным показателям. Повышение содержания сырой золы в корме может свидетельствовать об увеличении доли минеральных компонентов в основной продукции. Во всех вариантах опыта содержание сырой золы находится в пределах 12,3 %-15,2 %, что так же выше нормы.

Согласно методическим указаниям по оценке качества и питательности кормов (Сычев, 2002) содержание кальция в сухом веществе должно быть не менее 0,6 %. Следует отметить, что во всех вариантах с применением водной суспензии сапонита показано увеличение содержания кальция в основной продукции от 8,5 % в варианте с дозой внесения 9,7 т/га (09 % содержания кальция) до 73,1 % в варианте с дозой внесения сапонита 12 т/га (1,4 % содержания кальция) относительно контроля (0,8 % содержания кальция). Вся продукция, исследуемая в данном опыте, соответствует нормативу.

Как показали результаты исследований, при выращивании вико-овсяной смеси во всех вариантах опыта содержания железа находилось в пределах от 10,5 % до 11,6 %. При этом в вариантах с внесением водной суспензии сапонита наблюдается снижение содержания железа на 2,2 – 9,7 % относительно контроля. Так если в контрольном варианте без внесения сапонита содержание железа зафиксировано на отметке 11,6 %, то в вариантах с внесением сапонита в дозах 3,6 т/га и 9,7 т/га – 11,1 % железа, а в вариантах с дозами 7,3 т/га и 12 т/га – 10,5 % и 11,4 % соответственно

Большое значение для оценки экологической безопасности полученной зеленой массы является содержание тяжелых металлов и радионуклидов.

Содержание тяжелых металлов в урожае картофеля 2018 года (Приложение Е, табл. 5) не превышает допустимых уровней (СанПиН 2.3.2.1078-01). Так, содержание свинца и кадмия во всех вариантах опыта не более 0,01 мг/кг, ртути – не более 0,003 мг/кг, при этом допустимый уровень свинца составляет не более 0,5 мг/кг, а кадмия не более 0,03 мг/кг.

Содержание радионуклидов в урожае картофеля 2018 года (Приложение Е, табл. 5) не превышает допустимых уровней (СанПиН 2.3.2.1078-01). Так, удельная активность цезия-136 колеблется в пределах от 3 до 4 Бк/кг, при допустимых 80 Бк/кг, а удельная активность стронция-90 – в пределах 4 – 8 Бк/кг, при допустимых 40 Бк/кг.

Содержание тяжелых металлов в зеленой массе вико-овсяной смеси 2018 года (Приложение Е, табл. 6) не превышает допустимых уровней (СанПиН 2.3.2.1078-01). Так содержание кадмия во всех вариантах опыта не более 0,01 мг/кг, свинца – не более 0,43 мг/кг, при этом допустимый уровень свинца составляет не более 5,0 мг/кг, а кадмия не более 0,03 мг/кг.

Содержание радионуклидов в зеленой массе вико-овсяной смеси 2018 года (Приложение Е, табл. 6) не превышает допустимых уровней (СанПиН 2.3.2.1078-01). Так удельная активность цезия-136 во всех вариантах опыта равна 3 Бк/кг, при допустимых 80 Бк/кг, а удельная активность стронция-90 – в пределах 3 – 10 Бк/кг, при допустимых 40 Бк/кг.

Заклучение

Проведенные исследования позволили изучить влияние водной суспензии сапонита на урожайность и качество основной продукции картофеля и вико-овсяной смеси, а также агрохимические показатели почвы:

1. Результаты исследований на чистом пару демонстрируют, что применение сапонита в весенний период позволяет снизить кислотность дерново-подзолистых почв в первый вегетационный период со снижением эффекта к концу второго вегетационного года. Осеннее внесение способствует нивелированию сезонных колебаний кислотности почв.

2. В опыте с картофелем наблюдается незначительное увеличение содержания подвижного фосфора, калия и снижение содержания нитратного азота в почвах всех вариантов опыта. В вариантах с применением сапонита наблюдалось увеличение содержания органического вещества в почве, наибольшее увеличение отмечается в варианте с дозой внесения сапонита 3,6 т/га (на 16,2 %). В контрольном варианте показатель органического вещества снизился на 7 %.

3. В опыте с вико-овсяной смесью отмечается незначительное снижение кислотности почвы, содержания в почве подвижного фосфора, калия, а также незначительное увеличение обменного кальция. Помимо этого, выявлено статистически значимое влияние сапонита на содержание обменного магния в почве (P -значение $0,000 < \alpha 0,05$).

4. Внесение сапонита в дозах 3,6 и 7,3 т/га при выращивании картофеля не оказывает существенного влияния на урожайность все три года исследований. Внесение сапонита в дозе 9,7 т/га способствовало получению максимальной прибавки урожайности на 10% в 2018 году, на 26 % в 2019 году и 16 % в 2020 году, относительно контроля, без минерала. В варианте с максимальной дозой сапонита 12 т/га отмечается стабильный рост урожайности в течение трех лет наблюдения с 5 % в 2018 году до 15 % в 2020 году, в сравнении с контролем. Высокие прибавки урожая клубней картофеля

на второй год после внесения минерала свидетельствует об эффективном последствии водной суспензии сапонита.

5. Статистически доказано влияние водной суспензии сапонита на урожайность зеленой массы вико-овсяной смеси (P -значение $0,014 > \alpha 0,05$). За первый вегетационный период после внесения водной суспензии сапонита зафиксирована прибавка урожайности зеленой массы вико-овсяной смеси до 27-32 % при применении малых доз сапонита (7,3 т/га и 3,6 т/га), на второй год – повышает урожайность до 23%. Последствие больших доз дает большую прибавку в сравнении с контрольным вариантом без применения сапонита (от 7 % при дозе сапонита – 9,7 т/га, до 23 % от контроля при дозе – 3,6 т/га), что свидетельствует об эффективном последствии используемых минеральных материалов.

6. Внесение водной суспензии сапонита в первый год наблюдений не оказывает значительного влияния на содержание сухого вещества, сырого жира и кальция в клубнях. При этом значительно повышается содержание сырого протеина (на 23,3 – 52,3 %) и растворимых углеводов (на 41,0 – 89,1 %) в клубнях картофеля по сравнению с контролем. При максимальной дозе – 12 т/га водной суспензии сапонита, отмечено увеличение содержания сырой клетчатки в клубнях картофеля (на 17,1 % от контроля), однако, в меньших дозировках наблюдается существенное снижение данного показателя от контроля (на 36,6 % в варианте с дозой внесения сапонита 3,6 т/га, на 26,8 % - дозе 7,3 т/га и на 18,3 % - дозе 12 т/га). При использовании сапонита содержание тяжелых металлов и радионуклидов не превышает допустимых показателей. Показатели качества картофеля находятся в пределах нормативов.

7. Внесение водной суспензии сапонита в первый год исследований в значительной степени увеличивает в зеленой массе вико-овсяной смеси содержание сырого жира (в дозах 3,6 т/га на 137,1 %, 7,3 т/га – 115,9 %, 9,7 т/га – 120,4 % от контроля), растворимых углеводов (в вариантах опыта с

внесением сапонита от 4,1 % до 26,5 % от контроля), сырой клетчатки в вариантах опыта с внесением сапонита от 10,1 % до 16,4 % от контроля) и кальция (в вариантах опыта с внесением сапонита от 8,5 % до 73,1 % от контроля), а в вариантах опыта с дозой внесения сапонита 9,7 т/га и 12 т/га приводит к снижению содержания сухого вещества (на 11,4 % и 16,1 % соответственно) и сырой золы (на 6,6 % и 5,9 % соответственно). Снижение содержания сырой золы является положительным моментом, так как ни один вариант опыта не соответствует нормативам по содержанию сырой золы. Следует отметить, что при внесении сапонита содержание тяжелых металлов и радионуклидов в зеленой массе не превышает ПДК.

8. Результатом модельного опыта доказано, что при совместном применении водной суспензии сапонита и минеральных удобрений отсутствует влияние сапонита на доступность питательных веществ растениям из минеральных удобрений.

Предложение производству

Результаты проведенных исследований влияния водной суспензии сапонита на урожайность и качество основной продукции картофеля и вико-овсяной смеси, а также агрохимические показатели дерново-подзолистой почвы, позволяют предложить, после получения положительного заключения (от ВНИИ агрохимии имени Д.Н. Прянишникова, ФБУН "ФНЦГ имени Ф.Ф. Эрисмана" Роспотребнадзора и МГУ имени М.В. Ломоносова) для регистрации препарата как агрохимиката, разрешенного к применению на территории Российской Федерации, применять дозы:

- 9,7 т/га при возделывании картофеля для увеличения урожайности и качественных характеристик продукции (прибавка урожая составляет в первый год применения до 10 %, последствие на второй год повышает урожайность до 26 %, на третий год – 16 %);
- 3,6 т/га на вико-овсяной смеси для увеличения урожайности и качественных характеристик продукции (прибавка урожая составляет в первый год применения до 32 %, последствие повышает урожайность до 23%);
- 7,3 т/га на парах для снижения кислотности почв.

В случае совместного применения сапонита и минеральных удобрений возможно использовать принятые для региона на окультуренной дерново-супесчаной почвы дозы минеральных удобрений без их увеличения.

Список литературы

1. Агафонов Е.В. Влияние бентонита на повышение плодородия чернозема обыкновенного / Е. В. Агафонов, М. В. Хованский // Почвоведение. – 2014. – № 5. – С. 597–601.
2. АгроВестник [Электронный ресурс]. Полноценное кормление молочного скота – основа реализации генетического потенциала продуктивности. Приложение. – Режим доступа: <https://agrovesti.net/lib/tech/feeding-tech/polnotsennoe-kormlenie-molochnogo-skota-osnova-realizatsii-geneticheskogo-potentsiala-produktivnosti-prilozhenie.html/> (дата обращения: 30.12.2022.)
3. Антропова Г.Е. Почвенный покров и агрохимическая характеристика почв Архангельской области / Г.Е. Антропова, Е.М. Романов, Е.А. Рохина, Е.Н. Наквасина // Достижения науки и техники АПК. – 2017. – Т.31. №2. – С. 5-10.
4. Архангельская область [Электронный ресурс]. Федеральное агентство по туризму – Режим доступа: <https://tourism.gov.ru/> (дата обращения: 30.10.2020.).
5. Атлас Архангельской области / Под ред. Д.Ф. Федорова. М.: ГУГК, 1976. – 72 с.
6. Безукладников П.В. Золошлаковые материалы угольных электростанций-отходы или ценное сырьё/ П.В. Безукладников, В.В. Тропин, Е.Н. Полушкина, Т.А. Меркульева // Рециклинг отходов. – 2008. – №6. - С.24.
7. Боков В.Г. Богатство в отвалах (проблемы утилизации горно-промышленных отходов в России / В.Г. Боков, В.Л. Заверткин, В.Н. Лазарев // Центр. – 1994. – № 8-9. - С12-14.
8. Босак В.Н. Агрономическая эффективность применения сапонитсодержащих базальтовых туфов при возделывании овощных культур / В.Н. Босак, Т.В. Сачивко, М.П. Акулич. // Приемы повышения плодородия почв и эффективности удобрения: материалы Международной научно-

практической конференции, посвященной памяти ученых: Анны Ивановны Горбылевой, Юрия Павловича Сиротина и Вадима Ивановича Тюльпанова // редкол.: Т. Ф. Персикова (отв. ред.) [и др.]. – Горки : БГСХА, 2019. – 11-12.

9. Босак В.Н. Применение сапонитсодержащего базальтового туфа при возделывании овощных культур / В.Н. Босак, Т.В. Сачивко // Вестник БарГУ. Серия: биологические науки. Сельскохозяйственные науки. - 2017. - Вып. 5. –С. 83-88.

10. Босак В.Н. Процессы химического выветривания новых видов агромелиорантов / В.Н. Босак, Т.В. Сачивко // Почвоведение и агрохимия. - 2022. - 1 (68). - С.212-218.

11. Босак В.Н. Влияние сапонит-содержащих базальтовых туфов на продуктивность сельскохозяйственных культур / В.Н. Босак, Г.Д. Стрельцова, О.Ф. Кузьменкова, Т.В. Сачивко // Земледелие и защита растений. - 2016. –№ 5.–С. 6–9.

12. Босак В.Н. Применение сапонитсодержащих базальтовых туфов в земледелии: рекомендации / В.Н. Босак, Г.Д. Стрельцова, О.Ф. Кузьменкова, Т.В. Сачивко // Минск: БГТУ, 2016. - С. 14.

13. Босак, В. М. Выветривание парадайтваральных минералов при антрапагеннаўносимыя кіслоты / В.М. Босак, М. Царай, К. Штар // Вес. ААН Рэсп. Беларусь. –1996. –№ 2. – С. 37–40.

14. Босак, В. Н. Влияние антропогенносимых кислот на процессы выветривания гранита / В. Н. Босак, К. Штар // Тр. БГТУ: Лесное хоз-во. – 2012. – № 1. – С. 218–220.

15. Босак, В. Н. Воздействие антропогенного подкисления почв на процессы выветривания породообразующих минералов / В. Н. Босак, М. Царай, К. Штар // Почвоведение и агрохимия. – 1996. – Вып. 29. – С. 46–51.

16. Бурханова И.О. Ресурсный потенциал ценных металлов Оренбургского нефтегазоконденсатного месторождения [Электронный ресурс] / И.О. Бурханова, Н.А. Скибицкая, М.Н. Большаков // Актуальные

проблемы нефти и газа. 2019. №4 (27). – Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/resursnyy-potentsial-tsennyh-metallov-orenburgskogo-neftegazokondensatnogo-mestorozhdeniya> (дата обращения: 25.04.2021.).

