

7. Хамидов М. Научные основы совершенствования водоиспользования орошаемых землях Хорезмского оазиса. Автореф. ... дис. д-ра наук. Ташкент, 1993. С. 14-21, 34-37.

8. Omar M.S., Aziz M.A. The effect soil moisture depletion on Wheat. – Production // Egyptj Soilsi. 1983. 23. №1. P. 1–17.

9. Хамидов М.Х., Жураев У.А. Снижения минерализации коллекторно-дренажных вод //Аграрная наука. 2016. № 6. С. 2-3.

10. Хамидов М.Х., Жўраев У.А. Influence of phytoremediation plants on soil salts // Innovative technologies in water management complex. – Ukraine, Rovno, 2012. – С. 32–34.

A CHANGE IN THE CONTENT OF CALCIUM IN SOD-PODZOLIC SOIL OF LONG EXPERIENCE

Yakovleva L. V., Nikolaeva E. A.

Leningrad Research Institute for Agricultural Science "Belogorka"
Leningrad district, Russian Federation

Abstracts. Mineral fertilizers increase the leaching of calcium. Losses can be 200-400 kg / ha per year. The content of water-soluble calcium in the soil is 43-80% of the calcium exchange. Soil absorbing complex contains 40% calcium from lime. Fertilizer in the form of phosphate reduced the leaching.

Key words: sod-podzolic soils, calcium, leaching, liming, mineral fertilizers

ИЗМЕНЕНИЕ СОДЕРЖАНИЯ КАЛЬЦИЯ В ДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТОЙ ПОЧВЕ ДЛИТЕЛЬНОГО ОПЫТА

*Яковлева Л. В.,
Николаева Е. А.,*

Ленинградский НИИСХ «Белогорка», Ленинградская область, Россия,
lenniish@mail.ru

Аннотация. На базе длительного опыта проведены исследования содержания и поведения кальция в дерново-подзолистой супесчаной почве в течение 6 ротаций полевого севооборота при известковании и на кислой почве на различных уровнях минерального питания. Установлено, что при внесении высоких доз минеральных удобрений усиливается миграция кальция из пахотного горизонта в нижележащие слои почвы. Потери кальция могут достигать 200-400 кг/га в год. В почвенном поглощающем комплексе в обменных формах содержится до 40% кальция извести. Доля водорастворимого кальция по отношению к обменному может достигать 43-80%. Особую роль играет химический состав минеральных удобрений. При использовании удобрений на основе фосфатов миграция снижается до 5 раз.

Ключевые слова: плодородие, дерново-подзолистые почвы, кальций, вымывание, известкование, минеральные удобрения

Введение

В дерново-подзолистых почвах валовой состав всех оснований на 19 – 28% представлен кальцием. Кальция практически нет в кристаллической решетке глинистых минералов. Однако он занимает первое место среди поглощенных оснований и водорастворимых солей. Кальций, как известно, является коагулянтом и стабилизатором почвенных систем, одним из

важнейших элементов для развития растений. В наших лизиметрических опытах установлено, что вымывание кальция может достигать 200-400 кг/га в год. Для поддержания стабильности системы, необходимо известкование кислых почв. В Ленинградской области в последние годы известкуют около 1000 га сельхозугодий, а требуют известкования более 70000 га. Многолетний опыт показывает, что без применения минеральных удобрений на дерново-подзолистых почвах длительное время получать полноценные урожаи невозможно. В почвенных образцах удобренных делянок, взятых послойно, уже через две ротации севооборота (12 лет) наблюдается обеднение кальцием пахотного горизонта и увеличение его содержания в подпахотном [8]. В дальнейшем этот процесс усиливается. Поэтому необходимо не только изучение происходящих в почве процессов, связанных с кальцием, но и разработка приемов защиты этого элемента от вымывания.

