

На правах рукописи

МАНАКОВ ПАВЕЛ СЕРГЕЕВИЧ

**ВЛИЯНИЕ РАЗЛИЧНЫХ ПО РАЗМЕРУ ФРАКЦИЙ ОТСЕВА  
ДОЛОМИТА НА КИСЛОТНО-ОСНОВНЫЕ СВОЙСТВА ДЕРНОВО-  
ПОДЗОЛИСТОЙ ЛЕГКОСУГЛИНИСТОЙ ПОЧВЫ, УРОЖАЙ И  
ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ РАСТЕНИЙ**

Специальность 4.1.5 – мелиорация, водное хозяйство и агрофизика

Автореферат

диссертации на соискание

учёной степени кандидата биологических наук

Санкт-Петербург – 2024

Работа выполнена в Федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Санкт-Петербургский государственный аграрный университет».

**Научный руководитель:** **Литвинович Андрей Витальевич**  
доктор сельскохозяйственных наук, профессор, главный научный сотрудник ФГБНУ «Агрофизический научно-исследовательский институт»

**Официальные оппоненты** **Аканова Наталья Ивановна**  
доктор биологических наук, профессор, заведующая лабораторией агрохимии известковых удобрений и химической мелиорации, ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт агрохимии имени Д.Н. Прянишникова»

**Капелькина Людмила Павловна**  
доктор биологических наук, главный научный сотрудник лаборатории методов реабилитации техногенных ландшафтов Санкт-Петербургского научно-исследовательского центра экологической безопасности – обособленное структурное подразделение Санкт-Петербургского ФГБУН «Санкт-Петербургский Федеральный исследовательский центр Российской академии наук.

**Ведущая организация** ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева»

Защита диссертации состоится «\_\_» \_\_\_\_\_ 2024 года в \_\_ часов 00 минут на заседании диссертационного совета 24.1.001.01 при Федеральном государственном бюджетном научном учреждении «Агрофизический научно-исследовательский институт» по адресу: 195220, г. Санкт-Петербург, Гражданский проспект, д.14. Тел. +7 (812) 534-13-24, факс. +7 (812) 534-19-00, e-mail: office@agrophys.ru

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Агрофизического научно-исследовательского института и на сайте <http://www.agrophys.ru>, с авторефератом – на сайте <http://vak.ed.gov.ru> и <http://www.agrophys.ru>.

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

Отзывы об автореферате в двух экземплярах, заверенных печатью, просим направлять по адресу: 195220, г. Санкт-Петербург, Гражданский проспект, д.14, ФГБНУ АФИ

Учёный секретарь диссертационного совета 24.1.001.01

Синявина Н.Г.

## **ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ**

### **Актуальность темы**

В дерново-подзолистых почвах в условиях избыточного увлажнения происходит подкисление корнеобитаемого слоя почвы из-за постоянно идущего процесса миграции катионов кальция и магния с инфильтрационными водами и выноса оснований растениями.

На сегодняшний день 41% пахотных почв Северо-Запада России нуждаются в известковании. Усугубляет данное обстоятельство и то, что в последнее десятилетие резко возросла стоимость традиционных известковых материалов (известняковой и доломитовой муки), а также самого внесения химических мелиорантов.

При производстве щебня для строительства дорог в отвалы отсеиваются фракции размером <10 мм, которых на территории Ленинградской области накопилось более 70 млн.т. Использование фракций отсева доломита размером 0,25-1, 1-3 и 3-5 мм в качестве мелиоранта, позволит снизить остроту проблемы известкования почв в Ленинградской области, а также высвободит площади, занятые под отвалами. Поэтому исследования, направленные на установление мелиоративных свойств и удобрительной ценности доломитовых частиц присутствующих в отсевах являются, безусловно, актуальными.

### **Степень разработанности темы**

Исследования, посвященные изучению удобрительных свойств разных по размеру фракций известковых материалов, проводились и ранее.

Так, на Северо-Западе РФ под руководством А. Н. Небольсина (2010), в течение 3-х лет проводились эксперименты, направленные на исследование мелиоративных свойств частиц доломита размером 5-7 и 7-10 мм одного из месторождений Ленинградской области. В Республике Беларусь (2003) коллективом авторов были проведены исследования влияния крупных частиц сыромолотого доломита на почву и растения. Установлено положительное влияние мелиоранта на компоненты агроценоза. Теоретической предпосылкой проведения такого ряда исследований является установленный факт, что в профиле почв карбонатные породы наиболее растворимы. Ограниченность проведенных исследований состоит в том, что опыты проводились непродолжительное время. В них не удалось проследить длительность действия фракций доломита крупного размера, что затруднило разработку рекомендации по их применению. В лаборатории мелиорации почв ФГБНУ АФИ с 2011 года проводятся опыты, направленные на установление скорости растворения, мелиоративных свойств и удобрительной ценности частиц доломитовой крошки различного размера одного из месторождений Ленинградской области. В настоящее время работы продолжаются.

### **Цель и задачи исследования**

Цель исследования - В длительном микрополевым опыте установить действие различных по размеру фракций отсева доломита на показатели почвенной кислотности дерново-подзолистой легкосуглинистой почвы, урожай и химический состав растений.

### Задачи исследования:

1. На протяжении 13 вегетационных периодов проследить изменение кислотно-основных свойств дерново-подзолистой легкосуглинистой почвы; разработать эмпирические модели, адекватно описывающие динамику обменной, гидролитической кислотности и содержания обменных катионов Ca и Mg.
2. Установить содержание и распределение обменных катионов кальция и магния в профиле различных вариантов мелиорированной почвы спустя 13 вегетационных периодов после известкования.
3. Построить математические модели содержания и распределения обменных катионов кальция и магния в профиле почвы.
4. Определить влияние разных по размеру фракций доломита на продуктивность и химический состав растений.

### **Научная новизна работы**

В условиях Северо-Запада НЗ в микрополевым опыте продолжительностью 13 вегетационных периодов впервые прослежено мелиоративное воздействие и удобрительные свойства фракций отсева доломита размерами 0,25-1; 1-3 и 3-5 мм, внесенных в научно-обоснованной дозе и в сочетании между собой на изменение различных форм почвенной кислотности, а также на интенсивность миграции и характер распределения катионов кальция и магния в профиле дерново-подзолистой легкосуглинистой почвы. Установлено содержание обменных катионов кальция и магния в профиле почвы спустя 13 вегетационных периодов после известкования фракциями отсева <0,25; 0,25-1; 1-3 и 3-5 мм. Разработаны эмпирические модели динамики подкисления дерново-подзолистой легкосуглинистой почвы на всем промежутке изучения. Определено влияние различных по размеру фракций на продуктивность и химический состав растений, выращиваемых в опыте.

### **Теоретическая и практическая значимость работы**

В условиях длительного микрополевого опыта, проведенного на сильнокислой дерново-подзолистой почве, мелиорированной частицами доломита размерами 0,25-1, 1-3 и 3-5 мм в научно-обоснованных дозах отдельно и их сочетании между собой, установлена скорость подкисления и возврат к исходному состоянию почвенной кислотности. Разработаны эмпирические модели: а) скорости подкисления дерново-подзолистой легкосуглинистой почвы, мелиорированной частицами доломита различного размера; б) содержания и профильного распределения кальция и магния спустя 13 вегетационных периодов после мелиорации. Результаты исследований могут быть рекомендованы в практике известкования фракциями доломита размером 0,25-1, 1-3 и 3-5 мм, а также для прогноза динамики кислотно-основных свойств дерново-подзолистых почв легкого гранулометрического состава и химического состава выращенных на них сельскохозяйственных культур.

### **Методология и методы исследований**

В диссертации отражены результаты многолетнего микрополевого опыта на Меньковской опытной станции (филиал ФГБНУ АФИ). Химико-аналитические

исследования почв, растений и мелиорантов были проведены на кафедре почвоведения и агрохимии им. Л.Н. Александровой ФГБОУ ВО СПбГАУ, в аккредитованной испытательной лаборатории университета (ИЛ ЭКОС) аттестат аккредитации № РОССТУ.0001.10СБ25, в испытательной лаборатории ФГБНУ АФИ по стандартным и аттестованным методикам. Полученные в ходе исследований данные оценивались методом математической статистики и математического моделирования.

#### **Положения, выносимые на защиту:**

1) Dolomитовые частицы, отсеиваемые в отвалы при производстве щебня из карбонатных пород, являются ценным мелиоративным материалом. В почве они постепенно растворяются, способствуют нейтрализации почвенной кислотности и обогащению профиля доступными для растений соединениями кальция и магния.

2) Использование в качестве мелиоранта доломитовых частиц размером 0,25-1, 1-3 и 3-5 мм приводит к нейтрализации почвенной кислотности в год применения. Чем меньше размер частиц, тем эффект от известкования выше.