17. Бухтояров О.И Сорбция тяжелых металлов (Cu^{2+} , Cd^{2+} , Pb^{2+} , Zn^{2+}) на бентонитовой глине Зырянского месторождения / О.И. Бухтояров, Л.В. Мосталыгина, Д.Н. Камаев., А.В. Костин // Курганской области. Курганский государственный университет, Курган. 2011. – 7 с.

18. Вика яровая Льговская [Электронный ресурс]. Электронные текстовые данные. – Режим доступа: https://seedspost.ru/catalog/?SECTION_ID=1712&ELE. (дата обращения 10.11.2018.).

19. Власов А.В. Применение сапонита и глауконита в кормлении цыплят-бройлеров: автореф. дис. ...канд. с.х. наук: 06.02.02/Власов Александр Вениаминович. - Краснодар, 1992. - 22 с.

20. Володченко А. Н. Автоклавные ячеистые бетоны на основе магнезиальных глин / А. Н. Володченко, В. С. Лесовик // Известия ВУЗ. Строительство. – 2012. – №5, - С. 14 – 21.

21. Генеральный план муниципального образования «Копачевское» Холмогорского муниципального района Архангельской области [Текст]: Нормативно-правовой акт. 26 декабря 2016.

22. Генеральный план муниципального образования «Емецкое» Холмогорского муниципального района Архангельской области [Текст]: Нормативно-правовой акт. 26 декабря 2016.

23. География области и города [Электронный ресурс]. Официальный сайт Администрации МО "Город Архангельск" – Режим доступа: <http://www.arhcity.ru/> (дата обращения: 13.10.2019.).

24. Герасименко П.С. Влияние бентонитовой глины на агрохимические и агрофизические свойства чернозема южного, урожайность ярового ячменя

и кукурузы: автореф. дис. ...канд. с.х. наук: 06.01.04/. Герасименко Павел Сергеевич. –п. Персиановский, 2008. - 22 с.

25. ГН 2.1.7.2041-06 Предельно-допустимые концентрации (ПДК) химических веществ в почве. введ. 2006-03-26. – М.: Федеральный центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора, 2006. – 15 с.

26. ГН 2.1.7.2511-09 Ориентировочно-допустимые концентрации (ОДК) химических веществ в почве. введ. 2009-05-18. – М.: Федеральный центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора, 2006. – 12 с.

27. ГОСТ 12038-84 Семена сельскохозяйственных культур. Методы определения всхожести. введ. 1986-07-01. – М.: Стандартинформ, 2011. – 30 с.

28. ГОСТ 26213-91 «Почвы. Методы определения органического вещества». введ. 1993-07-01. – М.: Издательство стандартов, 1992. – 8 с.

29. ГОСТ 26483-85 «ПОЧВЫ. Приготовление солевой вытяжки и определение ее рН по методу ЦИНАО». введ. 1985-03-26. – М.: Издательство стандартов, 1985. – 6 с.

30. ГОСТ 26488-85 «Почвы. Определение нитратов по методу ЦИНАО». введ. 1986-07-01. – М.: Издательство стандартов, 1985. – 5 с.

31. ГОСТ 28168-89 Почвы. Отбор проб. введ. 1990-04-01. – М.: Стандартинформ, 2008. – 6 с.

32. ГОСТ 28268-89 ПОЧВЫ. Методы определения влажности, максимальной гигроскопической влажности и влажности устойчивого завядания растений. введ. 1990-06-01. – М.: Стандартинформ, 2008. – 8 с.

33. ГОСТ 31640-2012 «Корма. Методы определения содержания сухого вещества». введ. 2001-07-01. – М.: Стандартинформ, 2020. – 8 с.

34. ГОСТ 5180-2015 Грунты. Методы лабораторного определения физических характеристик. введ. 2016-04-01. - М.: Стандартинформ, 2019. – 23 с.

35. ГОСТ Р 53764-2009 Качество почвы. Определение содержания почвенной влаги в виде объемной доли с применением трубок для отбора пробы грунта. введ. 2011-01-01. – М.: Стандартиформ, 2010. – 12 с.
36. ГОСТ Р 54650-2011 «ПОЧВЫ. Определение подвижных соединений фосфора и калия по методу Кирсанова в модификации ЦИНАО». введ. 2013-01-01. – М.: Стандартиформ, 2019. – 8 с.
37. Громаков, А. А. Эффективность применения бентонитовой глины и минеральных удобрений под подсолнечник на черноземе южном / А. А. Громаков, Н. С. Скуратов, В. П. Горячев. // Научный журнал КубГАУ, – 2012. - № №84(10). – С. 1-10.
38. Громов, Б.В. Безотходное промышленное производство: основные принципы безотходности производства /, Б.В. Громов, В.А. Зайцев // Итоги науки и техники. Сер. «Охрана природы и воспроизводство природных ресурсов» - 1983. - Т.9 - М.: ВИНТИ, - С.176.
39. Гусейнов Г. С. Оглы. Распределение благородных металлов (Au, Ag) в рудах Гедабекского золотомедно-колчеданного месторождения (Малый Кавказ) [Электронный ресурс] / Г. С. Оглы Гусейнов // Отечественная геология. 2017. №6. – Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/raspredelenie-blagorodnyh-met-allov-au-ag-v-rudah-gedabekskogo-zolotomedno-kolchedannogo-mestorozhdeniya-malyu-kavkaz> (дата обращения: 25.04.2021.).
40. Деятельность ПАО «Севералмаз» [Электронный ресурс]. Севералмаз. – Режим доступа: <http://www.severalmaz.ru/o-kompanii/deyatelnost/> (дата обращения: 20.08.2019.).
41. Доклад. Состояние и охрана окружающей среды Архангельской области за 2020 год / отв. ред. О.В. Перхурова; ГБУ Архангельской области «Центр природопользования и охраны окружающей среды». – Текст электронный. – Архангельск: САФУ, - 2021. – 478 с.
42. Доспехов Б.А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований): учебник для студентов

высших сельскохозяйственных учебных заведений по агрономическим специальностям / Б. А. Доспехов. - Изд. 6-е, стер., перепеч. с 5-го изд. 1985 г. - Москва: Альянс, 2011. – 350 с.

43. Дуденков С.В. Использование промышленных отходов / С.В. Дуденков, В.А. Зайцев, С.В. Пекелис // Охрана природы и воспроизводство природных ресурсов. - М.: Итоги науки и техники ВИНТИ,- 1984,- Т. 13. 194 с.

44. Евсеев М.М. Повышение механической прочности макулатурной бумаги для гофрирования добавками минеральных пигментов: автореф. дис. ...канд. техн. наук: 05.21.03/Евсеев Михаил Михайлович. - Красноярск, 2014. – 132 с.

45. Жукова Н.И. Биохимические показатели картофеля приморской селекции [Электронный ресурс] / Н.И. Жукова, Е.Н. Конопатова // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. 2016. №10-1. – Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/biohimicheskie-pokazateli-kartofelya-primorskoj-selekcii>. (дата обращения: 18.04.2021.).

46. Игнатенко Д.Н. Изучение агроклиматических условий Архангельской области РФ в целях оптимизации производства картофеля (на примере Холмогорского района) [Электронный ресурс] /Д.Н. Игнатенко, В.Е. Путырский // Природообустройство. 2017. №3. – Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/izuchenie-agroklimaticheskikh-usloviy-arhangel'skoy-oblasti-rf-v-tselyah-optimizatsii-proizvodstva-kartofelya-na-primere-holmogorskogo> (дата обращения: 08.11.2020.).

47. Исхаков Х.А. Необходимость использования техногенных отходов угледобычи и энергетики / Х. А. Исхаков, Е.Л. Счастливец, Ю.А. Кондратенко // Вестник КузГТУ. - 2008. - №5. - С.87-89.

48. Калинин И.В. Использование кислотно активированных сапонитов в качестве природных сорбентов [Электронный ресурс] / И.В. Калинин, В.А. Богатыренко, В.А. Нестеровский // Ukrainian Journal of Ecology. 2018. №2. –

Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/ispolzovanie-kislotno-aktivirovannyh-saponitov-v-kachestve-prirodnih-sorbentov> (дата обращения: 25.04.2021.).

49. Карболин П.В. Использование в рационах цыплят-бройлеров глауконита и цеолита: автореф. дис. ...канд. с.х. наук: 06.02.08/Карболин Павел Викторович. - Курган, 2011. – 19 с.

50. Кармацких Ю.А. Использование комбикормов с бентонитом при выращивании гусят-бройлеров: автореф. дис. ...канд. с.х. наук: 06.02.02/Кармацких Юлия Анатольевна. - Курган, 2004. -160 с.

51. Карпенко Ф.С. Влияние сапонита на устойчивость гидротехнических сооружений хвостохранилищ на месторождении им. М.В. Ломоносова Архангельской области / Ф.С. Карпенко // Геоэкология. - 2008. - № 3. С. 269 – 271.

52. Карпенко, Ф.С. Условия накопления сапонитсодержащих осадков и технология их сгущения в хвостохранилище месторождения алмазов им. М.В. Ломоносова: автореф. дис. ...канд. геолого-минералог. наук: 25.00.08/Карпенко Федор Сергеевич.- Москва, 2009. - 155 с.

53. Картофель Фреско [Электронный ресурс]. – Электронные текстовые данные. – Режим доступа: <http://alen-agro.ru/fresko> (дата обращения 10.11.2018.).

54. Картофель. Влияние на содержание сухого вещества в клубнях картофеля [Электронный ресурс]. – Электронные текстовые данные. – Режим доступа: <https://www.yara.ru/crop-nutrition/potatoes/potato-quality/influencing-potato-tuber-dry-matter-content/>. (дата обращения 18.04.2021.).

55. Ким И.В. Характеристика исходного материала и результаты его использования в селекции картофеля в Приморском крае / И.В. Ким, Л.А. Новоселова, Т.М. Ильяшик // Картофелеводство: сб. науч. тр.: матер. координац. совещ. и науч.-практич. конф., посвящ. 120-летию со дня рожд. А.Г. Лорха. Россельхозакадемия, ВНИИКС. М.: - 2009. – С. 69-76.

56. Кипер И.М. Селекция и семеноводство раннего картофеля / И.М. Кипер // М.: Россельхозиздат, 1972. – С. 15 – 16.
57. Кирюшин Б.Д. Методика научной агрономии. Часть II. Постановка опытов и статистико-агрономическая оценка их результатов / Б.Д. Кирюшин // ФГОУ ВПО РГАУ-МСХА им. К. А. Тимирязева. Москва, 2005– С. 174.
58. Козлов А.В. Физико-химические свойства бентонита и его влияние на кислотнo-основные показатели и эффективное плодородие дерново-подзолистой почвы / А.В. Козлов, А.Х. Куликова, И.П. Уромова // Бюллетень почвенного института им. В.В. Докучаева. - 2019. - Вып. 96. - С. 86-106.
59. Кольnenков В.П. Сорбционные свойства сапонитсодержащих туфов Беларуси / В.П. Кольnenков, Г.Д. Стрельцова, О.В. Мурашко // Природные ресурсы - 2015. - № 2. - С. 5–12.
60. Комаров М.А. Горно промышленные отходы - дополнительный источник минерального сырья / М.А. Комаров, В.А. Алискеров, В.И. Кусевич, В.Л. Заверткин // Минеральные ресурсы России. Экономика и Управление. - 2007. - №4. -С3-9.
61. Корелина В.А. Научно обоснованная система земледелия и технологии возделывания сельскохозяйственных культур в Архангельской области / В.А. Корелина, Т.Б. Лагутина, Л.А. Попова, Г.Е. Антропова, Е.М. Романов, М.В. Макарова, Г.П. Прожерина // Архангельск: «СОЛТИ», 2016. – С. 114.
62. Коршунов А.А. Исследование седиментации тонкодисперсных отходов обогащения кимберлитовых руд месторождения алмазов им. М.В. Ломоносова / А.А. Коршунов // Вест. ВОЛГАСу. Сер. Стр-во и архит.: науч.-теор. и произв.-практ. журн. Волгоград: Волг-ГАСУ, - 2009. - Вып. 16(35). - С.177-182.
63. Коршунов А.А. Перспективы и направления утилизации отходов обогащения кимберлитовых руд на месторождении им. М.В. Ломоносова /

А.А. Коршунов, А.Л. Невзоров // Проблемы региональной экологии. - 2009. - № 2. - С. 213–216.

64. Коршунов А.А. Исследование набухания хвостовых отложений, образующихся в процессе обогащения кимберлитовых руд месторождения алмазов им. М.В. Ломоносова / А.А. Коршунов, А.Л. Невзоров // Вест. Арханг. гос. техн. ун-та. Сер. «Прикладная геоэкология». Архангельск: Изд-во АГТУ. - 2007. - Вып. 70. - С. 130-134.

65. Коршунов А. А. Особенности складирования и перспективы утилизации отходов обогащения кимберлитовых руд на месторождении алмазов им. М.В. Ломоносова / А.А. Коршунов, А.Л. Невзоров // Вестник Арханг. гос. техн. ун-та. Сер. «Прикладная геоэкология». Архангельск: Изд-во АГТУ, - 2008. - Вып. 75. - С. 46–59.

66. Косарева Е.Н. Отчет по деятельности ФГБУ САС «Архангельская» за 2020 год / Е.Н. Косарева // Архангельск, - 2020, - 7 С.

67. Косарева Е.Н. Современное состояние почвенного покрова сельскохозяйственных земель Архангельской области / Е.Н. Косарева, Е.М. Романов // Исследование почвенного покрова Русского Севера. Материалы X Сибирцевских научных чтений, посвященных 160-летию со дня рождения выдающегося русского естествоиспытателя – геолога, почвоведа и агронома Н.М. Сибирцева. - 2020. - С. 31-36.

