УДК 631.4 DOI:10.25695/AGRPH.2022.01.02

АНАЛИЗ И ВЫЯВЛЕНИЕ ЗАКОНОМЕРНОСТЕЙ ПОДВИЖНОСТИ ОБМЕННОГО КАЛЬЦИЯ 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], Ю. Г. Захарян[1]

[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, д. 2, Россия;
3. Санкт-Петербургский государственный университет
199034, Санкт-Петербург, Университетская наб., д. 7-9, Россия
E-mail: manakov248@bk.ru

Поступила в редакцию 01 декабря 2021 г., принята к печати 24 февраля 2022 г.

В 10-вариантном микрополевом опыте, заложенном на Меньковской опытной станции в 2011 г., изучено содержание и распределение обменного кальция 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 известкования. Установлено, что использование частиц доломита привело к обогащению почвенной толщи обменным кальцием. Во всех исследуемых вариантах отмечено увеличение концентрации кальция по сравнению с аналогичными горизонтами почвы в контрольном варианте (без известкования). Присутствует сильная неоднородность в содержании катионов кальция по глубине. Зависимость содержания катионов кальция от глубины отбора является существенно нелинейной. Для контрольного варианта опыта и вариантов с применением частиц доломита размером 3-5 мм, внесённых в количестве 1 и 5 Нг, а также 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 кальция от глубины отбора. Для остальных вариантов опыта нелинейный характер зависимости оказался более сложным.

Ключевые слова: обменный кальций, доломитовая крошка, дерново-подзолистая почва, микрополевой опыт, нелинейная зависимость.

ANALYSIS AND DETECTION OF REGULARITIES IN EXCHANGEABLE CALCIUM MOBILITY IN SOD-PODZOLIC LIGHT LOAMY SOIL PROFILE AMELIORATED WITH DOLOMITE SCREENING FRACTIONS OF DIFFERENT SIZES

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

[1] Agrophysical Research Institute
14, Grazhdanskiy pr., Saint Petersburg, 195220, Russia;
[2] Saint 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 calcium in the sod-podzolic light loamy soil profile ameliorated with dolomite crumb particles < 0.25, 0.25–1, 1–3 and 3-5 mm in size in a scientifically-calculated dose and when combined with each other were studied in a 10-variant micro-field experiment carried out at the Menkovo experimental station in 2011. The soil samples were taken with a soil drill from undisturbed soil profiles to a depth of 70 cm 13 experimental years after liming. It was found that the use of dolomite particles led to the enrichment of the soil with exchangeable calcium. In all the studied treatments, there was an increase in the concentration of calcium compared to the similar soil horizons in the control treatment (without liming). There was a strong diversity in the content of calcium cations with depth. The dependence of the calcium cations content on the depth of sampling was nonlinear. It was possible to construct statistically significant nonlinear dependences of the calcium cations content on the depth of sampling for the control treatment of the experiment and treatments with the use of dolomite particles 3–5 mm in size introduced in the amount of 1 and 5 hydrolytic acidities (HA), as well as mixtures of fractions <0.25 mm of 0.5 HA + 0.25–1 mm of 0.5 HA + 1–3 mm of 2 and 3 HA. For other treatments of the experiment, the nonlinear character of the dependence was more complicated.

Key words: exchangeable calcium, dolomite particles, sod-podzolic soil, micro-field experiment, nonlinear dependence

ВВЕДЕНИЕ

Интерес к проблеме миграции растворенных веществ в почвах возник в Европе в 60–70-е гг. прошлого века (Köhnlein, 1960; Gasser, 1973; Jurgens-Geshwind, 1977). В Советском Союзе изучение потерь Са с просачивающейся влагой атмосферных осадков началось в 70-80-х гг. прошлого века (Шедеров и др., 1970; Мазур, 1975; Симачинский, 1976; Богданов и др., 1978; Пестряков, 1979; Окорков, 1980; Савич, 1981; Мельникова, 1985; Шильников, 1987). Это было связано с резким увеличением темпов известкования. Несмотря на высокие темпы и простоту известкования, его эффективность оказалась ниже ожидаемой. Данное обстоятельство послужило толчком к изучению баланса кальция в пахотном и корнеобитаемом слоях почвы. Уже в начале 2000-х гг. проблема вымывания кальция после известкования вновь приобрела актуальность и продолжает изучаться (Платонов, 2002; Мултанен, 2007; Небольсин, 2010; Небольсина и др., 2011; Окорков, 2013; Яковлева, 2013; Аканова и др., 2017).

