УДК 631.4 DOI: 10.25695/AGRPH.2022.02.07

СОДЕРЖАНИЕ И РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ОБМЕННОГО МАГНИЯ В ПРОФИЛЕ ДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТОЙ ЛЕГКОСУГЛИНИСТОЙ ПОЧВЫ, МЕЛИОРИРУЕМОЙ РАЗЛИЧНЫМИ ПО РАЗМЕРУ ФРАКЦИЯМИ ОТСЕВА ДОЛОМИТА

П. С. Манаков[1, 2], А. В. Литвинович[1], А. В. Лаврищев[2], В. М. Буре[1, 3]

[1]ФГБНУ «Агрофизический научно-исследовательский институт»,
195220, Санкт-Петербург, Гражданский пр., д. 14, Россия;
[2]Санкт-Петербургский государственный аграрный университет,
196601, Санкт-Петербург, Пушкин, Петербургское шоссе, 2, Россия;
[3]Санкт-Петербургский государственный университет,
199034, Санкт-Петербург, Университетская наб., д. 7-9, Россия,
E-mail: manakov248@bk.ru

Поступила в редакцию 10 марта 2022 г., принята к печати 31 мая 2022 г.

В 10-вариантном микрополевом опыте, заложенном на Меньковской опытной станции в 2011 г., изучено содержание и распределение обменного магния в профиле дерново-подзолистой легкосуглинистой почвы, мелиорируемой частицами доломитовой крошки размером <0,25; 0,25–1; 1–3 и 3–5 мм в научно обоснованной дозе и при их сочетании между собой. Образцы были отобраны почвенным буром из ненарушенного профиля почвы до глубины 70 см спустя 13 опыто-лет после проведения известкования. Установлено, что использование частиц доломита привело к обогащению почвенной толщи обменным магнием. Во всех исследуемых вариантах отмечено увеличение концентрации магния по сравнению с аналогичными горизонтами почвы в контрольном варианте (без известкования). Выявлена сильная неоднородность в содержании катионов магния по глубине. Зависимость содержания катионов Mg от глубины является существенно нелинейной. Для контрольного варианта опыта, варианта с использованием известняковой муки и вариантов с применением смеси фракций <0,25 мм по 0,5 Нг + 0,25–1 мм по 0,5 Нг + 1–3 мм по 2 и 3 Нг удалось построить статистически значимые нелинейные зависимости содержания катионов магния от глубины отбора. Для указанных вариантов, включая вариант № 3, также характерна статистически значимая тенденция (линейный тренд) к изменению содержания обменного магния в среднем с увеличением глубины.

Ключевые слова: дерново-подзолистая почва, почвенный профиль, обменный магний, миграция магния, эмпирические модели.

CONTENT AND DISTRIBUTION OF EXCHANGEABLE MAGNESIUM IN THE PROFILE OF SOD-PODZOLIC SANDY LOAM SOIL RECLAIMED WITH DOLOMITE SCREENING FRACTIONS OF DIFFERENT SIZE

P. S. Manakov[1, 2], A. V. Litvinovich[1], A. V. Lavrishchev[2], V. M. Bure[1, 3]

[1]Agrophysical Research Institute,
14, Grazhdanskiy pr., St. Petersburg, 195220, Russia;
2. St. Petersburg State Agrarian University,
[2]Peterburgskoye highway, Pushkin, Saint Petersburg, 196601, Russia;
[3]St. Petersburg State University,
7-9, Universitetskaya quay, Saint-Petersburg, 199034, Russia,
E-mail: manakov248@bk.ru

The content and distribution of exchangeable magnesium in the profile of sod-podzolic sandy loam soil, reclaimed with particles of dolomite crumbs < 0.25; 0.25–1; 1–3 and 3–5 mm in a scientifically based rate and when combined with each other were studied in a 10-treatment microfield experiment, carried out at the Menkovo experimental station in 2011. Samples were collected with a soil drill from an undisturbed soil profile to a depth of 70 cm, thirteen experimental years after liming. The results have shown that the use of dolomite particles led to the enrichment of the soil stratum with exchangeable magnesium. An increase in the concentration of magnesium was found in all the studied treatments compared with the similar soil horizons in the control treatment (without liming). A high heterogeneity in the content of Mg cations over the sampling depth was revealed. The dependence of the Mg cations content on soil depth is essentially nonlinear. It was possible to construct statistically significant nonlinear dependences of the content of magnesium cations on the depth of sampling for the control treatment of the experiment, the treatment with limestone flour and the treatments with the use of a mixture of fractions < 0,25 mm by 0,5 Hg + 0,25–1 mm by 0,5 Hg + 1–3 mm by 2 and 3 Hg. These treatments, including the treatment № 3, are also characterized by the statistically significant linear trend of changes in the average content of exchangeable magnesium with increasing sampling depth.

