

На правах рукописи

САЛАЕВ ИВАН ВЛАДИМИРОВИЧ

**МЕЛИОРАТИВНЫЕ СВОЙСТВА И УДОБРИТЕЛЬНАЯ ЦЕННОСТЬ
КРУПНЫХ ФРАКЦИЙ ОТСЕВА СЫРОМОЛОТОГО ДОЛОМИТА**

Специальность 4.1.5 – мелиорация, водное хозяйство и агрофизика

Автореферат

диссертации на соискание

учёной степени кандидата сельскохозяйственных наук

Санкт-Петербург – 2023

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 органических, известковых удобрений и химической мелиорации, ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт агрохимии имени Д.Н. Прянишникова»

Ведущая организация **Стекольников Константин Егорович**
доктор сельскохозяйственных наук, профессор кафедры агрохимии и почвоведения ФГБОУ ВО «Воронежский государственный аграрный университет имени Петра 1»
ФГБОУ ВО «Казанский государственный аграрный университет»

Защита диссертации состоится «21» февраля 2024 года в 11 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 «___» _____ 2023 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.

Актуальность проблемы известкования в России связана с наибольшими, по сравнению с другими странами площадями почв с избыточной кислотностью. На сельскохозяйственных угодьях с повышенной кислотностью в нашей стране ежегодно не добирается около 20 млн. тонн продукции в пересчёте на зерно. Снижается эффективность удобрений, ухудшается экологическая обстановка окружающей среды, ухудшается качество производимой продукции.

При производстве щебня, используемого для дорожного строительства, в отвалы отсеиваются фракции доломита размером менее 10мм. На сегодняшний день в Ленинградской области их скопилось более 70млн.т. В составе отсева доломита на долю CaCO_3 приходится 46,1%, MgCO_3 – 38,4%. Использование частиц доломита в качестве мелиоранта могло бы снизить остроту проблемы известкования почв области и высвободить земли, занятые отвалами.

Цель и задачи исследования.

Целью настоящих исследований является установление удобрительной ценности и мелиоративных свойств частиц доломита размером 5-7 и 7-10 мм.

Задачи исследований:

1. Получить данные о длительности и характере растворения крупных фракций отсева доломита;
2. Выявить влияние известкования почвы возрастающими дозами крупных фракций отсева доломита на кислотно-основные свойства почвы и динамику содержания подвижного марганца в почве и в растениях;
3. В модельном опыте на колонках установить масштабы вымывания и соотношение интенсивности миграции кальция и магния из известкованной почвы;
4. В длительном микрополевым опыте определить влияние известкования почвы возрастающими дозами крупных фракций отсева доломита на урожайность вегетативной массы растений гороха (*Pisum sativum*), горчицы (*Sinapis alba*) и на химический состав растений;
5. Определить экономическую эффективность известкования почвы сыромолотым доломитом.

Научная новизна работы.

Впервые в условиях Северо-Запада Нечернозёмной зоны России проведены исследования, направленные на установление влияния известкования крупными фракциями сыромолотого доломита размером 5-7 и 7-10 мм в широком интервале доз на кислотно-основные свойства дерново-подзолистой легкосуглинистой почвы, динамику содержания подвижного марганца в почве, урожайность и химический состав растений. В лабораторном эксперименте изучено влияние известкования доломитом с сопоставимым содержанием карбонатов кальция и магния на миграцию щелочноземельных металлов из известкованной крупными фракциями

доломита почвы. Установлен состав органо-минеральных комплексов, мигрирующих в дерново-подзолистой легкосуглинистой почве, мелиорируемой сыромолотым доломитом.

Теоретическая и практическая значимость работы.

Результаты исследований можно считать достаточным основанием для эффективного применения крупных фракций щебеночного производства при известковании кислых почв Северо-Запада РФ. Установленные в ходе исследований закономерности распределения кальция, магния, марганца в дерново-подзолистой почве и их накопление сельскохозяйственными культурами отражают теоретическую значимость представленной работы. Полученные результаты вносят видимый вклад в развитие общих вопросов теории известкования кислых почв.

Методология и методы исследований.

Для выполнения поставленной цели был заложен микрополевой опыт на полях Меньковского филиала Агрофизического института. Проведены лабораторные эксперименты на базе Санкт-Петербургского государственного аграрного университета. Химические анализы образцов почв, растений, элюатов проводились в строгом соответствии со стандартными методиками. Все полученные данные обрабатывались статистически.

Положения, выносимые на защиту:

1. Крупные частицы сыромолотого доломита, используемые для известкования, являются ценным мелиорантом. По мере взаимодействия с почвой масса частиц мелиоранта уменьшается. Растворение крупных фракций сыромолотого доломита происходит с образованием более мелких обломков;

2. Известкование дерново-подзолистой легкосуглинистой среднекислой почвы отсевом доломита размером 5-7мм, 7-10мм и естественной смесью фракций снижает почвенную кислотность, способствует обогащению почвы подвижными катионами кальция и магния, а также приводит к частичному осаждению подвижного марганца в почве и снижению его содержания в растениях, однако растения не испытывают недостатка в этом элементе;

3. При известковании почвы крупными частицами сыромолотого доломита непроизводительные потери кальция и магния, вследствие ежегодного промывания почвы осадками, по сравнению с мелко размолотым доломитом снижаются. Процесс выщелачивания кальция из произвесткованной доломитом почвы идёт быстрее, чем магния. Миграционные потери щелочноземельных металлов происходят как в ионной форме, так и в составе органо-минеральных комплексов.

4. Внесение крупных фракций отсева доломита способствует увеличению урожайности растений гороха и горчицы, и накоплению кальция и магния в тканях растений;

5. Выявлена высокая экономическая эффективность использования в качестве мелиоранта сыромолотого доломита размером 5-7мм, внесённого в

научно обоснованной дозе и доломита размером 7-10мм – в трёхкратно превышенной дозе.

Степень достоверности и апробация результатов.

Достоверность результатов научных исследований и выводов обеспечена строгим соблюдением всех методических принципов и требований к закладке и проведению опытов, отбору образцов, подготовке и выполнению аналитических испытаний. Её математическим подтверждением являются данные статистической обработки. Все результаты исследования подвергались дисперсионному анализу при 95% уровне вероятности. Вычислялась наименьшая существенная разница ($НСР_{05}$). Расчёт проводился с помощью программы МО Excel.

