

МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования «Ульяновский государственный аграрный университет  
имени П.А. Столыпина»

*На правах рукописи*

**КАСИМОВ ИСКАНДЕР РАСТАМОВИЧ**

**ВЛИЯНИЕ ИЗВЕСТКОВАНИЯ ЧЕРНОЗЕМА ВЫЩЕЛОЧЕННОГО  
НА ПРОДУКТИВНОСТЬ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ КУЛЬТУР  
В УСЛОВИЯХ ЛЕСОСТЕПИ СРЕДНЕГО ПОВОЛЖЬЯ**

**4.1.3. Агрохимия, агропочвоведение,  
защита и карантин растений**

Диссертация на соискание ученой степени  
кандидата сельскохозяйственных наук

Научный руководитель  
доктор сельскохозяйственных наук,  
профессор Куликова А.Х.

Ульяновск, 2023

## СОДЕРЖАНИЕ

<b>ВВЕДЕНИЕ</b> .....	4
<b>1. РОЛЬ ИЗВЕСТКОВАНИЯ В ПОВЫШЕНИИ ПЛОДОРОДИЯ ПОЧВЫ И УРОЖАЙНОСТИ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ КУЛЬТУР (ОБЗОР ЛИТЕРАТУРНЫХ СВЕДЕНИЙ)</b> .....	9
1.1. Кислотность почвы, ее влияние на свойства почвы и продуктивность земледелия.....	9
1.2. Известкование кислых почв и его эффективность .....	14
<b>2. ОБЪЕКТЫ, УСЛОВИЯ, МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ</b> .....	25
2.1. Почвенно-климатическая характеристика опытного участка .....	25
2.2. Схема полевого опыта и ее обоснование.....	28
2.3. Методы и методики исследований.....	32
<b>3. ВЛИЯНИЕ ИЗВЕСТКОВАНИЯ НА СВОЙСТВА ЧЕРНОЗЕМА ВЫЩЕЛОЧЕННОГО</b> .....	35
3.1. Обменная и гидролитическая кислотность.....	35
3.2. Численность микроорганизмов и ферментативная активность почвы	38
3.3. Содержание подвижных форм макроэлементов.....	43
3.4. Подвижность тяжелых металлов.....	47
<b>4. ФОРМИРОВАНИЕ УРОЖАЙНОСТИ И КАЧЕСТВА ЗЕРНА ЯРОВОЙ ПШЕНИЦЫ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ИЗВЕСТКОВАНИЯ ПОЧВЫ И ПРИМЕНЕНИЯ МИНЕРАЛЬНЫХ УДОБРЕНИЙ</b> .....	51
4.1. Урожайность.....	51
4.2. Качество зерна.....	61
<b>5. ПОСЛЕДЕЙСТВИЕ ИЗВЕСТКОВАНИЯ ЧЕРНОЗЕМА ВЫЩЕЛОЧЕННОГО НА СВОЙСТВА ПОЧВЫ, ПРОДУКТИВНОСТЬ СОИ И КАЧЕСТВО ПРОДУКЦИИ</b> .....	67
5.1. Свойства почвы.....	67
5.1.1. Агрохимические показатели.....	67
5.1.2. Подвижность тяжелых металлов.....	72

5.1.3. Структурно-агрегатный состав.....	76
5.2. Урожайность и качество зерна .....	78
5.2.1. Урожайность.....	78
5.2.2. Качество продукции.....	79
5.2.3. Экологическая оценка продукции.....	84
<b>6. БАЛАНС ЭЛЕМЕНТОВ ПИТАНИЯ В ЧЕРНОЗЕМЕ ВЫЩЕЛО-</b> <b>ЧЕННОМ ПОД ПОСЕВАМИ ЯРОВОЙ ПШЕНИЦЫ В ЗАВИСИМО-</b> <b>СТИ ОТ ИЗВЕСТКОВАНИЯ ПОЧВЫ.....</b>	<b>88</b>
<b>7. ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ ИЗВЕСТКОВАНИЯ</b> <b>ПОЧВЫ ПРИ ВОЗДЕЛЫВАНИИ ЯРОВОЙ ПШЕНИЦЫ И СОИ В</b> <b>ПОСЛЕДЕЙСТВИИ.....</b>	<b>96</b>
<b>ЗАКЛЮЧЕНИЕ .....</b>	<b>103</b>
<b>ПРЕДЛОЖЕНИЕ ПРОИЗВОДСТВУ.....</b>	<b>106</b>
<b>БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК.....</b>	<b>107</b>
<b>ПРИЛОЖЕНИЯ.....</b>	<b>119</b>

## ВВЕДЕНИЕ

**Актуальность.** В настоящее время учеными убедительно доказано, что реакция почвенной среды является фундаментом для проведения всех технологических приемов, направленных на улучшение качества растениеводческой продукции и повышение продуктивности сельскохозяйственных культур. Кислотность почвы оказывает существенное влияние на химические и биохимические процессы в почве, на численность микроорганизмов, на рост и развитие растений. Однако если кислотность почвы повышенная, то плодородие почвы и, как следствие, урожайность высокочувствительных к реакции почвенной среды сельскохозяйственных культур находится на низком уровне. В данном случае производство экологически безопасной и высококачественной сельскохозяйственной продукции будет ограничено.

Систематический мониторинг почв, проводимый Федеральной агрохимической службой с целью контроля уровня плодородия почв, выявил, что более 65 млн. га возделываемых почв по всей России имеет повышенную кислотность. Причем неблагоприятная динамика роста площади кислых почв сохраняется и сегодня. Ульяновская область, к сожалению, не является исключением. По состоянию на 01.01.2022 г., площади кислых почв Ульяновской области составили 705 тыс. га (49 %). Более того, происходит прогрессирующее подкисление почв. Последнее обуславливает необходимость принятия срочных мер по снижению повышенной кислотности почв, в том числе черноземов, и оценки эффективности известкования мелом местных месторождений.

Исследования являются составной частью плана научной работы ФГБОУ ВО «Ульяновский государственный аграрный университет имени П.А. Столыпина» (регистрационный № АААА-А16-116.041.110.183-9).

**Цель и задачи исследований.** Целью исследований являлось изучение влияния известкования чернозема выщелоченного на продуктивность сельскохозяйственных культур в условиях лесостепи Среднего Поволжья.

В соответствии с поставленной целью были определены следующие задачи:

1. Выявить влияние мелиоранта в зависимости от доз внесения на агрохими-

ческие и биологические свойства чернозема выщелоченного;

2. Оценить продуктивность и качество зерна яровой пшеницы в зависимости от известкования почвы и применения минеральных удобрений;

3. Изучить последствие известкования чернозема выщелоченного на свойства почвы, продуктивность и качество продукции сои;

4. Дать агроэкологическую и экономическую оценку известкования почвы при возделывании яровой пшеницы и сои в последствии.

**Степень разработанности темы.** Изучением вопросов химической мелиорации (известкования) кислых почв в почвенно-климатических условиях Поволжья, его последствия, отзывчивости сельскохозяйственных культур на данный агроприем, а также определения экономической целесообразности его проведения занимались многие ученые (Алиев Ш.А., 2002; Гришин Г.Е., 2002; Ивойлов А.В., 2002; Моисеев А.А., Прокина Л.Н., Каргин В.И., 2005; Шильников И.А., Гришин Г.Е., Аканова Н.И., 2011; Чекаев Н.П., Лесков А.В., 2020; Лукманов А.А., 2022 и др.). Тщательный анализ научных результатов исследований доказывает необходимость дальнейших научных изысканий в области известкования черноземов выщелоченных в зависимости от доз, способов внесения, возделываемых культур и т.д.

**Научная новизна.** Впервые в условиях Ульяновской области на черноземе выщелоченном среднесуглинистом проведены комплексные исследования по оценке эффективности известкования мелом Шиловского месторождения Сенгилеевского района Ульяновской области при возделывании яровой пшеницы и сои.

В исследованиях установлено, что внесение мела Шиловского месторождения с суммарным содержанием  $\text{CaCO}_3$  и  $\text{MgCO}_3$  не ниже 98,5 % как в чистом виде, так и на фоне стартовых минеральных удобрений (N40P40K40) приводило к существенному улучшению агрохимических свойств и повышению ферментативной активности чернозема выщелоченного.

Выявлено, что внесение мела в качестве известкового материала в дозе 2-6 т/га содействовало достоверному повышению продуктивности яровой пшеницы на

0,24-1,78 т/га и сои на 1,06-1,30 т/га по сравнению с абсолютным контролем.

Установлена высокая эффективность мела Шиловского месторождения в нейтрализации кислотности почвенной среды: сдвиг обменной кислотности в зависимости от дозы мелиоранта составил 0,35-0,62 единиц рН при сочетании его с минеральными удобрениями. Выявлено при этом существенное улучшение биологической активности и питательного режима чернозема выщелоченного, повышение урожайности яровой пшеницы и сои, улучшение качества и получение экологически безопасной продукции. Проведена экономическая оценка эффективности известкования почвы при возделывании яровой пшеницы и сои.

**Теоретическая и практическая значимость.** Внесен существенных вклад в понимание необходимости известкования черноземов со слабокислой реакцией среды. Результаты научных исследований доказывают возможность использования в производственных условиях мела Шиловского месторождения Сенгилеевского района с целью уменьшения кислотности пахотных почв, что способствует поддержанию почвенного плодородия, росту продуктивности возделываемых культур и формированию продукции с высокими показателями качества.

Установлено, что с экономической точки зрения на черноземных почвах Среднего Поволжья, имеющих повышенную или слабокислую реакцию почвенной среды, применение местных запасов известковых материалов эффективно на фоне минеральных удобрений.

**Методология и методы исследования.** Методология данных исследований основана на комплексном подходе к изучению эффективности мела Шиловского месторождения в качестве известкового материала для нейтрализации кислотности кислых почв, включающем проведение полевых и лабораторных экспериментов. В работе использованы теоретические методы исследований (обработка результатов исследований методом статистического анализа) и эмпирические (полевые опыты, графическое и табличное представление полученных результатов).

### **Основные положения, выносимые на защиту:**

- влияние известкования, в том числе на фоне минеральных удобрений, на динамику агрохимических показателей и агрофизические свойства чернозема выщелоченного среднесуглинистого под посевами яровой пшеницы и сои;
- отзывчивость яровой пшеницы на действие и сои на последствие известкования почвы;
- экономическая и агроэкологическая эффективность технологий возделывания сельскохозяйственных культур при применении мела как отдельно, так и в сочетании с минеральными удобрениями.

**Степень достоверности и апробации результатов.** Степень достоверности полученных результатов обосновывается применением современных методов исследований как в полевых опытах, так и при проведении лабораторных анализов почвенных и растительных образцов, необходимым количеством наблюдений и учетов, результатами статистической обработки экспериментальных данных, проведением корреляционно-регрессионного анализа.

Показатели экспериментальной работы апробированы и внедряются в ООО «КФХ Возрождение» Чердаклинского района Ульяновской области. Результаты исследований используются при чтении лекций во время учебного процесса для студентов агрономического факультета ФГБОУ ВО «Ульяновский ГАУ им. П.А. Столыпина» по дисциплинам: агрохимия, системы земледелия, использование нетрадиционных ресурсов в качестве удобрения сельскохозяйственных культур.

Положения научных исследований докладывались и обсуждались на V Всероссийской студенческой научной конференции с Международным участием, на внутривузовских научных конференциях в Ульяновском ГАУ им. П.А. Столыпина (2016 – 2017 гг.): «В мире научных открытий» (Ульяновск, 2016), Всероссийской научно-практической конференции с Международным участием «Фундаментальные и прикладные основы сохранения плодородия почвы и получения экологически безопасной продукции растениеводства» (Ульяновск, 2017), Международной научно-практической конференции «Агрохимикаты в

XXI веке: теория и практика применения» (Нижний Новгород, 2017).

**Личный вклад соискателя.** Автором совместно с научным руководителем разработана программа исследований, лично проведены закладка полевых и лабораторных экспериментов, соответствующие учеты и интерпретация экспериментальных данных, их экологическая и экономическая оценка, выявлены лучшие решения изучаемой проблемы и даны рекомендации сельскохозяйственному производству.

**Публикация результатов исследований.** По теме диссертации опубликовано 8 научных работ, в том числе 1 публикация входит в список изданий, рекомендованных ВАК Министерства образования и науки РФ и 1 статья – в иностранном журнале «Research Journal of Pharmaceutical, Biological and Chemical Sciences».

**Структура и объем диссертации.** Диссертация изложена на 164 страницах и состоит из введения, 7 глав, заключения, библиографического списка и приложений. В работе содержится 9 таблиц, 56 рисунков, 47 приложений. Библиографический список включает 144 источника, в том числе 17 – зарубежных авторов. Работа выполнена на кафедре почвоведения, агрохимии и агроэкологии на базе ФГБОУ ВО «Ульяновский государственный аграрный университет имени П.А. Столыпина» под научным руководством доктора сельскохозяйственных наук, профессора Куликовой Алевтины Христофоровны с участием сотрудников кафедры, аспирантов и студентов.

Автор выражает искреннюю признательность за ценные советы и помощь в выполнении научной работы научному руководителю, доктору сельскохозяйственных наук, профессору Куликовой Алевтине Христофоровне, кандидату сельскохозяйственных наук Захарову Николаю Григорьевичу.

# **1. РОЛЬ ИЗВЕСТКОВАНИЯ В ПОВЫШЕНИИ ПЛОДОРОДИЯ ПОЧВЫ И УРОЖАЙНОСТИ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ КУЛЬТУР (ОБЗОР ЛИТЕРАТУРНЫХ СВЕДЕНИЙ)**

## **1.1. Кислотность почвы, ее влияние на свойства почвы и продуктивность земледелия**

Кислотность почвы – важнейший биохимический показатель, который определяет способность почвы проявлять свойства кислот. Присутствие ионов водорода (H-ионов) в почвенном растворе, в том числе и обменных ионов водорода и алюминия в ППК (почвенно-поглощающем комплексе) при неполной нейтрализации придает почве кислую реакцию.

Повышенная кислотность почвы зачастую выступает как главный фактор, лимитирующий урожай, в связи с тем, что кислые почвы обладают комплексом неблагоприятных свойств, которые необходимо учитывать отдельно (Сычев В.Г., 2019). Кроме того, подкисление почв способствует резкому снижению их биопродуктивности, деградации самих почв и биоты водоемов, увеличению загрязнения почв и вод водорастворимыми формами соединений тяжелых металлов.

Доказано, что избыточная кислотность почвы угнетает рост и формирование растений, что проявляется из-за повышенного содержания Mn, растворимого Al и его солей, которые связывают щелочные элементы: магний, селен, калий, кальций и другие, затрудняя их естественное усвоение растениями. Помимо этого, в кислой почве увеличивается количество болезнетворных бактерий и микроорганизмов. Подобная среда обитания, с почти разваленной системой известкования почв, формирует определенную угрозу для здоровья человека (Осипов А.И., 2011).

Полевые культуры дифференцированы по чувствительности к кислотности почвы и отзывчивости на известкование значительно отличаются друг от друга и формируют наибольшую урожайность при различных значениях величины pH. По этому признаку они поделены на несколько групп (Трофимов И.Т., Ступина Л.А., 2006):

## Классификация сельскохозяйственных культур по отношению к кислотности почвы и отзывчивости на известкование

I группа	II группа	III группа	IV группа
<ul style="list-style-type: none"> <li>• наиболее чувствительные клевер, эспарцет, корнеплоды, донник</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• умеренно чувствительные</li> <li>• яр.пшеница, кукуруза, ячмень, горох, вика</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• слабо чувствительные оз.рожь, гречиха, тимофеевка</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• не переносящие избыток кальция в почве лен, картофель, люпин желтый</li> </ul>
нуждаются в известковании кислых почв	отзывчивы на известкование	положительно реагируют на известкование	не нуждаются в известковании

По-видимому, дифференциация культур по устойчивости к повышенной кислотности почвы может быть связана, с одной стороны, с характером их корневых выделений, а с другой стороны, с ферментативной активностью почвы в ризосфере (Минеев В.Г. и др., 2014).

Для каждой культуры севооборота, в котором она выращивается, ориентируются на слабокислую реакцию почвы, равную примерно 5,6-5,8 единиц (Аканова Н.И., 2001). Кроме того, оптимальная реакция почвенной среды не является четко фиксированным значением и определяется также уровнем минерального питания (Палавеев Т.Д. и др., 1983; Потатуева Ю.А., Игнатов В.Г., 2018).

По данным систематического мониторинга, проводимого зональной агрохимической лабораторией, с целью оценки плодородия почвы, по состоянию на 01.01.2022 г. 705 тыс. га (49 %) площади пашни Ульяновской области имеют кислую реакцию среды. Несмотря на активное известкование почвы в 2019-2021 гг. (2019 г. -6391 га, 2020 г. – 16142,5 га, 2021 г. 16428 га), площадь кислых почв не достигла уровня 2017 г. Наибольшие площади почв с повышенной кислотностью находятся в 11 районах (Барышский, Базарносызганский, Кузоватовский, Николаевский, Старомайнский, Сурский, Павловский, Чердаклинский, Тереньгульский, Майнский и Вешкаймский). В данных районах кислые почвы занимают более 50 % обследованной площади пашни (Черкасов Е.А. и др., 2011, 2017).

Если оценивать показатели в динамике, то заметно увеличивается площадь среднекислых и значительно снижается нейтральных и близких к нейтральным почв. Вызывает беспокойство наличие очень сильнокислых (1,2 тыс. га) и сильнокислых (15,3 тыс. га) почв, которые непригодны для сельскохозяйственного использования (рисунок 1, приложение 1, 2).

П. Ф. Тиво, В. Н. Филипповым (2018) сделаны выводы о недопустимости декальцинирования почвы. И.А.Шильников, Л.А. Лебедева (1987) отмечают, что ежегодные потери Са и Mg из пахотного горизонта составляют в среднем 400-500 кг/га (в пересчете на СаСО<sub>3</sub>).

Т.Н. Кулаковской (1978) установлено, что средний недобор растениеводческой продукции на сильнокислых почвах составляет 7-8 ц/га, на кислых – 5-6 ц/га и на среднекислых 3-4 ц/га зерновых единиц. По расчетам А.В. Литвиновича, З.П. Небольсиной (2012), из-за повышенной кислотности в России ежегодно не добирают около 16-18 млн. т. продукции растениеводства.

Обобщая вышесказанное, можно сделать вывод, что изменению кислотности агропочвенной среды необходимо уделять повышенное внимание. Для того, чтобы улучшить свойства почвы и усиленно активировать процессы пополнения запасов в ней питательных элементов, следует использовать известковые удобрения (Литвинович А.В., 2010; Аканова Н.И., 2011). Известковые удобрения осуществляют разностороннее влияние на свойства почв: химические, биологические и физические. Следовательно, создается благоприятный результат от использования удобрений прямого действия: фосфорных, калийных и азотных.

В первоначальный период в Ульяновской области известкование выполнялось привозными из Владимирской и Самарской областей известняковой и доломитовой мукой (мелиорантами), также в небольших количествах фильтрационным осадком (дефекатом) Ульяновского сахарного завода и цементной пылью Ульяновского завода по производству цемента. Но в полном объеме не удалось компенсировать отчуждение кальция из почвы внесением его с известковыми удобрениями.

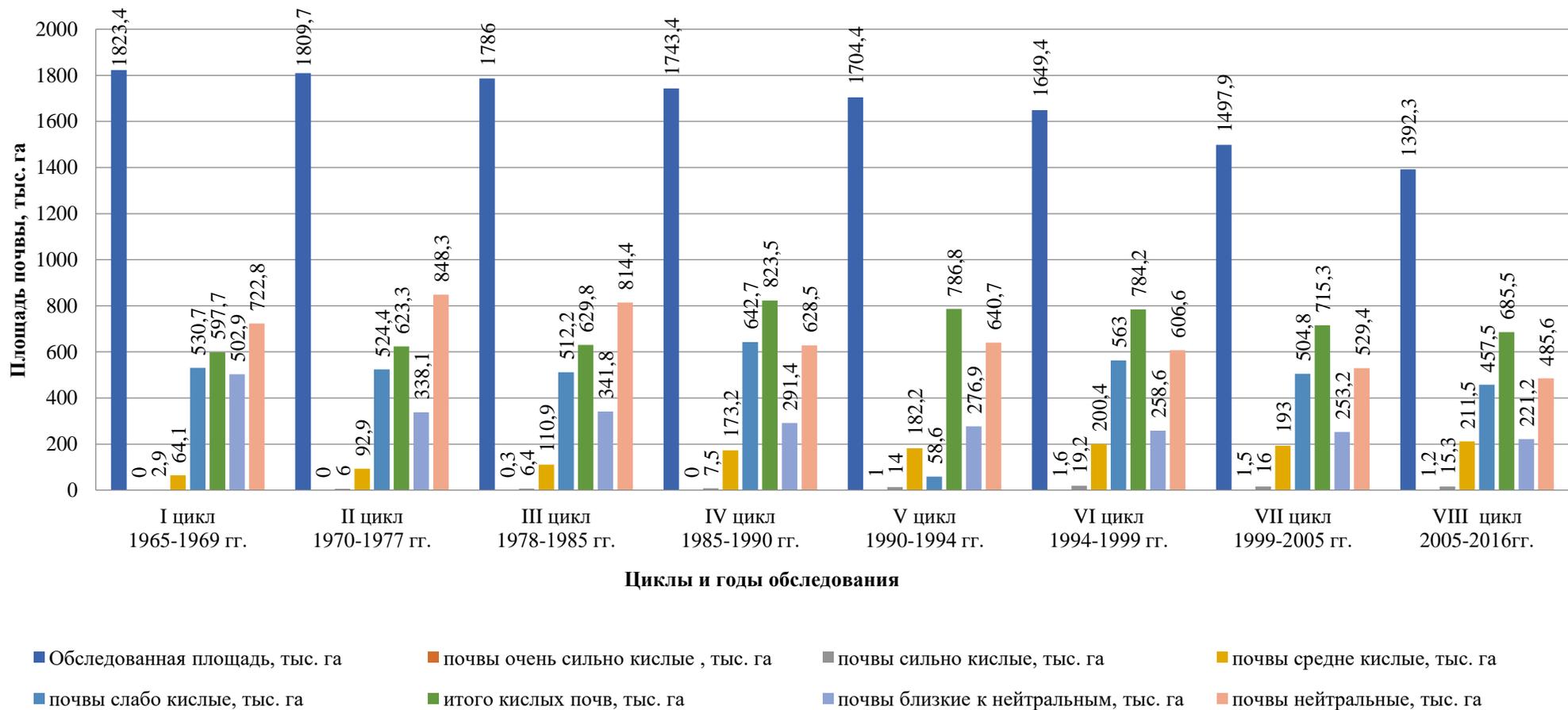


Рисунок 1 – Динамика кислотности почв пашни Ульяновской области по циклам обследования, тыс. га

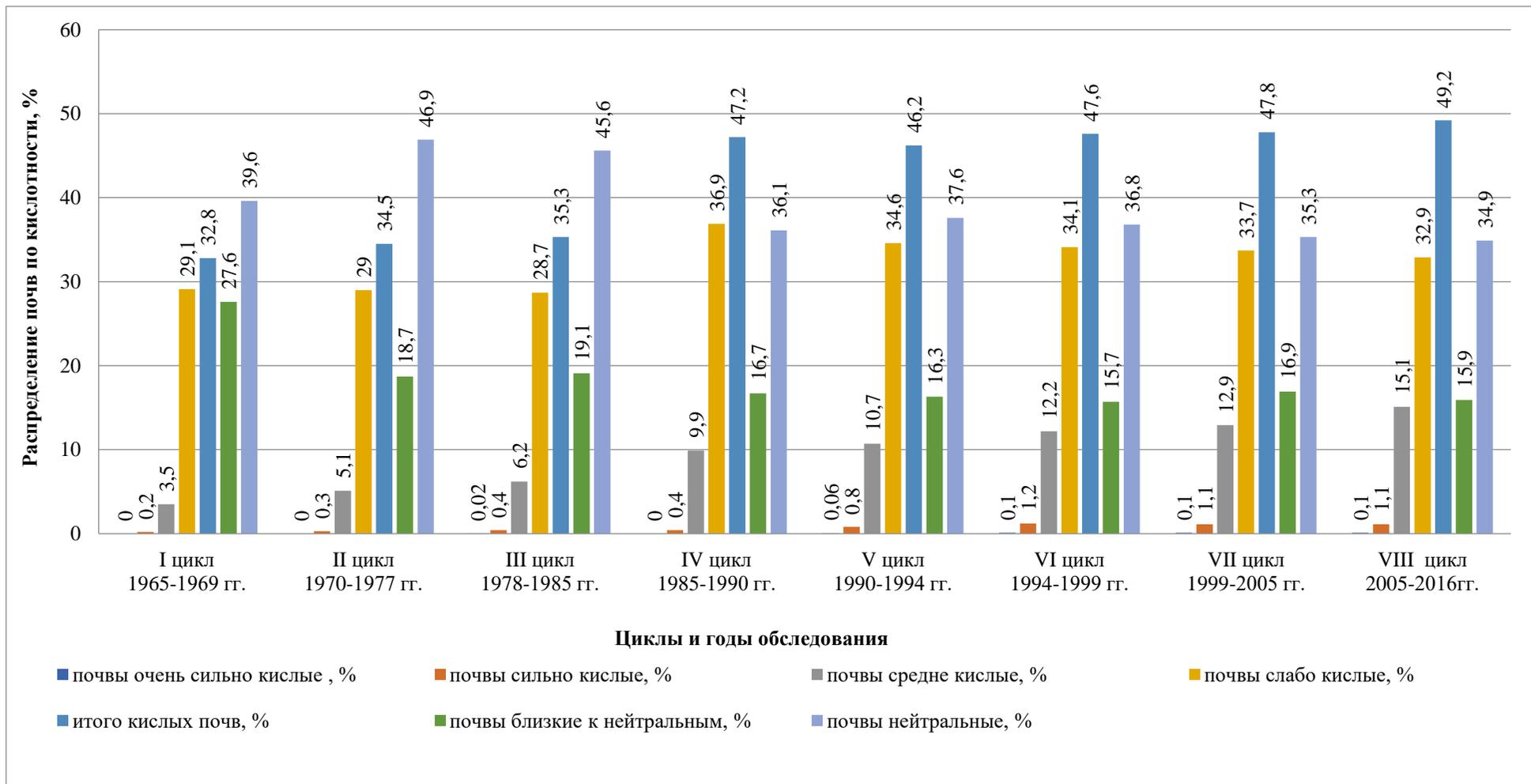


Рисунок 2 – Динамика кислотности почв пашни Ульяновской области по циклам обследования, %

К дальнейшему увеличению площади кислых почв привели практически полное отсутствие мелиорации уже кислых почв, дальнейшая потеря кальция за счет выноса урожаем и вымывания, внесение минеральных удобрений и подкисление их кислотными осадками.

Исходя из вышеизложенного, полное отсутствие химической мелиорации (известкования) почвы в Ульяновской области выступает как главный фактор расширения площади с повышенной кислотностью. Чтобы коренным образом изменить данную ситуацию, следует восстановить известкование почв на регулярной основе.

## **1.2. Известкование кислых почв и его эффективность**

В последние три десятилетия обозначилась тенденция к существенному ухудшению основных показателей плодородия почвы (Сычев В.Г., 2019). В связи с этим, вопрос снижения площади кислых почв является, несомненно, актуальным и значимым на сегодняшний день, отсутствует рациональный механизм борьбы с закислением почв (Аканова Н. И., 2001).

Как отмечает Сычев В.Г. (2019), сельское хозяйство – самая важная и одновременно самая сложная отрасль народного хозяйства, что предполагает определенную систему государственного регулирования и государственной поддержки отрасли. Так, в Государственной программе развития сельского хозяйства до 2030 г. поставлены задачи повышения эффективности использования в сельском хозяйстве земельных ресурсов, регулирования плодородия почв сельскохозяйственных угодий до оптимального уровня в каждой конкретной зоне, что является естественным условием интенсификации земледелия, способствует росту урожайности сельскохозяйственных культур, увеличивает ценность земли и имеет важное природоохранное значение.

В настоящее время известно, насколько важно проведение химической мелиорации почв для оптимизации реакции среды. Этот прием применяется в практике земледелия во всем мире, поэтому наука постоянно ищет решения для его улучшения и повышение эффективности.

Известкованию почв, как природозащитному фактору, уделяется небольшое внимание, хотя на данный момент это более, чем важно. Ещё в 1931 году К.К. Гедройц писал: «В самом деле, на известкование нельзя смотреть лишь как на меру поднятия урожайности почвы: значение его гораздо шире: как мною доказано и много раз указывалось, углекислый кальций, внесённый в почву в достаточном количестве (во всяком случае, в количестве большем, чем это нужно, для создания оптимальных условий урожайности), предохраняет почву (в условиях достаточно влажного климата) от неминуемого, в противном случае, разрушения почвы и именно её наиболее ценной для человека части – поглощающего комплекса» (Шильников И.А., Гришин Г.Е., Аканова Н.И., 2008).

Серьезный вклад по вопросам известкования почвы внесли научные разработки Прянишникова Д.Н., Гедройца К.К., Кедрова-Зихмана О.К., Ярусова С.С., Аскинази Д.Л., Ремезова Н.П., Щерба С.В., Авдоница Н.С., Корнилова М.Ф. и многих других. Наибольший вклад в решение проблемы раскисления почв внесли труды академика Кедрова-Зихмана О.К. и его учеников, в том числе Шильникова И.А. Уже начиная с начала 70-х гг. прошлого столетия в России проводилось известкование почвы в широких масштабах, и к 1988 г. количество применяемых известковых материалов составляло 40 млн. тонн в год. Это позволило снизить площадь кислых почв на 20-30 %. Следует подчеркнуть, что наращиванию объемов химической мелиорации почв в нашей стране способствовала централизованная государственная поддержка землепользователей в проведении работ по коренному улучшению земель.

В многочисленных исследованиях выявлено, что эффект от известкования продолжается не менее 5-7 лет при внесении извести в дозе 3-4 т/га по действующему веществу, внесение повышенных доз извести (6-8 т/га) обладает пролонгированным действием до 15 лет (Державин Л. М., 1986; Шильников И.А., Лебедева Л.А., 1987; Kurtinecz P., 1988; Волкова Е.Н., Кириллов Н.А., 2009; Митрофанова Е.М. 2015; Корченкина Н.А. и др., 2017).

По данным И.А. Шильникова и Л.А. Лебедевой (1987), в первые два года после проведения известкования проявляется наибольшее нейтрализующее

действие на кислотность почвы. Около 1/3 достигнутого сдвига реакции среды убывает за 5-тилетний период, а через 7-8 лет теряется его половина. Поэтому снижение объемов известкования почв или его полное отсутствие может привести к тому, что повышенная кислотность станет лимитирующим показателем получения высоких урожаев сельскохозяйственных культур.

В.Г. Сычев (2019) отмечает, что при оптимизации известкования почв необходимо выделять две задачи: определение степени нуждаемости почвы в известковании и подбор оптимальных для конкретной почвы доз извести. Необходимость определения очередности известкования чаще всего возникает из-за ограниченности ресурсов (нехватки извести, средств механизации и т. д.). В этом случае в первую очередь целесообразно известковать наиболее нуждающиеся почвы с целью получения наибольшей отдачи.

Так как действие извести продолжается в течение многих лет, то при проведении известкования следует учитывать отношение к кислотности всех культур севооборота, а если их требования к уровню реакции очень различны, то принимать во внимание отношение наиболее хозяйственно-ценных (доходных) культур.

На основании данных многолетних опытов по оценке эффективности известкования кислых почв в различных почвенно-климатических условиях страны В.В. Окорковым (1997,2004) сделаны выводы, что известкование только при определенных условиях способствует росту продуктивности культур и зависит от типа почвы.

Так, в исследованиях Смоленского НИИСХ, внесение половинной дозы извести (полная доза равна г.к.) на легкосуглинистой дерново-подзолистой почве позволило повысить продуктивность зерновых культур на 49-55 %, сена однолетних трав на 38 %, многолетних трав на 24 %, и картофеля на 31 % (Аканова Н.И, 2001, 2002). Сочетание средней дозы минеральных удобрений с 1/2 дозой извести показало наибольшую эффективность. Каждая тонна мелиоранта окупалась за 14 лет 2,3 т зерновых единиц основной продукции. Эффективность известкования проявлялась в улучшении важнейших физико-химических свойств

почвы (наблюдалось повышение показателей обменной кислотности с 4,0-4,2 до 5,5-5,6, снижение Нг с 5,9-6,5 до 1,5-1,6 мг-экв./100 г почвы и подвижного Al с 9-11 до 0,4-0,7 мг/100 г почвы). Кроме того, действие извести распространялось и на горизонт 20-40 см, способствуя увеличению величины  $pH_{KCl}$  с 3,97 до 4,5 единиц.

Подобные исследования отмечены в работах зарубежных исследователей (Tupper G.R., 1987; Farina M.P.W., Channon P., 1988, 2000; Ferguson H.J., 1995), которые отмечают, что известкование дерново-подзолистых почв способствует увеличению мощности корнеобитаемого слоя.

В исследованиях Н.И. Акановой (2001) установлено, что среднегодовая доза минеральных удобрений N33P32K41 по фону известкования 0,5-1,0 г.к. является оптимальной для продуктивности севооборота, что позволило повысить общую продуктивность севооборота в 2,1 раза. Применение удобрений и извести показало эффективность в различные по влагообеспеченности годы (как в благоприятные, так и засушливые). По значимости в повышении урожаев культур севооборота факторы располагались в следующей последовательности:  $(CaCO_3 + NPK) > (NPK) > (CaCO_3)$ .

Подобные результаты получены в исследованиях Н.С. Авдониной с соавт. (1976), Н.А. Кирпичникова с соавт. (2002).

По итогам исследовательских работ Д.В. Дубовика и Д.Ю. Виноградова (2012), в VI ротациях трех севооборотов установлено, что вид севооборота также оказывал существенное влияние на кислотно-основные свойства почвы. При внесении известковых материалов отмечено улучшение всех физико-химических показателей почвы. Наибольшая отзывчивость на известкование получена в зернопаропропашном севообороте.

Близкая к нейтральной реакция среды в пахотном и подпахотном слоях нужна для жизнедеятельности дождевых червей, которые улучшают условия аэрации, фильтрации и содействующих образованию водопрочных агрегатов (Югай А.М., 2014).

В условиях северной лесостепи Башкортостана на серых лесных почвах

получены данные, что известь оказывала положительное влияние на их физико-химические свойства. Сочетание извести в дозе 12,6 т/га + N40P20K20 обеспечило наибольшую прибавку и рентабельность производства (Гайсин В.Ф. и др., 2016).

В научных трудах Т.Б. Лебедева (1990), А.В. Науменко (2010), И.А. Шильникова и др. (2010) отмечается, что при оптимизации реакции почвенной среды улучшаются её фосфатный и азотный режимы, а также на 20-40 % снижается вымывание калия с инфильтрационными водами. При этом это действие чрезвычайно длительное. Авторы убедительно доказывают целесообразность снижения доз минеральных удобрений на 15-20 %.

Исследованиями, проводимыми на Долгопрудной агрохимической опытной станции им. Д.Н. Прянишникова, по оценке эффективности известкования кислых почв, установлено, что внесение извести в дозе от 2,2 до 18 т/га на фоне минеральных удобрений способствовало увеличению продуктивности озимой ржи с 2,13 до 2,80 т/га и изменению величины обменной кислотности с 3,80 до 4,5-6,1 (Потатуева Ю.А., Игнатов В.Г., 2008).

Таким образом, показатели длительных полевых опытов, а также практика сельского хозяйства свидетельствуют о неизменном восстановлении утраченной известкованием лишней кислотности почвы (Алиев Ш.А. и др., 2002; Гришин Г.Е., Курносова Е.В., 2002; Чернышов Е.В., 2006; Чекмарев П.А. и др., 2013; Прокина Л.Н., Моисеев А.А., 2016).

По мнению И.А. Шильникова, Н.И. Акановой и В.Н. Темникова (2008), известкование является приемом, регулирующим частоту и направленность процессов разложения органического вещества в почве, оно предохраняет гумус от выщелачивания из пахотного слоя, так как кальций переводит гуминовые кислоты в более устойчивые соединения – гуматы кальция. Это приводит к консервированию некоторой части органического вещества и накоплению гумуса в почвах (Чернышев Е.В., 2006; Щедрин В.Н., 2015).

В исследованиях Владимирского НИИСХ (Окорков В.В., Григорьев А.А., 1997) на серых лесных почвах в зависимости от доз мелиоранта от 0,5 до 2,5 Нг

средняя прибавка от известкования за 7-польный севооборот составляла 6-15 % (от 1,8-2,7 до 3,5-4,5 ц/га з.е.). При этом сочетание известки с четырьмя уровнями интенсификации обеспечило лишь 0,3-3,7 % прибавки.

В исследованиях Р.Д. Маковского с соавт. (2008) показано, что известкование дерново-подзолистых почв Смоленской области приводило к улучшению структурно-агрегатного состава почвы: повышению илистой фракции с 7,7 до 10-12 %, что, в свою очередь, способствовало увеличению плодородия почвы. Содержание физической глины повысилось с 22,3 до 23-25 %. Авторами получены данные, что в результате улучшения структурного состава почвы при внесении известковых материалов определено более подходящее строение пахотного слоя. В полевых опытах общая пористость почвы при применении минеральных удобрений N30P30K30 составляла 41,5 %, тогда как при внесении известковых материалов она повышалась пропорционально дозе химического мелиоранта до 53-54 %, т.е. была оптимальной (50-60 %). Следовательно, в процессе известкования существенно изменяют свойства и характеристики почвенного поглощающего комплекса в сторону увеличения поглощающей способности.

Известкование кислых почв и внесение различных удобрений – важнейшие агроприемы, которые дают возможность поддерживать плодородие почвы на должном уровне. В силу своего характерного воздействия и наличия в них разных примесей минеральные удобрения и известь влияют на агрохимические характеристики почвы и на содержание в ней подвижных форм микроэлементов, тяжелых металлов и токсичных элементов (Яненко С.А., 2009).

До середины 80-х годов прошлого столетия проводили известкование преимущественно дерново-подзолистых и серых лесных почв, так как из-за высокой буферности черноземов к изменению кислотных свойств вопрос необходимости этих почв в известковании считали дискуссионным. К регулярному известкованию черноземов приступили с 1985 года (Сафонов А.Ф. и др., 2002, 2004; Лозовая Н.Е. и др., 2007; Михайлова Л.А, Дербенева Л.В., 2007; Надежкин С.М, Надежкина Е.В., 2002; Биккинина Л.М., 2009; Прокопчук В.Ф., 2011;

Пряхин А.В., 2013; Гогмачадзе Г.Д. и др., 2015).

За последние годы накопились научные данные, свидетельствующие в пользу необходимости известкования черноземов (ненасыщенных основаниями) для повышения продуктивности сельскохозяйственных культур. При этом, если для дерново-подзолистых почв устранение избыточной кислотности известкованием является главным фактором урожайности, то известкование черноземов выступает как фактор улучшения биологических свойств почвы и азотного питания растений (Мерзлая Г.Е. и др., 2002; Надежкин С.М. и др., 2005; Шильников И.А. и др., 2012). В настоящее время практически повсеместно наблюдается подкисление среды как в оподзоленных и выщелоченных почвах, так и в обыкновенных черноземах. Как показано выше, % черноземов с повышенной реакцией среды в условиях лесостепи Среднего Поволжья и в Ульяновской области значительно возрос.

По материалам Г.Е. Гришина (2002), в условиях Пензенской области прибавка от известкования чернозема выщелоченного по полной Нг составляла от 1,2 до 4 ц/га з.е. Продуктивность севооборота от известкования увеличивалась лишь на 7,8 % по отношению к контролю. При этом было отмечено существенное улучшение структуры пахотного слоя почвы.

В исследованиях А.В. Ивойлова (2002) показано, что внесение известковых удобрений на черноземе выщелоченном тяжелосуглинистом способствовало снижению всех форм кислотности почвы. Систематическое применение минеральных удобрений приводило к достоверному подкислению почвы (с 5,2 до 4,8-4,9 ед.). Известковые удобрения в дозе по 0,5 г.к. на минеральном фоне прекращали свое действие через 9-10 лет, в дозе по 1 г.к. – через 10-12 лет. Однако проведение известкования чернозема способствовало росту продуктивности зернопропашного севооборота лишь на 1,2-2,5 ц/га к.ед. За две ротации повышение продуктивности севооборота составило 7-18 %. Слабое действие известковых материалов на продуктивность культур авторы обосновали с отсутствием подвижных форм алюминия, железа и марганца в токсичных для растений количествах.

По данным Яйцева В.С., Кузнецова Л.А. (2015), известкование почв в повышенных дозах может до 5-10 раз снижать накопление в растениях токсических элементов, что особенно важно в условиях техногенного загрязнения почв.

Учеными Мордовского НИИСХ получены данные, что систематическое применение в севообороте умеренных и средних доз минеральных удобрений сопровождалось подкислением почвы на 0,1-0,2 ед. рН<sub>KCl</sub>. На варианте без удобрений поддерживалась низкая кислотность почвы (рН<sub>KCl</sub> 5,2-5,7). В вариантах с применением минеральных удобрений нейтрализующее действие извести было наименее весомым (5,0-5,3 ед. рН) (Моисеев А.А., Прокина Л.Н., Каргин В.И., 2005).

А.А. Моисеевым и др. (2006) выявлено, что известкование чернозема щелоченного привело к увеличению содержания гумуса в слое 0-25 см (на 0,19-0,39 %) и незначительному его изменению в слое 25-40 см. В среднем по опыту на известкованном агрофоне содержание гумуса возросло к окончанию ротации на 0,13 %.

Экологическое значение известкования заключается в активизации деятельности «полезных» микроорганизмов, в частности, азотфиксаторов и нитрификаторов, и улучшении развития клубеньковых бактерий, что, в конечном итоге, улучшает азотное питание растений.

Повышение биологической активности почвы является фактором, содействующим переводу труднорастворимых соединений фосфора почвы и фосфоритной муки в усвояемые формы. Результаты исследований И.А. Шильникова и др., (2010) показали, что сочетание известкования с фосфоритованием и культурой клевера позволяет без азотных удобрений получать 40-45 ц/га зерна озимой пшеницы.

Важнейшим показателем биологических свойств почвы и уровня плодородия служит ферментативная активность почвы. Несомненно, первостепенное значение для обеспечения активности ферментов и для их фиксации почвой имеет кислотность почвы. Так, для ферментов, обеспечивающих оптимальный режим питания растений азотом, нужна близкая к нейтральной реакция среды (Курносова Е.В., 2013).

Однако в почве с повышенной кислотностью отмечена наивысшая активность фермента пероксидазы, участвующего в реакции разложения гумусовых соединений. В исследованиях (Гришин Г.Е., 2002; Завьялова Н.Е., Митрофанова Е.М., 2008), показано, что по мере снижения кислотности и понижения удельного веса плесневых грибов в составе микрофлоры активность пероксидазы уменьшалась в 2-4 раза. В противоположность отмеченному, для полифенолоксидазы свойственна низкая активность в кислой зоне рН и высокая при рН равном 6,0-6,2. Известна связь полифенолоксидазы с действиями синтеза гумуса. Таким образом, в кислой зоне рН биохимические механизмы содействуют большему распаду гумуса, в зоне рН 6,0-6,2 – его синтезу.

Н.Г. Пушкарева с соавт. (2008) подчеркивают, что известкование кислой почвы способствовало повышению инвертазной и уреазной активности. Инвертаза, как известно, участвует в процессе расщепления дисахаридов, играя важную роль в формировании предгумусовой фракции из разлагающейся растительной и микробной массы. Уреаза усиливает гидролиз мочевины, уровень ее содержания охарактеризовывает азотный режим почвы. Дегидрогеназная активность почвы по уровням рН изменялась незначительно.

Л.Г. Бакиной с соавт. (2014) выявлено, что при внесении извести наблюдался существенный рост численности всех изученных физиологических групп бактерий, а численность микромицетов, напротив, снижалась в 3,5-4,2 раза.

В длительном (50-летнем) опыте кафедры агрохимии и биохимии растений В.Г. Минеевым с соавт. (2014) выявлено, что уровень рН и активность ферментов в ризосфере существенно изменялись под действием известкования, внесения удобрений и самой культуры. В произвесткованной почве активность ферментов была достоверно выше, чем без известкования. Во всех вариантах опыта во все фазы развития растений в почве ризосферы овса активность ферментов была выше, а уровень кислотности – ниже, чем в ризосфере ячменя. На фоне без известкования уровни рН в почве под овсом и ячменем составляли 4,2-6,3 и 4,0-5,4 единиц. В условиях известкования различия в почвенной кислотности и биологической активности почв под этими культурами сохранялись.

Е.И. Ломако, С.Ш. Нуриевым (2001) установлено, что на кислых почвах содержание сырого протеина в зерне снижается на 0,5-1,0%, крахмала в клубнях картофеля на 0,5-2,2%, сахара в сахарной свекле на 0,7-1,0% и на 10-15% уменьшается выход переваримого протеина в кормовых культурах.

Известкование, наряду со всеми положительными свойствами, представляет собой наиболее эффективный прием детоксикации загрязненных тяжелыми металлами и радионуклидами почв считают И.И. Скрипниченко, Б. Н. Золотарева (1981), В.Б. Ильин, П.В. Гармаш (1985).

При выращивании растений на почвах с повышенным содержанием тяжелых металлов и остальных микроэлементов они обычно накапливаются в вегетативных частях растений; в генеративных органах содержание их увеличивается в значительно меньшей мере. Это подтверждается многими исследованиями (Цыганок С.И., 1994; Черных Н.А. и др., 1999; Черных Н.А., Овчаренко М.М., 2002; Парфенова Е.А., Герасимов В.А., 2015).

Степень токсичности тяжелых металлов зависит от многочисленных факторов, а именно: гранулометрического состава почвы, кислотности, содержания органического вещества и т. д. Если растение снижает урожайность от того или иного элемента на 5-10 %, то уровень содержания его в почве считается токсичным. Предел содержания того либо другого токсичного элемента в почве устанавливаются обычно с учетом более чувствительной культуры (Зубков Н.В., Зубкова В.М., 2013; Бездудная А.Г., Трейман М.Г., 2016). В борьбе с токсичностью металлов, вероятно, найдут применение разные химические соединения, прочно фиксирующие металлы и переводящие их в труднодоступные для растений формы (Касатиков В.А. и др., 2012).

Для известкования почвы, помимо традиционных материалов (мела), могут быть использованы такие вещества, обогащенные Са и Mg, относящимся к различным классам отходов: осадки сточных вод, золошлаковые отходы от топливно-энергетических станций, использованные ионно-обменные смолы от процессов водоподготовки (Осипов А.И., Оглуздин А.С., 2002; Курносова Е.В., 2005; Талашов Д.Е., Волкова Е.Н., 2012; Бездудная, А.Г., Трейман М.Г., 2016).

Центральным в решении проблемы оптимизации кислотности почвы является вопрос о дозах извести и периодичности их внесения. Ошибки в его решении могут приводить как к недобору урожая, так и к бесцельным затратам. Несмотря на то, что в нашей стране проведены длительные опыты с дозами извести и их результаты неоднократно обобщались, проблема определения оптимальных доз извести в условиях периодического известкования исследована крайне недостаточно, что и обусловило направление наших исследований.