3) Положительное влияние известкования частицами размером 0,25-1 и 1-3 мм на почву прослеживаются не менее 8 лет. Частицы 3-5 мм, внесенные в дозе 5 Нг, по эффективности не уступают стандартной известняковой муке, внесенной в научно-обоснованной дозе.

4) Известкование положительно повлияло на продуктивность растений. Прибавки урожая зеленой массы в сумме за 13 вегетационных периодов не уступали варианту с использованием стандартной известняковой муки.

#### **Степень достоверности и апробация результатов**

Достоверность полученных результатов подтверждается тщательным соблюдением методических принципов к постановке и проведению полевых опытов, а также строгим выполнением аналитических исследований почв, растений и мелиорантов в лабораториях ФГБОУ ВО СПбГАУ и ФГБНУ АФИ. Оценка достоверности полученных материалов базируется на основе анализа полевых и лабораторных данных с использованием методов математической статистики.

Основные результаты диссертационной работы докладывались и обсуждались на конференциях: международной конференции «Развитие агропромышленного комплекса на основе современных научных достижений и цифровых технологий» 2019 г. (ФГБОУ ВО СПбГАУ), международной конференции «Роль молодых ученых и исследователей в решении актуальных задач АПК» 2019 г. (ФГБОУ ВО СПбГАУ), международной конференции «Тенденция развития агрофизики: от актуальных проблем земледелия и растениеводства к технологиям будущего» 2019 г. (ФГБНУ АФИ), международной конференции «Агрофизический институт: 90 лет на службе земледелия и растениеводства» 2022 г. (ФГБНУ АФИ), международной конференции «Приоритеты развития АПК в условиях цифровизации и структурных изменений национальной экономики» (ФГБОУ ВО СПбГАУ), XIII международной научно-практической конференции «Агроэкология и цифровые

технологии в сельскохозяйственном производстве» 2023 г (ИАЭП – филиал ФГБНУ ФНАЦ ВИМ), IV международной конференции «Тенденции развития агрофизики: от актуальных проблем земледелия и растениеводства к технологиям будущего» 2023 г (ФГБНУ АФИ).

### **Публикации**

В ходе диссертационного исследования было опубликовано 8 научных работ, из них 1 работа в иностранном журнале (Geoderna Regional) и 6 работ в изданиях, рекомендованных ВАК Минобрнауки РФ.

### **Объем и структура работы**

Диссертация состоит из введения, 5 глав основной части, заключения, рекомендаций по использованию, перспектив дальнейшей разработки, списка использованной литературы и приложений. Общий объем работы 142 страницы печатного текста, включает 9 рисунков и 26 таблиц. В списке литературы 191 источник. 18 источников на иностранных языках.

## **ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ**

### **ГЛАВА 1. СКОРОСТЬ РАСТВОРЕНИЯ И ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОСТЬ ДЕЙСТВИЯ В ПОЧВАХ МЕЛИОРАНТОВ КАРБОНАТНОЙ ПРИРОДЫ**

В данной главе представлен литературный обзор, посвященный изучению известкования в России и за рубежом, а также скорости растворения мелиорантов в почвах и вымывания соединений кальция и магния.

### **ГЛАВА 2. ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ**

Изучение миграции и характера распределения обменных катионов кальция и магния в профиле дерново-подзолистой почвы, мелиорированной фракциями отсева размером <0,25, 0,25-1, 1-3 и 3-5 мм проводилось в длительном микрополевым опыте, заложенном на Меньковской опытной станции филиала ФГБНУ АФИ в 2011 году. Опыт закладывался в пластиковых сосудах без дна. Сосуды ёмкостью 40 литров закапывали в почву на глубину 50 см. В них помещали 40 кг почвы, предварительно известкованной фракциями отсева согласно схеме опыта. Дозы мелиоранта рассчитывали по гидролитической кислотности (Нг). Доломитовую муку готовили из отсева, пропуская частицы через сито с диаметром ячейки 0,25 мм. Повторность вариантов четырехкратная.

В таблице 1 представлена физико-химическая характеристика изучаемой почвы.

Таблица 1. Физико-химическая характеристика дерново-подзолистой почвы.

Гумус, %	pH <sub>KCl</sub>	Нг	Обменная	ЕКО	Содержание частиц < 0,01 мм, %	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O
			кислотность			мг/кг почвы	
ммоль(экв)/100 г почвы							
1,76	4,2	5,6	0,75	14	21,6	75	96

Схема опыта включает в себя десять вариантов, три из которых составляют смеси мелиоранта.

1. Фон (НРК);
2. Фон + Известняковая мука (ИМ) по 1 Нг;
3. Фон + Доломитовая мука (ДМ) (<0,25 мм) по 1 Нг;
4. Фон + Мелиорант (0,25-1 мм) по 1 Нг;
5. Фон + Мелиорант (1-3 мм) по 1 Нг;
6. Фон + Мелиорант (3-5 мм) по 1 Нг;
7. Фон + Мелиорант (<0,25 мм) по 0,5Нг + Мелиорант (0,25-1 мм) по 0,5Нг + Мелиорант (1-3 мм) по 2Нг;
8. Фон + Мелиорант (<0,25 мм) по 0,5Нг + Мелиорант (0,25-1 мм) по 0,5Нг + Мелиорант (1-3 мм) по 3Нг;
9. Фон + Мелиорант (<0,25 мм) по 0,5Нг + Мелиорант (0,25-1 мм) по 0,5Нг + Мелиорант (1-3 мм) по 5Нг;
10. Фон + Мелиорант (3-5 мм) по 5 Нг.

Теоретической предпосылкой включения в схему опыта вариантов со смесью фракций является положение о различной скорости растворения частиц неодинакового размера. На первом этапе происходит растворение мелких частиц, на более поздних сроках разложению подвергаются более крупные фракции. Это позволяет продолжительное время поддерживать в мелиорированной почве значение почвенной кислотности на оптимальном для растений уровне.

Продолжительность эксперимента 13 вегетационных периодов (с 2011 по 2018 гг.) В опыте последовательно выращивали культуры, отзывчивые на известкование и характеризующиеся высоким уровнем потребления кальция: в 2011 г. – рапс, в 2012 г. – вику и горчицу, в 2013 и 2014 гг. – бобы и горчицу, в 2015 г. – ячмень с подсевом тимофеевки, в 2016 и 2017 гг. убрано по два укоса тимофеевки, в 2018 г. один укос. Уборку растений проводили в фазе цветения. Удобрения применяли ежегодно. Перед закладкой опыта вносили 48 г/сосуд азофоски (N:P:K 16:16:16). Далее ежегодно перед посевом применяли по 6 г азофоски на сосуд.

Для определения динамики кислотно-основных свойств почвы на всем протяжении эксперимента после уборки каждой культуры отбирались образцы для анализа. Растительные образцы анализировались на содержание кальция и магния.

Спустя 13 вегетационных периодов после начала эксперимента, в 2018 году, для определения характера распределения катионов кальция и магния в профиле почвы, были отобраны почвенные образцы. Образцы отбирали почвенным буром со стаканом высотой десять сантиметров из каждой делянки. Бур «погружали» в почву послойно, с шагом 10 см, до глубины 70 см.

Полученные данные обрабатывались методом математической статистики и математического моделирования.

### **ГЛАВА 3. ИЗМЕНЕНИЕ КИСЛОТНО-ОСНОВНЫХ СВОЙСТВ ДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТОЙ ЛЕГКОСУГЛИНИСТОЙ ПОЧВЫ ПРИ МЕЛИОРАЦИИ ОТСЕВОМ ДОЛОМИТА РАЗЛИЧНОГО РАЗМЕРА**

В данной главе представлены материалы по динамике  $pH_{KCl}$ , гидролитической кислотности и обменных катионов кальция и магния. Изучение данных показателей проводилось в течение 13 периодов исследований. По полученным материалам были построены эмпирические математические модели, описывающие изменения кислотно-основных свойств в пахотном слое дерново-подзолистой легкосуглинистой почвы.

Изучение изменения обменной кислотности на протяжении 13 вегетационных периодов дало следующие результаты (табл.2).

В варианте без применения мелиорантов изменения  $pH_{KCl}$  в течение проведения эксперимента составили от 3,4 до 4,1 ед.  $pH$ . С 9-го по 13-й вегетационный период величина обменной кислотности колебалась от 3,4 до 3,76 ед.  $pH$ . Это показывает, что почва по-прежнему осталась в категории очень сильнокислых.

Варианты, известкованные доломитовой (ДМ) и известняковой мукой (ИМ) исчерпали свое действие на 8-9 вегетационный периоды исследований. Это связано с тем, что мелкие частицы более активно взаимодействует с почвой и почвенным раствором, однако эффект во времени ограничен.