Основные результаты диссертации представлены и доложены на научно-практических конференциях молодых учёных СПбГАУ (2016, 2017, 2018); научно-практических конференциях профессорско-преподавательского состава СПбГАУ (2017, 2018, 2019, 2020, 2021); научно-практических конференциях ВГАУ (2016, 2017); Докучаевских чтениях СПбГУ (2016); международной научно-практической конференции НИИ АФИ (2017).

Организация исследования и личный вклад соискателя.

Экспериментальная работа проводилась в Санкт-Петербургском государственном аграрном университете на кафедре почвоведения и агрохимии им. Л.Н. Александровой, а также в отделе физико-химической мелиорации почв и опытного дела ФГБНУ Агрофизический научно-исследовательский институт.

Планирование, закладка опытов, выполнение программы наблюдений, учёт, анализ и обобщение результатов работы выполнялось соискателем лично и в качестве ответственного исполнителя. Личный вклад в общий объём диссертационного исследования оценивается в 85%.

Публикации.

Основные результаты научных исследований по теме диссертации изложены в 17 опубликованных работах, 8 из которых опубликованы в изданиях, рекомендованных ВАК, 1 статья, входящая в перечень Scopus. Содержание печатных материалов соответствует данным, представленным в диссертации.

Объём и структура работы.

Диссертация состоит из введения, семи глав, выводов, рекомендаций производству и списка использованных литературных источников. Она изложена на 160 страницах, иллюстрирована 66 рисунками, содержит 26 таблиц. Число использованных литературных источников – 202, из них иностранных – 17.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

ГЛАВА 1 СОВРЕМЕННЫЕ ВЗГЛЯДЫ НА ПРОЦЕССЫ ФОРМИРОВАНИЯ ПОЧВЕННОЙ КИСЛОТНОСТИ И РОЛЬ ИЗВЕСТКОВАНИЯ В УСТРАНИЕНИИ НЕБЛАГОПРИЯТНЫХ СВОЙСТВ ДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТЫХ ПОЧВ

В главе дан литературный обзор, в котором описан процесс изучения природы почвенной кислотности в историческом аспекте. Отражены современные взгляды на механизмы процесса выветривания карбонатных пород. Показано влияние гранулометрического состава мелиорантов на эффективность известкования кислых почв

ГЛАВА 2 ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Объектами являются: кислая дерново-подзолистая почва, растения, выращиваемые в опыте, фракции доломита размером 5-7мм, 7-10мм и естественная смесь отсева доломита. Для выполнения поставленной цели был заложен микрополевой опыт. Размер делянки 1м². Опыт включал 10 вариантов. В качестве контроля использовали вариант без применения мелиорантов (Фон НРК) и вариант с использованием доломитовой муки (ДМ). Схема опыта составлена таким образом, чтобы можно было оценить влияние известкования отсевом щебня размером 5-7, 7-10мм и естественной смесью фракций (ЕСМ), применяемых в научно обоснованной и возрастающих дозах, на изменения свойств почвы, количественные и качественные характеристики растений, выращиваемых в опыте. А также установить оптимальную дозу применения крупных частиц доломита, используемого для мелиорации кислых почв. Повторность опыта четырёхкратная.

Исследование проводили с 2015 по 2018 годы. В опыте выращивали растения отзывчивые на известкование и характеризующиеся высоким потреблением катионов Са и Mg. В 2015 году возделывали горох. В 2016 и 2017 – горчицу и горох, то есть получали по два урожая в год. В 2018 – горчицу. Получая 2 урожая за сезон, мы ускоряем процесс растворения доломита.

При закладке опыта извлекали почву из делянки, обнесённой полиэтиленом на глубину 25см, перемешивали с удобрениями и мелиорантом и помещали обратно. Уборку растений проводили в фазу цветения. Удобрения применяли ежегодно. Перед закладкой опыта - N₁₀₀P₁₀₀K₁₀₀ азофоски на делянку. В последующие годы перед посевом гороха применяли N₅₀P₅₀K₅₀ азофоски, перед посевом горчицы – N₃₀P₃₀K₃₀.

Для изучения миграции кальция и магния, ежегодно после уборки растений почву с каждого варианта опыта отбирали, размалывали, помещали в колонки и промывали водой. Объём воды соответствовал полуторкратной норме осадков. Элюаты анализировали.

Для изучения состава органо-минеральных комплексов, вымываемых из почвы, в элюат добавляли 0.1 н. NaOH, доводя рН до 13.0 ед. При достижении заданной величины рН в осадок выпадали бурые хлопья органо-

минеральных комплексов, которые отделяли от надосадочной жидкости, высушивали и анализировали, устанавливая в осадке содержание Са, Mg титриметрическим методом.

Для изучения длительности растворения отсева доломита размером 7-10мм проведено отдельное исследование.

Эксперимент подразумевал помещение гранул доломита размером 7-10мм в водные растворы с различными значениями рН. По истечении разных промежутков времени (1сут., 2сут., 3сут., 4сут., 5сут., 17сут.) гранулы доломита извлекали из растворов, высушивали при температуре 80°С в течение 1,5ч. и взвешивали на аналитических весах. После высушивания вели визуальные наблюдения за гранулами доломита с помощью микроскопа с объективом 8x0,20 ЛОМО. Целью наблюдений является фиксация возможных изменений поверхности гранул при растворении. Вместе с этим, определяли кислотность растворов после нахождения в них гранул доломита. В задачу исследования входило отследить растворение доломита на разных отрезках времени.

ГЛАВА 3. ВЛИЯНИЕ ИЗВЕСТКОВАНИЯ НА КИСЛОТНО-ОСНОВНЫЕ СВОЙСТВА ПОЧВ

Результаты исследования влияния отсева доломита на изменение величины pH_{KCl} в почве вариантов опыта на всём промежутке изучения представлены в таблице 1. Согласно данным таблицы кислотность почвы не известкованного варианта опыта со временем увеличивается. Среднекислая в год закладки эксперимента почва к концу исследования переходила в разряд «очень сильнокислая».