В лаборатории мелиорации почв АФИ в течение длительного времени проводятся исследования, направленные на установление миграционной подвижности обменных катионов кальция и магния под действием влаги атмосферных осадков (Дричко и др., 2002; Литвинович и др., 2017а, 2020, 2021; Павлова и др., 2018). На основании данных, полученных в ходе лабораторных экспериментов, разработаны эмпирические модели, адекватно описывающие потери щелочноземельных металлов в результате миграции (Литвинович и др., 2017б).

Цели настоящего исследования – установить содержание и профильное распределение обменного кальция спустя 13 опыто-лет после известкования; разработать эмпирические модели содержания кальция в ненарушенном профиле почвы, мелиорированной доломитовыми частицами различного размера

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

Для достижения поставленных целей сосуды емкостью 40 л без дна закапывались в почву на глубину 50 см. В них помещалось 40 кг почвы, произвесткованной различными фракциями отсева доломита в полной дозе Нг. Доза применения, равная 1 Нг в пересчёте на 1 га, составила 8,4 тонн. Схема опыта: 1) Фон (NPK); 2) Фон + Известняковая мука по 1 Нг; 3) Фон + Мелиорант (< 0,25 мм) по 1 Нг; 4) Фон + Мелиорант (0,25–1 мм) по 1 Нг; 5) Фон + Мелиорант (1–3 мм) по 1 Нг; 6) Фон + Мелиорант (3–5 мм) по 1 Нг; 7) Фон + Мелиорант (< 0,25 мм) по 0,5 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

Объектами исследования служили дерново-подзолистая легкосуглинистая почва и фракции отсева доломита (М). 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%.

В рамках заложенного в 2011 г. опыта последовательно выращивались культуры, отзывчивые на известкование и характеризующиеся высоким уровнем потребления кальция: в 2011 г. – рапс, в 2012 г. – вика и горчица, в 2013 и 2014 гг. – бобы и горчица. В 2015 г. был проведен подсев устойчивой к повышенной кислотности почвы тимофеевки. В 2015 г. выращивался ячмень с подсевом тимофеевки, в 2016 и 2017 гг. проводилось по два укоса тимофеевки, в 2018 г. был проведён один укос. Уборка растений осуществлялась в фазу цветения.

В 2018 г., спустя 13 опыто-лет после закладки эксперимента, с каждой делянки (сосуда) отбирались образцы почвы до глубины 70 см почвенным буром с шагом 10 см. Далее послойно проводилось определение содержания обменного кальция по ГОСТ 26487-85.

Статистическая обработка данных производилась согласно (Буре, 2007).

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Данные о содержании и распределении обменного кальция в профиле почвы приведены на рисунке.

В контрольном варианте (без известкования) содержание обменного Са в слое почвы 0–10 см составило 0,9 ммоль(экв) 100 г$^{-1}$ почвы. Далее до глубины 30–40 см его содержание снижалось, а распределение в профиле имело выровненный характер. Колебания составили от 0,58 до 0,63 ммоль(экв) 100 г$^{-1}$ почвы. В слое 40–50 см содержание Са возросло в 2,6 раза, постепенно увеличиваясь вниз по профилю. Максимальное значение изучаемого показателя зафиксировано на глубине 60–70 см.

