

УДК 631.416.7:631.445.24:631.442.2

ПОТЕРИ КАЛЬЦИЯ ИЗ МЕЛИОРИРУЕМОЙ ДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТОЙ ЛЕГКОСУГЛИНИСТОЙ ПОЧВЫ ПРИ РАЗНОМ УРОВНЕ ВЛАГООБЕСПЕЧЕННОСТИ

© 2023 г. А. В. Литвинович^{1,2}, А. В. Лаврищев^{2,*}, В. М. Буре^{1,3}, И. В. Салаев^{1,2}¹Агрофизический научно-исследовательский институт
195220 С.-Петербург—Пушкин, Гражданский просп., 14, Россия²Санкт-Петербургский государственный аграрный университет
196601 С.-Петербург—Пушкин, Петербургское шоссе, 2, Россия³Санкт-Петербургский государственный университет
199034 С.-Петербург, Университетская наб., 7–9, Россия

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

Поступила в редакцию 25.03.2023 г.

После доработки 28.04.2023 г.

Принята к публикации 15.07.2023 г.

В 10-летнем лабораторном опыте на колонках проведено изучение миграционной подвижности кальция, остающегося в мелиорированной доломитом дерново-подзолистой почве после уборки культур. Выявлен “фонд” способных к миграции соединений кальция в годы со среднесезонным, избыточным и недостаточным уровнями увлажнения. Установлено, что увеличение объема дренируемой влаги способствовало росту непроизводительных потерь кальция. Чем выше доза применения доломита и меньше размер частиц, тем элювиальные потери кальция были больше. Показано, что основная масса способного к миграции кальция удалялась из почвы на начальном этапе промывания. В течение всего периода изучения миграционные потери кальция после уборки гороха превосходили потери после возделывания горчицы. Разработаны эмпирические зависимости, описывающие потери кальция из почвы, произвесткованной доломитом в широком интервале доз. Проведено ранжирование различных вариантов опыта по масштабу потерь кальция. Показано, что за 10 лет наблюдений максимальные потери кальция в результате миграции были характерны для варианта опыта, произвесткованного доломитовой мукой, рассчитанной по полной дозе гидролитической кислотности. Потери кальция из почвы, мелиорированной частицами доломита размером 5–7 и 7–10 мм в дозах, равных 3 и 5 H_T , были меньше.

Ключевые слова: дерново-подзолистая легкосуглинистая почва, влагообеспеченность почвы, химическая мелиорация, элювиальные потери кальция, эмпирические модели процесса миграции.

DOI: 10.31857/S0002188123100095, EDN: VTGLUF

ВВЕДЕНИЕ

В лаборатории мелиорации почв АФИ длительное время проводят исследования удобрительной ценности и мелиоративных свойств отсева доломита, используемого для дорожного строительства. В работах [1, 2] представлены результаты изучения химического и гранулометрического составов отсева, установлена скорость растворения частиц доломита размером <0.25, 0.25–1, 1–3 и 3–5 мм. Приведены данные динамики изменения различных форм почвенной кислотности, содержания обменных катионов Са и Mg и подвижности Mn и Fe в дерново-подзолистой легкосуглинистой почве в процессе проведения длительного полевого опыта с частицами отсева [3–6].

В настоящее время изучают мелиоративные свойства, удобрительную ценность и скорость растворения фракций размером 5–7 и 7–10 мм, внесенных в заведомо завышенных дозах [7–11]. Теоретической предпосылкой проводимых исследований является известный факт, что при увеличении дозы внесенного мелиоранта, влияние тонины помола снижается.

Одним из главных направлений работы является установление миграционных потерь кальция и магния из почв, мелиорируемых отсевом. Ранее проведенные исследования [12–27] позволили установить, что подвижность макро- и микроэлементов в почвах под действием ирригационных мероприятий и влаги атмосферных осадков зависят от гранулометрического состава и количества

Таблица 1. Миграция кальция за 10 опыто-лет (каждый год с увлажнением меньше среднемноголетнего уровня), мг

Сроки	1. NPK (фон)	2. Фон + + ДМ 1 H _г	3. Фон + М (5–7 мм) 1 H _г	4. Фон + М (5–7 мм) 3 H _г	5. Фон + М (5–7 мм) 5 H _г	6. Фон + М (7–10 мм) 1 H _г	7. Фон + М (7–10 мм) 3 H _г	8. Фон + М (7–10 мм) 5 H _г	9. Фон + + ***ЕСМ 1 H _г	10. Фон + + ЕСМ 3 H _г
1	13.9 (6.0)*	473 (61.5)	93.3 (23.1)	192 (40.7)	211 (40.5)	64.0 (22.0)	147 (36.8)	224 (39.5)	96.0 (26.6)	224 (38.5)
2	16.8	29.3	24.5	28.6	30.8	30.6	36.6	34.7	28.0	45.3
3	24.8	43.0	29.4	41.1	35.8	24.0	24.1	43.0	60.8	81.9
4	16.2	29.3	22.9	18.1	27.2	18.0	18.7	30.1	25.3	34.9
5	35.2	60.2	93.9	55.4	72.0	50.6	41.8	35.7	41.6	47.4
6	26.1	37.6	30.7	32.6	47.8	22.1	30.4	37.3	30.9	33.9
7	37.1	43.4	47.7	37.1	34.6	31.0	48.2	102.1	28.3	50.4
8	26.4	14.7	18.7	21.5	16.2	14.6	14.3	18.1	20.2	17.8
9	20.2	31.0	33.8	33.6	45.3	36.1	38.8	26.4	29.4	29.7
10	13.1	8.0	9.7	11.5	40.4	9.8	14.4	15.3	11.6	16.6
Σ, мг	230	770	405	472	561	301	415	567	372	582
***%	86	90	87	81	82	84	85	82	81	85

Примечание. Нумерация вариантов та же в табл. 2–7.

*В скобках — доля вымытого кальция, % от суммарного объема выщелачиваемого кальция за 10 опыто-лет.

**Доля вымытого кальция, % за годы увлажнения, соответствующие среднемноголетнему уровню.

***ЕСМ — естественная смесь мелиорантов.

способных к миграции элементов, находящихся в почвенном профиле. Объем просочившейся влаги является ведущим фактором, определяющим масштаб миграции [12].

