

ВЛИЯНИЕ СИСТЕМ УДОБРЕНИЯ НА СОДЕРЖАНИЕ И ВЫНОС КАЛЬЦИЯ И МАГНИЯ УРОЖАЕМ ЗЕЛЕННОЙ МАССЫ ВИКО-ОВСЯНОЙ СМЕСИ НА РАЗНЫХ ФОНАХ КИСЛОТНОСТИ ПОЧВЫ

© Ерегин А.В., Ерегина С.В.



Александр Владимирович Ерегин

Вологодский научный центр Российской академии наук
Вологда, Российская Федерация

e-mail: szniirast@mail.ru

ORCID: 0000-0001-9168-5620



Светлана Викторовна Ерегина

Вологодский научный центр Российской академии наук
Вологда, Российская Федерация

e-mail: ereginasv@mail.ru

ORCID: 0000-0001-8136-4663 ResearcherID: HWQ-4498-2023

Баланс карбонатов кальция и магния определяет изменение уровня кислотности в пахотных почвах. Для расчета баланса элементов питания требуется адекватная оценка уровня их выноса с урожаем сельскохозяйственных культур. Цель исследования заключалась в изучении влияния традиционных систем удобрения на двух фонах кислотности пахотного слоя на содержание кальция и магния в зеленой массе вико-овсяной смеси и количественном определении отчуждения элементов с урожаем из почвы. Основной метод исследования: длительный полевой опыт на дерново-подзолистой среднеокультуренной почве. Особенностью опыта являлся длительный период исследования (5 лет) при различных агроклиматических условиях. Прибавка урожайности сухого вещества от снижения кислотности почвы в среднем за 5 лет составила 5%. Прибавка урожайности от систем удобрения за аналогичный период времени колебалась от 27 до 59% по отношению к варианту без удобрения. В среднем по опыту при урожайности сухого вещества 6,7 т/га совокупный вынос урожаем кальция и магния из почвы составил 79,8 кг/га. Значение выноса больше зависело от системы удобрения, чем от фона кислотности почвы. Содержание кальция и магния в зеленой массе вико-овсяной смеси больше изменялось под действием систем удобрения, чем зависело от фона кислотности почвы. В среднем по опыту содержание СаО в зеленой массе составило 0,83%, а MgO – 0,35% сухого вещества (с. в.) По результатам исследования предложен уточненный коэффициент для расчета выноса кальция и магния из почвы урожаем однолетних бобово-злаковых травосмесей, выращиваемых в Вологодской области, равный 6,9 кг на 1 т условного сена.

Плодородие почвы, урожайность, вико-овсяная смесь, вынос кальция и магния, система удобрения.

Введение

Кальций и магний – структурные элементы почвы, незаменимые элементы питания, оказывающие многогранное воздействие на рост и развитие растений, способствующие сохранению плодородия почвы, участвующие в агробиогeoхимическом круговороте элементов в системе «почва – растение» (Шильников и др., 2012; Панасин, Рымаренко, 2014; Борисочкина и др., 2022).

Именно поэтому важно оценивать потери этих элементов из почвы в результате сельскохозяйственной деятельности. Стоит отметить, что оценка уровня выноса кальция и магния урожаем культур в Нечерноземной зоне практически не проводится. Между тем требуется актуализация норм выноса урожаем названных элементов, поскольку от этого зависит баланс кальция или магния, а значит содержание его в почве, которое влияет на уровень реакции почвенной среды и скорость биогeoхимического цикла в системе «почва – растение» (Лапа и др., 2013; Небольсина и др., 2016; Аканова и др. 2017).

Вместе с тем важным фактором, влияющим на вынос элементов питания, являются системы удобрения, рассматривающиеся как надежный инструмент улучшения почвенного плодородия. Однако при изменении агрохимических параметров плодородия изменяется и уровень потребления растениями питательных элементов, в том числе кальция и магния (Васбиева, 2016; Иовик, Дашкевич, 2022).

Однолетние травосмеси – распространенный вид зеленого корма для молочного стада в Нечерноземной зоне. Чаще всего сельхозтоваропроизводители высевают двух-, трехкомпонентные смеси, состоящие как правило, из бобовой культуры (вика, горох, пелюшка и т. д.) и зерновой культуры (овес, ячмень, пшеница

и т. д.). Кормосмеси являются хорошим предшественником для большой группы культур, таких как зерновые, картофель, овощи открытого грунта (Яковлева и др., 2017; Миникаев и др., 2022; Демиденко, 2024).