## **2. ОБЪЕКТЫ, УСЛОВИЯ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ**

### **2.1. Почвенно-климатическая характеристика опытного поля**

В Поволжье климат умеренно континентальный, с жарким летом и с холодной зимой, относительно равномерным увлажнением во все сезоны года. Увлажнение приближается к нормальному, за исключением некоторых участков южных районов. В общем почвенно-климатические и экономические особенности Ульяновской области делятся на четыре зоны: Западная, Центральная, Заволжская и Южная. Атмосферные осадки, температура воздуха, продолжительность и характер вегетационного периода являются существенными показателями климата.

Климат – неминуемый спутник земледелия. Среди агроклиматических ресурсов урожая важное место занимают показатели притока ФАР, атмосферных осадков и их распределение по периодам года и сумма оптимальная температур за время вегетации растений. Климат Ульяновской области характерен для всей Русской равнины, так как находится в ее центре. Хотя некоторые небольшие характеристики имеются, особенно в отличие от других районов Ульяновской области (Переведенцев Ю.П., Шарипова Р.Б., 2012).

Ульяновская область в зональном разрезе Европейской части России располагается в лесостепной полосе между 52°30'–54°53' северной широты и 45°55'–50°15' восточной долготы от Гринвича на границе Приволжской и Восточной лесостепи и разделяется на правобережье и левобережье Средней Волги. В виду с таким расположением области физико-географические условия на ее территории отличаются переходным характером и существенным многообразием (Кабанов П.Г., 1975).

По данным Приволжской гидрометеорологической службы среднегодовая температура воздуха составляет + 4,0 °С при средней температуре самого холодного месяца (январь) – -14 °С и самого теплого (июль) – +20 °С.

Длительность безморозного периода составляет 130-150 дней, период со среднесуточной температурой выше +10 °С – 142 дня с суммой активных тем-

ператур 2340 °С. Среднегодовое количество осадков составляет 400-450 мм при соотношении осадков теплого и холодного периодов 37-40 %. (Шарипова Р.Б., 2002; Шарипова Р.Б., и др., 2011).

Реализация продуктивности с.-х. культур в зависимости от тех, либо других агротехнических приемов, в том числе известкования, находятся в тесной зависимости от условий возделывания соответствующих культур, но, прежде всего, от агроклиматических условий вегетационного периода.

Для наиболее полной оценки погодных условий за годы проведения научных исследований были проанализированы данные агроклиматических наблюдений <https://ng.fieldclimate.com/station/00203716/data> , расположенной в непосредственной близости от опытного поля УлГАУ (рисунок 3, приложение 2).

Оценка динамики метеорологических элементов за 2016 – 2020 гг. показала значительную вариабельность суммы осадков, как за вегетационный период, так и в целом за год. При этом распределение осадков по месяцам было очень неравномерным. Контрастные условия позволили оценить продуктивность возделываемых в опыте культур и их реакцию на известкование почвы.

В соответствии с особенностями природных условий, которые являлись факторами почвообразования, почвенный покров Ульяновской области различается большим многообразием. Он представлен непростым сочетанием разнообразных черноземов (69,1 %), не менее разнообразных серых лесных почв (23 %), перегнойно-карбонатных почв, солонцов и т.д.

Опытное поле Ульяновского ГАУ находится на территории Чердаклинского района Ульяновской области, относящейся к левобережному агропочвенному району, расположенному на надпойменной террасе р. Волга.

На опытном поле чернозем выщелоченный среднесуглинистый по гранулометрическому составу, обладающий следующими морфологическими признаками:

- Апах. 0 – 25 см. Темный, зернистопылевато-комковатый, среднесуглинистый, густо пронизан корнями растений, переход постепенный.
- А1 25 – 38 см. Темный с сероватым оттенком, зернисто-комковатый,

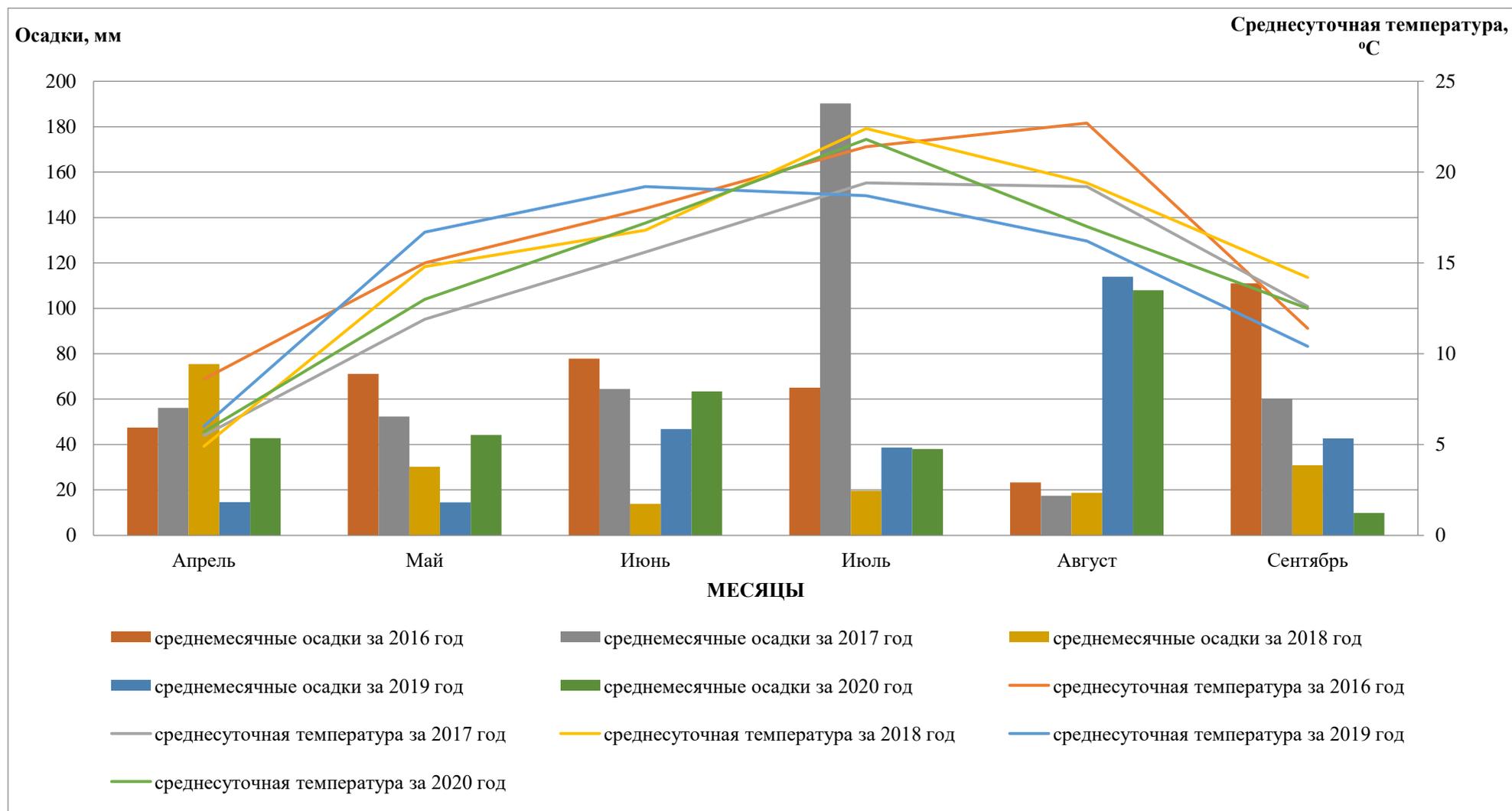


Рисунок 3 – Годовой ход метеорологических элементов за 2016-2020 гг.

среднесуглинистый, полуразложившиеся остатки растений, имеются ходы червей, переход постепенный.

- АВ 38 – 55 см. Серовато-коричневатый, комковато-ореховидный, среднесуглинистый, уплотнен, переход книзу заметен слабо.

- В1 55 – 84 см. Светло коричневато-бурый, комковатый или призмочно-комковатый, среднесуглинистый, плотнее, чем АВ, с ясным глянцем на структурных отдельностях, переход слабыми языками, более заметен.

- В2 84 – 143 см. Желтовато-коричневатый, бесструктурный, легкосуглинистый, рыхлый, гумусовые языки и потеки до 115 см, бурное вскипание с 84 см.

- С 143 см и глубже. Желтый, бесструктурный, легкосуглинистый, рыхлый, слабые псевдомицелии карбонатов.

В общем, чернозем выщелоченный на опытном поле Ульяновского ГАУ характеризуется довольно высоким уровнем плодородия и способен обеспечить продуктивность зерновых культур до 4,0-5,0 т/га и более. Тем не менее, наблюдается существенная неустойчивость урожайности зерновых и других культур, и это объясняется особенностями гидротермических условий, складывающихся в отдельные годы.

## **2.2. Схема полевого опыта и ее обоснование**

В качестве объектов исследования изучались: мел Шиловского месторождения, залежи которого расположены в Сенгилеевском районе Ульяновской области, почва – чернозем выщелоченный среднесуглинистый, а также яровая пшеница Маргарита и соя УСХИ-6.

Комплексную добычу и переработку мела из уникального по запасам и качеству Шиловского мелового месторождения выполняет ООО Меловой завод «Шиловский». Данное месторождение имеет разведанные запасы природного мела объемом около 3 520 тыс. тонн, что при планируемой добыче хватит более чем на 30 лет. Добыча мела производится открытым способом.

Мел представляет собой сыпучий порошкообразный продукт белого цве-

та с влажностью 4-6 % и тониной помола до 0,5 мм – 70 %, до 1 мм – 90 %, до 3 мм – не более 5 %. Преимуществом мела Шиловского месторождения является высокое содержание карбоната кальция  $\text{CaCO}_3$  – не менее 94 % (рис. 4, приложение 3). Суммарное содержание  $\text{CaCO}_3 + \text{MgCO}_3$  достигает 98,5 %. Поэтому мел данного месторождения в полной мере может служить высокоэффективным материалом для использования в качестве мелиоранта при проведении известкования кислой почвы.

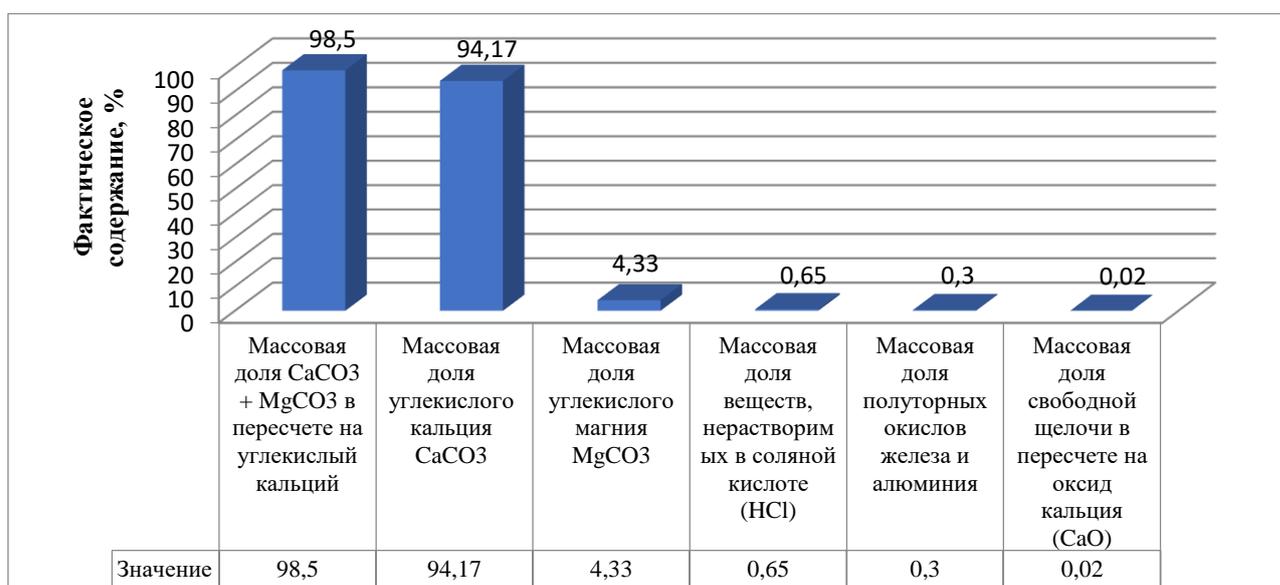


Рисунок 4 – Химический состав мела Шиловского месторождения Сенгилеевского района Ульяновской области

Технология возделывания изучаемых культур в опыте – адаптивная (Адаптивно-ландшафтная система земледелия ..., 2013). Исследования проводились в севообороте: чистый пар - озимая пшеница - яровая пшеница - соя.

Исследования проведены на опытном поле кафедры почвоведения, агрохимии и агроэкологии ФГБОУ ВО Ульяновский ГАУ в 2016-2020 гг. на черноземе выщелоченном среднесуглинистом среднемоющем со следующими агрохимическими свойствами: содержание гумуса 4,1 % (средний класс обеспеченности), подвижных форм фосфора и обменного калия 165 и 175 мг/кг почвы (высокий класс обеспеченности), обменная кислотность  $\text{pH}_{\text{KCl}}$  5,46, гидролити-

ческая кислотность 3,23 мг-экв./100 г почвы (слабокислая реакция почвы). Следовательно, почва опытного участка характеризуется достаточно высоким уровнем эффективного плодородия.

Научные исследования проведены в двухфакторном полевом опыте по следующей схеме:

1. Контроль (фон 1)
2. фон 1 + CaCO<sub>3</sub> 2 т/га
3. фон 1 + CaCO<sub>3</sub> 4 т/га
4. фон 1 + CaCO<sub>3</sub> 6 т/га
5. NPK 40 кг/га д.в. (фон 2)
6. фон 2 + CaCO<sub>3</sub> 2 т/га
7. фон 2 + CaCO<sub>3</sub> 4 т/га
8. фон 2 + CaCO<sub>3</sub> 6 т/га

Посевная площадь делянки составляла 60 м<sup>2</sup>(6×10), учетная – 32 м<sup>2</sup> (4×8), повторность опыта четырехкратная, схема размещения делянок – рендомизированно.

Внесение мела осуществлялось в осенний период под основную обработку (вспашку) почвы, внесение сложных удобрений в виде азофоски – весной под предпосевную культивацию. Дозы минеральных удобрений приняты исходя из среднерекомендованных их доз под яровую пшеницу в условиях Ульяновской области (Ходько М.И., Бунина Н.Э., 1996).

Для удобства в производственных условиях дозы извести часто устанавливают по величине солевой вытяжки, руководствуясь рисунком 5 (приложение 4). Однако это лишь усредненные дозы.

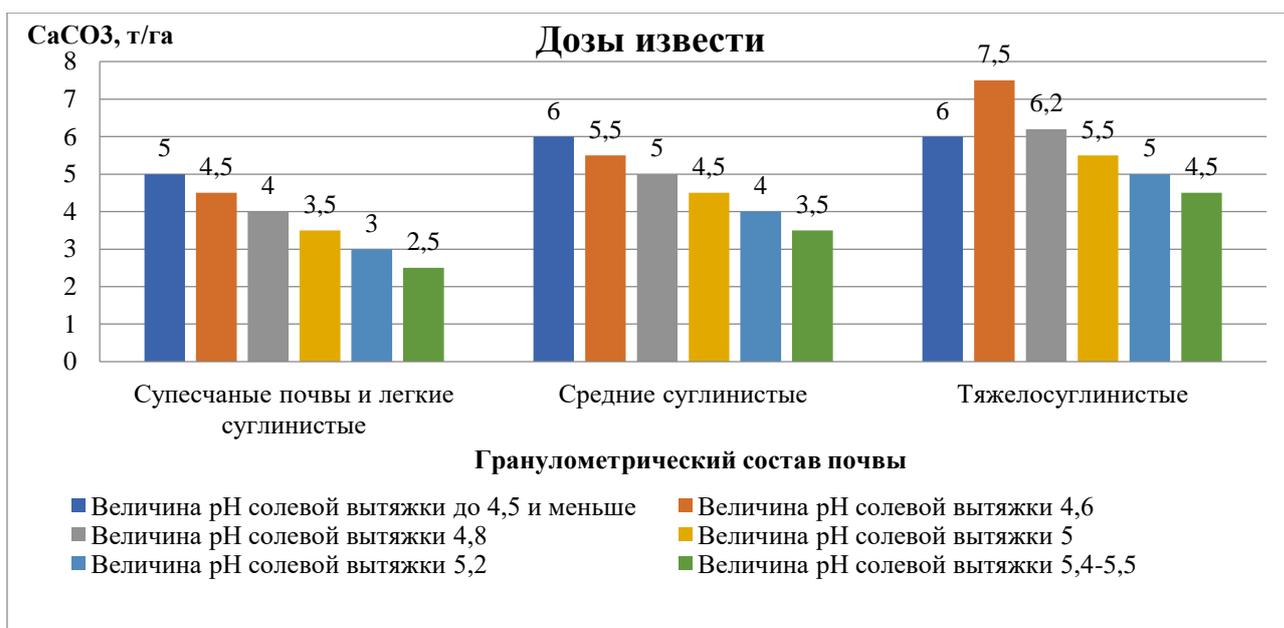
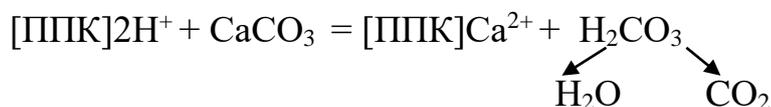


Рисунок 5 – Дозы извести  $\text{CaCO}_3$  в зависимости от обменной кислотности почвы, т/га

Более точную дозу  $\text{CaCO}_3$  рассчитывают, исходя из показателя гидролитической кислотности почвы, учитывая также физико-химические свойства почвы и биологические требования возделываемых с.-х. культур. Величину гидролитической кислотности (Нг), выраженную в мг-экв./100г почвы, умножают на коэффициент 1,5 и определяют полную дозу карбоната кальция ( $\text{CaCO}_3$ ), необходимого для нейтрализации избытка ионов водорода:

$$\text{Доза } \text{CaCO}_3 = \text{Нг} \times 1,5$$

Нейтрализация ионов водорода идет по схеме:



Дозы мела в изучаемом опыте рассчитывались с учетом фактических данных по гидролитической кислотности почвы по общепринятой методике (Практикум по агрохимии, 2001).

В полевом опыте изучалась пшеница мягкая яровая сорта Маргарита (оригинатор – Ульяновский НИИСХ, Ульяновская область). Разновидность – люотесценс. Сорт среднеспелый (вегетационный период 80-94 дня). Сорт интен-

сивного типа, проявляет высокую отзывчивость на средства химизации. Устойчивость к полеганию высокая. Масса 1000 зёрен - до 45,0 г, натура зерна 779-800 г/л, стекловидность 60-80%. Сорт обладает удовлетворительными и хорошими хлебопекарными качествами. При соблюдении технологии возделывания формирует клейковину на уровне 28-29 %, при этом содержание незначительно варьирует по годам, что является важным показателем для сорта. Содержание сырого протеина в зерне достигает 15,2 %.

В сорте сочетается высокая продуктивность с полевой устойчивостью к бурой ржавчине, пыльной и твёрдой головне. Основными достоинствами сорта являются оптимальная продуктивность с устойчивостью к полеганию, болезням и качеством зерна; повышенная отзывчивость на применение минеральных удобрений.

Соя сорта УСХИ 6 (оригинатор – ФГБОУ ВО Ульяновский ГАУ), хозяйственная спелость наступает на 114-126 сутки. Облиственность сорта высокая – 46,7-53%. Средняя урожайность сорта составляет 1,73-2,26 т/га, урожай зеленой массы на корм – 20-29 т/га, при сборе сухого вещества 5,4- 6,3 т/га (Кучаева В.Н. и др., 1997).

### **2.3. Методы и методики исследований**

Для решения поставленных целей и задач в двухфакторном полевом опыте были проведены следующие учеты, наблюдения и анализы по следующим методикам:

1. фенологические наблюдения – визуально оценивалось наступление фаз развития опытных культур по Методике государственного сортоиспытания сельскохозяйственных культур (Москва: Колос, 1971);

2. отбор и подготовку проб почвы для химического анализа (ГОСТ Р 58595-2019) проводили буром Малькова в пахотном слое каждого варианта I и III повторностях в пяти точках по двум диагоналям делянок. В смешанных образцах определяли: обменную кислотность  $pH_{KCl}$  потенциметрическим методом (ГОСТ 26483-85), органический углерод по методу Тюрина в модификации ЦИНАО (ГОСТ 26213-91), общий азот (ГОСТ 26107-84), подвижные формы

фосфора и обменного калия – по методу Ф.В. Чирикова в модификации ЦИ-НАО (ГОСТ 26204-91), гидролитическую кислотность по методу Каппена в модификации ЦИНАО (ГОСТ 26212-91);

3. показатели биологической активности почвы определялись по следующим методикам: количество микроорганизмов почвы с помощью традиционного чашечного метода Коха с разведением почвы по Пастеру. Для учета аммонификаторов использовали мясопептонный агар (МПА), для учета целлюлозолитиков – агар Гетчинсона-Клейтона (АГК), агар Эшби применяли для определения численности несимбиотических азотфиксирующих бактерий, агар Муромцева (АМУР) и агар Менкиной (АМЕН) – для определения количества литотрофных и органотрофных фосфатредуцирующих бактерий соответственно, а нитритный агар Теппер (НАТ) – для учета численности автохтонной микрофлоры, участвующей в трансформации гумусовых веществ почвы (Теппер Е.З. и др., 2004; Практикум..., 2005);

4. учет активности гидролазных и оксидоредуктазных ферментов проводили по прописям из пособия Ф.Х. Хазиева (2005). Протеазная активность учитывалась нингидриновым спектрофотометрическим методом по Галстяну и Арютюнян, целлюлазная активность – антроновым методом по Багнюку и Щетинской, фосфатазная активность – нитрофенилфосфатным методом по Галстяну. Пероксидазную и полифенолоксидазную ферментативную активность почвы определяли пирокатехиновыми титриметрическими методами по Козлову;

5. в растительных образцах определяли содержание общего азота – по Кьельдалю (ГОСТ 13496.4-93), общего фосфора – по А.А. Бондаренко и Д.К. Харитоновой (ГОСТ 30504-97), общего калия – методом пламенной фотометрии (ГОСТ 30504-97), сырого белка (ГОСТ 13496.4-2019), сырой клейковины (ГОСТ 27839-2013), сырого жира (ГОСТ 13496.15-2016), тяжелых металлов атомно-абсорбционным методом (ГОСТ 30178-96).

6. учет фактического урожая экспериментальных культур проводили с учетной площади делянки с последующим пересчетом на 100 % чистоту (ГОСТ 12037-81) и 14 % влажность (ГОСТ 27548-97).

Почвенные и растительные анализы выполнены в аккредитованной агро-

химической лаборатории ФГУ САС «Ульяновская» (№ RA.RU. 510251 от 14.10.15). Экономическую оценку технологии возделывания яровой пшеницы и сои с применением известкового материала и минеральных удобрений проводили по системе натуральных и стоимостных нормативов и цен, принятых для производственных условий ФГБОУ ВО Ульяновский ГАУ в 2021 г.

Полученные экспериментальные данные подвергались статистической обработке методом дисперсионного анализа двухфакторного опыта (Доспехов Б.А., 1985) и корреляционно-регрессионного анализа с использованием электронной таблицы Microsoft Office Excel 2007.

### **3. ВЛИЯНИЕ ИЗВЕСТКОВАНИЯ НА СВОЙСТВА ЧЕРНОЗЕМА ВЫЩЕЛОЧЕННОГО**

#### **3.1. Обменная и гидролитическая кислотность**

Сельскохозяйственные товаропроизводители длительное время расценивали черноземы как кладовую природы, обладающую неисчерпаемыми ресурсами для жизнедеятельности общества. Результаты научных исследований показали, что это далеко не так. Установлено, что одним из факторов антропогенного воздействия на черноземы является нарастание их кислотности. Повышение обменной, в том числе гидролитической, кислотности, и, как следствие, уменьшение обменных оснований в почвенно-поглощающем комплексе черноземов, прежде всего, выщелоченных и оподзоленных подтипов, говорят о необходимости их известкования (Науменко А.В., 2010; Греков В.А., Мельник А.И., 2011; Мацнев И.Н., Арзыбов В.А., 2014). Кроме того, показатель кислотности почвы определяет доступность элементов минерального питания для культурных растений, а также растворимость токсикантов.

Плодородие почвы значительно возрастает при улучшении минерального питания в благоприятных агрофизических условиях (плотность почвы, содержание влаги и др.), при этом оптимальное значение кислотности смещается в более кислую сторону.

Наши исследования показали, что проведение известкования чернозема выщелоченного, имеющего слабокислую реакцию почвенной среды (обменная кислотность 5,46 ед.), позволило существенно улучшить режим кислотности почвы, прямо пропорционально дозе внесения мела. Это, в свою очередь, оказало благоприятное воздействие на яровую пшеницу, требовательную к уровню кислотности культуры, для которой оптимальным интервалом  $pH_{КС}$  является значение 6,0-7,3 (рис. 6, 7, приложения 5-8).

Корреляционно-регрессионный анализ позволил установить прямую линейную зависимость между дозами извести ( $x$ ) и обменной кислотностью почвы ( $y$ ) вида  $y = 0,0598x + 0,097$  ( $R^2 = 0,78$ ). Уравнение свидетельствует о том, что при внесении мела на каждую т наблюдается снижение обменной кислот-

ности почвы на 0,06 единиц (уравнение действительно при уровне обменной кислотности 5,42-6,05 ед.).

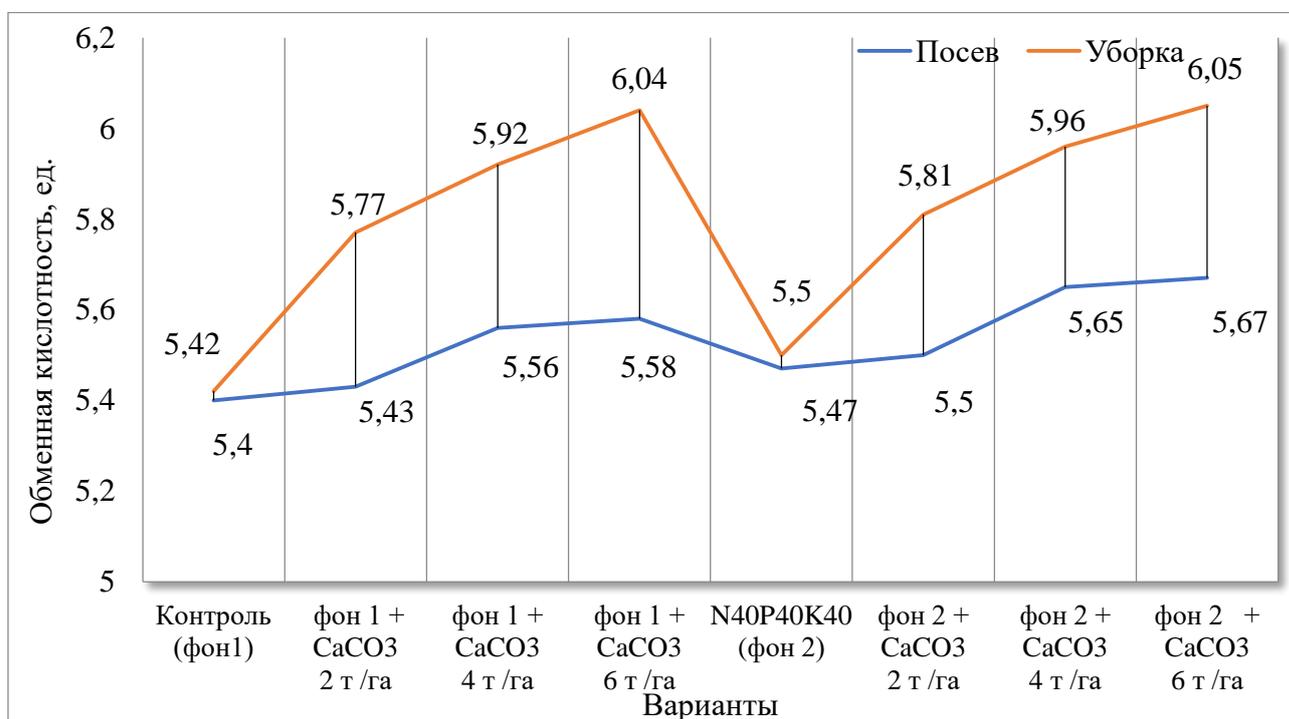


Рисунок 6 – Влияние известкования почвы на изменения обменной кислотности под посевами яровой пшеницы (средние за 2016, 2017, 2019 гг.)

Между показателями дозы извести (x) и значением гидролитической кислотности (y) так же установили тесную зависимость, которая описывается уравнением 2-й степени:  $y = -0,0156x^2 + 0,1103x + 0,063$  ( $R^2 = 0,95$ ).

Следует отметить, что наиболее существенное изменение гидролитической кислотности почвы отмечали на вариантах с повышенными дозами мела (4-6 т/га), независимо от минеральных удобрений. В то же время, при применении сложных удобрений в дозе N40P40K40 под предпосевную культивацию выявили тенденцию дополнительного снижения кислотности почвенного раствора.

По многочисленным исследованиям установлено, что эффективность последствий извести на кислые почвы зависит от совокупности факторов, а именно: агрохимических свойств и гранулометрического ее состава, дозы, со-

става и степени измельчения мелиоранта, гидротермических условий региона, уровня урожайности культур и др.

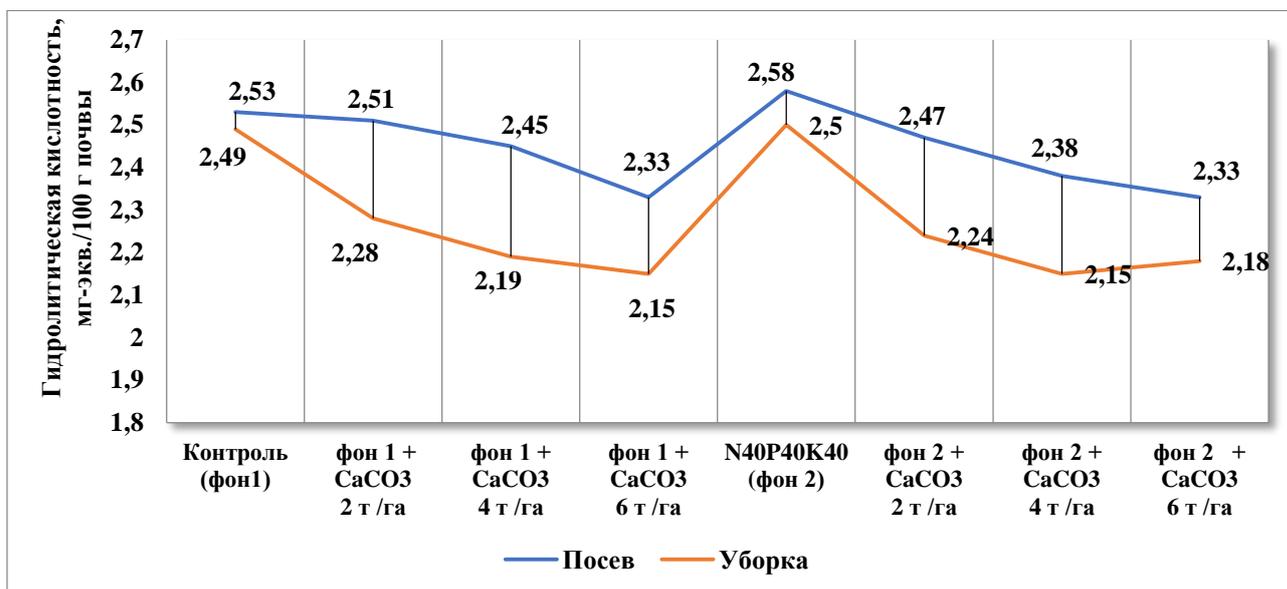


Рисунок 7 – Влияние известкования почвы на изменение гидролитической кислотности под посевами яровой пшеницы (средние за 2016, 2017, 2019 гг.)

Таким образом, в исследованиях установлено, что прямое известкование чернозема выщелоченного, в том числе на фоне минеральных удобрений, обеспечило снижение реакции почвенного раствора и повышение величины обменной кислотности. Между дозами извести и кислотностью почвы наблюдалась прямая связь. Эффективность известкования заключалась в снижении кислотности почвы к концу вегетационного периода. Исходя из значения обменной кислотности, почва опытного участка из слабокислой под действием известкования перешла в группу почв, имеющих близкую к нейтральной реакцию среды ( $pH_{KCl}$  от 5,6 до 6,0 ед.). Схожая закономерность наблюдалась и по показателям гидролитической кислотности.

На основании полученных данных следует отметить, что для известкования чернозема выщелоченного со слабокислой реакцией почвенного раствора достаточно применять дозу мела 4 т/га. Дальнейшее повышение дозы не приводит к существенному изменению изучаемых показателей. С экономической

точки зрения, несомненно, предпочтительнее доза мелиоранта 4 т/га, т.к. дальнейшее увеличение дозы увеличивает расходы на его транспортировку и внесение.

### **3.2. Численность микроорганизмов и ферментативная активность почвы**

На современном этапе развития научного знания считается, что мельчайшие организмы играют важнейшую роль в процессах почвообразования (гумификации и минерализации растительных остатков и гумуса, в разрушении и новообразовании почвенных минералов). Они оказывают воздействие на состав почвенного воздуха, регулируя в нем соотношение между кислородом и углекислым газом (Александрова Л.Н., 1980; АнУ.Н., 2000; Матаруева И.А., 2005). Ферменты, выделяемые почвенными микроорганизмами, являются катализаторами процессов расщепления сложных органических соединений (белков, углеводов, лигнина и др.) до простых минеральных солей. Именно при их участии в анаэробных условиях протекают сложные процессы осолодения, торфонакопления и оглеения (Семионова Н.А. и др., 2002; Муха В.Д., 2004; Шеметов И.И., 2007).

В связи с этим роль ферментов как катализаторов материально-энергетического обмена в почве действительно многофункциональна. В почве присутствуют системы ферментов, поочередно осуществляющие биохимические реакции, которые выполняют покомпонентные и энергетические обмены, в основе которых лежат все процессы синтеза и превращения веществ. Принципиальная роль ферментов в почве заключается и в том, что они производят функциональные связи между звеньями экосистемы (Шербакова Т.А., 1983). Кроме того, выполняя определяющую роль в процессах преобразования органических веществ, они являются чувствительными индикаторами не только на действия различных причин почвообразования, но и на изменения условий деятельности естественных и антропогенных биоценозов (Алексеева А.А., Фомина Н.В., 2014).

Как показали результаты наших исследований, под действием мела Ши-

ловского месторождения, используемого в качестве мелиоранта чернозема выщелоченного, как отдельно, так и на фоне применения минеральных удобрений, наблюдались как существенные, так и малозаметные изменения в численности основных эколого-физиологических групп почвенных микроорганизмов (рис. 8, приложение 9).

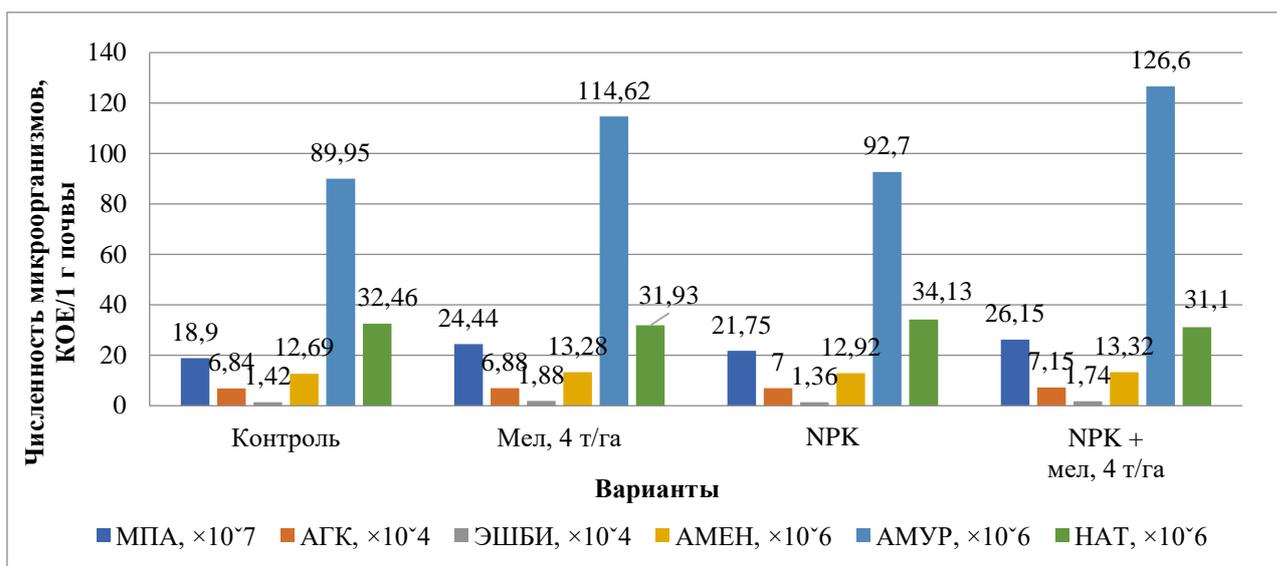


Рисунок 8 – Влияние известкования и минеральных удобрений на численность эколого-физиологических групп микроорганизмов в черноземе выщелоченном

Установлено, что численность аммонифицирующих бактерий повысилась на 30 % на варианте с внесением в почву 4 т/га мела и на 15 % от внесения сложных удобрений. На варианте с применением известкового материала и минеральных удобрений в дозе N40P40K40 перед посевом яровой пшеницы происходила активизация численности аммонификаторов на 38 %.

Количество бактерий-целлюлозолитиков имело меньшую тенденцию повышения от совместного внесения известкового материала совместно с N40P40K40, чего нельзя сказать про численность несимбиотических азотфиксаторов, которая существенно увеличивалась от внесения в почву мела (на 33 %). Но при сочетании минеральных удобрений и известки численность азотфикси-

рующих бактерий в почве повышалась только на 23 % по отношению к контролю.

Под действием известковых материалов из группы фосфатредуцентов численность литотрофов была активизирована в большей мере. Так, отмечено повышение их численности на 28 % от внесения мела и на 41 % от совместного внесения мела и NPK-удобрений относительно контрольного варианта (без применения мелиоранта).

В численности микробов, отвечающих за трансформацию гумусовых веществ в почве, при внесении извести отмечено небольшое снижение (на 2 и 4 %).

Аналогичные тенденции прослеживались в отношении ферментативной активности почвы под воздействием известкового материала в качестве мелиоранта и минеральных удобрений. Так, протеазная активность почвы от внесения 4 т/га мела повысилась на 30 % по отношению к контролю (рис. 9, приложение 10). Однако на вариантах с применением минеральных удобрений и их совместным применением с известью увеличение показателя составило только 19 % в равной степени по вариантам.

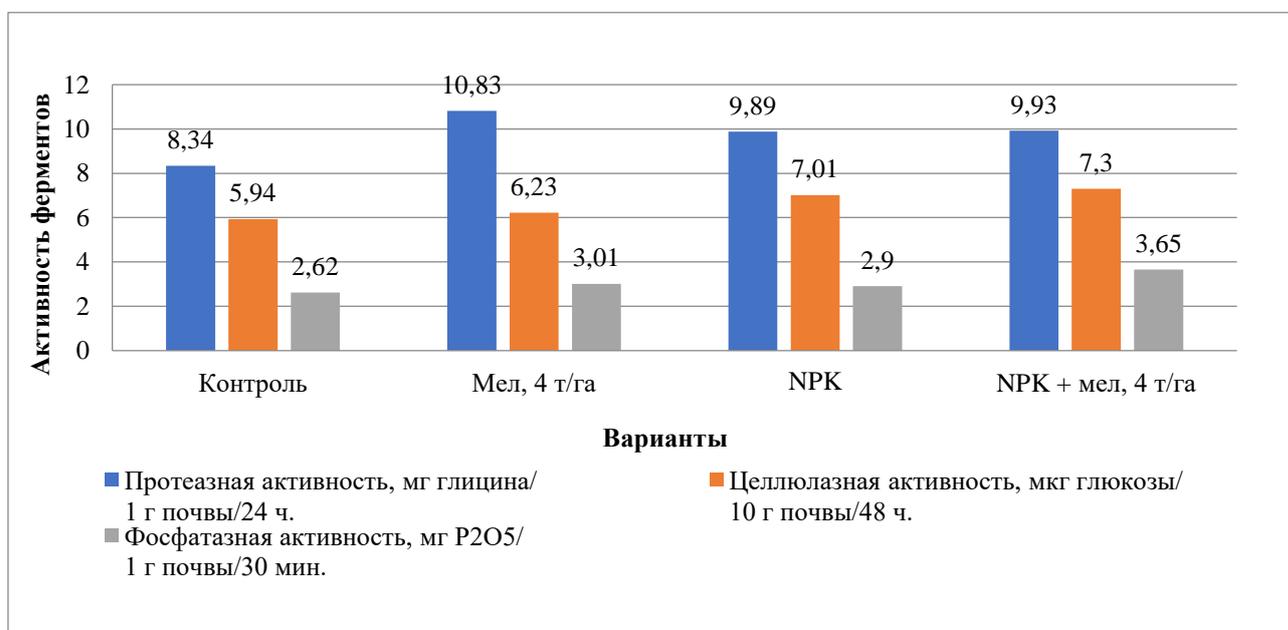


Рисунок 9 – Влияние известкования почвы и минеральных удобрений на гидролазную ферментативную активность почвы

Целлюлазная активность ферментов в почве, напротив, значительно повышалась от внесения минеральных удобрений и извести. Если на варианте отдельного применения минеральных удобрений повышение показателя составило 18 %, то на варианте NPK + мел в дозе 4 т/га – 23 % по отношению к контролю.

Изучаемые агрохимикаты оказали определенное влияние и на фосфатазную активность почвы, которая повышалась на 15 % с внесением мела и практически на 40 % на варианте с его совмещением с минеральными удобрениями. Отдельное использование минеральных удобрений способствовало повышению показателя лишь на 11 %.

На рисунке 10 (приложение 11) показана активность ферментов группы оксидоредуктаз в почве в зависимости от действия мела и минеральных удобрений.

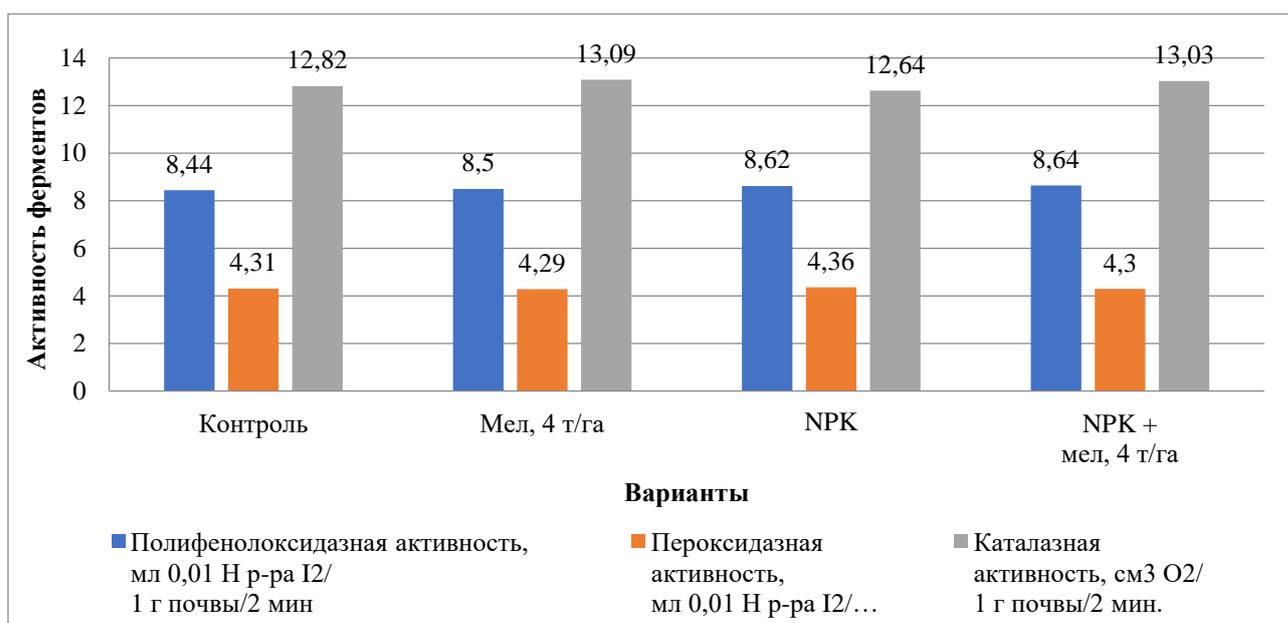


Рисунок 10 – Влияние известкования почвы и минеральных удобрений оксидоредуктазной ферментативной активности почвы

Согласно полученным данным, в опыте не выявлено влияние изучаемых агрохимикатов на активность данной группы ферментов, однако прослеживается тенденция увеличения полифенолоксидазной активности на минеральном фоне. Отдельное внесение мела незначительно повышало каталазную активность почвы.

Наши данные согласуются с исследованиями В.Г. Минеева и др. (2014). В длительных исследованиях авторами установлено, что в известкованной почве активность ферментов значительно выше, чем без известкования. Во всех вариантах опыта во все фазы развития растений в почве ризосферы овса активность ферментов была выше. Известкование в опыте за 50-летний период проводилось 5 раз (в 1955, 1961, 1969, 1976, 1987 гг.) доломитовым известняком в дозе по одной Нг. При этом применение известкования совместно с минеральными удобрениями повышало урожайность ячменя и овса, улучшало агрохимические и биологические свойства почвы, особенно в варианте с применением полного NPK-удобрения.

В исследованиях Г.Е. Пивоварова и др. (1986) показано, что при известковании почвы и внесении NPK по мере повышения доступности питательных веществ численность микроорганизмов, развивающихся на МПА (аммонификаторов, использующих в своем метаболизме органический азот), на крахмало-аммиачном агаре (автохтонных микроорганизмов, использующих минеральные формы азота или собственное органическое вещество почв), олигонитрофилов (азотфиксаторов, вырастающих на среде Эшби без азота) и актиномицетов (активных гидролитиков), возрастала. Отношение числа колониеобразующих единиц (КОЕ) при посеве известкованной и неизвесткованной почвы при применении одинаковых удобрений, свидетельствовало о положительном влиянии известкования на рост всех изученных групп микроорганизмов за исключением микромицетов и олигонитрофилов на варианте без внесения удобрений. При этом наблюдался синергетический эффект совместного применения извести и сочетания минеральных удобрений: известь стимулировала рост микроорганизмов значительно сильнее на фоне внесения NPK.

Таким образом, в исследованиях выявлено, что среди изучаемых ферментативных активностей несущественные тенденции в их изменении воздействия изучаемых причин выслеживались лишь в отношении активности полифенолоксидаз и пероксидаз почвы.