Таблица 1 – Влияние известкования почвы сыромолотым доломитом на величину pH_{KCl}

Вариант опыта	Год исследования					
	2015	2016		2017		2018
	горох	горчица	горох	горчица	горох	горчица
1 Фон (NPK)	4,6	4,2	4,2	4,1	4,2	3,8
2 Фон + ДМ 1Нг	5,7	5,6	5,7	5,9	5,8	5,6
3 Фон + М(5-7мм) 1Нг	5,0	4,3	4,5	4,5	4,4	4,3
4 Фон + М(5-7мм) 3Нг	5,5	4,5	5,0	4,8	4,7	4,9
5 Фон + М(5-7мм) 5Нг	6,0	4,9	5,5	5,3	5,2	5,5
6 Фон + М(7-10мм) 1Н	5,3	4,2	4,5	4,4	4,3	4,4
7 Фон + М(7-10мм) 3Нг	5,5	4,3	4,7	4,6	4,7	4,8
8 Фон + М(7-10мм) 5Нг	6,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,2
9 Фон + ЕСМ 1Нг	5,7	5,4	5,1	5,0	5,0	5,1
10 Фон + ЕСМ 3Нг	6,3	4,8	6,1	5,9	5,9	6,4

В варианте опыта с ДМ за всё время исследования pH_{KCl} почвы изменялась в пределах от 5,6 до 5,9 единиц, не выходя за пределы одной группы кислотности – реакция среды «близкая к нейтральной».

Использование в качестве мелиоранта отсева щебня размером 5-7мм, 7-10мм и естественной смеси фракций отсева способствовало снижению кислотности почвы. Кислотность почвы снижалась по мере увеличения дозы применения мелиоранта и уменьшения размера частиц отсева щебня. Наибольший эффект от известкования достигнут в вариантах с отсевом щебня размером 5-7мм и 7-10мм, внесённым в максимально применяемой в опыте дозе (5Нг) и в вариантах со смесью фракций.

Находящийся в отвалах доломит подвергается физическому разрушению. Внешний слой приобретает определённую рыхлость и при попадании в почву быстро растворяется. В год применения крупных частиц наблюдается резкое увеличение значения рН почвы. Далее растворение замедляется, и кислотность почвы изменяются в меньшей степени.

По эффективности влияния известкования на величину $pH_{ксл}$ варианты опыта можно сгруппировать и построить в порядке увеличения мелиоративного эффекта. 1 вариант (не известкованный) < 3 вариант М(5-7мм) 1Нг и 6 вариант М(7-10мм) 1Нг < 4 вариант М(5-7мм) 3Нг и 7 вариант М(7-10мм) 3Нг < 5 вариант М(5-7мм) 5Нг, 8 вариант М(7-10мм) 5Нг и 9 вариант смесь М 3Нг < 2 вариант ДМ и 10 вариант смесь М 3Нг.

Аналогичные данные получены по гидролитической кислотности.

Влияние известкования на содержание кальция и магния в почве

Согласно полученным данным (таблица 2), изменение содержания обменного кальция в почве не известкованного варианта идёт неровно, скачками.

Таблица 2. Изменение содержания обменного кальция и магния в почве, ммоль(экв)/100г почвы

Вариант опыта	Год исследования											
	2015		2016				2017				2018	
	горох		горчица		горох		горчица		горох		горчица	
	Ca	Mg	Ca	Mg	Ca	Mg	Ca	Mg	Ca	Mg	Ca	Mg
1 Фон (НРК)	2,80	0,70	1,25	0,90	2,87	0,30	2,41	0,64	1,10	0,96	2,13	0,82
2 Фон+ДМ	2,85	0,75	1,85	0,85	3,78	1,29	4,25	1,19	2,03	0,78	4,19	2,25
3 Фон+М (5-7мм) 1Нг	2,90	0,75	1,65	1,20	2,97	0,65	3,28	0,10	1,36	0,73	2,82	1,41
4 Фон+М (5-7мм) 3Нг	3,10	0,60	2,30	1,05	3,00	0,92	3,60	0,11	2,19	0,14	3,00	2,19
5 Фон+М (5-7мм) 5Нг	2,90	0,75	2,35	1,15	3,31	1,28	3,44	1,24	2,13	0,50	3,60	2,94
6 Фон+М (7-10мм) 1Нг	2,75	0,80	1,50	0,85	2,81	0,67	3,06	0,33	1,39	1,06	2,25	1,82
7 Фон+М (7-10мм) 3Нг	2,75	0,70	3,50	1,70	3,15	0,82	3,63	0,10	1,44	1,00	3,91	2,15
8 Фон+М (7-10мм) 5Нг	2,75	0,80	3,80	1,85	3,22	1,04	3,78	0,24	1,60	0,98	3,75	1,21
9 Фон+смесь М 1Нг	3,10	0,65	4,00	2,00	3,31	1,07	3,50	0,41	1,68	0,98	3,50	1,78

10 Фон+смесь М 3Нг	3,15	0,70	4,10	1,45	4,03	1,42	4,06	1,50	2,08	1,33	3,97	4,41
НСР05	-		-		0,47	0,16	0,55	0,59	0,51	0,96	0,59	1,08

Выявлена общая тенденция уменьшения подвижных форм кальция в не известкованной почве. Заметное снижение можно отметить после уборки горчицы 2016 года и гороха 2017.

Известкование почвы доломитовой мукой привело к увеличению содержания обменного кальция и магния в почве по отношению к содержанию этих элементов не известкованного варианта опыта на протяжении всего периода исследования.

Использование в качестве мелиоранта крупных фракций отсева щебня (5-7мм и 7-10мм), а так же естественной смеси фракций способствовало достижению мелиоративного эффекта. Крупные фракции отсева доломита, постепенно растворяясь, способствуют обогащению почвы обменным кальцием и магнием. Наибольший эффект получен при использовании фракций отсева щебня размером 5-7мм и 7-10мм, внесённых в дозах 5Нг, а так же при внесении смеси фракций (1Нг и 3Нг).

Влияние известкования крупными фракциями отсева доломита на содержание подвижных форм марганца в почве

Результаты исследований свидетельствуют о том, что с увеличением дозы доломита с 1Нг до 5Нг происходит осаждение подвижных форм марганца в почве (таблица 3).

Прослеживается связь между содержанием подвижных форм марганца в почве и количеством осадков, выпадавших за периоды вегетации растений. Коэффициент корреляции изменяется от 0,55 – средней силы положительная связь (вариант опыта с доломитом размером 7-10мм 1Нг) до 0,91 – сильная положительная связь – в варианте со смесью фракций, внесённой в дозе 1 Нг. Отсутствует связь в варианте с ДМ и в варианте со смесью фракций, внесённой в дозе 3Нг.