68. Косарева Е.Н. Экологический мониторинг сельскохозяйственных угодий Архангельской области / Е.Н. Косарева, Е.М. Романов, Е.Н. Шабанова // Проблемы обеспечения экологической безопасности и устойчивое развитие арктических территорий. Сборник материалов Всероссийской конференции с международным участием II Юдахинские чтения. Ответственный редактор И.Н. Болотов. - 2019. - С. 298-302.

69. Крамаренко М.Н. Продуктивность цыплят-бройлеров при использовании в рационе кормовой добавки на основе глауконита: автореф.

дис. ...канд. с.х. наук: 06.02.02/ Крамаренко Марина Николаевна. - Троицк, 2007. - 24 с.

70. Краснов О.С. Перспективы производства дефицитных цветных и редких металлов из угольных отходов в Кузбассе / О.С. Краснов, В.А. Салихов // Цветные металлы. - 2007. - №8 - С.8-11.

71. Крупская В.В. Отчет по результатам изучения образца сапонита / В.В. Крупская, П.Е. Белоусов, О.В. Доржиева, С.В. Закусин, С.А. Гаранина, Е.А. Тюпина // ИГЕМ РАН. Москва, - 2017. – С. 21.

72. Ксинтарис В.Н. Использование вторичного сырья и отходов в производстве: отечественный и зарубежный опыт, эффективность и тенденции / В.Н. Ксинтарис, Я.А. Рекитар // М.: Экономика, - 1983. - С. 78.

73. Кузьменкова О.Ф., Левицкий И.А., Баранцева С.Е., Позняк А.И. Вендские траппы Беларуси – перспективное сырье для силикатной промышленности / О.Ф. Кузьменкова, И.А. Левицкий, С.Е. Баранцева, А.И. Позняк // Лістасфера. - 2012. - № 2. - С. 130–147.

74. Ласкорин Б.М. Безотходные технологии промышленности / Б.М. Ласкорин, В.В. Громов, А.П. Цыганков, В.Н. Сенин // М.: Стройиздат, - 1986. – С.160.

75. Литвинов С.С. Методика полевого опыта в овощеводстве / С.С. Литвинов // Российская Академия сельскохозяйственных наук ГНУ Всероссийский научно-исследовательский институт овощеводства. Москва. - 2011. – С. 650.

76. Магакян В.Ш. Использование пробиотика и глауконита в кормлении цыплят-бройлеров: автореф. дис. ...канд. с.х. наук: 06.02.08/ Магакян Валтер Шарбатович. - Курган, 2003. - 19 с.

77. Матросов А.А. Мясная продуктивность цыплят-бройлеров при использовании в рационе глауконита и глюкоманнанового комплекса: автореф. дис. ...канд. с.х. наук: 06.02.10/ Матросов Александр Александрович. - Троицк, 2010. - 23 с.

78. Методика исследований по культуре картофеля НИИКХ. – М.: Агропромиздат. – 1967. – 267 с.
79. Методические указания по определению мышьяка в почвах фотометрическим методом. введ. 26.02.1993 МСХ. ЦИНАО. – М., - 1993. – С. 13.
80. Моисеев Н.А. Лесоэкономическое и лесорастительное районирование (на примере Архангельской области) / Н.А. Моисеев, В.Г. Чертовской // Вопросы таежного лесоводства на Европейском Севере. М.: Наука, - 1967. - С. 7-22.
81. Мосталыгина Л.В. Bentonитовые глины Зауралья: экология и здоровье человека: Монография. / Л.В. Мосталыгина, С.Н. Елизарова, А.В. Костин. - Курган: Изд-во Курганского государственного университета, 2010. – 148 с.
82. МУ 5048-89 «Методические указания по определению нитратов и нитритов в продукции растениеводства». введ. 1990-01-01. М.: Стандартиформ, 1990. – 52 с.
83. Миненко В.Г. Глубокая переработка технологических шламсодержащих вод алмазодобывающих предприятий с получением сапонита / В.Г. Миненко, А.Л. Самусев, А.С. Тимофеев // Плаксинские чтения – 2013: мат-лы междунар. совещания (16–19 сентября 2013, г. Томск). – Томск, - 2013. – С. 387–390.
84. Наквасина Е. Н. Влияние сапонит содержащих хвостов обогащения кимберлитов на свойства торфяных субстратов / Е. Н. Наквасина, О. Н. Земцовская, А. И. Денисова // Вестник САФУ. Серия Естественные науки. - 2015. - №2. - С. 65–72.
85. Наквасина Е.Н. Мониторинг сельскохозяйственных земель архангельской области / Е.Н. Наквасина, Т.А. Паринова, Е.М. Романов, А.Г. Волков, Л.В. Голубева, А.А. Попова // Биомониторинг в Арктике. сборник

тезисов докладов участников международной конференции. - 2018. - С. 96-99.

86. Никляев В.С. Основы технологии сельскохозяйственного производства. Земледелие и растениеводство / В.С. Никляева // М.: «Былина», - 2000. - С.555.

87. Новосёлов, С.И. Влияние агроэкологических условий на аммонифицирующую и нитрифицирующую способность почвы / С.И. Новосёлов // Вестник Марийского Государственного университета. Серия: сельскохозяйственные науки. – 2015. – № 4. – С. 42–47.

88. Об административно-территориальном устройстве Архангельской области: областной закон №65-5-ОЗ принят губернатором Архангельской области И.Ф. Михальчук 23 сентября 2009 г. N 65-5-ОЗ.

89. Об утверждении внесения изменений в генеральный план муниципального образования «Емецкое» Холмогорского муниципального района Архангельской области // Проект постановления внесения изменений в генеральный план муниципального образования «Емецкое» Холмогорского муниципального района Архангельской области». 02 августа 2019.

90. Облицов А.Ю. Утилизация отходов обогащения алмазосодержащей породы с учетом специфики месторождения им. М.В. Ломоносова / А.Ю. Облицов // Записки Горного института. - 2012. - Т.189. - С. 141–144.

91. Овес яровой Лев [Электронный ресурс]. – Электронные текстовые данные. – Режим доступа: <https://agroinfo.com/posevnaya/oves-yarovoj-lev/> (дата обращения 10.11.2018.).

92. Отчет «сведения о наличии и распределении земель по категориям и формам собственности» по Архангельской области и Ненецкому автономному округу по состоянию на 01.01.2020. Управление Федеральной службы государственной регистрации кадастра и картографии по Архангельской области и Ненецкому автономному округу.

93. Панько А. В. Влияние ультрадисперсного монтмориллонита на бальнеологические свойства пелоидов / А.В. Панько, В.А. Олейник, И.Г. Ковзун, И.Т. Проценко, Е.М. Никипелова // Наносистемы, наноматериалы, нанотехнологии *Nanosystems, Nanomaterials, Nanotechnologies*. - 2013, - т. 11, № 4. - С. 805–813.
94. Пенделяк Р.Н. Геологическое строение трубки им. В. Гриба и её индикаторные особенности в геофизических полях [Электронный ресурс] / Р.Н. Пенделяк, А.В. Морозов, В.А. Могутова // Отечественная геология. 2019. №5. – Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/geologicheskoe-stroenie-trubki-im-v-griba-i-eyo-indikatornye-osobennosti-v-geofizicheskikh-polayah> (дата обращения: 25.04.2021.).
95. Писарев Б.А. Производство раннего картофеля / Б.А. Писарев // М.: Россельхозиздат, - 1986. – С. 9.
96. Плякин, А. М. Твёрдые полезные ископаемые Тимана: учеб.пособие /А. М. Плякин, В. В. Беляев. – Ухта: УГТУ, - 2005. – С. 92.
97. Правительство Архангельской области. Агропромышленный комплекс Архангельской области. [Электронный ресурс]. – Электронные текстовые данные. – Режим доступа: <https://dvinaland.ru/economics/agroprom/> (дата обращения 18.02.2021.).
98. Природно-климатические особенности Холмогорского района [Электронный ресурс] Лыжин Александр. 2009. Режим доступа: http://sacradamus.ru/kholmogorsky_region/prirodno-klimaticheskie-osobennosti-holmogorskogo-rajona.html– (Дата обращения: 08.11.2020.).
99. Прудников С.Г. Проблема разработки техногенных образований отработанных россыпей золота в Туве [Электронный ресурс] / С.Г. Прудников // Природные ресурсы, среда и общество. 2019. №3 (3). – Режим доступа:<https://cyberleninka.ru/article/n/problema-razrabotki-tehnogennyh-obrazovaniy-otrabotannyh-rossypey-zolota-v-tuve> (дата обращения: 25.04.2021.).

100. Пшеченков, К.А. Технология хранения картофеля [Текст] /К.А. Пшеченков [и др.]- М.: Изд-во «Картофелевод», 2007. - 192 с.
101. Рудь В.Д. Аналіз дослідження властивостей сапонітової глини / В.Д. Рудь, Л. М. Самчук, І. В. Савюк, Ю. Повстяна // Технологический аудит и резервы производства. – 2015. — № ¼ (21). - С. 54–57.
102. Савоненков В. Г. Глины как геологическая среда для изоляции радиоактивных отходов / В.Г. Савоненков, Е.Б. Андерсо., С.И. Шабалев // СПб.: Инфо Ол, - 2012. – С. 215.
103. СанПиН 2.3.2.1078-01 «Гигиенические требования к безопасности и пищевой ценности пищевых продуктов». введ. 2002-05-31. – М.: ЗАО "РИТ ЭКСПРЕСС", 2011. – 269 с.
104. Сапонит [Электронный ресурс] Pro-камни. Режим доступа: <https://pro-kamni.ru/saponit> (дата обращения: 25.04.2021.).
105. Сапонит [Электронный ресурс] Кристаллов.net. Режим доступа: <https://kristallov.net/saponit.html> (дата обращения: 20.09.2019.).
106. Сидорова Г.П. Состояние и перспективы освоения Южно-Аргунского угленосного района [Электронный ресурс] / Г.П. Сидорова, П.Б. Авдеев, А.А. Якимов, Ю.М. Овешников // Уголь. 2019. №4 (1117). – Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/sostoyanie-i-perspektivy-osvoeniya-yuzhno-argunskogo-uglenosnogo-rayona> (дата обращения: 25.04.2021.).
107. Складов Г.А. Почвы лесов Европейского Севера/ Г.А. Складов, А.С. Шарова. - М., 1970. – С. 270.
108. Стрельцова Г.Д. Туф базальтовый сапонитсодержащий измельченный: технические условия ТУ ВУ 192018546.015-2017. / Г.Д. Стрельцова, О.Ф. Кузьменкова, В.Н. Босак, Т.В. Сачивко // Минск: Государственный комитет по стандартизации Республики Беларусь, - 2017. С. 12.
109. Стрельцова Г.Д. Характеристика и перспективы использования сапонит-содержащих базальтовых туфов / Г.Д. Стрельцова, О.Ф.

Кузьменкова, В.Н. Босак, Т.В. Сачивко // Природнае асяроддзе Палесся: асаблівасці і перспектывы развіцця. Мінск: Беларуская навука. - 2016. - Вып. 9. - С. 33–35.

110. Сычев В.Г. Методические указания по оценке качества и питательности кормов – Введ. 20.06.2002 Минсельхоз России. / В.Г. Сычев, В.В. Лепешкин // М.: ЦИНАО. – 2002. – С. 75.

111. Тарасевич Ю.И. Состав, структура и термическая устойчивость гидратов обменных катионов сапонита / Ю.И. Тарасевич, В.Е. Поляков, З.Г. Иванова, М.Ю. Трифонова // Химия и технология воды. - 2011. - Т. 33, N 4. - С. 381-391.

112. Тарасов С.И. Проблемные аспекты использования побочной продукции животноводства [Электронный ресурс] / С.И. Тарасов // Техника и технологии в животноводстве. 2020. №3 (39). – Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/problemnye-aspekty-ispolzovaniya-pobochnoy-produktsii-zhivotnovodstva> (дата обращения: 25.04.2021.).

113. Тельминов И. В. Искусственные грунты из отходов обогащения кимберлитовой руды / И. В. Тельминов, А. Л. Невзоров, И. Ю. Заручевных, М. А. Корзова // Вестник МГСУ. - 2011. - №1. - С. 128–131.

114. Тельминов И.В. Искусственные грунты из отходов обогащения кимберлитовой руды / И. В. Тельминов, А. Л. Невзоров, И. Ю. Заручевных, М. А. Корзова // Вестник МГСУ. - 2011. - №1. - С. 128–131.

115. Технический регламент Таможенного союза ТР ТС 021/2011 «О безопасности пищевой продукции». введ. 2011-12-09. – М.: ЗАО "РИТ ЭКСПРЕСС", 2011. – 242 с.

116. Туфанова Р.А. Агроклиматические ресурсы Архангельской области / Р.А. Туфанова, З.Н. Пильникова, М.И. Брайнина. – Ленинград: Гидрометиздат, - 1971. – С. 136.

117. Уровень токсических веществ в почве - подвижных форм алюминия и марганца [Электронный ресурс] Учебные материалы онлайн. Режим

доступа: https://studwood.net/1105631/matematika_himiya_fizika/uroven_toksicheskikh_veschestv_pochve_podviznyh_form_alyuminiya_margantsa (дата обращения: 08.12.2022.).

118. Уфимцев В.М. Получение попутной минеральной продукции на тепловых электростанциях / В.М. Уфимцев, Ф.Л. Капустин, В.Я. Путилов // ЭНЕРГЕТИК. - 2010. - № 5. - С 07-09.

119. ФР 1.31.2012.13573 «Методика измерений массовых долей токсичных металлов в пробах почв атомно-абсорбционным методом». М.: Москва, 2012. - 16 с.