Работа является продолжением исследований, начатых в [11]. Показано, что крупные частицы доломита не являются “балластом”. Попав в почву, они постепенно растворяются, создавая определенный запас способных к миграции катионов кальция и магния. При этом темпы разложения отдельных частиц доломита в почвах могут существенно различаться. Это связано с неодинаковой выветрелостью различных по размеру фракций доломита, складываемых в отвалах. При попадании в почву скорость растворения доломитовых частиц различной выветрелости (разрушения) будет различной [10].

Цель работы — в опыте на колонках выявить элювиальные потери кальция из мелиорируемой дерново-подзолистой легкосуглинистой почвы в годы разного уровня увлажнения. Задачи исследования: определить “фонд” способных к миграции катионов кальция, в почве после уборки растений при разной влагообеспеченности; разработать эмпирические модели, описывающие потери кальция из мелиорируемой доломитом почвы в широком интервале доз; провести ранжирование

различных вариантов опыта по масштабу потерь кальция.

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

Изучение проводили в полевом опыте. Схема опыта приведена в табл. 1. Методика закладки полевого опыта подробно описана в работе [11].

Опыт проводится 10 опыто-лет. Чередуемость культур: горох, горчица — культуры, отзывчивые на известкование и характеризующиеся высоким уровнем потребления кальция и магния [28, 29]. Уборку растений проводили в фазе цветения. За период проведения эксперимента получено по 5 урожаев гороха и горчицы. В качестве варианта сравнения использовали вариант с доломитовой мукой (ДМ), которую вносили в научно обоснованной дозе. Доломитовую муку готовили из частиц доломита, который размалывали и просеивали через сито с отверстиями 0.25 мм.

Физико-химическая характеристика почвы на момент закладки опыта была следующая: рН_{KCl} 4.6, H_г — 4.9 ммоль(экв)/100 г, содержание гумуса — 2.18%; содержание фракций <0.01 мм — 21.4%, содержание CaCO₃ в отсеке — 46.1, MgCO₃ — 38.4%.

Масштабы потерь кальция в годы различной влагообеспеченности почвы определяли в лабо-

раторном эксперименте, который проводили следующим образом. Ежегодно после уборки растений в вариантах опыта отбирали почву на глубину культивируемого слоя (0–25 см). Почву высушивали, измельчали, просеивали сквозь сито с отверстиями 1 мм и помещали в колонки. Диаметр колонки — 6.4 см, масса почвы — 600 г, высота почвенного слоя — 18 см, плотность набивки — 1.0–1.1 г/см³.

При планировании эксперимента исходили из следующих положений. Дерново-подзолистые почвы характеризуются промывным типом водного режима. Исследования, проведенные в работе [30], показали, что сквозное промывание профиля происходит ежегодно вслед за переходом температуры воздуха через 0°C (весеннее снеготаяние) и продолжается в течение 5-ти декад. Все осадки, выпадающие в этот период времени, вызывают сквозное промывание профиля. В отдельные годы дренирование возможно также до наступления заморозков при затяжной и дождливой осени. При интенсивном выпадении ливневых дождей сквозное промывание можно наблюдать и летом. Таким образом, водный режим дерново-подзолистых почв в отдельные годы может существенно различаться.

Например, анализ данных метеостанции “Белогорка” (Гатчинский р-н Ленинградской обл.) показал, что среднееголетнее количество осадков составляет 641 мм [29]. За последние 50 лет оно менялось от 428 мм (в 1972 г.) до 864 мм (в 2016 г.) [31].

При расчетах количества влаги, необходимого для промывания одной колонки в годы близкого к среднееголетнему уровню увлажнения исходили из годового количества осадков, равного 650 мм [32, 33]. На транспирацию растениями и испарение с поверхности почвы расходуется ≈400 мм [33].

Следовательно, 250 мм осадков ежегодно просачивается сквозь почвенно-грунтовую толщу. Количество дистиллированной воды, используемое для промывания одной колонки при увлажнении, равном среднееголетнему уровню, определяли по формуле:

$$V = \frac{\pi \times r^2 \times 250}{1000},$$

где $\pi = 3.14$, r — радиус колонки, мм.

Таким образом, согласно расчетам, для одного промывания в годы среднееголетнего уровня увлажнения использовали 800 мл воды. За 10 опыто-лет суммарный объем просочившейся влаги составил 8 л. В годы увлажнения выше

среднееголетнего уровня его увеличивали в 1.5 раза до 1200 мл, за 10 опыто-лет — 12 л. В годы с количеством осадков ниже среднееголетней нормы объем дренируемой влаги сокращали до 400 мл, что составило за 10 опыто-лет 4 л.

Таким образом, каждую колонку в опыте промывали 3 раза, имитируя промывание почвы в годы “недостаточного” (400 мл), “среднееголетнего” (800 мл) и “избыточного” (1200 мл) уровней увлажнения.

В каждой порции фильтрата устанавливали количество вымываемого кальция. Для подсчета общего количества мигрирующего кальция результаты каждой последующей промывки суммировали с предыдущей. Таким образом, получены элювиальные потери кальция в годы среднееголетней и “избыточной” влагообеспеченности. Эмпирические модели на основе полученных экспериментальных данных строили согласно [34].

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Количество кальция в промывных водах за 10 опыто-лет изучения в годы низкой влагообеспеченности представлено в табл. 1.

Исследование показало, что минимальное количество кальция, вымываемого из почвы контрольного варианта, приурочено к первой промывке. Далее, на 2–9 годы после закладки опыта количество выщелачиваемого кальция возрастало. Вероятно, при низком уровне агротехники возделывания сельскохозяйственных растений (невысокий уровень применения минеральных удобрений, отказ от использования органических удобрений в отсутствие известкования) в почве неизвесткованного контроля начинают формироваться гумусовые вещества с более выраженным кислотным характером. Это усиливает процессы кислотного гидролиза минералов и увеличивает в почве содержание доступных для растений соединений кальция и магния [11, 35]. На увеличение степени насыщенности почв основаниями при снижении уровня антропогенной нагрузки и выведении окультуренных почв из сельскохозяйственного оборота есть указания в работах [35–39].