Изменение количества подвижных форм марганца в почве связано с изменением кислотности почвенного раствора (таблица 3). Начиная с 2016 года, видна сильная отрицательная взаимосвязь между содержанием легкоподвижного марганца в почве и кислотностью почвы в каждый период исследования. Коэффициент корреляции варьирует в пределах от -0,83 – (-0,97). При расчёте коэффициентов корреляции не учитывались значения содержания марганца 9 и 10 вариантов за 2017 год (после уборки горчицы).

Таблица 3 Величина pH_{kcl} и содержание подвижного марганца в почве (над чертой – содержание подвижного марганца в почве, под чертой – pH_{kcl})

Вариант опыта	Год исследования					
	2015	2016		2017		2018
	горох (а.о.65мм)*	горчица (а.о.107мм)	горох (а.о.157мм)	горчица (а.о.49мм)	горох (а.о.85мм)	горчица (а.о.89мм)
1. Фон (НРК)	<u>34,1</u> 4,6	<u>27,1</u> 4,2	<u>32,8</u> 4,2	<u>26,6</u> 4,1	<u>32,2</u> 4,2	<u>26,5</u> 3,8
2. Фон + ДМ 1Нг	<u>10,4</u> 5,7	<u>8,5</u> 5,6	<u>9,4</u> 5,7	<u>9,6</u> 5,9	<u>8,3</u> 5,8	<u>10,0</u> 5,6
3. Фон + М (5-7мм) 1Нг	<u>16,6</u> 5,0	<u>27,7</u> 4,3	<u>30,8</u> 4,5	<u>21,5</u> 4,5	<u>25,1</u> 4,4	<u>19,4</u> 4,3
4. Фон + М (5-7мм) 3Нг	<u>18,1</u> 5,5	<u>20,4</u> 4,5	<u>23,8</u> 5,0	<u>17,4</u> 4,8	<u>19,7</u> 4,7	<u>14,5</u> 4,9
5. Фон + М (5-7мм) 5Нг	<u>29,8</u> 6,0	<u>15,4</u> 4,9	<u>20,0</u> 5,5	<u>13,8</u> 5,3	<u>14,4</u> 5,2	<u>10,0</u> 5,5
6. Фон + М (7-10мм) 1Нг	<u>16,1</u> 5,3	<u>29,8</u> 4,2	<u>26,9</u> 4,5	<u>21,7</u> 4,4	<u>27,8</u> 4,3	<u>22,4</u> 4,4
7. Фон + М (7-10мм) 3Нг	<u>18,1</u> 5,5	<u>26,9</u> 4,3	<u>27,6</u> 4,7	<u>18,0</u> 4,6	<u>17,7</u> 4,7	<u>18,2</u> 4,8
8. Фон + М (7-10мм) 5Нг	<u>15,3</u> 6,0	<u>20,4</u> 5,0	<u>21,8</u> 5,0	<u>15,8</u> 5,0	<u>15,5</u> 5,0	<u>13,9</u> 5,2
9. Фон + смесь М 1Нг	<u>25,0</u> 5,7	<u>16,4</u> 5,4	<u>18,9</u> 5,1	<u>38,9</u> 5,0	<u>16,0</u> 5,0	<u>14,3</u> 5,1
10. Фон + смесь М 3Нг	<u>17,6</u> 6,3	<u>9,0</u> 4,8	<u>8,8</u> 6,1	<u>34,3</u> 5,9	<u>9,0</u> 5,0	<u>10,7</u> 6,4

* количество атмосферных осадков (а.о.) за период вегетации растений

ГЛАВА 4. ИНТЕНСИВНОСТЬ И СООТНОШЕНИЕ МИГРАЦИИ КАЛЬЦИЯ И МАГНИЯ ИЗ ПОЧВЫ, ПРОИЗВЕДЕННОЙ КРУПНЫМИ ФРАКЦИЯМИ ОТСЕВА ЩЕБЁНОЧНОГО ПРОИЗВОДСТВА

Скорость и характер растворения сыромолотого доломита

Растворение доломита размером 7-10мм, помещённого в растворы с разной кислотностью идёт непрерывно. Не зависимо от количества дней (длительности эксперимента) повышение рН растворов от помещения в них частиц доломита наблюдалось всегда. Это, безусловно, говорит о растворении доломита.

Связи между изменением массы частиц доломита и кислотностью растворов, в которые помещены гранулы, не обнаружено. По-видимому, растворение доломита во многом зависит от свойств конкретных гранул.

За 55 суток в разных растворах убыль доломита составила от 1,7% до 16%. В первые дни потеря массы доломита наибольшая.

Растворение исследуемого доломита есть результирующая двух параллельно идущих процессов: 1) растворения кальцита (или магнезита), цементирующего кристаллы двойной соли; 2) растворения зерен собственно двойной соли (доломита). Так как растворимость чистого кальцита (и чистого магнезита) выше, чем растворимость двойной соли, избирательное

растворение имеет своим результатом процесс измельчения доломита при химическом выветривании и образование порошковидного доломита и доломитовых обломков.

Обработка результатов опыта с использованием экспоненциальных функций показала, что растворение гранулы доломита (7-10мм), находящейся в дистиллированной воде, до размера менее 1 мм произойдёт через 98лет. В подкисленных растворах снижение массы доломита идёт быстрее. Увеличение кислотности \approx на 1,7 единиц рН уменьшает срок растворения доломита на 8 %. Увеличение кислотности на 1,9 – 2,3 единиц рН уменьшает срок растворения доломита на 53-82 %. Находясь в кислой среде, исследуемый доломит размером 7-10мм будет растворяться до размера гранул 1мм не менее 18лет.