120. ФР 1.31.2013.16678 «Методика выполнения измерений массовой доли ртути в пробах почв и донных отложений метом беспламенной атомно-абсорбционной спектрометрии» М.: Москва, 2013. - 11 с.

121. Хованский М.В. Применение бентонитовой глины и минеральных удобрений под зерновое сорго на черноземе обыкновенном: автореф. дис. ...канд. с.х. наук: 06.01.04/Хованский Михаил Васильевич. –пос. Персиановский, 2009. – 23 с.

122. Холмогорский район [Электронный ресурс] Открытый север. Туристический портал Архангельской области. Режим доступа: <https://www.pomorland.travel/what-to-see/kholmogorskiy-district/> (дата обращения: 08.11.2020.).

123. Цветкова А.М. Эффективность использования сорбентов в кормлении молодняка кроликов: автореф. дис. ...канд. с.х. наук: 06.02.02/ Цветкова Адиля Маратовна.- Казань, 2013. – 90 с.

124. Цыганков А.В. Применение бентонита и минеральных удобрений под озимую пшеницу на темно-каштановой почве: автореф. дис. ...канд. с.х. наук: 06.01.04/ Цыганков Александр Владимирович. –пос. Персиановский, 2011. – 23 с.

125. Чичаева В.Н. Справочные таблицы по кормлению сельскохозяйственных животных: Методическое пособие для лабораторных

занятий студентов зооинженерного факультета / В.Н. Чичаева, Т.Н. Комиссарова, Н.В. Воробьева, Т.П. Логинова // Нижний Новгород, ФГБОУ ВО НГСХА.- 2017. – С.67.

126. Шпилевая (Вержак) Д. В. Алмазные месторождения Архангельской области и экологические проблемы их освоения / Д. В. Шпилевая (Вержак), К. В. Гаранин // Вестник Московского университета. Сер. 4. Геология. - 2005. - № 6. - С. 18–27.

127. Щипцов В.В. Промышленные минералы севера европейской части России [Электронный ресурс] / В.В. Щипцов, И.Н. Бурцев, Д.В. Жиров, А.В. Волошин, Д.О. Машин // Труды КарНЦ РАН. 2020. №6. – Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/promyshlennye-mineraly-severa-evropeyskoj-chasti-rossii> (дата обращения: 25.04.2021.).

128. Щипцов В.В. Минерально-сырьевой потенциал арктических районов Республики Карелия [Электронный ресурс] / В.В. Щипцов, В.И. Иващенко // Труды КарНЦ РАН. 2018. №2. – Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/mineralno-syrievoy-potentsial-arkticheskikh-rajonov-respubliki-kareliya> (дата обращения: 25.04.2021.).

129. Юркевич, Е.С. Токсиколого-гигиеническая оценка сапонитсодержащего базальтового туфа / Е. С. Юркевич, В. И. Иода. // Сахаровские чтения 2017 года: экологические проблемы XXI века. — 2017. - С. 61-62.

130. Aggarwal V., Li H., Terpen B. J. Triazinead sorption by saponite and clay minerals // Environmental Toxicology and Chemistry, Vol. 25, No. 2, 2006.Pp. 392–399. Printed in the USA 0730-7268/06.

131. Alekseeva T., Kolyagin Yu., Sancelme M., Besse-Hoggan P. Effect of soil properties on pure and formulated mesotrione adsorption onto vertisol (Limagne plane, Puy-de-Dôme, France) // Chemosphere, 111, 2014. Pp. 177-183.

132. Antonella G., Mehta N., Rossetti P., Ajmone-marsan F., Antonio D., Luca D. Sustainable approach towards extractive waste management: two case

- studies from Italy. // *Resour. Policy* 59. 2020. P33–43. doi: 10.1016/j.resourpol.2018.07.009.
133. Antonella G., Rossetti P., Perotti L., Alberto W., Sarkka H., Coulon F., Wagland S., Gri Z., Rodeghiero F. Land fill mining from extractive waste facilities: the importance of a correct site characterisation and evaluation of the potentialities. A case study from Italy. // *Resour. Policy* 59. 2018. P 50–61. doi: 10.1016/j.resourpol.2018.04.012.
134. Armstrong M., Langrené N., Petter R., Chen W., Petter C. Accounting for tailings dam failures in the valuation of mining projects. // *Resour. Policy* 63. 2019. P 7. doi: 10.1016/j.resourpol.2019.101461.
135. Armstrong M., Petter R., Petter C., Vargas F.G., Janeiro R.De. Why have so many tailings dams failed in recent years? // *Resour. Policy* 63. 2019. P 10. doi: 10.1016/j.resourpol.2019.101412.
136. Beretka J., de Vito B., Santoro L., Sherman N., Valenti G.L. Utilisation of industrial wastes and by-products for the synthesis of special cements. *Resour. Conserv. Recycl.* 1993;9:179–190. doi: 10.1016/0921-3449(93)90002-W.
137. Bosak V., Sachyuka T., Saponite-containing basaltic tuffs: characteristics and application features. Tagungsbeitrag zu: Jahrestagung der DBG, Kommission IV Horizonte des Bodens, DBG 2.–7. September 2017.
138. Bosak V., Sachyuka T., Use of saponite-containing basaltic tus as a Mg-fertilizer in the cultivation of vegetable crops. Belarusian State Agricultural Academy, BY-213407 G. 2019. 29-31 p.
139. Carlson L. Bentonite Mineralogy. Part 1: Methods of Investigation – a Literature Review. Part 2: Mineralogical Research of Selected Bentonites // Working Report 2004-02. Geological Survey of Finland. POSIVA OY. 2004. 105 p.
140. Christmann P. Mineral Resource Governance in the 21st Century and a sustainable European Union // *Miner Econ.* 2021 Apr 21. P 1–22. doi: 10.1007/s13563-021-00265-4.

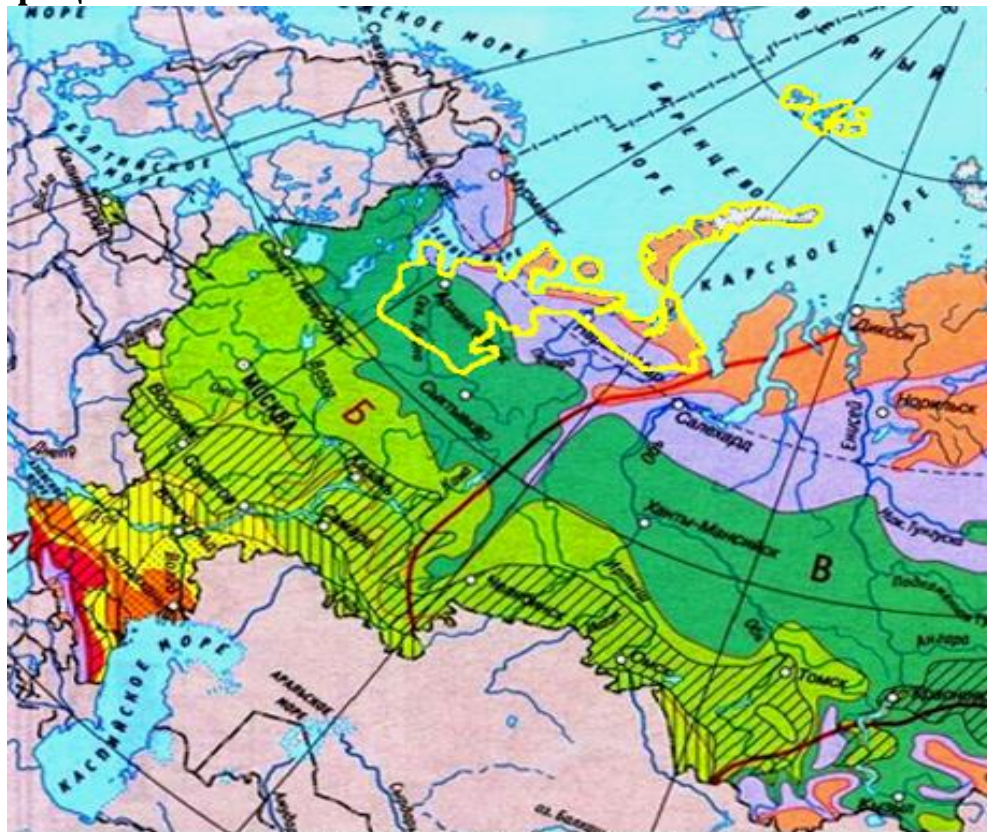
141. Christmann P. Towards a more equitable use of mineral resources – natural resources research. // *Towards a More Equitable Use of Mineral Resources*. 2017. P 159–177.
142. Csanyi D.M.C. Environmental Hazards of Limestone Mining. // accessed on 19 September 2016; Available online: <http://education.seattlepi.com/environmental-hazards-limestone-mining-5608.html>.
143. Dong W, Pu X, Ren Y, Zhai Y, Gao F, Xie W. Thermoresponsive Bentonite for Water-Based Drilling Fluids. *Materials* 2019, 12, 2115; doi:10.3390/ma12132115.
144. Ericsson M, Löf O. Mining's contribution to national economies between 1996 and 2016. *Mineral Economics*. 2019;32(2):223–250. doi: 10.1007/s13563-019-00191-6. P 223–250.
145. Estimation of the efficiency of applying nanocomposites as environmentally safe nanofertilizers to stimulate biometric indices of agricultural crops / M. V. Savchuk, M. F. Starodub, C. Bisio. // *Agricultural Science and Practice*. — 2018. — № Vol. 5, No. 2. — C. 64-76.
146. Fowler J., Li W., Bailey C. Effects of a calcium bentonite clay in diets containing aflatoxin when measuring liver residues of aflatoxin B1 in starter broiler chicks.// *Toxins (Basel)*, 2015. p. 7.).
147. Harley A.D., Gilkes R.J. Factors influencing the release of plant nutrient elements from silicate rock powders: A geochemical overview. January 2000 *Nutrient Cycling in Agroecosystems* 56(1):11-36 DOI: 10.1023/A:1009859309453.
148. Ihekwe G.O., Shondo J.N., Orisekeh K.I., Kalu-Uka G.M., Nwuzor I.C., Onwualu A.P. Characterization of certain Nigerian clay minerals for water purification and other industrial applications // *Heliyon*6(4). 2020 Apr. P 22. doi: 10.1016/j.heliyon.2020.e03783.

149. Inderpreet S. K., Satvinder K., Harpreet K. & Rajneet K. K., Multifaceted role of clay minerals in pharmaceuticals. // *Future Sci. OA* 1(3). 2015 FSO6.
150. Jain RK, Cui Z, Domen J.K. Environmental impact of mining and mineral processing. // *Book. Elsevier.* 2016. P 322.
151. Joseph A.M., Snellings R., Heede P. V., Matthys S., Belie N.D. The use of municipal solid waste incineration ash in various building materials: a Belgian point of view. // *Materials (Basel)*. 2018 Jan. doi: 10.3390/ma11010141.
152. Karna R.R., Luxton T., Bronstein K.E., Redmon J.H., Scheckel K.G. State of the science review: Potential for beneficial use of waste by-products for in situ remediation of metal-contaminated soil and sediment // *Crit Rev Environ Sci Technol.* Author manuscript; available in PMC. 2020 Aug. P 13.
153. Kesler S. E., Simon A. C. Mineral resources, economics and the environment – *Book.* // Cambridge University Press. 2015. P446.
154. Kumaresan S., Radheshyam R.P., Bhavesh D. Kevadiya, Hari C. Bajaj. Synthesis of Saponite Based Nanocomposites to Improve the Controlled Oral Drug Release of Model Drug Quinine Hydrochloride Dihydrate. *Pharmaceuticals (Basel)*. 2019 Jul 10;12(3). pii: E105. doi: 10.3390/ph12030105.
155. Mana S. C. A., Hanafiah M. M., Chowdhury A. J. K. Environmental characteristics of clay and clay-based minerals // *Geology, Ecology, and Landscapes*, 2017. C. 155-161.
156. Moore K R, Whyte N., Roberts D., Allwood J., Leal-Ayala D.R., Bertrand G., Bloodworth A.J. The re-direction of small deposit mining: technological solutions for raw materials supply security in a whole systems context // *Resources, Conservation & Recycling: X*. 2020 Sep. P 7. doi: 10.1016/j.rcrx.2020.100040.
157. Németh T., Balázs R., Sipos P., Jiménez J. Change of the metal sorption properties of clay minerals due to laboratory and natural pedogenic alterations. *Millán*, 2003, 74 p.

158. Nicoara A.I., Stoica A.E., Vrabec M., Rogan N.Š., Sturm S., Ow-Yang C., Gulgun M. Ali, Bundur Z.B., Ciuca I., Vasile B.S. End-of-life materials used as supplementary cementitious materials in the concrete industry // *Materials (Basel)*. 2020 Apr. doi: 10.3390/ma13081954.
159. Prasai T.P., Walsh K.B., Bhattarai S.P., Midmore D.J., Van Thi T. H., Moore R.J., Stanley D. Biochar, Bentonite and zeolite supplemented feeding of layer chickens alters intestinal microbiota and reduces campylobacter load PLOTS ONE. 2016. DOI:10.1371. ID 4693702.3.
160. Turan N.G., Ozgonenel O. Study of montmorillonite clay for the removal of copper (ii) by adsorption: Full factorial design approach and cascade forward neural network. // *The Scientific World Journal*. Volume 2013, Article ID 342628, 11 pages.
161. Zeng X. Sorption of wastewater containing reactive red X-3B on inorgano-organo pillared bentonite. // *Journal of Zhejiang University SCIENCE B* 2006 7(4):314-319 ISSN 1673.