Вероятно, подобное явление — закономерный этап развития окультуренных почв при прекращении или ослаблении хозяйственного воздействия [11, 38]. Параллельное изучение динамики величины рН в контрольном варианте опыта показало, что за 10 лет изучения оно снизилось с 4.5 до 4.0 ед. На 10-й опыто-год после известкования количество вымываемого кальция снижалось и

Таблица 2. Эмпирические модели миграции Са при известковании частицами доломита в годы с количеством осадков меньше среднесноголетнего уровня

Вариант	Модель, №	Модель	<i>p</i> -value	<i>R</i> ²
1	1.1	$y_{1.1} = 20.4 + 0.47t$	0.63	0.028
2	2.1	$y_{2.1} = \exp(10.2 - 5.67t + 1.62t^2 - 0.185t^3 + 0.007t^4)$	0.036	0.83
3	3.1	$y_{3.1} = 64.78 - 4.42t$	0.19	0.2
4	4.1	$y_{4.1} = \exp(7.93 - 3.699t + 1.004t^2 - 0.108t^3 + 0.004t^4)$	0.08	0.76
5	5.1	$y_{5.1} = \exp(9.03 - 5.23t + 1.66t^2 - 0.21t^3 + 0.009t^4)$	0.1	0.736
6	6.1	$y_{6.1} = 46.27 - 2.94t$	0.1	0.285
7	7.1	$y_{7.1} = \exp(7.78 - 3.7t + 1.015t^2 - 0.11t^3 + 0.004t^4)$	0.1	0.724
8	8.1	$y_{8.1} = \exp(8.61 - 4.38t + 1.25t^2 - 0.014t^3 + 0.005t^4)$	0.08	0.75
9	9.1	$y_{9.1} = \exp(4.26 - 0.146t)$	0.01	0.58
10	10.1	$y_{10.1} = \exp(4.86 - 0.2t)$	0.004	0.65

сравнялось с его содержанием в промывных водах первого срока.

Эмпирическая зависимость (1.1), описывающая миграционные потери кальция из почвы контрольного варианта опыта в годы недостаточного увлажнения, приведена в табл. 2. Статистическая значимость модели низкая.

Элювиальные потери кальция в варианте опыта с ДМ многократно возрастали. Если за 10 опыто-лет в контроле они составили 230 мг, то в варианте с ДМ возросли до 770 мг, т.е. в 3.34 раза. За первое промывание было удалено 473 мг (61.5% от вымытого за 10 лет). Следовательно, основная масса кальция удалялась спустя 1 год после мелиорации. В последующие сроки наблюдения выщелачивание кальция снижалось. Эмпирическая модель (2.1), описывающая процессы вертикальной миграции кальция в варианте с ДМ, носит экспоненциальный характер и статистически значима на высоком уровне значимости (табл. 2).

Если предположить, что количество удаляемого почвенного кальция во всех вариантах опыта с известкованием неизменно (соответствует контролю), то потери кальция мелиоранта в варианте с ДМ составили 540 мг, т.е. превосходили миграцию почвенного кальция в 2.48 раза.

Использование в качестве мелиоранта доломитовых частиц размером 5–7 мм в дозе 1 H_r также увеличило элювиальные потери кальция по сравнению с контролем. Наибольшее вымывание установлено спустя 1 и 5 лет после известкования (93.3 и 93.9 мг соответственно). В остальные годы потери кальция при миграции были меньше. Общее количество удаляемого кальция за 10 лет экс-

перимента при миграции составило 405 мг. На долю почвенного кальция приходилось 53.8% от суммарного количества.

За 10 лет изучения при использовании доломитовых частиц размером 5–7 мм в научно обоснованной дозе (модель 3.1) статистически значимого изменения показателя элювиальных потерь кальция не было (табл. 2).

Применение в качестве мелиоранта частиц доломита размером 5–7 мм в количестве 3 и 5 доз, рассчитанных по H_r , по сравнению с вариантом с дозой, равной 1 H_r , привело к росту элювиальных потерь кальция. Суммарное количество выщелачиваемого кальция в варианте с дозой, соответствующей 3 H_r за 10 опыто-лет изучения по сравнению с контролем возросло до 472 мг, в варианте с дозой 5 H_r — до 561 мг, т.е. в 2.2 и 2.4 раза соответственно. Таким образом, чем больше была доза внесения ДМ, тем непроизводительные потери кальция из почвы были больше.

Элювиальные потери кальция при известковании частицами доломита, размером 5–7 мм в количестве, соответствующем 3 H_r , начинали превосходить количество вымытого кальция в варианте с доломитовой мукой на 8-й год после мелиорации. Исключение составлял 6-й опыто-год. При применении той же фракции, но в дозе 5 H_r — на 5-й год. Эмпирические модели, описывающие миграцию кальция в вариантах опыта, мелиорированного доломитом размером 5–7 мм в количестве 3 и 5 доз H_r , были статистически значимыми (модели 4.1 и 5.1 соответственно).

Суммарное количество выщелачиваемого кальция за 10 опыто-лет при использовании

фракции размером 7–10 мм по сравнению с частицами размером 5–7 мм, снижалось. Следовательно, степень измельчения оказывала влияние на скорость растворения и, как следствие, на потери кальция в результате миграции [1]. Исключение составляли варианты с использованием максимально принятой в опыте дозой 5 H_r , где было вымыто примерно одинаковое количество кальция. В данном случае роль играла степень выветрелости доломитовых частиц неодинакового размера, долгое время складированных в отвалах.

Миграция кальция в варианте с дозой мелиоранта 1 H_r размером 7–10 мм в промежутке времени от 1-го до 7-го промывания была меньше, чем в варианте с ДМ. Начиная с 8-го промывания количество вымытого кальция между вариантами выравнивалось. При применении той же фракции, но в дозе 3 H_r , миграционные потери начинали превосходить потери при миграции кальция в варианте с ДМ на 7-й опыто-год. В варианте с использованием 5-ти полных доз, рассчитанных по H_r , на 2-й опыто-год. Исключения составляли 5-, 8- и 10-й опыто-годы, где выявлена противоположная закономерность.