Однако, как и другие культуры, однолетние травы (смеси) предъявляют определенные требования к плодородию почвы, связанные с биологическими особенностями культур, входящих в состав травосмесей. В первую очередь это реакция почвенной среды (кислотность).

Согласно ряду исследований, проведенных в Нечерноземной полосе России, урожайность зеленой массы вико-овсяной смеси при известковании (снижении кислотности почвы на 0,5–0,7 ед. рН_{кcl}) увеличивалась на 13–96% (Налиухин и др., 2017; Налиухин и др., 2023; Чеботарев, Броварова, 2023). Влияние известкования отчасти обусловлено тем, что на формирование 1 т зеленой массы однолетних трав требуется СаО + MgO от 2,3 до 2,8 кг; таким образом, при урожайности зеленой массы на уровне 250 ц/га совокупный вынос элементов из почвы составит 58–70 кг/га¹ (Цвирков, Босак, 2009).

Поскольку однолетние бобово-злаковые травосмеси являются одним из самых распространенных источников корма для молочного стада, оценка отчуждения элементов питания с урожаем необходима для более полного расчета баланса этих элементов в почве и должна учитываться при расчетах норм внесения мелиорантов.

Немаловажное значение в плане кормления молочного стада имеет содержание кальция и магния в корме. Так, по данным ученых «ФНЦ кормопроизводства и агроэкологии имени В. Р. Вильямса», при живой массе коровы 600 кг и молочной продуктивности 18–22 кг в сутки содержание кальция в рационе должно со-

¹ Приемы повышения плодородия почв (известкование, фосфоритование, гипсование) (2021): науч.-метод. реком. / под ред. М.М. Овчаренко [и др.]. Москва: Минсельхоз России. 115 с.

ставлять от 72 до 85 г/кг с. в. Содержание магния в рационе коров с такой же удойностью должно составлять 26–28 г/кг с. в. (Косолапов и др., 2019).

Научная новизна работы состоит в том, что на территории Северного Нечерноземья будет актуализирована норма выноса основных катионов (Ca^{+2} , Mg^{+2}), содержание которых в почве определяет реакцию среды, с урожаем однолетних трав.

Практическая значимость: уточненные нормы выноса могут использоваться при расчете их баланса в почве в зависимости от основной применяемой системы удобрения и уровня кислотности пахотного слоя.

Цель исследования: изучить влияние традиционных систем удобрения на вынос кальция и магния зеленой массой вико-овсяной смеси на разных фонах кислотности почвы.

Задачи исследования:

- изучить влияние систем удобрений на урожайность сухого вещества вико-овсяной смеси на двух фонах кислотности;
- оценить изменение содержания кальция и магния в сухом веществе вико-овсяной смеси под действием систем удобрения и фона кислотности почвы;
- рассчитать вынос кальция и магния с урожаем вико-овсяной смеси в зависимости от систем удобрения и фона кислотности;
- предложить уточненную норму выноса элементов питания с урожаем на дерново-подзолистой почве в зависимости от ее кислотности и применяемой системы удобрения.

Материалы и методика исследований

Полевой двухфакторный опыт по влиянию систем удобрения (фактор В) и фона кислотности почвы (фактор А) на показатели плодородия и продуктивность зернотравяного севооборота был залож-

жен в 2015 году на учебно-опытном поле ФГБОУ ВО «Вологодская молочнохозяйственная академия им. Н. В. Верещагина».

Опыт был развернут во времени и пространстве на трех последовательно вводимых полях (2015–2017 гг.) с одинаковым чередованием культур и уровнем плодородия. Вико-овсяная смесь была первой культурой в севообороте: вико-овсяная смесь – озимая пшеница – ячмень с подсевом клевера – клевер I г. п. – овес. Смесь выращивали в 2015–2017 гг. (I ротация севооборота) и 2020, 2022 гг. (II ротация севооборота). Таким образом, в статье рассматриваются многолетние данные (5 лет).

Показатели плодородия дерново-подзолистой легкосуглинистой почвы перед закладкой опыта следующие (в среднем по трем полям): $\text{pH}_{\text{ккл}} = 5,1\text{--}5,2$ ед., содержание подвижного фосфора (по Кирсанову) = 251–296 мг/кг, содержание подвижного калия (по Кирсанову) = 116–48 мг/кг, содержание органического вещества – 2,57–3,21%, содержание Са – 5,84–6,21 ммоль (экв.) / 100 г, Mg – 1,59–2,05 ммоль (экв.) / 100 г (Ерегин, 2024).