Key words: sod-podzolic soil, soil profile, magnesium exchange, magnesium migration, empirical models.

ВВЕДЕНИЕ

На сегодняшний день опубликовано множество данных о миграционной подвижности кальция и магния в почвах различных природно-климатических областей (Мазур, Симачинский, 1975; Шильников, Лебедева, 1977; Богданов с соавт., 1978; Мельникова, 1985; Платонов, 2002; Небольсин, Небольсина, 2010; Яковлева, 2013; Аканова с соавт., 2017).

Определенные сведения о потерях щелочных и щелочноземельных металлов из почв с просачивающейся влагой атмосферных осадков получены в ходе модельных экспериментов специалистами лаборатории мелиорации почв АФИ (Дричко с соавт., 2002; Литвинович с соавт., 2017, 2021; Салаев, Литвинович, 2018).

В полевом опыте П.С. Манакова с соавт. (2022) изучена миграционная подвижность обменного кальция, внесенного в составе частиц доломитовой крошки различного размера, спустя 13 опыто-лет после известкования кислой дерново-подзолистой легкосуглинистой почвы. Установлен характер зависимости изменения содержания обменного кальция от глубины отбора почвенных проб. В составе доломита на долю магния приходится 38,4%, в связи с чем выявление подверженности данного элемента вымыванию представляется весьма важным.

Цель исследований – определить содержание и профильное распределение обменного магния в кислой дерново-подзолистой легкосуглинистой почве спустя 13 опыто-лет после известкования доломитом, а также разработать эмпирические модели, описывающие зависимость содержания магния от глубины отбора почвенных проб в ненарушенном профиле почвы, мелиорируемой частицами доломита различного размера.

Настоящая работа является продолжением исследований, начатых в работе П. С. Манакова с соавт. (2022).

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

Опыт заложен в 2011 г. на Меньковской опытной станции Агрофизического научно-исследовательского института. Объектами исследования служили дерново-подзолистая легкосуглинистая почва и фракции отсева доломита (М). Доломитовая мука изготовлялась из отсева посредством пропуска частиц доломита через сита с отверстиями 0,25 мм. Физико-химическая характеристика почвы: pH_{KCl} – 4,1; Нг – 5,6 ммоль (экв) 100 г$^{-1}$; содержание гумуса – 1,76%; содержание частиц <0,01 – 21,2%. Содержание $CaCO_3$ в доломите составляло 46,1%; $MgCO_3$ – 38,4%.

Сосуды емкостью 40 л без дна закапывались в почву на глубину 50 см. В них помещалось 40 кг почвы, произвесткованной различными фракциями отсева доломита. Известкование проводилось полной дозой Нг. Доза применения, равная 1 Нг, в пересчете на 1 га составила 8,4 тонн. Схема опыта: 1) Фон (NPK); 2) Фон + Известняковая мука (ИМ) по 1 Нг; 3) Фон + Мелиорант (<0,25 мм) – Доломитовая мука (ДМ) по 1 Нг; 4) Фон + Мелиорант (0,25–1 мм) по 1 Нг; 5) Фон + Мелиорант (1–3 мм) по 1 Нг; 6) Фон + Мелиорант (3–5 мм) по 1 Нг; 7) Фон + Мелиорант (< 0,25 мм) по 0,5 Нг + Мелиорант (0,25–1 мм) по 0,5 Нг + Мелиорант (1–3 мм) по 2 Нг; 8) Фон + Мелиорант (< 0,25 мм) по 0,5 Нг + Мелиорант (0,25–1 мм) по 0,5 Нг + Мелиорант (1–3 мм) по 3 Нг; 9) Фон + Мелиорант (< 0,25 мм) по 0,5 Нг + Мелиорант (0,25–1 мм) по 0,5 Нг + Мелиорант (1–3 мм) по 6 Нг; 10) Фон + Мелиорант (3–5 мм) по 5 Нг.