ПРИЛОЖЕНИЕ

Приложение А - Карта агроклиматических ресурсов Российской Федерации. М. 1:40 000 000



АГРОКЛИМАТИЧЕСКИЕ ПОЯСА ПО ТЕПЛОБЕСПЕЧЕННОСТИ

Пояс	Сумма температур воздуха за период с температурой выше +10 °С	Сельскохозяйственные культуры, для которых соответствующая теплообеспеченность оптимальна
холодный	■ менее 400	Овощные культуры в закрытом грунте
	■ 400–1000	Редис, салат, шпинат, лук. Очаговое земледелие
умеренный	■ 1000–1600	Рожь, овес, ячмень, лен-долгунец, зернобобовые, картофель
	■ 1600–2200	Пшеница, зернобобовые, лен масличный, сахарная свекла на корм
	■ 2200–2800	Кукуруза, сахарная свекла, подсолнечник, соя, пшеница
	■ 2800–3400	Пшеница, кукуруза на зерно, подсолнечник, соя, рис
субтропический	■ 3400–4000	Пшеница, кукуруза, подсолнечник, рис
	■ более 4000	Многолетние культуры: чай, виноград, цитрусовые
	■ Горные районы с невыделенными поясами по теплообеспеченности	

ОБЛАСТИ ПО СООТНОШЕНИЮ ОСАДКОВ ТЕПЛОГО И ХОЛОДНОГО ПЕРИОДОВ

- А** Осадки теплого периода менее осадков холодного периода
- Осадки теплого периода превышают осадки холодного периода
- Б** менее чем в 2 раза
- В** в 2–4 раза
- Г** более чем в 4 раза

ЗОНЫ ПО СТЕПЕНИ УВЛАЖНЕНИЯ

- Коэффициент увлажнения*
- более 1,0 **влажная** – осадки за год превышают испаряемость
 - 0,55–1,0 **засушливая** – осадки за год меньше испаряемости
 - 0,33–0,55 **слабозасушливая**
 - менее 0,33 **засушливая**
- *Коэффициент увлажнения – отношение осадков и испаряемости (год)
- Границы зон увлажнения

Границы

- областей — поясов по теплообеспеченности — Архангельской области

Приложение Б - Данные эксперимента на чистом пару

Таблица 1. Изменение содержания агрохимических показателей в почве, под воздействием различных доз сапонита в эксперименте на чистом пару

	Данные по весеннему отбору 2018		Данные по осеннему отбору 2018			Данные по весеннему отбору 2019			Данные по осеннему отбору 2019		
	рН	Гидролитическая кислотность ммоль/100 г	Алюминий ммоль/100 г	рН	Гидролитическая кислотность ммоль/100 г	Алюминий ммоль/100 г	рН	Гидролитическая кислотность ммоль/100 г	Алюминий ммоль/100 г	рН	Гидролитическая кислотность ммоль/100 г
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1 вариант опыта К-0	5,50	2,11	0,27	5,80	1,08	0,13	5,40	3,05	0,14	5,40	1,86
	5,50	2,35	0,05	5,50	2,46	0,06	5,80	2,16	0,12	5,70	1,82
	5,90	1,98	0,05	6,00	0,93	0,10	5,80	0,93	0,12	6,20	0,85
	5,70	1,94	0,08	6,00	1,53	0,08	5,80	1,86	0,09	5,80	1,46
Среднее значение	5,70	2,17	0,05	5,75	1,70	0,08	5,80	1,55	0,12	5,95	1,34
2 вариант опыта 3,6 т/га	5,90	1,43	0,05	6,30	0,61	0,09	5,90	1,78	0,15	6,40	0,74
	5,40	2,21	0,08	5,60	1,98	0,10	5,40	2,52	0,15	5,40	2,11
	5,20	1,98	0,05	5,80	1,28	0,11	5,30	2,21	0,12	5,40	2,11
	5,40	1,60	0,05	5,70	1,60	0,11	5,60	1,28	0,18	5,80	1,50
Среднее значение	5,48	1,81	0,06	5,85	1,37	0,10	5,55	1,95	0,15	5,75	1,62
3 вариант опыта 7,3 т/га	5,60	1,98	0,08	5,80	1,18	0,08	6,10	1,28	0,17	5,80	1,63
	5,50	2,21	0,05	5,60	1,94	0,06	5,50	2,02	0,12	5,80	1,46
	5,50	2,74	0,11	5,70	1,60	0,11	5,60	1,60	0,12	5,60	1,70
	5,60	1,98	0,08	5,80	1,28	0,14	5,40	1,60	0,11	5,90	1,31
Среднее значение	5,55	2,23	0,08	5,73	1,50	0,10	5,65	1,63	0,13	5,78	1,53
4 вариант опыта 9,7 т/га	6,00	1,26	0,11	6,60	0,48	0,09	5,70	1,78	0,11	6,10	1,06
	5,40	2,46	0,05	5,70	1,94	0,06	5,60	2,41	0,18	5,50	2,07
	5,30	1,98	0,08	5,80	1,70	0,10	5,40	1,98	0,15	5,40	2,21
	5,30	1,60	0,05	5,70	1,28	0,17	5,40	1,98	0,12	5,40	1,90
Среднее значение	5,50	1,83	0,07	5,95	1,35	0,11	5,53	2,04	0,14	5,60	1,81
5 вариант опыта 12 т/га	5,50	2,31	0,14	5,80	1,20	0,09	5,50	2,57	0,12	5,70	1,60
	5,70	1,53	0,05	6,40	0,83	0,08	5,90	1,53	0,14	6,20	0,99
	5,40	2,74	0,05	5,50	2,21	0,09	5,50	1,78	0,12	5,60	1,70
	5,60	2,46	0,08	5,70	1,43	0,10	5,60	1,60	0,12	5,70	1,50
Среднее значение	5,55	2,26	0,08	5,85	1,42	0,09	5,63	1,87	0,13	5,80	1,45

Продолжение таблицы.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
6 вариант опыта 3,6 т/га	6,60	0,66	0,03	6,50	0,07	0,09	6,50	0,56	0,09	5,80	1,46
	5,80	1,74	0,32	6,00	1,34	0,08	6,00	1,53	0,11	5,90	1,31
	6,00	1,28	0,08	6,50	0,75	0,10	6,20	0,83	0,14	6,30	0,91
	6,80	0,67	0,11	6,00	0,54	0,08	6,80	0,39	0,15	6,90	0,51
Среднее значение	6,30	1,09	0,14	6,25	0,67	0,09	6,38	0,83	0,12	6,23	1,05
7 вариант опыта 7,3 т/га	5,50	2,31	0,05	6,00	1,28	0,11	5,80	1,74	0,12	7,00	0,37
	5,90	1,34	0,05	6,00	1,10	0,06	6,20	1,01	0,12	6,40	0,73
	5,90	1,03	0,05	6,20	0,99	0,11	6,10	0,75	0,15	6,40	0,70
	6,90	0,43	0,11	6,90	0,35	0,11	6,70	0,35	0,15	6,90	0,37
Среднее значение	6,05	1,28	0,07	6,28	0,93	0,10	6,20	0,96	0,14	6,68	0,54
8 вариант опыта 9,7 т/га	6,20	0,93	0,05	6,70	0,35	0,11	6,40	0,78	0,11	5,70	1,53
	5,80	1,86	0,11	5,90	1,50	0,11	6,10	1,56	0,12	6,10	1,23
	5,80	1,63	0,11	6,20	1,03	0,09	5,90	1,03	0,15	6,20	0,99
	6,40	0,93	0,11	6,70	0,43	0,11	6,40	0,75	0,12	6,90	0,48
Среднее значение	6,05	1,34	0,10	6,38	0,83	0,11	6,20	1,03	0,13	6,23	1,06
9 вариант опыта 12 т/га	5,60	1,78	0,05	5,70	0,31	0,14	5,70	1,28	0,14	5,70	1,46
	6,00	1,15	0,05	6,20	1,03	0,09	6,40	0,68	0,15	6,70	0,56
	5,90	1,20	0,08	6,20	0,99	0,06	6,20	0,67	0,12	6,30	0,80
	6,50	0,67	0,05	6,40	0,75	0,09	6,60	0,35	0,12	6,80	0,42
Среднее значение	6,00	1,20	0,06	6,13	0,77	0,10	6,23	0,75	0,13	6,38	0,81

Результаты двухфакторного дисперсионного анализа в опыте на чистом пару

Таблица 2. Анализ значений рН_{сол} почвы при весеннем внесении сапонита (май 2018 г.).

Дисперсионный анализ						
<i>Источник вариации</i>	<i>SS</i>	<i>df</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>P-Значение</i>	<i>F критическое</i>
Выборка	0,093	4	0,023	0,299	0,878	2,525
Столбцы	1,045	3	0,348	4,465	0,007	2,758
Взаимодействие	0,268	12	0,022	0,286	0,990	1,917
Внутри	4,683	60	0,078			
Итого	6,089	79				

Таблица 3. Анализ значений гидролитической кислотности почвы при весеннем внесении сапонита (май 2018 г.).

Дисперсионный анализ						
<i>Источник вариации</i>	<i>SS</i>	<i>df</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>P-Значение</i>	<i>F критическое</i>
Выборка	0,079	4	0,020	0,079	0,988	2,525
Столбцы	4,793	3	1,598	6,408	0,0008	2,758
Взаимодействие	1,510	12	0,126	0,505	0,904	1,917
Внутри	14,962	60	0,249			
Итого	21,345	79				

Таблица 4. Анализ значений рН_{сол} почвы при осеннем внесении сапонита (сентябрь 2018 г.).

Дисперсионный анализ						
<i>Источник вариации</i>	<i>SS</i>	<i>df</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>P-Значение</i>	<i>F критическое</i>
Выборка	3,460	4	0,865	5,991	0,0004	2,525
Столбцы	0,619	3	0,206	1,430	0,243	2,758
Взаимодействие	0,875	12	0,073	0,505	0,903	1,917
Внутри	8,663	60	0,144			
Итого	13,617	79				

Таблица 5. Анализ значений гидролитической кислотности почвы при осеннем внесении сапонита (сентябрь 2018 г.) в опыте на чистом пару

Дисперсионный анализ						
<i>Источник вариации</i>	<i>SS</i>	<i>df</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>P-Значение</i>	<i>F критическое</i>
Выборка	9,081	4	2,270	8,767	0,00001	2,525
Столбцы	2,534	3	0,845	3,262	0,027	2,758
Взаимодействие	1,304	12	0,109	0,420	0,950	1,917
Внутри	15,538	60	0,259			
Итого	28,457	79				

Таблица 6. Анализ значений эквивалентов алюминия в почве за весь период наблюдения в опыте на чистом пару.

Дисперсионный анализ						
<i>Источник вариации</i>	<i>SS</i>	<i>df</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>P-Значение</i>	<i>F критическое</i>
Выборка	0,004	8	0,000	0,272	0,973	2,055
Столбцы	0,042	2	0,021	13,029	0,00001	3,109
Взаимодействие	0,023	16	0,001	0,877	0,597	1,770
Внутри	0,131	81	0,002			
Итого	0,200	107				

Приложение В - Данные эксперимента с картофелем

Таблица 1. Изменение содержания агрохимических показателей в почве, под воздействием различных доз сапонита в эксперименте с картофелем