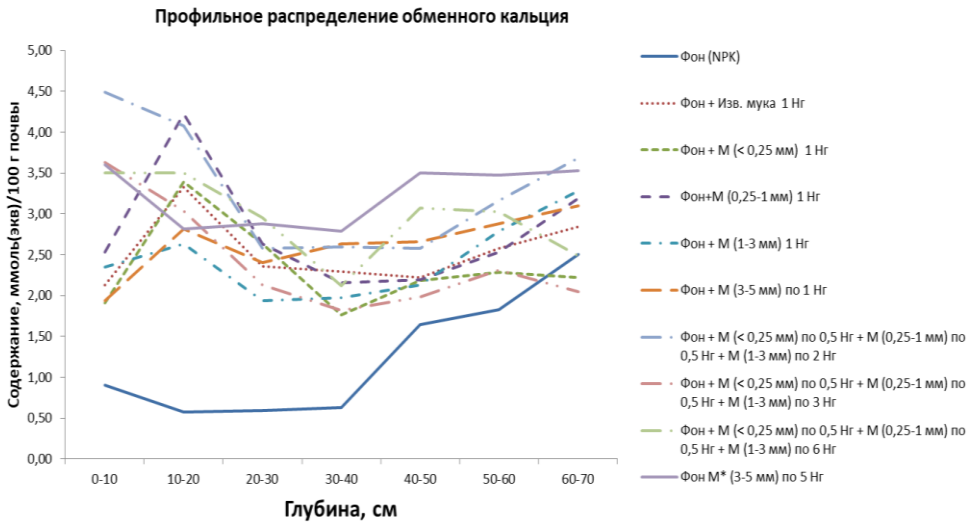

Рис. Профильное распределение обменного кальция

Использование известняковой муки (ИМ) привело к обогащению почвенной толщи обменным Са. Во всех изученных слоях его содержание было выше, чем в профиле почвы контрольного варианта. Диапазон колебаний составил от 2,13 до 3,33 ммоль(экв) 100 г$^{-1}$ почвы.

Увеличение содержания обменного кальция зафиксировано также при применении доломитовой муки (ДМ). В слое почвы 0–40 см его содержание варьировалось от 1,77 до 3,39 ммоль(экв) 100 г$^{-1}$ почвы. С глубины 40–50 см содержание кальция повысилось, однако увеличение было менее значительным, чем в аналогичных слоях почвы в варианте с использованием известняковой муки.

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 Са. Увеличение его содержания по сравнению с контролем зафиксировано во всех изученных горизонтах. Серьезных различий в содержании обменного кальция по горизонтам между сравниваемыми вариантами не выявлено. Исключением является вариант с известкованием фракцией 0,25–1 мм, где в слое почвы 10–20 см его содержание возросло до 4,25 ммоль(экв) 100 г$^{-1}$ почвы. В остальных вариантах максимальное содержание обменного Са зафиксировано в слое 60–70 см (3,1-3,29 ммоль(экв) 100 г$^{-1}$ почвы).

Увеличение дозы применения мелиоранта до 3,4 и 6 Нг способствовало ещё большему обогащению профиля обменными соединениями Са. Максимальные значения отмечены в слоях 0–10 и 10–20 см. В поверхностном слое содержание колебалось от 3,51 до 4,19 ммоль(экв) 100 г$^{-1}$ почвы, в нижележащем – 3,04-4,08 ммоль(экв)/100 г почвы. Строгих закономерностей влияния дозы применения на содержание и распределение обменного Са в почве сравниваемых вариантов не выявлено. Это свидетельствует о высоких элювиальных потерях Са в результате миграции за 13 лет проведения опыта. В работе А. В. Литвиновича с соавт. (2011) показано, что при повышении дозы применения мелиоранта в 2,7 раза миграционные потери Са увеличивались в 4,8 раза. Следовательно, применение мелких фракций доломита в заведомо завышенных дозах неэффективно из-за значительных непроизводительных потерь кальция.

Содержание обменных катионов Са в почве варианта с известкованием частицами доломита размером 3–5 мм в количестве 5 Нг подчинялось следующей закономерности. Максимальным содержанием характеризовался поверхностный слой почвы 0–10 см – 3,60 ммоль(экв) 100 г$^{-1}$ почвы. На глубине 10–20 см концентрация снизилась до 2,81 ммоль(экв) 100 г$^{-1}$ почвы и оставалась стабильной до глубины 30–40 см. В слое 40–50 см отмечен рост содержания до 3,50 ммоль(экв) 100 г$^{-1}$ почвы.

Сравнительный анализ данных о содержании и распределении Са в профиле почвы вариантов с известкованием частицами доломита размером 3–5 мм в количестве 1 и 5 Нг позволил установить, что в варианте с известкованием дозой 5 Нг содержание Са было более высоким. Таким образом, крупные частицы доломита размером 3–5 мм, постепенно растворяясь, пополняют запасы обменного Са во всей почвенной толще.

