

УДК 631.416:631.445.24:631.821

СОДЕРЖАНИЕ И РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ОБМЕННЫХ КАТИОНОВ Са И Mg В ПРОФИЛЕ ДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТОЙ ЛЕГКОСУГЛИНИСТОЙ ПОЧВЫ, МЕЛИОРИРОВАННОЙ ВОЗРАСТАЮЩИМИ ДОЗАМИ ДОЛОМИТОВЫХ ЧАСТИЦ КРУПНОГО РАЗМЕРА

© 2021 г. А. В. Литвинович^{1,*}, И. В. Салаев¹, П. С. Манаков¹,
О. Ю. Павлова¹, А. В. Лаврищев²

¹Агрофизический научно-исследовательский институт
195220 Санкт-Петербург, Гражданский просп., 14, Россия

²Санкт-Петербургский государственный аграрный университет
196601 Санкт-Петербург—Пушкин, Петербургское шоссе, 2, Россия

*E-mail: av.lavrishchev@yandex.ru

Поступила в редакцию 07.05.2020 г.

После доработки 02.08.2020 г.

Принята к публикации 11.01.2021 г.

В длительном 10-вариантном полевом опыте и в серии лабораторных экспериментов изучена миграционная подвижность кальция и магния в дерново-подзолистой легкосуглинистой почве, мелиорированной крупными по размеру частицами доломитовой крошки. Установлено, что доломитовые частицы крупного размера не являлись “балластом”. При попадании в почву они постепенно растворялись. Ежегодно, после уборки растений в почве, мелиорированной частицами доломита размером 5–7 и 7–10 мм, остается определенный запас подвижных катионов Са и Mg. Чем выше была доза применения и мельче размер частиц доломита, тем этот запас больше. В опытах на колонках показано, что фонд способных к миграции катионов Са и Mg в почве, мелиорированной доломитовыми частицами 5–7 и 7–10 мм, в количестве, соответствующем 3 и 5 полным дозам, рассчитанным по гидролитической кислотности (H_f), за 6 опыто-лет уступал количеству Са и Mg, мигрирующим из почвы, известкованной доломитовой мукой (ДМ) в научно обоснованной дозе (1 H_f). Это открывает возможность безопасного применения крупных фракций доломитовой крошки в заведомо завышенных дозах в качестве мелиоранта пролонгированного действия. Применение отсева без разделения на фракции в дозе 3 H_f вызывало определенные опасения из-за высоких непроизводительных потерь кальция и магния с просачивающейся влагой атмосферных осадков и нуждалось в дополнительном изучении. Проведено ранжирование отдельных вариантов опыта по количеству щелочноземельных металлов, удаляемых из почвы при промывании. Выявлено, что миграционная подвижность кальция в зависимости от варианта опыта превосходила количество вымытого магния в 1.9–3.1 раза. Приведены кривые содержания и распределения щелочноземельных металлов в отдельных горизонтах ненарушенного профиля почвы, мелиорированной высокими дозами частиц доломитовой крошки различного размера. Положительное влияние крупных частиц доломита, использованного в качестве известкового материала, на урожайность растений установлено во всех изученных вариантах.

Ключевые слова: мелиорация, отсев щебеночного производства, почва, миграция, щелочноземельные металлы, модельный опыт.

DOI: 10.31857/S0002188121040086

ВВЕДЕНИЕ

Дерново-подзолистые почвы в естественном состоянии обладают целым рядом неблагоприятных свойств, ограничивающих получение на них высоких и устойчивых урожаев. Основными приемами их улучшения являются известкование и окультуривание.

Химическая мелиорация почв оказывает длительное и всестороннее влияние на все компо-

ненты почвы [1]. Однако она не может изменить биоклиматические условия, при которых почвы становятся кислыми. Положительные изменения, достигнутые в результате известкования, постепенно утрачиваются, а известкование, как прием, необходимо систематически повторять [2].

Главной причиной подкисления почв с промывным типом водного режима служат высокие потери щелочных и щелочноземельных металлов

с просачивающейся влагой атмосферных осадков [1, 3–5].

В лаборатории мелиорации почв АФИ длительное время проводят исследования, направленные на установление миграционной подвижности макро- и микроэлементов под действием ирригационных мероприятий и влаги атмосферных осадков [6–19]. Разработаны эмпирические модели, адекватно описывающие потери щелочноземельных металлов в результате миграции [18–20].

Несмотря на значительный фактический материал, посвященный потерям оснований из почв с промывным водным режимом, данных сопряженного изучения миграционной подвижности Са и Mg в мелиорированных почвах недостаточно. Это особенно касается вопроса потери этих элементов из дерново-подзолистых почв, известкованных доломитом, содержащим в своем составе сопоставимое количество карбонатов кальция и магния.

При производстве щебня из карбонатных пород в отвалы отсеиваются частицы доломитовой крошки размером <10 мм. Содержание CaCO_3 в доломите 46.1, MgCO_3 – 38.4%. В работах [21–24] приведены данные гранулометрического состава отсева, изучена скорость растворения и показана высокая эффективность использования частиц доломита размером <0.25 мм, 0.25–1.0 мм, 1–3 и 3–5 мм для нейтрализации почвенной кислотности. Установлено снижение подвижности фитотоксичных катионов марганца и железа при применении этих фракций для известкования в научно обоснованной дозе [25, 26]. В настоящее время устанавливается возможность использования заведомо завышенных доз частиц доломитовой крошки размером 5–7 и 7–10 мм в качестве мелиоранта пролонгированного действия [27–29]. Теоретической предпосылкой проведения такого рода исследований является известный факт, что по мере увеличения дозы применения мелиоранта значение тонины помола снижается [30].

Однако при принятии решения о возможности широкого использования крупных частиц доломитовой крошки для известкования необходимо ответить на 2 основных вопроса: 1 – насколько растворимы в почвах частицы данного размера (не являются ли крупные фракции доломита “балластом”)?, 2 – напротив, не приведет ли использование этих фракций в заведомо завышенных дозах к усилению непроизводительных потерь Са и Mg в результате миграции?

Цель работы – изучение содержания и профильного распределения обменных катионов Са и Mg в дерново-подзолистой легкосуглинистой

почве, мелиорированной возрастающими дозами крупных фракций доломитовой крошки. В задачи исследования входило: в условиях длительного (6 опыто-лет) 10-вариантного полевого опыта определить количество водорастворимых катионов Са и Mg, ежегодно остающихся в известкованной почве после завершения вегетационного периода сельскохозяйственных культур; в лабораторных экспериментах на колонках во всем промежутке времени изучения выявить “фонд” способных к миграции катионов Са и Mg при промачивании мелиорированной почвы после уборки растений; провести ранжирование отдельных вариантов опыта по масштабу потерь катионов в результате миграции; установить соотношение интенсивности миграции щелочноземельных металлов из мелиорированной почвы; спустя 6 опыто-лет после известкования определить содержание и распределение обменных катионов Са и Mg в ненарушенном профиле мелиорированной почвы; установить влияние крупных частиц доломита, использованного в качестве известкового материала, на урожай растений за 6 опыто-лет.

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

Для достижения поставленной цели в 2015 г. на Меньковской опытной станции АФИ был заложен микрополевым опытом. Схема опыта включала 10 вариантов (табл. 1) в четырехкратной повторности. Опыт был заложен в полиэтиленовых сосудах без дна ($S = 1 \text{ м}^2$, глубина – 25 см, масса – 300 кг почвы/сосуд). Перед закладкой опыта из каждой делянки (сосуда) была извлечена почва на глубину пахотного слоя (0–25 см). По периметру делянки размещали полиэтиленовую пленку. Внутри полученного таким образом сосуда помещали специально завезенную предварительно известкованную и удобренную дерново-подзолистую почву.