Интенсивность и соотношение миграции кальция и магния из произвесткованной почвы

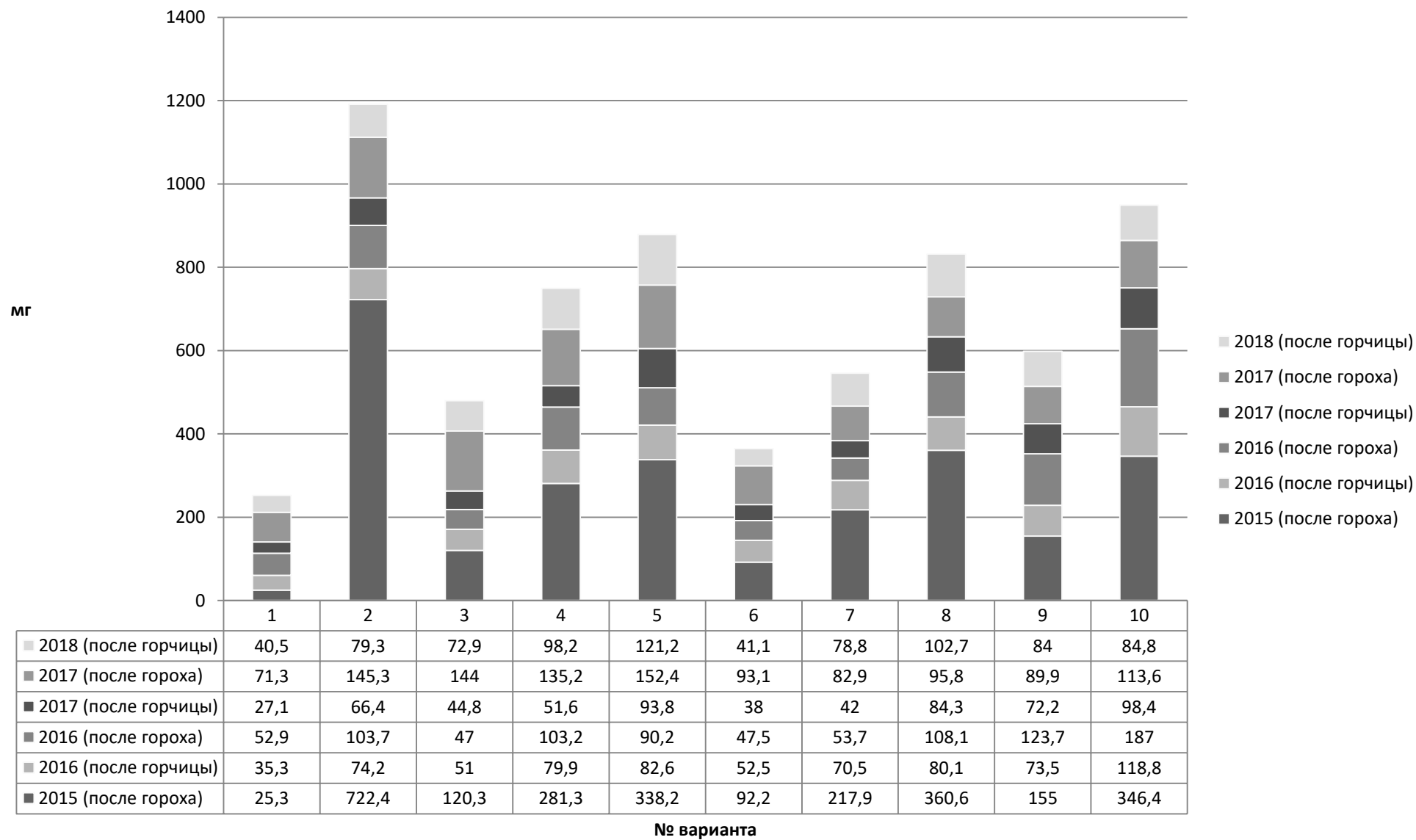
В почве всех вариантов опыта после уборки растений сохраняется определённый запас способных к миграции катионов кальция и магния. При промывании большая часть способных к миграции щелочноземельных металлов удаляется за пределы промачиваемого слоя.

Данные исследований миграционной способности оснований из мелиорируемой почвы представлены на рис.1.

В большинстве вариантов опыта наибольшее количество щелочноземельных металлов вымывается в первый год проведения опыта. После уборки горчицы 2016 года это количество резко сокращается. На протяжении последующих двух периодов исследования (горох 2016 и горчица 2017 года) сильных колебаний не происходит. В 2017 году после уборки гороха и 2018 году миграция кальция и магния усиливается. Возможно, это вызвано разным выносом кальция горчицей и горохом, а так же с различным воздействием на частицы доломита корневых выделений растений разных семейств.

Следует констатировать, что, несмотря на трёх- и пятикратное превышение научно-обоснованной дозы применения мелиоранта в вариантах с крупными фракциями отсева доломита суммарные элювиальные потери оснований в этих вариантах за весь период наблюдений были ниже, чем в варианте с использованием доломитовой муки в научно обоснованной дозе. Это, безусловно, связано с неодинаковой скоростью растворения частиц доломита различного размера.

Рисунок 1 Количество щелочноземельных металлов (сумма Са и Mg), вымываемых из почвы, мг



Миграция кальция и магния из мелиорируемой почвы в составе органо-минеральных комплексов

Результаты, полученные в модельном опыте на колонках по выщелачиванию кальция и магния в составе органо-минеральных комплексов (ОМК) из мелиорируемой почвы представлены в таблице 4

Таблица 4 Состав органо-минеральных комплексов, вымываемых из мелиорируемой дерново-подзолистой почвы

Вариант опыта	Содержание металлов, мг/кг	
	Ca	Mg
1. Фон (НРК) + доломит < 0,25 мм по 1Нг	122961	196067
2. Фон + доломит 5-7 мм по 1Нг	145126	120692
3. Фон + доломит 7-10 мм по 1Нг	68492	110193
4. Фон + смесь фракций доломита по 1Нг	51166	139313
НСР ₀₅	1205	2656

По количеству выщелачиваемого кальция в составе ОМК все изученные варианты можно выстроить в следующий по убыванию ряд: 5-7 мм > 0,25 мм > 7-10 мм > смесь фракций.

Вымывание магния в опыте подчинялось следующей закономерности: чем меньше размер частиц доломита, тем содержание магния, мигрирующего в составе ОМК, выше.

Важно подчеркнуть следующее обстоятельство. Содержание Mg в составе доломита меньше, чем кальция. Однако его количество, вымываемое в составе ОМК, оказалось в зависимости от варианта в 1,6-2,7 раза больше, чем кальция. Исключение составляет вариант опыта с использованием частиц размером 5-7 мм, где концентрация кальция превосходила концентрацию магния. По-видимому, можно говорить о большем сродстве магния к органическому веществу почвы.