Во всех вариантах опыта присутствовала сильная неоднородность в содержании катионов кальция по глубине. Зависимость содержания катионов кальция от глубины является существенно нелинейной. На основе экспериментальных данных построены эмпирические модели изменения содержания кальция с глубиной

В вариантах опыта 1, 6 и 8 обнаружена статистически значимая тенденция (линейный тренд) к повышению содержания обменного кальция в среднем с увеличением глубины. В остальных вариантах опыта такая тенденция не выявлена (табл. 1).

Для вариантов опыта 1, 5, 7, 8 и 10 при помощи многочленов третьей степени удалось построить статистически значимые нелинейные зависимости содержания катионов кальция от глубины. Для остальных вариантов опыта нелинейный характер зависимостей оказался более сложным (табл. 2).

Таблица 1. **Линейные эмпирические модели изменения содержания кальция с глубиной**

Вариант опыта	Эмпирическая модель	p-value по F-критерию	Коэффициент детерминации (R^2)
1	$y_{1.1} = 0{,}195 + 0{,}029 \cdot x$	0,0154	0,72
2	$y_{2.1} = 2{,}47 + 0{,}002 \cdot x$	0,84	0,0089
3	$y_{3.1} = 2{,}56 - 0{,}006 \cdot x$	0,59	0,06
4	$y_{4.1} = 3{,}01 - 0{,}007 \cdot x$	0,67	0,039
5	$y_{5.1} = 2{,}03 + 0{,}01 \cdot x$	0,23	0,27
6	$y_{6.1} = 2{,}15 + 0{,}014 \cdot x$	0,04	0,6
7	$y_{7.1} = 3{,}8 - 0{,}015 \cdot x$	0,35	0,17
8	$y_{8.1} = 3{,}2 - 0{,}002 \cdot x$	0,058	0,54
9	$y_{9.1} = 3{,}4 - 0{,}014 \cdot x$	0,16	0,35
10	$y_{10.1} = 3{,}01 + 0{,}006 \cdot x$	0,43	0,128

Таблица 2. **Нелинейные эмпирические модели изменения содержания кальция с глубиной**

Вариант опыта	Эмпирическая модель	p-value по F-критерию	Коэффициент детерминации (R^2)
1	$y_{1.2} = 1{,}3 - 0{,}09 \cdot x + 0{,}0029 \cdot x^2 - 0{,}000019 \cdot x^3$	0,0152	0,956
2	$y_{2.2} = 1{,}8 + 0{,}12 \cdot x - 0{,}004 \cdot x^2 + 0{,}00004 \cdot x^3$	0,56	0,45
3	$y_{3.2} = 1{,}5 + 0{,}15 \cdot x - 0{,}006 \cdot x^2 + 0{,}00005 \cdot x^3$	0,6	0,4
4	$y_{4.2} = 2{,}14 + 0{,}18 \cdot x - 0{,}007 \cdot x^2 + 0{,}0000769 \cdot x^3$	0,41	0,568
5	$y_{5.2} = 2{,}5 - 0{,}007 \cdot x - 0{,}0008 \cdot x^2 + 0{,}000016 \cdot x^3$	0,09	0,8
6	$y_{6.2} = 1{,}67 + 0{,}088 \cdot x - 0{,}0025 \cdot x^2 + 0{,}000024 \cdot x^3$	0,17	0,77
7	$y_{7.2} = 5{,}26 - 0{,}13 \cdot x + 0{,}0014 \cdot x^2 - 0{,}000003 \cdot x^3$	0,056	0,89
8	$y_{8.2} = 4{,}4 - 0{,}15 \cdot x + 0{,}003 \cdot x^2 + 0{,}0000197 \cdot x^3$	0,03	0,9
9	$y_{9.2} = 4{,}1 - 0{,}1 \cdot x + 0{,}002 \cdot x^2 - 0{,}000019 \cdot x^3$	0,5	0,49
10	$y_{10.2} = 4{,}23 - 0{,}15 \cdot x + 0{,}0046 \cdot x^2 - 0{,}000037 \cdot x^3$	0,06	0,88

ВЫВОДЫ

1. В почве контрольного варианта (без известкования) содержание необменного кальция составило 0,9 ммоль(экв) 100 г$^{-1}$ почвы. До глубины 30–40 см его содержание снижалось. Диапазон колебаний составил от 0,58 до 0,63 ммоль(экв) 100 г$^{-1}$ почвы. Максимальное значение изучаемого показателя зафиксировано на глубине 60–70 см.