Физико-химические показатели почвы были следующими: содержание гумуса – 2.18%, pH_{KCl} 4.6, H_r – 4.9 ммоль(экв)/100 г почвы, содержание частиц <0.01 мм – 21.4%. Валовый химический состав почвы представлен в табл. 1. Выбранная для исследования почва относится к категории среднекислых и характеризуется невысоким валовым содержанием кальция и магния.

Известкование крупными фракциями доломита размером 5–7 и 7–10 мм проводили в количестве, соответствующем 1, 3 и 5 полным дозам, рассчитанным по гидролитической кислотности (H_r). Кроме этого, в схему опыта были включены варианты с естественной смесью фракций (ЕСМ) отсева в дозах 1 и 3 H_r . Для сравнения использова-

Таблица 1. Валовой химический состав дерново-подзолистой легкосуглинистой почвы, % на бескарбонатную и безгумусную почву

Потеря при прокаливании	SiO ₂	Fe ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	P ₂ O ₅	SO ₃	MnO	Σ
5.12	81.2	2.31	8.96	0.37	0.39	0.09	0.63	0.52	99.6

ли вариант с доломитовой мукой (ДМ), которую применяли в научно обоснованной дозе (1 H_r). ДМ готовили из отсева, просеянного через сито с диаметром отверстий 0.25 мм.

В опыте возделывали культуры, отзывчивые на известкование и характеризующиеся высокой потребностью в Ca и Mg, как элементах питания. В 2015 г. выращивали горох, в 2016 и 2017 гг. — горчицу и горох, в 2018 г. — горчицу. Уборку растений проводили в фазе цветения. Удобрения применяли ежегодно. Перед закладкой опыта вносили 60 г д.в. АФК/на делянку (N : P : K = 16 : 16 : 16), в последующие годы перед посевом гороха вносили 30 г, перед посевом горчицы — 18 г д.в. АФК/на делянку.

Методика лабораторных исследований заключалась в следующем. Ежегодно после уборки растений в отдельных вариантах опыта отбирали почву на глубину обрабатываемого слоя (0–25 см). Почву высушивали, измельчали, просеивали сквозь сито с отверстиями 1 мм и помещали в колонки. Масса почвы в колонке 600 г. Плотность набивки 1.0–1.1 г/см³. Перед помещением в колонки и после промывания в почве отдельных вариантов устанавливали суммарное содержание водорастворимых Ca и Mg.

Для промывания каждой колонки использовали полуторакратный объем воды, ежегодно просачивающейся сквозь почвенно-грунтовую толщу. Расчет необходимого количества влаги для одного промывания представлен в работах [9, 13, 32]. Для промывания каждой колонки использовали дистиллированную воду в объеме 1200 мл. Повторность четырехкратная. В фильтратах после промывания определяли содержание Ca и Mg.

Полевые наблюдения заключались в следующем. Спустя 6 опыто-лет проведения эксперимента после уборки последнего урожая горчицы почвенным буром с шагом 10 см с каждой делянки (сосуда) отбирали образцы почвы до глубины 70 см. Далее послонно проводили определение обменных катионов Ca и Mg по ГОСТ 26487-85 [33]. Данные определений обработаны методами математической статистики.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Данные содержания водорастворимых катионов Ca и Mg в почве разных вариантов опыта до и после промывания за 6 опыто-лет проведения

эксперимента сведены в табл. 2. Результаты свидетельствуют, что вне зависимости от дозы применения и размера частиц мелиоранта в почве после уборки растений сохранялся определенный запас водорастворимых катионов Ca и Mg. Спустя 1 год после известкования и уборки растений гороха остаточное количество способных к миграции катионов было наибольшим. На 2-й, 3-й, 4-й, 5-й и 6-й опыто-год количество Ca и Mg, переходящих в водную вытяжку, было меньше, чем после уборки первого урожая гороха. Во все сроки наблюдений в большинстве изученных вариантов прослежена следующая закономерность: чем выше доза применения крупных частиц доломита, тем запас водорастворимых катионов Ca и Mg, остающихся в почве после уборки растений, больше. Таким образом, полученные данные свидетельствуют, что крупные частицы доломитовой крошки не являлись “балластом”. С течением времени они растворялись, способствуя обогащению почвы доступными для растений катионами кальция и магния.

Каких-либо закономерностей, связанных с влиянием размера частиц, внесенных в эквивалентных дозах, на количество Ca и Mg, остающихся в почве после уборки растений, за 6 опыто-лет эксперимента не выявлено. При этом количество способных к миграции Ca и Mg в почве, известкованной ДМ в дозе 1 H_r , было больше, чем в вариантах с применением крупных частиц доломита в дозах 3 и 5 H_r . Следовательно, угрозы роста непроизводительных потерь этих элементов при использовании высоких доз крупных фракций по сравнению с применением ДМ в научно обоснованной дозе, на протяжении 6 опыто-лет не установлено.

Увеличение количества примененной смеси доломитовых частиц без разделения на фракции с одной до 3-х доз, рассчитанных по 1 H_r , также приводило к росту запаса доступных для вымывания катионов Ca и Mg. Причем количество способных к миграции Ca и Mg в варианте с применением ЕСМ по 3 H_r на 4-й и 6-й опыто-год (после уборки горчицы) было больше, а спустя 5 опыто-лет (после уборки гороха) соответствовало суммарному количеству водорастворимых катионов Ca и Mg в почве, мелиорированной ДМ в научно обоснованной дозе. Это создавало предпосылки для усиления непроизводительных потерь Ca и Mg в ре-

Таблица 2. Содержание водорастворимых катионов Са и Mg в почве до и после промывания, ммоль(экв)/100 г почвы

Срок наблюдений (культура)	Варианты									
	1. NPK (фон)	2. Фон + ДМ 1 Н _г	3. Фон + М (5–7 мм) 1 Н _г	4. Фон + М (5–7 мм) 3 Н _г	5. Фон + М (5–7 мм) 5 Н _г	6. Фон + М (7–10 мм) 1 Н _г	7. Фон + М (7–10 мм) 3 Н _г	8. Фон + М (7–10 мм) 5 Н _г	9. Фон + смесь М 1 Н _г	10. Фон + смесь М 3 Н _г
1-й опыто-год (горох)	До промывания									
	1.30	2.56	1.40	1.30	1.56	1.18	1.30	1.92	1.98	2.50
	После промывания									
	0.25	0.28	0.21	0.11	0.20	0.23	0.19	0.22	0.20	0.29
2-й опыто-год (горчица)	До промывания									
	0.12	0.16	0.08	0.16	0.14	0.06	0.06	0.22	0.06	0.12
	После промывания									
	0.11	0.14	0.03	0.14	0.12	0.04	0.02	0.13	0.04	0.07
3-й опыто-год (горох)	До промывания									
	0.08	0.28	0.08	0.06	0.08	0.04	0.12	0.12	0.06	0.18
	После промывания									
	0.05	0.24	0.04	0.04	0.05	0.02	0.04	0.06	0.05	0.10
4-й опыто-год (горчица)	До промывания									
	0.06	0.08	0.04	0.06	0.06	0.04	0.04	0.08	0.08	0.10
	После промывания									
	0.04	0.04	0.02	0.02	0.03	0.02	0.02	0.04	0.04	0.04
5-й опыто-год (горох)	До промывания									
	0.02	0.20	0.14	0.14	0.18	0.04	0.08	0.12	0.06	0.20
	После промывания									
	0.04	0.06	0.05	0.04	0.04	0.05	0.05	0.04	0.02	0.06
6-й опыто-год (горчица)	До промывания									
	0.42	0.20	0.10	0.18	0.22	0.10	0.14	0.16	0.14	0.22
	После промывания									
	0.14	0.08	0.08	0.14	0.12	0.08	0.10	0.12	0.10	0.18

зультате их миграции из почвы этого варианта опыта. Таким образом, применение высоких доз доломитовой крошки без разделения на фракции вызывало определенные опасения и нуждается в дополнительных исследованиях.