Для создания уровня кислотности почвы, равного $\text{pH}_{\text{ккл}} = 5,7\text{--}5,9$ ед., использовали известняковую муку с содержанием действующего вещества (CaCO_3) 95–98%. Мелиорант вносили в дозе 5,0–5,5 т/га (физического веса) при перепашке непосредственно под вико-овсяную смесь.

Площадь опытной делянки – 100 м², учетной – не менее 80 м², расположение делянок – систематическое.

Во все годы исследования высевался сорт вики яровой (*Vicia sativa* L.) «Льговская 22», овса посевного (*Avena sativa* L.) «Лев», за исключением 2022 года, когда высевался сорт «Яков». Отношение при смешивании семян вики и овса поддерживали на уровне 40:60, при норме высева от 200 до 230 кг/га (в зависимости от качества семян). Посев вико-овсяной смеси производили не позже второй декады мая.

Обработку почвы проводили по стандартной технологии, принятой в зоне исследования: вспашка (18–22 см), культивация в 2 следа (12–15 см).

Предметом исследования в опыте являлись следующие системы удобрения²: 1) без удобрения (контроль); 2) органическая (навоз, 50 т/га); 3) минеральная (N₃₀P₃₀K₃₀); 4) первая органо-минеральная (навоз, 25 т/га + N₁₅P₁₅K₁₅); 5) вторая органо-минеральная (навоз, 50 т/га + N₃₀P₃₀K₃₀).

В качестве органического удобрения использовали солоmistый навоз КРС влажностью не ниже 80%, с содержанием питательных веществ (в среднем по годам исследования): N = 0,29%, P₂O₅ = 0,26%, K₂O = 0,42%. Из минеральных удобрений под вико-овсяную смесь применяли НРК (15:15:15) или диаммофоску (ДАФК 10:26:26) в сочетании с аммиачной селитрой (Na 34%). Органические удобрения вносили под перепашку, а минеральные – под культивацию.

Содержание кальция и магния в зеленой массе вико-овсяной смеси определяли при помощи БИК-спектрометрии, содержание сухого вещества – гравиметрическим методом (ГОСТ 31640-2012).

Таблица 1. Агрометеорологические показатели вегетационного периода

Статистические характеристики	Май		Июнь			Июль			Август	
	декада									
	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II
	Среднесуточная температура, °С									
X _{max}	13,1	16,4	16,1	16,9	18,0	19,8	19,5	21,6	20,1	19,5
X _{min}	5,9	8,2	10,0	14,1	12,8	13,6	13,8	16,6	16,1	13,3
X _{cp.}	9,5	11,8	13,3	15,5	16,1	17,0	17,2	18,4	17,6	16,4
	Осадки, мм									
X _{max}	57	43	48	92	36	76	52	51	38	26
X _{min}	14	8	3	6	2	14	9	6	4	1
X _{cp.}	33	21	19	35	16	36	27	28	17	16

Источник: <http://meteo.ru/data/temperature-precipitation>

² Дозы внесения навоза КРС и питательных веществ с минеральными удобрениями представлены непосредственно под вико-овсяную смесь.

Статистическую обработку урожайности вико-овсяной смеси проводили при помощи дисперсионного анализа, используя пакет статистических программ MS Excel.

Для более полной оценки основных агрометеорологических параметров (осадки и среднесуточная температура) за длительный срок эксперимента в табл. 1 приведены пределы их варьирования: максимальный показатель (X_{max}), минимальный показатель (X_{min}), среднее значение (X_{cp.}).

Стоит отметить, что колебания температур за пятилетний период были наименьшие во II декаде июня, когда различие между граничными параметрами составило всего 2,8 °С. Наибольшее различие в температуре воздуха (двукратное) фиксировали в III декаде мая.

Количество осадков за период исследования варьировало более значимо, чем температура воздуха, разница между крайними показателями достигала 26 раз (II декада августа).

Результаты исследования

Стоит отметить, что содержание сухого вещества по вариантам опыта за годы исследования было различным и колебалось в достаточно широких пределах (рис. 1).

Так, наименьшее изменение за пятилетний период отмечали в варианте без удобрения (контрольный), на слабокислом фоне реакции почвенной среды (pH_{kcl} = 5,1–5,2 ед.); наибольшее – в варианте с органической системой удобрения (2 вариант), на фоне кислотности почвы, близкой к нейтральной (pH_{kcl} = 5,7–5,9 ед.).