ГЛАВА 5. ВЛИЯНИЕ ИЗВЕСТКОВАНИЯ ПОЧВЫ КРУПНЫМИ ФРАКЦИЯМИ ОТСЕВА ЩЕБЁНОЧНОГО ПРОИЗВОДСТВА НА УРОЖАЙНОСТЬ ВЕГЕТАТИВНОЙ МАССЫ РАСТЕНИЙ

Данные суммарной урожайности, приведённые в таблице 5, показывают, что за весь период проведения эксперимента прибавка урожая по отношению к контрольному варианту получена во всех вариантах опыта.

Наибольшая прибавка получена в варианте с ДМ – 29%, а из вариантов с отсевом доломита – М 5-7мм 1Нг и 7-10мм 3Нг по 26%. Наименьшая - в варианте с отсевом доломита размером 7-10мм, внесённом в дозе 1Нг – 12%. Значения прибавок урожая остальных вариантов находились в пределах от 16% до 24%.

Следовательно, высокие дозы крупных частиц доломита не оказывают депрессивного влияния на растения.

Таблица 5 Урожайность растений (сухая масса), г/м²

№ варианта	Год исследования						сумма	прибавка ,%
	2015	2016		2017		2018		
	горох	горчица	горох	горчица	горох	горчица		
1 Контроль (NPK)	216,0	185,0	163,0	192,5	56,3	105,8	918,6	-
2 ДМ	266,5	290,0	244,0	208,8	57,5	114,1	1180,9	29%
3 отсев 5-7мм 1Нг	322,0	199,0	238,0	210,0	67,5	117,3	1153,8	26%
4 отсев 5-7мм 3Нг	288,3	201,0	219,0	208,8	61,3	127,8	1106,2	20%
5 отсев 5-7мм 5Нг	252,0	233,0	201,0	206,3	62,5	111,6	1066,4	16%
6 отсев 7-10мм 1Нг	265,3	195,0	189,0	212,5	51,3	114,6	1027,7	12%
7 отсев 7-10мм 3Нг	272,0	240,0	203,0	223,8	67,5	148,8	1155,1	26%
8 отсев 7-10мм 5Нг	230,5	268,0	206,0	231,3	66,3	137,1	1139,2	24%
9 ЕСМ 1Нг	253,0	236,0	180,0	228,8	65,0	112,0	1074,8	17%
10 ЕСМ 3Нг	176,0	319,0	180,0	238,8	63,8	153,4	1131	23%
НСР 05	52,2	44,0	39,7	29,9	10,5	29,2	-	-

ГЛАВА 6. ВЛИЯНИЕ ИЗВЕСТКОВАНИЯ НА ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ РАСТЕНИЙ

Влияние известкования на содержание в растениях Ca, Mg, Mn

Данные исследований свидетельствуют, что на протяжении всего периода наблюдений не зафиксировано существенного уменьшения концентрации кальция в растениях вариантов с исследуемым отсевом по сравнению с вариантом с ДМ. При этом в пяти из шести урожаях культур, полученных в годы проведения опыта, существенной разницы в содержании кальция нет и между растениями не известкованного варианта по сравнению с удобренным ДМ вариантом опыта. Видимо, растения в начальный период исследования не испытывают нехватки в этом элементе. Связь между содержанием кальция в растениях и дозой внесения доломита отсутствует.

Более ярко выражено изменение количества магния в растениях на всём промежутке проведения исследований.

В 2016 году при выращивании горчицы, а также в 2017 году при выращивании обеих культур в вариантах с отсевом доломита выявлена закономерность – с увеличением дозы применения доломита, увеличивается и содержание магния в растениях.

Исходя из данных по содержанию магния в почве и в растениях, можно заключить, что наряду с общим увеличением магния в почве, магниевый мелиорант доступен для питания растений.

Таким образом, применение высоких доз крупных фракций доломитовой крошки следует рассматривать как источник пополнения запасов кальция и

магния в почве, а растения гороха и горчицы способны поглощать щелочноземельные металлы из мелиорируемой доломитом почвы.

Данные по содержанию подвижного марганца в растениях сведены в таблицу 6.

Таблица 6 Содержание марганца в растениях, мг/кг

Вариант опыта	Год исследования					
	2015	2016		2017		2018
	горох	горчица	горох	горчица	горох	горчица
1	2	3	4	5	6	7
1. Фон (NPK)	248,0	125,3	270,6	45,9	346,0	60,8
2. Фон + ДМ 1Нг	71,3	41,6	49,2	21,1	60,5	26,2
3. Фон + М (5-7мм) 1Нг	244,9	142,8	203,9	35,9	251,8	44,8
4. Фон + М (5-7мм) 3Нг	227,9	105,3	115,5	29,2	141,0	36,7
5. Фон + М (5-7мм) 5Нг	174,1	59,6	92,6	30,3	86,0	34,7
6. Фон + М (7-10мм) 1Нг	191,2	136,1	285,8	42,9	300,6	55,5
7. Фон + М (7-10мм) 3Нг	203,2	109,1	193,4	31,2	169,7	42,8
8. Фон + М (7-10мм) 5Нг	167,4	98,3	142,6	27,1	129,0	41,7
9. Фон + смесь М 1Нг	157,6	88,4	141,4	27,5	122,1	40,2
10. Фон + смесь М 3Нг	95,5	37,0	72,4	18,6	69,7	28,2
НСР05	41,7	42,1	52,8	9,0	49,9	9,5

По содержанию марганца в тканях растений на протяжении всего периода наблюдений наиболее близким по действию с ДМ оказалось применение естественной смеси фракций отсева доломита, внесённой в дозе 3Нг. Из крупных фракций отсева щебня - доломит размером 5-7мм внесённый в дозе 5Нг.

С увеличением дозы известкового удобрения поступление марганца в растения уменьшается. При этом минимальное значение содержания марганца в растениях зафиксировано в варианте с доломитовой мукой, и оно выше критического уровня марганцевой недостаточности. Согласно данным А. Кабата-Пендиас, Х. Пендиас критический уровень марганцевой недостаточности для большинства растений находится в пределах 15-25 мг/кг сухой массы. Установлена прямая зависимость величины содержания марганца в растениях от количества подвижных форм марганца в почве.