2. Использование известняковой и доломитовой муки привело к обогащению почвенной толщи обменным кальцием. Диапазон колебаний его содержания в профиле почвы, мелиорируемой ИМ, составлял от 2,15 до 3,33 ммоль(экв) 100 г$^{-1}$ почвы. В слое 0–40 см почвы, мелиорируемой ДМ, содержание варьировалось от 1,77 до 3,39 ммоль(экв) 100 г$^{-1}$ почвы. С глубины 40–50 см содержание Ca увеличивалось.

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

4. Дозы применения мелиоранта, соответствующие 3, 4 и 6 Нг, способствовали ещё большему обогащению профиля обменным кальцием. В поверхностном слое (0–10 см) содержание Ca колебалось от 3,51 до 4,19 ммоль(экв) 100 г$^{-1}$ почвы, в слое 10–20 см – от 3,04 до 4,08 ммоль(экв) 100 г$^{-1}$ почвы. Строгих закономерностей влияния дозы применения мелиоранта на содержание и распределение обменного кальция в почве сравниваемых вариантов не выявлено.

5. В вариантах опыта 1, 6 и 8 обнаружена статистически значимая тенденция (линейный тренд) к повышению содержания обменного кальция в среднем с увеличением глубины. Для вариантов опыта 1, 5, 7, 8 и 10 при помощи многочленов третьей степени удалось построить статистически значимые нелинейные зависимости содержания катионов кальция от глубины.

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. Российская акад. с.-х. наук, Агрофиз. науч.-исслед. ин-т, Санкт-Петербургский гос. ун-т. 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., Бакина Л. Г., Павлова О. Ю., Лаврищев А. В. Устойчивость органического вещества и кальция известкованной почвы к вымывающему действию воды // Агрохимия. 2017а. № 3. С. 58–68.

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. 2017б. № 2. С. 48–55.

Литвинович А. В., Павлова О. Ю., Лаврищев А. В., Буре В. М. Миграционная подвижность органического вещества и Са в дерново-подзолистой супесчаной почве, произвесткованной различными дозами мела // Агрохимия. 2020. № 8. С. 3–12.

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.

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.

Мултанен В.Г. Активность различных видов известковых материалов для уточнения доз внесения извести в почву // Материалы 41-й научн. конф. «Агрохимические приемы рационального применения средств химизации как основа повышения плодородия почв и продуктивности с.-х. культур». М., 2007. С. 239–241.

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

Небольсина З. П., Яковлева Л. В., Литвинович А. В., Лаврищев А. В. Влияние отходов щебеночного производства на агрохимические свойства дерново-подзолистой почвы и урожайность сельскохозяйственных культур // Нетрадиционные источники и приемы организации питания растений. Мат-лы научн.-практ. конф., посвященной 90-летию каф. агрохимии Нижегородской ГСХА. Н. Новгород, 2011. С. 2–57.

Окорков В. В. Нормы расхода известковых материалов для сдвига реакции почвенной среды до оптимального уровня pH. М., 1980. 92 с.

Окорков В. В., Окоркова Л. А. Некоторые вопросы мелиорации кислых почв // Владимирский земледелец. 2013. № 2(64). С. 20–28.

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.

Пестряков В. К. Окультуривание мелиорируемых почв Северо-Запада Нечерноземной зоны РСФСР // Рациональное использование мелиорируемых земель в Нечерноземной зоне РСФСР. 1979. С. 22–28.

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

Савич В. И., Трубицина Е. В. Взаимодействие подзолистых почв разной степени гидроморфности с известью // Изв. ТСХА. 1981. Вып. 6. С. 34–39.

Симачинский В. Н. Исследование миграции кальция и магния в дерново-подзолистой почве в зависимости от известкования и удобрения: автореф. дисс. … канд. с.-х. наук. Киев, 1976. 26 с.