### 3.3. Содержание подвижных форм макроэлементов

Как показали результаты исследований, под действием изучаемых факторов произошли значительные изменения в обеспеченности почвы подвижными, доступными для растений, формами элементов минерального питания. На рис. 11 (приложение 12) показаны изменения в содержание нитратного азота в почве в зависимости от применения мелиоранта и минеральных удобрений. Следует отметить, что на всех вариантах с внесением сложных удобрений под предпосевную культивацию содержание нитратного азота было выше в среднем на 0,68 мг/100 г почвы (или на 20 %) по сравнению с неудобренным фоном.

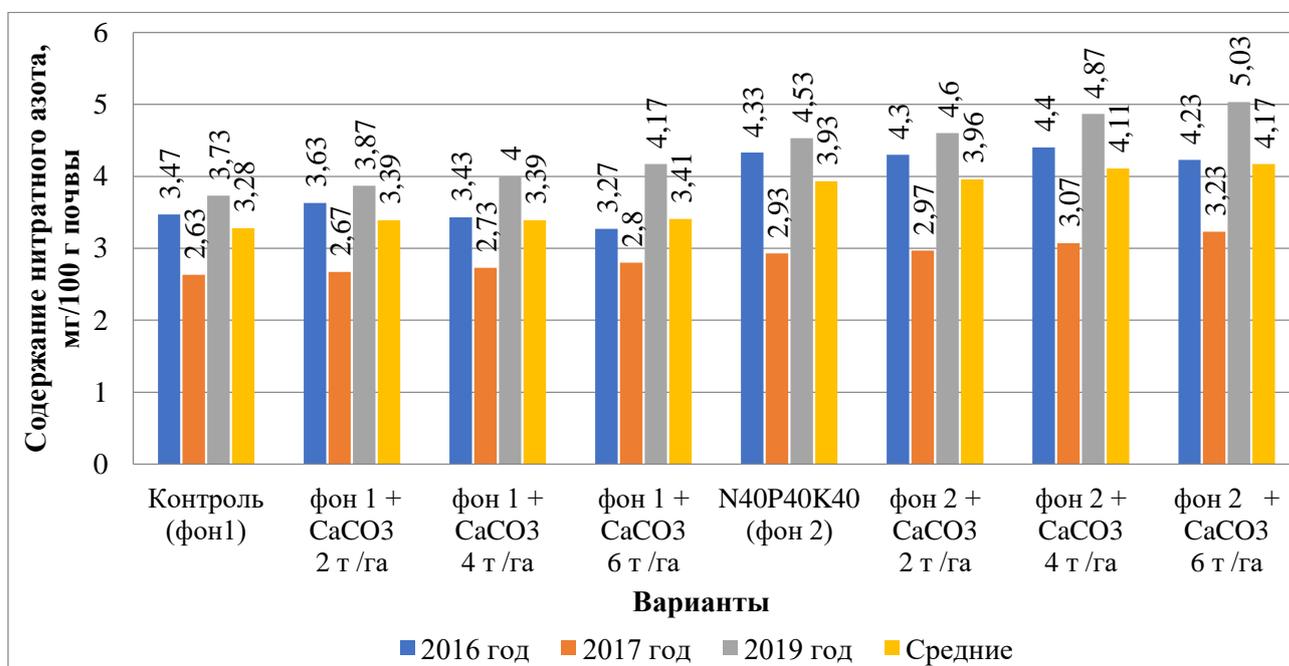


Рисунок 11 – Содержание нитратного азота (N-NO<sub>3</sub>) в почве под посевами яровой пшеницы под действием известкования, мг/100 г почвы

Наибольшее повышение содержания N-NO<sub>3</sub> отмечено при сочетании повышенных доз мела (4 и 6 т/га) с минеральным фоном. В среднем за три года содержание нитратного азота на данных вариантах составляло 4,11-4,17 мг/100 г почвы, что на 0,72-0,76 мг/100 г почвы (на 22-23 %) выше контрольного варианта (3,28 мг/100 г) и на 0,18-0,24 мг/100 г почвы (на 4-6 %) выше фона NPK (3,93 мг/100 г). Отдельное же применение известковых материалов, не зависимо

от дозы, практически не оказывало влияние на содержание нитратного азота.

Однако известкование чернозема выщелоченного способствовало значительному увеличению аммиачного азота в почве как отдельно, так и на фоне минеральных удобрений (рис. 12, приложение 13). Применение мела в зависимости от дозы способствовало повышению показателя на 0,31-0,81 мг/100 г почвы (17-45 %), по сравнению с минеральным фоном превышение составило 0,2-0,45 мг/100 г почвы (7-17 %). Отдельное применение минеральных удобрений способствовало повышению обеспеченности почвы аммиачным азотом на 0,85 мг/100 г почвы (на 47 %).

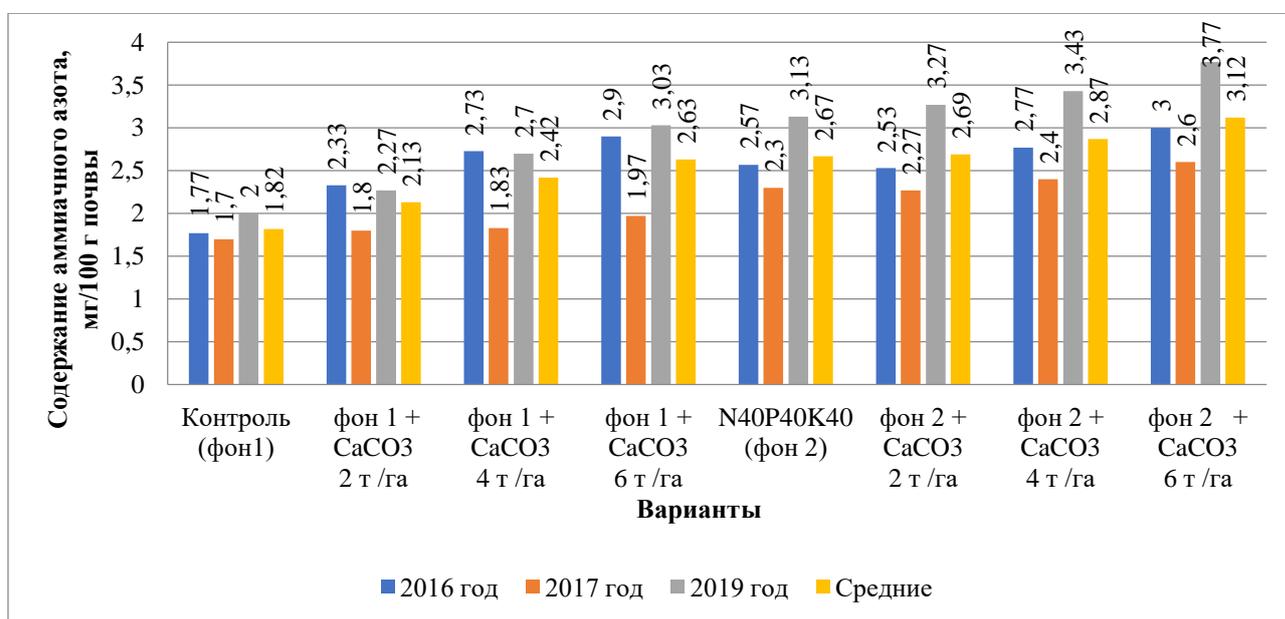


Рисунок 12 – Содержание аммиачного азота (N-NH<sub>4</sub>) в почве под посевами яровой пшеницы при известковании, мг/100 г почвы

Как показали результаты исследований, по всем изучаемым вариантам наблюдалось увеличение содержания общего азота в почве (рис. 13, приложение 14). Причем наиболее заметное улучшение показателя отмечено на неудобренном фоне. Известкование почвы пропорционально дозе внесения обеспечило повышение содержания общего азота на 0,027-0,053 % (или на 8-15 отн. %). Внесение мела в сочетании с минеральными удобрениями не приводило к дополнительному росту значений относительно фона NPK.

Таким образом, под действием известкования почвы, в том числе в соче-

тании с минеральными удобрениями в дозе N40P40K40, наблюдалось улучшение азотного режима чернозема выщелоченного, что было обусловлено повышением биологической активности почвы на опытных вариантах.

Однако более существенные изменения под действием изучаемых агрохимикатов наблюдали в содержании доступных форм фосфора и калия почвы, причем во все годы исследований (приложения 15,16,17).

Несмотря на активное потребление элементов минерального питания на формирование дополнительной прибавки урожая яровой пшеницы, уровень подвижного фосфора на вариантах с повышенными дозами мела (4-6 т/га) на фоне внесения сложных удобрений после уборки культуры был наибольшим.

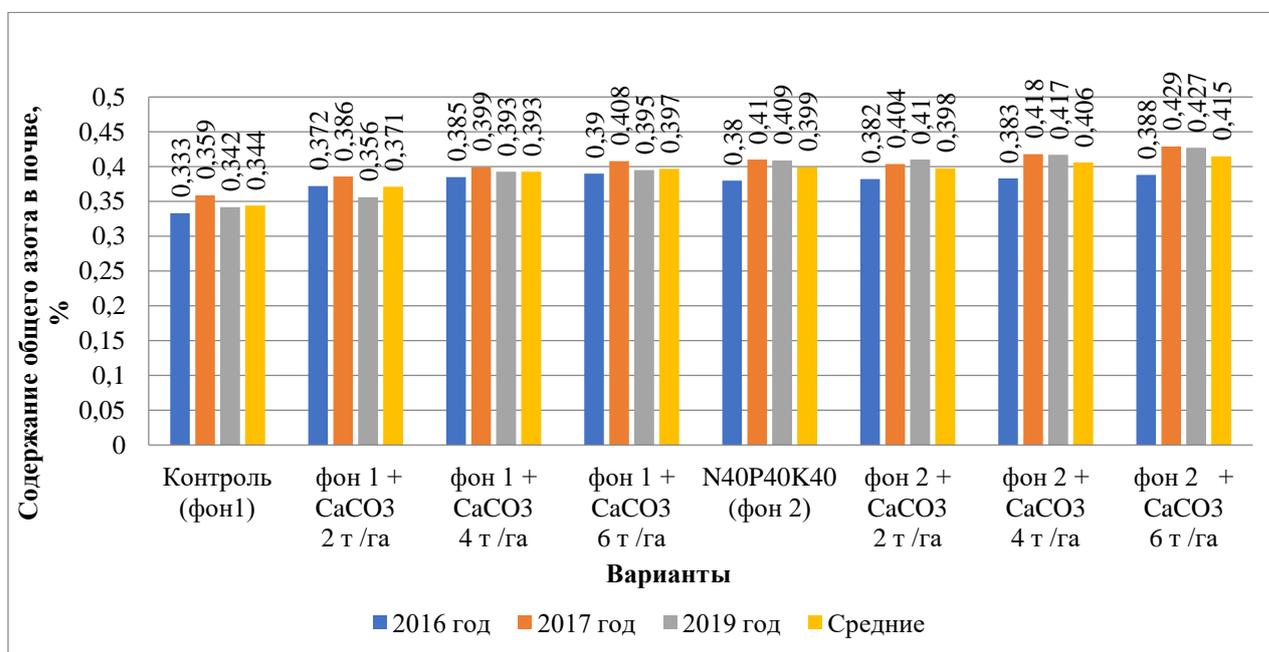


Рисунок 13 – Содержание общего азота в почве под посевами яровой пшеницы при известковании и применении минеральных удобрений, %

В среднем за годы исследований уровень содержания подвижного фосфора на контрольном фоне перед посевом яровой пшеницы составлял 170-204 мг/кг почвы (по методу Чирикова высокая обеспеченность), на фоне NPK – 203-230 мг/кг почвы (очень высокая обеспеченность) (рис. 14), по содержанию обменного калия соответственно 159-176 (высокая) и 176-198(очень высокая) мг/кг почвы (рис. 15).

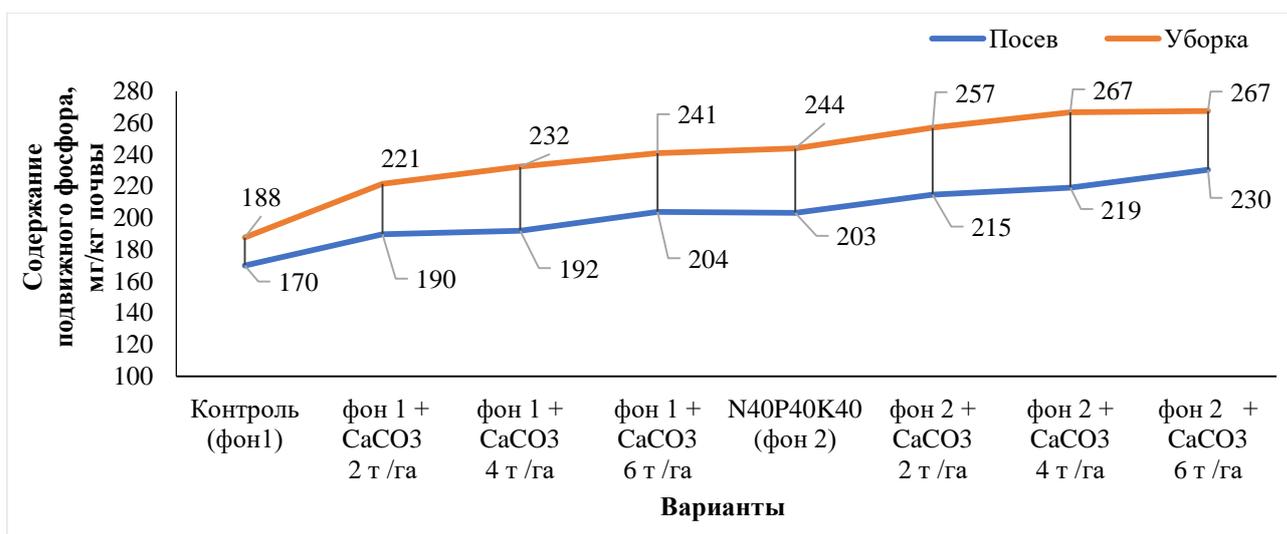


Рисунок14 – Изменение содержания подвижного фосфора в черноземе выщелоченном под посевами яровой пшеницы при известковании и применении минеральных удобрений (среднее за 2016, 2017, 2019 гг.)

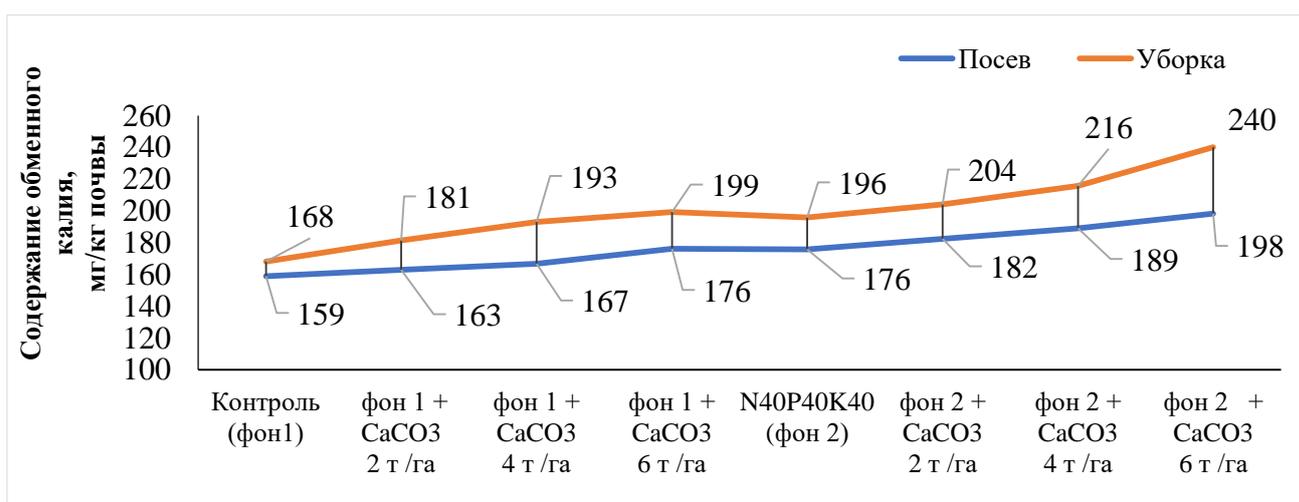


Рисунок15 – Изменение содержания обменного калия в почве под посевами яровой пшеницы при известковании мелом и применении минеральных удобрений(среднее за 2016, 2017, 2019 гг.)

Тенденция повышения содержания подвижных форм фосфора и калия при известковании почвы мелом Шиловского месторождения к окончанию вегетации культуры сохранялась по всем вариантам опыта, невзирая на усиленное потребление элементов на формирование урожайности культуры. Повышение содержания фосфора наблюдалось на вариантах как с внесением мела в чистом

виде, так и на фоне минеральных удобрений на 33-79, калия – 13-72 мг/кг почвы по отношению к контрольному варианту. Наилучшие условия минерального питания складывались на вариантах с повышенной дозой внесения мела 6 т/га при внесении как в чистом виде, так и на минеральном агрофоне, причем на 2 фоне показатели были существенно выше.

Исходя из вышесказанного, можно сделать вывод, что известкование чернозема выщелоченного с относительно оптимальной обменной кислотностью способствовало улучшению основных агрохимических показателей. Так, смещение обменной кислотности от применения мела в дозе 4 т/га составляет 0,5 ед., от 6 т/га – 0,62 ед. При этом гидролитическая кислотность уменьшается с 2,49 до 2,19 (CaCO<sub>3</sub> 4 т/га) и 2,15 мг-экв./100 г (CaCO<sub>3</sub> 6 т/га). Необходимо подчеркнуть, что для известкования опытной почвы достаточно дозы 4 т/га, дальнейшее увеличение ее до 6 т/га не приводит к более значительному изменению данных показателей.

Таким образом, проведение известкования чернозема выщелоченного, а также применение минеральных удобрений в дозе N40P40K40 как отдельно, так и в их сочетании в технологии возделывания яровой пшеницы позволили существенно улучшить режим минерального питания, причем наиболее ощутимые изменения наблюдались в отношении фосфорного и калийного режимов почвы.

#### **3.4. Подвижность тяжелых металлов**

В последние годы негативным показателям качества растениеводческой продукции (накопление тяжелых металлов, нитратов и нитрозосоединений и др.) уделяется значительное внимание. К классу тяжелых металлов относят те элементы, плотность которых превышает 6 г/см<sup>3</sup> (Zn, Mn, Cr, Pb, Ni, Cd, Cu и др.). При этом медь, цинк и марганец являются микроэлементами, необходимыми для жизнедеятельности растений. Такое деление считается весьма относительным, в связи с тем, что перечисленные элементы в повышенных концентрациях становятся токсичными, и, наоборот, некоторые токсические металлы в ультрамикроколичествах полезны для растений.

В многочисленных исследованиях установлено, что повышенное количество тяжелых металлов в почве подавляет процесс нитрификации, снижает азотфиксирующую активность бобовых культур, ингибирует активность ферментов (уреазы, фосфатаз) и в целом общую биологическую активность почвы. А это, в свою очередь, может значительно влиять на метаболизм в растениях, и, как следствие, на качество урожая (Федорова И., 2000).

На высокогумусированных почвах часто наблюдается отсутствие зависимости между содержанием тяжелых металлов и выносом их растениями. Это обусловлено тем, что органическое вещество почвы адсорбирует металлы, образуя сложные соединения в виде хелатов и переводя металлы в менее доступную для растения форму.

К сожалению, действенных мер очистки почв от токсических элементов, равно как и от других загрязнителей, в настоящее время нет. Возможно, в ближайшей перспективе будут разработаны меры по связыванию токсических металлов в труднодоступные (или малодоступные) для растений соединения. Известкование кислых почв является действенным приемом понижения токсичности этих металлов (Нуриев С.Ш. и др., 2010).

Таким образом, формирование благоприятных условий для питания растений путем подбора соответствующих минеральных и органических удобрений является важным приемом улучшения почв, загрязненных различными токсическими металлами.

На рисунке 16 (приложение 18) представлены данные по оценке эффективности мела Шиловского месторождения и минеральных удобрений на содержание валовых форм химических элементов в почве под посевами яровой пшеницы.

Прежде всего, следует отметить, что при использовании в качестве известкового материала мела Шиловского месторождения с общим содержанием  $\text{CaCO}_3 + \text{MgCO}_3$  98,5 % в результате процесса нейтрализации происходило снижение обменной кислотности почвы с 5,46 до 5,81 единиц.

Согласно показателю ОДК (ориентировочно допустимые концентрации) химических веществ в почве на основе нормативов («Гигиенические нормативы

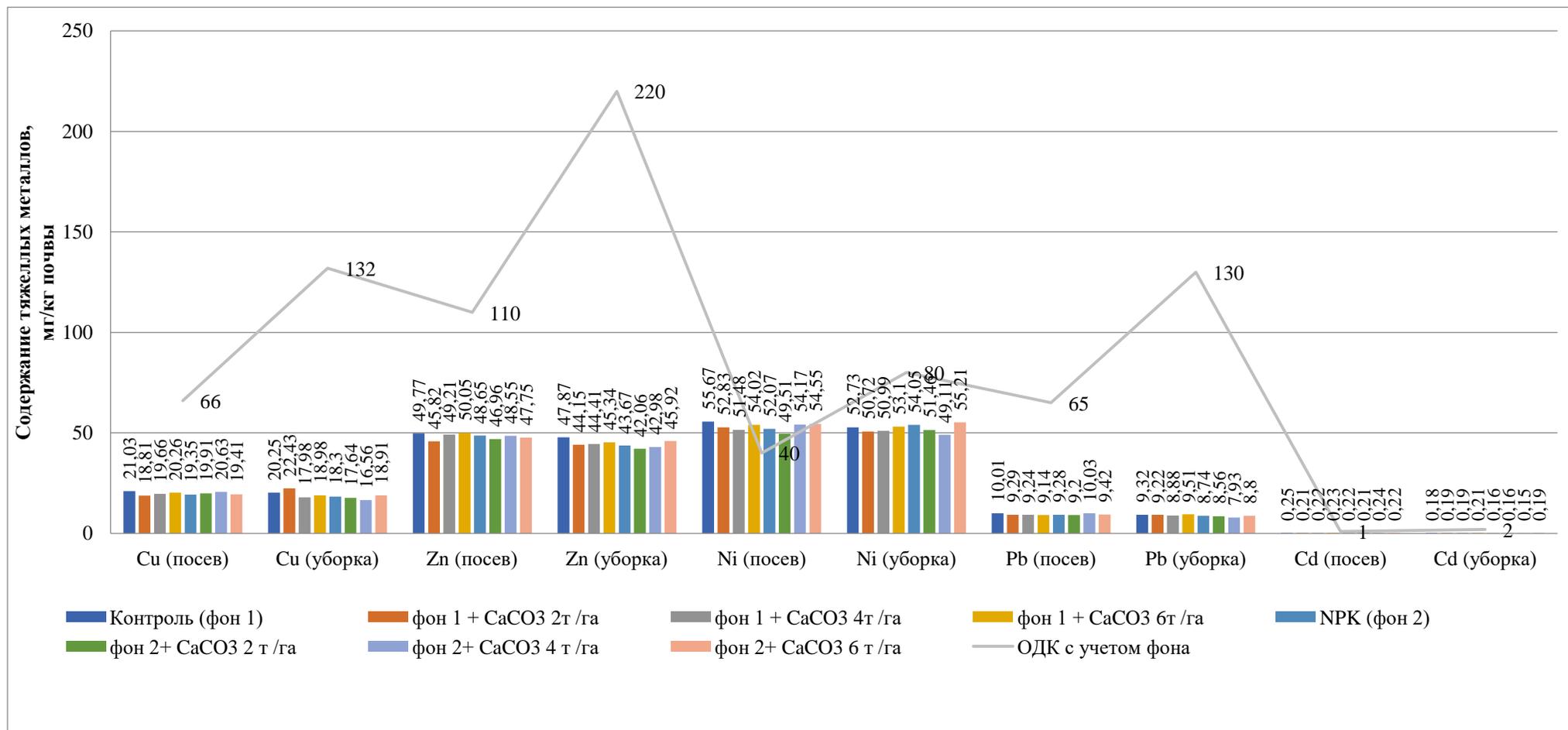


Рисунок 16 – Влияние известкования чернозема выщелоченного на содержание тяжелых металлов под посевами яровой пшеницы, мг/кг почвы (2016 г.)

ГН 2.1.7.2511-09» / М.: Федеральный центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора, 2009), при переходе кислотности почвы  $> 5,5$  единиц рН изменяются и нормативы по содержанию ТМ в почве в 2 раза.

При оценке чернозема выщелоченного по содержанию тяжелых металлов в зависимости от применения мела и минеральных удобрений в дозе N40P40K40 в технологии возделывания яровой пшеницы сделаны определенные выводы.

Прежде всего, обращает внимание то, что содержание подвижных форм тяжелых металлов в почве в период посева яровой пшеницы было несколько выше, чем в период уборки. В почве в наибольшем количестве содержался никель (49,51-55,67 мг/кг), затем цинк (46,86-50,05 мг/кг) и медь (18,81-21,03 мг/кг). Свинец и кадмий содержались в значительно меньших количествах (9,2-10,03 и 0,21-0,25 мг/кг соответственно). Так, к моменту уборки яровой пшеницы на варианте с внесением мела в дозе 2 т/га содержание меди увеличилось с 18,81 до 22,43 мг/кг почвы (на 3,62 мг/кг почвы), однако внесение мелиоранта в дозе 4-6 т/га приводило к понижению его содержания на 1,28-1,68 мг/кг. На фоне минеральных удобрений внесение мела в дозе 4 т/га также способствовало наибольшему его понижению с 20,63 до 16,56 мг/кг (на 4,07 мг/кг). Подобная закономерность наблюдалась и по содержанию цинка, никеля, свинца и кадмия. Разница по содержанию ТМ на варианте с внесением мела в дозе 4 т/га на фоне минеральных удобрений в период уборки было наибольшим по отношению к данным, полученным при посеве культуры, и составляла – 5,57; 5,06 и 2,1 мг/кг почвы соответственно.

Содержание в почве исследуемых тяжелых металлов не превышало ориентировочно допустимые концентрации химических веществ в почве (за исключением содержания Ni в период посева, ОДК 40 мг/кг почвы, на опытных вариантах – 49,51-55,67 мг/кг). Наибольшее содержание практически по всем изучаемым элементам отмечено на контрольном варианте (т.е. без применения мела и минеральных удобрений).

Таким образом, известкование почв является действенным средством снижения подвижности тяжелых металлов в черноземе выщелоченном.

## **4. ФОРМИРОВАНИЕ УРОЖАЙНОСТИ И КАЧЕСТВА ЗЕРНА ЯРОВОЙ ПШЕНИЦЫ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ИЗВЕСТКОВАНИЯ ПОЧВЫ И ПРИМЕНЕНИЯ МИНЕРАЛЬНЫХ УДОБРЕНИЙ**

### **4.1. Урожайность**

Поддержание высокого уровня плодородия почв является неотъемлемым условием стабильного развития сельскохозяйственного производства. Как отмечалось в 1 главе, кислотность почвенного раствора оказывает непосредственное воздействие как на растения, так и на все химические, физико-химические и биологические свойства почвы, тем самым определяет эффективность вносимых удобрений и, как следствие, урожайность сельскохозяйственных культур (Галишин Р.Р., Галлямов Ф.Н., 2014).

Продуктивность сельскохозяйственных культур является основным показателем эффективности всех агрономических приемов, предусмотренных технологией возделывания. На рисунках 17,18,19 (приложения 19, 20,21) приведены данные по урожайности зерна яровой пшеницы в зависимости от внесения размолотого мела Шиловского месторождения с целью известкования почвы как в чистом виде, так и на фоне минеральных удобрений.

При анализе результатов исследований, представленных на рис. 17, прежде всего, обращает на себя внимание практически удвоение урожайности при внесении удобрений: если на контроле она находилась на уровне 2,05 т/га, то на фоне N40P40K40 – 4,10 т/га. Благоприятные условиями температурного и водного режима вегетационного периода 2016 года, в частности, в критические периоды формирования урожайности, позволили растениям полностью усвоить элементы питания из внесенных удобрений.

Применение мелиоранта в чистом виде обеспечило повышение продуктивности культуры лишь на 3,9-9,8 %. При совместном его использовании с минеральными удобрениями тенденция роста продуктивности культуры с повышением дозы мелиоранта сохранилась. При этом достаточно вносить в почву 4 т/га мелиоранта. Дальнейшее повышение дозы извести (до 6 т/га) не приводит

ло к достоверному росту урожайности. С точки зрения экономической эффективности можно ограничиться и дозой 2 т/га, хотя прибавка урожайности зерна при этом в 2 раза ниже. Наибольшие показатели продуктивности яровой пшеницы отмечены на вариантах совместного применения извести и минеральных удобрений (4,27-4,38 т/га), наименьшие – на контроле (2,05 т/га).

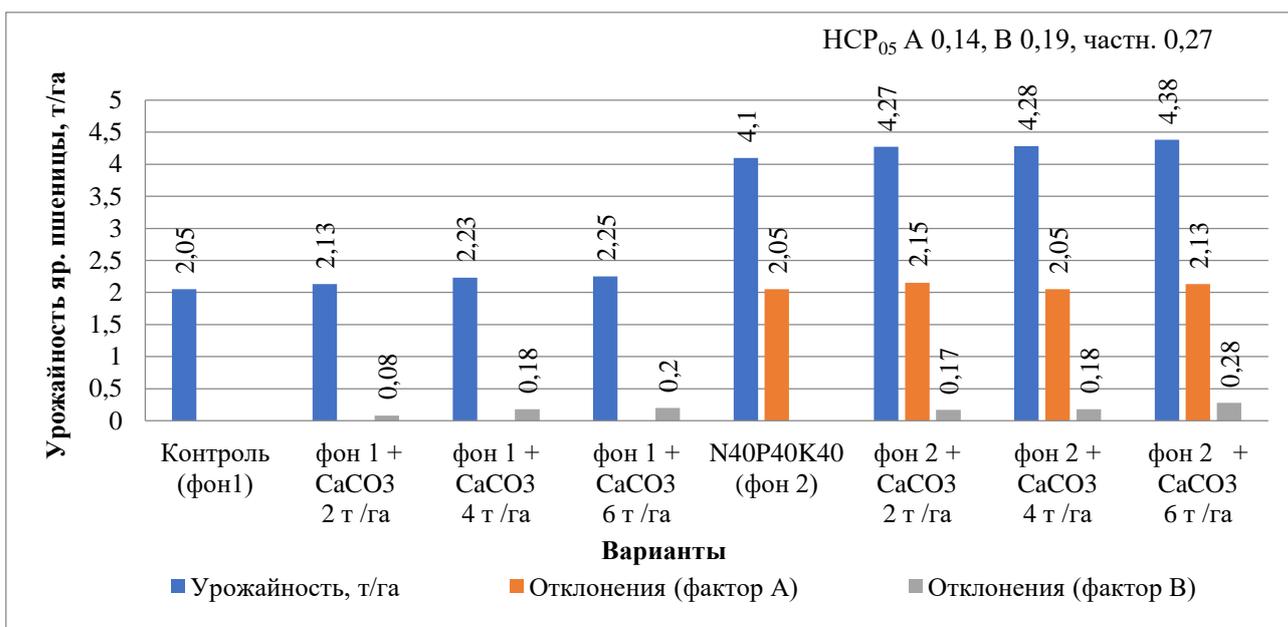


Рисунок 17 – Влияние мела и минеральных удобрений на урожайность яровой пшеницы, 2016 г.

На рисунке 18 (приложение 20) приведены данные урожайности зерна яровой пшеницы, полученные в 2017 году, в зависимости от внесения мела Шиловского месторождения для известкования почвы как в чистом виде, так и на фоне минеральных удобрений (азофоска, доза внесения N40P40K40).

В 2017 году сложившиеся условия вегетации культуры также позволили получить высокие показатели продуктивности культуры как на неудобренном, так и удобренном агрофонах. Достаточные запасы продуктивной влаги в результате обильных осадков в апреле-мае позволили получить дружные всходы культуры, а во время вегетации – способствовали дальнейшему раскрытию потенциала культуры. Эффективность применения мела, используемого в качестве мелиоранта, также была выше по сравнению с 2016 г.

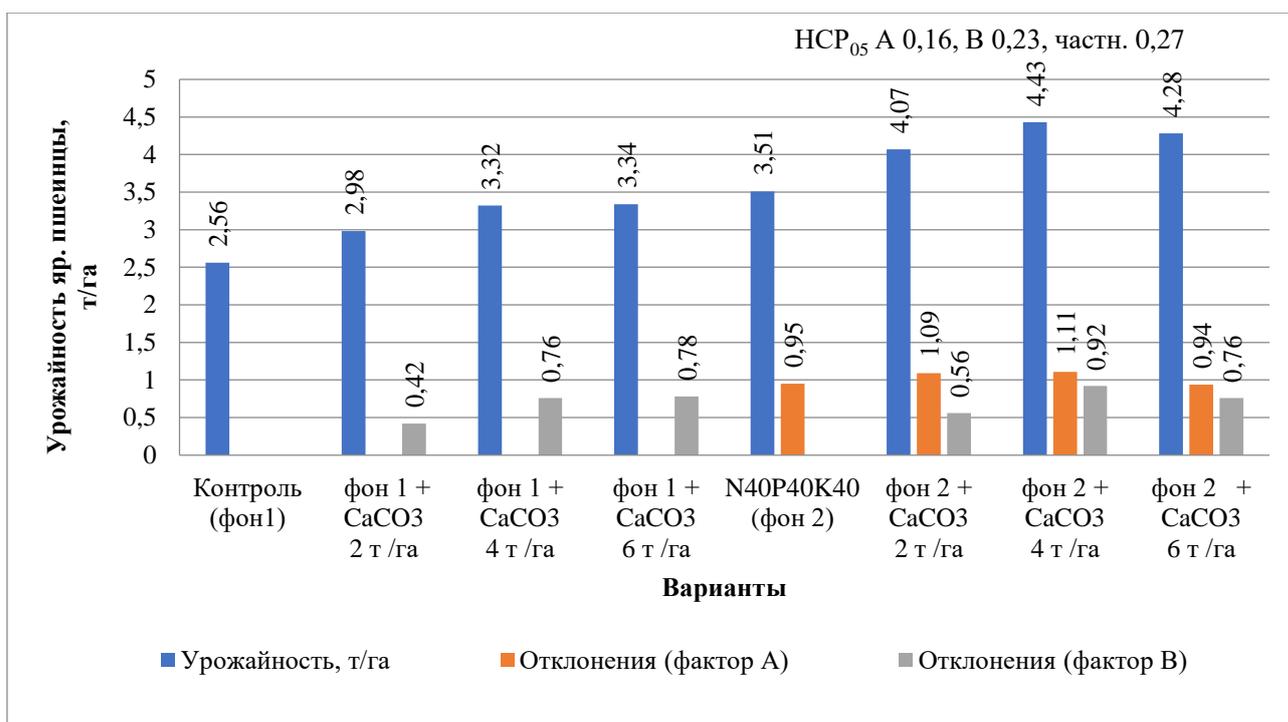


Рисунок 18 – Влияние использования мела и минеральных удобрений на урожайность зерна яровой пшеницы, 2017 г.

Анализ результатов исследований позволил установить, что применение мела с суммарным содержанием  $\text{CaCO}_3 + \text{MgCO}_3$  98,5 % как в чистом виде, так и на фоне сложных минеральных удобрений привело к существенному повышению продуктивности зерна яровой пшеницы (на 0,42–1,11 т/га) по сравнению с контролем (2,56 т/га). Внесение в почву мела в дозе 4 т/га, которая была рассчитана по гидролитической кислотности (1,0 Нг), показало наибольшую эффективность, что позволило получить прибавку урожая, равную 0,76 т/га, увеличение дозы до 6 т/га (1,5 Нг) не привело к достоверному повышению продуктивности опытной культуры относительно варианта с внесением 4 т/га мела. Кроме того, возделывание яровой пшеницы на фоне минеральных удобрений увеличило продуктивность культуры в 1,4 раза (на 0,95 т/га) по сравнению с контролем.

В 2019 г. аналогичная тенденция по всем вариантам сохранилась, однако прибавки по опытным вариантам были несколько ниже (рис.19). Средняя продуктивность яровой пшеницы была наибольшей за годы исследований (3,32–4,56 т/га).

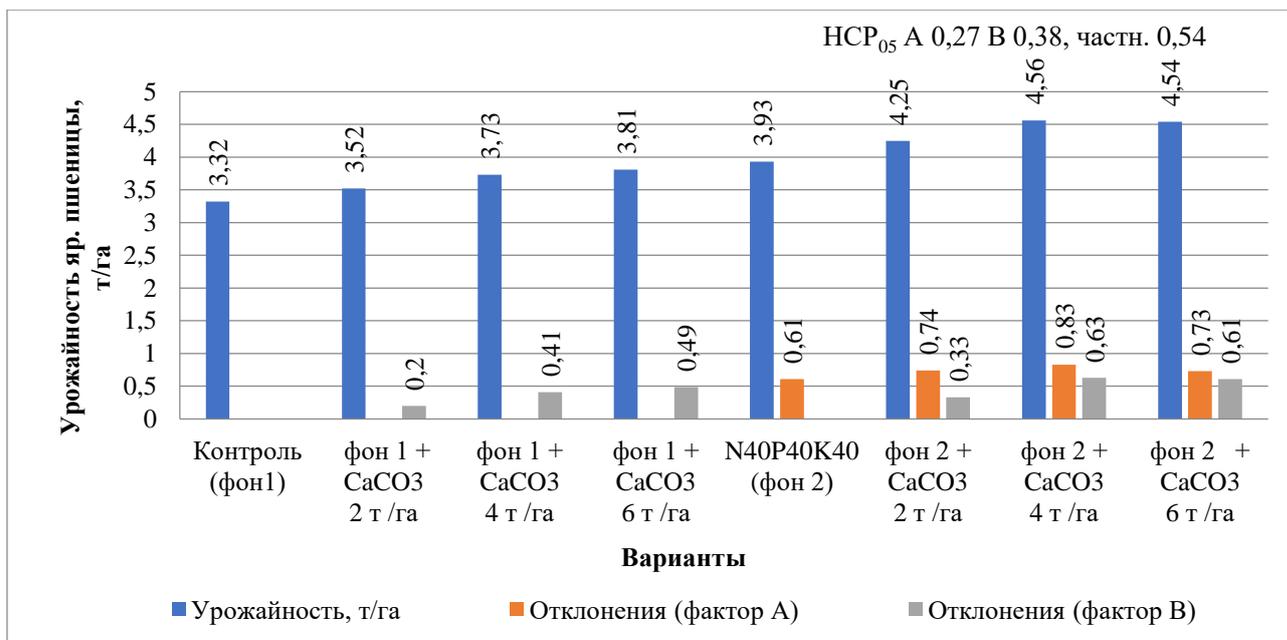


Рисунок 19 – Влияние использования мела и минеральных удобрений на урожайность зерна яровой пшеницы, 2019 г.

Известкование почвы позволило достоверно повысить продуктивность яровой пшеницы при дозе извести от 4 до 6 т/га, прибавка составила 0,41-0,49 т/га, внесение 2 т/га извести было неэффективно. Применение сложных удобрений под культивацию обеспечило прибавку над контролем в 0,61 т/га. Наиболее эффективным было сочетание известкования в дозе 4 т/га и внесения удобрений.

Исходя из вышеизложенного, следует отметить, что за три года исследований установлена прямая зависимость влияния известкования почвы мелом Шиловского месторождения при использовании его как в чистом виде, так и совместно с минеральными удобрениями на продуктивность пшеницы мягкой яровой сорта Маргарита (табл. 2). Увеличение сбора зерна при внесении в почву мела в дозах 2-6 т/га составляло 0,24-0,49 т/га, при этом наилучшим вариантом, в том числе с точки зрения экономической эффективности, являлось внесение 4 т/га – 0,45 т/га. Аналогичная закономерность наблюдалась и на фоне внесения комплексного минерального удобрения в дозе 40 кг/га д.в., повышение урожайности составило 0,57 т/га.

Таблица 2 – Влияние мела и минеральных удобрений на урожайность зерна яровой пшеницы, т/га

Варианты	Урожайность зерна, т/га				Среднее по фону, т/га	Отклонения, ± т/га	
	2016	2017	2019	среднее		фактор А	фактор В
Контроль (фон1)	2,05	2,56	3,32	2,64	2,94		-
фон 1 + CaCO <sub>3</sub> 2 т/га	2,13	2,98	3,52	2,88			+0,24
фон 1 + CaCO <sub>3</sub> 4 т/га	2,23	3,32	3,73	3,09			+0,45
фон 1 + CaCO <sub>3</sub> 6 т/га	2,25	3,34	3,81	3,13			+0,49
N40P40K40 (фон 2)	4,1	3,51	3,93	3,85	4,22	+1,21	-
фон 2 + CaCO <sub>3</sub> 2 т/га	4,27	4,07	4,25	4,20		+1,32	+0,35
фон 2 + CaCO <sub>3</sub> 4 т/га	4,28	4,43	4,56	4,42		+1,33	+0,57
фон 2 + CaCO <sub>3</sub> 6 т/га	4,38	4,28	4,54	4,40		+1,27	+0,55
Среднее по опыту, т/га	3,21	3,56	3,96				
НСР <sub>05</sub>	Фактор А	0,14	0,16	0,27			
	Фактор В	0,19	0,23	0,38			
	Част.средних	0,27	0,33	0,54			

Таким образом, проведенные исследования доказали, что черноземы щелоченные, которые имеют в целом слабокислую реакцию почвенного раствора  $pH_{KCl} > 5,4$  при возделывании на них более требовательных к уровню кислотности культур, также нуждаются в известковании в дозе, рассчитанной по показателю гидролитической кислотности, что содействует получению более высоких урожаев последующих культур в результате пролонгированного последствия мела в течение 3-4 лет.

Аналогичные данные были получены Т.Н. Кулаковской (1990). Результаты исследований свидетельствуют об исключительно важной роли известкования почвы. При доведении почвенного раствора до слабокислой реакции, имеющей обменную кислотность  $pH$  5,6-6,0, урожайность практически удваивалась даже без удобрений и выводила ее на уровень более 30,0 ц/га.

По данным С.Г. Скоропанова (1982), одна и та же доза удобрений позволяла получать различную продуктивность в зависимости от кислотности почвы: на сильно кислой почве с  $pH$  4,5 210-220 кг NPK обеспечивали урожайность

27,4 ц, тогда как на слабокислой – 44,7 ц или в 1,6 раза больше. Таким образом, высокая эффективность удобрений возможна лишь при опережающем известковании кислых почв.

А.А. Лукмановым, Н.А. Логиновыми, Ф.Н. Сафиоллиным (2022) в 5-летних исследованиях так же доказана высокая эффективность комплексного применения известкования, фосфоритования и расчетной нормы NPK на планируемую урожайность зерна яровой пшеницы 4 т/га, что позволило повысить продуктивность выщелоченного чернозема Среднего Поволжья более чем в 2 раза. Повышение продуктивности, по мнению авторов, было обусловлено формированием плотного стеблестоя (412-431 шт./м<sup>2</sup>), повышением продуктивной кустистости (1,28-1,30) образования продуктивных колосьев (436-560 шт./м<sup>2</sup>) с содержанием в каждом колосе 23,2-23,4 зерен с массой 1000 семян 36,8-39,7 г против 350; 1,2; 392; 16,2 и 35,4 на контрольном варианте опыта соответственно. Кроме этого, при формировании плотного стеблестоя высотой 83-90 см способствовало уменьшению жизненного пространства для сорных растений.

На рис. 20-26 представлены линейные зависимости между содержанием доступных форм азота, фосфора и калия в черноземе выщелоченном и урожайностью яровой пшеницы.

Следует отметить, что между всеми агрохимическими показателями и продуктивностью яровой пшеницы во всех годы исследований установлены прямые положительные регрессии с высокой достоверностью ( $r= 0,89-0,97$ ), за исключением 2017 года, где взаимосвязи между показателями были менее выражены. Представленные уравнения можно использовать для прогнозирования потенциальной продуктивности культуры в зависимости от обеспеченности почвы доступными элементами питания. Область применения уравнений ограничивается интервалами соответствующих показателей, представленных на рисунках.

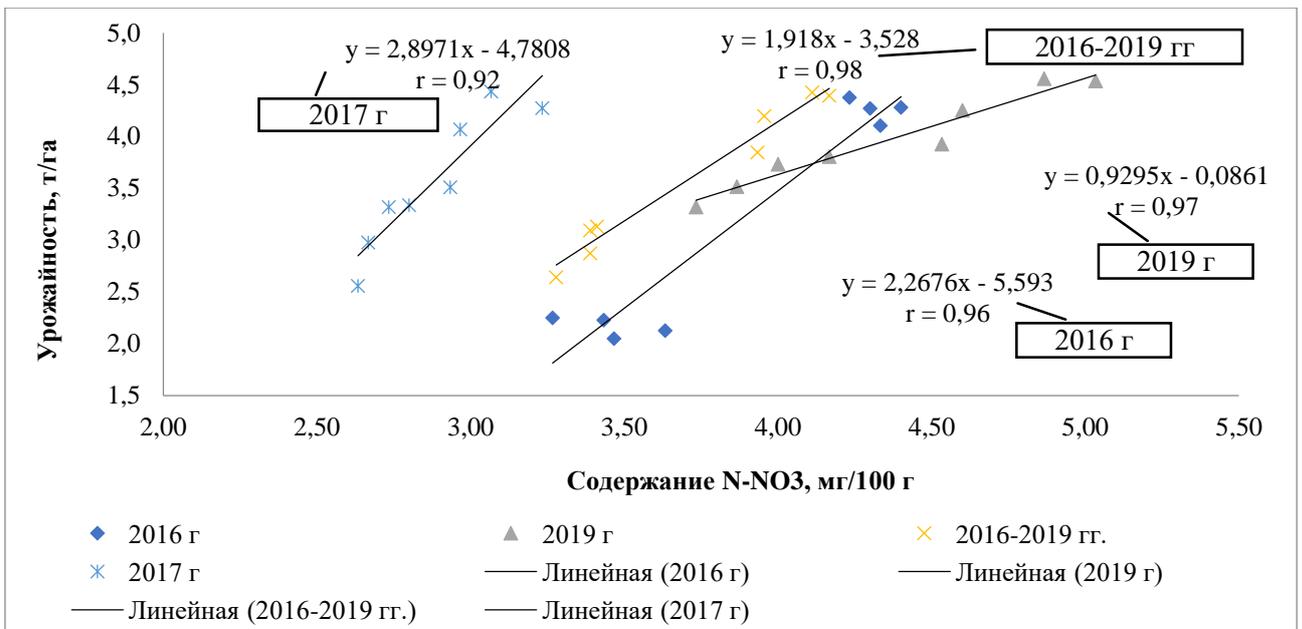


Рисунок 20 – Влияние содержания нитратного азота в почве на урожайность зерна яровой пшеницы

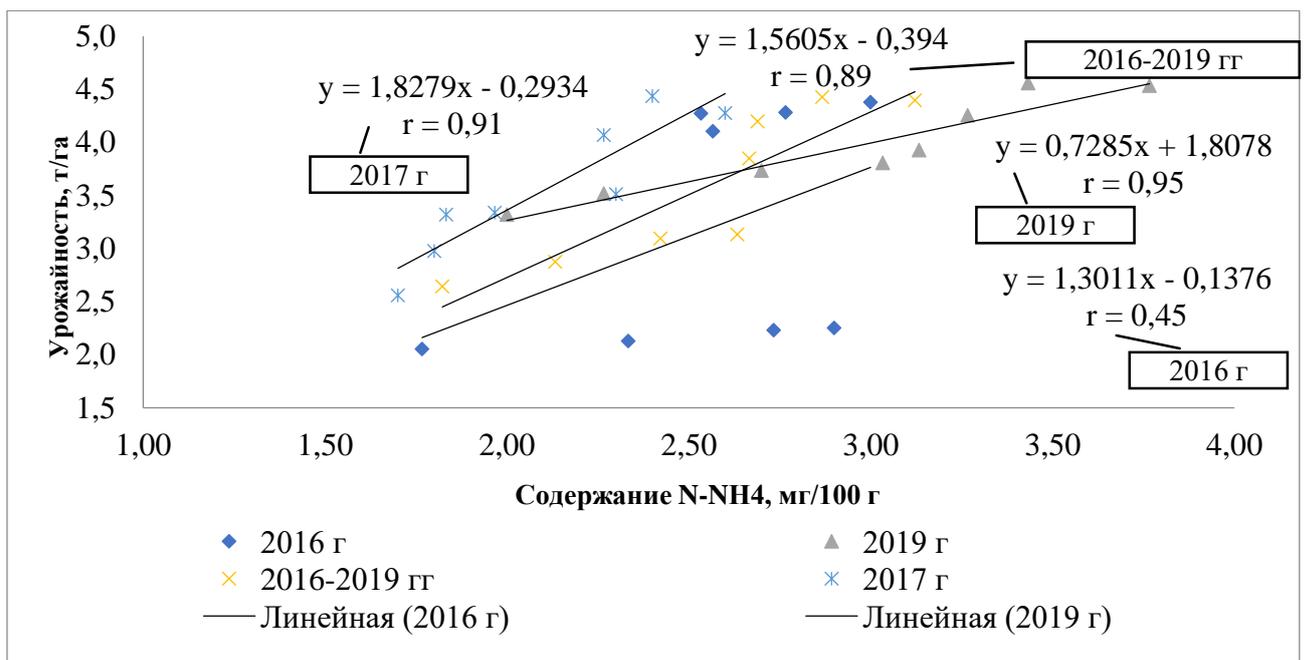


Рисунок 21 – Влияние содержания аммиачного азота в почве на урожайность зерна яровой пшеницы

Так, например, зависимость между содержанием подвижных форм азота N-NO<sub>3</sub>+N-NH<sub>4</sub> в почве (x) и урожайностью яровой пшеницы (y) описывается уравнением вида:

$$y = 0,9302x - 2,236 \quad (r = 0,97)$$

Уравнение показывает, что увеличение уровня доступного азота в почве на 10 мг/кг почвы приводило к дополнительному получению 0,93 т/га зерна (уравнение действительно при содержании доступного азота 4-10 мг/100 г почвы и урожайности яровой пшеницы 2,0-4,5 т/га).