	Данные по весеннему отбору 2018					Данные по осеннему отбору 2018					Данные по весеннему отбору 2019					Данные по осеннему отбору 2019					Данные по весеннему отбору 2020					Данные по осеннему отбору 2020				
	pH	Подвижный фосфор	Подвижный калий	Органическое вещество	Нитратный азот	pH	Подвижный фосфор	Подвижный калий	Органическое вещество	Нитратный азот	pH	Подвижный фосфор	Подвижный калий	Органическое вещество	Нитратный азот	pH	Подвижный фосфор	Подвижный калий	Органическое вещество	Нитратный азот	pH	Подвижный фосфор	Подвижный калий	Органическое вещество	Нитратный азот	pH	Подвижный фосфор	Подвижный калий	Органическое вещество	Нитратный азот
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
1 вариант опыта К-0	5,4	1190	300	4,1	15,0	4,9	1070	221	3,3	16,1	5,4	1191	300	3,5	10,8	5,2	1239	310	4,1	10,3	5,6	1300	181	5,1	4,5	5,4	1252	380	4	4,4
	5,4	895	194	2,8	13,6	5,1	800	87	2,2	8,6	5,5	991	235	3,1	11,1	5,4	975	163	2,5	19,4	5,5	1080	118	3,3	3,4	5,3	953	221	1,26	2,5
	5,3	900	113	2,1	10,1	5	785	62	1,53	5,1	5,5	930	163	2,6	7,9	5,2	865	87	1,56	7	5,4	1020	102	2,4	2,6	5,3	1078	146	2,5	1,5
	5,3	925	107	1,9	8,6	5,1	780	87	1,57	7,2	5,4	868	134	1,7	8	5,1	705	102	1,17	6,1	5,5	1090	270	2,3	2,6	5,3	995	151	2,3	1,8
Среднее значение	5,4	978	179	2,7	11,8	5	859	114	2,15	9,3	5,5	995	208	2,7	9,5	5,2	946	166	2,3	10,7	5,5	1123	168	3,3	3,3	5,3	1070	225	2,5	2,6
2 вариант опыта 3,6 т/га	5,4	1060	228	3,7	13,8	5,2	955	175	2,4	10,3	5,4	923	146	1,75	8,2	5,4	1031	194	2,7	11,2	5,6	1255	228	4,1	4,4	5,3	1016	235	4,4	3,5
	5,4	1015	249	2,8	14,6	5,1	775	92	1,74	13	5,5	980	249	3,1	9,8	5,4	1075	188	3	9,9	5,6	1025	207	3,7	3,9	5,3	993	300	3,6	3,7
	5,3	880	118	2,3	10,7	5,1	755	58	1,52	5,5	5,5	921	181	2,4	8,6	5,3	910	97	1,84	13,1	5,4	1045	146	2,8	2,4	5,3	1084	157	2,9	2,5
	5,3	865	113	2,3	9,3	5,2	995	107	2,1	10,3	5,5	945	140	2,1	7,8	5,2	770	87	1,39	8,3	5,5	1045	107	2,3	3,4	5,3	1019	188	2	2,6
Среднее значение	5,4	955	177	2,8	12,1	5,2	870	108	1,94	9,8	5,5	942	179	2,3	8,6	5,3	947	142	2,2	10,6	5,5	1093	172	3,2	3,5	5,3	1028	220	3,2	3,1
3 вариант опыта 7,3 т/га	5,4	1165	380	4,5	14,3	5,1	945	169	3	11,5	5,4	871	118	1,62	8,2	5,3	1094	221	3	9,6	5,6	1770	270	4	5,2	5,4	1140	350	4,4	3,4
	5,4	1000	249	3,4	12,2	5,1	845	113	1,77	5,9	5,5	1107	350	3,3	16	5,4	1070	221	3	8,9	5,3	1140	107	3,4	3,7	5,4	1040	340	3,6	2
	5,3	860	134	2,1	11,6	5	835	87	1,73	6,6	5,5	964	235	2,8	7,9	5,2	910	92	1,92	9,2	5,5	1100	188	3,5	3,7	5,3	1069	146	3,6	3
	5,3	925	102	2,3	8,0	5,3	820	97	2,4	9,1	5,4	939	228	2,1	8,3	5,2	725	72	1	12,1	5,5	1020	257	1,9	3,8	5,3	996	134	2,4	3,2
Среднее значение	5,4	988	216	3,1	11,5	5,1	861	117	2,23	8,3	5,5	970	233	2,5	10,1	5,3	950	152	2,2	10	5,5	1258	206	3,2	4,1	5,4	1061	243	3,5	2,9
4 вариант опыта 9,7 т/га	5,4	1110	270	4,0	15,2	5,2	965	134	2,9	11,1	5,4	955	163	2,1	9,1	5,3	1094	221	3	9,6	5,6	1790	221	4,4	4,3	5,4	1243	350	4,2	5,8
	5,4	1015	221	3,7	13,4	5,1	850	181	0,66	13,3	5,4	1093	310	3,5	10,2	5,4	1070	214	3,2	9,8	5,4	1090	146	3,5	3,5	5,3	1053	280	3,9	2,3
	5,3	978	157	2,8	11,6	5,2	820	102	2,1	8,7	5,5	652	242	3	8,6	5,2	968	119	2,1	11,5	5,4	1055	118	2,7	3,6	5,3	1052	207	2,9	2,4
	5,3	940	140	2,2	8,4	5,3	805	87	1,43	11,5	5,4	900	235	2,4	9,6	5,2	775	113	1,25	15,7	5,5	1120	270	2,2	3	5,4	1031	194	2,2	2,6
Среднее значение	5,4	1011	197	3,2	12,2	5,2	860	126	1,77	11,2	5,4	900	238	2,8	9,4	5,3	977	167	2,4	11,7	5,5	1264	189	3,2	3,6	5,4	1095	258	3,3	3,3
5 вариант опыта 12 т/га	5,4	1180	257	4,8	14,8	5,1	1105	194	3	9,6	5,4	888	134	2,2	7,6	5,2	1290	214	3,5	11,4	5,5	1290	175	4,4	3,9	5,4	1252	540	4,5	3,5
	5,4	990	290	3,4	13,4	5,2	825	129	2,5	12,1	5,4	1166	280	3,2	11,5	5,4	1005	194	2,9	9,8	5,3	1185	97	3,9	3,9	5,3	1036	242	3,8	3,8
	5,3	870	107	2,4	11,0	5,1	845	62	1,55	8,9	5,5	1016	310	3,5	8,8	5,1	800	77	1,33	6,4	5,4	1085	92	2,2	3	5,3	1034	118	2,4	2,8
	5,4	928	118	2,1	7,5	5,1	710	92	1,48	8	5,4	918	175	2,5	7,9	5,2	750	118	1,07	8,4	5,5	1075	221	2,5	3	5,4	1031	207	2,6	2,6
Среднее значение	5,4	992	193	3,2	11,7	5,1	871	119	2,13	9,7	5,4	997	225	2,9	9	5,2	961	151	2,2	9	5,4	1159	146	3,3	3,5	5,4	1088	277	3,3	3,2

Результаты двухфакторного дисперсионного анализа в опыте скартофелем за весь период наблюдения.

Таблица 2. Анализ значений рН_{сол} в почве за весь период наблюдения

<i>Источник вариации</i>	<i>SS</i>	<i>df</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>P-Значение</i>	<i>F критическое</i>
Выборка	0,029	4	0,007	1,137	0,344	2,473
Столбцы	1,650	5	0,330	52,348	0,000	2,316
Взаимодействие	0,103	20	0,005	0,819	0,684	1,688
Внутри	0,568	90	0,006			
Итого	0,029	4				

Таблица 3. Анализ значений содержания подвижного фосфора в почве.

<i>Источник вариации</i>	<i>SS</i>	<i>df</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>P-Значение</i>	<i>F критическое</i>
Выборка	27894,1	4	6973,5	0,285	0,887	2,473
Столбцы	1202229,1	5	240445,8	9,817	0,000	2,316
Взаимодействие	137102,5	20	6855,1	0,280	0,999	1,688
Внутри	2204434,2	90	24493,7			
Итого	3571660,0	119				

Таблица 4. Анализ значений содержания подвижного калия в почве

<i>Источник вариации</i>	<i>SS</i>	<i>df</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>P-Значение</i>	<i>F критическое</i>
Выборка	409201,8	4	102300,4	1,052	0,385	2,473
Столбцы	817061,1	5	163412,2	1,680	0,147	2,316
Взаимодействие	1717036,5	20	85851,8	0,883	0,608	1,688
Внутри	8752013,0	90	97244,6			
Итого	11695312	119				

Таблица 5. Анализ значений содержания органического вещества в почве.

<i>Источник вариации</i>	<i>SS</i>	<i>df</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>P-Значение</i>	<i>F критическое</i>
Выборка	0,643	4	0,161	0,213	0,930	2,473
Столбцы	22,345	5	4,469	5,930	0,0008	2,316
Взаимодействие	3,850	20	0,193	0,255	0,999	1,688
Внутри	67,829	90	0,754			
Итого	94,668	119				

Таблица 6. Анализ значений содержания нитратного азота в почве.

<i>Источник вариации</i>	<i>SS</i>	<i>df</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>P-Значение</i>	<i>F критическое</i>
Выборка	10,550	4	2,638	0,509	0,730	2,473
Столбцы	1096,788	5	219,358	42,299	0,000	2,316
Взаимодействие	35,229	20	1,761	0,340	0,996	1,688
Внутри	466,725	90	5,186			
Итого	1609,292	119				

Приложение Г - Данные эксперимента с вико-овсяной смесью

Таблица 1. Изменение содержания агрохимических показателей в почве, под воздействием различных доз сапонита в эксперименте с вико-овсяной смесью

	Данные по весеннему отбору 2018					Данные по осеннему отбору 2018					Данные по весеннему отбору 2019					Данные по осеннему отбору 2019				
	pH	Подвижный Фосфор	Подвижный калий	Обменный кальций	Обменный магний	pH	Подвижный фосфор	Подвижный калий	Обменный кальций	Обменный магний	pH	Подвижный фосфор	Подвижный калий	Обменный кальций	Обменный магний	pH	Подвижный фосфор	Подвижный калий	Обменный кальций	Обменный магний
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
1 вариант опыта К-0	6,1	497	618	5,5	1,4	5,9	490	92	4,9	2,6	6,1	497	618	5,5	1,4	5,9	490	92	4,9	2,6
	6,5	609	535	5,9	1,3	5,9	690	181	5,9	1,5	6,5	609	535	5,9	1,3	5,9	690	181	5,9	1,5
	7,4	714	175	5,9	1,1	7,3	475	72	6,4	1,0	7,4	714	175	5,9	1,1	7,3	475	72	6,4	1,0
	6,0	516	129	5,9	1,0	6,0	560	92	5,6	2,5	6,0	516	129	5,9	1,0	6,0	560	92	5,6	2,5
Среднее значение	6,5	584	364	5,8	1,2	6,3	554	109	5,7	1,9	6,5	584	364	5,8	1,2	6,3	554	109	5,7	1,9
2 вариант опыта 3,6 т/га	5,8	545	146	5,9	1,5	6,5	550	97	5,9	2,2	5,8	545	146	5,9	1,5	6,5	550	97	5,9	2,2
	5,9	563	970	5,6	1,9	6,5	595	140	6,0	3,5	5,9	563	970	5,6	1,9	6,5	595	140	6,0	3,5
	6,5	538	785	6,1	1,5	6,7	540	77	6,2	2,0	6,5	538	785	6,1	1,5	6,7	540	77	6,2	2,0
	7,2	495	140	5,8	1,5	5,9	515	129	6,1	3,8	7,2	495	140	5,8	1,5	5,9	515	129	6,1	3,8
Среднее значение	6,4	535	510	5,9	1,6	6,4	550	111	6,1	2,9	6,4	535	510	5,9	1,6	6,4	550	111	6,1	2,9
3 вариант опыта 7,3 т/га	6,8	493	157	5,9	1,4	5,9	640	242	5,8	2,9	6,8	493	157	5,9	1,4	5,9	640	242	5,8	2,9
	5,7	589	700	5,4	1,5	7,0	485	77	6,0	1,3	5,7	589	700	5,4	1,5	7,0	485	77	6,0	1,3
	6,9	418	590	6,1	1,0	6,1	485	72	5,7	2,3	6,9	418	590	6,1	1,0	6,1	485	72	5,7	2,3
	6,4	505	129	5,9	1,5	6,5	560	118	6,4	2,5	6,4	505	129	5,9	1,5	6,5	560	118	6,4	2,5
Среднее значение	6,5	501	394	5,8	1,3	6,4	543	127	6,0	2,2	6,5	501	394	5,8	1,3	6,4	543	127	6,0	2,2
4 вариант опыта 9,7 т/га	5,9	555	235	5,9	1,5	6,2	492	97	5,5	1,9	5,9	555	235	5,9	1,5	6,2	492	97	5,5	1,9
	6,0	471	350	5,4	1,8	6,3	600	151	6,0	2,5	6,0	471	350	5,4	1,8	6,3	600	151	6,0	2,5
	6,5	579	535	6,0	1,6	7,0	565	77	6,0	2,3	6,5	579	535	6,0	1,6	7,0	565	77	6,0	2,3
	7,5	443	97	6,0	1,3	5,9	575	129	5,8	3,8	7,5	443	97	6,0	1,3	5,9	575	129	5,8	3,8
Среднее значение	6,5	512	304	5,8	1,5	6,4	558	114	5,8	2,6	6,5	512	304	5,8	1,5	6,4	558	114	5,8	2,6
5 вариант опыта 12 т/га	6,8	473	228	5,5	1,4	5,9	700	249	5,5	1,9	6,8	473	228	5,5	1,4	5,9	700	249	5,5	1,9
	5,7	618	535	5,6	1,9	6,9	485	87	5,6	2,1	5,7	618	535	5,6	1,9	6,9	485	87	5,6	2,1
	6,8	475	535	6,3	1,6	6,5	545	102	6,2	1,5	6,8	475	535	6,3	1,6	6,5	545	102	6,2	1,5
	6,7	550	118	6,1	1,3	6,6	495	77	5,9	3,5	6,7	550	118	6,1	1,3	6,6	495	77	5,9	3,5
Среднее значение	6,5	529	354	5,9	1,5	6,5	556	129	5,8	2,3	6,5	529	354	5,9	1,5	6,5	556	129	5,8	2,3

Результаты двухфакторного дисперсионного анализа в опыте с вико-овсяной смесью за весь период наблюдения.

Таблица 2. Анализ значений рН_{сол} в почве за весь период наблюдения.

<i>Источник вариации</i>	<i>SS</i>	<i>df</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>P-Значение</i>	<i>F критическое</i>
Выборка	0,122	4	0,030	0,096	0,983	2,525
Столбцы	0,128	3	0,042	0,135	0,938	2,758
Взаимодействие	0,172	12	0,014	0,045	0,999	1,917
Внутри	18,96	60	0,316			
Итого	19,382	79				

Таблица 3. Анализ значений содержания подвижного фосфора в почве.

<i>Источник вариации</i>	<i>SS</i>	<i>df</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>P-Значение</i>	<i>F критическое</i>
Выборка	18829,8	4	4707,4	0,889	0,476	2,525
Столбцы	7840,8	3	2613,6	0,493	0,688	2,758
Взаимодействие	14930,2	12	1244,2	0,235	0,996	1,917
Внутри	317676,0	60	5294,6			
Итого	359276,8	79				

Таблица 4. Анализ значений содержания подвижного калия в почве.

<i>Источник вариации</i>	<i>SS</i>	<i>df</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>P-Значение</i>	<i>F критическое</i>
Выборка	91218,5	4	22804,6	0,529	0,714	2,525
Столбцы	1430590,0	3	476863,4	11,079	0,000	2,758
Взаимодействие	101025,7	12	8418,8	0,196	0,998	1,917
Внутри	2582553,0	60	43042,5			
Итого	4205387	79				

Таблица 5. Анализ значений содержания обменного кальция в почве.