В контрольном варианте опыта на протяжении 5-ти опыто-лет запас водорастворимых катионов Са и Mg постепенно снижался. На 6-й опыто-год, после завершения эксперимента количество способных к миграции катионов резко возрастало. Причины этого будут рассмотрены ниже. В целом вне зависимости от варианта опыта в почве после уборки растений оставался определенный запас способных к миграции катионов Са и Mg.

После промывания почвы объемом, соответствующим полтора-кратному количеству ежегод-

но просачивающейся сквозь почвенно-грунтовую толщу влаги, установлена отчетливо выраженная тенденция к снижению количества катионов кальция и магния. Однако полного удаления изученных элементов ни в одном из вариантов опыта достичь не удалось.

Количество Са и Mg в промывных водах за весь период эксперимента представлено в табл. 3. Результаты свидетельствуют, что объем мигрирующих катионов Са и Mg из почвы контрольного варианта опыта по мере проведения эксперимента возрастал. Спустя год после закладки опыта количество вымытых из почвы катионов было равно 25.3 мг. На момент завершения наблюдений спустя 6 опыто-лет оно составило 40.5 мг.

Таблица 3. Миграционные потери Ca и Mg при промывании почвы после уборки растений, мг

Срок наблюдений	Варианты										
	1. NPK (фон)	2. $\Phi_{OH} + ДМ\ 1\ H_T$	3. $\Phi_{OH} + M\ (5-7\ мм)\ 1\ H_T$	4. $\Phi_{OH} + M\ (5-7\ мм)\ 3\ H_T$	5. $\Phi_{OH} + M\ (5-7\ мм)\ 5\ H_T$	6. $\Phi_{OH} + M\ (7-10\ мм)\ 1\ H_T$	7. $\Phi_{OH} + M\ (7-10\ мм)\ 3\ H_T$	8. $\Phi_{OH} + M\ (7-10\ мм)\ 5\ H_T$	9. $\Phi_{OH} + \text{смесь } M\ 1\ H_T$	10. $\Phi_{OH} + \text{смесь } M\ 3\ H_T$	HCP_{05}
1. Горох											
Ca	21.5	506	101	210	239	74.1	161	248	110	259	—
Mg	3.8	217	19.6	71.4	99.5	18.1	57.3	113	44.9	87.2	—
Σ	25.3	722	120	281	338	92.2	218	361	155	346	
Доля от суммарно вымытого за 6 лет, %	10	60.6	25.1	37.5	38.5	25.3	39.9	43.4	25.9	36.5	
2. Горчица											
Ca	21	49.0	36.2	44.9	53.3	38.8	49.3	51.7	49.3	77.7	5.8
Mg	14.3	25.2	14.8	35.0	29.3	13.7	21.2	28.4	24.2	41.1	7.9
Σ	35.3	74.2	51.0	79.9	82.6	52.5	70.5	80.1	73.5	118.8	
Доля от суммарно вымытого за 6 лет, %	14	6.2	10.6	10.7	9.4	14.4	12.9	9.6	12.3	12.5	
3. Горох											
Ca	36.2	63.8	38.1	56.4	58.4	33.3	36.7	66.3	80.2	111.6	8.6
Mg	16.7	39.9	8.9	46.8	31.8	14.2	17.0	41.8	43.5	75.4	10.6
Σ	52.9	103.7	47.0	103.2	90.2	47.5	53.7	108.1	123.7	187.0	
Доля от суммарно вымытого за 6 лет, %	21	8.7	9.8	13.8	10.3	13	9.8	13	20.7	19.7	
4. Горчица											
Ca	21.5	40.2	31.3	31.6	55.2	27	30	50.6	42	53.3	4.6
Mg	5.6	26.2	13.5	20.0	38.6	11	12	33.7	30.2	45.1	5.5
Σ	27.1	66.4	44.8	51.6	93.8	38	42	84.3	72.2	98.4	
Доля от суммарно вымытого за 6 лет, %	10.7	5.8	9.3	6.9	10.7	10.4	7.7	10.1	12.1	10.4	
5. Горох											
Ca	53.7	79.8	108	90.7	95.0	66.7	56.0	62.4	58.2	74.2	12.8
Mg	17.6	65.5	35.7	44.5	57.4	26.4	26.9	33.4	31.7	39.4	7.5
Σ	71.3	145	144	135	152	93.1	82.9	95.8	89.9	114	
Доля от суммарно вымытого за 6 лет, %	28.3	12.1	30	18	17.3	25.6	15.2	11.5	15	12	
6. Горчица											
Ca	31.7	53.0	49.0	60.6	74.9	29.9	50.4	65.9	52.8	54.6	10.1
Mg	8.8	26.3	23.9	37.6	46.3	11.2	28.4	36.8	31.2	30.2	6.4
Σ	40.5	79.3	72.9	98.2	121	41.1	78.8	103	84.0	84.8	
Доля от суммарно вымытого за 6 лет, %	16	6.6	15.2	13.1	13.8	11.3	14.5	12.4	14	8.9	
Всего за 6 опыто-лет											
Ca	186	792	364	494	576	270	383	545	393	631	
Mg	66.8	400	116	255	303	94.6	163	287	206	318	
Σ	252	1190	480	749	878	364	546	832	598	949	

Наличие способных к миграции катионов Ca и Mg в почве не известкованного контроля и возрастание их содержания в процессе проведения опыта можно объяснять следующим образом.

При низком уровне агротехники возделывания сельскохозяйственных растений (невысокий уровень применения минеральных удобрений, отказ от использования органических удобрений и от-

сутствие известкования) в почве контрольного варианта начинают формироваться гумусовые вещества с более выраженным кислотным характером [34]. Хорошая аэрация и оптимальные условия для биохимического окисления — необходимые условия для этого процесса. В результате возросшие агрессивность и химическая активность гумусовых кислот усиливают процессы кислотного гидролиза почвенных минералов, переводя в раствор минеральные компоненты. Это приводит к увеличению в почве доступных для вымывания катионов Ca и Mg. В данной связи следует сказать, что за 6 опыто-лет величина pH_{KCl} почвы контрольного варианта снизился с 4.6 до 3.8 ед., т.е. почва перешла из категории среднекислой в категорию очень сильнокислой.

В работе [34] установлено увеличение содержания Ca и Mg в окультуренной дерново-подзолистой песчаной почве, фиксируемое по появлению в составе гумуса фракции гуминовых кислот, связанных с кальцием, спустя 3 года после ослабления антропогенного воздействия. Повышенное содержание Ca и Mg в почве при низком уровне агротехники прослеживали на протяжении 3 лет. Далее элювиальные потери оснований привели к тому, что количество обменных катионов Ca и Mg опять уменьшилось.

В исследованиях [35] возрастание концентрации обменного кальция установлено спустя 10 лет после выведения окультуренной дерново-подзолистой супесчаной почвы из хозяйственного оборота. Повышенная концентрация кальция фиксировалась 7 лет, после чего его содержание снизилось. Повышение концентрации обменного магния наступило только спустя 19 лет после выведения почвы в залежь. На увеличение степени насыщенности и суммы поглощенных оснований в залежной (бывшей окультуренной) почве кустарникового луга есть также указания в работе [36]. Вероятно, подобное явление — закономерный этап развития почв при прекращении или ослаблении антропогенного воздействия и отражает изменения в составе гумуса [37, 38].