Между содержанием подвижного фосфора в черноземе выщелоченном (x, мг/кг почвы) в период посева и во время уборки и урожайностью культуры выявлены тесные корреляционные взаимосвязи (рис. 25, 26), представленные линейными уравнениями вида:

$$y = 0,0349x - 3,5083 \quad (r = 0,92) \quad (\text{посев})$$

$$y = 0,0248x - 2,3784 \quad (r = 0,91) \quad (\text{уборка})$$

Повышенная обеспеченность почвы доступным фосфором уже в начале вегетации культуры способствовала формированию на каждые 10 мг/кг почвы дополнительно 0,35 т/га зерна. Уравнения справедливы при уровне доступного фосфора 150-270 мг/кг почвы и урожайности яровой пшеницы 2,0-4,5 т/га. К уборке культуры взаимосвязь сохранилась.

Аналогичные закономерности выявлены также между содержанием обменного калия в черноземе выщелоченном и продуктивностью культуры. В среднем за годы исследований уравнения имеют вид:

$$y = 0,0499x - 5,2238 \quad (r = 0,93) \quad (\text{посев})$$

$$y = 0,0285x - 2,1199 \quad (r = 0,86) \quad (\text{уборка})$$

По сравнению с содержанием фосфора отзывчивость растений на улучшение калийного питания была значительно выше. Так, при повышении уровня обменного калия на 10 мг/кг почвы формировалось дополнительно 0,5 т/га зерна (по фосфору соответственно 0,35 т/га). Уравнение действительно при уровне подвижного калия 150-250 мг/кг почвы и урожайности яровой пшеницы 2,0-4,5 т/га.

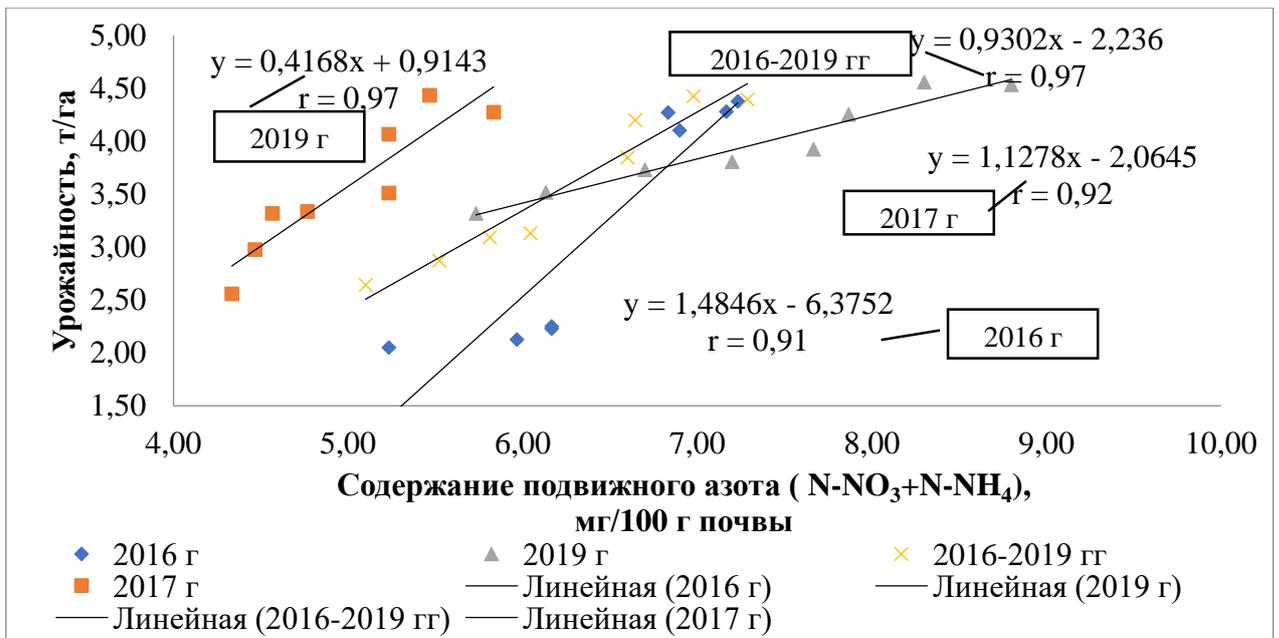


Рисунок 22 – Влияние содержания подвижного азота ( $N-NO_3+N-NH_4$ ) в почве на урожайность зерна яровой пшеницы

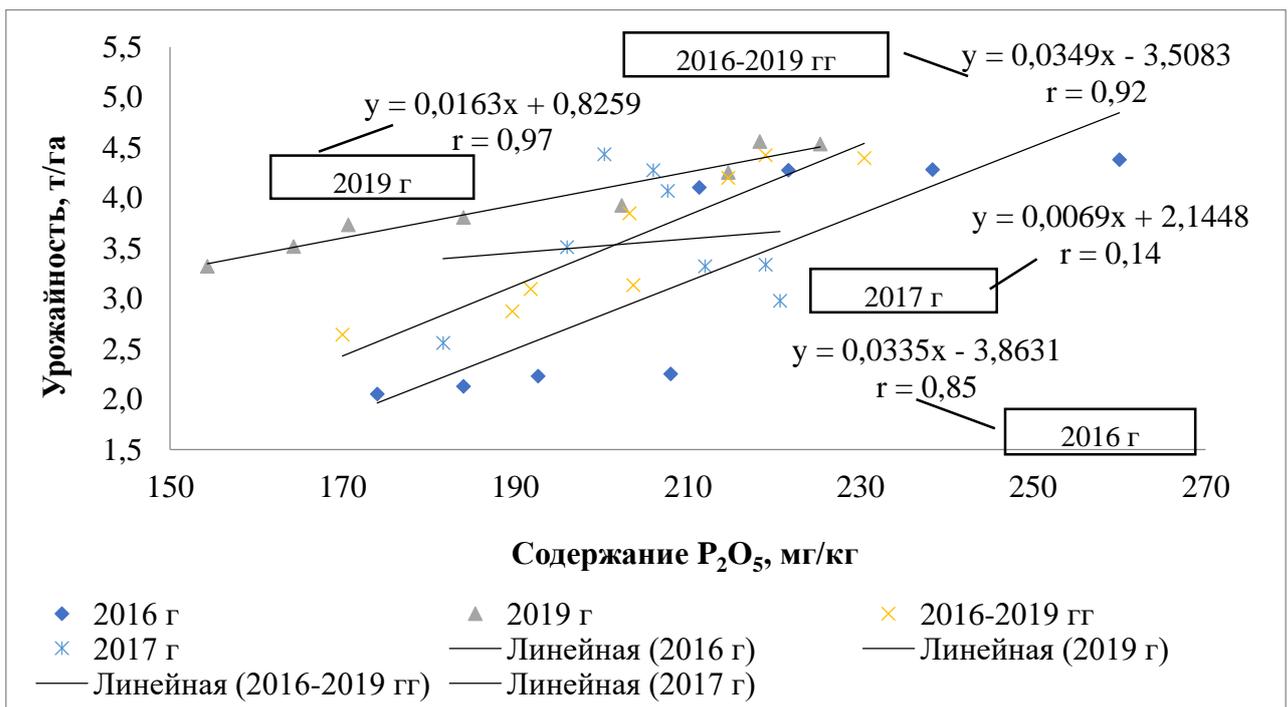


Рисунок 23 – Влияние подвижного фосфора в почве в период посева на урожайность зерна яровой пшеницы

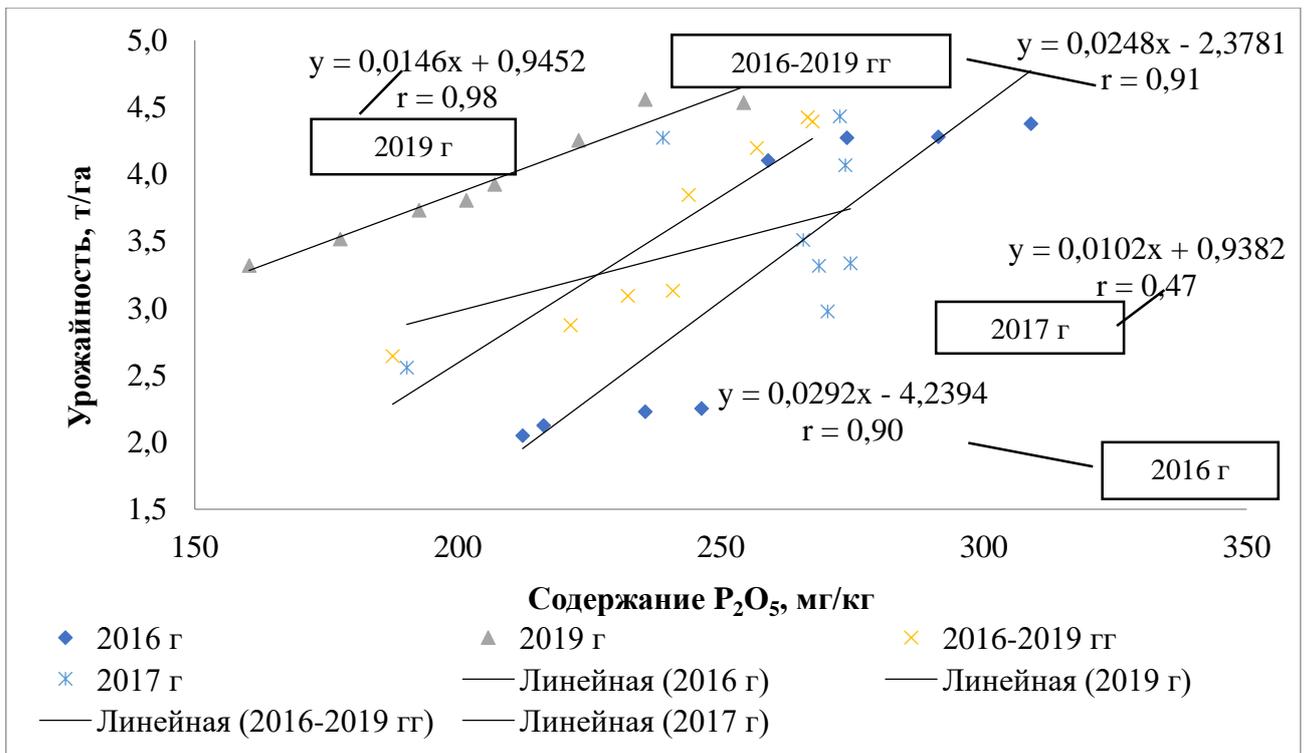


Рисунок 24 – Влияние подвижного фосфора в почве в период уборки на урожайность зерна яровой пшеницы

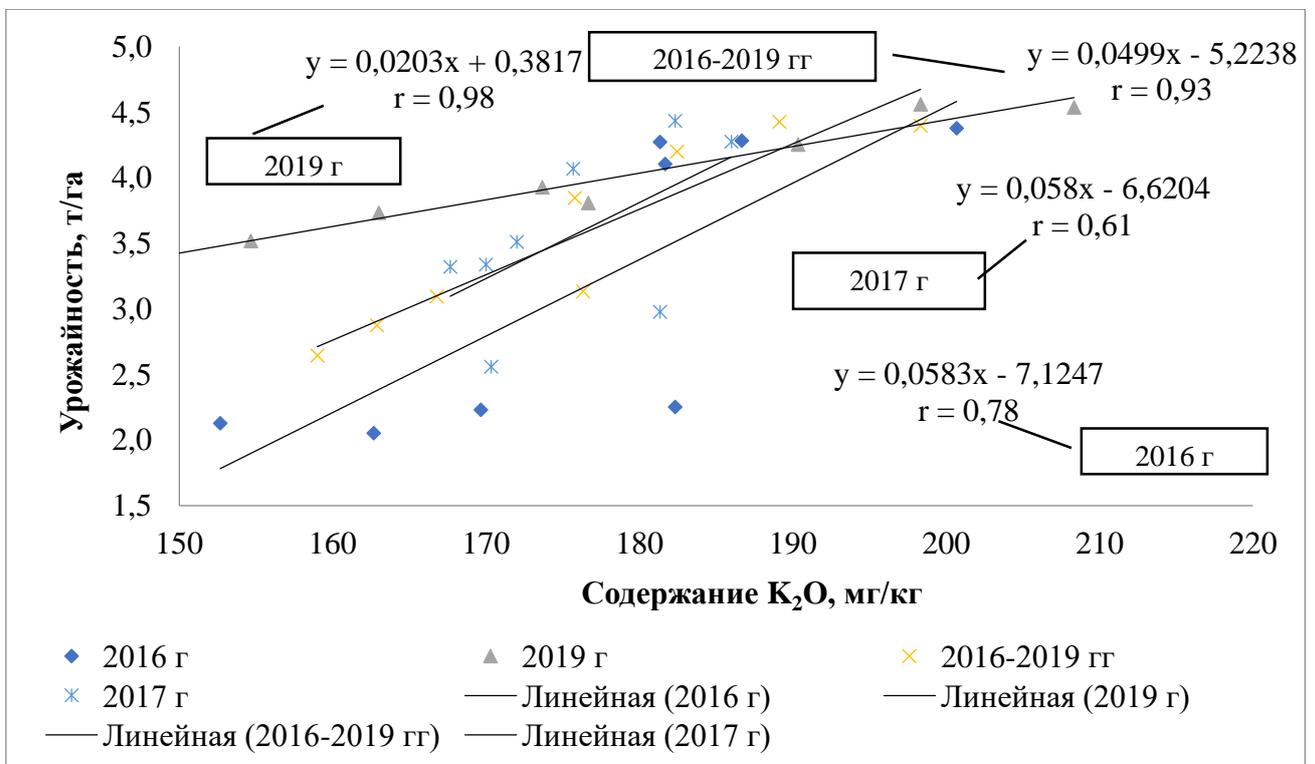


Рисунок 25 – Влияние обменного калия в почве в период посева на урожайность зерна яровой пшеницы

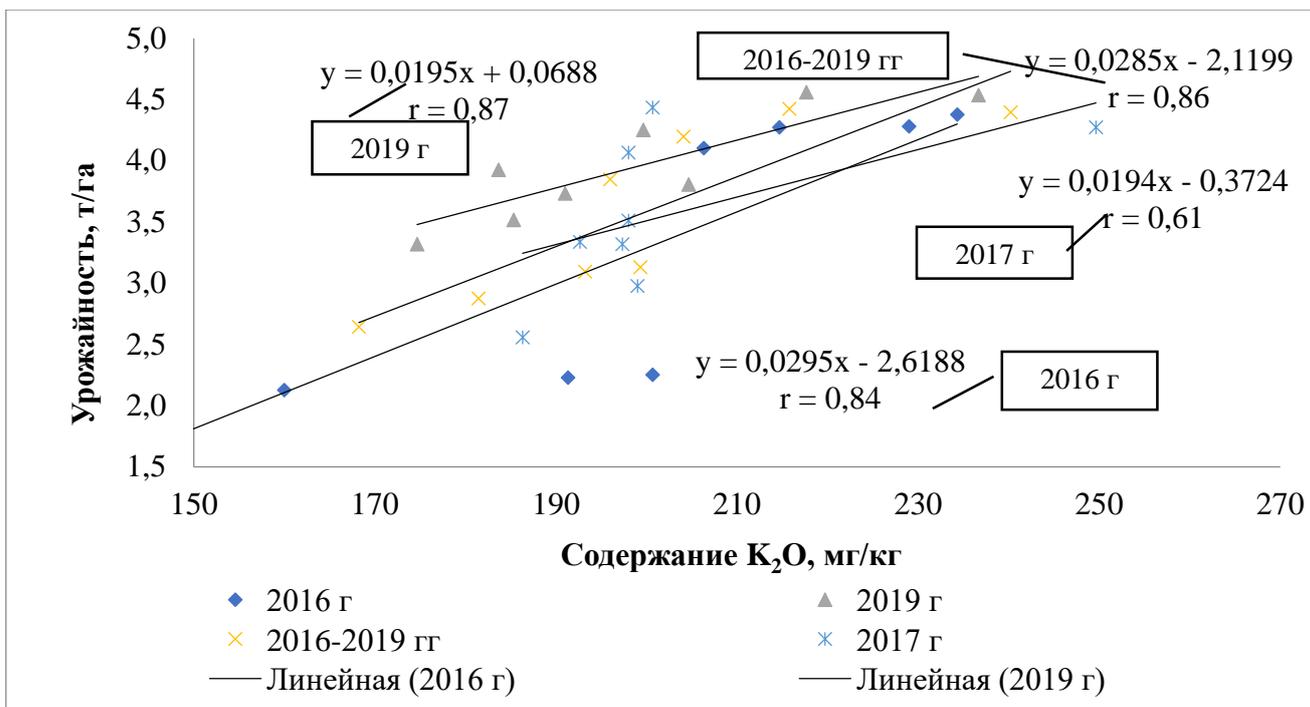


Рисунок 26 – Влияние обменного калия в почве в период уборки на урожайность зерна яровой пшеницы

Таким образом, методом корреляционно-регрессионного анализа установлена высокая отзывчивость яровой пшеницы на улучшение, прежде всего, азотного, затем калийного и фосфорного режимов почвы. Несмотря на изначально высокое плодородие чернозема выщелоченного и высокую обеспеченность почвы подвижными формами биогенных элементов, применение минеральных удобрений и проведение известкования позволили улучшить минеральное питание растений и сформировать существенные прибавки урожая изучаемой культуры.

#### 4.2. Качество зерна

Формирование высокого урожая сельскохозяйственных культур, полноценного по качеству, – вопрос чрезвычайно непростой. Зачастую первостепенное внимание уделяется получению наибольшего количества основной продукции. При этом условия среды, а также режим питания, не всегда соответствуют требованиям культуры для получения высокого урожая с хорошим качеством

продукции. Высокая продуктивность не является синонимом высокого содержания элементов питания. В урожае с хорошо удобренных делянок может содержаться немного важных элементов, чем в урожае с малопродуктивных делянок. Чтобы этого не произошло, важно знать, какого качества должна быть продукция и как улучшить в связи с этим питание растений. В последние несколько лет данному вопросу уделяется огромное внимание и в нашей стране, и за рубежом (Митрофанова Е.М., 2015; Soil Acidity and Liming <http://broome.soil.ncsu.edu/ssc051/Lec6.htm>, дата обращения 25.03.22.; [https://www.dpi.nsw.gov.au/\\_data/assets/pdf\\_file/0007/167209/soil-acidity-ming.pdf](https://www.dpi.nsw.gov.au/_data/assets/pdf_file/0007/167209/soil-acidity-ming.pdf), дата обращения 25.03.22).

При грамотном применении минеральных и органических удобрений качество продукции существенно повышается: улучшаются химический состав, питательная ценность, а также технологические ее свойства. Качество растительной продукции по сбалансированности макро - и микроэлементов в существенной мере отражает условия выращивания растений (Дыбин В.В., Чернышкова Л.Б., 2014; Митрофанова Е.М., 2015). Задача же правильной системы удобрения – приблизить условия питания растений к хорошему, чтобы получить потенциально вероятный урожай высокого качества (Трубников Ю.Н., 2011).

На рис.27 (приложение 22) показаны результаты исследований по влиянию различных доз известкового материала как в чистом виде, так и на фоне минеральных удобрений (N40P40K40), на основные характеристики качества зерна яровой пшеницы сорта Маргарита в 2016 г.

По годам исследований выявлены определенные закономерности по формированию урожайности и качества зерна яровой пшеницы, представленные ниже.

Нашими исследованиями было установлено, что известкование чернозема выщелоченного, имеющего слабокислую реакцию почвенного раствора, улучшило кислотный и пищевой режим почвы, что, в свою очередь, содействовало формированию более высокой урожайности культуры, т.к. яровая пшеница является чувствительной к изменению кислотности почвы. Прежде всего, следует

отметить, что накопление сырой клейковины в зерне яровой пшеницы зависело от условий вегетации. Так, наибольшее ее содержание отмечено в 2019 году.

Ниже приведены данные по содержанию сырой клейковины в зерне яровой пшеницы и ее качеству за каждый год исследования.

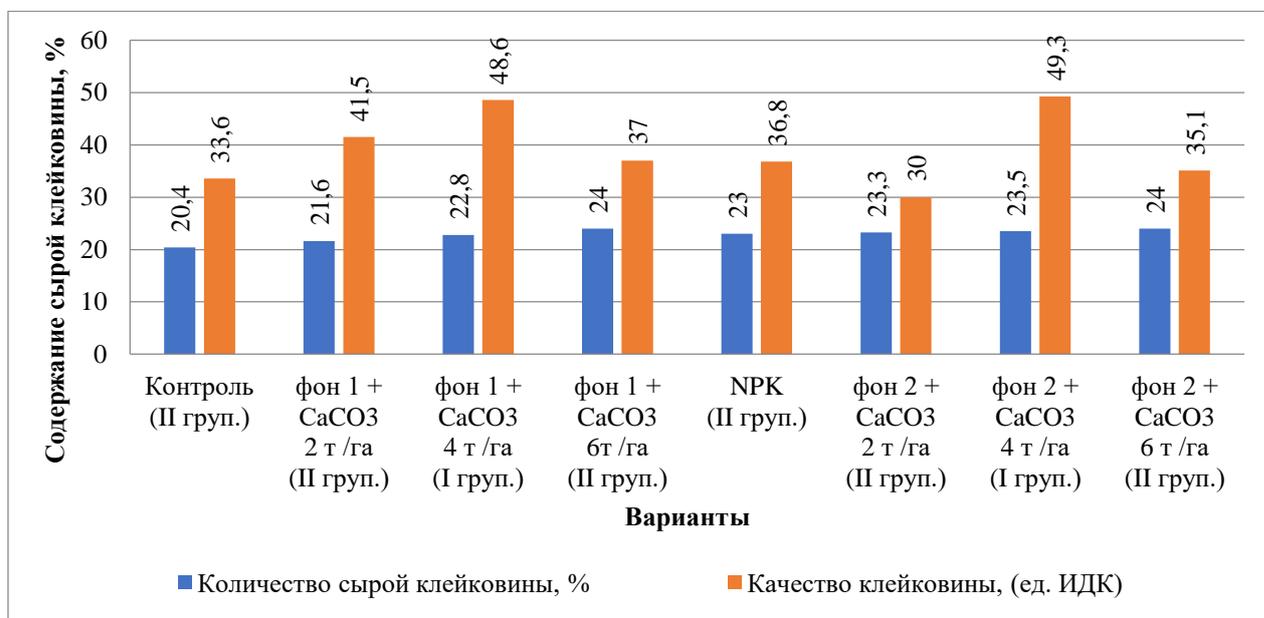


Рисунок 27 – Влияние известкования и минеральных удобрений на показатели качества зерна яровой пшеницы (2016 г.)

Так, в 2016 г. внесение мела в дозе 2, 4, 6 т/га способствовало повышению урожайности яровой пшеницы на 0,08-0,2 т/га с одновременным повышением количества сырой клейковины от 1,2 до 3,6 абс. % (21,6-24,0 %, на контроле 20,4 %). Наиболее оптимальной дозой мелиоранта являлась 4 т/га, которая приводила к повышению упругости сырой клейковины до 48,6 единиц ИДК (на контроле 33,6 ед.), как следствие этого, и изменялась группа качества, из II «Удовлетворительно крепкой» до I группы – «Хорошая». Такая же закономерность наблюдалась и на фоне внесения минеральных удобрений. На вариантах с внесением различных доз мела на фоне азофоски (N40P40K40) происходило повышение урожайности зерна на 0,17-0,28 т/га относительно минерального фона. Несмотря на то, что наибольшее количество клейковины сформировалось на варианте Мел 6 т/га + N40P40K40 (до 24 %), лучшим по качеству был вари-

ант с применением 4 т/га мела совместно с минеральными удобрениями (46,9 ед. ИДК, I группа качества).

Отдельное применение сложных удобрений перед посевом обеспечивало повышение количества сырой клейковины на 2,6 абс. % относительно неудобренного варианта (20,4 %).

Условия вегетационного периода 2017 г. позволили получить зерно с содержанием сырой клейковины 23,3-26,2 % (рис. 28, приложение 23). Отдельное применение 2 т/га мела на количество сырой клейковины не оказало влияние, но существенно повысило ее качество до 48,2 ед. ИДК (I группа «Хорошая»), на контроле 32 ед. ИДК (II группа «Удовлетворительно крепкая»).

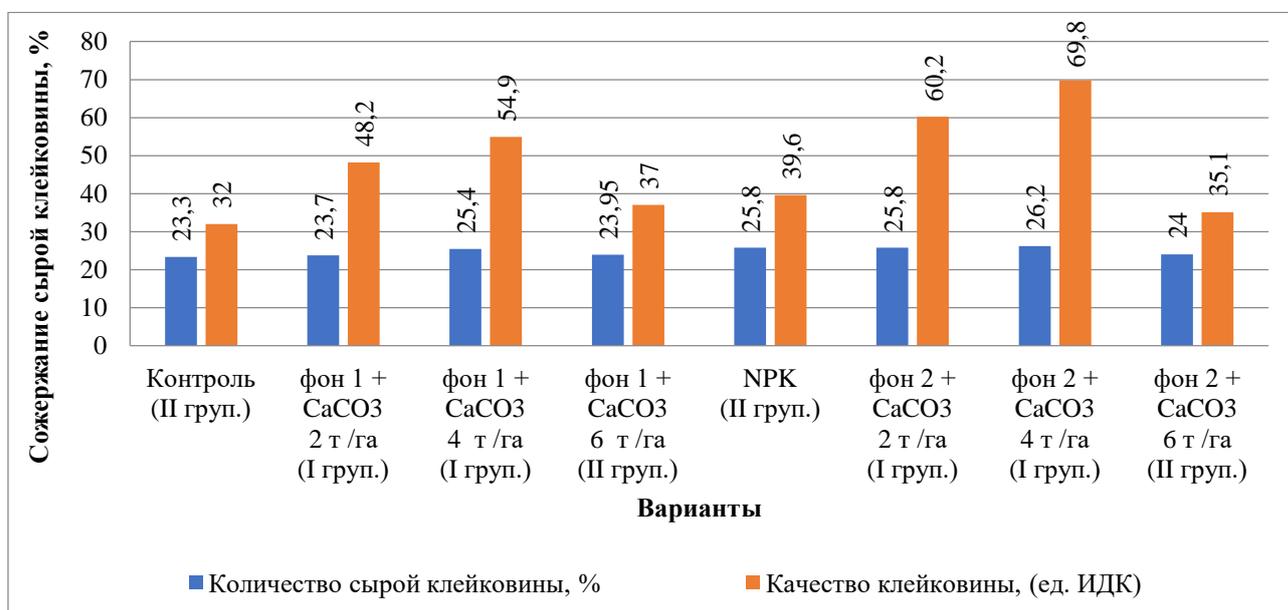


Рисунок 28 – Влияние известкования и минеральных удобрений на показатели качества зерна яровой пшеницы, 2017 г.

Достоверное повышение как количества, так и качества клейковины отмечали при внесении 4 т/га извести (25,4 % и 54,9 ед. ИДК соответственно). Дальнейшее увеличение дозы мела до 6 т/га способствовало получению зерна примерно на уровне контрольного варианта.

Аналогичная закономерность по качеству зерна в зависимости от различных доз мелиоранта получена на фоне применения минеральных удобрений в дозе N40P40K40. Отдельное применение комплексных удобрений под предпо-

севную культивацию позволило повысить содержание сырой клейковины в зерне до 25,8 % (на 2,5 абс. %). Наилучшее по качеству зерно сформировалось на варианте сочетания 4 т/га мела и минеральных удобрений, что позволило получить зерно I группы качества («Хорошая») с содержанием наибольшего количества клейковины среди всех изучаемых вариантов (26,2 %).

Несколько иные данные по качеству зерна в зависимости от изучаемых факторов получены в 2019 г. (рис. 29, приложение 24). Практически по всем вариантам, за исключением применения 6 т/га извести, получено зерно II группы качества («Удовлетворительно слабая»), имеющее 83,5-89,4 ед. ИДК. Только на варианте внесения 6 т/га мела получено зерно I группы качества («Хорошая»).

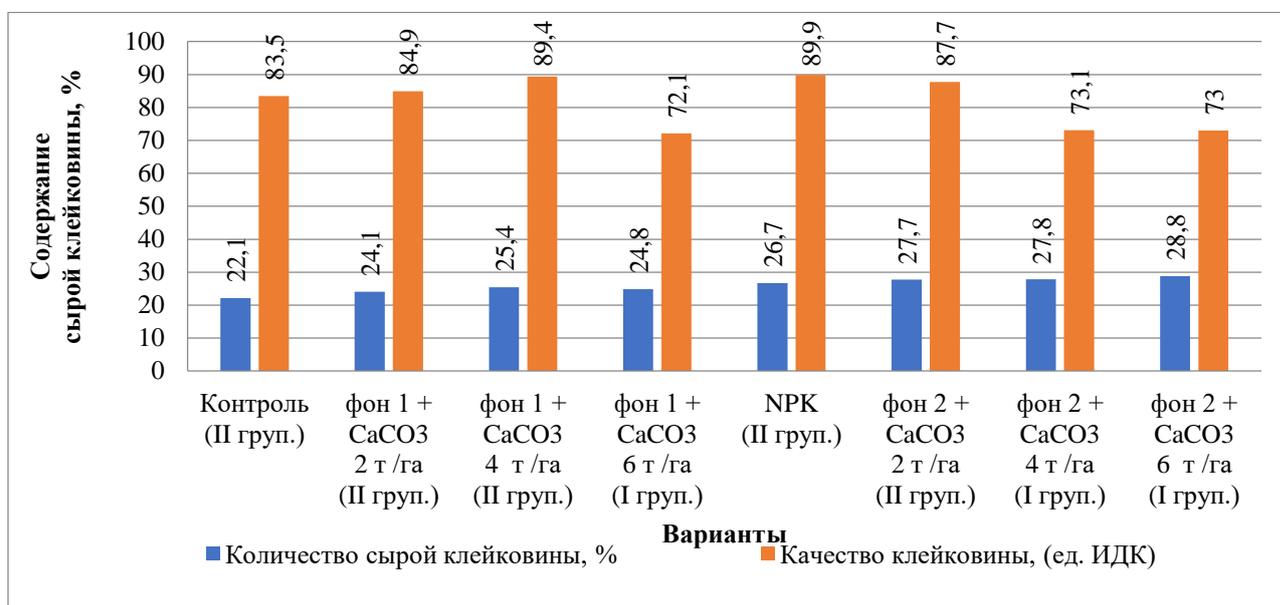


Рисунок 29 – Влияние известкования и минеральных удобрений на показатели качества зерна яровой пшеницы, 2019 г.

Применение минеральных удобрений в технологии возделывания яровой пшеницы в 2019 году существенно повысило содержание сырой клейковины относительно неудобреного варианта (в среднем по фону на 3,65 % выше контроля). Однако увеличение количества клейковины не обеспечило получение зерна хорошего качества. Внесение 4 и 6 т/га известковых материалов на фоне N40P40K40 позволило получить наилучшие показатели количества (27,8-28,8 %) и качества сырой клейковины (73-73,1 ед. ИДК, I группа качества «Хорошая»).

Исходя из вышеизложенного можно сделать вывод, что известкование почвы является эффективным агроприемом, способствующим получению высокого урожая зерна улучшенного качества. Содержание сырой клейковины и ее качество существенно варьировали по годам исследований, однако отмечена общая тенденция улучшения качества получаемого зерна при применении 4 т/га мелиоранта на фоне предпосевного внесения комплексных удобрений в дозе N40P40K40.

## 5. ПОСЛЕДЕЙСТВИЕ ИЗВЕСТКОВАНИЯ ЧЕРНОЗЕМА ВЫЩЕЛОЧЕННОГО НА СВОЙСТВА ПОЧВЫ, ПРОДУКТИВНОСТЬ СОИ И КАЧЕСТВО ПРОДУКЦИИ

### 5.1. Свойства почвы

#### 5.1.1. Агрохимические показатели

В предыдущей главе было показано существенное влияние известкования почвы как отдельно, так и в сочетании с минеральными удобрениями в дозе N40P40K40, вносимыми под посев яровой пшеницы, на агрохимические свойства почвы (снижение кислотности почвы, улучшение обеспеченности элементами минерального питания). Оценка уровня плодородия почвы под посевами сои, возделываемой в севообороте после яровой пшеницы, позволила установить, что в последствии прослеживается дальнейшее снижение кислотности почвы до 6,3-6,47 единиц рН (на контроле 5,87 ед.). Наиболее эффективное снижение кислотности отмечали на вариантах с повышенными дозами мелиоранта (4-6 т/га). Отдельное применение 2 т/га мела на данный показатель было не существенным (рис.30, приложение 25).

Следует отметить, что под действием минеральных удобрений наблюдали достоверное повышение кислотности почвы до 5,7 единиц рН<sub>KCl</sub>. Механизм заключается, по-видимому, в следующем. При попадании в почву азофоска диссоциируется на нитрат-ион NO<sup>3-</sup>, ион аммония NH<sub>4</sub><sup>+</sup>, фосфат-ионы PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>, HPO<sub>4</sub><sup>2-</sup>, HPO<sub>4</sub><sup>-</sup>. Во время вегетационного периода нитрат-ион активно поглощается растениями и микрофлорой почвы. Также данный ион образует соли с щелочными металлами, что на кислых почвах приводит к подкислению. При избыточном увлажнении или в холодное время, когда у растений нет активного поглощения нитрат-иона, он вымывается в нижележащие горизонты почвы, следовательно, происходят его потери. Ион аммония адсорбируется почвой, далее происходит процесс нитрификации, что сдвигает реакцию почвы в кислую сторону. По мере усвоению иона реакция почвенной среде «стабилизируется».

(<https://direct.farm/post/azofoska-nitroammofoska-5239>, дата обращения:

04.04.2022 г.). Следовательно, при систематическом применении физиологически кислых минеральных удобрений происходит подкисление почвенного раствора.

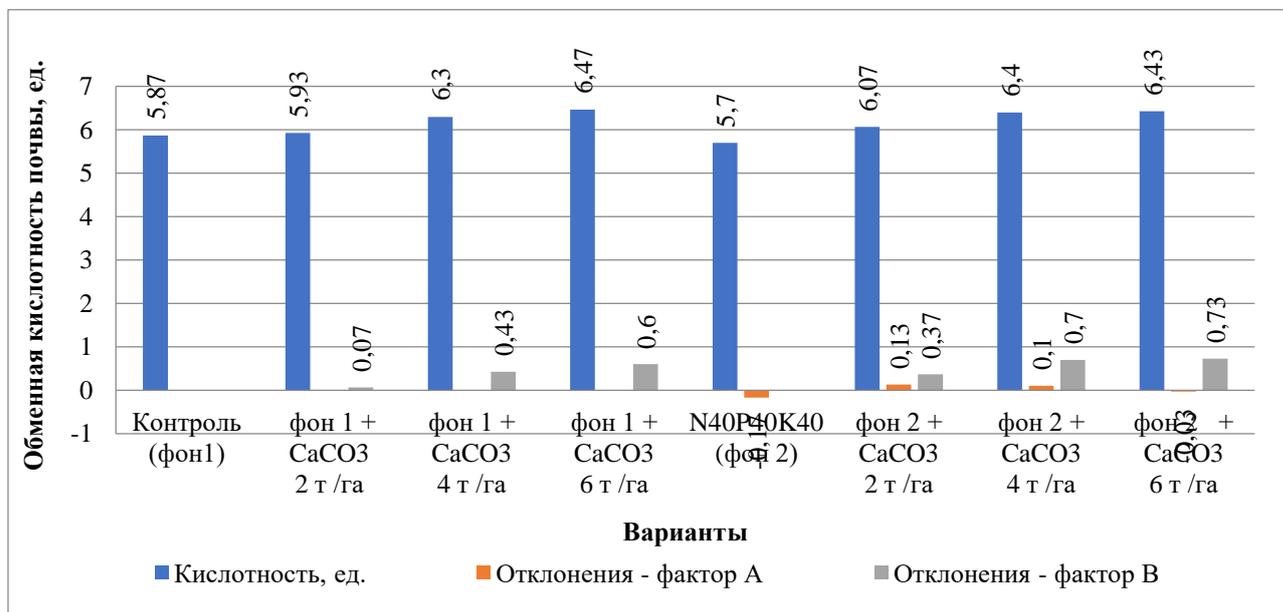


Рисунок 30 – Влияние известкового материала и минеральных удобрений в последствии на кислотность почвы под посевами сои, 2020 г.

В тоже время применение минеральных удобрений на фоне известкования не влияло на повышение кислотности почвы (приложение 26). Наоборот, на всех вариантах с применением мелиоранта (в дозах 2-6 т/га) на минеральном агрофоне по отношению к фону NPK отмечено наибольшее снижение кислотности почвы (до 6,4-6,43 единиц).

Достаточно противоречивые данные получены по влиянию изучаемых факторов в последствии на азотный режим почвы (рисунок 31). Так, с увеличением дозы мелиоранта отмечено снижение содержания нитратного азота на 0,03-0,63 мг/100 г почвы по отношению к контролю (2,97 мг/100 г почвы). Аналогичная тенденция сохранилась и на минеральном фоне, но уровень содержания нитратного азота был значительно выше (3,2-4,27 мг/100 г почвы). Наибольшее содержание N-NO<sub>3</sub> отмечено при отдельном применении минеральных удобрений в дозе N40P40K40 в последствии (4,27 мг/кг почвы).

По содержанию аммиачного азота отмечена обратная закономерность: с увеличением дозы извести содержание  $N-NH_4$  существенно возросло на 0,47-1,0 мг/100 г почвы по отношению к контрольному варианту (рисунок 32, приложение 27).

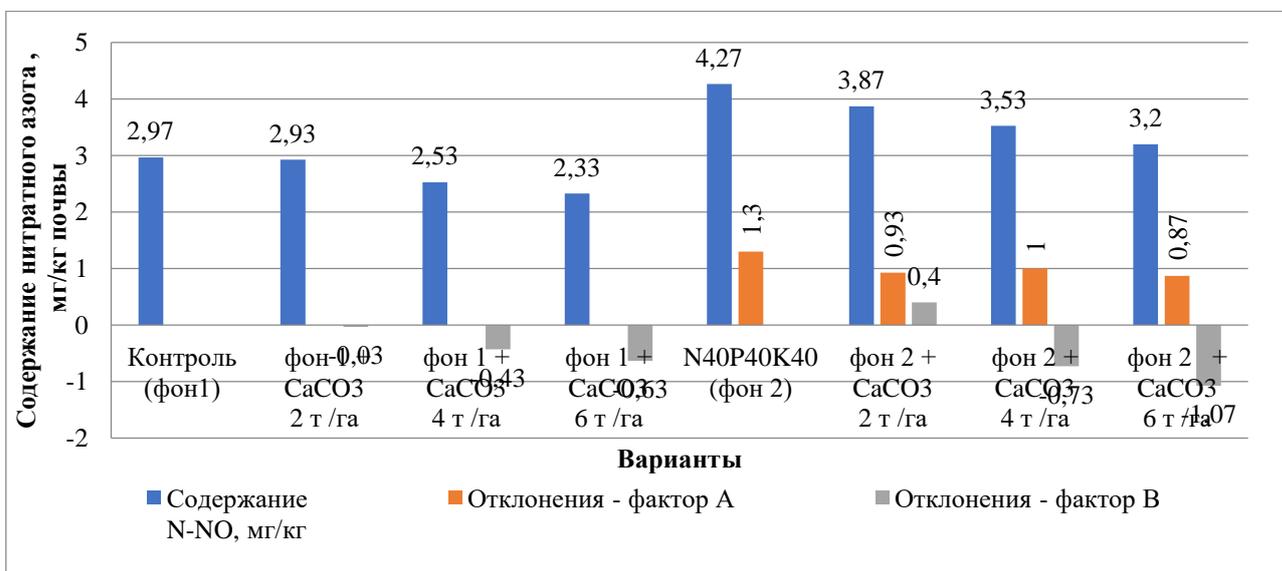


Рисунок 31 – Влияние известкового материала и минеральных удобрений в последствии на содержание  $N-NO_3$  в почве под посевами сои, 2020 г.

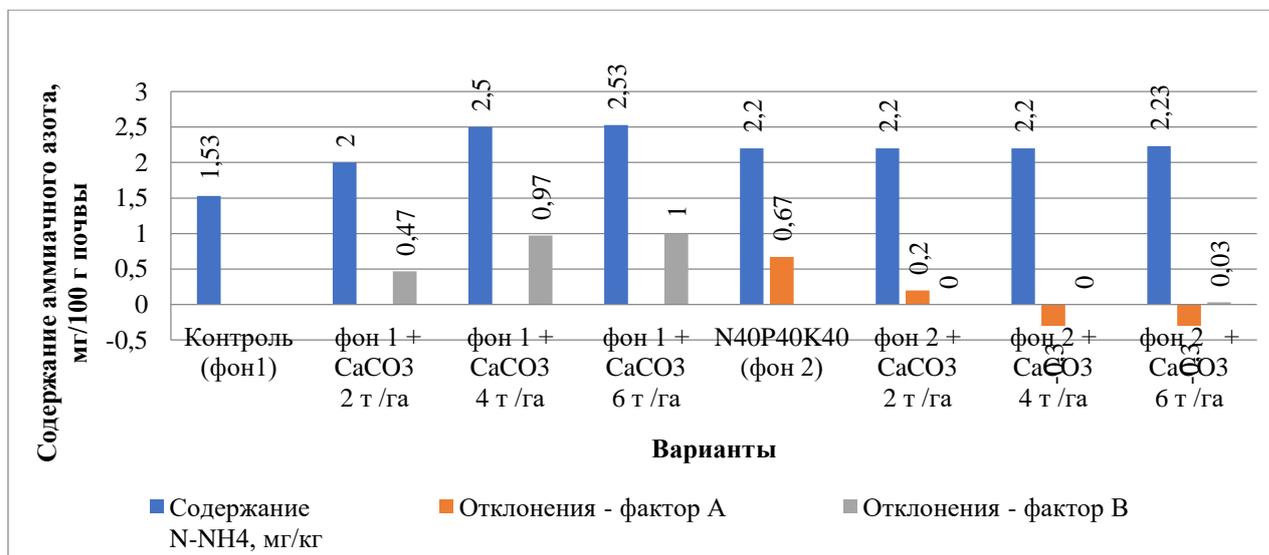


Рисунок 32 – Влияние известкового материала и минеральных удобрений в последствии на содержание  $N-NH_4$  в почве под посевами сои, 2020 г.

На вариантах с сочетанием известкования и минеральных удобрений, независимо от дозы извести, не выявлено влияние на содержание аммиачного азота в почве (2,2-2,23 мг/100 г почвы).

Таким образом, в течение вегетации сои на минеральном агрофоне уровень суммарного содержания подвижных форм азота ( $N-NO_3 + N-NH_4$ ) был выше, чем на неудобренном фоне.

Применение известковых материалов позволило достоверно увеличить содержание в почве общего азота на 0,022-0,052 % в сравнении с контролем (0,325 %) (рисунок 33, приложение 28). Наибольшее содержание показателя отмечено на варианте с повышенной дозой мелиоранта 6 т/га (0,377 %).