Объекты и методы проведения исследований

Исследования проводятся на базе длительного полевого опыта, заложенного в 1981 году на дерново-подзолистой супесчаной почве. Схема опыта включает шесть уровней известкования на четырех фонах минерального питания. В данной статье мы опираемся на результаты исследований, полученных на контрастных вариантах опыта. Варианты по известности: 1 – без известности, 2 – известность по 1,0 Нг, 3 – известность по 2,5 Нг; варианты по минеральным удобрениям: фон 0 – без удобрений; фон 1 – средний уровень; фон 3 – высокий уровень. В качестве известкового материала использовали доломитовую муку. В течение первых трех ротаций ежегодно вносили смесь простых удобрений (Naa, Pдс, Kх), в дальнейшем – азофоску. Наблюдения проводили в полевом шестипольном севообороте.

В почве опыта определяли ионообменную способность (в вытяжке 1н КС1 с рН 5,8) в течение 6 ротаций севооборота. Определяли также формы кальция в почве. В сопутствующих лизиметрических исследованиях изучали миграционную способность кальция при различных уровнях известкования и фонах минерального питания. Для определения влияния состава удобрений на миграцию кальция был заложен модельный опыт в лизиметрических колонках.

Схема опыта включает два уровня известкования (без внесения известности и при известковании до рН 7). Элементы питания вносили в эквивалентных по действующему веществу количествах в виде следующих соединений:

Азотная серия		Калийная серия	
1	Без удобрений	1	Без удобрений
2	Хлорид аммония	2	Хлорид калия
3	Гидрофосфат аммония	3	Сульфат калия
4	Карбонат аммония	4	Гидрофосфат калия
5	Нитрат аммония	5	Нитрат калия
6	Сульфат аммония	6	Карбонат калия
		7	Силикат калия

Промывку проводили дистиллированной водой. Методика анализа фильтратов – как при исследовании состава лизиметрических вод [4].

Результаты исследований обрабатывали методами дисперсионного и корреляционно-регрессионного анализа [1,2].

Результаты и их обсуждение

Содержание обменных форм кальция в почве длительного опыта по ротациям севооборота (табл.1) было связано с уровнем известкования, дозами вносимых удобрений и сроком после известкования.

Таблица 1 – Динамика содержания обменных форм кальция в дерново-подзолистой почве длительного опыта (мг-экв/100г)

Фон удобрений	Дозы извести в долях Нг	Годы						
		1981	1986	1992	1998	2004	2010	2016
		Первый год после внесения извести	Конец ротации					
первой	второй		третьей	четвертой	пятой	шестой		
Фон 0 (без удобрений)	0	2,30	2,37	1,55	1,37	1,43	0,83	0,99
	1 Нг	5,25	4,50	3,80	2,00	2,70	2,73	2,30
	2,5 Нг	5,50	5,50	4,25	2,44	2,56	2,57	2,63
Фон 1 (средний уровень)	0	2,15	2,13	1,15	1,19	0,75	0,65	0,44
	1 Нг	4,90	4,15	3,53	2,25	2,50	2,61	2,51
	2,5 Нг	5,27	5,43	3,83	3,75	3,13	2,73	2,77
Фон 2 (высокий уровень)	0	2,15	2,03	1,27	0,81	0,63	0,22	0,16
	1 Нг	6,13	4,50	3,13	2,44	2,16	1,39	1,66
	2,5 Нг	7,87	5,40	4,43	3,87	2,61	2,60	2,77
Среднее по уровням фактора С (годы)		4,61	4,00	2,99	2,24	2,05	1,81	1,80
НСР 05 по «С»		0,61						
Фактор А (удобрения)			Фактор В (известь)			Ошибка опыта 3,41% НСР ₀₅ по вариантам = 1,48		
Уровни фактора А	Среднее по уровням фактора «А»	НСР 05 по «А»	Уровни фактора В	Среднее по уровням фактора В	НСР 05 по «В»			
Фон 0	2,84	0,23	0	1,26	0,23			
Фон 1	2,75		1,0 Нг	3,20				
Фон 2	2,77		2,5 Нг	3,90				