В почве мелиорируемых вариантов элювиальные потери Ca и Mg по сравнению с не известкованным контролем возрастали многократно (табл. 3). Максимальная убыль в результате промывания почвы в большинстве вариантов установлена спустя год после известкования. Далее, во всем промежутке времени изучения количество мигрирующих катионов снижалось. С увеличением дозы применения мелиоранта миграционные потери усиливались. Подобная закономерность прослежена в течение всего периода наблюдений. При использовании фракции размером 7–10 мм в эквивалентных с частицами размером 5–7 мм дозах, количество выщелачиваемых

оснований снижалось. Таким образом, степень измельчения доломита оказывала влияние на масштаб миграции кальция и магния.

При известковании частицами размером 5–7 мм в количестве, соответствующем $3 H_r$, элювиальные потери оснований спустя 5 опыто-лет начинали превосходить количество вымытых катионов из варианта, мелиорированного ДМ в научно обоснованной дозе, при применении той же фракции, но в дозе $5 H_r$, — спустя 4 опыто-года.

Во всем промежутке времени эксперимента элювиальные потери при использовании фракции размером 7–10 мм в дозе $3 H_r$ были меньше, чем в варианте с ДМ. При применении той же фракции, но в дозе $5 H_r$, миграционные потери начинали превосходить количество выщелачиваемых оснований в варианте с ДМ на 6-й опыто-год.

При использовании ЕСМ в научно обоснованной дозе ($1 H_r$) суммарное количество вымываемых Ca и Mg сравнялось с вариантом, мелиорируемым ДМ только спустя 6 опыто-лет. Начиная со второго срока изучения, миграционные потери Ca и Mg в варианте с ЕСМ в дозе $3 H_r$ превосходили потери при промывании почвы, известкованной ДМ. Исключение составлял 5-й срок наблюдения, где установлена противоположная закономерность. В целом, при использовании заведомо завышенной дозы доломитовых частиц без разделения на фракции в почве уже в год применения создавался очень значительный, неиспользуемый растениями запас способных к миграции катионов кальция и магния. Последнее обстоятельство заставляет с большой осторожностью рекомендовать для известкования высокие дозы доломитовой крошки без разделения на фракции.

Вне зависимости от варианта опыта и дозы применения доломитовой крошки разной степени измельчения прослежена следующая закономерность. В течение всего периода изучения элювиальные потери оснований после уборки гороха превосходили их потери после уборки горчицы.

В какой-то степени объяснением полученных данных может служить различная потребность гороха и горчицы в кальции и магнии как элементах питания. Считается установленным, что вынос Ca бобовыми растениями (горохом) меняется от 40 до 60 кг/га [39], а представителями семейства капустных (горчица) — 300–500 кг CaO/га [1].

Нельзя также исключить и воздействие корневых выделений выращиваемых культур на скорость растворения частиц доломита, которые могут существенно различаться. Например, в исследованиях [40, 41] показано, что на скорость растворения мелиоранта значительное влияние оказывали даже сортовые особенности корневых

экссудатов яровой пшеницы. Для ответа на этот вопрос нужны специальные исследования.

В большинстве вариантов опыта максимальные потери при миграции пришлись на первое промачивание. В варианте с ДМ количество удаленных катионов за первое промывание составило 60.6% от общей суммы вымытых Ca и Mg за весь срок наблюдений. Далее миграционные потери резко снижались. В вариантах, мелиорированных доломитовой крошкой, выщелачивание металлов при промачивании по срокам носило более плавный характер, что безусловно объясняется разной скоростью растворения частиц неодинакового размера.

В целом известкование приводило к усилению элювиальных потерь оснований в результате промывания. Степень измельчения мелиоранта играла решающую роль в миграционной подвижности катионов. Максимальные потери в результате выщелачивания установлены в варианте с ДМ. По сравнению с вариантом без известкования за 6 опыто-лет эксперимента они усилились в 4.7 раза. Применение ЕСМ в количестве, соответствующем $3 H_r$ и частиц размером 5–7 и 7–10 мм в дозе, равной $5 H_r$, снижало выщелачивание оснований по сравнению с вариантом, мелиорированным ДМ в дозе по $1 H_r$, в 1.3, 1.4 и 1.4 раза соответственно.

По количеству вымытых оснований ($\Sigma Ca + Mg$) из почвы отдельных вариантов опыта за 6 опыто-лет все варианты можно выстроить в следующий по убыванию ряд: ДМ > ЕСМ в дозе $3 H_r$ > фракция размером 5–7 мм в дозе $5 H_r$ > фракция 7–10 мм ($5 H_r$) > фракция 5–7 мм ($3 H_r$) > ЕСМ ($1 H_r$) > фракция 7–10 мм ($3 H_r$) > фракция 5–7 мм ($1 H_r$) > фракция 7–10 мм ($1 H_r$) > контроль.

Установленная закономерность полностью подтверждена при анализе данных миграционной подвижности отдельно кальция и отдельно магния. В зависимости от варианта суммарное количество вымываемого Ca за 6 опыто-лет превосходило количество вымытого Mg в 1.9–3.1 раза.

Следует подчеркнуть, что модельные эксперименты на колонках дали лишь самое общее представление о запасе остающихся в почве после уборки растений и способных к миграции катионов кальция и магния. Это тем более очевидно, если иметь ввиду, что промывание в лабораторных исследованиях проводили заведомо завышенным объемом влаги. Более ясное представление о миграционной подвижности щелочноземельных металлов дали данные содержания и распределения обменных катионов Ca и Mg в нарушенном профиле почв. Следует указать, что сведения о скорости перемещения по профилю катионов Ca и Mg противоречивы.

В данной связи показательными являются эксперименты с изотопной меткой ^{45}Ca . В работе [42] изучали динамику сорбции кальция в мелиорированных легкосуглинистых подзолистых почвах. Показано, что миграция ^{45}Ca в почвах происходила в результате процесса диффузии и переноса гравитационным потоком влаги. Максимальная глубина его миграции за первый год в освоенной автоморфной почве составляла 4 см, в глеевой – 5 см. На 2-й год фронт миграции кальция увеличился еще на 1 см. Эти данные свидетельствовали о высокой адсорбционной способности почвенно-поглощающего комплекса, имеющего отрицательный заряд, в отношении двухвалентных противоионов кальция.

Напротив, в опытах [43] кальций меченой извести, внесенной на фоне применения минеральных удобрений перемещался по профилю значительно интенсивней. За 7 мес. эксперимента ^{45}Ca обнаруживали на глубине 37 см в количестве, равном 1.31% от внесенного.

В исследованиях [44] показано, что чем больше была доза минеральных удобрений, тем интенсивнее происходила миграция кальция по почвенному профилю. При поверхностном внесении извести в дерново-подзолистую супесчаную почву через 7 мес. кальций извести мигрировал на глубину 15 см. Спустя 15 мес. после известкования его обнаруживали на глубине 60 см. При применении извести на фоне одинарной дозы минеральных удобрений кальций перемещался на глубину 80 см, в варианте с удвоенной дозой его обнаружили на глубине 110 см.

На содержание и распределение обменных катионов Ca и Mg в профиле дерново-подзолистых почв оказывает влияние и частичная компенсация (возврат) Ca и Mg в корнеобитаемый слой с восходящими потоками влаги. В экспериментах [45], проведенных с дерново-подзолистой почвой на карбонатной морене, занятой коренным лесом, с восходящим движением веществ было компенсировано 29% суммарного количества вымытых Ca и Mg, против 9% в почве с двучленным сложением профиля. В работе [44] показано, что с восходящими токами влаги в зависимости от уровня удобренности и количества использованной извести в пахотный слой поступало от 14.3 до 35.1% CaO и от 22.1 до 34.4% MgO от вымытого количества.