В вариантах, известкованных частицами отсева доломитовой крошки размерами 0,25-1, 1-3 и 3-5 мм в дозе, рассчитанной по гидролитической кислотности (1 Нг), был отмечен положительный эффект уже в год известкования. Наблюдалась следующая закономерность, что чем меньше размер частиц, тем сдвиг  $pH$  был выше. Аналогично предыдущим вариантам, возвращение почвы к исходному значению  $pH$  до закладки опыта отмечено на 8-ой вегетационный период исследований.

При применении смесей фракций отсева в дозах 3, 4 и 6 Нг положительный эффект прослеживался на протяжении всего времени проведения эксперимента. Чем выше доза применения смесей, тем реакция среды была выше. Эффект от применения смесей был выше, чем использование отдельных фракций доломита. На протяжении 13 периодов исследований отмечено, что почва перешла из группы сильнокислых в группу слабокислых и близких к нейтральным. На 13-й срок изучения почва по-прежнему имела  $pH$  близкий к нейтральной реакции среды.

Применение фракций отсева доломита (3-5 мм), внесенных в 5-ти кратной дозе, оказало положительное влияние на устранение избыточной кислотности. Уже в первый год исследований сдвиг  $pH$  составил 1,15 ед., что было на уровне вариантов, мелиорированных ИМ и ДМ.



Таблица 2. Динамика изменения величины рН<sub>KCl</sub> и Нг в микрополевом опыте.

Вариант опыта	Вегетационные периоды												
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
	рН(ед. рН) / Нг(ммоль(экв)/100 г)*												
1	<u>3,95±0,06</u>	<u>3,85±0,06</u>	<u>4,10±0,11</u>	<u>4,00±0,05</u>	<u>3,83±0,09</u>	<u>3,60±0,05</u>	<u>3,92±0,09</u>	Не определили	<u>3,40±0,11</u>	<u>3,76±0,20</u>	<u>3,58±0,05</u>	<u>3,70±0,03</u>	<u>3,70±0,14</u>
	3,85±0,06	5,58±0,20	5,04±0,34	4,52±0,16	5,01±0,32	5,86±0,34	6,48±1,15		7,52±0,38	6,79±0,32	6,77±0,26	6,97±0,12	5,35±0,38
2	<u>5,32±0,12</u>	<u>4,95±0,06</u>	<u>4,90±0,16</u>	<u>4,70±0,05</u>	<u>4,34±0,05</u>	<u>4,10±0,01</u>	<u>4,44±0,72</u>		<u>4,00±0,17</u>	<u>4,13±0,05</u>	<u>3,95±0,06</u>	<u>4,20±0,12</u>	<u>4,03±0,19</u>
	2,65±0,22	3,23±0,13	3,08±0,23	2,92±0,43	4,35±0,67	4,16±0,11	4,68±0,40		5,32±0,20	5,31±0,11	5,85±0,48	5,10±0,40	4,51±0,64
3	<u>5,45±0,06</u>	<u>5,12±0,10</u>	<u>5,15±0,13</u>	<u>4,95±0,10</u>	<u>4,58±0,17</u>	<u>4,22±0,05</u>	<u>4,74±0,09</u>		<u>4,10±0,08</u>	<u>4,19±0,09</u>	<u>3,95±0,06</u>	<u>4,30±0,05</u>	<u>3,93±0,17</u>
	2,54±0,22	2,86±0,12	2,76±0,19	2,68±0,24	3,54±0,42	4,14±0,54	4,10±0,46		5,23±0,17	5,37±0,09	5,32±0,28	5,03±0,02	5,17±0,14
4	<u>5,13±0,05</u>	<u>5,05±0,06</u>	<u>5,32±0,12</u>	<u>5,10±0,08</u>	<u>4,80±0,08</u>	<u>4,33±0,05</u>	<u>4,90±0,09</u>		<u>4,00±0,17</u>	<u>4,16±0,13</u>	<u>3,90±0,08</u>	<u>4,40±0,08</u>	<u>4,10±0,08</u>
	3,41±0,24	3,09±0,09	2,66±0,25	2,58±0,22	2,94±0,33	4,70±0,11	4,11±0,37		5,97±0,63	5,06±0,27	5,80±0,68	4,74±0,10	4,50±0,37
5	<u>4,62±0,09</u>	<u>4,42±0,05</u>	<u>5,00±0,08</u>	<u>4,85±0,06</u>	<u>4,40±0,05</u>	<u>4,15±0,06</u>	<u>4,58±0,09</u>		<u>3,90±0,12</u>	<u>4,13±0,06</u>	<u>3,98±0,09</u>	<u>4,30±0,06</u>	<u>4,10±0,14</u>
	4,45±0,21	4,25±0,04	3,00±0,86	3,03±0,23	3,79±0,35	4,40±0,16	4,81±0,43		5,93±0,26	5,26±0,23	5,58±0,26	5,01±0,32	4,54±0,21
6	<u>4,60±0,08</u>	<u>4,05±0,06</u>	<u>4,40±0,08</u>	<u>4,45±0,17</u>	<u>4,38±0,17</u>	<u>3,95±0,06</u>	<u>4,26±0,12</u>	<u>3,80±0,05</u>	<u>4,11±0,06</u>	<u>3,95±0,06</u>	<u>4,10±0,08</u>	<u>3,88±0,09</u>	
	5,35±0,45	5,34±0,11	4,72±0,14	3,82±0,17	5,01±0,30	4,70±0,21	6,29±0,31	7,28±0,38	5,88±0,06	6,07±0,49	5,93±0,31	5,26±0,29	
7	<u>5,82±0,09</u>	<u>5,75±0,06</u>	<u>6,10±0,08</u>	<u>6,00±0,08</u>	<u>5,63±0,17</u>	<u>5,60±0,08</u>	<u>6,10±0,06</u>	<u>5,00±0,10</u>	<u>5,23±0,19</u>	<u>5,08±0,15</u>	<u>5,70±0,08</u>	<u>5,45±0,26</u>	
	2,16±0,30	2,05±0,04	1,71±0,13	1,30±0,13	1,45±0,15	1,78±0,03	2,03±0,18	3,39±0,11	2,39±0,21	3,11±0,42	2,24±0,20	2,43±0,38	
8	<u>5,95±0,06</u>	<u>5,85±0,06</u>	<u>6,30±0,05</u>	<u>6,30±0,05</u>	<u>5,93±0,05</u>	<u>5,80±0,08</u>	<u>6,40±0,02</u>	<u>5,50±0,23</u>	<u>5,80±0,05</u>	<u>5,63±0,23</u>	<u>6,20±0,05</u>	<u>6,08±0,09</u>	
	2,02±0,12	1,90±0,12	1,50±0,07	1,16±0,15	1,31±0,06	1,55±0,10	1,63±0,10	2,56±0,51	1,43±0,02	2,40±0,34	1,49±0,06	1,32±0,16	
9	<u>6,10±0,17</u>	<u>6,00±0,05</u>	<u>6,40±0,01</u>	<u>6,40±0,06</u>	<u>6,20±0,08</u>	<u>6,10±0,09</u>	<u>6,63±0,14</u>	<u>5,85±0,20</u>	<u>6,00±0,08</u>	<u>6,08±0,14</u>	<u>6,40±0,03</u>	<u>6,33±0,09</u>	
	1,80±0,10	1,64±0,06	1,28±0,03	1,01±0,13	0,99±0,02	1,28±0,11	1,54±0,20	1,86±0,40	1,46±0,20	2,06±0,61	1,26±0,10	1,09±0,20	
10	<u>5,35±0,29</u>	<u>4,85±0,20</u>	<u>5,70±0,12</u>	<u>5,65±0,13</u>	<u>5,12±0,09</u>	<u>5,20±0,08</u>	<u>5,71±0,08</u>	<u>4,80±0,12</u>	<u>5,00±0,11</u>	<u>5,23±0,15</u>	<u>5,70±0,13</u>	<u>5,33±0,54</u>	
	4,17±0,26	3,72±0,11	3,08±0,16	2,41±0,23	3,26±0,31	2,75±0,19	3,04±0,35	3,95±0,32	3,55±0,26	2,84±0,22	2,62±0,21	2,36±0,32	

\*Над чертой - значения рН<sub>KCl</sub>, под чертой – значения гидролитической кислотности.

По данным динамики  $pH_{KCl}$  для каждого варианта построены эмпирические модели. При построении моделей применялся линейный регрессионный анализ.

Таблица 3 - Эмпирические модели динамики  $pH_{KCl}$  и Нг за 13 периодов вегетации.