Содержание обменных форм кальция в дерново-подзолистой пахотной почве зависит в первую очередь от уровня известкования и срока, прошедшего после внесения извести. Влияние внесения минеральных удобрений на этот показатель менее заметно и значительно сглаживается в результате длительного присутствия в почве не прореагировавшей извести. Влияние минеральных удобрений на реакцию почвенной среды, как показали наши исследования, весьма существенно [7]. В почве без удобрений, по крайней мере в течение первой ротации севооборота поддерживался уровень реакции, достигнутый при известковании, затем шло постепенное снижение содержания обменных форм кальция до конца третьей ротации. В дальнейшем мы наблюдали стабилизацию уровня содержания этого элемента. При внесении ежегодно 120-135 кг д.в. на 1 га азота, фосфора и калия в составе простых удобрений, а затем азофоски, мы наблюдали резкое снижение содержания обменного кальция в почве (рис.1).

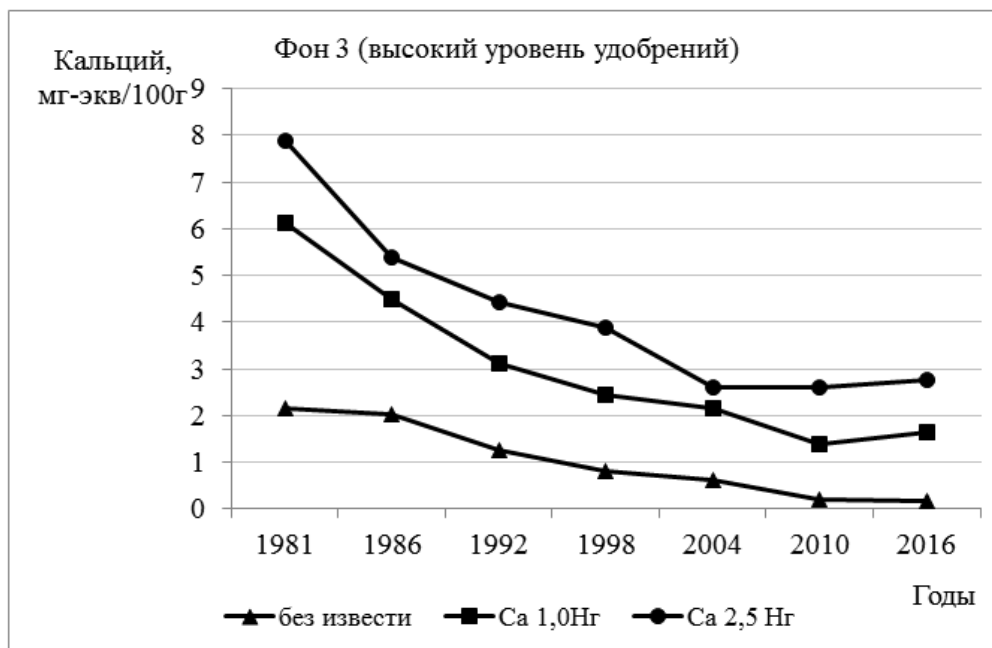


Рис. 1. Влияние минеральных удобрений на содержания кальция в почве

Изучение распределения содержания кальция по профилю почвы на различных вариантах опыта показало, что уже через две ротации севооборота наблюдается математически доказанное снижение содержания кальция в пахотном и увеличение в подпахотном горизонте почвы. Величины миграции кальция весьма значительны и могут достигать 200-400 кг/га в год. Общее количество оснований, поступающих в почву с атмосферными осадками, невелико. Мы изучали химический состав осадков, выпадающих в окрестностях дер. Белогорка (табл. 2). Количество оснований, поступающее с атмосферными осадками, не может пополнить потери от вымывания и вынос с урожаем, пожнивными и корневыми остатками.

Таблица 2 – Количество оснований, выпадающих ежегодно с атмосферными осадками в окрестностях дер. Белогорка (г/га).