Н.А. Муромцевым с соавт. [46] установлено, что с капиллярным поднятием грунтовых вод в аллювиальную почву возвращалось 77–79% Ca и 25–54% Mg от внесенного количества, в дерново-подзолистую суглинистую глубокооуглееную почву – 5.2–7.5% Ca и 4.7–7.1% Mg.

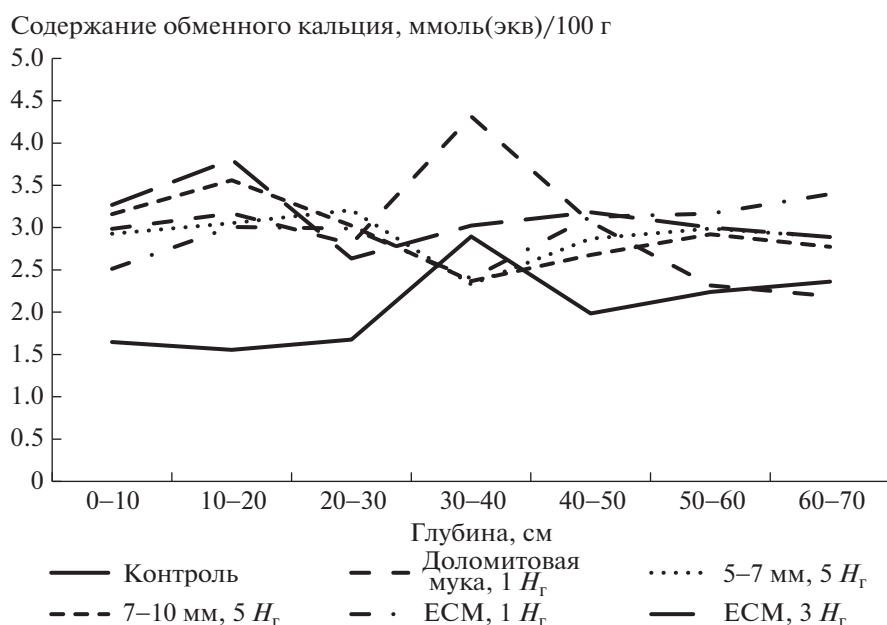


Рис. 1. Содержание и распределение обменного кальция, ммоль(экв)/100 г почвы.

Таким образом, возврат оснований в корнеобитаемый слой в результате капиллярного поднятия влаги может оказать определенное влияние на содержание и распределение щелочноземельных металлов в профиле почвы.

Данные содержания и распределения обменного Са в профиле почвы представлены на рис. 1. В почве неизвесткованного контроля содержание обменного кальция в слое 0–30 см менялось незначительно (1.56–1.68 ммоль(экв)/100 г почвы). В более глубоких слоях профиля концентрация Са была больше, ее величина не опускалась ниже 2 ммоль(экв)/100 г почвы.

Использование ДМ привело к обогащению кальцием слоя 0–40 см почвы. Распределение по слоям носило выровненный характер, а содержание менялось от 2.55 до 2.95 ммоль(экв)/100 г почвы. С глубины 40 см концентрация кальция снижалась.

Использование доломитовой крошки размером 5–7 см в количестве 5 H_r также способствовало росту содержания обменного кальция по всему профилю. При этом в большинстве исследованных слоев его концентрация превосходила содержание в почве варианта, мелиорированного ДМ.

Применение доломитовых частиц размером 7–10 мм, в 5 раз превышающим научно обоснованную дозу, также привело к росту концентрации обменного кальция во всех слоях профиля по сравнению с почвой неизвесткованного контроля. В большинстве исследованных слоев его концентрация превосходила содержание в почве ва-

рианта с ДМ и варианта с фракцией размером 5–7 мм. Очевидно, различия в содержании обменного кальция в профиле почвы, известкованной различными по размеру частицами доломита, объясняются неодинаковой скоростью растворения различных по размеру частиц доломита. Например, в работе [21] показано, что спустя год после известкования в почве, мелиорированной ДМ в научно обоснованной дозе, прореагировало 85% от внесенного количества. При использовании частиц доломита размером 1–3 мм растворилось 31% от внесенного количества. Вероятно, за 6 опыто-лет эксперимента нижние слои профиля почвы, известкованной ДМ, оказались в значительной степени “отмыты” от подвижных соединений кальция.

Максимальное накопление обменного кальция зафиксировано в варианте с известкованием ЕСМ в дозе 3 H_r . В слое 10–20 см его содержание составило 3.81 ммоль(экв)/100 г почвы. При снижении дозы до 1 H_r эффект от применения оказался меньше (3.0 ммоль(экв)/100 г почвы). Содержание обменного кальция до глубины 30–40 см в варианте с использованием ЕСМ в дозе 1 H_r не уступало содержанию обменного кальция в том же слое почвы, мелиорированной ДМ в дозе по 1 H_r . В целом, вне зависимости от дозы применения и размера частиц мелиоранта известкование привело к обогащению почвенного профиля обменным кальцием. Таким образом, в процессе нахождения в почве крупные частицы доломита постепенно растворяясь, пополняли запас доступного для растений кальция.

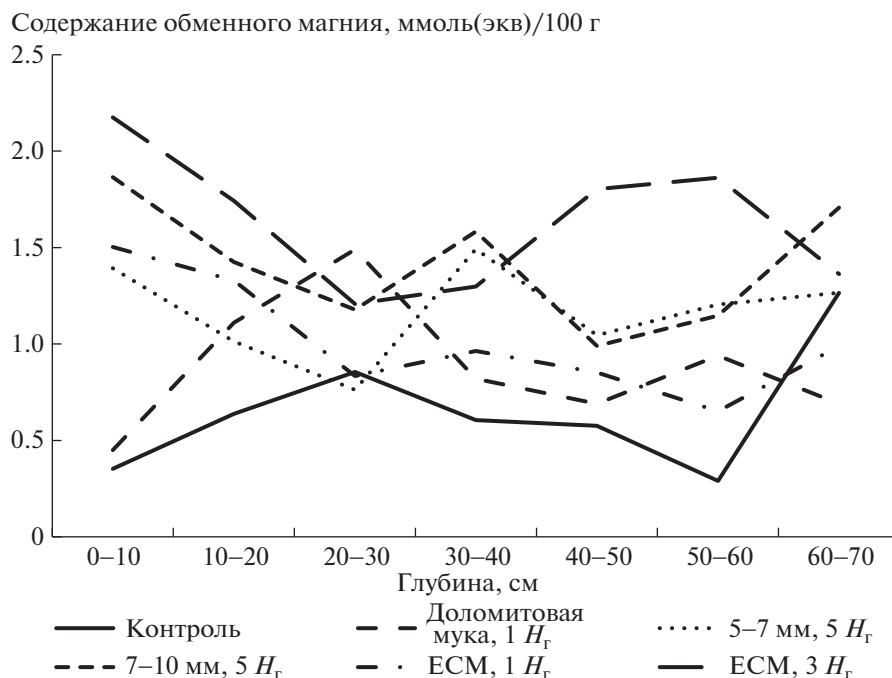


Рис. 2. Содержание и распределение обменного магния, ммоль(экв)/100 г почвы.

Данные содержания и распределения Mg в профиле приведены на рис. 2. Следует констатировать крайне низкое содержание обменного Mg в культивируемом слое почвы контрольного варианта, что характерно для слабокультуренных почв легкого гранулометрического состава.

В настоящее время в связи с прекращением поставок сельскому хозяйству магнийсодержащих удобрений и мелиорантов, баланс этого элемента стал отрицательным. Площадь почв, нуждающихся в первоочередном внесении Mg, в РФ составляет ≈ 7 млн га [47].