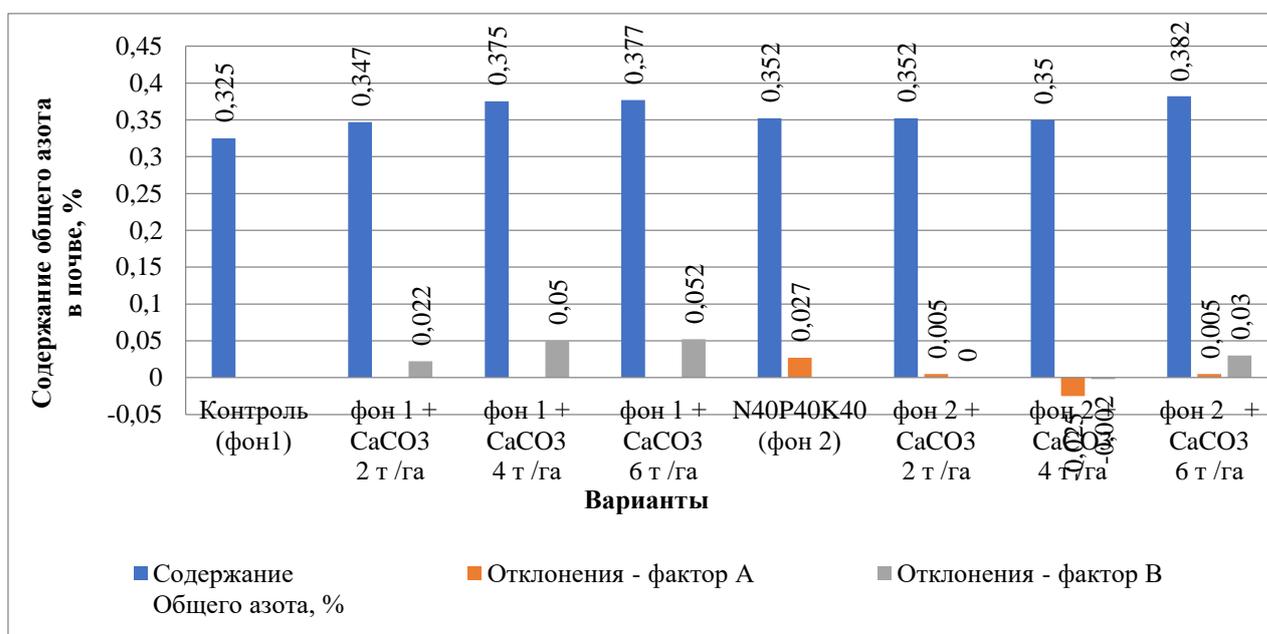


Рисунок 33 – Влияние известкового материала и минеральных удобрений в последствии на содержание общего азота в почве под посевами сои, 2020 г.

Уровень содержания общего азота на минеральном фоне в целом был выше, чем на контроле. Однако лишь сочетание 6 т/га мела с минеральными удобрениями обеспечило достоверное повышение общего азота к варианту NPK на 0,03 %.

По данным рисунка 34 (приложение 29), содержание подвижного фосфо-

ра в почве при ее известковании в зависимости от норм внесения увеличилось от 3 до 13 мг/кг. При этом достоверным было повышение фосфора лишь при повышенной дозе извести (6 т/га). Последствие минеральных удобрений, в том числе на фоне внесения мелиоранта в дозе 2 т/га, не оказывало существенного влияния на данный показатель. Наилучшая обеспеченность почвы подвижным фосфором отмечена на вариантах с повышенными дозами мела (4 и 6 т/га) на фоне минеральных удобрений и составила 179,3-180 мг/кг, что на 15-15,7 мг/кг выше абсолютного контроля и на 12,7-13,3 мг/кг относительно фона NPK.

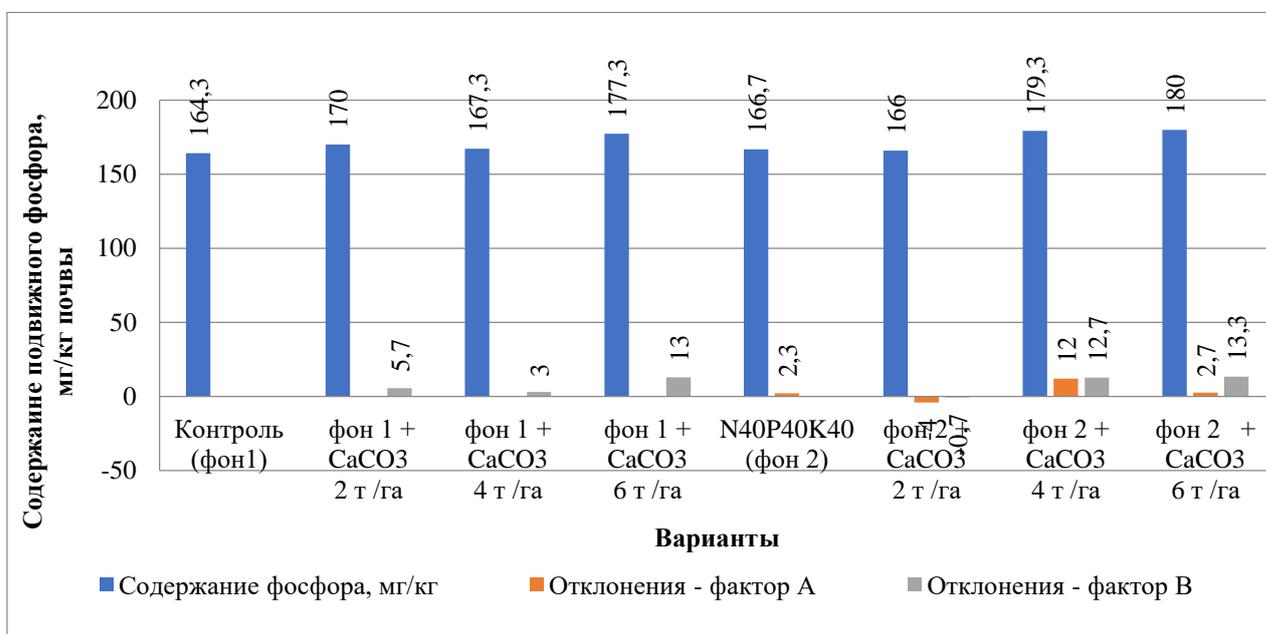


Рисунок 34 – Влияние известкового материала и минеральных удобрений в последствии на содержание подвижного фосфора в почве под посевами сои, 2020 г.

По данным рисунка 35 (приложение 30), отдельное внесение извести привело к повышению обеспеченности почвы обменным калием на 1,7 до 13 мг/кг пропорционально дозе мелиоранта. Наибольшее содержание доступного калия отмечено на вариантах с повышенными дозами мела 4-6 т/га, как на контрольном, так и минеральном агрофонах (85-89 мг/кг, на контроле 75,7 мг/кг почвы). Применение минеральных удобрений под посевы яровой пшеницы на уровень

обеспеченности почвы подвижным калием в последствии не оказывало достоверного влияния.

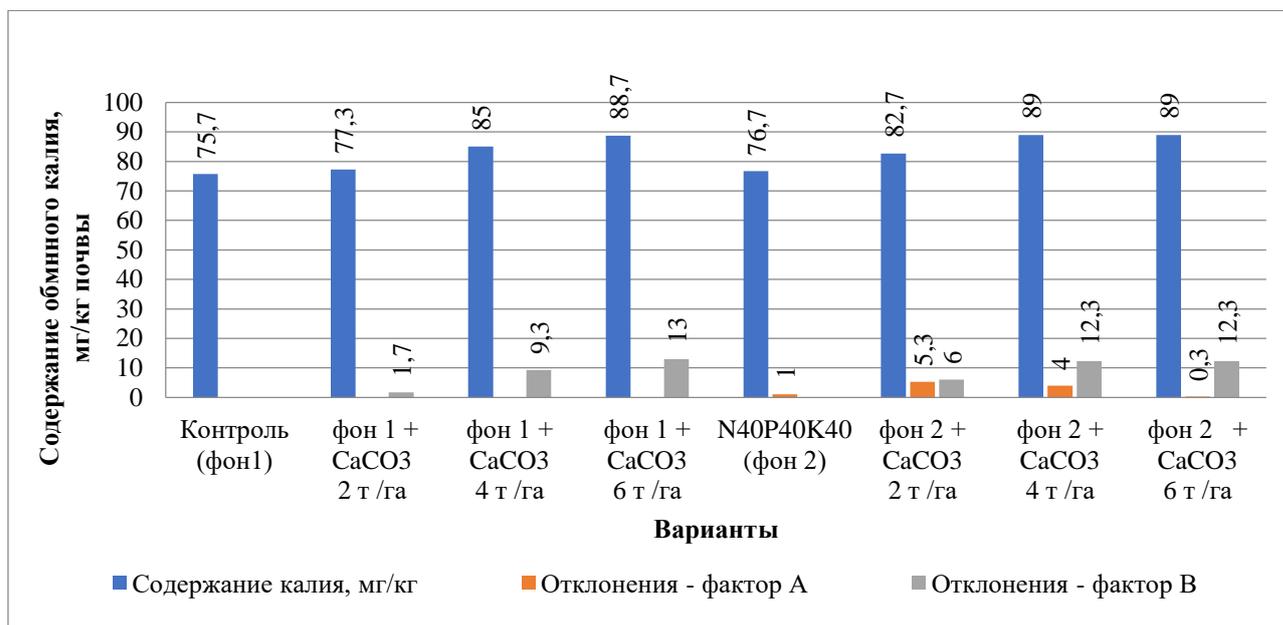


Рисунок 35 – Влияние известкового материала и минеральных удобрений в последствии на содержание обменного калия в почве под посевами сои, 2020 г.

Таким образом, проведение известкования чернозема выщелоченного, а также применение минеральных удобрений оказывали значительное положительное последствие на агрохимические показатели почвы.

### 5.1.2. Подвижность тяжелых металлов

Как показали предыдущие исследования, известкование почвы оказало значительное влияние на подвижность тяжелых металлов в почве в сторону ее снижения.

По данным рисунка 36 (приложение 31), проведение известкования в последствии способствовало снижению содержания меди в почве от 1,9 до 4,85 мг/кг по отношению к контролю. В среднем уровень содержания подвижной меди на фоне минеральных удобрений был выше по сравнению с неудобренным фоном. Однако с увеличением дозы мелиоранта отмечена тенденция по

снижению содержания подвижной Cu в почве (на 2-5,7 мг/кг почвы относительно варианта N40P40K40).

По данным рисунка 37 (приложение 32), содержание подвижного Zn в почве достоверно снижалось при известковании, причем наиболее эффективным было внесение повышенной дозы извести (снижение составило 13,4 мг/кг по отношению к контролю). На вариантах с известкованием на фоне минеральных удобрений уровень содержания цинка был выше в среднем по фону на 2,8 мг/кг почвы. При этом четко прослеживалась закономерность по снижению содержания Zn с увеличением нормы извести.

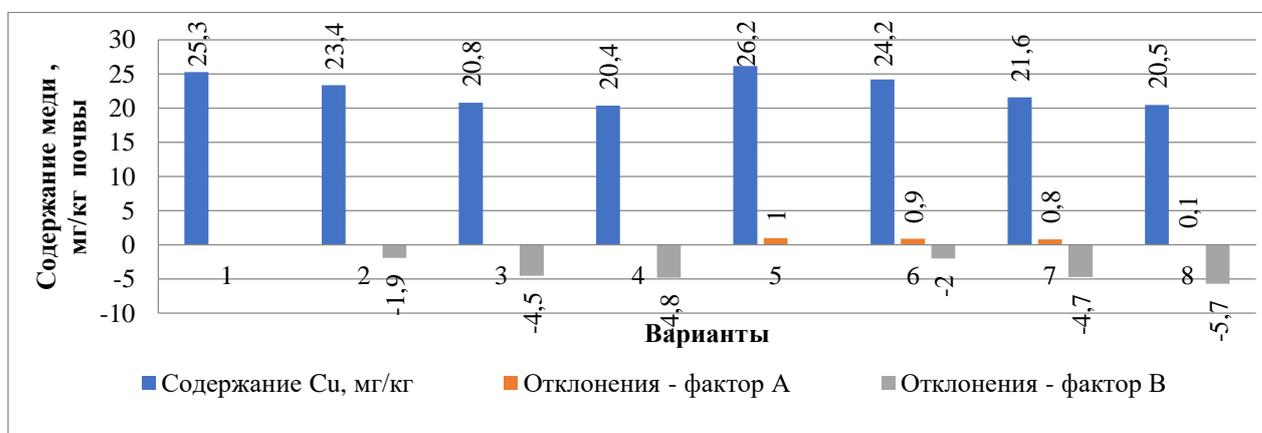


Рисунок 36 – Влияние внесения известкового материала и минеральных удобрений в последствии на содержание Cu в почве под посевами сои, 2020 г.

Аналогичная закономерность по снижению уровня содержания под влиянием известкования почвы отмечена и по содержанию свинца. По данным рисунка 38 (приложение 33), наибольшее снижение содержания свинца наблюдалось при повышенных дозах известкования (до -3,3 мг/кг почвы относительно контроля). Применение мела в дозе 2 т/га как в чистом виде, так и на фоне минеральных удобрений не оказывало достоверного уменьшения показателя.

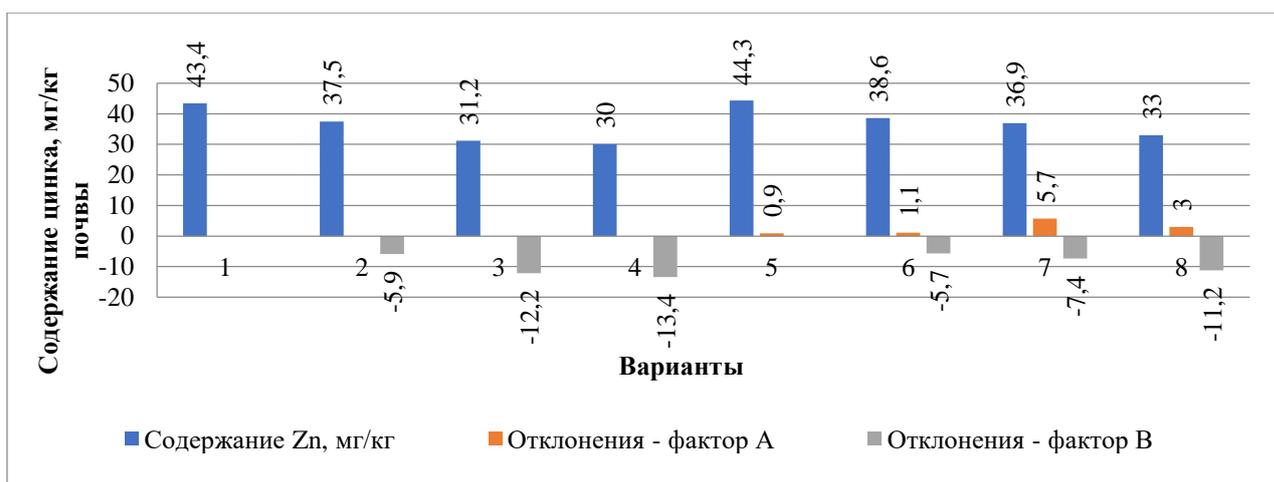


Рисунок 37 – Влияние внесения известкового материала и минеральных удобрений в последствии на содержание Zn в почве под посевами сои, 2020 г.

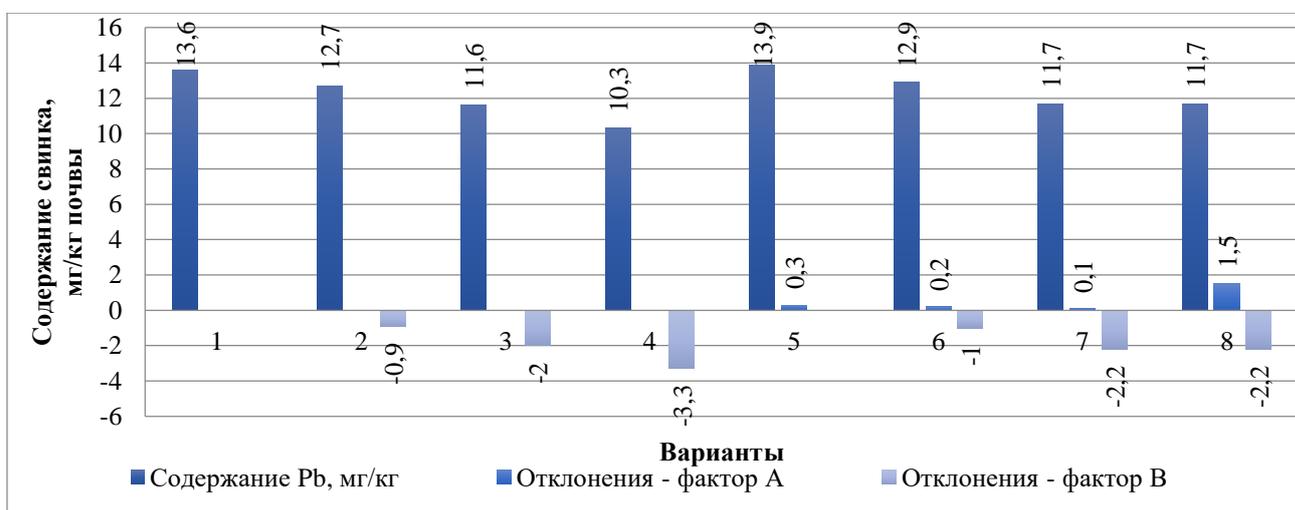


Рисунок 38 – Влияние известкового материала и минеральных удобрений в последствии на содержание Pb в почве под посевами сои, 2020 г.

Уровень содержания кадмия в почве находился в пределах 0,25-0,35 мг/кг почвы (рисунок 39, приложение 34), причем наибольшее его значение выявлено на варианте с отдельным применением минеральных удобрений (0,35 мг/кг), наименьшее – при внесении мелиоранта в дозе 6 т/га (0,25 мг/кг). Следовательно, известкование почвы, независимо от дозы мела, являлось эффективным способом по снижению токсичности кадмия.

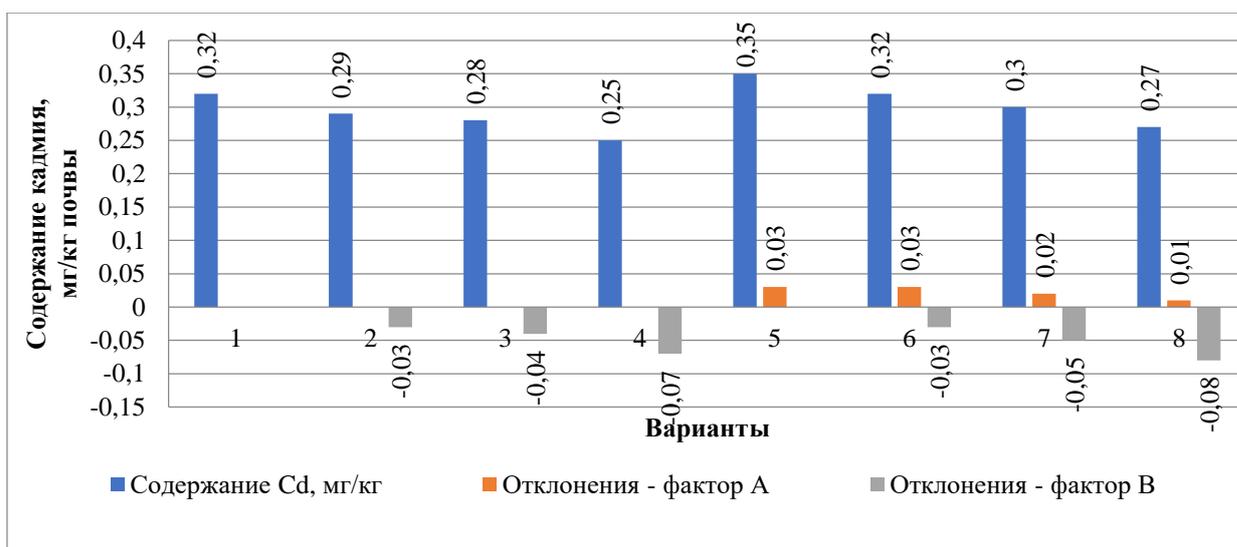


Рисунок 39 – Влияние известкового материала и минеральных удобрений в последствии на содержание Cd в почве под посевами сои, 2020 г.

Согласно рисунку 40 (приложение 35), наибольшее содержание никеля под посевами сои наблюдалось на варианте с внесением азофоски в дозе N40P40K40 под предшествующую культуру (27,4 мг/кг почвы). Установлено, что содержание Ni в почве под действием известкового удобрения снижалось на 1,2-4,5 мг/кг почвы относительно контрольного варианта (26,2 мг/кг почвы). Отдельное применение извести в дозе 6 т/га было наиболее действенным способом снижения активности элемента, и как следствие, поступления его в растения.

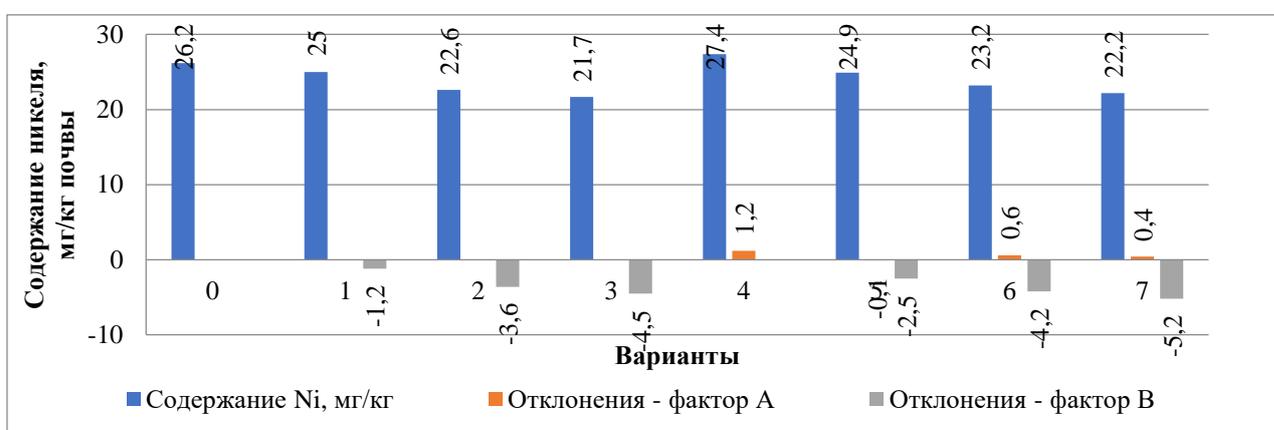


Рисунок 40 – Влияние внесения известкового материала и минеральных удобрений на содержание Ni в почве под посевами сои, 2020 г.

По данным рисунка 41 (приложение 36), под влиянием мела в почве также отмечено существенное снижение содержание хрома, как и других тяжелых металлов, но при внесении NPK в последствии по сравнению с контролем, произошло увеличение содержания на 1,8 мг/кг. Но при внесении повышенных доз мела в сочетании с NPK отмечено значительное снижение содержания  $Cr^{3+}$ .

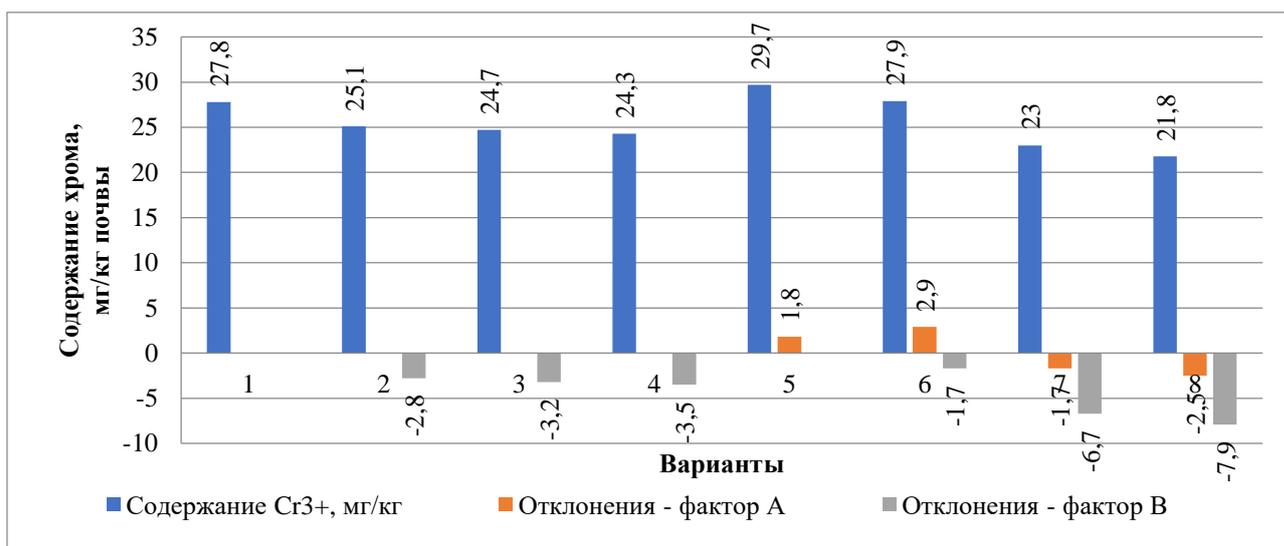


Рисунок 41 – Влияние известкового материала и минеральных удобрений в последствии на содержание  $Cr_{3+}$  в почве под посевами сои, 2020 г.

Исходя из вышеизложенного, можно сделать вывод, что известкование почвы в последствии служит высокоэффективным способом снижения подвижности токсичных тяжелых металлов. Применение минеральных удобрений в технологии возделывания предшествующей культуры (яровой пшеницы) способствовало повышению уровня содержания ТМ под посевами сои. Внесение мелиоранта на минеральном агрофоне обеспечивало снижению подвижности изучаемых элементов.

### 5.1.3. Структурно-агрегатный состав почвы

Нами был определен структурно-агрегатный состав почвы в зависимости от изучаемых факторов (табл. 3, приложение 37). Исследования позволили установить, что при отдельном внесении минеральных удобрений структурно-

агрегатный состав чернозема ухудшился (увеличилось количество глыбистой фракции > 10 мм на 2,1 % и уменьшилось количество агрономически ценных агрегатов размером 0,25-10 мм на 3,3 %).

Под влиянием известковых материалов отмечено достоверное повышение содержания в почве агрегатов размером 0,25-10 мм на 2,4-5 % по отношению к контролю, причем наибольшее улучшение структуры почвы отмечено с применением повышенных доз мела.

Применение мелиоранта на фоне минеральных удобрений по влиянию на структурный состав почвы было еще более эффективным. Так, сочетание повышенных доз мела (4-6 т/га) с минеральными удобрениями в последствии способствовало повышению ценной фракции (размером 0,25-10 мм) почвы на 5,5-5,9 % по отношению к абсолютному контролю (на контроле 70,1 %) и на 6,7-7,1 % – к минеральному фону (68,9 %).

Таблица 3– Структурно-агрегатный состав чернозема выщелоченного под посевами сои в зависимости от последствия известкования и минеральных удобрений, 2020 г.

Вариант	Размер агрегатов, мм			Коэффициент структурности К <sub>с</sub>	
	> 10	10-0,25	< 0,25		
Контроль (фон 1)	20,3	70,1	9,7	2,34	
фон 1 + СаСО <sub>3</sub> 2 т/га	19,6	72,5	7,9	2,64	
фон 1 + СаСО <sub>3</sub> 4 т/га	19,9	73,9	6,2	2,83	
фон 1 + СаСО <sub>3</sub> 6 т/га	17	75,1	7,9	3,02	
<i>Среднее по фону</i>	<i>19,2</i>	<i>72,9</i>	<i>7,9</i>	<i>2,71</i>	
N40P40K40 (фон 2)	22,4	68,9	8,7	2,21	
фон 2 + СаСО <sub>3</sub> 2 т/га	20,1	73,5	6,3	2,78	
фон 2 + СаСО <sub>3</sub> 4 т/га	17,2	75,6	7,2	3,1	
фон 2 + СаСО <sub>3</sub> 6 т/га	14,7	76	9,3	3,17	
<i>Среднее по фону</i>	<i>18,6</i>	<i>73,5</i>	<i>7,9</i>	<i>2,82</i>	
НСР <sub>05</sub>	фактор А	1,4* / 1,1**	1,2* / 1,1**	1,5* / 0,6**	0,17* / 1,3**
	фактор В	2,0* / 57,9**	1,7* / 63,4**	2,1* / 31,8**	0,24* / 61,1**
	частных средних	2,9	2,3	3	0,33

Примечание: \* – %, \*\* – вклад фактора, %

Согласно исследованиям Т.А. Дудкиной (2021), в большинстве случаев внесение минеральных удобрений несколько снижало содержание агрономиче-

ски ценных агрегатов в зернопаропропашном севообороте. В плодосменном севообороте картина была обратной.

Расчет коэффициента структурности ( $K_c$ ) почвы определялся как отношении агрономически ценных агрегатов диаметром от 0,25 до 10 мм к массе остальных фракций. Считается, что при  $K_c$  в диапазоне более 1,5 агрегатное состояние почвы оценивается как отличное, 1,5-0,67 – хорошее, менее 0,67 – неудовлетворительное (Титовская А.И., 2014).

Согласно полученным расчетам, чернозем выщелоченный на опытном поле имеет отличное структурно-агрегатное состояние (коэффициент структурности 2,34). Известкование почвы в последствии позволило увеличить  $K_c$  на 0,3-0,68 единиц к контролю ( $K_c = 2,34$ ) за счет увеличения числа агрономически ценных агрегатов. Подобная закономерность по улучшению состава ценных агрегатов в зависимости от известкования прослеживалась также и на фоне минеральных удобрений. Наибольший коэффициент структурности почвы получен при сочетании повышенных доз мелиоранта 4-6 т/га и минеральных удобрений и составил 3,1-3,17.

Исходя из вышеизложенного, можно сделать вывод о существенном улучшении агрохимических и агрофизических свойств почвы под влиянием известкования, в том числе на фоне применения минеральных удобрений.

## **5.2. Урожайность и качество зерна**

### **5.2.1. Урожайность**

Положительная роль известкования почвы, а также минеральных удобрений заключается в пролонгированном действии на последующие культуры, что подтверждается нашими исследованиями (таблица 4).

На естественном плодородии почвы урожайность сои составила 1,61 т/га. Известкование почвы показало высокую эффективность, что позволило получить дополнительно 0,19-0,56 т/га (на 11,8-34,8 %) по отношению к неудобренному фону и 0,19-0,69 т/га (на 8,6-31,1 %) – к минеральному фону, причем все дозы известкового материала оказали достоверное повышение продуктивности культуры.

Таблица 4 – Влияние последствий известкования почвы и минеральных удобрений на урожайность зерна сои, 2020 г.

Варианты	Урожайность зерна сои, т/га	Отклонения, ± т/га		Среднее по фону, т/га
		фактор А	фактор В	
Контроль (фон 1)	1,61	-		1,88
фон 1 + CaCO <sub>3</sub> 2 т/га	1,80	-	+0,19	
фон 1 + CaCO <sub>3</sub> 4 т/га	1,95	-	+0,34	
фон 1 + CaCO <sub>3</sub> 6 т/га	2,17	-	+0,56	
N40P40K40 (фон 2)	2,22	+0,61	-	2,55
фон 2 + CaCO <sub>3</sub> 2 т/га	2,41	+0,61	+0,19	
фон 2 + CaCO <sub>3</sub> 4 т/га	2,67	+0,72	+0,45	
фон 2 + CaCO <sub>3</sub> 6 т/га	2,91	+0,74	+0,69	
НСР <sub>05</sub>	Фактор А	0,19*/57,0**		
	Фактор В	0,27*/27,9**		
	Частных средних	0,38		

Примечание: \* – т/га, \*\* – вклад фактора, %

Сочетание высоких доз мелиоранта (4-6 т/га) и минеральных удобрений в дозе N40P40K40 в последствии обеспечило прибавку 1,06-1,30 т/га по сравнению с абсолютным контролем. Наибольшую отзывчивость при формировании урожая соя проявила на варианте с внесением 6 т/га мела на фоне минеральных удобрений (2,91 т/га).

Таким образом, известкование почвы оказывало пролонгированное действие на продуктивность как зерновых, так и зернобобовых культур.

### 5.2.2. Качество продукции

Применение известкового материала и минеральных удобрений под предшествующую культуру (яровую пшеницу) оказывало влияние на качественные показатели зерна сои. Отдельное применение минеральных удобрений способствовало достоверному повышению накопления общего азота в зерне сои на 0,29 % по отношению к контролю (рис. 42, приложение 38). Сочетание минеральных удобрений и мела в дозе 2-4 т/га в последствии не обеспечивало дополнительного накопления азота в зерне. Однако повышенная доза

мела (6 т/га) на минеральном агрофоне увеличила содержание азота в зерне на 0,45 % по сравнению аналогичным фоном без применения удобрений (4,99 %) и на 0,83 % – к контрольному варианту (4,61 %)

Отдельное внесение мела в дозе 2 т/га без дополнительного минерального фона не оказало влияния на содержание общего азота в зерне сои. Улучшение минерального питания на вариантах с применением повышенных доз извести (4-6 т/га) обеспечивало существенное повышение содержания показателя на 0,31-0,38 % по отношению к контролю (4,61 %).

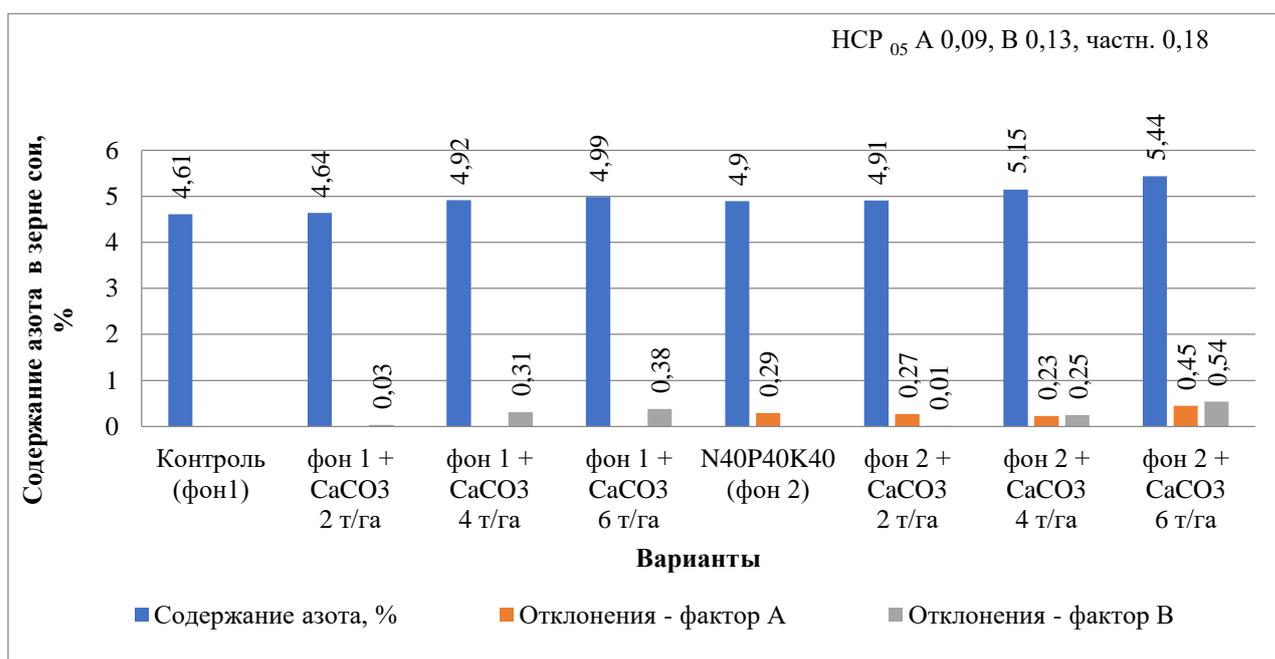


Рисунок 42 – Влияние известкового материала и минеральных удобрений на содержание азота в зерне сои, %, 2020 г.

Внесение мела, независимо от дозы, без дополнительного минерального питания не оказывало влияние на накопление общего фосфора в зерне сои (рис. 43, приложение 39). Содержание общего фосфора в зерне находилось на уровне 0,52-0,53 %. Применение минеральных удобрений в дозе N40P40K40 в последствии оказывало существенное влияние на накопление фосфора (+0,02 % к неудобренному фону). Наибольшие значения показателя отмечены при внесении мела в дозе 2 и 6 т/га (0,56 и 0,57 % соответственно).

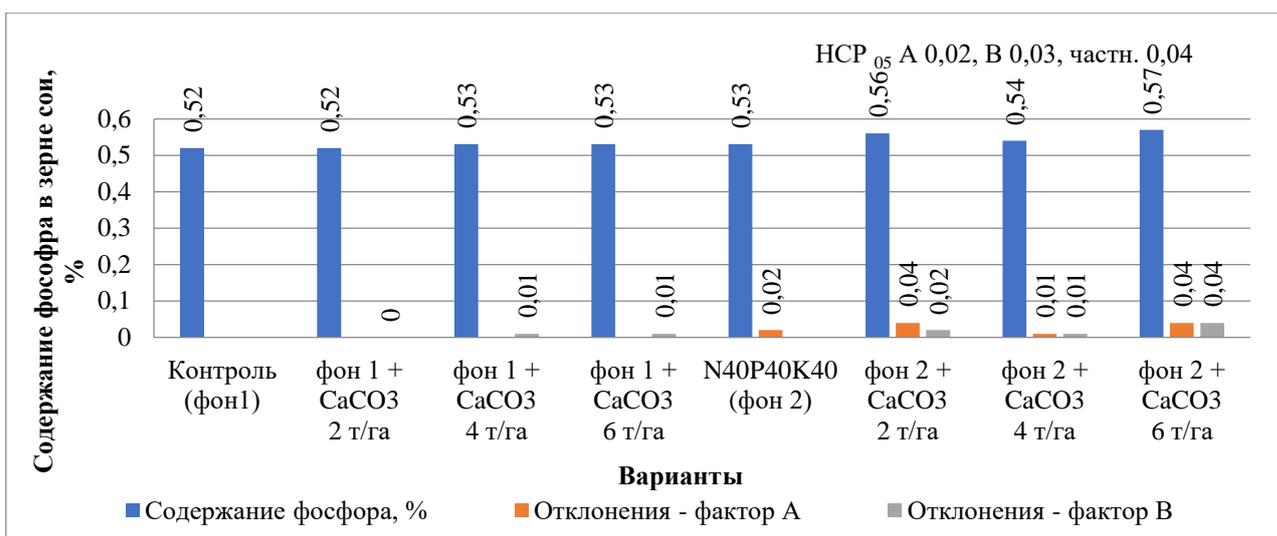


Рисунок 43 – Влияние внесения известкового материала и минеральных удобрений на содержание фосфора в зерне сои, %, 2020 г.

При применении минеральных удобрений как в чистом виде, так и в сочетании с известью, способствовало повышению содержания обменного калия в зерне в среднем по фону на 0,05 %, что, прежде всего, связано с улучшением минерального питания растений на повышенном агрофоне (рис. 44, приложение 40). Так, наибольшее накопление общего калия в урожае зерна наблюдалось на варианте отдельного применения минеральных удобрений, а также в их сочетании с известкованием почвы в дозе 6 т/га.

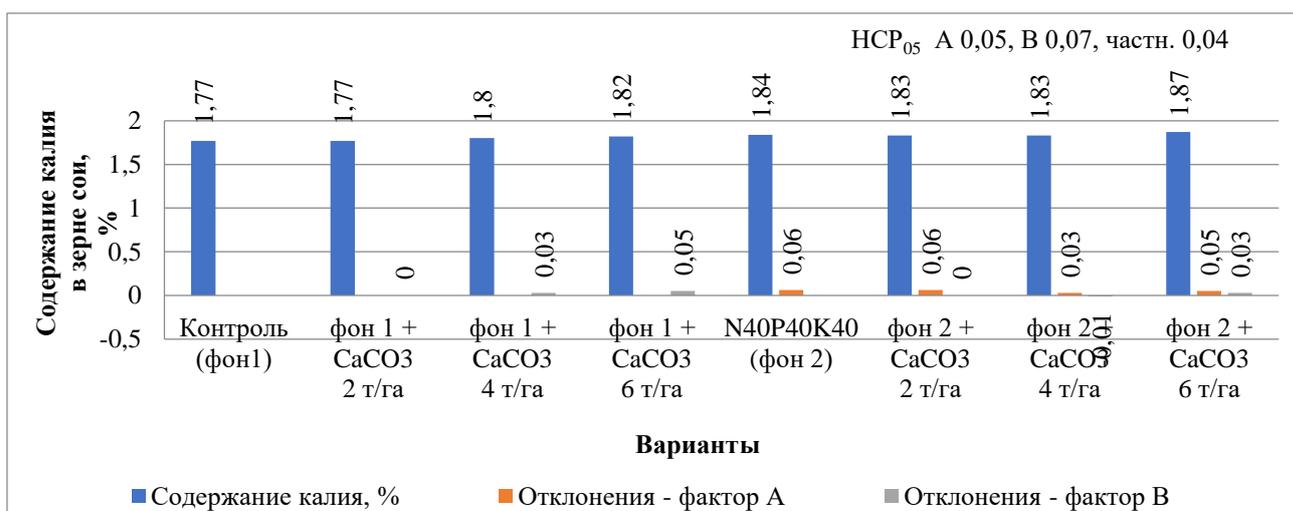


Рисунок 44 – Влияние внесения известкового материала и минеральных удобрений на содержание калия в зерне сои, %, 2020 г.

В литературе существуют противоречивые исследования о необходимости внесения и дозах азотных удобрений под сою. Однако, как показали результаты химического анализа зерна, соя в последствии проявила высокую отзывчивость на улучшение минерального питания растений, что непосредственно сказалось на уровне содержания сырого белка в зерне (рис. 45, приложение 41).

Так, несмотря на высокую обеспеченность почвы элементами минерального питания, в том числе азотом, на контрольном (неудобренном) фоне содержание сырого белка в зерне сои составило лишь 28,81 %. Соя проявила высокую отзывчивость на последствие известкования почвы под предшествующую культуру (яровую пшеницу), а также применение минеральных удобрений. Внесение 2 т/га мела, в том числе на минеральном агрофоне, не обеспечило существенного повышения изучаемого показателя.

Достоверное повышение содержания сырого белка в зерне сои установлено при применении повышенных доз мела (4-6 т/га) как отдельно, так и в сочетании с минеральными удобрениями (30,73-31,19 и 32,19-33,98 % соответственно). Отдельное применение минеральных удобрений в последствии обеспечивало повышение содержания белка на 1,81 %.

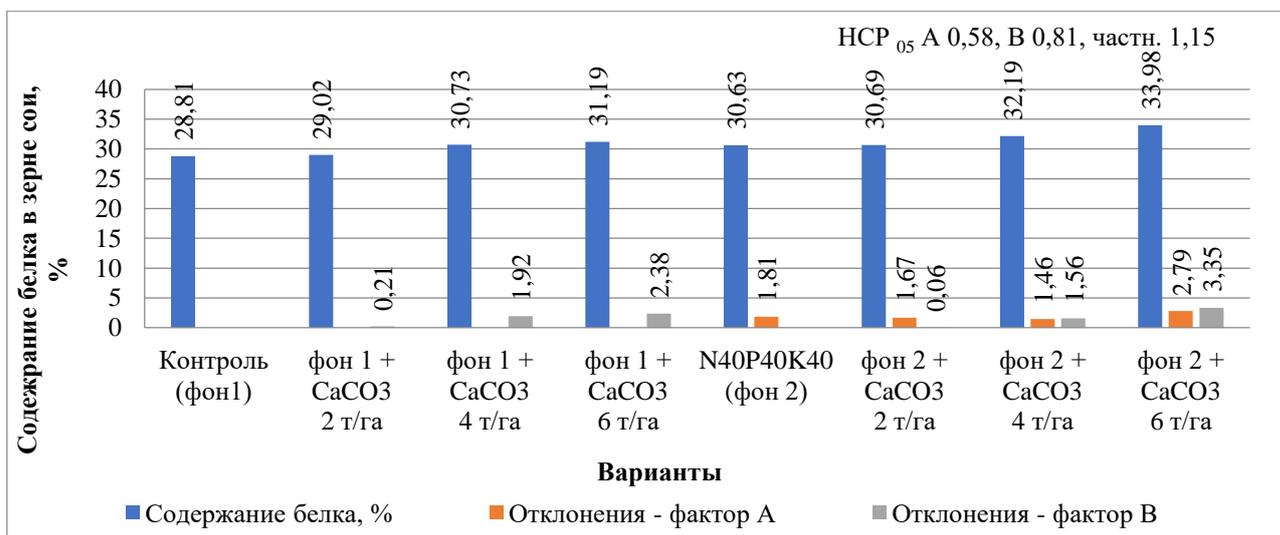


Рисунок 45 – Влияние внесения известкового материала и минеральных удобрений на содержание белка в зерне сои, 2020 г.

Таким образом, содержание сырого белка в зерне сои в зависимости от

последствия известкования и минеральных удобрений выросло на 0,21-5,17 % от абсолютного контроля. Максимальное содержание показателя выявлено при внесении 6 т/га известкового материала в сочетании с минеральными удобрениями: прибавка составила 5,17 % по отношению к контролю и 3,35 % по сравнению с вариантом NPK без известкования.

По данным рисунка 46 (приложение 42), только при известковании почвы без дополнительно минерального удобрения содержание сырого жира в зерне сои повысилось на 0,9-2,48 % к неудобренному фону, причем увеличение накопления жира было прямо пропорционально дозе мелиоранта. Последствие известкования на минеральном агрофоне было существенно выше (в среднем по фону на 1,7 % по отношению к неудобренному фону). Накопление сырого жира на минеральном фоне также зависело от дозы вносимого мелиоранта. Наибольшее содержание сырого жира в зерне сои отмечено при сочетании 6 т/га мелиоранта с N40P40K40 (прибавка по сравнению с абсолютным контролем составила 6,18 % и 5,51 % к фону N40P40K40).

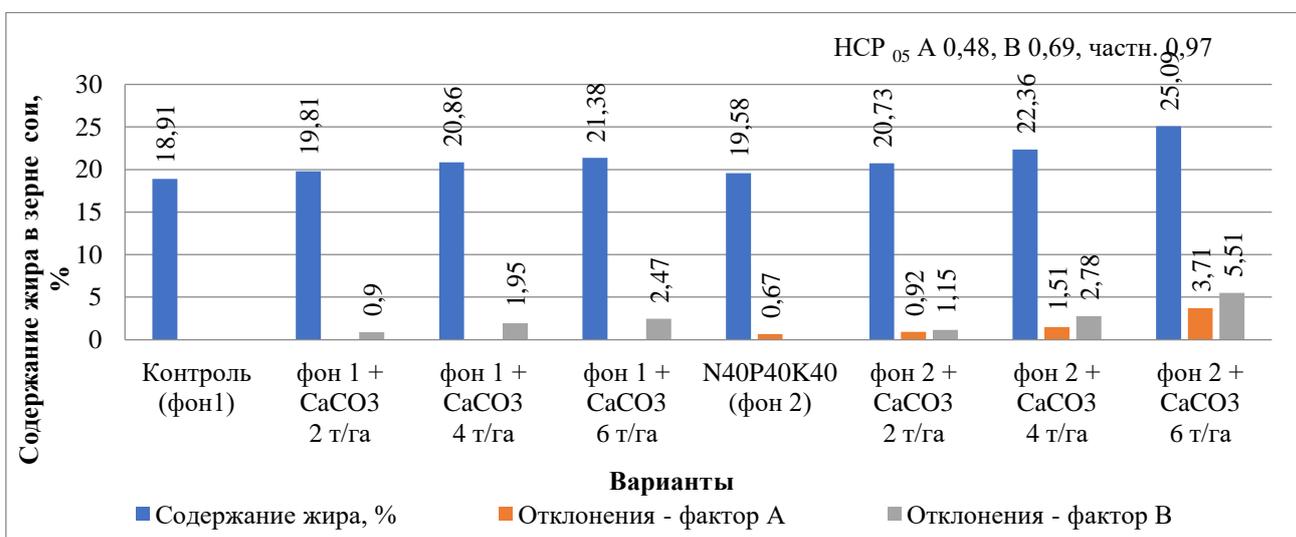


Рисунок 46 – Влияние внесения известкового материала и минеральных удобрений на содержание жира в зерне сои, 2020 г.