В опыте последовательно выращивались культуры, отзывчивые на известкование и характеризующиеся высоким уровнем потребления кальция и магния: в 2011 г. – рапс, в 2012 г. – вика и горчица, в 2013 и 2014 гг. – бобы и горчица. С 2015 г. начали выращиваться культуры, устойчивые к повышенной кислотности почвы: в 2015 г. – ячмень с подсевом тимофеевки, в 2016 и 2017 гг. проведено по два укоса тимофеевки, в 2018 г. – один укос. Уборка растений проводилась в фазу цветения.

Полевые наблюдения заключались в следующем: спустя 13 опыто-лет, в 2018 г., почвенным буром с шагом 10 см с каждой делянки (сосуда) были отобраны образцы почвы до глубины 70 см. Далее послойно определялось содержание обменного магния по ГОСТ 26487-85.

Статистическая обработка данных проводилась согласно (Буре, 2007).

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Данные о содержании и распределение обменного магния в профиле почвы приведены на рисунке.

В контрольном варианте (без известкования) содержание обменного Mg в слое почвы 0–10 см составило 0,30 ммоль(экв) 100 г$^{-1}$ почвы. На глубине 10–20 см оно снизилось до 0,23 ммоль(экв) 100 г$^{-1}$ почвы и далее до слоя 30–40 см оставалось относительно стабильным. Колебания составили от 0,19 до 0,23 ммоль(экв) 100 г$^{-1}$ почвы. В слое 40–50 см содержание Mg возросло в два раза по сравнению с горизонтом 30–40 см и далее продолжало увеличиваться вниз по профилю.

Использование ИМ не привело к обогащению почвенной толщи обменным Mg. Содержание и распределение Mg в вариантах с ее применением незначительно отличались от контрольного варианта. Максимум отмечен на глубине 60–70 см (0,77 и 0,67 ммоль(экв) 100 г$^{-1}$ почвы соответственно). В целом следует констатировать значительную выщелоченность и обедненность почвы изученных вариантов доступными для растений соединениями магния.

Применение ДМ способствовало обогащению магнием всех изученных слоев почвы. Колебания его содержания в почвенном профиле укладывались в диапазон от 0,58 до 0,72 ммоль(экв) 100 г$^{-1}$ почвы и были выше, чем в аналогичных горизонтах в рассмотренных выше вариантах. Таким образом, спустя 13 опыто-лет ДМ, внесенная в научно обоснованной дозе, продолжала оказывать положительное влияние на содержание обменного магния.