Месяц	K ₂ O	Na ₂ O	Ca	Mg
Январь	131	199	544	110
Февраль	182	249	741	144
Март	94	112	540	122
Апрель	177	158	2427	348
Май	291	219	1967	393
Июнь	5216	357	1359	437
Июль	931	357	1518	475
Август	541	244	888	366
Сентябрь	655	301	1094	255
Октябрь	494	275	954	247
Ноябрь	171	370	418	123
Декабрь	Не опр.	Не опр.	Не опр.	Не опр.
За год	8863	2484	12450	3020
Всего оснований	26817			

В проведенном ранее микрополевым опыте с использованием ^{45}Ca , (табл.3) можно определить долю кальция извести в общей миграции и источники потерь кальция. Доля кальция извести в почвенном поглощающем комплексе дерново-подзолистых супесчаных почв достигает 40%. Кальций извести составляет 25-44% от общего содержания его в лизиметрических водах [5].

Таблица 3 – Содержание кальция в различных вытяжках из почвы опыта (мг/100 г)

Вытяжка из почвы	Кальций	Фон удобрений - N60P60K60		
		Дозы извести		
		Без извести	2,2 т/га (до pH 5)	9,4 т/га (до pH 7)
H ₂ O	Всего	12,0	40,0	38,0
1н KCl	Всего	14,6	28,7	74,6
	Из извести	-	8,1	30,3
	Доля ^{45}Ca , %	-	28,2	40,6
0,1н HCl	Всего	20,3	20,3	96,8
	Из извести	-	12,2	49,3
	Доля ^{45}Ca , %	-	60,1	50,9
6н HCl (с кипячением)	Всего	57,8	72,3	135,9
	Из извести	-	16,4	48,0
	Доля ^{45}Ca , %	-	22,7	35,3

Мы рассчитали зависимость миграции кальция извести от содержания различных его форм в почве (табл.4). В целом, чем больше водорастворимых форм этого элемента в почве, тем интенсивнее он мигрирует.

Таблица 4 – Зависимость вымывания кальция извести от содержания его в почве

Вытяжка, определяемый элемент	R (^{45}Ca в почве - ^{45}Ca в ионитных ловушках)
Ca общ. в H ₂ O	0,91
^{45}Ca в 1н KCl	0,51
^{45}Ca в 0,1н HCl	0,30
^{45}Ca в 6н HCl	0,63

Существенен коэффициент корреляции между содержанием в почве кальция извести, извлекаемого 1н KCl (обменная форма) и поступлением его в лизиметрические воды. Известковые материалы мало растворимы в воде (табл.5).

Таблица 5 – Растворимость в воде некоторых соединений кальция и магния (в % при 20°C) [3].

Ионы	(OH) ₂ ²⁻	F ₂ ²⁻	Cl ₂ ²⁻	Br ₂ ²⁻	I ₂ ²⁻	SO ₄ ²⁻	CO ₃ ²⁻	NO ₃ ²⁻	SiO ₃ ²⁻	PO ₄ ³⁻
Ca ²⁺	0,17	не раств.	хор. раств.	59	67	0,199	1,5x10 ⁻³	56	не раств	не раств
Mg ²⁺	0,009	9x10 ⁻³	35,2	50,5	59,7	25,8	0,094	41,5	не раств	не раств

В почвенном поглощающем комплексе кальций извести, находясь в обменном состоянии, доступен растениям, может переходить в почвенный раствор, мигрировать по профилю почвы [6].

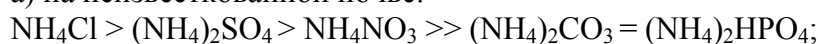
В модельных опытах выявлено сильное влияние анионного состава азотных и калийных удобрений на вымывание элементов из почвы (табл.6).