ГЛАВА 7. ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ ИЗВЕСТКОВАНИЯ ОТСЕВОМ ДОЛОМИТА

Определение экономической эффективности применения мелиоранта проводилось по методике, описанной Ягодиным (1982), основанной на сравнении урожайности однолетних трав на удобренной площади и контрольной (неудобренной). Расчёт проводился за период с 2015 по 2018 годы.

Затраты на известкование и расходы связанные с полученной от известкования продукцией включали в себя: стоимость самого мелиоранта (согласно данным интернет-ресурса производителя доломита, стоимость одного кубического метра отсева доломита – 20 рублей, стоимость одной тонны доломитовой муки – 1100 рублей); погрузку, перевозку и внесение доломита; скашивание, транспортировку и трамбовку растений.

При расчёте экономической эффективности горох и горчицу, выращиваемые в опыте, рассматривали как силосные культуры для производства кормов.

В таблице 7 представлены сумма затрат и основные показатели экономической эффективности известкования почвы отсевом доломита.

Рентабельность известкования вычисляется как соотношение суммарного, чистого дохода за весь период действия известки к затратам на известкование. Стоит учесть, что крупные фракции отсева доломита, используемого в микрополевым эксперименте, позиционируются как мелиорант пролонгированного действия со сроком действия много превышающем действие доломитовой муки. Результаты модельного эксперимента показывают, что растворение доломита размером 7-10мм может длиться от 18 до 98 лет. В данном случае расчёт рентабельности производился по экспериментальным данным, полученным в период с 2015 по 2018 годы.

Таблица 7 – Экономическая эффективность известкования почв отсевом сыромолотого доломита.

Вариант опыта	Прибавка урожая, т/га	Сумма затрат, руб	Стоимость дополнительной продукции, руб	Чистый доход, руб	Рентабельность, %
1.Фон (NPK)	-	-	-	-	-
2.Фон + ДМ 1Нг	6,7	12310,6	7269	-5041,6	- 41
3.Фон + М(5-7мм) 1Нг	9,1	2971,8	9873	6901,2	232
4.Фон + М(5-7мм) 3Нг	5,5	3099	5967	2868	93
5.Фон + М(5-7мм) 5Нг	2,1	3763,8	2278	-1485,8	- 39
6.Фон + М(7-10мм) 1Нг	2,9	2674,2	3146	471,8	18
7.Фон + М(7-10мм) 3Нг	11,2	3372,6	12152	8779,4	260
8.Фон + М(7-10мм) 5Нг	9,8	4133,4	10633	6499,6	157
9.Фон + смесь М 1Нг	4,5	2751,0	4882	2131	77
10.Фон + смесь М 3Нг	7,3	3185,4	7920	4734,6	149

Результаты расчёта показывают, что за весь период проведения эксперимента в семи вариантах опыта с исследуемым доломитом прибыль от известкования превысила затраты, связанные с известкованием. В вариантах опыта мелиорированных отсевом щебня размером 5-7мм (1Нг) и 7-10мм (3Нг) рентабельность оказалась максимальной - 232% и 260% соответственно. Наиболее эффективно в экономическом отношении использование отсева доломита размером 5-7мм в научно обоснованной дозе;

доломита размером 7-10мм, внесённого в трёхкратно превышенной дозе. Убыточным оказалось и внесение доломита размером 5-7мм в дозе 5Нг.

Расходы на известкование в варианте опыта с ДМ превысили выручку от реализации продукции, полученной от мелиорации. Для достижения эффективности в экономическом отношении, известкование традиционными мелиорантами (ДМ, известняковая мука и др.) необходимо датировать.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Растворение крупных фракций сыромолотого доломита зависит от свойств конкретных частиц и происходит с образованием более мелких обломков. За 55 суток проведения эксперимента убыль массы гранул доломита размером 7-10мм составила от 1,7% до 16%. Находясь в кислой среде, исследуемый доломит размером 7-10мм будет растворяться до размера гранул 1мм не менее 18лет.

2. Положительный эффект от применения фракций доломитовой крошки на величину pH_{KCl} и Нг почвы прослеживается на протяжении всего периода исследования. Кислотность почвы снижается по мере увеличения дозы применения мелиоранта и уменьшения размера частиц отсева щебня. К четвёртому году исследования кислотность почвы в известкованных вариантах опыта находилась в пределах pH_{KCl} 4,3-6,4; в не известкованном варианте опыта pH_{KCl} 3,8.

3. Применение высоких доз частиц крупных размеров доломитовой крошки следует рассматривать как источник пополнения запасов кальция и магния в почве, а растения гороха и горчицы способны поглощать щелочноземельные металлы из мелиорируемой доломитом почвы. В отдельные годы увеличение содержания кальция и магния за счёт мелиоранта в почве происходило в несколько раз по отношению к не известкованному варианту опыта. С 1,25 ммоль/100г кальция в почве контрольного варианта до 1,65-4,10 ммоль/100г в почвах известкованных вариантов. С 0,3 ммоль/100г магния в почве контрольного варианта до 0,65-1,42 ммоль/100г в почвах известкованных вариантов.

4. Содержание подвижного марганца в почве зависит от дозы внесения отсева доломита и размера частиц. Чем выше доза и мельче размер гранул мелиоранта, тем подвижность марганца в почве ниже. За всё время исследования количество марганца в почве вариантов, известкованных максимальной дозой, было в 1,1 – 2,7 раз меньше, чем в почве не известкованного варианта. Установлена прямая зависимость величины содержания марганца в растениях от количества подвижных форм марганца в почве. Применение пятикратно увеличенной дозы отсева щебёночного производства не привело к снижению подвижного марганца в почве до уровня марганцевой недостаточности.

5. В почве всех вариантов опыта после уборки растений сохраняется определённый запас способных к миграции катионов кальция и магния. При

промывании большая часть фонда способных к миграции щелочноземельных металлов удаляется за пределы промачиваемого слоя.

6. Несмотря на увеличенные дозы мелиоранта в почвах вариантов с крупными фракциями отсева доломита элювиальные потери оснований в них за весь период наблюдений составляли от 364,4 мг до 949,0 мг и были ниже, чем в варианте с использованием доломитовой муки в научно обоснованной дозе – 1191,3 мг. Суммарное количество магния, вымываемого из почвы различных вариантов опыта, в 1,9 – 2,9 раза меньше, чем кальция.