Вариант опыта	Эмпирическая модель	p-value по F – критерию	Коэффициент детерминации ( $R^2$ )
1	$y_{1.1} = 4 - 0,03 \cdot t$	0,020	0,420
	$y_{1.2} = 4,97 + 0,14 \cdot t$	0,037	0,366
2	$y_{2.1} = 5,085 - 0,096 \cdot t$	0,0002	0,76
	$y_{2.2} = 2,7 + 0,23 \cdot t$	0,00038	0,73
3	$y_{3.1} = 5,357 - 0,116 \cdot t$	4,6E – 05	0,82
	$y_{3.2} = 2,2 + 0,27 \cdot t$	4,34E – 06	0,889
4	$y_{4.1} = 5,335 - 0,11 \cdot t$	0,00036	0,735
	$y_{4.2} = 2,59 + 0,22 \cdot t$	0,004	0,58
5	$y_{5.1} = 4,78 - 0,059 \cdot t$	0,01	0,49
	$y_{5.2} = 3,52 + 0,14 \cdot t$	0,027	0,4
6	$y_{6.1} = 4,46 - 0,043 \cdot t$	0,01	0,48
	$y_{6.2} = 4,73 + 0,11 \cdot t$	0,1	0,23
7	$y_{7.1} = 6,01 - 0,056 \cdot t$	0,036	0,369
	$y_{7.2} = 0,415 + 0,46 \cdot t$	0,001	0,665
8	$y_{8.1} = 6,07 - 0,013 \cdot t$	0,56	0,034
	$y_{8.2} = 1,66 + 0,0044 \cdot t$	0,9	0,0016
9	$y_{9.1} = 6,2 + 0,002 \cdot t$	0,92	0,0009
	$y_{9.2} = 1,43 + 0,0012 \cdot t$	0,96	0,00018
10	$y_{10.1} = 5,3 - 0,001 \cdot t$	0,96	0,00025
	$y_{10.2} = 3,6 - 0,067 \cdot t$	0,136	0,2

\*Над чертой - модели динамики  $pH_{KCl}$ , под чертой – модели динамики гидролитической кислотности.

Эмпирические модели, построенные по данным вариантов опыта 1–7, обладают высокой статистической значимостью. В среднем происходит убывание значений  $pH_{KCl}$  на всем интервале изучения. Эмпирические модели, построенные по данным вариантов 8, 9, 10 статистически незначимы.

Изучение динамики гидролитической кислотности показало, аналогичную картину на всем протяжении изучения (табл. 2). Чем меньше размер частиц, тем ниже значения гидролитической кислотности. По данным динамики гидролитической кислотности были построены эмпирические модели (табл. 3).

Эмпирические модели динамики Нг, построенные по данным вариантов опыта 1–5 и 7, обладают высокой статистической значимостью. Происходит увеличение значений величины гидролитической кислотности и, следовательно, подкисление почвы. Модель 6 значима на невысоком уровне значимости. В варианте опыта 6 происходит в среднем увеличение показателя Нг.

Эмпирические модели вариантов опыта 8, 9, 10 показывают, что нет статистически значимых изменений Нг. Это говорит о том, что в данных вариантах проследить зависимость снижения значений гидролитической кислотности от внесенной дозы и размера частиц мелиоранта не удалось.

Изучение динамики содержания кальция в пахотном слое дало следующие результаты (табл. 4).

Исходное содержание кальция в почве перед закладкой опыта составляло 1,54 ммоль(экв)/100 г почвы. В первый год после закладки опыта, содержание кальция в варианте с использованием только минеральных удобрений практически не изменилось. До конца опыта концентрация кальция в варианте без известкования не опускалась ниже значения 0,75 ммоль(экв)/100 г почвы. С 9-го вегетационного периода содержание обменного кальция уменьшалось и на 13 год изучения, в 2018 году, содержание кальция оказалось в 3 раза меньше чем на начальном этапе исследований.

За первые 8 вегетационных периодов содержание кальция в варианте с ДМ и ИМ было выше контрольного варианта в 2 раза. С 9-го вегетационного периода содержание кальция снижается и на 12 вегетационный период концентрация кальция в почве варианта с ИМ была на уровне контрольного варианта. Еще через год содержание снизилось еще в 2 раза. Таким образом, мелиоративное действие известняковой и доломитовой муки завершилось на 7-8 вегетационные периоды.

Динамика содержания обменного кальция в почве с использованием фракций доломита размером 0,25–1, 1–3 и 3-5 мм была аналогична вариантам с применением известняковой и доломитовой муки. К концу проведения исследования концентрация кальция в вариантах с фракцией 0,25-1 и 1-3 мм была 0,91 и 0,94 ммоль(экв)/100 г почвы соответственно, в то время как в варианте с частицами 3-5 мм этот уровень составлял 0,75 ммоль(экв)/100 г почвы.

Варианты с применением смесей фракций характеризовались максимальным содержанием обменного кальция в почве. На момент окончания опыта содержание кальция в вариантах 7-9 было в 3 раза выше, чем в варианте с ДМ. Таким образом, применение смеси мелиорантов подтверждает факт постепенного растворения более крупных фракций отсева доломита и их длительного мелиоративного эффекта.

Применение фракций отсева размером 3-5 мм в количестве 5-тикратно превышающей научно-обоснованную дозу оказало положительное влияние на обогащение пахотного слоя обменным кальцием на протяжении всего периода проведения исследований. Увеличение содержания кальция носило выравненный характер по годам исследований, и было сопоставимо с вариантом, произвесткованным ДМ.

Таблица 4. Динамика изменения содержания обменного кальция и магния в почве микрополевого опыта.

Вариант опыта	Вегетационные периоды												
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
	Ca/Mg, ммоль(экв)/100 г почвы												
1	<u>1,53±0,06</u>	<u>0,20±0,12</u>	<u>1,47±0,27</u>	<u>1,70±0,12</u>	<u>1,64±0,33</u>	<u>1,00±0,12</u>	<u>1,65±0,06</u>	Не определили	<u>1,28±0,30</u>	<u>1,09±0,18</u>	<u>1,41±0,31</u>	<u>0,75±0,10</u>	<u>0,55±0,19</u>
	0,33±0,02	не опред	0,28±0,11	0,23±0,04	0,23±0,05	0,24±0,07	0,42±0,05		0,61±0,09	0,21±0,05	0,23±0,02	0,50±0,10	0,46±0,38
2	<u>3,87±0,27</u>	<u>5,97±0,72</u>	<u>2,94±0,16</u>	<u>3,67±0,25</u>	<u>2,66±0,26</u>	<u>2,31±0,03</u>	<u>2,98±0,15</u>		<u>3,11±0,46</u>	<u>1,92±0,22</u>	<u>2,47±0,55</u>	<u>1,68±0,20</u>	<u>0,82±0,13</u>
	0,60±0,02	не опред	0,53±0,04	0,47±0,01	0,31±0,01	0,41±0,18	0,54±0,04		0,94±0,20	0,27±0,03	0,31±0,03	0,50±0,10	0,57±0,28
3	<u>3,16±0,23</u>	<u>6,12±0,85</u>	<u>2,75±0,09</u>	<u>3,58±0,42</u>	<u>2,89±0,15</u>	<u>2,28±0,06</u>	<u>2,84±0,16</u>		<u>3,28±0,27</u>	<u>2,06±0,20</u>	<u>2,31±0,55</u>	<u>2,00±0,52</u>	<u>0,70±0,12</u>
	1,97±0,12	не опред	1,08±0,04	1,20±0,04	0,76±0,10	0,75±0,15	1,34±0,19		2,27±0,38	0,38±0,02	0,41±0,02	0,66±0,21	1,42±0,42
4	<u>2,78±0,23</u>	<u>6,00±0,41</u>	<u>2,89±0,17</u>	<u>3,55±0,16</u>	<u>2,81±0,05</u>	<u>2,51±0,03</u>	<u>3,09±0,12</u>		<u>2,72±0,21</u>	<u>2,37±0,22</u>	<u>1,91±0,12</u>	<u>1,88±0,14</u>	<u>0,91±0,07</u>
	1,55±0,05	не опред	1,14±0,02	1,30±0,05	0,98±0,04	0,99±0,18	1,56±0,08		1,99±0,27	0,44±0,07	0,41±0,04	0,72±0,12	0,67±0,32
5	<u>2,44±0,07</u>	<u>5,16±0,52</u>	<u>2,41±0,16</u>	<u>2,18±0,25</u>	<u>2,36±0,18</u>	<u>2,45±0,06</u>	<u>2,72±0,12</u>		<u>2,72±0,64</u>	<u>2,16±0,27</u>	<u>2,12±0,27</u>	<u>1,85±0,31</u>	<u>0,94±0,21</u>
	1,07±0,05	не опред	1,05±0,03	1,22±0,10	0,92±0,06	1,34±0,15	1,68±0,18		2,24±0,45	0,64±0,14	0,59±0,08	0,91±0,12	1,00±0,52
6	<u>2,44±0,07</u>	<u>4,47±0,99</u>	<u>2,06±0,24</u>	<u>3,00±0,22</u>	<u>2,25±0,13</u>	<u>2,19±0,26</u>	<u>2,00±0,26</u>	<u>2,37±0,43</u>	<u>2,33±0,18</u>	<u>2,12±0,46</u>	<u>1,25±0,15</u>	<u>0,75±0,16</u>	
	0,91±0,08	не опред	0,66±0,07	0,84±0,21	0,79±0,15	1,74±0,53	1,24±0,24	2,24±0,49	0,50±0,09	0,58±0,14	0,66±0,21	1,14±0,44	
7	<u>3,28±0,21</u>	<u>7,50±1,56</u>	<u>3,28±0,11</u>	<u>4,17±0,31</u>	<u>3,60±0,15</u>	<u>3,75±0,07</u>	<u>4,12±0,10</u>	<u>4,12±0,30</u>	<u>3,64±0,11</u>	<u>3,28±0,25</u>	<u>2,88±0,69</u>	<u>2,10±0,32</u>	
	1,97±0,33	не опред	1,22±0,02	1,46±0,01	1,28±0,01	2,45±0,10	3,50±0,19	3,46±0,02	1,44±0,04	1,13±0,08	1,19±0,29	0,10±0,03	
8	<u>3,29±0,12</u>	<u>8,31±0,31</u>	<u>3,38±0,11</u>	<u>3,79±0,25</u>	<u>3,94±0,37</u>	<u>3,84±0,12</u>	<u>4,03±0,16</u>	<u>4,28±0,32</u>	<u>3,76±0,18</u>	<u>3,38±0,18</u>	<u>2,80±0,81</u>	<u>2,11±0,19</u>	
	2,28±0,29	не опред	1,23±0,02	1,48±0,02	1,29±0,01	2,73±0,14	3,69±0,18	3,31±0,36	1,54±0,04	1,33±0,03	1,43±0,46	1,81±0,12	
9	<u>3,37±0,10</u>	<u>8,59±0,34</u>	<u>3,36±0,14</u>	<u>3,82±0,22</u>	<u>3,73±0,10</u>	<u>4,01±0,03</u>	<u>4,19±0,21</u>	<u>4,25±0,44</u>	<u>4,12±0,10</u>	<u>3,41±0,12</u>	<u>3,00±0,27</u>	<u>1,72±0,33</u>	
	2,64±0,11	не опред	1,24±0,01	1,50±0,01	1,28±0,01	2,77±0,09	3,74±0,26	3,55±0,01	1,61±0,04	1,41±0,05	1,66±0,35	2,00±0,30	
10	<u>2,75±0,22</u>	<u>6,53±1,04</u>	<u>2,83±0,13</u>	<u>3,58±0,23</u>	<u>3,33±0,18</u>	<u>3,58±0,17</u>	<u>3,66±0,12</u>	<u>3,87±0,10</u>	<u>3,77±0,13</u>	<u>3,06±0,36</u>	<u>2,28±0,12</u>	<u>1,50±0,27</u>	
	1,46±0,30	не опред	1,20±0,02	1,46±0,02	1,24±0,01	2,74±0,08	3,25±0,15	3,45±0,03	1,42±0,09	1,12±0,03	1,34±0,26	1,37±0,67	