Таблица 6 – Влияние извести и анионного состава удобрений на вымывание кальция (лабораторные опыты)

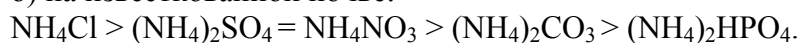
Известь	Азотная серия			Калийная серия		
	Удобрения		Кальций, мг/колонку	Удобрения		Кальций, мг/колонку
Без извести	1	Без удобрений	20,5	1	Без удобрений	11,9
	2	Хлорид аммония	104,9	2	Хлорид калия	92,8
	3	Гидрофосфат аммония	20,6	3	Гидрофосфат калия	13,5
	4	Карбонат аммония	30,6	4	Карбонат калия	46,7
	5	Нитрат аммония	62,2	5	Нитрат калия	89,4
	6	Сульфат аммония	83,3	6	Сульфат калия	58,8
Известь до pH 7	1	Без удобрений	22,1	1	Без удобрений	22,9
	2	Хлорид аммония	107,8	2	Хлорид калия	84,3
	3	Гидрофосфат аммония	34,5	3	Гидрофосфат калия	17,7
	4	Карбонат аммония	57,3	4	Карбонат калия	10,5
	5	Нитрат аммония	98,5	5	Нитрат калия	62,0
	6	Сульфат аммония	99,7	6	Сульфат калия	56,9
НСР ₀₅			21,6	НСР ₀₅		30,0

Азотные удобрения по влиянию на вымывание кальция можно расположить в следующий ряд:

а) на известкованной почве:



б) на известкованной почве:



Вымывание кальция и магния при внесении в почву калийных удобрений на основе фосфатов существенно снижалось и на известкованной и на не известкованной почве. При внесении извести на удобренных калийными удобрениями почвах в первый период исследований наблюдалась устойчивая тенденция снижения вымывания кальция. На неудобренных почвах величина вымывания кальция при известковании была в два раза выше, чем на не известкованных почвах. Снижение вымывания кальция в первый период на известкованной, удобренной высокими дозами калийных удобрений почве может быть связано со следующими причинами:

1) опыты краткосрочные, поэтому основная часть извести еще не прореагировала с почвой, а растворимость карбоната кальция составляет $1.5 \times 10^{-3}\%$;

2) при известковании уменьшается сродство поверхности коллоидов к калию, поэтому усиливается сорбция кальция, успевшего к этому времени перейти в растворимое и обменное состояние [7].

Изменение химического состава минеральных удобрений - действенный прием снижения вымывания питательных веществ в почве, если учитываются сорбционные свойства почвенного поглощающего комплекса и ионов, входящих в состав удобрений.

На основании этого можно сделать вывод, что существенный вклад в величину миграции кальция и других необходимых растениям веществ в нижележащие слои почвы вносит состав удобрений. Поэтому путем подбора химического состава удобрений можно значительно снизить вымывание в почве кальция и других важных для растений веществ. Наименьшие потери кальция наблюдаются при использовании удобрений на основе фосфатов.

Таким образом, для поддержания кислотно-основного равновесия в дерново-подзолистых почвах, достаточного для получения полноценных урожаев, необходимо опережающее известкование кислых почв, разработка и создание удобрений нового поколения, способствующих сохранению плодородия пахотных почв.

Библиографический список

1. Доспехов Б.А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований). – М.: Агропромиздат, 1985. – 351 с.
2. Коэффициент ранговой корреляции Спирмена [Электронный ресурс] – <https://math.semestr.ru/corel/spirmen.php>
3. Лурье Ю.Ю. Справочник по аналитической химии. – М.: Изд-во «Химия», 1971. – 456 с.
4. Методические указания по проведению исследований с изотопом ^{15}N и определению элементов питания в лизиметрических водах. – М., 1978. – 30 с.
5. Небольсин А.Н., Небольсина З.П. и др. Изучение баланса кальция в опытах с изотопной меткой // Свойства почв, их изменение при окультуривании и влияние на урожай в Северо-Западной зоне РСФСР. – Л.: СЗНИИСХ, 1984. – С. 55-64.
6. Шильников И.А., Лебедева Л.А. Известкование почв. – М.: Агропромиздат, 1987. – 157 с.
7. Яковлева Л.В. Экологические аспекты известкования. Дис. ... д-ра с.-х. наук. – СПб., 2009. – 374 с.
8. Яковлева Л.В. Миграция оснований в дерново-подзолистых почвах Северо-Запада России. – СПб.: ВИЗР, 2013. – 106 с.