В целом за 10 промываний количество удаляемого кальция в вариантах, мелиорированных частицами доломита размером 7–10 мм в дозах 1, 3 и 5 H_r , было соответственно в 2.6, 1.9 и 1.4 раза меньше, чем из почвы с доломитовой мукой. Доля удаляемого кальция мелиоранта составила 71.0, 184 и 337 мг соответственно.

Таким образом, известкование крупными фракциями доломита вне зависимости от дозы внесения способствовало усилению непроизводительных потерь кальция. Чем доза применения была больше, тем непроизводительные потери были значительнее. Следовательно, частицы доломита крупного размера, попав в почву, постепенно растворяются, приводя к обогащению профиля доступными для растений и способными к миграции соединениями кальция. Однако эти потери были значительно меньше, чем в варианте с ДМ, примененной в научно обоснованной дозе

Эмпирические модели, описывающие потери при миграции кальция из почвы вариантов опыта с дозой применения частиц размером 7–10 мм в вариантах применения доз 1, 3 и 5 H_r были статистически значимыми (табл. 2, модель 6.1, 7.1, 8.1).

При использовании естественной смеси мелиорантов (ЕСМ) в научно обоснованной дозе (1 H_r) суммарные потери Са за весь период эксперимента были в 2.1 раза меньше, чем в варианте с ДМ. Доля кальция мелиоранта составила 38.2% или 142 мг. Количество удаляемого из почвы кальция

на 3-, 8- и 10-й годы эксперимента превосходило потери этого элемента в варианте с ДМ.

Начиная со 2-го срока эксперимента потери кальция в варианте, произвесткованного ЕСМ в дозе 3 H_r , начинали превосходить потери в варианте с ДМ. Исключение составляли 5-, 6- и 10-й сроки наблюдений, где отмечена обратная закономерность. Несмотря на то что суммарное количество вымытого кальция за 10 промываний было меньше, чем в варианте с ДМ, полученные материалы непроизводительных потерь кальция в варианте с ЕСМ с дозой 3 H_r заставляют с большой осторожностью рекомендовать для известкования естественную смесь доломита в количестве, превышающем научно обоснованную дозу. Модели 9.1 и 10.1, построенные по данным вариантов опыта 9 и 10, были статистически значимыми и отличались от остальных моделей более плавной экспоненциальной динамикой тренда (табл. 2).

В течение всего периода эксперимента элювиальные потери кальция после уборки гороха превосходили потери после возделывания горчицы. Вероятно, эти различия были связаны как с неодинаковым выносом из почвы кальция растениями бобовых и капустных [28, 29], так и различным воздействием корневых выделений горчицы и гороха на известковые материалы.

Увеличение объема просочившейся влаги с 400 до 800 мм при уровне увлажнения, близком к среднегодовому, способствовало росту количества выщелачиваемого кальция во всех вариантах опыта (табл. 3). Минимальное количество вымытого кальция установлено в варианте без известкования. За 10 лет проведения опыта оно составило 254 мг, т.е. возросло по сравнению с годами увлажнения ниже среднегодового уровня на 10.5%. Максимальные потери зафиксированы в варианте с применением ДМ в научно обоснованной дозе. Прирост составил 83.3 мг (10.8% от вымытого в годы увлажнения ниже среднегодового уровня). На долю кальция мелиоранта пришлось 599 мг. Во всех других известкованных вариантах количество мигрирующего кальция по сравнению с контролем также увеличивалось. Размах изменений составил от 344 мг (вариант с дозой применения частиц доломита размером 7–10 мм в дозе 1 H_r) до 688 мг в вариантах, мелиорированных частицами доломита размером 5–7 и 7–10 мм в дозе 5 H_r и ЕСМ в количестве 3 H_r .

В целом увеличение объема просачивающейся влаги с 400 до 800 мм, т.е. в 2 раза, привело к усилению миграционных потерь кальция. Прирост в

Таблица 3. Миграция кальция за 10 лет (годы со среднемноголетним уровнем увлажнения), мг

Сроки	1. NPK (фон)	2. Фон + + ДМ 1 H _г	3. Фон + М (5–7 мм) 1 H _г	4. Фон + М (5–7 мм) 3 H _г	5. Фон + М (5–7 мм) 5 H _г	6. Фон + М (7–10 мм) 1 H _г	7. Фон + М (7–10 мм) 3 H _г	8. Фон + М (7–10 мм) 5 H _г	9. Фон + + ***ЕСМ 1 H _г	10. Фон + + ЕСМ 3 H _г
1	17.6	493	97.5	202	226	70.0	154	237	106	243
2	18.4	38.5	28.8	37.2	43.8	34.6	42.6	44.5	37.6	60.8
3	33.6	53.4	34.3	49.5	48.5	29.8	30.9	54.0	70.9	95.9
4	18.6	35.2	27.0	25.1	40.0	22.3	24.2	42.6	34.6	44.2
5	40.3	69.8	102.7	75.1	84.3	59.4	51.1	48.8	50.1	59.2
6	29.1	45.1	41.3	48.6	62.2	25.6	40.5	54.3	42.1	43.7
7	41.6	50.6	53.2	50.2	49.8	39.5	58.8	119.4	37.1	63.7
8	16.0	20.1	24.3	31.2	24.0	17.7	19.8	27.6	26.5	13.7
9	22.5	36.8	45.0	43.8	54.6	45.5	48.0	38.2	39.3	39.9
10	16.3	10.5	13.1	18.8	54.6	12.2	18.3	20.8	15.8	23.2
Σ, мг	254	853	467	581	688	357	488	688	460	688

Таблица 4. Эмпирические модели миграции Са при известковании частицами доломита в годы со среднемноголетним уровнем увлажнения

Вариант	№ модели	Модель	p-value	R ²
1	1.2	$y_{1,2} = 25.84 - 0.08t$	0.94	0.0005
2	2.2	$y_{2,2} = \exp(9.86 - 5.1t + 1.45t^2 - 0.164t^3 + 0.006t^4)$	0.02	0.846
3	3.2	$y_{3,2} = 69.4 - 4.12t$	0.23	0.168
4	4.2	$y_{4,2} = \exp(7.94 - 3.66t + 1.04t^2 - 0.12t^3 + 0.004t^4)$	0.08	0.76
5	5.2	$y_{5,2} = \exp(8.64 - 4.6t + 1.46t^2 - 0.19t^3 + 0.008t^4)$	0.06	0.78
6	6.2	$y_{6,2} = 51.9 - 2.9t$	0.15	0.235
7	7.2	$y_{7,2} = \exp(7.59 - 3.4t + 0.93t^2 - 0.1t^3 + 0.004t^4)$	0.1	0.72
8	8.2	$y_{8,2} = \exp(8.3 - 3.9t + 1.12t^2 - 0.126t^3 + 0.005t^4)$	0.07	0.77
9	9.2	$y_{9,2} = \exp(4.43 - 0.13t)$	0.008	0.597
10	10.2	$y_{10,2} = \exp(5.04 - 0.2t)$	0.007	0.61

зависимости от варианта опыта менялся от 10.8 до 23.5%.