<i>Источник вариации</i>	<i>SS</i>	<i>df</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>P-Значение</i>	<i>F критическое</i>
Выборка	0,372	4	0,093	0,872	0,486	2,525
Столбцы	0,0245	3	0,008	0,076	0,972	2,758
Взаимодействие	0,288	12	0,024	0,225	0,996	1,917
Внутри	6,395	60	0,10			
Итого	7,0795	79				

Таблица 6. Анализ значений содержания обменного магния в почве.

<i>Источник вариации</i>	<i>SS</i>	<i>df</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>P-Значение</i>	<i>F критическое</i>
Выборка	4,338	4	1,084	3,044	0,023	2,525
Столбцы	17,335	3	5,778	16,218	0,000	2,758
Взаимодействие	0,893	12	0,074	0,209	0,998	1,917
Внутри	21,371	60	0,356			
Итого	43,945	79				

Приложение Д - Данные модельного опыта

Данные лабораторных исследований почвенных образцов в модельном опыте.

Таблица 1. Данные рНсол.

Доза сухого сапонита, т/га	№ емкости	Время экспозиции, неделя					
		2	4	6	8	12	16
12+МУ	1	5,80	5,90	5,60	5,50	5,60	5,70
	2	5,70	5,70	5,60	5,40	5,60	5,70
	3	5,80	5,50	5,40	5,20	5,60	5,60
	4	5,80	5,70	5,40	5,40	5,50	5,60
Среднее значение		5,78	5,7	5,33	5,38	5,58	5,65
d(%)		1,38	4,56	2,76	3,73	1,43	1,63
9+МУ	5	5,85	5,60	5,40	5,30	5,50	5,50
	6	5,80	5,80	5,40	5,20	5,50	5,60
	7	5,80	5,60	5,50	5,40	5,50	5,50
	8	5,80	5,70	5,50	5,40	5,50	5,60
Среднее значение		5,81	5,68	5,45	5,33	5,50	5,55
d(%)		0,68	2,68	1,69	2,86	0,00	1,66
7+МУ	5,80	5,80	5,50	5,30	5,40	5,30	5,40
	5,80	5,80	5,60	5,50	5,40	5,40	5,40
	6,00	6,00	5,80	5,70	5,30	5,50	5,50
	5,90	5,90	5,50	5,40	5,30	5,60	5,60
Среднее значение		5,88	5,60	5,48	5,35	5,4	5,48
d(%)		2,59	4,02	4,96	1,72	3,77	2,78
4+МУ	13	5,90	5,60	5,40	5,20	5,40	5,40
	14	5,90	5,70	5,50	5,40	5,30	5,30
	15	5,90	5,70	5,60	5,40	5,30	5,40
	16	5,95	5,70	5,60	5,40	5,40	5,40
Среднее значение		5,91	5,68	5,53	5,35	5,35	5,38
d(%)		0,67	1,40	2,76	2,97	1,72	1,48
0	17	5,45	5,30	5,20	5,10	5,10	5,20
	18	5,35	5,30	5,10	5,10	5,10	5,20
Среднее значение		5,40	5,30	5,15	5,10	5,10	5,20
d(%)		11,77	0,00	12,34	0,00	0,00	0,00
0+МУ	21	5,75	5,50	5,50	5,50	5,30	5,30
	22	5,85	5,60	5,50	5,20	5,30	5,30
	23	5,65	5,60	5,40	5,30	5,20	5,20
	24	5,65	5,60	5,50	5,40	5,30	5,30
Среднее значение		5,73	5,58	5,48	5,35	5,28	5,28
d(%)		2,66	1,43	1,45	3,84	1,51	15,10

Таблица 2. Данные содержание подвижного фосфора.

Доза сухого сапонита, т/га	№ емкости	Время экспозиции, неделя					
		2	4	6	8	12	16
12+МУ	1	1500	1080	1165	1090	960	1104
	2	1295	950	1155	1055	740	1154
	3	800	975	1220	1075	1270	1248
	4	1307	1075	1165	940	1150	1362
Среднее значение		1226	1020	1176	1040	1030	1217
d(%)		38,8	10,48	4	10,43	35,79	14,85
9+МУ	5	1329	1040	1175	865	1215	1232
	6	1332	1170	1165	755	985	1158
	7	1389	1250	1155	1060	1145	1106
	8	1255	925	1090	1105	1115	1173
Среднее значение		1326	1096	1146	946	1115	1167
d(%)		6,59	20,79	5,33	27,69	13,74	7,07
7+МУ	9	1013	620	840	1015	1135	1087
	10	1282	840	1070	995	1230	1196
	11	1209	1155	1140	710	1068	1090
	12	1300	880	890	810	835	1246
Среднее значение		1201	874	985	883	1067	1155
d(%)		17,4	39,99	23,09	26,59	25,11	10,91
4+МУ	13	1261	1125	900	815	1270	1265
	14	1139	950	1150	835	1075	1146
	15	1273	1165	1095	910	1170	1252
	16	1173	1030	1105	855	1240	1248
Среднее значение		1212	1068	1063	854	1189	1228
d(%)		8,64	14,41	16,62	7,62	11,6	7,13
0	17	348	315	310	193	370	312
	18	302	250	265	210	320	321
Среднее значение		325	283	288	202	345	317
d(%)		89,92	146,18	99,44	53,6	92,07	18,07
0+МУ	21	1145	768	990	1030	1110	962
	22	1246	985	985	920	1105	1152
	23	700	700	935	1090	1335	1087
	24	800	800	810	1160	1220	1027
Среднее значение		973	813	930	1050	1193	1057
d(%)		43,13	23,84	14,33	15,41	14,52	12,25

Таблица 3. Данные содержание подвижного калия.

Доза сухого сапонита, т/га	№ емкости	Время экспозиции, неделя					
		2	4	6	8	12	16
12+МУ	1	1005	940	755	875	670	785
	2	175	815	905	755	730	785
	3	175	845	845	785	1140	970
	4	194	815	845	785	815	905
Среднее значение		181	854	838	800	839	861
d(%)		15,03	11,04	11,75	10,34	39,74	16,99
9+МУ	5	194	785	845	785	815	1035
	6	201	905	785	730	815	875
	7	194	940	785	755	785	815
	8	169	755	785	785	785	905
Среднее значение		190	846	800	764	800	908
d(%)		11,81	16,93	5,97	5,54	3,45	16,28
7+МУ	9	188	875	815	845	785	1005
	10	201	755	785	755	755	875
	11	1070	940	845	700	670	785
	12	973	845	905	755	700	875
Среднее значение		608	854	838	764	728	885
d(%)		125,4	14,32	9,73	12,51	11,38	16,28
4+МУ	13	970	730	815	785	785	905
	14	1050	785	875	755	755	845
	15	940	905	815	785	785	875
	16	940	700	940	730	785	940
Среднее значение		975	780	861	764	778	891
d(%)		8,48	18,45	11,02	5,54	3,07	7,27
0	17	107	129	92	62	77	67
	18	82	82	77	62	92	62
Среднее значение		95	106	85	62	85	65
d(%)		168,07	283,03	112,78	0	112,78	49,25
0+МУ	21	730	670	815	815	785	940
	22	875	815	785	785	755	815
	23	755	755	940	785	785	785
	24	645	645	730	785	815	785
Среднее значение		751	721	818	793	785	831
d(%)		20,12	17,26	17,31	3,01	4,97	14,14

Таблица 4. Данные содержания нитратов.

Доза сухого сапонита, т/га	№ емкости	Время экспозиции, неделя					
		2	4	6	8	12	16
12+МУ	1	6,22	3,68	-	7,08	11,11	12,74
	2	6,22	3,44	5,45	7,08	12,13	12,23
	3	-	6,25	6,4	7,19	12,06	12,74
	4	7,1	4,74	5,65	-	12,57	12,7
Среднее значение		6,51	4,53	5,83	7,12	11,97	12,60
d(%)		19,38	44,98	21,33	2,22	8,17	3,14
9+МУ	5	10,71	5,18	4,31	9,25	14,23	14,88
	6	8,84	5,49	8,42		14,47	12,23
	7	5,44	3,04	5,34	9,25	10,59	13,95
	8	8,51	4,82	4,35	8,14	12,81	11,95
Среднее значение		8,38	4,63	5,61	8,88	13,03	13,25
d(%)		41,48	37,66	54,97	17,93	21,76	16,81
7+МУ	5,80	7,18	4,58	6,25	-	12,81	14,51
	5,80	11,29	3,2	4,82	6,21	13,28	16,23
	6,00	5,19	3,72	4,47	5,93	9,96	13,63
	5,90	14,69	7,71	5,77	6,17	12,77	16,84
Среднее значение		9,59	4,80	5,33	6,10	12,21	15,30
d(%)		70,46	66,93	24,63	6,16	19,74	15,48
4+МУ	13	9,92	3,68	6,32	8,06	12,89	16,6
	14	7,14	2,81	4,86	-	11,5	15,63
	15	6,14	2,33	5,1	5,89	11,11	15,3
	16	4,98	2,77	4,07	6,72	10,36	15,3
Среднее значение		7,04	2,90	5,09	6,89	11,47	15,71
d(%)		47,66	31,04	29,15	39,48	14,73	6,23
0	17	7,97	2,25	3,48	3,87	7,31	11,21
	18	9	2,65	3,12	4,15	7,51	14,74
Среднее значение		8,49	2,45	3,30	4,01	7,41	12,98
d(%)		77,12	103,72	69,31	44,36	17,15	172,84
0+МУ	21	5,73	1,86	4,11	9,96	12,77	13,63
	22	4,94	2,17	5,85	8,97	12,73	17,91
	23	-	8,14	-	7,91	12,06	18,33
	24	5,23	3,95	4,11	5,38	10,87	16,47
Среднее значение		5,30	4,03	4,69	8,06	12,11	16,59
d(%)		18,73	114,13	53,21	38,92	11,66	20,39

Результаты двухфакторного дисперсионного анализа в модельном опыте

Таблица 5. Анализ значений рНсол почвы.

Дисперсионный анализ						
<i>Источник вариации</i>	<i>SS</i>	<i>df</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>P-Значение</i>	<i>F критическое</i>
Выборка	2,388	5	0,478	69,354	0,000	2,298
Столбцы	3,145	5	0,629	91,323	0,000	2,298
Взаимодействие	0,502	25	0,020	2,915	0,000	1,608
Внутри	0,744	108	0,007			
Итого	6,778	143				

Таблица 6. Анализ содержания подвижного фосфора.

Дисперсионный анализ						
<i>Источник вариации</i>	<i>SS</i>	<i>df</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>P-Значение</i>	<i>F критическое</i>
Выборка	12602353,6	5	2520470,7	169,809	0,000	2,298
Столбцы	934401,9	5	186880,4	12,591	0,000	2,298
Взаимодействие	719739,7	25	28789,6	1,940	0,011	1,608
Внутри	1603037,8	108	14842,9			
Итого	15859532,9	143				

Таблица 7. Анализ содержания подвижного калия.

Дисперсионный анализ						
<i>Источник вариации</i>	<i>SS</i>	<i>df</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>P-Значение</i>	<i>F критическое</i>
Выборка	9832304,8	5	1966461,0	128,488	0,000	2,298
Столбцы	841686,7	5	168337,3	10,999	0,000	2,298
Взаимодействие	1621457,9	25	64858,3	4,238	0,000	1,608
Внутри	1652899,5	108	15304,6			
Итого	13948348,9	143				

Приложение Е - Показатели урожайности и качества продукции

Таблица 1. Данные по урожайности вико-овсяной смеси

Варианты	2018 г.					2019 г.				
	Масса с 0,25 м ² ,г				ср.зн	Масса с 0,25 м ² ,г				ср.зн
0 т/га (контроль)	450,77	558,47	220,23	271,30	375,19	590,00	475,00	405,00	650,00	530,00
	408,33	578,78	318,40	395,70	425,30	675	465	520	510	542,50
	324,41	475,76	410,25	415,69	406,53	340	565	650	545	525,00
	359,23	400,05	366,58	395,25	380,28	885	595	700	615	698,75
урожайность, г/м ² / ц/га					1587,30 / 158,73					2296,25 / 229,63
3,6 т/га	703,83	552,28	582,67	1003,17	710,49	660,00	605,00	465,00	625,00	588,75
	457,71	470,11	435,01	485,23	462,02	710,00	565,00	635,00	660,00	642,50
	645,09	498,88	766,97	615,90	631,71	870,00	1025,00	1050,00	905,00	962,50
	264,47	325,97	304,37	296,39	297,80	585,00	560,00	615,00	770,00	632,50
урожайность, г/м ² / ц/га					2102,01 / 210,20					2826,25 / 282,63
7,3 т/га	1109,42	835,30	1086,78	873,60	976,28	890,00	770,00	490,00	940,00	772,50
	263,16	309,21	451,75	442,29	366,60	395,00	430,00	345,00	600,00	442,50
	310,83	337,02	382,62	231,40	315,47	515,00	455,00	505,00	640,00	528,75
	325,65	345,23	358,59	400,13	357,40	580,00	720,00	900,00	720,00	730,00
урожайность, г/м ² / ц/га					2015,75 / 201,57					2473,75 / 247,38
9,7 т/га	562,11	472,33	491,40	581,50	526,84	620,00	670,00	460,00	575,00	581,25
	341,59	310,96	225,24	346,40	306,05	700,00	620,00	785,00	470,00	643,75
	403,88	270,97	391,00	497,65	390,88	490,00	535,00	1005,00	830,00	715,00
	356,26	385,25	370,21	400,05	377,94	635,00	490,00	425,00	530,00	520,00
урожайность, г/м ² / ц/га					1601,70 / 160,17					2460,00 / 246,00
12 т/га	406,33	426,15	431,30	341,13	401,23	790,00	820,00	985,00	595,00	797,50
	205,30	287,84	323,87	326,98	286,00	395,00	570,00	615,00	590,00	542,50
	340,70	495,01	528,28	639,95	500,99	540,00	490,00	430,00	545,00	501,25
	350,25	395,01	358,25	359,86	365,84	690,00	650,00	655,00	590,00	646,25
урожайность, г/м ² / ц/га					1554,05 / 155,41					2487,50 / 248,75

Таблица 2. Данные по урожайности картофеля, ц/га.