\* Над чертой - значения обменного кальция, под чертой – значения обменного магния.

По данным динамики содержания кальция были построены эмпирические модели (табл. 5).

Таблица 5 – Эмпирические модели динамики содержания обменного кальция и магния за 13 периодов вегетации.

Вариант опыта	Эмпирическая модель	p-value по F – критерию	Коэффициент детерминации (R <sup>2</sup> )
1	$y_{1,3} = 1,4 - 0,03 \cdot t$	0,4	0,07
	$y_{1,4} = 0,236 + 0,014 \cdot t$	0,214	0,165
2	$y_{2,3} = 4,6 - 0,25 \cdot t$	0,002	0,62
	$y_{2,4} = 0,51 - 0,0019 \cdot t$	0,91	0,0016
3	$y_{3,3} = 4,37 - 0,22 \cdot t$	0,01	0,497
	$y_{3,4} = 1,46 - 0,047 \cdot t$	0,36	0,093
4	$y_{4,3} = 4,28 - 0,217 \cdot t$	0,008	0,518
	$y_{4,4} = 1,56 - 0,067 \cdot t$	0,09	0,28
5	$y_{5,3} = 3,45 - 0,14 \cdot t$	0,039	0,36
	$y_{5,4} = 1,28 - 0,019 \cdot t$	0,664	0,02
6	$y_{6,3} = 3,32 - 0,15 \cdot t$	0,01	0,475
	$y_{6,4} = 1,01 + 0,0025 \cdot t$	0,957	0,003
7	$y_{7,3} = 4,98 - 0,17 \cdot t$	0,077	0,278
	$y_{7,4} = 2,26 - 0,07 \cdot t$	0,43	0,07
8	$y_{8,3} = 5,21 - 0,19 \cdot t$	0,09	0,255
	$y_{8,4} = 2,1 - 0,01 \cdot t$	0,876	0,003
9	$y_{9,3} = 5,3 - 0,2 \cdot t$	0,1	0,24
	$y_{9,4} = 2,19 - 0,008 \cdot t$	0,91	0,001
10	$y_{10,3} = 3,6 - 0,067 \cdot t$	0,1	0,239
	$y_{10,4} = 1,82 + 0,0007 \cdot t$	0,99	1,01E – 05

\*Над чертой - модели динамики содержания обменного кальция, под чертой – модели динамики содержания обменного магния.

Эмпирическая модель (1.3) статистически незначима. Выявлена низкая скорость потерь обменного кальция.

Эмпирические модели (2.3) – (6.3) в вариантах опыта со 2 по 6 статистически значимы. Происходит уменьшение содержания Са.

Модели (7.3) – (10.3) статистически значимы на невысоком уровне значимости, в вариантах опыта 7 – 10 происходит некоторое уменьшение содержания Са.

Изменение динамики содержания обменного магния имело аналогичную картину с обменным кальцием (табл. 4.). Исключение составляет вариант, известкованный ИМ.

Во всех вариантах, произвесткованных доломитовой крошкой, наблюдался рост концентрации обменного магния. Применение крупных фракций размером 0,25-1, 1-3 и 3-5 мм оказало положительное влияние на увеличение содержания магния в почве. Эффект от применения крупных частиц прослеживался и на 13 вегетационный период эксперимента.

По данным динамики содержания обменного магния были построены эмпирические модели (табл. 5).

Эмпирическая модель варианта 4 статистически значима на невысоком уровне значимости, в варианте опыта 4 происходит в среднем некоторое уменьшение содержания обменного Mg.

Все остальные модели в вариантах опыта 1–3 и 5–10 статистически незначимы. В этих вариантах нет статистически значимого изменения Mg в среднем на всем промежутке измерений.

#### ГЛАВА 4. СОДЕРЖАНИЕ И ПРОФИЛЬНОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ОБМЕННЫХ КАТИОНОВ КАЛЬЦИЯ И МАГНИЯ В МЕЛИОРИРУЕМОЙ ЧАСТИЦАМИ ДОЛОМИТА ДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТОЙ ПОЧВЕ

В данной главе представлены материалы после анализа почвенных образцов, отобранных после 13 вегетационных периодов изучения.

Данные по распределению обменных катионов кальция представлены на рисунке 1.

В почве контрольного варианта (без известкования) содержание обменного кальция в слое 0-10 см составило 0,9 ммоль(экв)/100 г почвы. До глубины 30-40 см его содержание снижалось. Диапазон колебаний составил от 0,58 до 0,63 ммоль(экв)/100 г почвы. Максимальное значение изучаемого показателя зафиксировано на глубине 60-70 см.