Следовательно, основная масса способного к миграции кальция удалялась из почвы на начальном этапе промывания, а “фонд” способных к миграции катионов кальция по мере увеличения объема просочившейся влаги снижался. Аналогичные данные получены в модельных экспериментах с конверсионным мелом [40].

Закономерности, выявленные при анализе данных масштаба миграции в годы с количеством осадков ниже среднемноголетнего уровня, целиком сохранялись и в годы с количеством осадков, равным среднемноголетнему уровню увлажнения. С ростом дозы применения мелиоранта мас-

штабы потерь кальция из почвы отдельных вариантов опыта увеличивались. Чем меньше был размер частиц, тем элювиальные потери больше. При этом доля почвенного кальция в общем объеме мигрирующего кальция снижалась.

В отдельные сроки проведения эксперимента миграционная подвижность кальция в почве с использованием крупных частиц доломита и ЕСМ в заведомо завышенных дозах начинала превосходить миграционную подвижность кальция, внесенного с доломитовой мукой. Количество вымываемого кальция после уборки гороха было больше, чем после уборки горчицы.

Эмпирические зависимости 2.2, 4.2, 5.2, 7.2, 8.2, 9.2, 10.2 для лет со среднемноголетним уров-

Таблица 5. Миграция кальция за 10 лет изучения в годы с увлажнением выше среднемноголетнего уровня, мг

Сроки	1. НРК (фон)	2. Фон + + ДМ 1 H_r	3. Фон + М (5–7 мм) 1 H_r	4. Фон + М (5–7 мм) 3 H_r	5. Фон + М (5–7 мм) 5 H_r	6. Фон + М (7–10 мм) 1 H_r	7. Фон + М (7–10 мм) 3 H_r	8. Фон + М (7–10 мм) 5 H_r	9. Фон + + ***ЕСМ 1 H_r	10. Фон + + ЕСМ 3 H_r
1	21.5	506	101	210	239	74.1	161	248	110	259
2	21.0	49.0	36.2	44.9	53.3	38.8	49.3	51.7	49.3	77.7
3	36.2	63.8	38.1	56.4	58.4	33.3	36.7	66.3	80.2	112
4	21.5	40.2	31.3	31.6	55.2	27.0	30.0	50.6	42.0	53.3
5	53.7	79.8	108	90.7	95.0	66.7	56.0	62.4	58.2	74.2
6	31.7	53.0	49.0	60.6	74.9	29.9	50.4	65.9	52.8	54.6
7	44.0	55.9	59.9	58.8	60.7	45.3	67.9	132	46.6	74.3
8	17.6	25.1	28.0	36.7	29.6	20.4	23.2	33.6	30.9	27.9
9	24.4	42.6	50.8	52.2	66.2	54.1	57.5	48.8	49.6	50.7
10	18.6	15.4	17.4	22.2	68.0	13.8	22.1	28.2	20.8	31.9
Σ, мг	290	930	520	664	800	403	554	788	541	815
*%	114	109	111	114	116	113	113	115	117	119

*Доля от вымытого Са в годы со среднемноголетним уровнем увлажнения, %.

нем увлажнения имели экспоненциальный тип динамики (табл. 4). Модели для вариантов опыта 9, 10 отличались от остальных моделей более плавным характером тренда. Динамика изученного показателя в вариантах опыта 1, 3 и 6 в среднем статистически была незначимой.

При возрастании объема дренируемой влаги с 800 до 1200 мл в годы с большим увлажнением, чем среднемноголетнее, элювиальные потери Са еще более увеличивались. В контрольном варианте опыта они составили 290 мг. В варианте опыта с ДМ увеличились до 931 мг, т.е. в 3.2 раза (табл. 5). Доля кальция мелиоранта в общем объеме мигрирующего кальция увеличилась до 640 мг (68.8%). Во всех других мелиорированных вариантах суммарное количество удаляемого из почвы кальция было меньше. По количеству вымытого кальция из почвы отдельных вариантов опыта за 10 опыто-лет все варианты можно выстроить в следующий по убыванию ряд: доломитовая мука > ЕСМ в дозе 3 H_r > мелиорант (М) размером 5–7 мм в дозе 5 H_r > М размером 7–10 мм в дозе 5 H_r > М размером 5–7 мм в дозе 3 H_r > М размером 7–10 мм в дозе 3 H_r > ЕСМ в дозе 1 H_r > М размером 5–7 мм в дозе 1 H_r > М размером 7–10 мм в дозе 1 H_r > контроль.

Эмпирические зависимости 2.3, 4.3, 5.3, 7.3, 8.3, 9.3, 10.3 для лет с избыточным увлажнением были статистически значимыми и имели экспоненциальный тип динамики. Модели в вариантах опыта 9, 10 отличаются от остальных моделей бо-

лее простой динамикой экспоненциального типа (табл. 6). В вариантах опыта 1, 3 и 6 динамика изученного показателя была в среднем статистически незначимой.

Проведенное исследование свидетельствовало о значительной подвижности кальция, внесенного в составе доломита, в дерново-подзолистой легкосуглинистой почве. Наличие мигрирующего кальция установлено во всех порциях фильтра. Максимальные непроизводительные потери кальция были характерны спустя год после известкования. В зависимости от варианта опыта они менялись от 473 до 64 мг (61.5 и 22.0% соответственно от всего количества удаляемого кальция в годы с увлажнением меньше среднемноголетнего уровня) (табл. 7).