В слое 0–10 см почвы не известкованного контроля содержание Mg составило всего 0.35 ммоль(экв)/100 г почвы. На глубине 50–60 см концентрация этого элемента снизилась до 0.29 ммоль(экв)/100 г почвы. В слое 60–70 см содержание Mg достигало своего максимума (1.27 ммоль(экв)/100 г почвы). В работе [48] показано, что при содержании $\text{MgO} < 40$ мг $\text{MgO}/\text{кг}$ почвы за 4–6 лет возделывания сельскохозяйственных культур запас подвижных соединений этого элемента в почвах может быть полностью исчерпан. Данные настоящего исследования показали, что без пополнения запасов этого элемента в почве неизвесткованного контроля возделывание сельскохозяйственных культур в самое ближайшее время станет невозможным.

В варианте с применением ДМ наиболее обогащенным оказался слой 20–30 см (1.5 ммоль(экв)/100 г почвы). В нижележащих

слоях концентрация Mg снижалась. С глубины 40 см распределение Mg по профилю носило выровненный характер.

Вне зависимости от дозы применения и размера частиц мелиоранта известкование доломитовой крошкой способствовало обогащению профиля почвы обменным Mg. Характер распределения этого элемента по профилю почвы, известкованной доломитовыми частицами, существенно отличался от почвы, мелиорированной ДМ. Вне зависимости от варианта опыта, максимальное его содержание было характерно для самого верхнего слоя (0–10 см) почвы. Наибольшим накоплением характеризовался 0–10 сантиметровый слой почвы варианта, произвесткованного ЕСМ в количестве 3 Н_г. В почве вариантов, мелиорированных частицами размером 5–7 и 7–10 мм, внесенных в дозе 5 Н_г, концентрация Mg в слое 0–10 см была меньше.

Размер частиц мелиоранта также повлиял на содержание обменного Mg в почве известкованных вариантов. Чем крупнее частицы доломита, тем более обогащенным Mg оказался слой почвы 0–10 см. По-видимому, это было связано с различной скоростью растворения доломитовых частиц размером 5–7 и 7–10 мм и, как следствие, различной интенсивностью миграции Mg из почвы вариантов, мелиорированных этими фракциями.

В известкованной доломитом почве распределение Mg по профилю подчинялось следующей

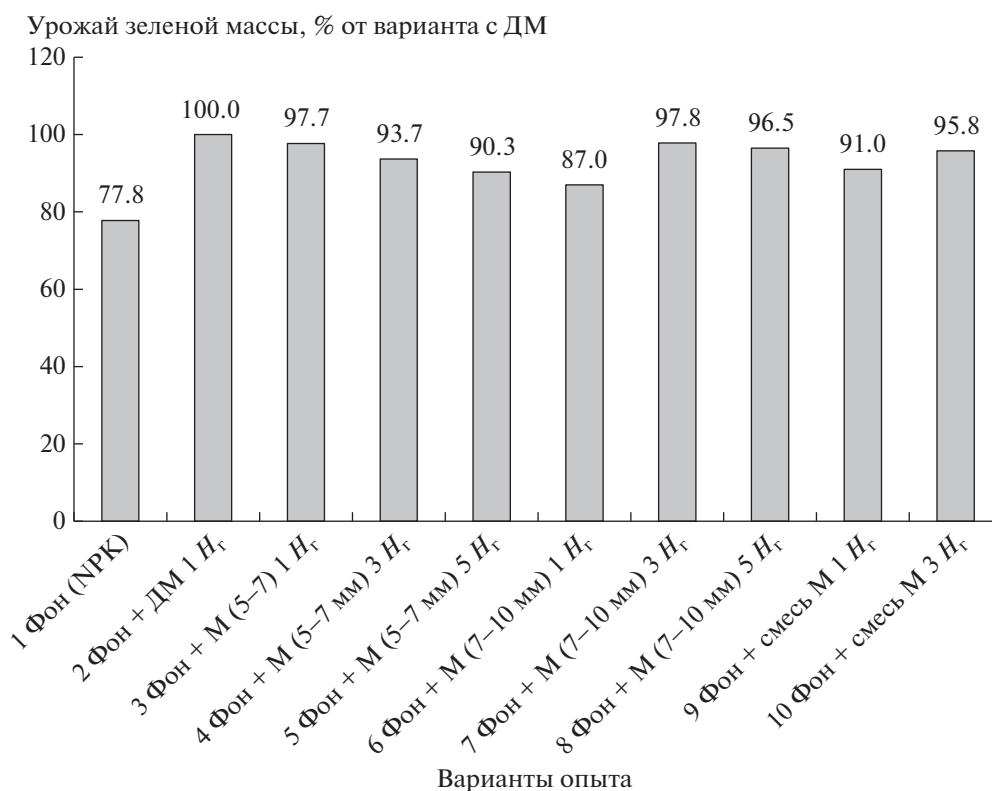


Рис. 3. Урожай зеленой массы растений за 6 опыто-лет эксперимента.

закономерности. На глубине 20–30 см концентрация Mg снижалась. Далее, вниз по профилю, она возрастала, но, как правило, не достигала показателей, установленных в слое 0–10 см. Исключение составляла почва варианта, мелиорированного фракцией размером 5–7 мм в дозе 5 Н_t. В данном случае концентрация Mg на глубине 30–40 см превосходила концентрацию, установленную в слое 0–10 см. В целом, вне зависимости от варианта опыта известкование способствовало росту концентрации обменного Mg по всему почвенному профилю мелиорированной почвы.

Считается установленным, что для требовательных к кальцию культур необходимое суммарное содержание Са и Mg в легко- и среднесуглинистых почвах должно составлять не менее 4–6 ммоль (экв)/100 г почвы [1]. Проведенное исследование показало, что использование высоких доз крупных по размеру частиц доломитовой крошки привело к обогащению культивируемого слоя обменными (доступными для растений) соединениями Са и Mg. Суммарное количество обменных катионов в культивируемом слое, вне зависимости от варианта опыта не опускалось меньше 4 ммоль(экв)/100 г почвы.

Следует подчеркнуть, что после 6-ти опыто-лет эксперимента в пахотном слое продолжало

оставаться значительным количество неразложившихся частиц мелиоранта, наличие которых легко устанавливали визуально. Очевидно, в процессе дальнейшего взаимодействия с почвой гранулы доломита, постепенно растворяясь, будут способствовать обогащению почвы доступными для растений катионами Са и Mg. Это позволило рассматривать использование высоких доз крупных фракций доломитовой крошки в качестве мелиоративного приема, направленного на устранение почвенной кислотности и обогащение почвы обменными катионами Са и Mg в длительном последствии.

На рис. 3 приведены данные урожайности зеленой массы растений за 6 опыто-лет эксперимента. Результаты свидетельствуют, что максимальной продуктивностью характеризовалась почва, произвесткованная доломитовой мукой. Выход зеленой массы растений в контрольных сосудах составил 78% от варианта, мелиорированного доломитовой мукой. Урожайность в остальных вариантах менялась от 87.0 до 97.7% от варианта, мелиорированного доломитовой мукой.

Таким образом, положительное влияние крупных частиц доломита, использованного в качестве известкового материала, установлено во всех вариантах изученных почв.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, в почве после уборки растений сохранялся определенный запас водорастворимых катионов кальция и магния. Чем выше была доза применения крупных частиц доломита, тем этот запас больше. Угрозы роста непроемчивых потерь кальция и магния при использовании высоких доз крупных фракций доломита по сравнению с применением доломитовой муки (ДМ) в научно обоснованной дозе не установлено. Применение естественной смеси мелиоранта в заведомо завышенной дозе вызывало определенные опасения из-за высоких потерь оснований при выщелачивании.