7. Миграция кальция и магния происходит как в ионной форме, так и в составе органо-минеральных комплексов. Количество магния мигрировавшего в составе ОМК оказалось, в зависимости от варианта, в 1,6-2,7 раза больше, чем кальция.

8. Получены прибавки урожая по отношению к контролю во всех вариантах опыта за период проведения эксперимента. Они находятся в диапазоне от 12% до 26%.

9. Наиболее эффективно в экономическом отношении использование отсева доломита размером 5-7мм в научно обоснованной дозе; доломита размером 7-10мм, внесённого в трёхкратно превышенной дозе. Рентабельность мелиорации при таком внесении была максимальной – 232% и 260% соответственно.

РЕКОМЕНДАЦИИ ПРОИЗВОДСТВУ

Рекомендуется проводить известкование кислых дерново-подзолистых почв легкого гранулометрического состава отсевом сыромолотого доломита размером 5-7мм в дозе 5Нг, отсевом доломита размером 7-10мм в дозе 5Нг и естественной смесью фракций отсева доломита в дозе 3Нг. Объектом для мелиорации должны быть наиболее отзывчивые на известкование культуры.

Рекомендуется использовать фракции отсева доломита размером 5-7мм и 7-10мм в качестве компонента для разработки нового мелиоранта.

ПЕРСПЕКТИВЫ ДАЛЬНЕЙШЕЙ РАЗРАБОТКИ ТЕМЫ

Перспективой дальнейшей разработки темы является проведение длительных полевых и производственных экспериментов, итогом которых должно служить создание нового мелиоранта пролонгированного действия на основе отсева сыромолотого доломита.

Список опубликованных работ по теме диссертации

Статьи в журналах, рекомендованных ВАК:

1. Салаев И.В., Литвинович А.В., Шевченко Е.Е. Влияние крупных фракций отсева щебеночного производства на содержание гумуса в дерново-подзолистой суглинистой почве, урожай и химический состав растений гороха // *Агрофизика*. – 2016. - № 3. - с. 7-14.

2. Литвинович А.В., Павлова О.Ю., Лаврищев А.В., Буре В.М., Салаев И.В. Скорость растворения в почвах мелиорантов карбонатной природы (эмпирические модели динамики растворения) // *Агрохимия*. -2016. - № 12. - с. 42-50.

3. Салаев И.В., Литвинович А.В. Интенсивность миграции кальция и магния из дерново-подзолистой легкосуглинистой почвы, мелиорируемой крупными фракциями отсева щебёночного производства // *Агрофизика*. – 2018. - № 2. - с. 22-28.

4. Павлова О.Ю., Литвинович А.В., Лаврищев А.В., Шевченко Е.Е., Салаев И.В., Белимов А.А. Изучение почвенных растворов, вымываемых из мелиорированных дерново-подзолистых почв // *Агрохимия*. – 2018. - № 12 – с. 69-76.

5. Павлова О.Ю., Берсенева А.О., Литвинович А.В., Лаврищев А.В., Салаев И.В., Буре В.М. Исследование скорости растворения крупных частиц доломита в кислой дерново-подзолистой супесчаной почве по данным лабораторного опыта // *Агрофизика*. -2020. - № 3 - с. 23-28.

6. Салаев И.В. Скорость и характер растворения сыромолотого доломита // *Агрофизика*. – 2021. - № 2. - с. 31-36.

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

8. Салаев И.В., Царенко В.П. Эффективность использования отсева сыромолотого доломита в качестве мелиоранта на дерново-подзолистых почвах Северо-Запада РФ // *Известия СПбГАУ*. -2022. - №4. – с. 84-91

Статьи в журнале SCOPUS:

1. Utilization of large-sized dolomite by-product particles and losses of cations from acidic soil Litvinovich A.V., Salaev I.V., Pavlova O.Yu., Lavrishchev A.V., Bure V.M., Saljnikov E. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*. 2019. - Т. 50. - № 7. - С. 1-9.

Прочие публикации:

1. Литвинович А.В., Салаев И.В., Макаренко В.В. Влияние крупных фракций отсева доломитовой крошки на урожай и химический состав растений гороха // *Современные проблемы сохранения плодородия чернозёмов: Материалы международной научно-практической конференции, посвящённой 170-летию В.В. Докучаеву* - 2016. - 319с.

2. Салаев И.В., Литвинович А.В. Миграция щелочноземельных металлов при известковании доломитом // *Сборник научных трудов международной научно-практической конференции молодых учёных. Роль молодых ученых в решении актуальных задач АПК - СПбГАУ*, 2017. - с. 77-79.

3. Салаев И.В. Количественные параметры миграции щелочноземельных металлов из мелиорируемой дерново-подзолистой почвы // Материалы Международной научной конференции XIX Докучаевские молодежные чтения посвященной 170-летию со дня рождения В.В. Докучаева – 2017. – с.188-189

4. Салаев И.В., Шевченко Е.Е., Литвинович А.В. Влияние высоких доз крупных фракций отсева доломита на урожай и качество гороха // Материалы международной агропромышленной выставки - ярмарки "Агрорусь-2016". - Издательство: ЗАО "ЭкспоФорум" – 2016. – с.109-110.

5. Салаев И.В., Литвинович А.В. Вымывание щелочноземельных металлов из дерново-подзолистой легкосуглинистой почвы, мелиорируемой высокими дозами отсева доломита // Сборник научных трудов международной научно-практической конференции молодых учёных. Роль молодых ученых в решении актуальных задач АПК - 2016. – с.74-76.

6. Салаев И.В., Литвинович А.В. Интенсивность миграции кальция и магния из дерново-подзолистой легкосуглинистой почвы, мелиорируемой крупными фракциями отсева щебёночного производства // Материалы международной научно-практической конференции, посвященной 105-летию Воронежского государственного аграрного университета – 2017. – с.164-171.

7. Салаев И.В. Влияние известкования на содержание в почве подвижного марганца и накопление марганца растениями // В сборнике: Гумус и почвообразование – 2017. - с. 78-82.

8. Салаев И.В., Литвинович А.В., Хомяков Ю.В., Дубовицкая В.И. Влияние отсева доломита на содержание марганца в почве и растениях В сборнике: Качественный рост российского агропромышленного комплекса: возможности, проблемы и перспективы // Материалы деловой программы XXVII международной агропромышленной выставки, 2018. – с. 88-91.