Доля вымываемого кальция в годы со среднемноголетним уровнем увлажнения снижалась. Если за первые 10 промываний непроизводительные потери кальция менялись в зависимости от варианта от 301 до 770 мг, то за последующие 10 промываний суммарное количество вымытого кальция уменьшилось до 126 и 55.8 мг (16–19% от вымытого количества в годы с увлажнением меньше среднемноголетнего уровня).

За следующие 10 промываний при увеличении количества воды с 800 до 1200 мл (в годы максимального дренирования почвы) миграционные потери кальция еще более уменьшились и менялись в зависимости от варианта опыта от 33 до 99.9 мг. Суммарная относительная доля выщела-

Таблица 6. Эмпирические модели миграции Са при известковании частицами доломита в переувлажненные годы

Вариант	№ модели	Модель	<i>p</i> -value	<i>R</i> ²
1	1.3	$y_{1.3} = 30.7 - 0.3t$	0.8	0.005
2	2.3	$y_{2.3} = \exp(9.72 - 4.8t + 1.36t^2 - 0.15t^3 + 0.006t^4)$	0.02	0.857
3	3.3	$y_{3.3} = 74.4 - 4.07t$	0.24	0.165
4	4.3	$y_{4.3} = \exp(7.84 - 3.47t + 0.997t^2 - 0.112t^3 + 0.004t^4)$	0.08	0.76
5	5.3	$y_{5.3} = \exp(8.4 - 4.19t + 1.35t^2 - 0.17t^3 + 0.008t^4)$	0.06	0.785
6	6.3	$y_{6.3} = 56.4 - 2.9t$	0.19	0.2
7	7.3	$y_{7.3} = \exp(7.4 - 3.13t + 0.86t^2 - 0.09t^3 + 0.003t^4)$	0.1	0.71
8	8.3	$y_{8.3} = \exp(8.17 - 3.68t + 1.07t^2 - 0.12t^3 + 0.005t^4)$	0.08	0.75
9	9.3	$y_{9.3} = \exp(4.55 - 0.12t)$	0.008	0.6
10	10.3	$y_{10.3} = \exp(5.13 - 0.17t)$	0.004	0.65

Таблица 7. Количество мигрирующего кальция в годы с различной влагообеспеченностью почвы, мг

Сроки	Сумма вымытого Са в годы с увлажнением ниже среднемноголетнего уровня увлажнения	Сумма вымытого Са в годы со среднемноголетним уровнем увлажнения, мг	Разница между годами “среднемноголетнего” и “недостаточного” уровня увлажнения	Доля вымытого Са, %	Сумма вымытого Са в годы с увлажнением выше среднемноголетнего уровня	Разница между годами выше “среднемноголетнего” и “нормального” уровня увлажнения	Доля вымытого Са, %	Суммарная доля вымытого Са (400 мл 2-й срок + 400 мл 3-й срок) за годы “нормального” (2-й срок) и “избыточного” (3-й срок) увлажнения
1	230	254	24.2	10.5	304	49.6	21.6	32.1
2	770	853	83.3	10.8	931	77.5	10.1	20.9
3	405	467	62.6	15.5	520	52.5	13.0	28.5
4	472	581	110	23.2	664	82.9	17.6	40.8
5	561	688	126	22.5	732	44.3	7.9	30.4
6	301	357	55.8	18.6	390	33	11.0	29.5
7	415	488	73.9	17.8	532	43.2	10.4	28.3
8	567	688	121	21.3	788	99.9	17.6	39.0
9	372	460	87.5	23.5	520	60.1	16.2	39.7
10	582	688	106	18.2	815	128	22.0	40.1

чиваемого кальция от вымытого за первые 10 промываний варьировала от 7.9 до 17.6%. Исключение составлял вариант опыта, мелиорируемый ЕСМ в дозе 3 Н_г, где количество удаляемого кальция было больше, чем за 10 предыдущих промыв-

вок. Следовательно, по мере увеличения объема просачивающейся влаги “фонд” способных к миграции соединений кальция в почве уменьшался, а непроизводительные потери кальция снижались.