Таким образом, можно сделать вывод, что последствие минеральных удобрений на содержание сырого жира в зерне сои оказывает меньшее влияние, чем известкование почвы. Наибольшее накопление жира отмечено при сочета-

нии повышенных доз мелиоранта (4-6 т/га) и минеральных удобрений (22,36-25,09 %, что на 3,45-6,18 % выше контроля).

### 5.2.3. Экологическая оценка продукции

Не менее важным показателем при изучении эффективности известкования и минеральных удобрений является оценка подвижности тяжелых металлов в почве, а также их накопление в растительной продукции. В предыдущем разделе показано, что известкование почвы существенно снизило уровень содержания ТМ. Ниже показано влияние изучаемых факторов на накопление микроэлементов в зерне сои.

Так, по данным рисунка 47 (приложение 43), наибольшее содержание меди отмечено на контрольном варианте и составило 6,1 мг/кг почвы. Известкование почвы в чистом виде не зависимо от дозы извести снизило накопление меди на 0,5-0,6 мг/кг. Наименьшее содержание меди в зерне сои отмечено при сочетании повышенных доз мела на минеральном агрофоне, что позволило снизить значение до 5,0-5,1 мг/кг (или на 1,0-1,1 мг/кг относительно контрольного варианта).

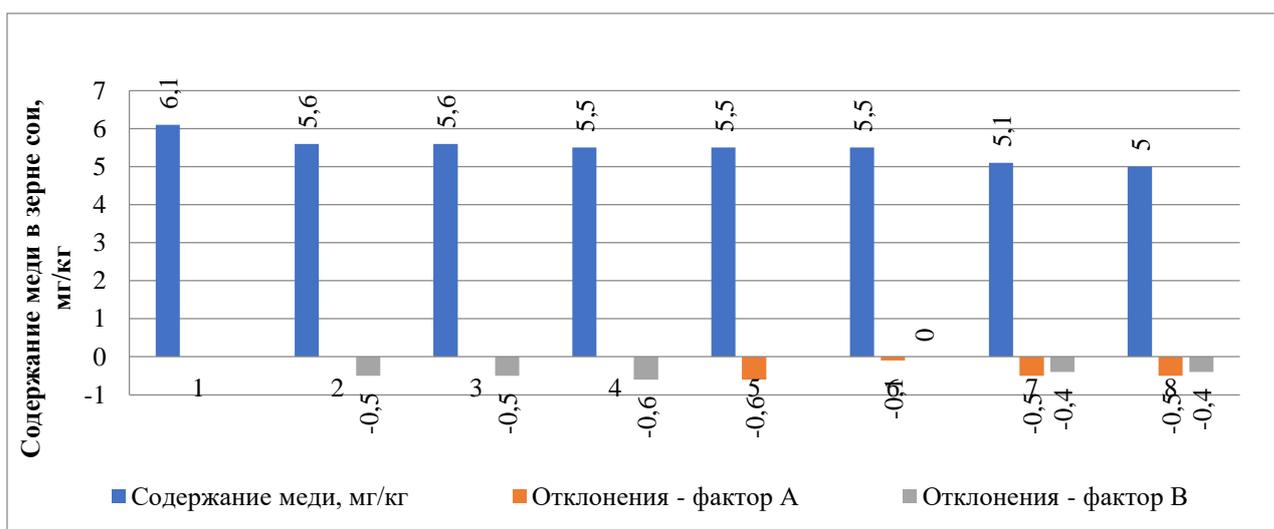


Рисунок 47 – Влияние внесения известкового материала и минеральных удобрений в последствии на содержание меди в зерне сои, 2020 г.

Известкование почвы в последствии также обеспечивало снижение поступления в зерно цинка (рисунок 48, приложение 44). Так, если влияние мела в дозах 2 и 4 т/га на данный показатель было недостоверным, то 6 т/га позволило снизить содержание Zn на 4,1 мг/кг. Еще более заметное снижение накопления цинка отмечено при сочетании минеральных удобрений и 6 т/га мела (до 15,6 мг/кг, на контроле 20,1 мг/кг, на фоне NPK 20,4 мг/кг).

В зерне сои содержание свинца находилось в очень низких значениях (не выше 0,08 мг/кг зерна), тем не менее, внесение мелиоранта в сочетании с минеральными удобрениями позволило снизить концентрацию элемента примерно в 2 раза (до 0,03-0,04 мг/кг) (рисунок 49, приложение 45). Отдельное внесение мела оказало неоднозначное влияние (от повышения его содержания на варианте с использованием 4 т/га извести до снижения с внесением 6 т/га).

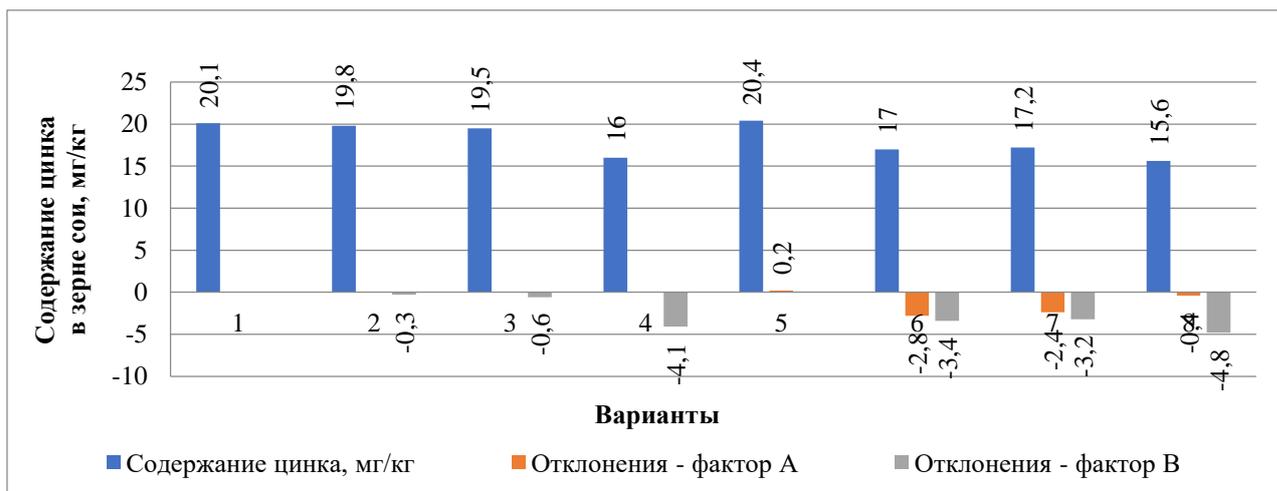


Рисунок 48 – Влияние внесения известкового материала и минеральных удобрений в последствии на содержание цинка в зерне сои, 2020 г.

Несмотря на низкое содержания кадмия в зерне (0,02-0,04мг/кг) (рисунок 50, приложение 46), также установлено положительное влияние известкования как отдельно, так и в сочетании с минеральными удобрениями на накопление элемента в зерне сои. Причем известкование было эффективно при всех дозах внесения (-0,01 мг/кг). Относительно варианта с последствием NPK снижение содержания Cd было более существенным (до -0,02 мг/кг).

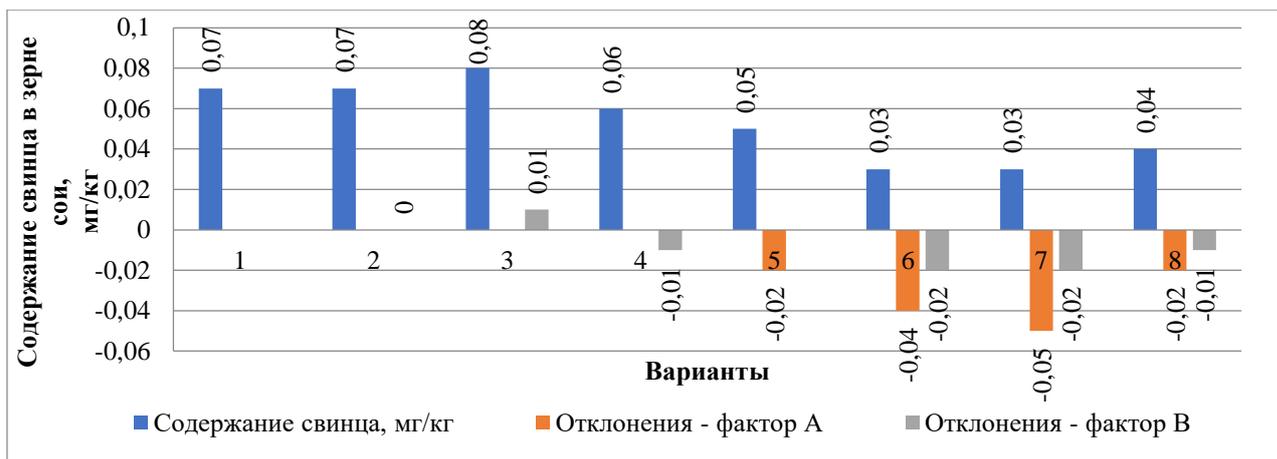


Рисунок 49 – Влияние известкового материала и минеральных удобрений в последствии на содержание свинца в зерне сои, 2020 г.

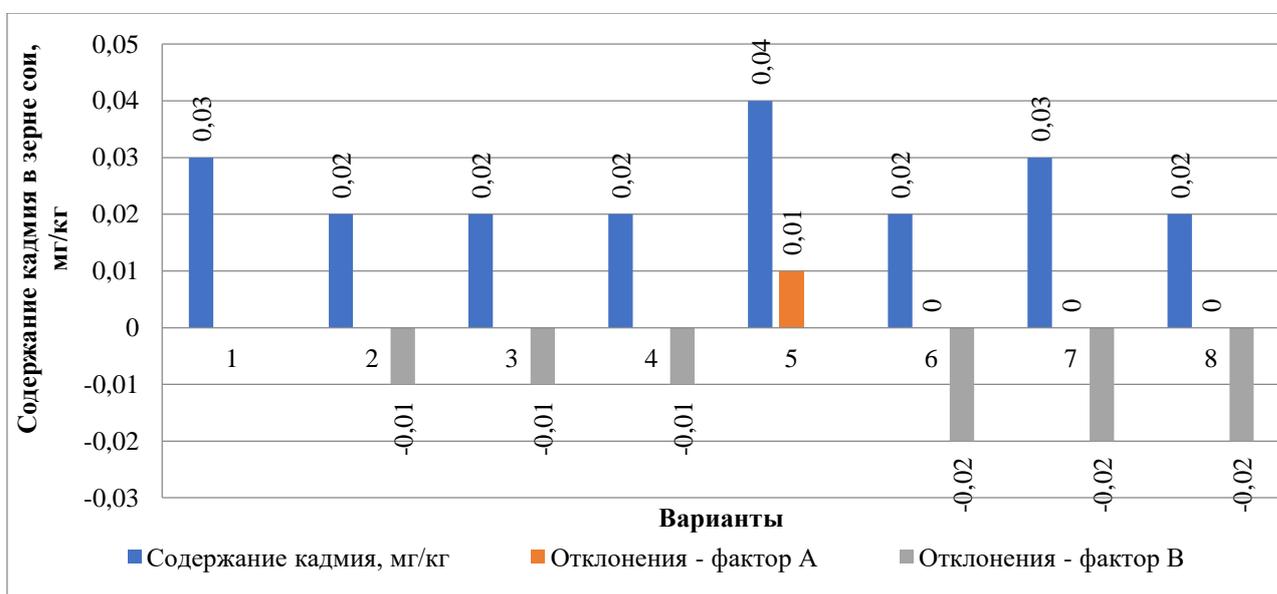


Рисунок 50 – Влияние известкового материала и минеральных удобрений в последствии на содержание кадмия в зерне сои, 2020 г.

Пролонгированное действие мелиоранта способствовало снижению накопление никеля в зерне сои (рисунок 51, приложение 47). Если на контрольном варианте содержание Ni в зерне находилось на уровне 5,9 мг/кг, то с увеличением нормы внесения мелиоранта отмечено снижение накопления элемента на 1,3-2,0 мг/кг (в 1,4-1,5 раза). Наиболее существенное уменьшение отмечено на варианте с внесением повышенных доз мелиоранта на минеральном агрофоне. Концентрация элемента уменьшилась на 2,3-2,5 мг/кг относительно контрольного варианта и на 1,3-1,5 мг/кг – по отношению к варианту NPK.

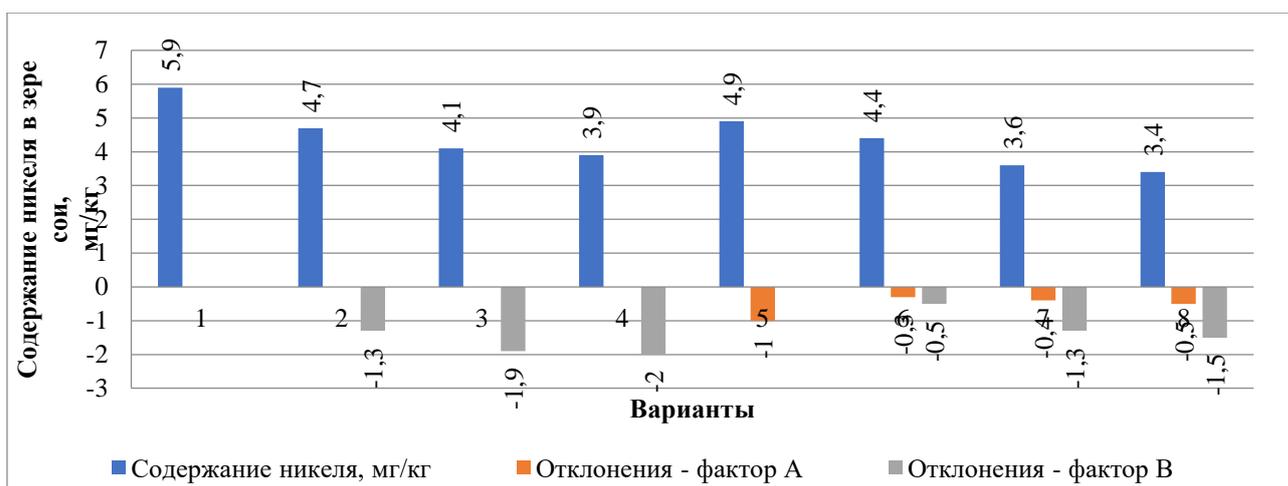


Рисунок 51 – Влияние известкового материала и минеральных удобрений в последствии на содержание никеля в зерне сои, 2020 г.

Таким образом, исследованиями установлено пролонгированное действие мелиоранта, в том числе на фоне минеральных удобрений в дозе НРК 40 кг/га д.в., при возделывании сои на зерно, которая, в свою очередь, положительно реагирует на сдвиг реакции почвенного раствора. Отзывчивость культуры проявилась в увеличении продуктивности и получении экологически более безопасной продукции.

## **6. БАЛАНС ЭЛЕМЕНТОВ ПИТАНИЯ В ЧЕРНОЗЕМЕ ВЫЩЕЛОЧЕННОМ ПОД ПОСЕВАМИ ЯРОВОЙ ПШЕНИЦЫ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ИЗВЕСТКОВАНИЯ ПОЧВЫ**

Как известно, возделывание большинства сельскохозяйственных культур приводит к нарушению баланса питательных элементов, т.к. значительная их часть ежегодно безвозвратно отчуждается с урожаем. Отсутствие приходных статей в виде органических и минеральных удобрений в связи со снижением их использования в сельскохозяйственном производстве еще больше усугубляет проблему. В.Г. Сычев (2019) отмечает, что, несмотря на общемировые тенденции, в России в последние годы сложилась преимущественно экстенсивная форма ведения сельского хозяйства. Большая часть урожая формируется за счет почвенного плодородия без компенсации выносимых с урожаем элементов питания, что приводит к формированию отрицательного баланса питательных веществ, величина которого варьирует от 20 до 150 кг с гектара в разных регионах страны. Следовательно, ежегодный вынос питательных веществ из почвы в 3-4 раза превышает их возврат с минеральными и органическими удобрениями.

Научные исследования доказывают, что известкование почвы – основное условие эффективного применения удобрений на кислых почвах. Эффективность минеральных удобрений на сильно- и среднекислых почвах при их известковании повышается на 35-50 %, а слабокислых – на 15-20 %. Прибавки урожая от совместного применения извести и минеральных удобрений обычно выше, чем сумма прибавок от отдельного их внесения (Смирнов П.М., Муравин Э.А., 1984). Наряду с этим, известкование почвы обеспечивает получение значительного экономического эффекта.

Согласно полному химическому анализу мела Шиловского месторождения Сенгилеевского района Ульяновской области, вместе с известковым материалом помимо Са и Mg в почву поступают, хоть и в небольших количествах, фосфор, калий, натрий, кремний, железо и алюминий, что может служить дополнительным источником питания для растений.

Как отмечает В.А. Микулич (2011), в комплексе мероприятий по повышению урожайности и качества зерна яровой пшеницы решающая роль принадлежит оптимизации минерального питания как основному фактору агрохимической интенсификации производства зерна и повышения плодородия почвы.

По данным рисунка 52 (приложения 49, 50), установлено, что улучшение условий возделывания на опытных вариантах способствовало повышению накопления основных элементов минерального питания в зерне яровой пшеницы. Наименьшая концентрация азота отмечена на контрольном варианте (2,01-2,10 %), наибольшая – на вариантах с повышенными дозами мелиоранта как отдельно, так и в сочетании с минеральными удобрениями (2,30-2,36 %). По содержанию фосфора выявлена аналогичная зависимость. Концентрация калия в зерне независимо от варианта находилась на одном уровне (0,35-0,37 %).

Количественное выражение содержания питательных веществ в почве на конкретной площади с учетом всех статей поступления и расхода в течение определенного промежутка времени определяется как баланс питательных веществ. Отношение поступления элементов питания к их расходу определяет интенсивность баланса (выражается в %). Величина интенсивности баланса менее 100 % характеризует дефицитный, 100 % – бездефицитный и более 100 % – положительный баланс (Баланс питательных элементов в почве <https://helpiks.org/6-35679.html>, дата обращения 07.04.2022).

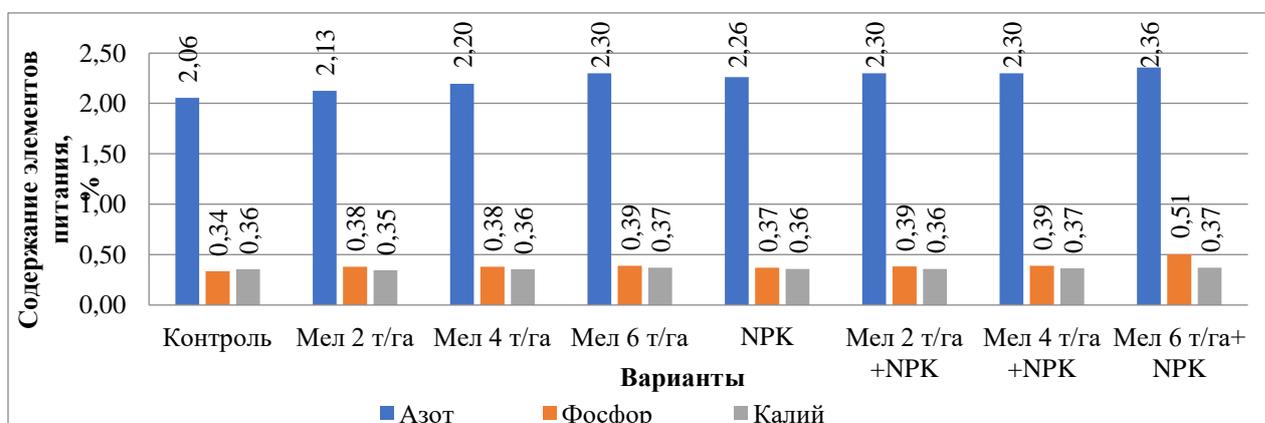


Рисунок 52 – Влияние мела и минеральных удобрений на содержание элементов питания в зерне яровой пшеницы, среднее за 2017, 2019 гг.

Ниже приведен расчет баланса основных элементов питания в зависимости от известкования почвы и применения минеральных удобрений (Баланс питательных веществ в почве, <https://universityagro.ru/агрохимия/баланс-питательных-веществ-почвы/> дата обращения 07.04.22).

Оценка баланса азота проводится по формуле:

$$\text{Баланс } N = (N_y + N_c + N_b + N_{po} + N_o) - (N_{vy} + N_{po} + N_{pv} + N_{пэ})$$

где  $N_y$  – поступление азота с удобрениями

$N_c$  – поступление азота с семенами

$N_b$  – поступление биологического азота (симбиотического и несимбиотического)

$N_{po}$  – поступление азота с растительными остатками

$N_o$  – поступление азота с осадками

$N_{vy}$  – вынос азота с урожаем основной и побочной продукции

$N_{po}$  – вынос азота с растительными остатками

$N_{pv}$  – потери от вымывания из почвы

$N_{пэ}$  – потери азота при эрозии

Аналогично рассчитывается баланс по фосфору и калию.

Среди элементов минерального питания растений в первом минимуме находится азот. Как показывают наши исследования, наибольшей статьей расхода азота является вынос элемента из почвы с урожаем яровой пшеницы (таблица 5). Дополнительной статьей его расхода являются газообразные потери (20 % от внесенного минерального азота, по Б.Н. Макарову, 1994) и потери почвенного минерального азота в результате денитрификации (в среднем 10 кг/га, по С.Н. Юркину, 1978). По данным Е.П. Трепачева (1976), при крутизне склона менее 1 градуса потери азота под посевами зерновых от эрозии почв и инфильтрации в глубокие слои почвы составляют 3-5 кг/га.

В расчете баланса биогенных элементов учтено их поступление с соломой предшественника яровой пшеницы (озимой пшеницы). Так, с урожаем 35 ц/га в почву поступало 42 ц соломы с содержанием N 0,5 P 0,25 K 1,3 %. Соответственно, с 42 ц соломы в почву возвращалось азота 21, фосфора 10,5 и калия 54,6 кг/га.

Увеличение продуктивности яровой пшеницы под влиянием известкования почвы и применения минеральных удобрений, а также повышения содержания азота в биомассе оказало существенное влияние на увеличение выноса элемента урожаем.

Таблица 5– Биологический баланс азота в почве под посевами яровой пшеницы в зависимости от известкования и применения минеральных удобрений

Вариант	Вынос азота, кг/га					Поступление азота, кг/га							Баланс азота, ±
	с урожаем	газообразные потери почвенного азота	инфильтрация с осадками	газообразные потери азота удобрений	всего	с семенами	с осадками	с мин. удобрениями	с известью	с соломой оз. пшеницы	фиксация молекулярного азота	всего	
1	78	10	3		91	5	5	-	0	21	10	41	-50
2	89	10	3		102	5	5	-	0	21	15	46	-56
3	99	10	3		112	5	5	-	0	21	15	46	-66
4	104	10	3		117	5	5	-	0	21	15	46	-71
5	106	10	3	8	127	5	5	40	0	21	10	81	-46
6	121	10	3	8	142	5	5	40	0	21	15	86	-56
7	130	10	3	8	151	5	5	40	0	21	15	86	-65
8	130	10	3	8	151	5	5	40	0	21	15	86	-65

Общий вынос азота при применении минеральных удобрений увеличился до 101-151 кг/га (на 11-66 % выше контроля). На долю газообразных потерь элемента и инфильтрацию приходилось 13 кг/га, на фоне минеральных удобрений потери увеличились до 21 кг/га.

Поступление азота с минеральными удобрениями (40 кг д.в./га) составляло наибольший удельный вес среди приходных статей баланса. Баланс азота по всем вариантам был отрицательный и составлял от -46 (на варианте NPK) до -71 кг/га (на варианте с применением 6 т/га мела без дополнительного азота). Несмотря на рост продуктивности яровой пшеницы в 1,2-1,3 раза, при сочетании известкования почвы и минеральных удобрений по отношению к неудобренным вариантам, баланс азота находился примерно на одном уровне.

Вынос фосфора восполняется за счет внесения фосфорных и органических удобрений. И.П. Дерюгин и др. (1995) отмечают, что допускается умеренно отрицательный баланс фосфора, который не изменит уровень плодородия почвы.

Вынос фосфора с урожаем (Рву) определяется по химическому составу и количеству урожая основной и побочной продукции

Результаты исследований (таблица 6) показали, что общий вынос фосфора под влиянием изучаемых факторов увеличивался до 36 – 61 кг/га, тогда как на контроле 30 кг/га.

Наибольший вынос фосфора зерном яровой пшеницы наблюдался на варианте с повышенными дозами мелиоранта (4-6 т/га) в сочетании с NPK в дозе 40 кг/га д.в. (51-61 кг/га), что выше контроля на 21-31 кг, относительно варианта минеральных удобрений вынос увеличился на 11-21 кг.

На вариантах с известкованием почвы складывался отрицательный баланс фосфора (от -23 до -28 кг/га). Применение минеральных удобрений в чистом виде и совместно с 2-4 т/га мела позволило получить бездефицитный баланс фосфора (+2 - +12 кг/га). Внесение 6 т/га извести на минеральном агрофоне обеспечило получение отрицательного баланса фосфора (-8 кг/га) за счет высокого выноса с урожаем.

Таблица 6 – Баланс фосфора в почве под посевами яровой пшеницы в зависимости от известкования и применения минеральных удобрений

Вариант	Вынос фосфора, кг/га			Поступление фосфора, кг/га						Баланс фосфора, ± кг/га
	с урожая	потери от эрозии и выщелачивания	всего	с удобрениями	с семенами	с соломой оз. пшеницы	с осадками	с мелом	всего	
1	28	1,5	30	0	1,9	10,5	0,5	0	13	-17
2	35	1,5	36	0	1,9	10,5	0,5	0,02	13	-23
3	38	1,5	39	0	1,9	10,5	0,5	0,04	13	-26
4	39	1,5	41	0	1,9	10,5	0,5	0,06	13	-28
5	39	1,5	40	40	1,9	10,5	0,5	0	53	12
6	45	1,5	46	40	1,9	10,5	0,5	0,02	53	6
7	49	1,5	51	40	1,9	10,5	0,5	0,04	53	2
8	60	1,5	61	40	1,9	10,5	0,5	0,06	53	-8

Как показывают расчеты (таблица 7), действие известкования и минеральных удобрений на баланс калия был аналогичным.

Таблица 7 – Баланс калия в почве под посевами яровой пшеницы в зависимости от известкования и применения минеральных удобрений

Вариант	Вынос калия, кг/га			Поступление калия, кг/га						Баланс, ± кг/га
	с урожая	потери от эрозии	всего	с мин. удобрениями	с мелом	с осадками	с семенами	с раст. остатками	всего	
1	51	3	54	-		4	1,1	54,6	60	5
2	56	3	59	-	1,6	4	1,1	54,6	61	2
3	61	3	64	-	3,2	4	1,1	54,6	63	-2
4	63	3	66	-	4,8	4	1,1	54,6	65	-2
5	65	3	68	40		4	1,1	54,6	100	32
6	73	3	76	40	1,6	4	1,1	54,6	101	26
7	79	3	82	40	3,2	4	1,1	54,6	103	21
8	78	3	81	40	4,8	4	1,1	54,6	105	24

На контрольном варианте общий вынос калия урожаем яровой пшеницы составил 54 кг/га, на варианте NPK 68 кг/га, т.е. внесение N40P40K40 под культивацию увеличивало вынос калия на 14 кг/га (26 %). На всех вариантах с применением известковых материалов наблюдалось увеличение выноса калия за счет повышения урожайности культуры. Сочетание известкования почвы и минеральных удобрений позволило получить бездефицитный баланс калия (21-32 кг/га).

Интенсивность баланса элементов питания значительно изменялась при известковании почвы и его сочетании с минеральными удобрениями в технологии возделывания яровой пшеницы (рисунок 53). Данные показывают, что интенсивность баланса по азоту при отдельном внесении извести низкая (39-45 %). Внесение ее с минеральными удобрениями позволило повысить значения до 57-64 %. Следовательно, дефицит по азоту составлял около 40 %.

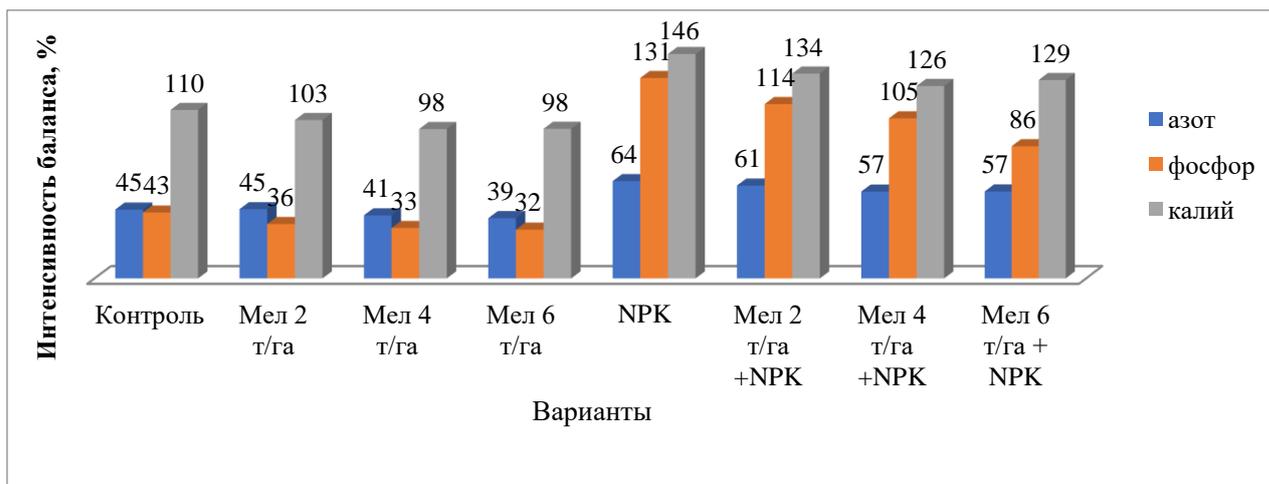


Рисунок 53 – Интенсивность баланса элементов питания в почве в зависимости от известкования и применения минеральных удобрений

За счет резкого увеличения потребления фосфора растениями и выноса его с урожаем существенно снижалась интенсивность баланса по фосфору с 43 % на контрольном варианте до 39 % с применением 6 т/га мела. Внесение фосфора в составе азофоски в количестве 40 кг/га д.в. обеспечило получение бездефицитного баланса по фосфору (интенсивность баланса 105-131 %). Лишь повышенная доза мела (6 т/га) совместно с удобрениями создала дефицит по фосфору

на уровне 14 %. Расчеты показали, что по калию сложился бездефицитный баланс калия, и, как следствие, интенсивность баланс составила 98-146 %.

Таким образом, в наших исследованиях установлено, что хозяйственный вынос азота, фосфора и калия увеличивался по мере повышения обеспеченности почвы подвижными элементами питания. Параметры выноса NPK определялись концентрацией их в зерне и уровнем полученной урожайности. В почве отмечен значительный дефицит по азоту, что предполагает поиск дополнительных источников поступления элемента в почву (биологический азот, ассоциативная азотфиксация, внесение органических удобрений, повышение доз азотных удобрений и т.д.).

## 7. ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ ИЗВЕСТКОВАНИЯ ПОЧВЫ ПРИ ВОЗДЕЛЫВАНИИ ЯРОВОЙ ПШЕНИЦЫ И СОИ В ПОСЛЕДЕЙСТВИИ

Сорта яровой пшеницы современного этапа сортосмены имеют высокую потенциальную продуктивность (до 8,0-9,0 т/га). Совершенствование технологических агроприемов возделывания позволяет максимально реализовать свой потенциал и сформировать качественное зерно, что имеет определяющее значение в условиях рыночной экономики. Новые сорта зерна формируют высокую урожайность лишь при качественном, сбалансированном питании.

В настоящих хозяйственных условиях, когда высокие цены на минеральные удобрения ограничивают их применение, средняя урожайность яровой пшеницы в РФ составляет лишь 1,4-1,6 т/га (Особенности питания и удобрения яровой пшеницы: <http://agro-archive.ru/sistema-udobreniya/897-osobennosti-pitaniya-i-udobreniya-yarovoy-pshenicy.html>, дата обращения: 02.03.2022).

При высокой стоимости затрат на транспортировку и внесение известковых и дороговизне минеральных удобрений необходимым критерием целесообразности их применения является показатель рентабельности. Поэтому научно обоснованный выбор доз известковых удобрений ориентируется не только на повышение урожайности и качества урожая, но и на получение максимальной прибыли с каждого гектара. При этом необходимо усовершенствовать все звенья технологической цепочки применения удобрений (Сычев В.Г., 2019).

Эффект от известкования достигает максимум на второй-третий год, так как известь растворяется и взаимодействует с почвой постепенно, и поэтому действие ее проявляется умеренно. Так, при внесении полной дозы положительное действие извести на продуктивность полевых культур обнаруживается в течение 8-10 лет. За этот период времени каждая тонна извести дает общую прибавку урожайности всех выращиваемых культур, равную в пересчете на зерно 12-15 ц на 1 га (Корченкина Н.А., Махалов Р.М., 2015).

По данным Г.М. Дериглазовой (2013), эффективность применения мине-

ральных удобрений на сильно- и среднекислых почвах при их известковании увеличивается на 35-50 %, а слабокислых – на 15-20 %. Прибавки урожая от совместного использования извести и минеральных удобрений, как правило, выше, чем сумма прибавок от отдельного их внесения.

При экономической оценке технологии возделывания яровой пшеницы и сои с известкованием почвы прямые издержки устанавливали по ценам, принятым для производственных условий опытного поля ФГБОУ ВО Ульяновский ГАУ. Амортизацию и затраты на ремонтные работы тракторов и сельскохозяйственных машин рассчитывали по установленным нормативам. Стоимость продукции определялась с ценой реализации, которая формировалась в соответствующие годы исследований. Расчеты выполнены на основе технологических карт.

Как показывают данные таблицы 8, в связи с высокими расходами на транспортировку и внесение, применение мела в чистом виде под посевами яровой пшеницы, несмотря на существенную прибавку урожайности, экономически не оправдывается и уровень рентабельности находится значительно ниже контрольного варианта.

Возделывание яровой пшеницы с применением минеральных удобрений в сочетании с известкованием вдвое превышало урожайность и увеличивало рентабельность производства. Наибольший экономический эффект получен на варианте с применением мела в дозе 2 и 4 т/га на минеральном агрофоне (уровень рентабельности составил 86,9 и 60,8 %).

Расчеты показали (таблица 9), что возделывание сои в последствии было высокоэффективно, что позволило увеличить уровень рентабельности в 1,3-1,5 раз (с 261 до 534 %). Лучшие экономические показатели, наряду с наибольшей урожайностью сои, получены при сочетании повышенных доз мелиоранта на минеральном агрофоне.

Таблица 8 – Экономическая эффективность использования мела ООО меловой завод «Шиловский» в качестве известкового материала при возделывании яровой пшеницы

Показатели		Варианты							
		Контроль	Фон 1 + СаСО3 2 т/га	Фон 1 + СаСО3 4 т/га	Фон 1 + СаСО3 6 т/га	НРК (фон 2)	Фон 2 + СаСО3 2 т/га	Фон 2 + СаСО3 4 т/га	Фон 2 + СаСО3 6 т/га
Урожайность, т/га		2,64	2,88	3,09	3,13	3,85	4,20	4,42	4,40
Стоимость про- дукции,	руб./т	15000	15000	15000	15000	15000	15000	15000	15000
	руб./га	39600	43200	46350	46950	57750	63000	66300	66000
Производственные затраты на 1 га, руб.		23813	31319	38825	46248	26135	33709	41220	48614
Затраты труда, чел.-час	на 1 га	6,05	6,78	7,48	8,04	7,24	7,82	8,76	9,27
	на 1 т	2,29	2,35	2,42	2,57	1,88	1,86	1,98	2,11
Себестоимость 1 т, руб.		9020,3	10874,6	12564,6	14775,6	6788,3	8026,1	9325,9	11048,6
Условный чистый доход, руб./га		15786	11881	7525	702	31615	29291	25080	17386
Уровень рентабельности, %		66,3	37,9	19,4	1,5	121,0	86,9	60,8	35,8

Таблица 9 – Экономическая эффективность возделывания сои при последствии применения мела ООО меловой завод «Шиловский», 2021 г.

Показатели		Варианты							
		Контроль	Фон 1 + CaCO3 2 т/га	Фон 1 + CaCO3 4 т/га	Фон 1 + CaCO3 6 т/га	НРК (фон 2)	Фон 2 + CaCO3 2 т/га	Фон 2 + CaCO3 4 т/га	Фон 2 + CaCO3 6 т/га
Урожайность, т/га		1,61	1,80	1,95	2,17	2,22	2,41	2,67	2,91
Стоимость про- дукции	руб./т	50000	50000	50000	50000	50000	50000	50000	50000
	руб./га	80500	90000	97500	108500	111000	120500	133500	145500
Производственные затраты на 1 га, руб.		22309	22402	22476	22583	22608	22701	22829	22946
Затраты труда, чел.-час.	на 1 га	4,31	4,46	4,59	4,77	4,81	4,96	5,17	5,37
	на 1 т	2,68	2,48	2,35	2,20	2,17	2,06	1,94	1,85
Себестоимость 1 т, руб.		13857	12446	11526	10407	10184	9420	8550	7885
Условный чистый доход, руб./га		58190	67597	75024	85916	88392	97799	110671	122554
Уровень рентабельности, %		261	302	334	380	391	431	485	534

На рисунках 54-55 показана рентабельность возделывания изучаемых культур по годам. График наглядно демонстрирует, что возделывание яровой пшеницы в 2016-2018 гг. было не рентабельно, в том числе на вариантах с применением известкования, особенно в повышенных дозах. Но возделывание яровой пшеницы с применением минеральных удобрений в условиях известкования вдвое превышало по урожайности и увеличивало уровень рентабельности до 83 %. Необходимо подчеркнуть, что при использовании мела в качестве известкового материала в целях создания более оптимальных значений кислотности почвы, происходило улучшение качества зерна – увеличивалось количество клейковины без ухудшения ее качества. При всем этом классность зерна переходит из одной категории в другую, как следствие этого, и стоимость зерна, полученного с 1 га, была выше. К примеру, повышение цены зерна на 1000 рублей за 1 тонну, уровень рентабельности на варианте с внесением мела в дозе 4 т/га возрастет с 93 до 117 %, на фоне минеральных удобрений в дозе N<sub>40</sub>P<sub>40</sub>K<sub>40</sub> с 83 до 106 %.

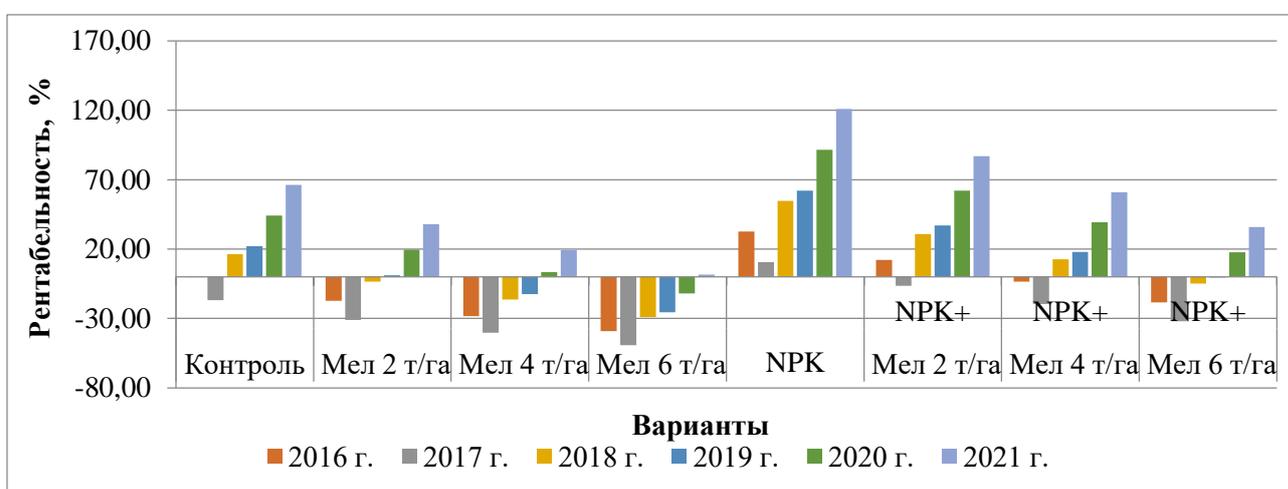


Рисунок 54 – Динамика рентабельности производства яровой пшеницы в зависимости от известкования и применения минеральных удобрений, %

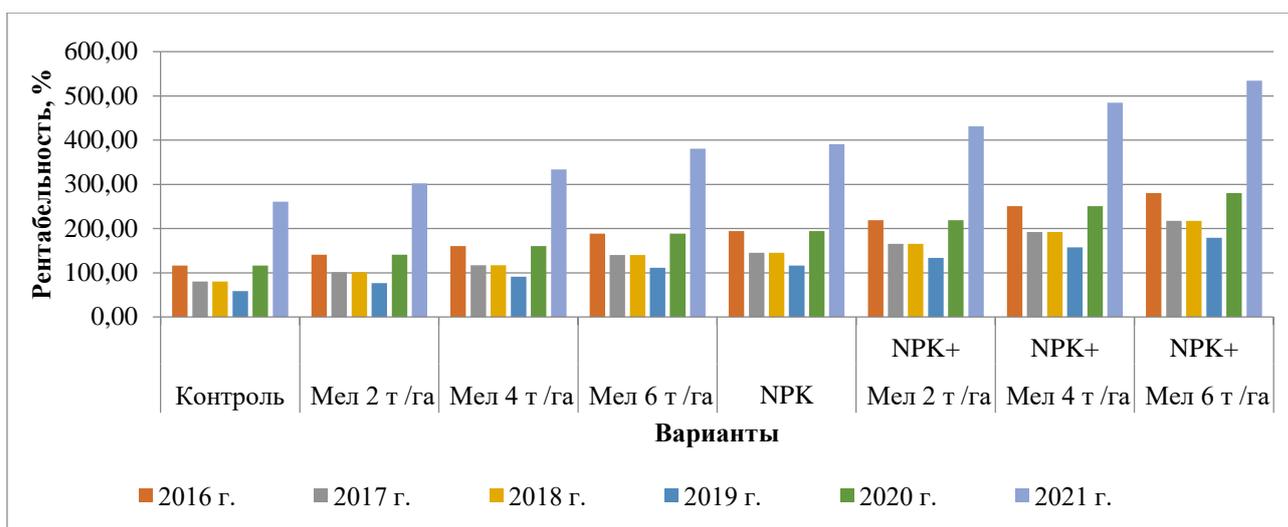


Рисунок 55 – Динамика рентабельности производства сои в зависимости от известкования и применения минеральных удобрений (в последствии), %

Экономически наиболее выгодно было возделывание яровой пшеницы при применении стартовой дозы минеральных удобрений как отдельно, так и в сочетании с мелом в дозе 2-4 т/га. Уровень рентабельности возделывания сои, наоборот, был высоким во все годы за счет высокой цены реализации зерна и повышенной урожайности на опытных вариантах.

Оценивая звено севооборота яровая пшеница-соя с экономической точки зрения можно сделать вывод о его эффективности (рисунок 56).

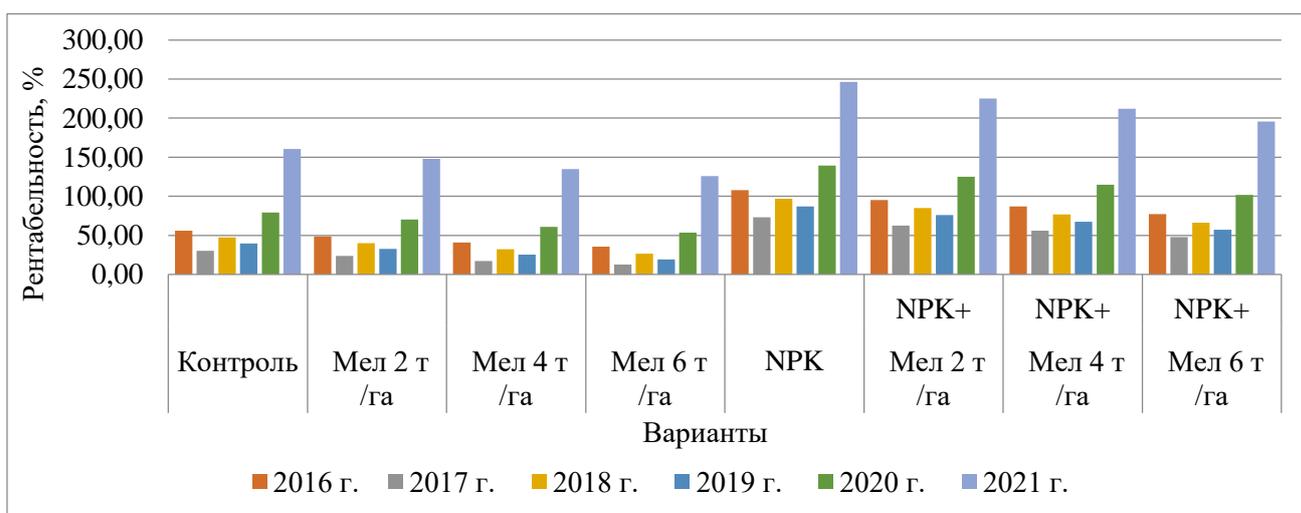


Рисунок 56 – Динамика рентабельности звена севооборота в зависимости от известкования и применения минеральных удобрений, %

Внесение мела в сочетании с минеральными удобрениями обеспечивало получение рентабельности производства примерно в 2 раза выше по сравнению с применением мелиоранта в чистом виде. Наилучшие экономические показатели получены в 2020-2021 гг. Уровень рентабельности достигал 200-230 %.