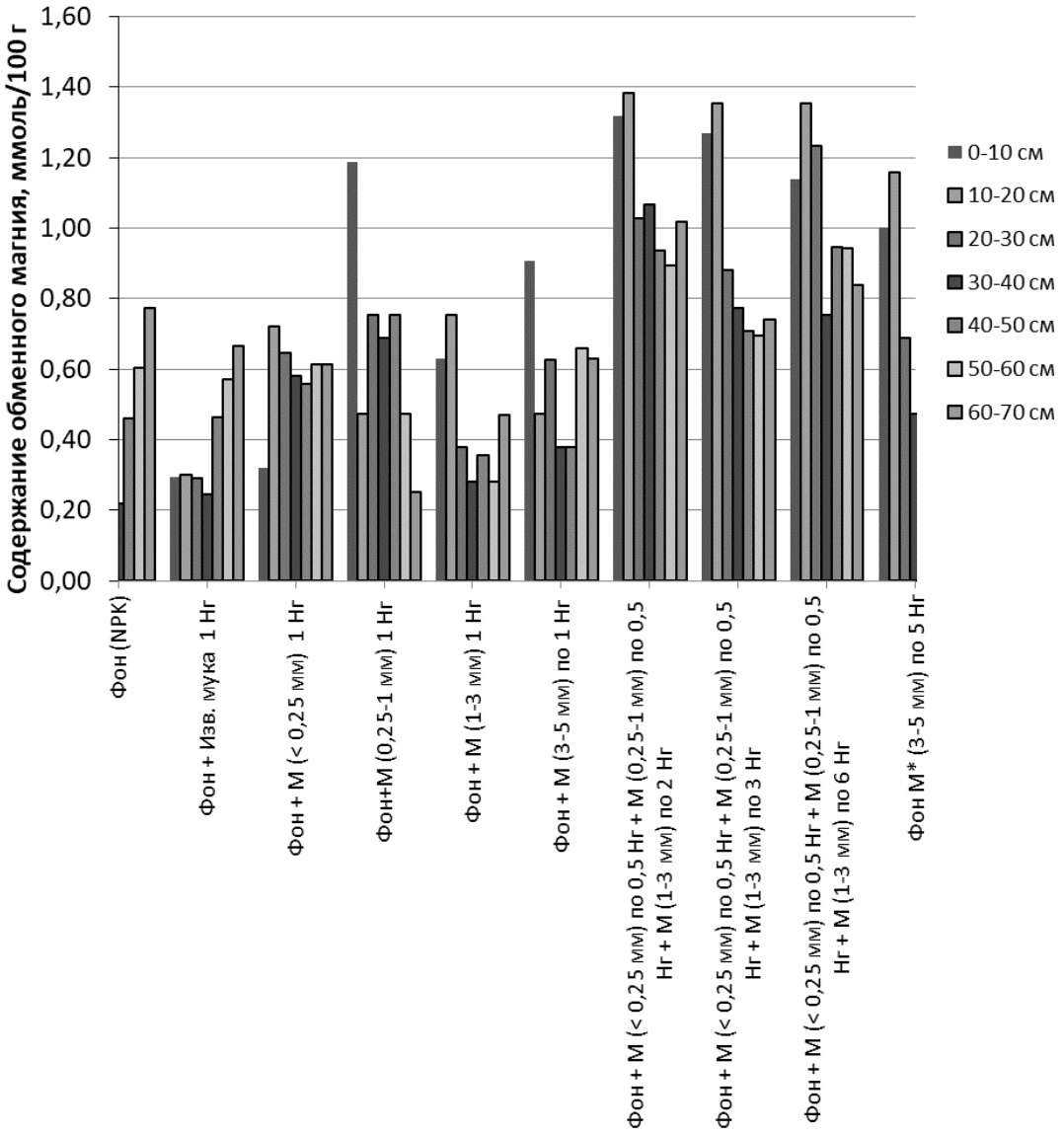

Рис. Профильное распределение обменного магния

Известкование почвы доломитовыми частицами размером 0,25–1, 1–3 мм и 3–5 мм в научно обоснованной дозе также положительно отразилось на содержании обменного Mg. Использование фракций размером 0,25–1 мм привело к увеличению содержания магния в почве до глубины 40–50 см, фракций размером 1–3 и 3–5 мм – до глубины 30–40 см по сравнению с почвой контрольного варианта. Максимальное значение содержания обменного магния при применении частиц размером 0,25–1 мм и 3–5 мм зафиксировано в поверхностном (0–10 см) слое почвы (1,19 и 0,91 ммоль(экв) 100 г$^{-1}$ почвы соответственно), при использовании фракций размером 1–3 мм – в слое 20–30 см (0,75 ммоль(экв) 100 г$^{-1}$ почвы).

Исходя из показателей содержания магния в отдельных слоях почвенной толщи можно сделать вывод, что эффект от известкования частицами размером 0,25–1 мм спустя 13 опыто-лет был выше, чем при использовании частиц более крупного размера.

Увеличение дозы применения смеси частиц мелиоранта до 3, 4 и 6 Нг привело к еще большему обогащению почвы обменным магнием. Максимальным содержанием характеризовались слои 0–10 и 10–20 см. В поверхностном горизонте колебания содержания магния составили от 1,14 до 1,32, в нижележащем – от 1,36 до 1,39 ммоль(экв) 100 г$^{-1}$ почвы. Строгих закономерностей влияния дозы применения смеси частиц мелиорантов на содержание и распределение обменного магния в сравниваемых вариантах не выявлено.

Содержание обменных катионов магния в почве варианта с применением частиц доломита размером 3–5 мм в дозе 5 Нг подчинялось следующей закономерности. В слоях 0–10 и 10–20 см оно составляло соответственно 1,00 и 1,16 ммоль(экв) 100 г$^{-1}$ почвы. На глубине 20–50 см содержание колебалось в пределах 0,47–0,69 ммоль(экв) 100 г$^{-1}$ почвы, то есть снизилось в два–три раза. В горизонтах 50–60 и 60–70 см отмечен резкий рост содержания обменного магния до 1,04 и 1,32 ммоль(экв) 100 г$^{-1}$ почвы соответственно.