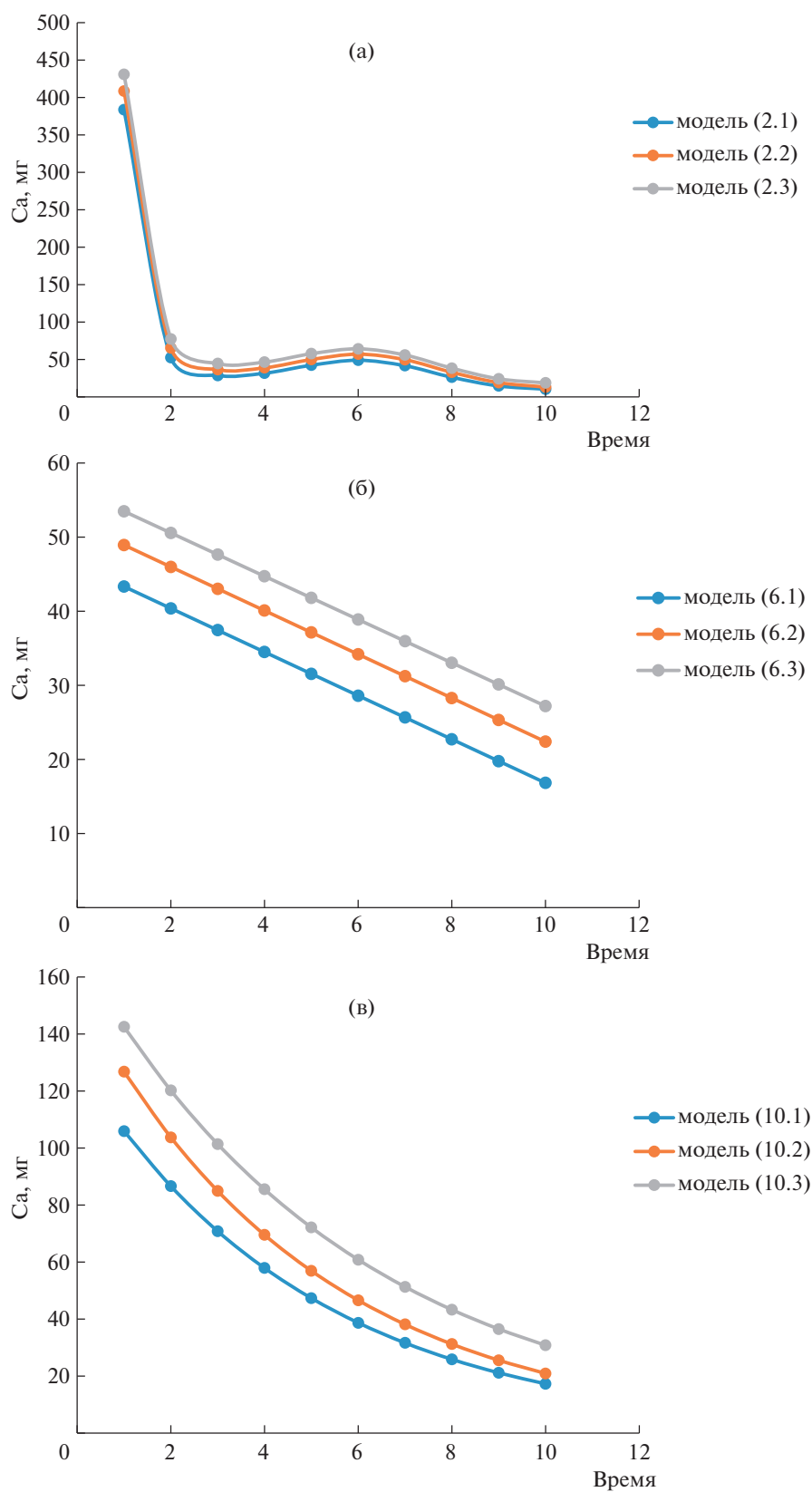


Рис. 1. Модели миграции кальция в вариантах: (а) — с доломитовой мукой (вариант 2), (б) — с доломитовыми частицами размером 7–10 мм в дозе 1 H_r (вариант 6), (в) — с использованием ЕСМ в дозе 3 H_r (вариант 10) при разном уровне увлажнения.

Суммарная доля выщелачиваемого кальция за 20 промываний (годы среднемноголетнего и избыточного уровня увлажнения) составили от 20.9 до 40.8% от вымытого за первые 10 промачиваний.

На рис. 1 в качестве примера приведены графики миграции кальция (суммарные за 10 лет наблюдений в годы недостаточного, среднемноголетнего и избыточного увлажнения) в вариантах с ДМ, с М (7–10 мм) по 1 H_r и с ЕСМ в дозе 3 H_r . Графики почти параллельны и с увеличением влагообеспеченности почвы располагаются выше. Это свидетельствовало о сходстве процессов вымывания кальция в годы с различными уровнями влагообеспеченности.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В 10-вариантном модельном опыте на колонках проведено сравнительное изучение масштаба миграции Са из мелиорированной частицами доломита размером 5–7 и 7–10 мм дерново-подзолистой легкосуглинистой почвы после уборки растений при разном уровне увлажнения. Наличие мигрирующего кальция установлено во всех порциях фильтрата. За 10 промываний, моделирующих объем просачивающейся влаги, в годы с увлажнением меньше среднемноголетнего уровня количество выщелачиваемого Са из мелиорированных вариантов составило от 770 мг (вариант с ДМ, внесенной в дозе 1 H_r) до 301 мг в варианте с частицами доломита размером 7–10 мм в дозе 1 H_r . Максимальные непроизводительные потери Са были характерны спустя 1 год после известкования. Чем выше доза применения доломита и меньше размер частиц, тем элювиальные потери были больше. Увеличение объема просочившейся влаги в 2 раза с 400 до 800 мл (годы соответствовали среднемноголетнему уровню увлажнения) привело к усилению миграционных потерь Са. Потери, в зависимости от варианта опыта, возросли на 10.8–23.5% по сравнению с годами с уровнем увлажнения меньше среднемноголетнего.

При возрастании объема дренируемой влаги с 800 до 1200 мл в годы с увлажнением выше среднемноголетнего элювиальные потери возросли в зависимости от варианта опыта до 390–931 мг. По количеству вымытого Са из почвы отдельных вариантов опыта за 10 опыто-лет все варианты можно выстроить в следующий по убыванию ряд: доломитовая мука > ЕСМ в дозе 3 H_r > мелиорант (М) размером 5–7 мм в дозе 5 H_r > М размером 7–10 мм в дозе 5 H_r > М размером 5–7 мм в дозе 3 H_r > М размером 7–10 мм в дозе 3 H_r > ЕСМ в дозе 1 H_r > М размером 5–7 мм в дозе 1 H_r > М

размером 7–10 мм в дозе 1 H_r > контроль.. Количество вымываемого Са после уборки гороха было больше, чем после уборки горчицы.

Эмпирические зависимости, описывающие потери Са за 10 лет наблюдений, были статистически значимыми и имели экспоненциальный тип динамики. Графики миграции Са (суммарное количество за 10 лет наблюдений) были почти параллельными и с увеличением объема просочившейся влаги (уровня влагообеспеченности почвы) располагались выше.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. 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.
2. 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.
3. 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, мелиорируемой различными по размеру фракциями доломита (эмпирические модели процесса подкисления) // *Агрохимия*. 2018. № 3. С. 50–61.
4. 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.
5. 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, мелиорируемой доломитом // *Агрохимия*. 2019. № 3. С. 52–61.
6. 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, мелиорируемой различными по размеру фракциями доломита // *Агрохимия*. 2018. № 8. С. 52–63.
7. Litvinovich A., Pavlova O., Lavrishchev A., Bure V.M., Saljnikov E. Dynamics of soil pH after utilization of by-products of industrial rock processing as a calcareous material in acid soils // *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 2021. T. 52. № 2. С. 93–101. <https://doi.org/10.1080/00103624.2020.1849267>
8. Павлова О.Ю., Берсенева А.О., Литвинович А.В., Лаврищев А.В., Салаев И.В., Буре В.М. Исследование скорости растворения крупных частиц доломита в кислой дерново-подзолистой супесчаной почве по данным лабораторного опыта // *Агрофизика*. 2020. № 3. С. 23–28.