Таким образом, известкование почвы действительно является экономически затратным, но при этом крайне необходимым на кислых почвах, агроприемом. Стоит отметить, что издержки на транспортировку, внесение известкового материала следует делить и на следующие культуры севооборота, в связи с тем, что пролонгированное действие мелиоранта длится несколько лет (не менее 5-ти лет), которое проявляется в получении большего количества сельскохозяйственной продукции с более высоким качеством.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Известкование чернозема выщелоченного среднесуглинистого мелом Шиловского месторождения с содержанием  $\text{CaCO}_3 + \text{MgCO}_3$  98,5 % обеспечивает существенный сдвиг обменной кислотности  $\text{pH}_{\text{KCl}}$  на 0,35-0,62 единиц в зависимости от дозы мелиоранта и при сочетании с минеральными удобрениями – на 0,39-0,55 единиц. Наибольшее снижение кислотности почвы наблюдали на варианте с внесением повышенной дозы мела (6 т/га). Подобные изменения отмечали и в гидролитической кислотности, которая снизилась на 0,21-0,34 мг-экв./100г почвы соответственно;

2. Под влиянием мела как отдельно, так и в сочетании с минеральными удобрениями происходило увеличение численности аммонифицирующих бактерий на 15-30 %, несимбиотических азотфиксаторов на 23-33 %, литотрофов на 28-41 %. Внесение 4 т/га мела обеспечило повышение протеазной активности почвы на 30 %, в сочетании с минеральными удобрениями на 19 %, целлюлазной активности – на 18-23 % и фосфатазной активности – на 15-40 % соответственно;

3. Под действием известкования почвы в сочетании с минеральными удобрениями в дозе  $\text{N40P40K40}$  наблюдали улучшение питательного режима чернозема выщелоченного: содержание подвижного фосфора увеличилось на 33-79, обменного калия – на 13-72 мг/кг почвы по отношению к контрольному варианту. Оптимальные условия минерального питания растений складывались на вариантах с повышенной дозой внесения мела 6 т/га при внесении как в чистом виде, так и в сочетании с минеральными удобрениями;

4. На фоне минеральных удобрений внесение мела в дозе 4 т/га способствовало снижению подвижности тяжелых металлов в почве. При этом содержание подвижной меди в пахотном слое почвы к уборке культуры уменьшилось на 8,5-19,7 %, цинка – на 9,8-11,8 %, никеля – на 1-9,3 %, свинца – на 3,9-20,9 %, кадмия – на 13,6-37,5 % относительно данных, полученных при посеве;

5. Использование мела Шиловского месторождения с общим содержанием  $\text{CaCO}_3 + \text{MgCO}_3$  98,5 % в чистом виде привело к достоверному увеличению урожайности зерна яровой пшеницы на 0,24-0,49 т/га по отношению к абсолютному

контролю, в сочетании со сложными минеральными удобрениями – на 0,35- 0,57 т/га к фону NPK. Наибольшую продуктивность культуры отмечали при сочетании N40P40K40 и CaCO<sub>3</sub> в дозе 4 т/га (4,42 т/га). Между агрохимическими показателями и продуктивностью яровой пшеницы во все годы исследований установлены прямые зависимости с высокой достоверностью ( $r = 0,89-0,97$ );

6. Применение мелиоранта как отдельно, так и в сочетании с минеральными удобрениями способствовало увеличению содержания сырой клейковины в зерне яровой пшеницы. Наиболее оптимальной дозой мелиоранта являлась 4 т/га, которая приводила к улучшению качества сырой клейковины во все годы исследований. Как следствие этого, качество зерна из II («удовлетворительно крепкая») повышалось до I группы («хорошая»). Такую же закономерность наблюдали и на фоне внесения минеральных удобрений;

7. Под посевами сои на всех вариантах с применением минеральных удобрений на фоне известкования в последствии выявлено наибольшее снижение обменной кислотности почвы до 6,4-6,43 единиц рН<sub>KCl</sub>. Известкование чернозема выщелоченного и применение минеральных удобрений оказало положительное влияние в последствии на агрохимические и агрофизические показатели почвы;

8. Сочетание повышенных доз мелиоранта (4-6 т/га) и минеральных удобрений в дозе N40P40K40 в последствии обеспечило прибавку урожайности сои в 1,06-1,30 т/га по сравнению с абсолютным контролем. Наибольшую отзывчивость при формировании урожая соя проявила на варианте с внесением 6 т/га мела совместно с минеральными удобрениями (2,91 т/га). При применении повышенных доз мела (4-6 т/га) как отдельно, так и в сочетании с минеральными удобрениями установлено достоверное повышение содержания сырого белка в зерне сои – на 1,92-2,38 и 1,46-2,79 % и сырого жира – на 1,95-2,47 и 1,51-3,71 % по отношению к неудобренному варианту соответственно;

9. Применение мелиоранта в последствии существенно снизило подвижность тяжелых металлов в почве и, как следствие, уровень их поступления в зерно сои, что позволило получить экологически более безопасную продукцию;

10. Интенсивность баланса по азоту при отдельном внесении извести в почву была низкая (39-45 %). Внесение ее с минеральными удобрениями позволило повысить значения до 57-64 % (дефицит по азоту составил около 40 %). Внесение фосфора и калия в составе азофоски в количестве по 40 кг/га д.в. обеспечило бездефицитный баланс по данным элементам (интенсивность баланса составила 105-131 % и 98-146 % соответственно);

11. Экономически известкование чернозема выщелоченного при возделывании яровой пшеницы оправдано при урожайности не менее 3 т/га. Наибольший экономический эффект наблюдали на варианте с применением мела в дозе 2 и 4 т/га совместно с минеральными удобрениями в дозе N40P40K40 (уровень рентабельности составил 87 и 61 %). Возделывание сои в последствии было высокоэффективно, что позволило увеличить уровень рентабельности в 1,3-1,5 раз (с 261 до 534 %). Учитывая пролонгированное действие известкования на свойства почвы, эффективность его несомненна.

## **ПРЕДЛОЖЕНИЕ ПРОИЗВОДСТВУ**

В условиях лесостепи Среднего Поволжья при возделывании сельскохозяйственных культур на черноземе выщелоченном среднесуглинистом с реакцией почвенного раствора 5,4-5,5 единиц для повышения продуктивности зерновых культур рекомендуем использовать в качестве известкового материала для оптимизации кислотности мел Шиловского месторождения Ульяновской области с суммарным содержанием  $\text{CaCO}_3$  и  $\text{MgCO}_3$  98,5 % в дозе 4 т/га в сочетании со стартовой дозой минеральных удобрений N40P40K40.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Адаптивно-ландшафтная система земледелия Ульяновской области. – Ульяновск: ООО Колор-Принт, 2013. 354 с.
2. Аканова, Н.И. Агроэкологическая и энергетическая эффективность сочетания известкования с минеральными удобрениями: автореф. дис. ... д-ра биол. наук. – М., 2001. – 36 с.
3. Аканова, Н. И. Изменение агрохимических свойств дерново-подзолистых почв при систематическом применении минеральных удобрений в сочетании с известкованием / Н. И. Аканова // Вопросы известкования почв: Сборник статей / Всероссийский научно-исследовательский институт удобрений и агропочвоведения им. Д.Н. Прянишникова. – Москва :Агроконсалт, 2002. – С. 11-18.
4. Аканова, Н. И. Вопросы оптимизации кислотности почв и баланса кальция / Н. И. Аканова, В. Н. Темников, Г. Е. Гришин [и др.] // Нива Поволжья. – 2011. – № 1(18). – С. 1-6.
5. Александрова, Л. Н. Органическое вещество почвы и процессы его трансформации / Л. Н. Александрова. - Л.:Наука, 1980. - 287 с.
6. Алексеева, А. А. Ферментативная активность почв лесных питомников лесостепной зоны Красноярского края / А. А. Алексеева, Н. В. Фомина // Вестник КрасГАУ. – 2014. – № 12(99). – С. 70-75.
7. Алиев, Ш. А. Проблемы известкования кислых почв в Республике Татарстан / Ш. А. Алиев, С. Ш. Нуриев, В. З. Шакиров // Вопросы известкования почв: Сборник статей / Всероссийский научно-исследовательский институт удобрений и агропочвоведения им. Д.Н. Прянишникова. – Москва :Агроконсалт, 2002. – С. 21-22.
8. Бакина, Л. Г. Влияние известкования на комплекс почвенных микроорганизмов и гумусовое состояние дерново-подзолистой почвы в многолетнем опыте / Л. Г. Бакина, М. В. Чугунова, Т. Б. Зайцева, З. П. Небольсина // Почвоведение. – 2014. – № 2. – С. 225.
9. Баринов, В.Н. Динамика почвенного плодородия и баланс питательных веществ в земледелии Владимирской области / В.Н. Баринов // Агрохимический вестник. – 2002. – №2. – с. 10-11.
10. Бездудная, А. Г. Известкование кислых почв как один из показателей решения региональных экологических проблем Северо-Западного региона / А. Г. Бездудная, М. Г. Трейман // Биоэкологическое краеведение: мировые, российские и региональные проблемы: Материалы 5-й международной научно-практической конференции, посвящённой 110-летию со дня рождения доктора биологических наук, профессора Л.В.Воржевой и 125-летию со дня рождения кандидата педагогических наук, доцента Г.Г.Штехера, Самара, 14 декабря 2016 года / Отв.ред. С.И. Павлов. – Самара: Самарский государственный социально-педагогический университет, 2016. – С. 202-206.
11. Биккинина, Л. М. Способы известкования чернозема выщелоченного местной доломитовой мукой в условиях Предволжской зоны Республики Татарстан: специальность 06.01.04 "Агрохимия": дисс. ... канд. с.-х. наук / Бикки-

нина Лилия Мухаммед-Харисовна. – Казань, 2009. – 161 с.

12. Волкова, Е. Н. Эффективность различных доз азотных удобрений и известкования на дерново-подзолистой почве / Е. Н. Волкова, Н. А. Кириллов // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. – 2009. – № 9(59). – С. 16-19.

13. Гайсин, В. Ф. Регулирование физико-химических свойств серой лесной почвы приемами известкования в условиях Северной лесостепи Башкортостана / В. Ф. Гайсин, Н. Г. Нигматуллин, Р. А. Акбиров, Б. Г. Ахияров // Энергосберегающие технологии в ландшафтном земледелии: Сборник материалов Всероссийской научно-практической конференции, посвященной 65-летию кафедры "Общее земледелие и землеустройство" и Дню российской науки, Пенза, 09 февраля 2016 года. – Пенза: Пензенская государственная сельскохозяйственная академия, 2016. – С. 262-266.

14. Галишин Р.Р. Известкование и фосфатирование почв основа высоких урожаев сельскохозяйственных культур / Р.Р. Галишин, Ф.Н. Галлямов / В сборнике: Молодежная наука и АПК: проблемы и перспективы материалы VII Всероссийской научно-практической конференции молодых ученых. Башкирский государственный аграрный университет, 2014. С. 13-15.

15. Гладышева, О. В. Влияние известкования на физико-химические свойства темно-серой лесной почвы и продуктивность возделываемых культур / О. В. Гладышева, А. М. Пестряков, В. А. Свирина // Плодородие. – 2015. – № 6(87). – С. 17-19.

16. Гогмачадзе, Г. Д. Изменение параметров плодородия длительно используемых дерново-подзолистых пахотных почв / Г. Д. Гогмачадзе, Н. С. Матюк, В. Д. Полин, Е. В. Коваленко // АгроЭкоИнфо. – 2015. – № 1(17). – С. 1.

17. ГОСТ 26574-85. Мука пшеничная хлебопекарная. Технические условия.

18. Греков, В. А. Кислотность и известкование пахотных почв Украины / В. А. Греков, А. И. Мельник // Плодородие. – 2011. – № 1(58). – С. 4-6.

19. Гришин, Г. Е. Изменение плодородия черноземной почвы под влиянием известкования и органических удобрений / Г. Е. Гришин, Е. В. Курносова // Проблемы плодородия почв на современном этапе развития : Сборник материалов Всероссийской научно-практической конференции, Пенза, 19–20 ноября 2002 года. – Пенза: Пензенская государственная сельскохозяйственная академия, 2002. – С. 91-93.

20. Державин, Л. М. Эффективность минеральных удобрений при интенсификации земледелия и почвенно-агрохимические условия их рационального использования в СССР: автореф. дис. ... д-ра с.-х. наук. – М., 1986. – 50 с

21. Дериглазова, Г. М. Эффективность удобрений и известкования черноземных почв ЦЧР при возделывании ярового ячменя на склоне северной экспозиции / Г. М. Дериглазова // Вестник Орловского государственного аграрного университета. – 2013. – № 1(40). – С. 12-16.

22. Дерюгин, И. П. Агрохимическое обоснование оптимальных параметров содержания в почве подвижных форм фосфора и калия и оптимизация фосфор-

ных и калийных удобрений на дерново-подзолистых почвах /И.П. Дерюгин, Н.А. Кирпичников, В.В. Прокошев // Агрохимия. – 1995. – № 2. – С. 3-12.

23. Доросинский Л.М. Бактериальные удобрения – дополнительное средство повышения урожая. М.: Россельхозиздат, 1965. 171 с.

24. Доспехов, Б. А. Методика полевого опыта : с основами стат. обраб. результатов исслед. по агр. спец. / Б. А. Доспехов; Д. В. Васильева [и др.] - 5-е изд., доп. и перераб. – М. : Агропромиздат, 1985. – 351 с.

25. Дубовик, Д. В. Влияние вида севооборота и известкования на кислотные свойства почвы и урожайность зерна озимой пшеницы / Д. В. Дубовик, Д. Ю. Виноградов // Информационно-технологическое обеспечение адаптивно-ландшафтных систем земледелия: Сборник докладов Всероссийской научно-практической конференции, Курск, 11–13 сентября 2012 года: Всероссийский научно-исследовательский институт земледелия и защиты почв от эрозии Россельхозакадемии, 2012. – С. 95-99.

26. Дудкина, Т. А. Действие севооборота и минеральных удобрений на урожайность озимой пшеницы и структуру почвы / Т. А. Дудкина // Приоритеты агропромышленного комплекса: научная дискуссия : материалы международной научно-практической конференции посвященной 30-летию Независимости Республики Казахстан, Петропавловск, 19 марта 2021 года. – Петропавловск: Северо-Казахстанский государственный университет им. М. Козыбаева, 2021. – С. 89-92.

27. Завьялова, Н. Е. Влияние минеральных удобрений и известкования на биологическую активность дерново-подзолистой почвы / Н. Е. Завьялова, Е. М. Митрофанова // Агрохимия. – 2008. – № 12. – С. 29-34.

28. Зубков, Н. В. Известкование почвы, загрязненной тяжелыми металлами, и элементный состав растений / Н. В. Зубков, В. М. Зубкова // Вестник Московского городского педагогического университета. Серия: Естественные науки. – 2013. – № 2(12). – С. 79-90.

29. Ивойлов, А.В. Основные результаты исследований и проблемы известкования выщелоченных черноземов республики Мордовия // Вопросы известкования почв / под ред. Шильникова И.А., Акановой Н.И. М.: Агроконсалт, 2002. С. 74-78.

30. Известкование как фактор формирования урожайности полевых севооборотов и экологической устойчивости агроценозов / И. А. Шильников, Н. И. Аканова, Е. В. Курносова [и др.] // Нива Поволжья. – 2012. – № 3(24). – С. 23-32.

31. Ильин, В.Б. Тяжелые металлы в растениях / В.Б. Ильин, П.В. Гармаш // Агрохимия. – 1985. – №6. – С. 7-13

32. Ильин, В. Б. О нормировании тяжелых металлов в почве / В. Б. Ильин // Почвоведение. – 1986. – № 9. – С. 90-98.

33. Кабанов, П.Г. Погода и поле. - Саратов: Приволж. кн. изд-во, 1975. - 239 с.

34. Карпова, А. Ю. Влияние известкования на содержание подвижных форм алюминия в дерново-подзолистой почве и урожайность полевых культур /

А. Ю. Карпова, А. Н. Исупов, А. С. Башков, Т. Ю. Бортник // Вестник Удмуртского университета. Серия Биология. Науки о Земле. – 2013. – № 3. – С. 15-22.

35. Касатиков, В. А. Последствие внесения ОСВ и известкования на содержание подвижных форм тяжелых металлов в пахотном слое почвы и их транслокацию в растительную продукцию / В. А. Касатиков, М. С. Чемерис, И. М. Яшин, А. А. Пескарев // Плодородие. – 2012. – № 5(68). – С. 45-47.

36. Кирпичников, Н. А. Влияние извести при различных уровнях фосфатов в дерново-подзолистой тяжелосуглинистой почве на урожайность клевера и размеры азотфиксации / Н. А. Кирпичников, С. А. Ермолаев, М. С. Ягодина // Вопросы известкования почв: Сборник статей / Всероссийский научно-исследовательский институт удобрений и агропочвоведения им. Д.Н. Прянишникова. – Москва :Агроконсалт, 2002. – С. 101-106.

37. Кирпичников, Н. А. Последствие фосфорных удобрений на урожайность сельскохозяйственных культур при известковании дерново-подзолистой тяжелосуглинистой почвы / Н. А. Кирпичников, С. А. Ермолаев, И. А. Шильников, Е. А. Волосатова // Вопросы известкования почв : Сборник статей / Всероссийский научно-исследовательский институт удобрений и агропочвоведения им. Д.Н. Прянишникова. – Москва :Агроконсалт, 2002. – С. 98-101.

38. Корченкина, Н. А. Влияние минеральных удобрений и последствие известкования на динамику содержания подвижных форм калия в светло-серой лесной почве / Н. А. Корченкина, Р. М. Махалов // Плодородие. – 2015. – № 3(84). – С. 8-10.

39. Корченкина, Н. А. Последствие известкования и длительного внесения удобрений на динамику физико-химических свойств светло-серой лесной почвы / Н. А. Корченкина, А. И. Гувеннов, Ю. А. Богомолова, Р. М. Махалов // Агрохимический вестник. – 2017. – № 5. – С. 2-6.

40. Кулаковская, Т.Н. Почвенно-агрохимические основы получения высоких урожаев / Т.Н. Кулаковская. – Минск: Ураджай, 1978. – 272 с

41. Кулаковская Т.Н. Оптимизация агрохимической системы почвенного питания растений. М.: Изд-во ВО Агропромиздат, 1990. - 218 с.

42. Курносова, Е. В. Изменение агромелиоративного состояния чернозема выщелоченного под действием дефеката и органических удобрений в условиях лесостепного Поволжья: специальность 06.01.02 "Мелиорация, рекультивация и охрана земель": диссертация на соискание ученой степени кандидата сельскохозяйственных наук / Курносова Елена Владимировна. – Пенза, 2005. – 219 с.

43. Курносова, Е. В. Изменение кислотно-основных свойств почвы и ее биологической активности на фоне известкования и удобрений / Е. В. Курносова // Современные проблемы лесных биоэкосистем : Сборник статей II Всероссийской научно-практической конференции, Пенза, 26–27 сентября 2013 года. – Пенза: Пензенская государственная сельскохозяйственная академия, 2013. – С. 54-57.

44. Кучаева В.Н., Ключкина Р.К., Крончев Н.И., Скалкина Л.И. Метод.пособие. - Сорты и гибриды полевых культур в Поволжье. – Ульяновск, УГСХА, 1997. 46 с.

45. Лебедева, Т. Б. Известкование как средство охраны плодородия черноземных почв / Т. Б. Лебедева // Вопросы экологии в интенсивных системах земледелия Поволжья: Тезисы докладов научно-практической конференции, Саратов, 02–06 апреля 1990 года. – Саратов: Саратовский государственный университет, 1990. – С. 53-54.
46. Ломако, Е. И. Эффективность известкования кислых почв / Е. И. Ломако, С. Ш. Нуриев // Агрохимический вестник. – 2001. – № 6. – С. 10-13.
47. Литвинович, А.В. Продолжительность действия известковых мелиорантов в почвах и эффективность известкования / А.В. Литвинович, З.П. Небольсина // Агрохимия. – 2012. – № 10. – С. 79-94.
48. Литвинович, А. В. Изменение величины почвенной кислотности в процессе взаимодействия мелиорантов с почвами (по данным лабораторных и вегетационного опытов) / А. В. Литвинович, О. Ю. Павлова // Агрохимия. – 2010. – № 10. – С. 3-10.
49. Литвинович, А. В. Сортная реакция яровой пшеницы на известкование при различных уровнях азотного питания / А. В. Литвинович, А. О. Ковлева, Ю. В. Хомяков [и др.] // Агрохимия. – 2017. – № 5. – С. 78-85.
50. Лозовая, Н. Е. Действие извести и удобрений на агрохимические свойства серой лесной почвы и урожайность по левых культур / Н. Е. Лозовая, В. Т. Мальцев, В. Н. Мошкарёв // Сибирский вестник сельскохозяйственной науки. – 2007. – № 12(180). – С. 14-21.
51. Лукманов, А. А. Технологии возделывания яровой Пшеницы на выщелоченных черноземах среднего Поволжья / А. А. Лукманов, Н. А. Логинов, Ф. Н. Сафиоллин // Агрохимический вестник. – 2022. – № 1. – С. 3-7.
52. Макаров, Б.Н. Газообразные потери азота почвы и удобрений и приемы их снижения / Б. Н. Макаров // Агрохимия. – 1994. – № 1. – С. 101-114.
53. Маковский, Р. Д. Нетрадиционные химмелиоранты и агрофизические свойства дерново-подзолистой почвы / Р. Д. Маковский, Н. Г. Пушкарева, А. Г. Прудникова // Агрохимический вестник. – 2008. – № 3. – С. 2-4.
54. Матаруева, И. А. Микробиологические закономерности формирования гумусных запасов дерново-подзолистых почв / И. А. Матаруева; Федеральное агентство по сельскому хозяйству, ФГОУ ВПО Костромская государственная сельскохозяйственная академия, Кафедра ботаники и физиологии растений. – Кострома: Костромская государственная сельскохозяйственная академия, 2005. – 189 с.
55. Мацнев, И. Н. Влияние минеральных удобрений и известкования почвы на агрохимические свойства выщелоченного чернозема и продуктивность картофеля / И. Н. Мацнев, В. А. Арзыбов // Вестник Мичуринского государственного аграрного университета. – 2014. – № 3. – С. 30-34.
56. Мерзлая, Г. Е. Влияние известкования и разных систем удобрения на физико-химические свойства чернозема выщелоченного / Г. Е. Мерзлая, С. М. Надежкин, Е. В. Никулина // Вопросы известкования почв: Сборник статей / Всероссийский научно-исследовательский институт удобрений и агропочвоведения им. Д.Н. Прянишникова. – Москва :Агроконсалт, 2002. – С. 115-119.

57. Микулич, В. А. Состав и вынос элементов питания урожаем яровой пшеницы при различной обеспеченности фосфором дерново-подзолистой супесчаной почвы / В. А. Микулич // Почвоведение и агрохимия. – 2011. – № 1(46). – С. 135-145)
58. Минеев, В. Г. Влияние длительного применения удобрений и известкования на биологические свойства почвы / В. Г. Минеев, Н. Ф. Гомонова, Е. В. Морачевская // Проблемы агрохимии и экологии. – 2014. – № 1. – С. 3-9.
59. Миннуллин, Р. М. Известкование почв местными карбонатными породами в Республике Татарстан / Р. М. Миннуллин // Агрохимический вестник. – 2008. – № 4. – С. 21-22.
60. Митрофанова, Е. М. Влияние известкования и минеральных удобрений на кислотность дерново-подзолистой почвы Предуралья / Е. М. Митрофанова // Агрохимия. – 2015. – № 7. – С. 3-10
61. Михайлова, Л. А. Влияние известкования на фосфатный режим дерново-подзолистых почв разной степени окультуренности / Л. А. Михайлова, Л. В. Дербенева // Аграрная наука Евро-Северо-Востока. – 2007. – № 10. – С. 28-32.
62. Моисеев, А. А. Влияние известкования и минеральных удобрений на кислотность чернозема выщелоченного и содержание элементов питания под посевами сои / А. А. Моисеев, Л. Н. Прокина, В. И. Каргин // Аграрная наука Евро-Северо-Востока. – 2005. – № 6. – С. 70-75.
63. Моисеев, А. А. Влияние минеральных и известковых удобрений на баланс гумуса в зернотравяно-пропашных севооборотах на черноземах выщелоченных юга лесостепи Нечерноземья / А. А. Моисеев, Л. Н. Прокина, В. И. Каргин, Е. В. Медведева // Аграрная наука Евро-Северо-Востока. – 2006. – № 8. – С. 94-98.
64. Муха, В. Д. Естественно-антропогенная эволюция почв: (общ.закономерности и зонал. особенности) / В. Д. Муха ; В. Д. Муха. – Москва: КолосС, 2004. – 271 с.
65. Надежкин, С. М. Влияние известкования на гумусное состояние почв лесостепи Поволжья / С. М. Надежкин, Е. В. Надежкина // Вопросы известкования почв: Сборник статей / Всероссийский научно-исследовательский институт удобрений и агропочвоведения им. Д.Н. Прянишникова. – Москва :Агроконсалт, 2002. – С. 119-125.
66. Надежкин, С. М. Экологические аспекты известкования чернозёмов: Научное издание / С. М. Надежкин, Т. Б. Лебедева, Е. В. Надежкина; Пензенская государственная сельскохозяйственная академия. – Москва: Агроконсалт, 2005. – 276 с.
67. Науменко, А. В. Плодородие луговой черноземовидной почвы и урожайность культур в зависимости от известкования на фоне длительного применения удобрений / А. В. Науменко // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. – 2010. – № 2(64). – С. 35-41.
68. Нуриев, С.Ш. Экологическая роль известкования кислых почв в Республике Татарстан / С. Ш. Нуриев, А. А. Лукманов, А. И. Ахтямов, Р. М. Миннуллин // Агрохимический вестник. – 2010. – № 1. – С. 2-4.

69. Окорков, В. В. Влияние извести и минеральных удобрений на агрохимические свойства серой лесной почвы Владимирского Ополя и продуктивность севооборота / В. В. Окорков, А. А. Григорьев // *Агрохимия*. – 1997. – № 2. – С. 20-25.
70. Окорков, В. В. О механизме и эффективности взаимодействия извести с кислыми почвами / В. В. Окорков // *Агрохимия*. – 2004. – № 7. – С. 11-21.
71. Осипов, А. И. Влияние агрохимикатов на качество выращиваемой продукции / А. И. Осипов // *Здоровье - основа человеческого потенциала: проблемы и пути их решения*. – 2011. – Т. 6. – № 1. – С. 615-616.
72. Осипов, А. И. Использование золошлаковых отходов ТЭС в качестве мелиорантов кислых почв / А. И. Осипов, А. С. Оглуздин // *Вопросы известкования почв: Сборник статей / Всероссийский научно-исследовательский институт удобрений и агропочвоведения им. Д.Н. Прянишникова*. – Москва: Агроконсалт, 2002. – С. 145-147.
73. Палавеев, Т. Д. Кислотность почв и методы ее устранения / Т. Палавеев, Т. Тотев; Перевод с болг. Е. И. Григорьева, А. П. Смирнова. - М.: Колос, 1983. - 165 с.
74. Парфенова, Е. А. Известкование как способ снижения техногенной нагрузки на почвы / Е. А. Парфенова, В. А. Герасимов // *Экологические проблемы субъектов экономики : сборник материалов международной научно-практической конференции, Пенза, 17–18 декабря 2015 года*. – Пенза: Пензенский государственный технологический университет, 2015. – С. 230-232.
75. Переведенцев, Ю. П. Изменение основных климатических показателей на территории Ульяновской области / Ю. П. Переведенцев, Р. Б. Шарипова // *Вестник Удмуртского университета. Серия Биология. Науки о Земле*. – 2012. – № 1. – С. 136-144.
76. Пивоваров Г.Е., Ширская Г.М., Гомонова Н.Ф. Токсичность дерново-подзолистой почвы и меры ее снижения при систематическом применении минеральных удобрений // *Пути повышения эффективности удобрений и плодородия Нечерноземной зоны*. – М.: Изд-во МГУ, 1986. – С. 108–122
77. Потатуева, Ю. А. Результаты первичного длительного и повторного известкования / Ю. А. Потатуева, В. Г. Игнатов // *Агрохимический вестник*. – 2008. – № 5. – С. 23-25.
78. Практикум по агрохимии: Учеб.пособие. – Под ред. академика РАСХН В.Г. Минеева. – М: Изд-во МГУ, 2001 689 с.
79. Практикум по микробиологии / А.И. Нетрусов [и др.]. Москва: Издательский центр «Академия», 2005. 603 с.
80. Прокина, Л. Н. Влияние известкования, минеральных удобрений на содержание гумуса и общего азота в почве / Л. Н. Прокина, А. А. Моисеев // *Ресурсосберегающие экологически безопасные технологии производства и переработки сельскохозяйственной продукции, Саранск, 09–10 апреля 2015 года*. – Саранск: Национальный исследовательский Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарёва, 2016. – С. 265-268.
81. Прокопчук, В. Ф. Сравнительная характеристика воздействия извести на

- свойства почв Восточной буроземно-лесной области / В. Ф. Прокопчук // Дальневосточный аграрный вестник. – 2011. – № 3(19). – С. 10-16.
82. Пряхин, А. В. Урожайность озимой пшеницы от последействия известкования и различных доз минеральных удобрений в севооборотах / А. В. Пряхин, Ю. А. Богомолова, А. П. Осипов // Вестник Нижегородской государственной сельскохозяйственной академии. – 2013. – Т. 3. – С. 267-269.
83. Пушкарева, П. Г. Известкование и ферментативная активность почвы / П. Г. Пушкарева, Р. Д. Маковский, Е. И. Сарапульцева, Н. Н. Павлова // Агрехимический вестник. – 2008. – № 3. – С. 7-8.
84. Сафонов, А. Ф. Состояние плодородия дерново-подзолистой почвы и продуктивность полевых культур при длительном применении удобрений и известкования в бесменных посевах и севообороте / А.Ф. Сафонов, А.А. Алфиров, М.А. Золотарев // Известия Тимирязевской сельскохозяйственной академии. – 2002. – № 2. – С. 22.
85. Сафонов, А.Ф. Структура сорного компонента агрофитоценоза и урожайность озимой ржи при длительном применении удобрений и известкования в бесменных посевах и севообороте / А. Ф. Сафонов, В. И. Лабунский // Известия Тимирязевской сельскохозяйственной академии. – 2004. – №3. – с. 21-32.
86. Семионова, Н.А. Структурно-функциональное разнообразие бактериальных комплексов различных типов почв / Н.А. Семионова [и др.] // Почвоведение. – 2002. – № 4. – С. 453-464.
87. Скоропанов, С. Г. Мелиорация земель и охрана окружающей среды / С. Г. Скоропанов, В. Ф. Карловский, В. С. Брезгунов. - Минск: Ураджай, 1982. - 167 с.
88. Скрипчиненко, И. И. Оценка токсического действия тяжелых металлов (свинца) на растения овса / И. И. Скрипчиненко, Б. Н. Золотарева // Агрехимия. – 1981. – № 1. – С. 103-109.
89. Смирнов, П. М. Агрехимия: [Учеб. по агр. спец.] / П. М. Смирнов, Э. А. Муравин. - 2-е изд., перераб. и доп. - М. : Агропромиздат, 1988. - 446 с.
90. Ставрова-Тулина, Н. Г. Влияние навоза, извести и минеральных удобрений на урожайность культур и содержание в них  $^{137}\text{Cs}$  / Н. Г. Ставрова-Тулина, Н. М. Белоус, Г. Е. Мерзлая // Вопросы известкования почв: Сборник статей / Всероссийский научно-исследовательский институт удобрений и агропочвоведения им. Д.Н. Прянишникова. – Москва: Агроконсалт, 2002. – С. 187-192.
91. Сычев, В. Г. Современное состояние плодородия почв и основные аспекты его регулирования / В. Г. Сычев. – Москва: Российская академия наук, 2019. – 328 с.
92. Талашов, Д. Н. Зола-унос ТЭС и котельных как замена местных известковых материалов / Д. Н. Талашов, Е. Н. Волкова // АгроЭкоИнфо. – 2012. – № 2(11). – С. 1-2.
93. Теппер Е.З. Практикум по микробиологии / Е.З. Теппер, В.К. Шильникова, Г.И. Переверзева. М.: Дрофа, 2004. – 256 с.
94. Тиво, П. Ф. К вопросу известкования кислых почв / П. Ф. Тиво, В. Н. Филиппов // Мелиорация. – 2018. – № 2(84). – С. 33-42.

95. Титовская, А. И. Изменение структурного состояния почвы в зависимости от систем обработки / А. И. Титовская // Вестник Курской государственной сельскохозяйственной академии. – 2014. – № 7. – С. 51-53.
96. Трепачёв, Е. П. Определение истинной азотфиксации бобовыми / Е.П. Трепачёв, А.И. Хабарова // Вестник с.-х. науки. – 1976. – № 12. – С. 105-108.
97. Трофимов, И.Т. Отношение сельскохозяйственных культур к почвенной кислотности и повышение их продуктивности / И.Т. Трофимов, Л.А. Ступина // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. – 2006. – № 2 (22). – С. 20-24.
98. Трубников, Ю. Н. Кислые почвы Приенисейской Сибири и отзывчивость сельскохозяйственных культур на известкование / Ю. Н. Трубников // Достижения науки и техники АПК. – 2011. – № 1. – С. 19-21.
99. Умаров М.М. Ассоциативная азотфиксация. М.: МГУ, 1986. 136 с.
100. Федорова И. Влияние известкования и кислотности почвы на поступление в растение тяжелых металлов / И. Федорова, М. Щанкина, Ю. Алферова, Е. Черемина / В сборнике: Материалы 39 научной конференции молодых ученых, аспирантов и студентов агрономического факультета, 2000. С. 19-20.
101. Фирсов, С. А. Эффективность известкования отходным мелом дерново-подзолистых почв / С. А. Фирсов // Плодородие. – 2009. – № 1(46). – С. 7-8.
102. Хазиев Ф.Х. Методы почвенной энзимологии / Ф.Х. Хазиев. М.: Наука, 2005. 252 с.
103. Ходько М.И., Бунина Н.Э. Различные способы определения норм удобрений под сельскохозяйственные культуры и их критическая оценка. Методические указания. Ульяновск: Ульяновский государственный сельскохозяйственный институт. – 1996. 26 с.
104. Чекмарев, П. А. Состояние кислотности почв республики Татарстан / П. А. Чекмарев, А. А. Лукманов, С. Ш. Нуриев, Р. Р. Гайров // Достижения науки и техники АПК. – 2013. – № 12. – С. 8-11.
105. Черкасов, Е. А. Динамика кислотности пахотных почв Ульяновской области / Е. А. Черкасов, Б. К. Саматов, А. В. Карпов // Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии. – 2011. – № 3(15). – С. 31-34.
106. Черкасов, Е.А. Динамика кислотности пахотных почв Ульяновской области / Е.А. Черкасов, Д.А. Лобачёв, К.Ч. Хисамова // Фундаментальные и прикладные основы сохранения плодородия почвы и получения экологически безопасной продукции растениеводства : материалы Всероссийской научно-практической конференции с Международным участием, посвященной 75-летию проф. А.Х. Куликовой. - Ульяновск : УлГАУ, 2017. - С. 403-409.
107. Чернышов, Е. В. Влияние фитомелиорантов и известкования на содержание гумуса в почве / Е. В. Чернышов // Агрохимические приемы повышения плодородия почв и продуктивности сельскохозяйственных культур в адаптивно-ландшафтных системах земледелия: Материалы 40-ой Междун. научн. конф., Москва, 19-20 апреля 2006 года. – Москва: Российская академия сельскохозяйственных наук, 2006. – С. 66-69.
108. Черных, Н. А. Экотоксикологические аспекты загрязнения почв тяже-

лыми металлами / Н.А. Черных, Н.З. Милащенко, В.Ф. Ладонин. - М.: Агроконсалт, 1999. - 175 с.

109. Черных, Н.А. Тяжелые металлы и радионуклиды в биогеоценозах / Н.А. Черных, М.М. Овчаренко. М.: Агроконсалт, 2002. 198с.

110. Чернышов, Е.В. Изменение агромелиоративных свойств чернозема выщелоченного под влиянием фитомелиорантов и известкования в условиях лесостепного Поволжья: диссертация ... кандидата сельскохозяйственных наук: 06.01.02. - Пенза, 2006. - 205 с.

111. Цыганок, С. И. Влияние длительного применения фосфорных и известковых удобрений на накопление тяжелых металлов в почве и растительной продукции: автореферат дис. ... кандидата биологических наук: 06.01.04 / Цыганок Сергей Иванович. - Москва, 1994. - 30 с.

112. Шарипова, Р. Б. Агроклиматическая оценка атмосферных засух и урожайности на территории ГНУ Ульяновский НИИСХ / Р. Б. Шарипова, А. Г. Галиакберов, С. Н. Никитин, М. М. Сабитов // Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии. – 2011. – № 3(15). – С. 35-39.

113. Шарипова, Р.Б. Тенденция изменения заморозков в условиях агроландшафта Ульяновской области / Р. Б. Шарипова // Интродукция нетрадиционных и редких сельскохозяйственных растений. Ульяновск. – 2002.– с. 222–224.

114. Шеметов И.И. Влияние многолетних растений на показатели плодородия светло-серых лесных почв Предбайкалья: Автореф. дис. ... канд. с.-х. наук. Улан-Удэ: Иркутская гос. с.-х. академия, 2007. 19 с.

115. Шильников, И. А. Эффективность известкования и минеральных удобрений на дерново-подзолистой легкосуглинистой почве / И. А. Шильников, Н. И. Аканова, Л. П. Удалова, А. А. Нестеров // Агрохимия. – 2002. – № 6. – С. 44-52.

116. Шильников, И.А. Известкование почв / И.А. Шильников, Л.А. Лебедева. – М.: Агропромиздат, 1987. – 171 с

117. Шильников, И. А. Значение известкования и потребность в известковых удобрениях / И. А. Шильников, Н. И. Аканова, В. Н. Темников // Агрохимический вестник. – 2008. – № 6. – С. 28-31.

118. Шильников, И. А. Природоохранное значение известкования почв / И. А. Шильников, Г. Е. Гришин, Н. И. Аканова // Нива Поволжья. – 2008. – № 1(6). – С. 17-20.

119. Шильников, И. А. Эффективность воздействия известкования почв на урожай и качество картофеля / И. А. Шильников, Н. И. Аканова, Г. Е. Гришин, Н. А. Зеленов // Нива Поволжья. – 2010. – № 3(16). – С. 50-53.

120. Шильников, И. А. Эффективность известкования в условиях засухи / И. А. Шильников, Н. И. Аканова, Н. А. Зеленов, М. Г. Маренкова // Нива Поволжья. – 2011. – № 1(18). – С. 81-86.

121. Шильников, И.А. Эколого-агрохимические и природоохранные аспекты эффективности химической мелиорации почв / И. А. Шильников, Н. А. Кирпичников, Н. И. Аканова [и др.] // XXI век: итоги прошлого и проблемы насто-

ящего плюс. – 2014. – № 1(17). – С. 67-73.

122. Щедрин, В. Н. Комплекс мероприятий, направленных на сохранение и восстановление почвенного плодородия при циклическом орошении сельскохозяйственных культур в Волгоградской области / В. Н. Щедрин, Г. Т. Балакай, С. М. Васильев [и др.]. – Новочеркасск: Российский научно-исследовательский институт проблем мелиорации, 2015. – 76 с.

123. Щербакова, Т. А. Ферментативная активность почв и трансформация органического вещества: (В естеств. и искусств. фитоценозах) / Т. А. Щербакова. - Минск: Наука и техника, 1983. – 222 с.

124. Югай, А. М. Оптимизация кислотности почв - важное условие эффективного сельского хозяйства / А. М. Югай // Экономика сельского хозяйства России. – 2014. – № 4. – С. 45-53.

125. Юркин, С. Н. Балансовый метод анализа систем удобрений в круговороте веществ / С. Н. Юркин // Проблемы земледелия. М., 1978. С.176-186.

126. Яйцев, В. С. К вопросу влияния известкования на загрязнение почвы и сельскохозяйственной продукции тяжелыми металлами и радионуклидами / В. С. Яйцев, Л. А. Кузнецова // RussianAgriculturalScienceReview. – 2015. – Т. 5. – № 5-1. – С. 49-54.

127. Яненков, С. А. Оценка эффективности различных мелиорантов при известковании кислых дерново-подзолистых почв под кормовые культуры: автореф. дис. ... канд. с.-х. наук: 06.01.12, 06.01.04 / Яненков Сергей Анатольевич; [Место защиты: Смол.гос. с.-х. акад.]. - Смоленск, 2009. - 20 с.

128. An, Y.H. Mechanisms of bacterial adhesion and pathogenesis of implant and tissue infections / Y.H. An, R.B. Dickinson, R.J. Doyle // Handbook of bacterial adhesion: principles, methods, and applications, 2000. № 2. P. 1-27.

129. Farina, M.P.W. and P. Channon. 1988 Acid-subsoil amelioration. I. A comparison of several mechanical procedures. Soil Sci. Soc. Am. J. 52. P. 169-175.

130. Farina, M.P.W, P. Channon, and G.R. Thibaud. 2000. A comparison of strategies for ameliorating subsoil acidity: I. Long-term growth effects. Soil Sci. Soc. Am. J. 64:646-651.

131. Ferguson, H.J. 1995 Soil Survey of Macon County, Missouri. USDA, SCS. pp. 158

132. Soil Acidity and Liming: сайт. – URL: <http://broome.soil.ncsu.edu/ssc051/Lec6.htm> (дата обращения: 03.04.2022).

133. Soil acidity and liming: сайт. – URL: [https://www.dpi.nsw.gov.au/data/assets/pdf\\_file/0007/167209/soil-acidity-liming.pdf](https://www.dpi.nsw.gov.au/data/assets/pdf_file/0007/167209/soil-acidity-liming.pdf) (дата обращения: 03.04.2022).

134. Tupper, G.R., H.C. Pringle, III, M.W. Ebelhar, and J.G. Hamill. 1987 Soybean yield and economic response to broadcast incorporated and deep band placement of lime on low pH soils. Mississippi Agri. & Forestry Ext. Station Bulletin 950 pp. 7

135. Liming Acid Soils in Central B. C. Ministry of agriculture Angus Campbell Road Abbotsford, B. C. Revised December. – 2015 – 5 p.

136. Jaskulskal, D. Effect of liming on the change of some agrochemical soil properties in a long-term fertilization experiment / D. Jaskulski, M. Koberski // Plant

Soil Environ. – 2014 – Vol. 60, №.4 – P. 146 – 150

137. Buny, A. Effects of Liming Acidic Soils on Improving Soil Properties and Yield of Haricot Bean//Environmental & Analytical Toxicology. – 2014 – Volume 5 – Issue 1 – 4 p.

138. Hoyt P.B., Nyborg M. Field calibration of liming responses of four crops using soil pH, Al and Mn // Plant and Soil. – 1987. 102. – N 1. – P.21-25.

139. Kerschberger M., Richter D. Ermittlung optimaler pH-Werte und pH-Stufen der Ackerböden für die Pflanzenproduktion. Arch.Acker - u.Pflanzenbau.Bodenkd., 1982. - Bd.26,H.3 - P. 153-158.

140. Bell P.F. Predicting liming needs of soybean using soil pH, aluminium and manganese soil tests // Commun. soil sci. plant analyses. 1996. V. 27. № 13/14. P. 2749-2764.

141. Benninger Traux M., Taylor D.H. Municipal sludge metal contamination of oil-field ecosystems: do liming and tilling affect remediation? // Environmental Toxicology and Chemistry. 1993. V. 12. № 10. P. 1931-1943.

142. Ganev S., Gushevilov Z. The effectiveness of liming and fertilizing acid soils for crops differing in acid sensitivity // Fiziologiyana Rastenyata, 1992. V. 18. № 2. P. 56-65.

143. Kloke A. Der Einfluss von Phosphatdüngern auf den Cadmiumgehalt in Pflanzen// Gesunde Pflanz. 32. 1980. 261

144. Kurtinecz P. Efectual de lung durat al amendarii si fertilizarii solurilor acide din nord-vestul Pomnili // Prod. Veget. Cereale plantatehn. – 1988. – Vol. 40. – No. 11. – P. 23-29.

## Динамика изменения кислотности почв пашни Ульяновской области

## по циклам обследования

Циклы и годы обследования	Обследованная площадь, тыс. га процент	Степень кислотности						
		очень сильно кислые	сильно кислые	среднекислые	слабо кислые	Итого кислых почв	близкие к нейтральным	нейтральные
I цикл 1965-1969 гг.	1823,4	-	2,9	64,1	530,7	597,7	502,9	722,8
	100	-	0,2	3,5	29,1	32,8	27,6	39,6
II цикл 1970-1977 гг.	1809,7	-	6,0	92,9	524,4	623,3	338,1	848,3
	100	-	0,3	5,1	29,0	34,5	18,7	46,9
III цикл 1978-1985 гг.	1786,0	0,3	6,4	110,9	512,2	629,8	341,8	814,4
	100	0,02	0,4	6,2	28,7	35,3	19,1	45,6
IV цикл 1985-1990 гг.	1743,4	-	7,6	173,2	642,7	823,5	291,4	628,5
	100	-	0,4	9,9	36,9	47,2	16,7	36,1
V цикл 1990-1994 гг.	1704,4	1,0	14,0	182,2	589,6	786,8	276,9	640,7
	100	0,06	0,8	10,7	34,6	46,2	16,3	37,6
VI цикл 1994-1999 гг.	1649,4	1,6	19,2	200,4	563,0	784,2	258,6	606,6
	100	0,1	1,2	12,2	34,1	47,6	15,7	36,8
VII цикл 1999-2005 гг.	1497,9	1,5	16,0	193,0	504,8	715,3	253,2	529,4
	100	0,1	1,1	12,9	33,7	47,8	16,9	35,3
VIII цикл 2005-2016 гг.	1392,3	1,2	15,3	211,5	457,5	685,5	221,2	485,6
	100	0,1	1,1	15,1	32,9	49,2	15,9	34,9

## Температурный режим и количество осадков (2015-2020 гг.)

Показатели	Январь	Февраль	Март	Апрель			Май			Июнь			Июль			Август			Сентябрь	Октябрь	Ноябрь	Декабрь	Итого за год	
				1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3						
2015 год																								
Температура средняя, С <sup>0</sup>	-9,9	-7,7	-3,6	1,5	5,8	7	13,1	12,6	21,6	17,9	20,7	25,0	19,1	17,4	19,9	18,4	15,7	15,5	15,6	2,8	-0,3	-3,1	6,0	
				4,7			16,0			21,2			18,8			16,5								
Сумма осадков, мм	22,1	35,4	7,7	12,9	16,3	12,2	0	21,8	7,6	15,5	0	7,3	78,3	38,3	2,0	5,3	7,3	7,0	19,3	42,3	80,4	37,3	476,3	
				41,4			29,4			22,8			118,6			19,6								
ГТК							0,6			0,4			2,0			0,4			0,4					
2016 год																								
Температура средняя, С <sup>0</sup>	-12,3	-2,6	-1,3	4,9	10,7	10,2	12,7	13,0	18,9	13,6	20,4	19,9	19,7	22,8	21,7	23,5	24,4	20,6	11,4	4,2	-3,8	-10,9	5,9	
				8,6			15,0			18,0			21,4			22,7								
Сумма осадков, мм	72,0	28,3	39,8	23,7	16,5	7,3	12,0	35,8	23,3	59,6	11,9	6,3	21,0	2,0	42,0	17,0	2,3	4,0	111,0	22,5	55,9	25,0	639,2	
				47,5			71,1			77,8			65,0			23,3								
ГТК							1,5			1,4			1,0			1,0			3,2					
2017 год																								
Температура средняя, С <sup>0</sup>	-11,2	-7,9	-1,3	2,1	5,3	9,0	13,0	10,2	12,5	12,5	17,1	17,1	16,9	20,2	20,9	20,6	18,1	18,8	12,6	4,5	-0,3	-4,6	5,3	
				5,5			11,9			15,6			19,4			19,2								
Сумма осадков, мм	36,9	32,2	15,1	8,0	17,8	30,3	3,3	18,0	31,1	21,0	9,7	33,8	167,1	7,5	15,6	0,9	0	16,5	60,3	79,8	24,3	44,0	673,2	
				56,1			52,4			64,5			190,2			17,4								
ГТК							1,4			1,4			3,2			0,3			1,6					

Температурный режим и количество осадков (2015 – 2020 гг.)