Впрочем, стоит отметить, что колебания границ значений содержания сухого вещества в вариантах опыта, расположенных на фоне без известкования (слабокислая реакция почвенной среды), были более значительны, чем на известко-

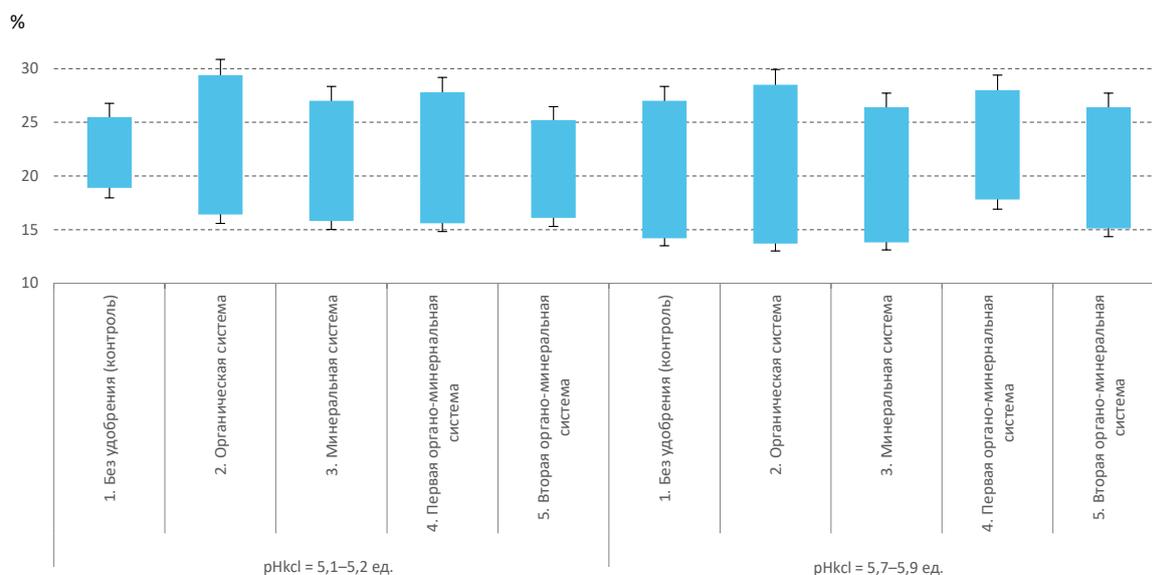


Рис. 1. Изменение содержания сухого вещества в зеленой массе вико-овсяной смеси под влиянием систем удобрения на разных фонах кислотности почвы, %

Планки – размер относительной погрешности измерения.

Источник: данные авторов.

ванном фоне (близкая к нейтральной реакция почвенной среды). В среднем за 5 лет содержание сухого вещества по опыту на слабокислом почвенном фоне составило 21,4%, а на фоне кислотности, близкой к нейтральной, – 20,9%.

Фон кислотности пахотного слоя не во все годы оказал статистически значимое воздействие на сбор сухого вещества с единицы площади, тогда как системы удобрения оказали на него значимое влияние на уровне 95% вероятности вне зависимости от агрометеорологических условий вегетационного периода (года исследования; табл. 2).

Наибольшую урожайность сухого вещества как на фоне известкования, так и на неизвесткованном фоне получали при применении второй органо-минеральной системы удобрения (5 вариант). Прибавка урожайности к варианту без удобрения (контрольному, 1 вариант) по годам исследования на слабокислом фоне колебалась от 28% (2022 год) до 69% (2020 год), а на фоне, близком к нейтральной реакции почвенной среды, – от 51% (2015 год) до 88% (2022 год).

Стоит отметить, что наибольшую урожайность в среднем по опыту фиксировали в 2016 году, а наименьшую – в 2015 году. Различие между показателями составило 3,7 т/га, или 70%.

В целом по опыту урожайность сухого вещества достаточно сильно колебалась по годам исследования, однако в вариантах с системами удобрения (2–5 варианты) никогда не снижалась ниже 5,0 т/га. Это свидетельствует, что обеспечение растений питательными элементами в доступной форме позволяет регулировать урожайность на заданном уровне, в минимальной зависимости от погодных условий вегетационного периода.

На рис. 2 представлена полученная прибавка урожайности сухого вещества в зависимости от системы удобрения к варианту без удобрения (контрольному) в среднем за 5 лет исследований. За 100% взята урожайность в контрольном варианте, уровень прибавки рассчитан в относительных единицах.