9. Литвинович А.В., Берсенева А.О., Павлова О.Ю., Лаврищев А.В., Хомяков Ю.В., Дубовицкая В.И. Разложение крупных частиц доломита в кислой дерново-подзолистой супесчаной почве; влияние известкования и различного уровня минерального питания пшеницы на изменение кислотно-основных свойств и урожайность растений (по данным модельного опыта) // *Агрофизика*. 2021. № 1. С. 14–18.
10. Литвинович А.В., Берсенева А.О., Павлова О.Ю., Лаврищев А.В., Буре В.М. Процесс разложения крупных частиц доломита в сильнокислой дерново-подзолистой супесчаной почве. Динамика убыли массы доломита на разных стадиях растворения (по данным лабораторного опыта) // *Агрохимия*. 2022. № 3. С. 52–60.
11. 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.
12. Лаврищев А.В., Литвинович А.В. Стабильный стронций в агроэкосистемах. СПб.—Краснодар—М., 2019. 192 с.
13. Литвинович А.В., Павлова О.Ю. Содержание и распределение свинца в зоне действия завода туковой промышленности // *Агрохимия*. 1996. № 3. С. 92–100.
14. 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.
15. Литвинович А.В., Павлова О.Ю., Осипов А.И. Содержание и запасы серы в техногенно-загрязненных почвах // *Агрохимия*. 1998. № 12. С. 64–70.
16. Литвинович А.В., Павлова О.Ю., Лаврищев А.В. Миграция фтора в почвах различных природно-климатических областей // *Агрохимия*. 1998. № 6. С. 74–81.
17. 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. V. 64. № 4. С. 270–278.
18. 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.
19. 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.
20. 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.
21. 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.
22. 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.
23. 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.
24. 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.
25. 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 Международ. науч.-практ. конф. СПб., 2000*. С. 204–210.
26. Литвинович А.В., Павлова О.Ю., Лаврищев А.В., Буре В.М. Потери Са, Mg, К, 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.
27. Литвинович А.В., Лаврищев А.В., Буре В.М., Павлова О.Ю. Моделирование процессов вымывания кальция и стронция из дерново-подзолистой супесчаной почвы, мелиорируемой конверсионным мелом // *Агрохимия*. 2017. № 2. С. 48–55.
28. Корнилов М.Ф., Небольсин А.Н., Семенов В.А. Известкование кислых почв нечерноземной полосы СССР. Л.: Колос, 1971. 256 с.
29. Небольсин А.Н., Небольсина З.П. Известкование почв. Результаты 50-летних полевых опытов. СПб., 2010. 253 с.
30. Роде А.А. Водный режим и влагообеспечивающая способность дерново-подзолистых почв // *Почвоведение*. 1965. № 1. С. 49–58.
31. Сайт “Погода и климат” Электр. ресурс. Доступ: <http://www.pogodaiklimat.ru/>
32. Роде А.А. Водный режим и его типы // *Почвоведение*. 1956. № 4. С. 1–15.
33. Пестряков В.К. Окультурирование почв Северо-Запада, Л.: Колос, 1977. 343 с.
34. Буре В.М. Методология статистического анализа опытных данных. СПб., РАСХН, АФИ, СПбГУ, 2007. 141 с.
35. Орлова Н.Е., Бакина Л.Г. Современные процессы гумусообразования в окультуренных дерново-подзолистых почвах Северо-Запада России // *Агрохимия*. 2002. № 11. С. 5–12.
36. Литвинович А.В., Павлова О.Ю., Дричко В.Ф., Чернов Д.В., Фомина А.С. Изменение кислотно-основ-

- ных свойств окультуренной дерново-подзолистой песчаной почвы в зависимости от срока нахождения в залежи // Почвоведение. 2005. № 10. С. 1232–1239.
37. 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.
 38. 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.
 39. 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.
 40. Lavrishchev A., Litvinovich A.V., Pavlova O.Yu., Bure V.M., Schindler U., Salnikov E. Contamination of the agroecosystem with stable strontium due to liming: an overview and experimental data // Advances in understanding soil degradation. "Innovations in Landscape Research" Cham, 2022. С. 423–449.

Calcium Losses from Reclaimed Sod-Podzolic Light Loamy Soil at Different Levels of Moisture Availability

A. V. Litvinovich^{a,b}, A. V. Lavrishchev^{b,#}, V. M. Bure^{a,c}, and I. V. Salaev^{a,b}

^aAgrophysical Research Institute
Grazhdansky prosp. 14, St. Petersburg—Pushkin 195220, Russia

^bSankt-Petersburg State Agrarian University
Peterburgskoe shosse 2, St. Petersburg—Pushkin 196601, Russia

^cSankt-Petersburg State University
Universitetskaya nab. 7—9, St. Petersburg 199034, Russia

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

In a 10-year laboratory experiment on columns, the migration mobility of calcium remaining in dolomite-reclaimed sod-podzolic soil after harvesting crops was studied. A “fund” of calcium compounds capable of migration in years with average long-term, excessive and insufficient levels of moisture has been identified. It was found that an increase in the volume of drained moisture contributed to an increase in unproductive calcium losses. The higher the dose of dolomite and the smaller the particle size, the greater the eluvial calcium loss. It is shown that the bulk of the calcium capable of migration was removed from the soil at the initial stage of washing. During the entire study period, migration calcium losses after pea harvesting exceeded losses after mustard cultivation. Empirical dependences describing the loss of calcium from the soil produced by dolomite in a wide range of doses have been developed. Various variants of the experiment were ranked according to the scale of calcium losses. It is shown that over 10 years of observations, the maximum calcium losses as a result of migration were characteristic of the variant of the experiment produced by dolomite flour calculated from the full dose of hydrolytic acidity. Calcium losses from soil reclaimed by dolomite particles of 5–7 and 7–10 mm in doses equal to 3 and 5 H_c were less.

Key words: sod-podzolic light loamy soil, soil moisture availability, chemical reclamation, eluvial calcium losses, empirical models of migration process.