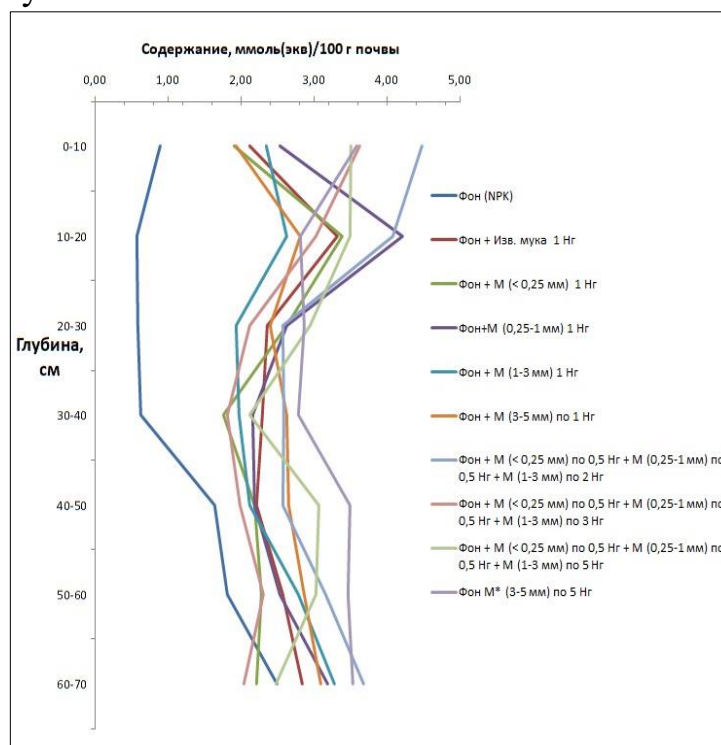


Рисунок 1. Содержание и профильное распределение обменного кальция после 13 вегетационных периодов изучения.

Использование известняковой и доломитовой муки привело к обогащению почвенной толщи обменным кальцием. Диапазон колебаний его содержания в профиле почвы, мелиорируемой ИМ, составлял от 2,15 до 3,33 ммоль(экв)/100 г почвы. В слое 0-40 см почвы, мелиорируемой ДМ, содержание варьировалось от

1,77 до 3,39 ммоль(экв)/100 г почвы. С глубины 40-50 см содержание Са увеличивалось.

В почве, мелиорируемой частицами размером 0,25-1, 1-3 и 3-5 мм в дозе равной 1 Нг, увеличение содержания обменного кальция по сравнению с контрольным вариантом зафиксировано во всех изученных горизонтах. Серьёзных различий в содержании Са по горизонтам между сравниваемыми вариантами выявить не удалось.

Дозы применения мелиоранта, соответствующие 3, 4 и 6 Нг, способствовали ещё большему обогащению профиля обменным кальцием. В поверхностном слое (0-10 см) содержание Са колебалось от 3,51 до 4,19 ммоль(экв)/100 г почвы, в слое 10-20 см – от 3,04 до 4,08 ммоль(экв)/100 г почвы. Строгих закономерностей влияния дозы применения мелиоранта на содержание и распределение обменного кальция в почве сравниваемых вариантов не выявлено.

Данные содержания и профильного распределения обменных катионов магния представлены на рисунке 2.

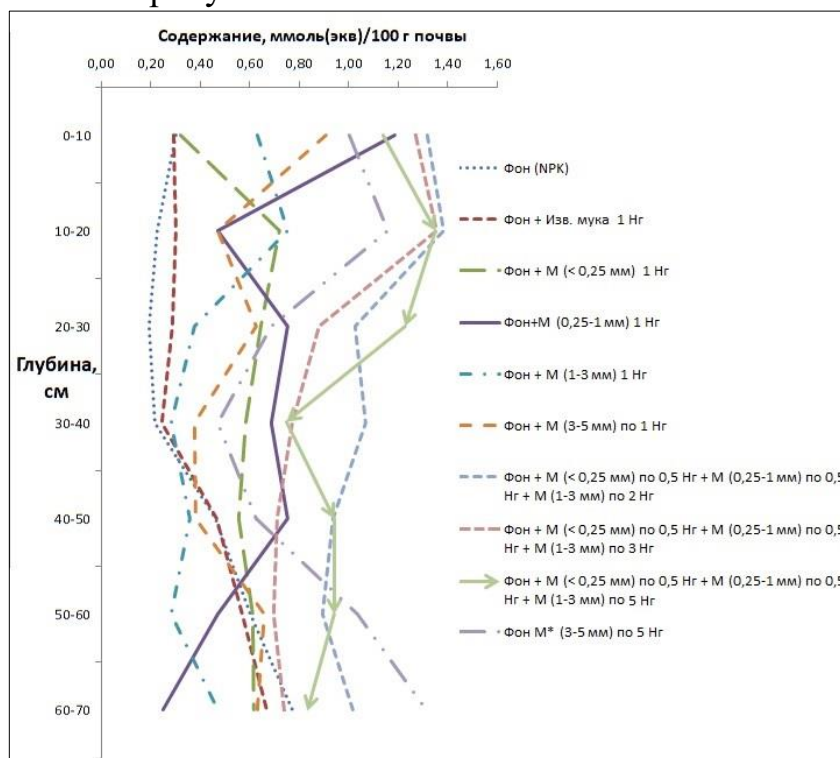


Рисунок 2. Содержание и профильное распределение обменного магния после 13 вегетационных периодов изучения.

Анализ проб, отобранных из ненарушенного профиля дерново-подзолистой легкосуглинистой почвы спустя 13 вегетационных периодов после проведения известкования стандартной известняковой мукой, не выявил увеличения содержания обменного магния в отдельных слоях по сравнению с аналогичными слоями почвы в контрольном варианте. Использование доломитовой муки в дозе, эквивалентной дозе применения ИМ, напротив, привело к повышению содержания обменного магния в сравниваемых горизонтах почвы.

Известкование почвы доломитовыми частицами размером 0,25-1, 1-3 мм и 3-5 мм в научно обоснованной дозе также привело к обогащению магнием

отдельных слоев профиля. Максимальное содержание обменного магния при применении частиц размером 0,25-1 мм и 3-5 мм зафиксировано в поверхностном слое почвы (0-10 см): 1,19 и 0,91 ммоль(экв)/100 г почвы соответственно. В слое 20-30 см при использовании фракций размером 1-3 мм оно составило 0,75 ммоль(экв)/100 г почвы.

Применение смеси частиц мелиоранта в дозах, соответствующих 3, 4 и 6 Нг, способствовало более значительному обогащению исследуемой толщи почвы обменным магнием. Максимальным накоплением характеризовались слои 0-10 и 10-20 см. В поверхностном горизонте колебания содержания составили от 1,14 до 1,32, в нижележащем – от 1,36 до 1,39 ммоль(экв)/100 г почвы. Строгих закономерностей влияния дозы применения смеси частиц мелиорантов на содержание и распределение обменного магния в сравниваемых вариантах не выявлено.

По данным профильного распределения обменных катионов кальция и магния разработаны линейные и нелинейные эмпирические модели распределения кальция и магния в ненарушенном профиле изучаемой почвы.

## ГЛАВА 5. ВЛИЯНИЕ РАЗЛИЧНЫХ ПО РАЗМЕРУ ЧАСТИЦ ДОЛОМИТА НА ПРОДУКТИВНОСТЬ И ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ РАСТЕНИЙ

В данной главе представлены урожайные данные, а также содержание в растениях кальция и магния. Во всех известкованных вариантах прибавка урожайности по отношению к контролю за 13 периодов исследований варьировала от 30,4% до 57,3% (рис.3).



Рисунок 3. Суммарный урожай биомассы растений за 13 периодов изучения.

Отмечено, что прибавка урожая биомассы растений от применения крупных фракций доломита размером 0,25-1, 1-3 и 3-5 мм не уступало по эффективности ИМ и ДМ.

Содержание кальция и магния в растениях неизвесткованного контроля на всем сроке проведения исследований было ниже, чем в вариантах,



произвесткованных стандартными мелиорантами и отсевом доломитовой крошки размером 0,25-1, 1-3 и 3-5 мм.

В варианте с применением стандартной ИМ содержание кальция в растениях было наибольшим. В тоже время содержание магния в данном варианте было лишь на 0,42% выше, чем в контроле.

В варианте с использованием ДМ содержание кальция было закономерно ниже, чем в варианте с ИМ, это связано с высокой долей магния в составе ДМ. Содержание магния в растениях данного варианта было наибольшим уже в год известкования.

В вариантах с применением частиц доломита размерами 0,25-1, 1-3 мм, содержание кальция в растениях было на уровне варианта с ДМ. Была отмечена закономерность, что чем больше размер частиц, тем меньше кальция накапливали растения. При применении фракции доломита размером 3-5 мм в научно-обоснованной дозе содержание кальция было ниже, чем в варианте с фракцией 1-3 мм, к концу эксперимента в данном варианте зафиксировано самое низкое содержание кальция в растениях тимopheевки – 0,15%.

Содержание магния в растениях вариантов с применением фракций отсева размером 0,25-1, 1-3 и 3-5 мм в научно-обоснованной дозе, возросло уже в год известкования. Следовательно, фракции доломита размером 0,25-1, 1-3 и 3-5 мм являются источником питания растений магнием уже в год известкования.

Применение смесей фракций размером <0,25, 0,25-1 и 1-3 мм привело к накоплению кальция и магния растениями. Эффект от их применения был на уровне вариантов с ИМ и ДМ, а к концу эксперимента превысил значения в данных вариантах. Зависимость между дозой применения и концентрацией кальция и магния в растениях выявить не удалось.