Показатели	Ян-варь	Фев-раль	Март	Апрель			Май			Июнь			Июль			Август			Сен-тябрь	Ок-тябрь	Но-ябрь	Де-кабрь	Ито-го за	
				1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3						
2018 год																								
Температура средняя, С <sup>0</sup>	-9,8	-13,6	-10,2	3,0	5,4	6,4	14,0	16,0	13,8	12,4	15,7	22,4	23,1	22,0	22,1	21,3	19,3	17,8	14,2	6,6	-3,6	-8,3	4,6	
				4,9			14,8			16,8			22,4			19,4								
Сумма осадков, мм	31,3	7,7	38,7	7,2	12,1	56,1	6,8	16	7,4	9,6	3,5	0,8	2,3	12,8	4,5	3,0	4,8	11,0	30,9	49,8	15,0	44,8	376,1	
				75,4			30,2			13,9			19,6			18,8								
ГТК							0,7			0,3			0,3			0,3			0,7					
2019 год																								
Температура средняя, С <sup>0</sup>	-11,5	-7,2	-1,5	3,9	5,1	8,9	15,6	17,5	17,0	19,6	18,5	19,5	18,0	19,4	18,6	15,0	18,7	15,0	10,4	8,5	-2,4	-4,4	5,8	
				6,0			16,7			19,2			18,7			16,2								
Сумма осадков, мм	32,8	41,0	68,7	12,6	0	2,0	9,8	2,3	2,4	15,0	1,7	30,1	6,9	21,8	10,0	100,3	9,3	4,3	42,7	48,3	14,8	22,0	498,8	
				14,6			14,5			46,8			38,7			113,9								
ГТК							0,3			0,8			0,7			2,3			1,4					
2020 год																								
Температура средняя, С <sup>0</sup>	-3,0	-3,9	2,6	4,0	5,4	7,6	14,0	10,3	14,4	16,5	18,9	16,1	23,7	22,2	19,7	19,0	14,2	17,8	12,5	6,5	-2,5	-12,1	6,3	
				5,7			13,0			17,2			21,8			17,0								
Сумма осадков, мм	39,1	26,7	26,8	1,3	20,1	2	5,6	25,3	13,3	44,1	6,8	12,5	22,5	14,0	1,6	25,0	72,0	11,0	9,9	25,3	13,6	18,7	456,6	
				42,8			44,2			63,4			38,1			108,0								
ГТК							1,1			1,2			0,6			2,0			0,3					

## Химический состав мела Шиловского месторождения

Наименование показателя	Фактическое значение, %
Массовая доля углекислого кальция и углекислого магния в пересчете на углекислый кальций ( $\text{CaCO}_3 + \text{MgCO}_3$ )	98,5
Массовая доля веществ, нерастворимых в соляной кислоте (HCl)	0,65
Массовая доля полуторных окислов железа и алюминия	0,30
Массовая доля свободной щелочи в пересчете на оксид кальция (CaO)	0,02
Массовая доля ионов $\text{SO}_4$ в водной вытяжке	0,02
Массовая доля углекислого кальция $\text{CaCO}_3$	94,17
Массовая доля углекислого магния $\text{MgCO}_3$	4,33

Дозы извести в т/га  $\text{CaCO}_3$  в зависимости от величины pH солевой вытяжки

Гранулометрический состав почвы	Величина pH солевой вытяжки					
	4,5 и <	4,6	4,8	5,0	5,2	5,4-5,5
Супесчаные почвы и легкие суглинистые	5,0	4,5	4,0	3,5	3,0	2,5
Средние суглинистые	6,0	5,5	5,0	4,5	4,0	3,5
Тяжелосуглинистые	6,0	7,5	6,2	5,5	5,0	4,5

Влияние известкования почвы на изменения ее кислотности  
под посевами яровой пшеницы (2016 г.)

№ п/п	Доза мела, т/га	рН <sub>KCl</sub> , ед.		Н <sub>г</sub> , мг-экв./100 г	
		посев	уборка	посев	уборка
1	Контроль (фон 1)	5,46	5,47	3,43	3,42
2	фон 1 + CaCO <sub>3</sub> 2 т/га	5,41	5,66	3,42	3,01
3	фон 1 + CaCO <sub>3</sub> 4 т/га	5,43	5,71	3,37	2,99
4	фон 1 + CaCO <sub>3</sub> 6 т/га	5,50	5,81	3,08	2,86
5	N40P40K40 (фон 2)	5,41	5,43	3,37	3,25
6	фон 2 + CaCO <sub>3</sub> 2 т/га	5,41	5,73	3,26	3,12
7	фон 2 + CaCO <sub>3</sub> 4 т/га	5,51	5,73	3,25	2,89
8	фон 2 + CaCO <sub>3</sub> 6 т/га	5,51	5,81	3,11	2,79
НСР <sub>05</sub>	фактор А	0,06	0,06	0,10	0,13
	фактор В	0,08	0,08	0,14	0,18
	Частных средних	0,12	0,12	0,19	0,26

Влияние известкования почвы на изменения ее кислотности  
под посевами яровой пшеницы (2017 г.)

№ п/п	Вариант	рН <sub>КСl</sub> , ед.		Н <sub>г</sub> , мг-экв./100 г	
		посев	уборка	посев	уборка
1	Контроль (фон 1)	5,28	5,42	1,96	1,97
2	фон 1 + СаСО <sub>3</sub> 2 т/га	5,31	5,99	2,12	2,03
3	фон 1 + СаСО <sub>3</sub> 4 т/га	5,42	6,13	2,23	2,02
4	фон 1 + СаСО <sub>3</sub> 6 т/га	5,40	6,31	2,28	2,13
5	N40P40K40 (фон 2)	5,40	5,59	2,12	2,10
6	фон 2 + СаСО <sub>3</sub> 2 т/га	5,40	5,90	2,12	2,02
7	фон 2 + СаСО <sub>3</sub> 4 т/га	5,51	6,01	2,16	2,03
8	фон 2 + СаСО <sub>3</sub> 6 т/га	5,53	6,09	2,32	2,21
НСР <sub>05</sub>	фактор А	0,07	0,09	0,05	0,05
	фактор В	0,09	0,12	0,06	0,07
	Частных средних	0,13	0,18	0,09	0,10

Влияние известкования почвы на изменения ее кислотности  
под посевами яровой пшеницы (2019 г.)

№ п/п	Вариант	рН <sub>КС<sub>2</sub></sub> , ед.		Н <sub>г</sub> , мг-экв./100 г	
		посев	уборка	посев	уборка
1	Контроль (фон 1)	5,45	5,37	2,20	2,08
2	фон 1 + CaCO <sub>3</sub> 2 т/га	5,58	5,66	2,00	1,79
3	фон 1 + CaCO <sub>3</sub> 4 т/га	5,83	5,91	1,76	1,57
4	фон 1 + CaCO <sub>3</sub> 6 т/га	5,84	6,00	1,65	1,47
5	N40P40K40 (фон 2)	5,59	5,47	2,25	2,14
6	фон 2 + CaCO <sub>3</sub> 2 т/га	5,69	5,81	2,02	1,59
7	фон 2 + CaCO <sub>3</sub> 4 т/га	5,94	6,13	1,74	1,54
8	фон 2 + CaCO <sub>3</sub> 6 т/га	5,97	6,26	1,56	1,55
НСР <sub>05</sub>	фактор А	0,12	0,08	0,09	0,08
	фактор В	0,17	0,11	0,13	0,12
	частных средних	0,25	0,16	0,19	0,16

Влияние известкования почвы на изменения ее кислотности  
под посевами яровой пшеницы (средние за 2016, 2017, 2019 г.)

№ п/п	Вариант	рН <sub>КСl</sub>		Н <sub>Г</sub>	
		посев	уборка	посев	уборка
1	Контроль (фон 1)	5,40	5,42	2,53	2,49
2	фон 1 + CaCO <sub>3</sub> 2 т/га	5,43	5,77	2,51	2,28
3	фон 1 + CaCO <sub>3</sub> 4 т/га	5,56	5,92	2,45	2,19
4	фон 1 + CaCO <sub>3</sub> 6 т/га	5,58	6,04	2,33	2,15
5	N40P40K40 (фон 2)	5,47	5,50	2,58	2,50
6	фон 2 + CaCO <sub>3</sub> 2 т/га	5,50	5,81	2,47	2,24
7	фон 2 + CaCO <sub>3</sub> 4 т/га	5,65	5,96	2,38	2,15
8	фон 2 + CaCO <sub>3</sub> 6 т/га	5,67	6,05	2,33	2,18

Численность эколого-физиологических групп микроорганизмов в почве  
в зависимости от известкования и минеральных удобрений

Вариант	КОЕ / 1 га абс.-сух. почвы					
	МПА, $\times 10^7$	АГК, $\times 10^4$	ЭШБИ, $\times 10^4$	АМЕН, $\times 10^6$	АМУР, $\times 10^6$	НАТ, $\times 10^6$
Контроль	18,90	6,84	1,42	12,69	89,95	32,46
Мел, 4 т/га	24,44	6,88	1,88	13,28	114,62	31,93
НРК	21,75	7,01	1,36	12,92	92,70	34,13
НРК + мел, 4 т/га	26,15	7,15	1,74	13,32	126,60	31,10

Гидролазная ферментативная активность почвы опыта с известкованием

Вариант	Протеазная активность, мг глицина/ 1 г почвы/24 ч	Целлюлазная активность, мкг глюкозы/ 10 г почвы/48 ч	Фосфатазная активность, мг $P_2O_5$ /1 г поч- вы/30 мин
Контроль	8,34	5,94	2,62
Мел, 4 т/га	10,83	6,23	3,01
НРК	9,89	7,01	2,90
НРК + мел, 4 т/га	9,93	7,30	3,65

## Оксидоредуктазная ферментативная активность почвы опыта с известкованием

Вариант	Полифенолоксидазная активность, мл 0,01 Н р-раI <sub>2</sub> / 1 г почвы/2 мин.	Пероксидазная активность, мл 0,01 Н р-раI <sub>2</sub> / 1 г почвы/2 мин.	Каталазная активность, см <sup>3</sup> O <sub>2</sub> /1 г почвы/2 мин.
Контроль	8,44	4,31	12,82
Мел, 4 т/га	8,50	4,29	13,09
НПК	8,62	4,36	12,64
НПК +мел, 4 т/га	8,64	4,30	13,03

Изменение содержания N-NO<sub>3</sub> в почве при известковании мелом Шиловского месторождения под посевами яровой пшеницы, мг/100 г почвы

№ п/п	Вариант	Годы исследований			
		2016	2017	2019	Среднее
1	Контроль (фон 1)	3,47	2,63	3,73	3,28
2	фон 1 + CaCO <sub>3</sub> 2 т/га	3,63	2,67	3,87	3,39
3	фон 1 + CaCO <sub>3</sub> 4 т/га	3,43	2,73	4,00	3,39
4	фон 1 + CaCO <sub>3</sub> 6 т/га	3,27	2,80	4,17	3,41
5	N40P40K40 (фон 2)	4,33	2,93	4,53	3,93
6	фон 2 + CaCO <sub>3</sub> 2 т/га	4,30	2,97	4,60	3,96
7	фон 2 + CaCO <sub>3</sub> 4 т/га	4,40	3,07	4,87	4,11
8	фон 2 + CaCO <sub>3</sub> 6 т/га	4,23	3,23	5,03	4,17
НСР <sub>05</sub>	фактор А	0,38	0,11	0,20	
	фактор В	0,54	0,15	0,28	
	Частных средних	0,76	0,22	0,39	

Изменение содержания N-NH<sub>4</sub> в почве при известковании мелом Шиловского месторождения под посевами яровой пшеницы, мг/100 г почвы

№ п/п	Вариант	Годы исследований			
		2016	2017	2019	Среднее
1	Контроль (фон 1)	1,77	1,70	2,00	1,82
2	фон 1 + CaCO <sub>3</sub> 2 т/га	2,33	1,80	2,27	2,13
3	фон 1 + CaCO <sub>3</sub> 4 т/га	2,73	1,83	2,70	2,42
4	фон 1 + CaCO <sub>3</sub> 6 т/га	2,90	1,97	3,03	2,63
5	N40P40K40 (фон 2)	2,57	2,30	3,13	2,67
6	фон 2 + CaCO <sub>3</sub> 2 т/га	2,53	2,27	3,27	2,69
7	фон 2 + CaCO <sub>3</sub> 4 т/га	2,77	2,40	3,43	2,87
8	фон 2 + CaCO <sub>3</sub> 6 т/га	3,00	2,60	3,77	3,12
НСР <sub>05</sub>	фактор А	0,27	0,12	0,16	
	фактор В	0,39	0,17	0,23	
	Частных средних	0,55	0,24	0,33	

Изменение содержания общего азота в почве при известковании мелом  
Шиловского месторождения под посевами яровой пшеницы, %

Вариант		Годы исследований			
		2016	2017	2019	Средние
Контроль (фон 1)		0,332	0,359	0,342	0,344
фон 1 + CaCO <sub>3</sub> 2 т/га		0,372	0,386	0,356	0,371
фон 1 + CaCO <sub>3</sub> 4 т/га		0,385	0,399	0,393	0,393
фон 1 + CaCO <sub>3</sub> 6 т/га		0,390	0,408	0,395	0,397
N40P40K40 (фон 2)		0,380	0,410	0,409	0,399
фон 2 + CaCO <sub>3</sub> 2 т/га		0,382	0,404	0,410	0,398
фон 2 + CaCO <sub>3</sub> 4 т/га		0,383	0,418	0,417	0,406
фон 2 + CaCO <sub>3</sub> 6 т/га		0,388	0,429	0,427	0,415
НСР <sub>05</sub>	фактор А	0,010	0,008	0,008	
	фактор В	0,013	0,012	0,011	
	Частных средних	0,019	0,017	0,016	

Изменение агрохимических показателей почвы при известковании мелом  
Шиловского месторождения (2016 г.)

Вариант		Агрохимические показатели			
		подвижный фосфор $P_2O_5$ , мг/кг		обменный калий $K_2O$ , мг/кг	
		посев	уборка	посев	уборка
Контроль (фон 1)		174	212	163	144
фон 1 + $CaCO_3$ 2 т/га		184	216	153	160
фон 1 + $CaCO_3$ 4 т/га		193	236	170	191
фон 1 + $CaCO_3$ 6 т/га		208	246	182	201
N40P40K40 (фон 2)		211	259	182	206
фон 2 + $CaCO_3$ 2 т/га		222	274	181	215
фон 2 + $CaCO_3$ 4 т/га		238	291	187	229
фон 2 + $CaCO_3$ 6 т/га		260	309	201	234
НСП <sub>05</sub>	фактор А	8	16	13	12
	фактор В	11	23	18	16
	Частных средних	15	32	26	23

Изменение агрохимических показателей почвы при известковании мелом  
Шиловского месторождения (2017 г.)

Вариант		Агрохимические показатели			
		P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> , мг/кг		K <sub>2</sub> O, мг/кг	
		посев	уборка	посев	уборка
Контроль (фон 1)		182	190	170	186
фон 1 + CaCO <sub>3</sub> 2 т/га		221	270	181	199
фон 1 + CaCO <sub>3</sub> 4 т/га		212	269	168	197
фон 1 + CaCO <sub>3</sub> 6 т/га		219	275	170	193
N40P40K40 (фон 2)		196	266	172	198
фон 2 + CaCO <sub>3</sub> 2 т/га		208	274	176	198
фон 2 + CaCO <sub>3</sub> 4 т/га		200	273	182	201
фон 2 + CaCO <sub>3</sub> 6 т/га		206	239	186	250
НСП <sub>05</sub>	фактор А	10	6	4	8
	фактор В	14	8	5	12
	Частных средних	20	12	7	17

Изменение агрохимических показателей почвы при известковании мелом  
Шиловского месторождения (2019 г.)

Вариант		Агрохимические показатели			
		P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> , мг/кг		K <sub>2</sub> O, мг/кг	
		посев	уборка	посев	уборка
Контроль (фон 1)		154	160	144	175
фон 1 + CaCO <sub>3</sub> 2 т/га		164	178	155	185
фон 1 + CaCO <sub>3</sub> 4 т/га		171	193	163	191
фон 1 + CaCO <sub>3</sub> 6 т/га		184	202	177	205
N40P40K40 (фон 2)		202	207	174	184
фон 2 + CaCO <sub>3</sub> 2 т/га		215	223	190	200
фон 2 + CaCO <sub>3</sub> 4 т/га		218	236	198	218
фон 2 + CaCO <sub>3</sub> 6 т/га		225	254	208	237
НСП <sub>05</sub>	фактор А	5	8	6	4
	фактор В	7	11	9	6
	Частных средних	10	16	13	8

Влияние известкования чернозема выщелоченного на содержание тяжелых металлов под посевами яровой пшеницы, мг/кг (2016 г.)

Варианты	Cu		Zn		Ni		Pb		Cd	
	посев	уборка								
Контроль (фон 1)	21,03	20,25	49,77	47,87	55,67	52,73	10,01	9,32	0,25	0,18
фон 1 + CaCO <sub>3</sub> 2 т/га	18,81	22,43	45,82	44,15	52,83	50,72	9,29	9,22	0,21	0,19
фон 1 + CaCO <sub>3</sub> 4 т/га	19,66	17,98	49,21	44,41	51,48	50,99	9,24	8,88	0,22	0,19
фон 1 + CaCO <sub>3</sub> 6 т/га	20,26	18,98	50,05	45,34	54,02	53,10	9,14	9,51	0,23	0,21
N40P40K40 (фон 2)	19,35	18,30	48,65	43,67	52,07	54,05	9,28	8,74	0,22	0,16
фон 2 + CaCO <sub>3</sub> 2 т/га	19,91	17,64	46,86	42,06	49,51	51,46	9,20	8,56	0,21	0,16
фон 2 + CaCO <sub>3</sub> 4 т/га	20,63	16,56	48,55	42,98	54,17	49,11	10,03	7,93	0,24	0,15
фон 2 + CaCO <sub>3</sub> 6 т/га	19,41	18,91	47,75	45,92	54,55	55,21	9,42	8,80	0,22	0,19
Среднее	19,9	18,9	48,3	44,6	53,0	52,2	9,5	8,9	0,2	0,2
ОДК с учетом фона	66*	132**	110*	220**	40*	80**	65*	130**	1,0*	2,0**

Влияние использования мела и минеральных удобрений на урожайность зерна яровой пшеницы, 2016 г.

Варианты		Урожайность, т/га	Отклонения, ± т/га	
			фактор А	фактор В
Контроль (фон 1)		2,05		
фон 1 + CaCO <sub>3</sub> 2 т/га		2,13		0,08
фон 1 + CaCO <sub>3</sub> 4 т/га		2,23		0,18
фон 1 + CaCO <sub>3</sub> 6 т/га		2,25		0,20
N40P40K40 (фон 2)		4,10	2,05	
фон 2 + CaCO <sub>3</sub> 2 т/га		4,27	2,15	0,17
фон 2 + CaCO <sub>3</sub> 4 т/га		4,28	2,05	0,18
фон 2 + CaCO <sub>3</sub> 6 т/га		4,38	2,13	0,27
НСР <sub>05</sub>	Фактор А	0,14		
	Фактор В	0,19		
	Частных средних	0,27		

Влияние использования мела и минеральных удобрений на урожайность зерна яровой пшеницы, 2017 г.

Варианты		Урожайность, т/га	Отклонения, ± т/га	
			фактор А	фактор В
Контроль (фон 1)		2,56		
фон 1 + CaCO <sub>3</sub> 2 т/га		2,98		0,42
фон 1 + CaCO <sub>3</sub> 4 т/га		3,32		0,76
фон 1 + CaCO <sub>3</sub> 6 т/га		3,34		0,78
N40P40K40 (фон 2)		3,51	0,95	
фон 2 + CaCO <sub>3</sub> 2 т/га		4,07	1,09	0,56
фон 2 + CaCO <sub>3</sub> 4 т/га		4,43	1,11	0,92
фон 2 + CaCO <sub>3</sub> 6 т/га		4,28	0,94	0,76
НСР <sub>05</sub>	Фактор А	0,16		
	Фактор В	0,23		
	Частных средних	0,33		

Влияние использования мела и минеральных удобрений на урожайность зерна яровой пшеницы, 2019 г.

Варианты		Урожайность зерна, т/га	Отклонения, ± т/га	
			фактор А	фактор В
Контроль (фон 1)		3,32		
фон 1 + CaCO <sub>3</sub> 2 т/га		3,52		0,20
фон 1 + CaCO <sub>3</sub> 4 т/га		3,73		0,41
фон 1 + CaCO <sub>3</sub> 6 т/га		3,81		0,49
N40P40K40 (фон 2)		3,93	0,61	
фон 2 + CaCO <sub>3</sub> 2 т/га		4,25	0,74	0,33
фон 2 + CaCO <sub>3</sub> 4 т/га		4,56	0,83	0,63
фон 2 + CaCO <sub>3</sub> 6 т/га		4,54	0,73	0,61
НСР <sub>05</sub>	Фактор А	0,27		
	Фактор В	0,38		
	Частных средних	0,54		

Изменение показателей качества зерна яровой пшеницы в зависимости от применения мела и минеральных удобрений (2016 г.)

Варианты	Содержание сырой клейковины, %	Качество клейковины, ед. ИДК	Группа качества
Контроль (фон 1)	20,35	33,60	II – удовлетворительно крепкая
фон 1 + CaCO <sub>3</sub> 2 т/га	21,55	41,50	II – удовлетворительно крепкая
фон 1 + CaCO <sub>3</sub> 4 т/га	22,80	48,60	I – хорошая
фон 1 + CaCO <sub>3</sub> 6 т/га	23,95	37,00	II – удовлетворительно крепкая
N40P40K40 (фон 2)	23,00	36,80	II – удовлетворительно крепкая
фон 2 + CaCO <sub>3</sub> 2 т/га	23,30	30,00	II – удовлетворительно крепкая
фон 2 + CaCO <sub>3</sub> 4 т/га	23,50	49,30	I – хорошая
фон 2 + CaCO <sub>3</sub> 6 т/га	24,00	35,10	II – удовлетворительно крепкая
НСР <sub>05</sub>	Фактор А	1,22	4,8
	Фактор В	1,24	5,2
	Частных средних	2,1	6,0

Изменение показателей качества зерна яровой пшеницы в зависимости от применения мела и минеральных удобрений, 2017 г.

Варианты		Содержание сырой клейковины, %	Качество клейковины, ед. ИДК	Группа качества
Контроль (фон 1)		23,30	32,00	II – удовлетворительно крепкая
фон 1 + CaCO <sub>3</sub> 2 т/га		23,70	48,20	I – хорошая
фон 1 + CaCO <sub>3</sub> 4 т/га		25,40	54,90	I – хорошая
фон 1 + CaCO <sub>3</sub> 6 т/га		23,95	37	II – удовлетворительно крепкая
N40P40K40 (фон 2)		25,80	39,60	II – удовлетворительно крепкая
фон 2 + CaCO <sub>3</sub> 2 т/га		25,80	60,20	I – хорошая
фон 2 + CaCO <sub>3</sub> 4 т/га		26,20	69,80	I – хорошая
фон 2 + CaCO <sub>3</sub> 6 т/га		24	35,1	II – удовлетворительно крепкая
НСР <sub>05</sub>	Фактор А	1,22	4,8	
	Фактор В	1,24	5,2	
	Частных средних	2,1	6	

Изменение показателей качества зерна яровой пшеницы в зависимости от применения мела и минеральных удобрений, 2019 г.

Варианты	Содержание сырой клейковины, %	Качество клейковины, ед. ИДК	Группа качества
Контроль (фон 1)	22,1	83,5	II – удовлетворительно слабая
фон 1 + CaCO <sub>3</sub> 2 т/га	24,1	84,9	II – удовлетворительно слабая
фон 1 + CaCO <sub>3</sub> 4 т/га	25,4	89,4	II – удовлетворительно слабая
фон 1 + CaCO <sub>3</sub> 6 т/га	24,8	72,1	I – хорошая
N40P40K40 (фон 2)	26,7	89,9	II – удовлетворительно слабая
фон 2 + CaCO <sub>3</sub> 2 т/га	27,7	87,7	II – удовлетворительно слабая
фон 2 + CaCO <sub>3</sub> 4 т/га	27,8	73,1	I – хорошая
фон 2 + CaCO <sub>3</sub> 6 т/га	28,8	73,0	I – хорошая
НСР <sub>05</sub>	Фактор А	0,7	4,7
	Фактор В	0,9	6,7
	частных средних	1,3	9,4

Влияние внесения известкового материала и минеральных удобрений  
на обменную кислотность почвы под посевами сои, 2020 г.

Вариант		Кислотность рН <sub>КСИ</sub> , ед.	Отклонения, ± ед.	
			фактор А	фактор В
Контроль (фон 1)		5,87		
фон 1 + СаСО <sub>3</sub> 2 т/га		5,93		0,07
фон 1 + СаСО <sub>3</sub> 4 т/га		6,30		0,43
фон 1 + СаСО <sub>3</sub> 6 т/га		6,47		0,60
N40P40K40 (фон 2)		5,70	-0,17	
фон 2 + СаСО <sub>3</sub> 2 т/га		6,07	0,13	0,37
фон 2 + СаСО <sub>3</sub> 4 т/га		6,40	0,10	0,70
фон 2 + СаСО <sub>3</sub> 6 т/га		6,43	-0,03	0,73
НСР <sub>05</sub>	фактор А	0,17 / 1,4		
	фактор В	0,24 / 77,5		
	частных средних	0,34		

Влияние внесения известкового материала и минеральных удобрений  
на содержание N-NO<sub>3</sub> в почве под посевами сои, 2020 г.

Вариант		Содержание N-NO <sub>3</sub> , мг/кг почвы	Отклонения, ± мг/кг	
			фактор А	фактор В
Контроль (фон 1)		2,97		
фон 1 + CaCO <sub>3</sub> 2 т/га		2,93		-0,03
фон 1 + CaCO <sub>3</sub> 4 т/га		2,53		-0,43
фон 1 + CaCO <sub>3</sub> 6 т/га		2,33		-0,63
N40P40K40 (фон 2)		4,27	1,30	
фон 2 + CaCO <sub>3</sub> 2 т/га		3,87	0,93	-0,40
фон 2 + CaCO <sub>3</sub> 4 т/га		3,53	1,00	-0,73
фон 2 + CaCO <sub>3</sub> 6 т/га		3,20	0,87	-1,07
НСР <sub>05</sub>	фактор А	0,17 / 62,73		
	фактор В	0,24 / 25,62		
	частных средних	0,34		

Влияние внесения известкового материала и минеральных удобрений  
на содержание N-NH<sub>4</sub> в почве под посевами сои, 2020 г.

Вариант		Содержание N-NH <sub>4</sub> , мг/кг почвы	Отклонения, ± мг/кг	
			фактор А	фактор В
Контроль (фон 1)		1,53		
фон 1 + CaCO <sub>3</sub> 2 т/га		2,00		0,47
фон 1 + CaCO <sub>3</sub> 4 т/га		2,50		0,97
фон 1 + CaCO <sub>3</sub> 6 т/га		2,53		1,00
N40P40K40 (фон 2)		2,20	0,67	
фон 2 + CaCO <sub>3</sub> 2 т/га		2,20	0,20	0,00
фон 2 + CaCO <sub>3</sub> 4 т/га		2,20	-0,30	0,00
фон 2 + CaCO <sub>3</sub> 6 т/га		2,23	-0,30	0,03
НСР <sub>05</sub>	фактор А	0,23 / 0,9		
	фактор В	0,33 / 36,6		
	частных средних	0,50		

Влияние внесения известкового материала и минеральных удобрений  
на содержание общего азота в почве под посевами сои, 2020 г.

Вариант		Содержание общего азота, %	Отклонения, ±	
			фактор А	фактор В
Контроль (фон 1)		0,325		
фон 1 + CaCO <sub>3</sub> 2 т/га		0,347		0,022
фон 1 + CaCO <sub>3</sub> 4 т/га		0,375		0,050
фон 1 + CaCO <sub>3</sub> 6 т/га		0,377		0,052
N40P40K40 (фон 2)		0,352	0,027	
фон 2 + CaCO <sub>3</sub> 2 т/га		0,352	0,005	0,000
фон 2 + CaCO <sub>3</sub> 4 т/га		0,350	-0,025	-0,002
фон 2 + CaCO <sub>3</sub> 6 т/га		0,382	0,005	0,030
НСР <sub>05</sub>	фактор А	0,012 / 0,53		
	фактор В	0,016 / 28,2		
	частных средних	0,023		

Влияние внесения известкового материала и минеральных удобрений  
на содержание подвижного фосфора в почве под посевами сои, 2020 г.

Вариант	Содержание подвижного фосфора, мг/кг почвы	Отклонения, ± мг/кг	
		фактор А	фактор В
Контроль (фон 1)	164,3		
фон 1 + CaCO <sub>3</sub> 2 т/га	170,0		5,7
фон 1 + CaCO <sub>3</sub> 4 т/га	167,3		3,0
фон 1 + CaCO <sub>3</sub> 6 т/га	177,3		13,0
N40P40K40 (фон 2)	166,7	2,3	
фон 2 + CaCO <sub>3</sub> 2 т/га	166,0	-4,0	-0,7
фон 2 + CaCO <sub>3</sub> 4 т/га	179,3	12,0	12,7
фон 2 + CaCO <sub>3</sub> 6 т/га	180,0	2,7	13,3
НСР <sub>05</sub>	фактор А	8,40 / 2,9	
	фактор В	11,90 / 28,2	
	частных средних	16,80	

Влияние внесения известкового материала и минеральных удобрений  
на содержание обменного калия в почве под посевами сои, 2020 г.

Вариант	Содержание обменного калия, мг/кг почвы	Отклонения, ± мг/кг	
		фактор А	фактор В
Контроль (фон 1)	75,7		
фон 1 + CaCO <sub>3</sub> 2 т/га	77,3		1,7
фон 1 + CaCO <sub>3</sub> 4 т/га	85,0		9,3
фон 1 + CaCO <sub>3</sub> 6 т/га	88,7		13,0
N40P40K40 (фон 2)	76,7	1,0	
фон 2 + CaCO <sub>3</sub> 2 т/га	82,7	5,3	6,0
фон 2 + CaCO <sub>3</sub> 4 т/га	89,0	4,0	12,3
фон 2 + CaCO <sub>3</sub> 6 т/га	89,0	0,3	12,3
НСР <sub>05</sub>	фактор А	5,9 / 3,34	
	фактор В	8,4 / 49,71	
	частных средних	11,8	

Влияние внесения известкового материала и минеральных удобрений  
на содержание Cu в почве под посевами сои, 2020 г.

Вариант		Содержание Cu, мг/кг почвы	Отклонения, ± мг/кг	
			фактор А	фактор В
Контроль (фон 1)		25,3		
фон 1 + CaCO <sub>3</sub> 2 т/га		23,4		-1,9
фон 1 + CaCO <sub>3</sub> 4 т/га		20,8		-4,5
фон 1 + CaCO <sub>3</sub> 6 т/га		20,4		-4,8
N40P40K40 (фон 2)		26,2	1,0	
фон 2 + CaCO <sub>3</sub> 2 т/га		24,2	0,9	-2,0
фон 2 + CaCO <sub>3</sub> 4 т/га		21,6	0,8	-4,7
фон 2 + CaCO <sub>3</sub> 6 т/га		20,5	0,1	-5,7
НСР <sub>05</sub>	фактор А	0,71 / 1,9		
	фактор В	1,01 / 75,1		
	частных средних	1,43		

Влияние внесения известкового материала и минеральных удобрений  
на содержание Zn в почве под посевами сои, 2020 г.

Вариант		Содержание Zn, мг/кг почвы	Отклонения, ± мг/кг	
			фактор А	фактор В
Контроль (фон 1)		43,4		
фон 1 + CaCO <sub>3</sub> 2 т/га		37,5		-5,9
фон 1 + CaCO <sub>3</sub> 4 т/га		31,2		-12,2
фон 1 + CaCO <sub>3</sub> 6 т/га		30,0		-13,4
N40P40K40 (фон 2)		44,3	0,9	
фон 2 + CaCO <sub>3</sub> 2 т/га		38,6	1,1	-5,7
фон 2 + CaCO <sub>3</sub> 4 т/га		36,9	5,7	-7,4
фон 2 + CaCO <sub>3</sub> 6 т/га		33,0	3,0	-11,2
НСР <sub>05</sub>	фактор А	1,47 / 6,5		
	фактор В	2,08 / 76,3		
	частных средних	2,93		

Влияние внесения известкового материала и минеральных удобрений  
на содержание Рb в почве под посевами сои, 2020 г.

Вариант		Содержание Рb, мг/кг почвы	Отклонения, ± мг/кг	
			фактор А	фактор В
Контроль (фон 1)		13,6		
фон 1 + CaCO <sub>3</sub> 2 т/га		12,7		-0,9
фон 1 + CaCO <sub>3</sub> 4 т/га		11,6		-2,0
фон 1 + CaCO <sub>3</sub> 6 т/га		10,3		-3,3
N40P40K40 (фон 2)		13,9	0,3	
фон 2 + CaCO <sub>3</sub> 2 т/га		12,9	0,2	-1,0
фон 2 + CaCO <sub>3</sub> 4 т/га		11,7	0,1	-2,2
фон 2 + CaCO <sub>3</sub> 6 т/га		11,7	1,5	-2,2
НСР <sub>05</sub>	фактор А	0,8 / 2,9		
	фактор В	1,2 / 49,2		
	частных средних	1,7		

Влияние внесения известкового материала и минеральных удобрений на содержание Cd в почве под посевами сои, 2020 г.

Вариант		Содержание Cd, мг/кг почвы	Отклонения, ± мг/кг	
			фактор А	фактор В
Контроль (фон 1)		0,32		
фон 1 + CaCO <sub>3</sub> 2 т/га		0,29		-0,03
фон 1 + CaCO <sub>3</sub> 4 т/га		0,28		-0,04
фон 1 + CaCO <sub>3</sub> 6 т/га		0,25		-0,07
N40P40K40 (фон 2)		0,35	0,03	
фон 2 + CaCO <sub>3</sub> 2 т/га		0,32	0,03	-0,03
фон 2 + CaCO <sub>3</sub> 4 т/га		0,30	0,02	-0,05
фон 2 + CaCO <sub>3</sub> 6 т/га		0,27	0,01	-0,08
НСП <sub>05</sub>	фактор А	0,02 / 9,8		
	фактор В	0,03 / 62,4		
	частных средних	0,04		

Влияние внесения известкового материала и минеральных удобрений на содержание Ni в почве под посевами сои, 2020 г.

Вариант		Содержание Ni, мг/кг почвы	Отклонения, ± мг/кг	
			фактор А	фактор В
Контроль (фон 1)		26,2		
фон 1 + CaCO <sub>3</sub> 2 т/га		25,0		-1,2
фон 1 + CaCO <sub>3</sub> 4 т/га		22,6		-3,6
фон 1 + CaCO <sub>3</sub> 6 т/га		21,7		-4,5
N40P40K40 (фон 2)		27,4	1,2	
фон 2 + CaCO <sub>3</sub> 2 т/га		24,9	-0,1	-2,5
фон 2 + CaCO <sub>3</sub> 4 т/га		23,2	0,6	-4,2
фон 2 + CaCO <sub>3</sub> 6 т/га		22,2	0,4	-5,2
НСР <sub>05</sub>	фактор А	0,8 / 1,1		
	фактор В	1,1 / 53,1		
	частных средних	1,6		

Влияние внесения известкового материала и минеральных удобрений на содержание  $\text{Cr}^{3+}$  в почве под посевами сои, 2020 г.

Вариант		Содержание $\text{Cr}^{3+}$ , мг/кг почвы	Отклонения, ± мг/кг	
			фактор А	фактор В
Контроль (фон 1)		27,8		
фон 1 + $\text{CaCO}_3$ 2 т/га		25,1		-2,8
фон 1 + $\text{CaCO}_3$ 4 т/га		24,7		-3,2
фон 1 + $\text{CaCO}_3$ 6 т/га		24,3		-3,5
N40P40K40 (фон 2)		29,7	1,8	
фон 2 + $\text{CaCO}_3$ 2 т/га		27,9	2,9	-1,7
фон 2 + $\text{CaCO}_3$ 4 т/га		23,0	-1,7	-6,7
фон 2 + $\text{CaCO}_3$ 6 т/га		21,8	-2,5	-7,9
НСР <sub>05</sub>	фактор А	0,8 / 0,05		
	фактор В	1,2 / 52,5		
	частных средних	1,6		

Структурно-агрегатный состав чернозема выщелоченного под посевами сои,  
2020 г.

Вариант	Размер агрегатов, мм			КС	
	> 10	10-0,25	< 0,25		
Контроль (фон 1)	20,3	70,1	9,7	2,34	
фон 1 + CaCO <sub>3</sub> 2 т/га	19,6	72,5	7,9	2,64	
фон 1 + CaCO <sub>3</sub> 4 т/га	19,9	73,9	6,2	2,83	
фон 1 + CaCO <sub>3</sub> 6 т/га	17,0	75,1	7,9	3,02	
N40P40K40 (фон 2)	22,4	68,9	8,7	2,21	
фон 2 + CaCO <sub>3</sub> 2 т/га	20,1	73,5	6,3	2,78	
фон 2 + CaCO <sub>3</sub> 4 т/га	17,2	75,6	7,2	3,10	
фон 2 + CaCO <sub>3</sub> 6 т/га	14,7	76,0	9,3	3,17	
НСР <sub>05</sub>	фактор А	1,4* / 1,1**	1,2* / 1,1**	1,5* / 0,6**	0,17* / 1,3**
	фактор В	2,0* / 57,9**	1,7* / 63,4**	2,1* / 31,8**	0,24* / 61,1**
	частных средних	2,9	2,3	3,0	0,33

Примечание: \* – %, \*\* вклад фактора, %

Влияние известкового материала и минеральных удобрений  
на содержание общего азота в зерне сои, 2020 г.

Вариант		Содержание общего азо- та, %	Отклонения, %	
			фактор А	фактор В
Контроль (фон 1)		4,61		
фон 1 + CaCO <sub>3</sub> 2 т/га		4,64		0,03
фон 1 + CaCO <sub>3</sub> 4 т/га		4,92		0,31
фон 1 + CaCO <sub>3</sub> 6 т/га		4,99		0,38
N40P40K40 (фон 2)		4,90	0,29	
фон 2 + CaCO <sub>3</sub> 2 т/га		4,91	0,27	0,01
фон 2 + CaCO <sub>3</sub> 4 т/га		5,15	0,23	0,25
фон 2 + CaCO <sub>3</sub> 6 т/га		5,44	0,45	0,45
НСР <sub>05</sub>	фактор А	0,09 / 34,0		
	фактор В	0,13 / 52,0		
	частных средних	0,18		

Влияние внесения известкового материала и минеральных удобрений  
на содержание общего фосфора в зерне сои, 2020 г.

Вариант		Содержание общего фос- фора, %	Отклонения, %	
			фактор А	фактор В
Контроль (фон 1)		0,52		
фон 1 + CaCO <sub>3</sub> 2 т/га		0,52		0,00
фон 1 + CaCO <sub>3</sub> 4 т/га		0,53		0,01
фон 1 + CaCO <sub>3</sub> 6 т/га		0,53		0,01
N40P40K40 (фон 2)		0,53	0,02	
фон 2 + CaCO <sub>3</sub> 2 т/га		0,56	0,04	0,02
фон 2 + CaCO <sub>3</sub> 4 т/га		0,54	0,01	0,01
фон 2 + CaCO <sub>3</sub> 6 т/га		0,57	0,04	0,04
НСР <sub>05</sub>	фактор А	0,02 / 27,5		
	фактор В	0,03 / 13,6		
	частных средних	0,04		

Влияние внесения известкового материала и минеральных удобрений  
на содержание общего калия в зерне сои, 2020 г.

Вариант		Содержание общего ка- лия, %	Отклонения, %	
			фактор А	фактор В
Контроль (фон 1)		1,77		
фон 1 + CaCO <sub>3</sub> 2 т/га		1,77		0,00
фон 1 + CaCO <sub>3</sub> 4 т/га		1,80		0,03
фон 1 + CaCO <sub>3</sub> 6 т/га		1,82		0,05
N40P40K40 (фон 2)		1,84	0,06	
фон 2 + CaCO <sub>3</sub> 2 т/га		1,83	0,06	0,00
фон 2 + CaCO <sub>3</sub> 4 т/га		1,83	0,03	-0,01
фон 2 + CaCO <sub>3</sub> 6 т/га		1,87	0,05	0,03
НСР <sub>05</sub>	фактор А	0,04 / 36,5		
	фактор В	0,05 / 17,8		
	частных средних	0,07		

Влияние внесения известкового материала и минеральных удобрений  
на содержание сырого белка в зерне сои, 2020 г.

Вариант	Содержание сырого белка в зерне, %	Отклонения, %	
		фактор А	фактор В
Контроль (фон 1)	28,81		
фон 1 + CaCO <sub>3</sub> 2 т/га	29,02		0,21
фон 1 + CaCO <sub>3</sub> 4 т/га	30,73		1,92
фон 1 + CaCO <sub>3</sub> 6 т/га	31,19		2,38
N40P40K40 (фон 2)	30,63	1,81	
фон 2 + CaCO <sub>3</sub> 2 т/га	30,69	1,67	0,06
фон 2 + CaCO <sub>3</sub> 4 т/га	32,19	1,46	1,56
фон 2 + CaCO <sub>3</sub> 6 т/га	33,98	2,79	3,35
НСР <sub>05</sub>	фактор А	0,58 / 34,5	
	фактор В	0,81 / 52,1	
	частных средних	1,15	

Влияние внесения известкового материала и минеральных удобрений  
на содержание сырого жира в зерне сои, 2020 г.

Вариант		Содержание сырого жира, %	Отклонения, %	
			фактор А	фактор В
Контроль (фон 1)		18,91		
фон 1 + CaCO <sub>3</sub> 2 т/га		19,81		0,90
фон 1 + CaCO <sub>3</sub> 4 т/га		20,86		1,95
фон 1 + CaCO <sub>3</sub> 6 т/га		21,38		2,47
N40P40K40 (фон 2)		19,58	0,67	
фон 2 + CaCO <sub>3</sub> 2 т/га		20,73	0,92	1,15
фон 2 + CaCO <sub>3</sub> 4 т/га		22,36	1,51	2,78
фон 2 + CaCO <sub>3</sub> 6 т/га		25,09	3,71	5,51
НСР <sub>05</sub>	фактор А	0,48 / 20,1		
	фактор В	0,69 / 62,2		
	частных средних	0,97		

Влияние внесения известкового материала и минеральных удобрений  
на содержание меди в зерне сои, 2020 г.

Вариант	Содержание меди в зерне сои, мг/кг	Отклонения, ± мг/кг	
		фактор А	фактор В
Контроль (фон 1)	6,1		
фон 1 + CaCO <sub>3</sub> 2 т/га	5,6		-0,5
фон 1 + CaCO <sub>3</sub> 4 т/га	5,6		-0,5
фон 1 + CaCO <sub>3</sub> 6 т/га	5,5		-0,6
N40P40K40 (фон 2)	5,5	-0,6	
фон 2 + CaCO <sub>3</sub> 2 т/га	5,5	-0,1	0,0
фон 2 + CaCO <sub>3</sub> 4 т/га	5,1	-0,5	-0,4
фон 2 + CaCO <sub>3</sub> 6 т/га	5,0	-0,4	-0,4
НСР <sub>05</sub>	фактор А	0,2 / 35,3	
	фактор В	0,3 / 34,2	
	частных средних	0,4	

Влияние внесения известкового материала и минеральных удобрений  
на содержание цинка в зерне сои, 2020 г.

Вариант		Содержание цинка в зерне сои, мг/кг	Отклонения, ± мг/кг	
			фактор А	фактор В
Контроль (фон 1)		20,1		
фон 1 + CaCO <sub>3</sub> 2 т/га		19,8		-0,3
фон 1 + CaCO <sub>3</sub> 4 т/га		19,5		-0,6
фон 1 + CaCO <sub>3</sub> 6 т/га		16,0		-4,1
N40P40K40 (фон 2)		20,4	0,2	
фон 2 + CaCO <sub>3</sub> 2 т/га		17,0	-2,8	-3,4
фон 2 + CaCO <sub>3</sub> 4 т/га		17,2	-2,4	-3,2
фон 2 + CaCO <sub>3</sub> 6 т/га		15,6	-0,4	-4,8
НСР <sub>05</sub>	фактор А	0,8 / 11,5		
	фактор В	1,1 / 64,8		
	частных средних	1,6		

Влияние внесения известкового материала и минеральных удобрений  
на содержание свинца в зерне сои, 2020 г.

Вариант	Содержание свинца в зерне сои, мг/кг	Отклонения, ± мг/кг	
		фактор А	фактор В
Контроль (фон 1)	0,07		
фон 1 + CaCO <sub>3</sub> 2 т/га	0,07		0,00
фон 1 + CaCO <sub>3</sub> 4 т/га	0,08		0,01
фон 1 + CaCO <sub>3</sub> 6 т/га	0,06		-0,01
N40P40K40 (фон 2)	0,05	-0,02	
фон 2 + CaCO <sub>3</sub> 2 т/га	0,03	-0,04	-0,02
фон 2 + CaCO <sub>3</sub> 4 т/га	0,03	-0,05	-0,02
фон 2 + CaCO <sub>3</sub> 6 т/га	0,04	-0,02	-0,01
НСР <sub>05</sub>	фактор А	0,01 / 60,9	
	фактор В	0,02 / 3,7	
	частных средних	0,03	

Влияние внесения известкового материала и минеральных удобрений  
на содержание кадмия в зерне сои, 2020 г.

Вариант		Содержание кадмия в зерне сои, мг/кг	Отклонения, ± мг/кг	
			фактор А	фактор В
Контроль (фон 1)		0,03		
фон 1 + CaCO <sub>3</sub> 2 т/га		0,02		-0,01
фон 1 + CaCO <sub>3</sub> 4 т/га		0,02		-0,01
фон 1 + CaCO <sub>3</sub> 6 т/га		0,02		-0,01
N40P40K40 (фон 2)		0,04	0,01	
фон 2 + CaCO <sub>3</sub> 2 т/га		0,02	0,00	-0,02
фон 2 + CaCO <sub>3</sub> 4 т/га		0,03	0,01	-0,01
фон 2 + CaCO <sub>3</sub> 6 т/га		0,02	0,00	-0,02
НСР <sub>05</sub>	фактор А	0,01 / 4,5		
	фактор В	0,01 / 32,5		
	частных средних	0,02		

Влияние внесения известкового материала и минеральных удобрений  
на содержание никеля в зерне сои, 2020 г.

Вариант		Содержание никеля, мг/кг	Отклонения,	
			фактор А	фактор В
Контроль (фон 1)		5,9		
фон 1 + CaCO <sub>3</sub> 2 т/га		4,7		-1,3
фон 1 + CaCO <sub>3</sub> 4 т/га		4,1		-1,9
фон 1 + CaCO <sub>3</sub> 6 т/га		3,9		-2,0
N40P40K40 (фон 2)		4,9	-1,0	
фон 2 + CaCO <sub>3</sub> 2 т/га		4,4	-0,3	-0,5
фон 2 + CaCO <sub>3</sub> 4 т/га		3,6	-0,4	-1,3
фон 2 + CaCO <sub>3</sub> 6 т/га		3,4	-0,5	-1,5
НСР <sub>05</sub>	фактор А	0,3 / 12,7		
	фактор В	0,5 / 74,2		
	частных средних	0,6		