Шедеров С. Г., Воробьева В. А., Цветкова Ю. М. Действие известняковой муки на почву и растения в зависимости от ее гранулометрического состава // Вопросы известкования. Варшава, 1970. С. 109–114.

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.

Gasser J. K. R. An assessment of the importance of some factors causing losses of lime from agricultural soils // Experimental Husbandry. 1973. № 25. pp. 86–95.

Jurgens-Geshwind S., Jung J. Ergebnisse von Lysimeter-Untersuchungen in der Grossanland Limburger, BASF Mitt. Landb., Ludwigshafen/Rhein, 1977. 176 p.

Köhnlein J., Weichbrodt S. Zur Frage der Tonauswaschung aus der Krume landwirthschaftlich genutzter Boden // Z. Pflanzenernahr. 1960. Bd. 89. H.I. pp. 49–56.

References

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

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

Bure V. M. *Metodologiya statisticheskogo analiza opytnykh dannykh* [Methodology of statistical analysis of experimental data]. Rossiyskaya akad. s.-kh. nauk, Agrofiz. nauch.-issled. in-t, Sankt-Peterburgskiy gos. un-t. Saint-Petersburg: Publishing house of St. Petersburg State University, 2007, 138 p.

Drichko V. F., Litvinovich A. V., Pavlova O. Yu. Nakopleniye strontsiya i kal'tsiya rasteniyami pri vnesenii v pochvu vozrastayushchikh doz konversionnogo mela [Accumulation of strontium and calcium by plants when introducing increasing doses of conversion chalk into the soil] // *Agrokhimiya*, 2002, no. 4, pp. 81–87.

Litvinovich A. V., Bakina L. G., Pavlova O. Yu., Lavrishchev A. V. Ustoychivost' organicheskogo veshchestva i kal'tsiya izvestkovannoy pochvy k vymyvayushchemu deystviyu vody [Resistance of organic matter and calcium of calcareous soil to the leaching action of water] // *Agrokhimiya*, 2017a, no. 3, pp. 58–68.

Litvinovich A. V., Lavrishchev A. V., Bure V. M., Pavlova O. Yu. Modelirovaniye protsessov vymyvaniya kal'tsiya i strontsiya iz dernovo-podzolistoy supeschanoy pochvy, meliorirovannoy konversionnym melom [Modeling of processes of calcium and strontium leaching from sod-podzolic sandy loam soil reclaimed by conversion chalk] // *Agrokhimiya*, 2017 b, no. 2, pp. 48–55.

Litvinovich A. V., Pavlova O. Yu., Lavrishchev A. V., Bure V. M. Migratsionnaya podvizhnost' organicheskogo veshchestva i Ca v dernovo-podzolistoy supeschanoy pochve, proizvestkovannoy razlichnymi dozami mela [Migration mobility of organic matter and Ca in sod-podzolic sandy loam soil reclaimed by various doses of chalk] // *Agrokhimiya,* 2020, no. 8, pp. 3–12.

Litvinovich A. V., Salayev I. V., Manakov P. S., Pavlova O. Yu., Lavrishchev A. V. Soderzhaniye i raspredeleniye obmennykh kationov Ca i Mg v profile dernovo-podzolistoy legkosuglinistoy pochvy, meliorirovannoy vozrastayushchimi 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] // *Agrokhimiya,* 2021, no. 4, pp. 9–21.

Mazur G. A., Simachinskiy V. M. Teoreticheskiye predposylki povtornogo izvestkovaniya pochv [Theoretical prerequisites for repeated liming of soils] // *VISNIK s.-g. nauki,* 1975, no. 6, pp. 42–49.

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

Multanen V. G. Aktivnost' razlichnykh vidov izvestkovykh materialov dlya utochneniya doz vneseniya izvesti v pochvu [The activity of various types of lime materials to clarify the doses of lime introduction into the soil] *// Mat-ly 41-y nauchn. konf. «Agrokhimicheskiye priyemy ratsional'nogo primeneniya sredstv khimizatsii kak osnova povysheniya plodorodiya pochv i produktivnosti s.-kh. kul'tur»*. Moscow, 2007, pp. 239–241.