Применение крупных фракций доломита размером 3-5 мм, внесенных в пятикратной дозе, рассчитанной по Нг, увеличило содержание кальция и магния в растениях по сравнению с контрольным вариантом опыта. В некоторые вегетационные периоды значения фиксировались на уровне с вариантами, произвесткованными фракциями 0,25-1 и 1-3 мм. Следовательно, кальций в составе крупных фракций доломита доступен для растений. Внесенные в 5-ти кратной научно-обоснованной дозе, данные фракции постепенно растворяются и способствуют пополнению фонда доступного для растений кальция и магния.

Таким образом, внесение крупных фракций доломита в 5 кратной дозе может компенсировать недостающее количество кальция и магния для растений. Медленно растворяясь, данные фракции способны долгое время быть источником Са и Mg для растений в пахотном слое почвы.

Таблица 6 – Содержание кальция и магния в растениях

Вариант	Периоды вегетации												
	Рапс 2011	Вика 2012	Горчица 2012	Бобы 2013	Горчица 2013	Бобы 2014	Горчица 2014	Ячмень 2015	Тимофеевка луговая				
									2016 1 укос	2016 2 укос	2017 1 укос	2017 2 укос	2018 1 укос
% абсолютно сухой массы													
1	<u>0,80±0,14</u>	<u>1,40±0,11</u>	<u>0,77±0,07</u>	<u>4,26±0,31</u>	<u>1,17±0,33</u>	<u>0,49±0,25</u>	<u>2,72±0,05</u>	Не определяли	<u>0,17±0,02</u>	<u>0,15±0,04</u>	<u>0,14±0,01</u>	<u>0,26±0,03</u>	<u>0,19±0,009</u>
	0,47±0,03	0,26±0,04	не опред	не опред	0,30±0,01	0,14±0,03	0,71±0,26		0,07±0,03	0,01±0,01	0,06±0,02	0,10±0,03	0,05±0,002
2	<u>1,92±0,34</u>	<u>2,17±0,06</u>	<u>1,70±0,10</u>	<u>9,89±0,58</u>	<u>2,30±0,44</u>	<u>1,76±0,56</u>	<u>2,65±0,06</u>		<u>0,39±0,05</u>	<u>0,24±0,009</u>	<u>0,19±0,02</u>	<u>0,28±0,03</u>	<u>0,25±0,03</u>
	0,58±0,05	0,30±0,03	не опред	не опред	0,38±0,02	0,51±0,2	1,13±0,16		0,12±0,02	0,05±0,01	0,07±0,003	0,11±0,02	0,08±0,02
3	<u>1,48±0,27</u>	<u>1,86±0,18</u>	<u>1,48±0,12</u>	<u>8,77±0,83</u>	<u>2,13±0,25</u>	<u>2,15±0,20</u>	<u>2,46±0,10</u>		<u>0,37±0,04</u>	<u>0,23±0,02</u>	<u>0,17±0,02</u>	<u>0,25±0,03</u>	<u>0,24±0,02</u>
	0,75±0,06	0,59±0,03	не опред	не опред	0,83±0,13	0,64±0,07	0,98±0,20		0,15±0,02	0,07±0,005	0,08±0,007	0,13±0,02	0,10±0,02
4	<u>1,34±0,07</u>	<u>1,54±0,10</u>	<u>1,34±0,09</u>	<u>8,77±0,83</u>	<u>1,99±0,23</u>	<u>2,05±0,32</u>	<u>2,00±0,18</u>		<u>0,35±0,04</u>	<u>0,23±0,02</u>	<u>0,16±0,02</u>	<u>0,28±0,05</u>	<u>0,21±0,05</u>
	0,51±0,02	0,55±0,04	не опред	не опред	0,76±0,04	0,66±0,03	0,89±0,19		0,15±0,01	0,08±0,005	0,10±0,008	0,16±0,02	0,11±0,01
5	<u>1,44±0,06</u>	<u>1,44±0,06</u>	<u>1,30±0,14</u>	<u>7,55±1,05</u>	<u>2,03±0,17</u>	<u>1,42±0,23</u>	<u>2,07±0,21</u>		<u>0,31±0,02</u>	<u>0,22±0,03</u>	<u>0,16±0,03</u>	<u>0,28±0,03</u>	<u>0,22±0,02</u>
	0,50±0,02	0,41±0,01	не опред	не опред	0,59±0,02	0,73±0,08	1,00±0,42		0,15±0,04	0,08±0,02	0,09±0,01	0,17±0,03	0,12±0,02
6	<u>1,05±0,17</u>	<u>1,51±0,03</u>	<u>0,98±0,07</u>	<u>8,10±0,88</u>	<u>1,88±0,31</u>	<u>1,13±0,18</u>	<u>2,10±0,09</u>	<u>0,32±0,02</u>	<u>0,23±0,02</u>	<u>0,17±0,02</u>	<u>0,23±0,03</u>	<u>0,15±0,04</u>	
	0,40±0,03	0,42±0,03	не опред	не опред	0,43±0,04	0,41±0,04	1,57±0,08	0,21±0,03	0,06±0,007	0,10±0,009	0,09±0,01	0,12±0,01	
7	<u>1,37±0,09</u>	<u>1,88±0,16</u>	<u>1,46±0,16</u>	<u>6,69±0,78</u>	<u>2,32±0,15</u>	<u>1,41±0,03</u>	<u>2,13±0,30</u>	<u>0,36±0,02</u>	<u>0,24±0,02</u>	<u>0,19±0,02</u>	<u>0,27±0,03</u>	<u>0,18±0,04</u>	
	0,59±0,04	0,68±0,10	не опред	не опред	0,90±0,09	0,76±0,08	1,36±0,18	0,22±0,03	0,12±0,02	0,13±0,02	0,17±0,03	0,16±0,01	
8	<u>1,49±0,14</u>	<u>1,84±0,06</u>	<u>1,46±0,03</u>	<u>6,74±0,23</u>	<u>2,47±0,24</u>	<u>1,15±0,07</u>	<u>2,08±0,05</u>	<u>0,37±0,05</u>	<u>0,20±0,005</u>	<u>0,17±0,01</u>	<u>0,25±0,02</u>	<u>0,16±0,03</u>	
	0,58±0,07	0,66±0,05	не опред	не опред	1,09±0,11	0,67±0,04	1,39±0,04	0,20±0,03	0,09±0,007	0,14±0,004	0,15±0,02	0,16±0,01	
9	<u>1,58±0,20</u>	<u>1,99±0,16</u>	<u>1,50±0,09</u>	<u>6,51±0,40</u>	<u>2,7±0,58</u>	<u>1,26±0,11</u>	<u>2,10±0,13</u>	<u>0,32±0,02</u>	<u>0,26±0,01</u>	<u>0,19±0,01</u>	<u>0,26±0,01</u>	<u>0,20±0,04</u>	
	0,57±0,08	0,69±0,01	не опред	не опред	1,05±0,09	0,66±0,25	1,35±0,09	0,16±0,01	0,15±0,02	0,16±0,01	0,16±0,03	0,18±0,02	
10	<u>1,20±0,19</u>	<u>1,58±0,14</u>	<u>1,29±0,09</u>	<u>5,68±1,03</u>	<u>1,91±0,05</u>	<u>1,27±0,05</u>	<u>2,00±0,08</u>	<u>0,32±0,03</u>	<u>0,22±0,03</u>	<u>0,15±0,01</u>	<u>0,28±0,05</u>	<u>0,19±0,01</u>	
	0,38±0,02	0,49±0,07	не опред	не опред	0,73±0,07	0,73±0,06	0,88±0,15	0,15±0,01	0,10±0,009	0,13±0,006	0,16±0,02	0,18±0,01	

\* Над чертой - содержание кальция, под чертой – содержание магния.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. За время проведения эксперимента в контрольном варианте значение  $pH_{KCl}$  почвы снизилось на 0,5 ед.  $pH$ ., величина гидролитической кислотности увеличилась на 1,55 ммоль(экв)/100 г почвы. Потери кальция и магния на всем протяжении опыта колебались для Ca от 1,53 до 0,55 ммоль(экв)/100 г почвы, а для Mg от 0,33 до 0,46 ммоль(экв)/100 г почвы.