Сравнительный анализ данных о содержании и распределении магния в профиле почвы,

мелиорируемой частицами доломита размером 3–5 мм в дозе 1 и 5 Нг, позволил выявить более высокое содержание магния в почве, произвесткованной дозой 5 Нг. Следовательно, крупные частицы доломитовой крошки размером 3–5 мм, постепенно растворяясь, пополняют запасы обменного магния во всех исследуемых слоях почвы.

В табл. 1 и 2 представлены зависимости изменения содержания магния от глубины.

Таблица 1. Линейные эмпирические модели изменения содержания магния с глубиной

Вариант опыта	Эмпирическая модель	p-value по F-критерию	Коэффициент детерминации (R^2)
1	$y_{1.1} = 0{,}09 + 0{,}0086 \cdot x$	0,0177	0,70
2	$y_{2.1} = 0{,}178 + 0{,}0065 \cdot x$	0,01	0,74
3	$y_{3.1} = 0{,}5 + 0{,}002 \cdot x$	0,4	0,13
4	$y_{4.1} = 1{,}005 - 0{,}01 \cdot x,$	0,06	0,52
5	$y_{5.1} = 0{,}63 - 0{,}005 \cdot x$	0,138	0,38
6	$y_{6.1} = 0{,}67 - 0{,}0025 \cdot x,$	0,5	0,08
7	$y_{7.1} = 1{,}34 - 0{,}007 \cdot x$	0,026	0,66
8	$y_{8.1} = 1{,}3 - 0{,}011 \cdot x,$	0,014	0,70
9	$y_{9.1} = 1{,}28 - 0{,}007 \cdot x,$	0,07	0,50
10	$y_{10.1} = 0{,}8 + 0{,}002 \cdot x,$	0,72	0,03

Таблица 2. Нелинейные эмпирические модели изменения содержания магния с глубиной

Вариант опыта	Эмпирическая модель	p-value по F-критерию	Коэффициент детерминации (R^2)
1	$y_{1.2} = 0{,}4 - 0{,}026 \cdot x + 0{,}0008 \cdot x^2 - 0{,}000004 \cdot x^3$	0,005	0,979
2	$y_{2.2} = 0{,}37 - 0{,}013 \cdot x + 0{,}0004 \cdot x^2 - 0{,}000002 \cdot x^3$	0,029	0,93
3	$y_{3.2} = 0{,}128 + 0{,}05 \cdot x - 0{,}002 \cdot x^2 + 0{,}000014 \cdot x^3$	0,178	0,76
4	$y_{4.2} = 1{,}48 - 0{,}087 \cdot x + 0{,}003 \cdot x^2 - 0{,}000026 \cdot x^3$	0,14	0,8
5	$y_{5.2} = 0{,}67 + 0{,}004 \cdot x - 0{,}0007 \cdot x^2 + 0{,}000009 \cdot x^3,$	0,18	0,76
6	$y_{6.2} = 1{,}09 - 0{,}047 \cdot x + 0{,}001 \cdot x^2 - 0{,}000006 \cdot x^3,$	0,27	0,67
7	$y_{7.2} = 1{,}35 + 0{,}004 \cdot x - 0{,}0006 \cdot x^2 + 0{,}000008 \cdot x^3$	0,09	0,85
8	$y_{8.2} = 1{,}4 - 0{,}005 \cdot x - 0{,}0006 \cdot x^2 + 0{,}000008 \cdot x^3,$	0,06	0,88
9	$y_{9.2} = 1{,}1 + 0{,}02 \cdot x - 0{,}0011 \cdot x^2 + 0{,}00001 \cdot x^3$	0,37	0,6
10	$y_{10.2} = 1{,}13 - 0{,}004 \cdot x - 0{,}0008 \cdot x^2 + 0{,}000014 \cdot x^3,$	0,157	0,78

Во всех вариантах опыта отмечена сильная неоднородность в содержании катионов магния по глубине. Зависимость содержания катионов магния от глубины является существенно нелинейной. Для вариантов опыта 1, 2, 7 и 8 при помощи многочленов третьей степени удалось построить статистически значимые нелинейные зависимости содержания катионов магния от глубины. В остальных вариантах опыта нелинейный характер зависимостей оказался более сложным. В вариантах опыта 1, 2, 4, 7, 8 и 9 обнаружена статистически значимая тенденция (линейный тренд) к изменению содержания обменного магния в среднем с увеличением глубины, в остальных вариантах опыта такая тенденция не обнаружена.