Nebol'sin A.N., Nebol'sina Z.P. *Izvestkovaniye pochv* [Liming of soils]. Saint-Petersburg, 2010, 254 p.

Nebol'sina Z. P., Yakovleva L. V., Litvinovich A. V., Lavrishchev A. V. Vliyaniye otkhodov shchebenochnogo proizvodstva na agrokhimicheskiye svoystva dernovo-podzolistoy pochvy i urozhaynost' sel'skokhozyaystvennykh kul'tur [The effect of crushed stone production waste on the agrochemical properties of sod podzolic soil and crop yields] // *Netraditsionnyye istochniki i priyemy organizatsii pitaniya rasteniy. Mat-ly nauchn.-prakt. konf., posvyashchennoy 90-letiyu kaf. agrokhimii Nizhegorodskoy GSKhA*. N. Novgorod, 2011, pp. 52–57.

Okorkov V. V. *Normy raskhoda izvestkovykh materialov dlya sdviga reaktsii pochvennoy sredy do optimal'nogo urovnya pH* [Consumption rates of lime materials for shifting the reaction of the soil medium to the optimal pH level]. Moscow, 1980, 92 p.

Okorkov V. V., Okorkova L. A. Nekotoryye voprosy melioratsii kislykh pochv [Some issues of acidic soil reclamation] // *Vladimirskiy zemledelets*, 2013, no. 2 (64), pp. 20–28.

Pavlova O. Yu., Litvinovich A. V., Lavrishchev A. V., Shevchenko E. E., Salayev I. V., Belimov A. A. Izucheniye pochvennykh rastvorov, vymyvayemykh iz meliorirovannykh dernovo-podzolistykh pochv [Study of soil solutions washed out of reclaimed sod-podzolic soils] // *Agrokhimiya,* 2018, no. 12, pp. 69–76.

Pestryakov V. K. Okul'turivaniye melioriruyemykh pochv Severo-Zapada Nechernozemnoy zony RSFSR [Cultivation of reclaimed soils of the North-West of the Non-Chernozem zone of the RSFSR] // *Ratsional'noye ispol'zovaniye melioriruyemykh zemel' v Nechernozemnoy zone RSFSR*, 1979, pp. 22–28.

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

Savich V. I., Trubitsina E. V. Vzaimodeystviye podzolistykh pochv raznoy stepeni gidromorfnosti s izvest'yu [Cooperation of podzolic soils of varying degrees of hydromorphicity with lime] // *Izv. TSKhA*, 1981, vyp. 6, pp. 34–39.

Simachinskiy V.N. Issledovaniye migratsii kal'tsiya i magniya v dernovo-podzolistoy pochve v zavisimosti ot izvestkovaniya i udobreniya [Research of calcium and magnesium migration in sod-podzolic soil depending on liming and fertilizing]: avtoref. diss. ... kand. s.-kh. nauk. Kiyev, 1976, 26 p.

Shederov S. G., Vorob'yeva V. A., Tsvetkova Yu. M. Deystviye izvestnyakovoy muki na pochvu i rasteniya v zavisimosti ot yeye granulometricheskogo sostava [The effect of limestone flour on soil and plants, depending on its granulometric composition] // *Voprosy izvestkovaniya,* Varshava, 1970, pp. 109–114.

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

Yakovleva L. V. *Migratsiya osnovaniy v dernovo-podzolistykh pochvakh Severo-Zapada Rossii* [Migration of bases in sod-podzolic soils of the North-West of Russia]. Saint-Petersburg, 2013, 105 p.

Gasser J. K. R. An assessment of the importance of some factors causing losses of lime from agricultural soils // Experimental Husbandry. 1973. № 25. pp. 86–95.

Jurgens-Geshwind S., Jung J. Ergebnisse von Lysimeter-Untersuchungen in der Grossanland Limburger, BASF Mitt. Landb., Ludwigshafen/Rhein, 1977. 176 p.

Köhnlein J., Weichbrodt S. Zur Frage der Tonauswaschung aus der Krume landwirthschaftlich genutzter Boden // Z. Pflanzenernahr. 1960. Bd. 89. H.I. pp. 49–56.