2. Изменение  $pH_{KCl}$  в мелиорированных вариантах зафиксировано через год после закладки опыта. Максимальный сдвиг  $pH$  зафиксирован в вариантах, мелиорируемых известняковой и доломитовой мукой в научно-обоснованных дозах. Чем больше размер частиц доломита, тем сдвиг  $pH$  меньше. Эффективность мелиорантов, внесенных в научно-обоснованной дозе, прослеживалось не менее 8-ми вегетационных периодов. Увеличение дозы применения смеси частиц размером <0,25 мм 0,25-1, 1-3 мм до 3, 4 и 6 расчётных доз, привело к закономерному увеличению величины  $pH_{KCl}$ . Фракция 3-5 мм, внесенная в дозе 1 Нг, оказывала низкое, но положительное влияние на величину  $pH$ . Возрастание дозы применения до 5-ти полных рассчитанных по Нг доз способствовало сдвигу  $pH_{KCl}$ , на уровне вариантов опыта с известняковой и доломитовой мукой. Действие известкования продолжалось до конца проведения исследований. Динамика изменения величин гидролитической кислотности была аналогична динамике изменения величин  $pH_{KCl}$ . Разработаны эмпирические модели изменения  $pH_{KCl}$  и гидролитической кислотности за весь период эксперимента.

3. Известкование способствовало увеличению запасов кальция и магния в почве. Максимальным содержанием обменного кальция характеризовалась почва, мелиорируемая известняковой мукой. Во всех других вариантах с применением доломита в научно-обоснованной дозе содержание кальция было ниже. Использование смеси фракций <0,25 мм, 0,25-1, 1-3, внесенных в завышенных дозах, повысило концентрацию обменного кальция по сравнению с вариантами, мелиорированными доломитом в научно-обоснованной дозе. В вариантах со смесью мелиорантов эффект от применения сохраняется и после завершения эксперимента. Аналогичная картина установлена при анализе данных содержания обменного магния. Разработаны эмпирические модели изменения содержания обменного кальция и магния на всем промежутке изучения.

4. При изучении профильного распределения обменных катионов кальция после проведения 13 вегетационных периодов было установлено, что в почве контрольного варианта содержание обменного кальция было ниже, чем во всех известкованных вариантах. Наибольшее значение изучаемого показателя в данном варианте зафиксировано на глубине 60–70 см. Использование доломитовой и известняковой муки привело к обогащению почвенной толщи обменным кальцием. Диапазон колебаний его содержания в профиле почвы, мелиорируемой известняковой мукой, составлял от 2,15 до 3,33 ммоль(экв)/100 г почвы. В почве, мелиорируемой частицами размером 0,25–1, 1–3 и 3–5 мм в дозе, равной 1 Нг, увеличение содержания обменного кальция, по

сравнению с контрольным вариантом, зафиксировано во всех изученных горизонтах. Серьезных различий в содержании Са по горизонтам между сравниваемыми вариантами выявить не удалось. Дозы применения мелиоранта, соответствующие 3, 4 и 6 Нг, способствовали ещё большему обогащению профиля обменным кальцием. Разработаны линейные и нелинейные эмпирические модели распределения кальция в ненарушенном профиле почвы.

5. В ходе изучения профильного распределения обменного магния после 13 вегетационных периодов было установлено, что использование доломитовой муки в дозе, эквивалентной дозе применения известняковой муки, привело к повышению содержания обменного магния в сравниваемых горизонтах почвы. Известкование почвы доломитовыми частицами размером 0,25–1, 1–3 мм и 3–5 мм в научно обоснованной дозе также привело к обогащению магнием отдельных слоев профиля. Максимальное содержание обменного магния при применении частиц размером 0,25–1 мм и 3–5 мм зафиксировано в поверхностном слое почвы (0–10 см): 1,19 и 0,91 ммоль(экв)/100 г почвы соответственно. Применение смеси частиц мелиоранта в дозах, соответствующих 3, 4 и 6 Нг, способствовало более значительному обогащению исследуемой толщи почвы обменным магнием. Максимальным накоплением характеризовались слои 0–10 и 10–20 см. В поверхностном горизонте колебания содержания составили от 1,14 до 1,32, в нижележащем – от 1,36 до 1,39 ммоль(экв)/100 г почвы. Строгих закономерностей влияния дозы применения смеси частиц мелиорантов на содержание и распределение обменного магния в сравниваемых вариантах не выявлено. Разработаны линейные и нелинейные эмпирические модели распределения магния в ненарушенном профиле почвы.

6. Известкование положительно повлияло на продуктивность растений. За весь срок изучения варианты, удобренные частицами доломита, не уступали стандартной известняковой муке. Исключение составляет вариант с использованием частиц доломита размером 3–5 мм в дозе 1 Нг. Прибавки урожая зеленой массы растений за весь период эксперимента, по отношению к неизвесткованному контролю, в зависимости от варианта опыта, колебались от 30,4% до 57,3%.

7. Во всех вариантах с известкованием выявлено положительное влияния химической мелиорации почв на поступление кальция и магния в растения из различных биологических семейств.

## **РЕКОМЕНДАЦИИ ПРОИЗВОДСТВУ**

Материалы диссертационной работы могут быть использованы при прочтении курса лекции и проведении практических занятий по дисциплинам «Почвоведение», «Агрехимия», «Сельскохозяйственная экология», «Мелиоративное почвоведение» в сельскохозяйственных вузах.

Результаты исследований кислотно-основных свойств дерново-подзолистых почв и изменения продуктивности растений под действием доломита различного гранулометрического состава могут быть использованы

для уточнения доз применения мелиоранта и сроков повторного известкования. Материалы изучения химического состава растений позволяют прогнозировать вынос щёлочноземельных металлов растениями семейств бобовых и капустных в полевых и овощных севооборотах при химической мелиорации почв доломитовой крошкой.

Математические модели изменения кислотно-основных свойств в длительном полевом опыте и изменение их по профилю могут стать основой накопления массива данных для сравнения с подобными экспериментальными материалами.

### **ПЕРСПЕКТИВЫ ДАЛЬНЕЙШЕЙ РАЗРАБОТКИ ТЕМЫ**

В дальнейшем разработка темы будет заключаться в проведении полевых и производственных опытов для уточнения скорости растворения, удобрительной ценности и мелиоративных свойств частиц доломита различного гранулометрического состава.

### **Список опубликованных работ по теме диссертации**

#### **Статьи в журналах, рекомендованных ВАК:**

1. Лешко, Т.Л. Изменение структурного состояния дерново-подзолистой легкосуглинистой почвы (umbric albeluvisols abruptic) при известковании крупными частицами доломитовой крошки / Т.Л. Лешко, А.В. Литвинович, П.С. Манаков, А.О. Тябин // *Агрофизика*. – 2019. – № 1. – С. 15-25.

2. Литвинович, А.В. Содержание и распределение обменных катионов Са и Mg в профиле дерново-подзолистой легкосуглинистой почвы, мелиорированной возрастающими дозами доломитовых частиц крупного размера / А.В. Литвинович, И.В. Салаев, П.С. Манаков [и др.] // *Агрохимия*. – 2021. – № 4. – С. 9-21.

3. Манаков, П.С. Анализ и выявление закономерностей подвижности обменного кальция в профиле дерново-подзолистой легкосуглинистой почвы, мелиорируемой различными по размеру фракциями отсева доломита / П.С. Манаков, А.В. Литвинович, А.В. Лаврищев [и др.] // *Агрофизика*. – 2022. – № 1. – С. 11-16.

4. Манаков, П.С. Содержание и распределение обменного магния в профиле дерново-подзолистой легкосуглинистой почвы, мелиорируемой различными по размеру фракциями отсева доломита / П.С. Манаков, А.В. Литвинович, А.В. Лаврищев, В.М. Буре // *Агрофизика*. – 2022. – № 2. – С. 39-44.

5. Манакова, Ю.С. Влияние известкования дерново-подзолистой легкосуглинистой почвы разными фракциями доломитовой крошки на изменение гидролитической кислотности по профилю / Ю.С. Манакова, П.С. Манаков // *Известия Санкт-Петербургского государственного аграрного университета*. – 2022. – № 4(69). – С. 75-83.

6. Транслокация марганца в растения в процессе растворения мелиорантов в кислой дерново-подзолистой легкосуглинистой почве / А.В. Литвинович, П.С.

Манаков, В.М. Буре // Известия Санкт-Петербургского государственного аграрного университета. – 2023. – № 3(72). – С. 9-18.

**Статьи в журнале SCOPUS:**

1. Reclamation properties and fertilizing value of dolostone screenings of various sizes at Albic Retisol in the North-West of Russia / A. Litvinovich, O. Pavlova, P. Manakov [и др.]. // Geoderma Regional. – 2022. – №. 28. С. 40-42.

**Прочие публикации:**

1. Влияние отсева доломита на структуру дерново-подзолистой почвы / Т.Л. Лешко, П.С. Манаков, А.В. Литвинович // Роль молодых ученых в решении актуальных задач АПК: Сборник научных трудов международной научно-практической конференции молодых учёных, Санкт-Петербург-Пушкин, 27–28 февраля 2017 года. – Санкт-Петербург-Пушкин: Санкт-Петербургский государственный аграрный университет, 2017. – С. 47-50.