Таким образом, использование частиц доломита различного размера в качестве материала для мелиорации в научно обоснованной и заведомо завышенных дозах при сочетании их между собой привело к обогащению почвы доступными для растений соединениями обменного магния. Положительные изменения, произошедшие под влиянием известкования, вне зависимости от размера частиц и дозы применения установлены спустя 13 опыто-лет после проведения известкования.

ВЫВОДЫ

1. Анализ проб, отобранных из ненарушенного профиля дерново-подзолистой легкосуглинистой почвы спустя 13 опыто-лет после проведения известкования стандартной известняковой мукой, не выявил увеличения содержания обменного магния в отдельных слоях по сравнению с аналогичными

слоями почвы в контрольном варианте (без известкования). Использование доломитовой муки в дозе, эквивалентной дозе применения ИМ, напротив, привело к повышению содержания обменного магния в сравниваемых горизонтах почвы.

2. Известкование почвы доломитовыми частицами размером 0,25–1, 1–3 мм и 3–5 мм в научно обоснованной дозе также привело к обогащению магнием отдельных слоев профиля. Максимальное содержание обменного магния при применении частиц размером 0,25–1 мм и 3–5 мм зафиксировано в поверхностном слое почвы (0–10 см): 1,19 и 0,91 ммоль(экв) 100 г$^{-1}$ почвы соответственно. В слое 20–30 см при использовании фракций размером 1–3 мм оно составило 0,75 ммоль(экв) 100 г$^{-1}$ почвы.

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

4. Зависимость содержания катионов магния от глубины является существенно нелинейной. В вариантах опыта 1, 2, 4, 7, 8 и 9 обнаружена статистически значимая тенденция (линейный тренд) к изменению содержания обменного магния в среднем с увеличением глубины, в остальных вариантах опыта такая тенденция не обнаружена. Для вариантов опыта 1, 2, 7 и 8 с помощью многочленов третьей степени удалось построить статистически значимые нелинейные зависимости.

Список литературы

Аканова Н. И., Шильников И. А., Ефремова С. Ю., Аваков М. С. Значение химической мелиорации в земледелии и потери Ca и Mg из почвы // Проблемы агрохимии и экологии. 2017. С. 28–35.

Богданов Н. П., Вехов П. А., Хлыстовский А. Д. Результаты многолетних лизиметрических опытов по известкованию почв // Химия в сел. хоз-ве. 1978. № 2. С. 48–52.

Буре В. М. Методология статистического анализа опытных данных. СПб.: Изд-во Санкт-Петербургского ун-та, 2007. 138 с.

Дричко В. Ф., Литвинович А. В., Павлова О. Ю. Накопление стронция и кальция растениями при внесении в почву возрастающих доз конверсионного мела // Агрохимия. 2002. № 4. С. 81–87.

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.

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

Мазур Г. А., Симачинский В. М. Теоретические предпосылки повторного известкования почв // ВІСНИК с.-г. науки. 1975. № 6. С. 42–49.

Мельникова М.Н. Результаты многолетних лизиметрических опытов и баланс кальция в почвах // Земледелие. Киев: Урожай, 1985. Вып. 60. С. 9–53.

Манаков П. С., Литвинович А. В., Лаврищев А. В., Буре В. М., Захарян Ю. Г. Анализ и выявление закономерностей подвижности обменного кальция в профиле дерново-подзолистой легкосуглинистой почвы, мелиорируемой различными по размеру фракциями доломита // Агрофизика. 2022. № 1.

Небольсин А. Н., Небольсина З. П. Известкование почв. СПб., 2010. 254 с.

Платонов И. Г. Динамика сорбции и миграция кальция в подзолистых легкосуглинистых почвах // Вопросы известкования почв. М.: Агроконсалт, 2002. С. 158–162.

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

Шильников И. А., Лебедева Л. А. Известкование почв. М.: ВО «Агропромиздат», 1987. 172 с.

Яковлева Л. В. Миграция оснований в дерново-подзолистых почвах Северо-Запада России. СПб., 2013. 105 с.

References

Akanova N. I., Shil'nikov I. A., Efremova S. Iu., Avakov M. S. Znachenie khimicheskoi melioratsii v zemledelii i poteri Ca i Mg iz pochvy [The importance of chemical melioration in agriculture and the loss of Ca and Mg from the soil] // *Problemy agrokhimii i ekologii*, 2017, pp. 28–35.