Вариант	2018	2019	2020
0 т/га (контроль)	212,1	98,5	116,5
	228,4	281,9	230,7
	223,6	108,7	179,1
	221,3	226,1	101,1
Среднее значение	221,4	178,8	156,9
12 т/га	183,2	263,4	154,2
	248,4	260,5	175,9
	252,1	118,7	190,6
	240,5	141,9	199,3
Среднее значение	231,1	196,1	180,0
9,7 т/га	373,6	217,5	156,7
	233,5	229,0	245,7
	188,4	228,0	180,4
	178,3	63,5	145,0
Среднее значение	243,5	225,0	182,0
7,3 т/га	303,9	233,9	204,5
	288,0	168,1	120,7
	168,0	126,2	180,0
	105,8	188,3	138,9
Среднее значение	216,4	179,1	161,0
3,6 т/га	224,5	73,5	139,7
	232,7	252,8	148
	235,7	126,7	153
	211,1	273,7	135,8
Среднее значение	226,0	181,7	144

Таблица 3. Данные по высоте ботвы картофеля.

Вариант	Высота растения, см						Средняя высота, см	Средняя высота, см
	1	2	3	4	5	6		
Контроль 0 т/га	43	48	54	57	55	60	52,8	52,3
	60	55	60	65	57	60	59,5	
	42	54	50	54	50	59	51,5	
	40	42	44	43	44	59	45,3	
12 т/га	43	48	54	70	68	53	56,0	55,3
	63	52	60	65	60	60	60,0	
	53	57	54	54	58	58	55,7	
	50	43	50	50	52	53	49,7	
3,6 т/га	53	54	63	75	63	65	62,2	54,0
	57	60	50	60	64	50	56,8	
	46	50	44	50	53	68	51,8	
	40	40	41	44	50	57	45,3	
7,3 т/га	61	58	58	84	72	73	67,7	59,9
	65	54	54	52	63	64	58,7	
	52	51	52	52	60	60	54,5	
	54	54	60	63	60	62	58,8	
9,7 т/га	50	50	55	60	54	53	53,7	55,9
	53	62	52	60	64	65	59,3	
	62	60	60	62	60	60	60,7	
	42	50	59	50	43	55	49,8	

Таблица 4. Данные по количеству кустов и средней массе клубней с одного куста картофеля на делянках опыта, шт.

Варианты	2018		2019		2020	
	Количество кустов, шт	Средняя масса, г	Количество кустов, шт	Средняя масса, г	Количество кустов, шт	Средняя масса, г
Контроль 0 т/га	28	696,8	20	405,6	22	935,6
	30	755,9	31	1151,4	20	705,9
	26	858,3	25	696,2	25	815,4
	-	-	24	928,2	23	807,4
Среднее значение	28	770,3	25	795,4	23	816,1
3,6 т/га	24	737,7	16	572,3	20	890,5
	29	864,3	26	848,3	24	780,3
	25	603,1	21	637,5	22	830,5
	30	713,0	28	1034,8	21	750,7
Среднее значение	27	729,5	23	773,2	22	813,0
7,3 т/га	31	754,6	20	1011,5	20	1043,3
	36	758,3	19	568,0	17	873,5
	24	731,5	19	954,5	19	940,5
	25	691,1	17	1171,8	17	894,7
Среднее значение.	29	733,9	19	926,5	18	938,0
9,7 т/га	31	1110,0	24	959,6	19	904,6
	31	772,9	18	1065,5	18	989,5
	16	783,2	20	1103,3	17	942,4
	31	673,0	15	406,6	18	905,3
Среднее значение	27	837,5	19	883,7	18	935,5
12 т/га	24	380,9	29	954,9	22	890,6
	29	773,2	32	1171,4	20	1002,4
	22	828,8	12	892,4	21	830,6
	35	654,5	16	678,5	18	889,8
Среднее значение	28	659,3	22	924,3	20	903,4

Таблица 5. Показатели качества картофеля в 2018 г.

наименование показателя	единица измерения	результат измерений по вариантам опыта (номера вариантов)																			
		Контроль 0 т/га				3,6 т/га				7,3 т/га				9,7 т/га				12 т/га			
Варианты опыта	т/га																				
нитраты	мг/кг	80	82	124	108	160	170	119	126	186	193	150	119	180	153	113	104	100	172	164	114
свинец	мг/кг	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
кадмий	мг/кг	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
ртуть	мг/кг	0,003	0,003	0,003	0,003	0,003	0,003	0,003	0,003	0,003	0,003	0,003	0,003	0,003	0,003	0,003	0,003	0,003	0,003	0,003	0,003
удельная активность цезий - 137	Бк/кг	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	4	3	4	3	4	4
удельная активность стронций - 90	Бк/кг	5	7	5	6	8	6	8	5	5	8	4	6	8	6	5	7	7	8	6	7
сухое вещество	%	19,5	18,6	18,2	19	18,9	19,4	19,5	19,2	18,3	17,2	17,6	20,5	17,8	17,9	17,3	19,6	19,7	17,8	17,6	17,5
кальций	%	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05
сырой протеин	%	3,8	7	8,2	7,2	7,8	10,8	9,1	6,7	10,1	11,9	10,8	5,9	9,4	9,6	10,5	10,4	5,5	8,9	10	7,9
сырой жир	%	0,84	0,82	0,76	0,71	0,81	0,83	0,85	0,75	0,76	0,79	0,78	0,83	0,85	0,78	0,8	0,81	0,86	0,82	0,83	0,88
растворимые углеводы	%	3,9	4,1	2,9	4,7	7,6	7,3	4,6	4,2	7,7	6,1	7,7	8	4	5,4	5	8,8	8,2	3,8	4,6	5,4
легкорастворимые углеводы	%	72	62	65	68	68	63	71	71	58	83	78	68	45	48	52	60	65	60	69	54
сырая клетчатка	%	2,1	2,3	2,1	1,7	0,7	2,5	1,1	0,9	2,3	1,9	1,1	0,7	1,8	2,3	1	1,6	1,9	0,9	3,8	3

Таблица 6. Показатели качества вико-овсяной смеси 2018 г.

наименование показателя	единица измерения	результат измерений по вариантам опыта (номера вариантов)																			
		Контроль 0 т/га				3,6 т/га				7,3 т/га				9,7 т/га				12 т/га			
Железо	мг/кг	9,22	11,7	12,9	12,7	9,6	12,7	9,5	12,7	10,1	9,3	12,9	9,7	9,9	9,9	12,9	11,6	12,8	12,9	9,9	9,9
свинец	мг/кг	0,25	0,36	0,1	0,21	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,33	0,14	0,11	0,32	0,42	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
кадмий	мг/кг	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
удельная активность цезий - 137	Бк/кг	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
удельная активность стронций - 90	Бк/кг	3	5	4	7	6	4	7	3	6	3	5	10	7	5	9	5	9	8	9	5
сухое вещество	%	21,4	33,3	26,3	36,3	31	31	26	29,9	42,6	25,4	29,3	33,7	27,4	31,5	22	23	27,3	23,4	21,3	26,4
Сырая зола	%	13,3	17,5	9,6	12,3	18	17,8	11,1	14	15,8	12,3	13	14,3	11,1	11	12,6	14,5	13,4	10,9	12,5	12,8
кальций	%	0,98	0,48	0,92	0,93	0,87	0,83	1,1	1,07	1,18	1,69	0,76	0,84	0,56	0,42	1,5	1,11	1,38	2,31	0,99	1,05
сырой протеин	%	14,6	13,8	19,8	12	18,3	13,2	15,5	14,7	21,3	17,9	13,9	14,8	11,3	12,6	18,7	15,9	17,7	16,9	14,9	16,7
сырой жир	%	1,5	3	1,32	1,03	2,7	5,53	2,91	5,1	3,52	4,79	3,87	2,61	3,03	5,29	3,02	3,76	0,88	0,86	2,35	1,26
растворимые углеводы	%	1,3	1,2	1,3	1,1	1,4	1,5	1,3	1,5	1,5	0,9	1,1	1,6	1,4	1,5	1,6	1,6	1,4	1,6	1,7	1,5
легкорастворимые углеводы	%	2,7	2,9	3,4	2,8	2,6	2,4	3,2	3,5	3,4	3,8	3,6	3,4	3,4	2,6	3,4	2,6	3,4	2,5	3	2,8
сырая клетчатка	%	20,1	11,8	14,6	9,7	16,1	15,1	13,6	17,1	8,3	28,4	14,6	14,1	17	14,9	16,2	15,9	15,5	16,9	18,7	13,8

Результаты двухфакторного дисперсионного анализа

Таблица 7. Анализ урожайности картофеля.

Дисперсионный анализ						
<i>Источник вариации</i>	<i>SS</i>	<i>df</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>P-Значение</i>	<i>F критическое</i>
Выборка	917,7	4	229,43	0,060	0,993	2,579
Столбцы	41493,9	2	20746,94	5,383	0,008	3,204
Взаимодействие	5740,0	8	717,50	0,186	0,992	2,152
Внутри	173428,8	45	3853,97			
Итого	221580,4	59				

Таблица 8. Анализ урожайности зеленой массы вико-овсяной смеси.

Дисперсионный анализ						
<i>Источник вариации</i>	<i>SS</i>	<i>df</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>P-Значение</i>	<i>F критическое</i>
Выборка	362906,5	4	90726,621	3,227	0,014	2,432
Столбцы	1356405	1	1356404,704	48,245	0,000	3,904
Взаимодействие	66046,18	4	16511,544	0,587	0,672	2,432
Внутри	4217276	150	28115,17107			
Итого	6002633	159				

Приложение Ж - Копия протокола испытаний Сапонита

МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

федеральное государственное бюджетное учреждение
станция агрохимической службы
«Архангельская»

ИСПЫТАТЕЛЬНАЯ ЛАБОРАТОРИЯ

Адрес: 163062 г. Архангельск
ул. Никитова, д. 9
Тел. (818 2) 61 79 00

ПРОТОКОЛ ИСПЫТАНИЙ № 300/1 от 25 июля 2017 г.

- | | |
|---|---|
| 1. Объект испытаний | Сапонит |
| 2. Код ТН ВЭД ТС (ОКП) | - |
| 3. Заказчик | ПАО «Севералмаз» |
| 4. Юридический адрес заказчика | 163000, г. Архангельск, ул. К. Маркса, д.15 |
| 5. Изготовитель | - |
| 6. Юридический адрес изготовителя | - |
| 7. Дата выработки | - |
| 8. Дата отбора образца | 21.06.2017 |
| 9. Дата поступления | 22.06.2017 |
| 10. Период проведения испытаний | 22.06.2017-21.07.2017 |
| 11. Дополнительные сведения | - |
| 12. Регистрационный номер (шифр) | 1177 |
| 13. На соответствие требованиям | - |
| 14. Условия окружающей среды при выполнении испытаний | Соответствуют установленным в нормативных документах на методики выполнения измерений |
| 15. Результаты испытаний | |

Наименование определяемого показателя	Обозначение нормативного документа на метод испытаний	Единица измерения	Результат измерений	Характеристика погрешности	Нормативное значение определяемого показателя
Нефтепродукты	ПНДФ 16.1:2.2.22-98	мг/кг	53	±14	-
Медь (подвижная форма)	ФР.1.31.2012.13573	мг/кг	0,18	±0,05	-
Цинк (подвижная форма)	ФР.1.31.2012.13573	мг/кг	0,24	±0,10	-
Никель (подвижная форма)	ФР.1.31.2012.13573	мг/кг	4,4	±1,2	-
Кобальт (подвижная форма)	ФР.1.31.2012.13573	мг/кг	0,37	±0,15	-
Свинец (подвижная форма)	ФР.1.31.2012.13573	мг/кг	5,0	±1,1	-
Кадмий (подвижная форма)	ФР.1.31.2012.13573	мг/кг	0,34	±0,09	-
Хром (подвижная форма)	ФР.1.31.2012.13573	мг/кг	>5,0 (47)	-	-
Молибден (подвижная форма)	ФР.1.31.2012.13573	мг/кг	2,1	±0,8	-
Марганец (подвижная форма)	ФР.1.31.2012.13573	мг/кг	>20 (62)	-	-
Ртуть	ФР.1.31.2013.16678	мг/кг	<0,02	-	-
Бенз(а)пирен	МУК 4.1.1274-03	мг/кг	<0,005	-	-
Мышьяк (валовая форма)	МУ*	мг/кг	1,03	±0,27	-
Водородный показатель pH (солевая вытяжка)	ГОСТ 26483-85	ед. pH	7,8	±0,1	-
Фосфор (подвижная форма)	ГОСТ Р 54650-2011	мг/кг	2900	±600	-
Калий (подвижная форма)	ГОСТ Р 54650-2011	мг/кг	350	±50	-
Кальций (СаО)	Методические указания по агрохимическому анализу сапропелей	%	5,60	±0,34	-
Массовая доля влаги	ГОСТ 14050-93	%	77,2	±0,4	-

* МУ по определению мышьяка в почвах фотометрическим методом МСХ. ЦИНАО. М.1993.

Протокол испытаний № 300/1 от 25.07.2017 составлен в двух экземплярах. Страница 1 из 2.