В почве мелиорированных вариантов элювиальные потери кальция и магния по сравнению с неизвесткованным контролем возрастали многократно. С увеличением дозы применения мелиоранта потери при миграции также усиливались. На масштабы миграции катионов оказывала влияние степень измельчения мелиоранта. В течение всего периода эксперимента после уборки гороха запас способных к миграции катионов кальция и магния вне зависимости от варианта опыта превосходил запас этих элементов, остающихся в почве после уборки горчицы. По количеству вымытых из почвы опыта за 6 опытно-лет оснований, как суммы кальция и магния, так и кальция и магния отдельно, все варианты выстраивались в следующий по убыванию ряд: ДМ > ЕСМ в дозе 3 H_r > фракция размером 5–7 мм в дозе 5 H_r > фракция 7–10 мм (5 H_r) > фракция 5–7 мм (3 H_r) > ЕСМ (1 H_r) > фракция 7–10 мм (3 H_r) > фракция 5–7 мм (1 H_r) > фракция 7–10 мм (1 H_r) > контроль. Суммарное количество вымытого кальция, в зависимости от варианта опыта, превосходило количество вымытого магния в 1.9–3.1 раза. Известкование доломитом вне зависимости от дозы применения и размера частиц привело к обогащению почвенного профиля обменными катионами кальция и магния. Проведенное исследование открывает возможность использования частиц размером 5–7 и 7–10 мм в заведомо завышенных дозах в качестве мелиоранта пролонгированного действия. Положительное влияние крупных частиц доломита, использованного в качестве известкового материала, установлено во всех изученных вариантах.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Небольсин А.Н., Небольсина З.П. Известкование почв. Результаты 50-летних полевых опытов. СПб., 2010. 253 с.
2. Литвинович А.В., Небольсина З.П. Продолжительность действия мелиорантов в почвах и эффектив-

ность известкования // Агрохимия. 2012. № 10. С. 79–94.

3. Шильников И.А., Лебедева Л.А. Известкование почв. М.: Агропромиздат, 1987. 179 с.
4. Яковлева Л.В. Миграция оснований в дерново-подзолистых почвах Северо-Запада России. СПб., 2013. 105 с.
5. Аканова Н.И., Шильников И.А., Ефремова С.Ю., Аваков М.С. Значение химической мелиорации в земледелии и потери Ca и Mg из почвы // Пробл. агрохим. и экол. 2017. № 1. С. 28–35.
6. Литвинович А.В., Павлова О.Ю. Содержание и распределение свинца в зоне действия завода туковой промышленности // Агрохимия. 1996. № 3. С. 92–100.
7. Литвинович А.В., Павлова О.Ю. Содержание и особенности распределения валовых и кислоторастворимых форм соединений тяжелых металлов в профиле сероземно-оазисных почв в зоне химического завода // Агрохимия. 1999. № 8. С. 68–78.
8. Литвинович А.В., Павлова О.Ю., Осипов А.И. Содержание и запасы серы в техногенно-загрязненных почвах // Агрохимия. 1998. № 12. С. 64–70.
9. Литвинович А.В., Павлова О.Ю., Лаврищев А.В. Миграция фтора в почвах различных природно-климатических областей // Агрохимия. 1998. № 6. С. 74–81.
10. Litvinovich A., Pavlova O., Lavrishchev A., Bure V., Saljnikov E. Migration behaviour of fluoride in contaminated soils near ammophos production plant: laboratory studies // Biol. Commun. 2019. Т. 64. № 4. С. 270–278.
11. Литвинович А.В., Павлова О.Ю., Лаврищев А.В. О вымывании кальция и стронция из дерново-подзолистой супесчаной почвы, произвесткованной конверсионным мелом // Агрохимия. 1999. № 9. С. 64–67.
12. Литвинович А.В., Павлова О.Ю., Юзмухаметов Д.Н., Лаврищев А.В. Миграционная способность стабильного стронция в дерново-подзолистых почвах Северо-Запада России (по данным модельных опытов) // Почвоведение. 2008. № 5. С. 568–575.
13. Литвинович А.В., Лаврищев А.В., Буре В.М., Павлова О.Ю. Интенсивность миграции кальция из дерново-подзолистой супесчаной почвы, произвесткованной различными дозами мелиоранта (по данным модельного опыта) // Агрохимия. 2015. № 6. С. 84–89.
14. 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.
15. Павлова О.Ю., Литвинович А.В., Лаврищев А.В., Буре В.М. Миграционная подвижность фтора при мелиорации кислых почв фторсодержащими отходами промышленности // Агрофизика. 2019. № 3. С. 20–25.
16. Литвинович А.В., Бакина Л.Г., Павлова О.Ю., Лаврищев А.В. Устойчивость органического вещества и кальция известкованной почвы к вымывающему действию воды // Агрохимия. 2017. № 3. С. 58–68.