Bogdanov N. P., Vekhov P. A., Khlystovskii A. D. Rezul'taty mnogoletnikh lizimetricheskikh opytov po izvestkovaniiu pochv [Results of long-term lysimetric experiments on soil liming // *Khimiia v sel. khoz-ve*. 1978, no. 2, pp. 48–52.

Bure V. M. *Metodologiia statisticheskogo analiza opytnykh dannykh* [Methodology of statistical analysis of experimental data] Rossiiskaia akad. s.-kh. nauk, Agrofiz. nauch.-issled. in-t, Sankt-Peterburgskii gos. un-t. Sankt-Peterburg: Izd-vo Sankt-Peterburgskogo un-ta, 2007. 138 p.

Drichko V. F., Litvinovich A. V., Pavlova O. Yu. Nakoplenie stronciya i kal'ciya rasteniyami pri vnesenii v pochvu vozrastayushchih doz konversionnogo mela [Accumulation of strontium and calcium by plants when increasing doses of conversion chalk are introduced into the soil] // *Agrohimiya*. 2002. no. 4. pp. 81–87.

Litvinovich A. V., Lavrishchev A. V., Bure V. M., Pavlova O. Iu. Modelirovanie protsessov vymyvaniia kal'tsiia i strontsiia iz dernovo-podzolistoi supeschanoi pochvy, meliorirovannoi konversionnym melom [Modeling of calcium and strontium leaching processes from sod-podzolic sandy loam soil reclaimed with conversion mel] // *Agrokhimiia*. 2017 b. № 2. pp. 48–55.

Litvinovich A. V., Salaev I. V., Manakov P. S., Pavlova O. Iu., Lavrishchev A. V. Soderzhanie i raspredelenie obmennykh kationov sa i mg v profile dernovo-podzolistoi legkosuglinistoi pochvy, meliorirovannoi vozrastaiushchimi dozami dolomitovykh chastits krupnogo razmera [The content and distribution of exchange cations of Ca and Mg in the profile of sod-podzolic light loamy soil reclaimed by increasing doses of large-sized dolomite particles] // *Agrokhimiia*. 2021. no. 4. pp. 9–21.

Mazur G. A.., Simachinskii V. M. Teoreticheskie predposylki povtornogo iizvestkovaniia pochv [Theoretical prerequisites for repeated liming of soils] // VISNIK s.-g. nauki. 1975. № 6. pp. 42–49.

Mel'nikova M. N. *Rezul'taty mnogoletnikh lizimetricheskikh opytov i balans kal'tsiia v pochvakh* [Results of long-term lysimetric experiments and calcium balance in soils] // Zemledelie. Vyp. 60. Kiev: Urozhai, 1985. pp. 9–53.

Manakov P. S., Litvinovich A. V., Lavrishchev A. V., Bure V. M., Zaharyan Yu. G. Analiz i vyyavlenie zakonomernostej podvizhnosti obmennogo kal'ciya v profile dernovo-podzolistoj legkosuglinistoj pochvy, melioriruemoj razlichnymi po razmeru frakciyami dolomita // *Agrofizika*, 2022. no. 1. pp. 11–16.

Nebol'sin A. N., Nebol'sina Z. P. *Izvestkovanie pochv* [Liming of soils] // SPb., 2010. 254 p.

Platonov I. G. *Dinamika sorbtsii i migratsiia kal'tsiia v podzolistykh legkosuglinistykh pochvakh* [The dynamics of sorption and migration of calcium in podzolic light loamy soils] // Voprosy izvestkovaniia pochv. M.: Agrokonsalt, 2002. pp. 158–162.

Salaev I. V., Litvinovich A. V. Intensivnost' migracii kal'ciya i magniya iz dernovo-podzolistoj legkosuglinistoj pochvy, melioriruemoj krupnymi frakciyami otseva shchebyonochnogo proizvodstva [The intensity of migration of calcium and magnesium from sod-podzolic light loamy soil reclaimed by large fractions of gravel production screening] // *Agrofizika*. 2018. no. 2. pp. 22–28.

Shil'nikov I. A., Lebedeva L. A. *Izvestkovanie pochv* [Liming of soils]. M.: VO «Agropromizdat», 1987. 172 p.

Iakovleva L. V. *Migratsiia osnovanii v dernovo-podzolistykh pochvakh Severo-Zapada Rossii* [Migration of bases in sod-podzolic soils of the North-West of Russia]. SPb. 2013. 105 p.