17. Литвинович А.В., Павлова О.Ю., Маслова А.И., Чернов Д.В. Калийное состояние дерново-подзолистой глееватой песчаной почвы при окультуривании и под залежью // Почвоведение. 2006. № 7. С. 876–882.
18. Литвинович А.В., Дричко В.Ф., Павлова О.Ю. Оценка параметров функции удержания кальция и стронция дерново-подзолистой супесчаной почвой при мелиорации конверсионным мелом (по данным модельного опыта) // Современные проблемы опытного дела: Мат-лы Междунаро. науч.-практ. конф. СПб., 2000. С. 204–210.
19. Литвинович А.В., Павлова О.Ю., Лаврищев А.В., Буре В.М. Потери Са, Mg, K, Na, Fe и F из орошаемой лугово-сероземной почвы в результате миграции. Эмпирические модели процесса элювирования (по данным лабораторного опыта) // Агрохимия. 2020. № 1. С. 58–69.
20. Литвинович А.В., Лаврищев А.В., Буре В.М., Павлова О.Ю. Моделирование процессов вымывания кальция и стронция из дерново-подзолистой супесчаной почвы, мелиорированной конверсионным мелом // Агрохимия. 2017. № 2. С. 48–55.
21. Литвинович А.В., Павлова О.Ю., Лаврищев А.В., Буре В.М., Ковлева А.О. Мелиоративные свойства, удобрительная ценность и скорость растворения в почвах различных по размеру фракций отсева доломита, используемого для дорожного строительства // Агрохимия. 2016. № 2. С. 31–41.
22. Литвинович А.В., Павлова О.Ю., Лаврищев А.В. Скорость растворения в почвах мелиорантов карбонатной природы (эмпирические модели динамики растворения) // Агрохимия. 2016. № 12. С. 42–50.
23. Литвинович А.В., Лаврищев А.В., Буре В.М., Павлова О.Ю., Ковлева А.О. Динамика содержания обменных катионов кальция и магния в дерново-подзолистой легкосуглинистой почве, мелиорированной различными по размеру фракциями доломита (эмпирические модели процесса подкисления) // Агрохимия. 2018. № 3. С. 50–61.
24. Литвинович А.В., Лаврищев А.В., Буре В.М., Павлова О.Ю., Ковлева А.О. Влияние разных по размеру фракций доломита на показатели почвенной кислотности легкосуглинистой дерново-подзолистой почвы (эмпирические модели процесса подкисления) // Агрохимия. 2017. № 12. С. 27–37.
25. Литвинович А.В., Лаврищев А.В., Буре В.М., Павлова О.Ю., Ковлева А.О. Изучение динамики содержания подвижного железа в легкосуглинистой дерново-подзолистой почве, мелиорированной доломитом // Агрохимия. 2019. № 3. С. 52–61.
26. Литвинович А.В., Лаврищев А.В., Буре В.М., Павлова О.Ю., Ковлева А.О., Хомяков Ю.В. Динамика содержания подвижного марганца в дерново-подзолистой легкосуглинистой почве, мелиорированной различными по размеру фракциями доломита // Агрохимия. 2018. № 8. С. 52–63.
27. 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.
28. Шевченко Е.Е., Литвинович А.В., Макаренко В.В. Влияние возрастающих доз крупных фракций отсева доломита на общее содержание и водорастворимые формы гумуса мелиорированной дерново-подзолистой легкосуглинистой почвы // Агрофизика. 2017. № 4. С. 25–37.
29. Лешко Т.Л., Литвинович А.В., Манаков П.С., Тябин А.О. Изменение структурного состояния дерново-подзолистой легкосуглинистой почвы (umbric albeluvisols abruptic) при известковании крупными частицами доломитовой крошки // Агрофизика. 2019. № 1. С. 15–25.
30. Шевченко Е.Е. Изменение общего содержания гумуса за 5 опыто-лет при использовании отсева щебеночного производства // Гумус и почвообразование. СПб.–Пушкин, 2017. С. 83–87.
31. Шедеров С.Г., Воробьева В.А., Цветкова Ю.Н. Действие известняковой муки на почву и растения в зависимости от ее гранулометрического состава. Варшава, 1970. С. 104–114.
32. Лаврищев А.В., Литвинович А.В. Стабильный стронций в агроэкосистемах. СПб.–Краснодар–М., 2019. 192 с.
33. ГОСТ 26487-85 Почвы. Определение обменного кальция и обменного (подвижного) магния методами ЦИНАО (с поправкой). М., 1986.
34. Орлова Н.Е., Бакина Л.Г. Современные процессы гумусообразования в окультуренных дерново-подзолистых почвах Северо-Запада России // Агрохимия. 2002. № 11. С. 5–12.
35. Литвинович А.В., Павлова О.Ю., Дричко В.Ф., Чернов Д.В., Фомина А.С. Изменение кислотно-основных свойств окультуренной дерново-подзолистой песчаной почвы в зависимости от срока нахождения в залежи // Почвоведение. 2005. № 10. С. 1232–1239.
36. Сушков С.Ф. Динамика почвенно-растительного покрова на залежных землях (на примере юго-западных районов Ленинградской области): Автореф. дис. ... канд. географ. наук. Л., 1974. 25 с.
37. Литвинович А.В., Дричко В.Ф., Павлова О.Ю., Чернов Д.В., Шабанов М.В. Изменение кислотно-основных свойств окультуренных дерново-подзолистых почв легкого гранулометрического состава в процессе постагрогенной трансформации // Почвоведение. 2009. № 6. С. 680–686.
38. Литвинович А.В., Павлова О.Ю. Трансформация состава гумуса дерново-подзолистых почв легкого гранулометрического состава под действием возрастающих доз извести и в постагрогенный период // Почвоведение. 2010. № 11. С. 1362–1369.
39. Корнилов М.Ф., Небольсин А.Н., Семенов В.А. Известкование кислых почв Нечерноземной полосы СССР. Л.: Колос, 1971. 256 с.
40. Литвинович А.В., Ковлева А.О., Павлова О.Ю. Влияние известкования на накопление марганца и железа растениями яровой пшеницы // Агрохимия. 2015. № 5. С. 61–68.
41. Литвинович А.В., Павлова О.Ю., Лаврищев А.В., Буре В.М., Салаев И.В. Скорость растворения в поч-

- вах мелиорантов карбонатной природы (эмпирические модели динамики растворения) // *Агрохимия*. 2016. № 12. С. 42–50.
42. Платонов И.Г. Динамика сорбции и миграция кальция в подзолистых легкосуглинистых почвах // *Вопросы известкования почв*. М.: Агроконсалт, 2002. С. 101–106.
 43. Рясинская Л.М. Влияние известкования на основные физико-химические свойства лугово-бурых оподзоленных почв: Автореф. дис. ... канд. с.-х. наук. Владивосток, 1973. 20 с.
 44. Мазур Г.А., Симачинский В.Н., Дмитренко П.А., Томашевская Е.Г. Миграция и характер превращения кальция извести в дерново-подзолистых почвах // *Почвоведение*. 1980. № 3. С. 34–41.
 45. Кауричев И.С., Яшин И.М., Кашанский А.Д., Кащенко В.С. Опыт применения сорбционных лизиметров при изучении водной миграции веществ в подзолистых почвах европейского Севера // *Почвоведение*. 1986. № 8. С. 29–41.
 46. Муромцев Н.А., Семенов Н.А. Потери и возврат химических веществ в почвах при инфильтрации и подпитывании грунтовыми водами // *Почвоведение*. 2005. № 4. С. 457–463.
 47. Зеленов Н.А., Шильников И.А., Аканова Н.И., Швырков Д.А. Резерв химических мелиорантов и их агроэкологическая эффективность // *Современные проблемы и перспективы известкования кислых почв*. Мат-лы научн. конф., посвящ. 75-летию со дня рождения д-ра с.-х. наук, проф. А.Н. Небольсина. СПб., 2010. С. 30–34.
 48. Шильников И.А., Аканова Н.И., Баринев В.Н. Прогноз изменения кислотности почв и содержания Ca и Mg в земледелии Нечерноземья // *Вопросы известкования почв*. М.: Агроконсалт, 2002. С. 221–232.

Content and Distribution of Exchange Cations Ca and Mg in the Profile of Sod-Podzolic Light Loamy Soil Reclaimed by Increasing Doses of Large-Sized Dolomite Particles

A. V. Litvinovich^{a, #}, I. V. Salaev^a, P. S. Manakov^a, O. Yu. Pavlova^a, and A. V. Lavrishchev^b

^a*Agrophysical Research Institut
e Grazhdansky prosp. 14, Saint-Petersburg 195220, Russia*

^b*Sankt-Petersburg State Agrarian University
Peterburgskoe shosse 2, Saint-Petersburg—Pushkin 196601, Russia*

[#]*E-mail: av.lavrishchev@yandex.ru*

In a long-term 10-variant field experiment and in a series of laboratory experiments, the migration mobility of calcium and magnesium in sod-podzolic light loamy soil reclaimed by large-sized particles of dolomite chips was studied. It was found that large-sized dolomite particles were not “ballast”. When they got into the soil, they gradually dissolved. Every year, after harvesting, a certain reserve of mobile Ca and Mg cations remains in the soil reclaimed by dolomite particles of 5–7 and 7–10 mm in size. The higher the dose of application and the smaller the size of the dolomite particles, the greater this margin. In experiments on columns, it was shown that the stock of Ca and Mg cations capable of migration in soil reclaimed by dolomite particles of 5–7 and 7–10 mm, in an amount corresponding to 3 and 5 total doses calculated from hydrolytic acidity (H_a), for 6 experimental years was inferior to the amount of Ca and Mg migrating from soil limed with dolomite flour (DF) in a scientifically justified dose ($1 H_a$). This opens up the possibility of safe use of large fractions of dolomite chips in deliberately inflated doses as a long-acting meliorant. The use of screening without separation into fractions at a dose of $3 H_a$ caused some concerns due to high unproductive losses of calcium and magnesium with seeping moisture of atmospheric precipitation and needed additional study. The individual variants of the experiment were ranked according to the amount of alkaline earth metals removed from the soil during washing. It was found that the migration mobility of calcium, depending on the variant of the experiment, exceeded the amount of washed magnesium by 1.9–3.1 times. The curves of the content and distribution of alkaline earth metals in individual horizons of undisturbed soil profile reclaimed by high doses of dolomite crumb particles of various sizes are presented. The positive effect of large particles of dolomite used as a lime material on the yield of plants was established in all the studied variants.

Key words: reclamation, screening of crushed stone production, soil, migration, alkaline earth metals, model experience.