Прибавка урожая от систем удобрения на фоне кислотности, близкой к нейтральной (pH_{kcl} = 5,7–5,9 ед.), в среднем

Таблица 2. Влияние систем удобрения на урожайность сухого вещества вико-овсяной смеси на разных фонах кислотности почвы, т/га

Фактор В – системы удобрения	Кислотность почвы (рН _{ккл}), ед.	Фактор А – известкование					Среднее по фактору В
		2015	2016	2017	2020	2022	
1. Контроль (без удобрений)	5,1–5,2	4,1	6,3	4,7	5,2	5,4	5,2
	5,7–5,9	4,1	7,3	4,5	5,8	4,0	5,1
	<i>среднее</i>	4,1	6,8	4,6	5,5	4,7	5,1
2. Органическая	5,1–5,2	5,4	9,2	5,2	7,1	6,2	6,6
	5,7–5,9	5,0	9,8	5,3	6,9	5,4	6,5
	<i>среднее</i>	5,2	9,5	5,3	7,0	5,8	6,5
3. Минеральная	5,1–5,2	5,3	8,2	5,5	7,5	5,5	6,4
	5,7–5,9	5,9	8,7	5,6	8,3	4,9	6,7
	<i>среднее</i>	5,6	8,4	5,5	7,9	5,2	6,5
4. Первая органо-минеральная	5,1–5,2	5,2	9,5	5,7	7,8	6,4	6,9
	5,7–5,9	5,4	10,7	7,8	8,4	7,1	7,9
	<i>среднее</i>	5,3	10,1	6,8	8,1	6,8	7,4
5. Вторая органо-минеральная	5,1–5,2	6,3	9,3	7,2	8,8	6,9	7,7
	5,7–5,9	6,2	11,3	7,1	10,1	7,5	8,4
	<i>среднее</i>	6,3	10,3	7,2	9,5	7,2	8,1
Среднее по фактору А	5,1–5,2	5,3	8,5	5,7	7,3	6,1	6,6
	5,7–5,9	5,3	9,5	6,1	7,9	5,8	6,9
	<i>среднее</i>	5,3	9,0	5,9	7,6	5,9	6,7
НСР ₀₅ фактора А		Фф.<Фт.	0,5	Фф.<Фт.	0,6	Фф.<Фт.	0,3
НСР ₀₅ фактора В			1,0	0,7	1,0	1,5	1,0
НСР ₀₅ част. различий			1,4	1,0	1,4	2,1	1,4

Источник: данные авторов.

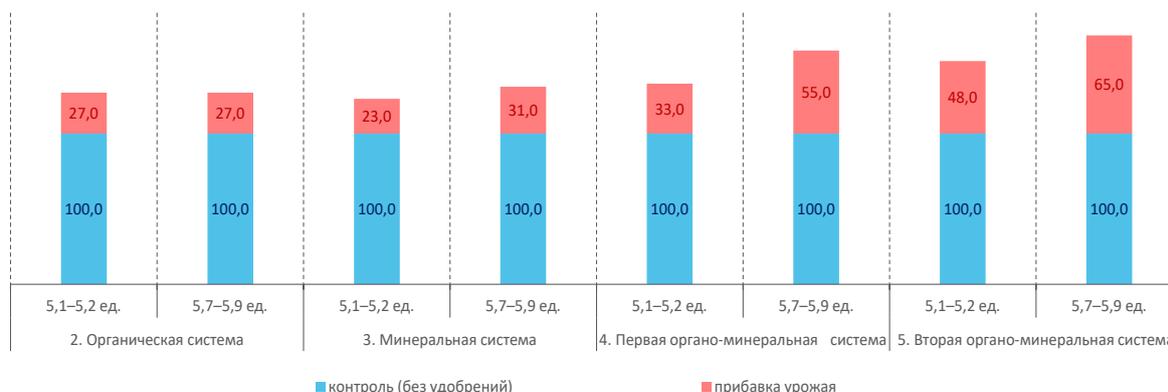


Рис. 2. Прибавка урожайности сухого вещества к контролю в зависимости от системы удобрения, %

Источник: данные авторов.

по вариантам опыта составила 45%, тогда как на слабокислом фоне (рН_{ккл} = 5,1–5,2 ед.) – 33%. Наибольшую прибавку урожайности сухого вещества на обоих фонах кислотности отмечали в варианте со второй органо-минеральной системой удобрения. В варианте с органической

системой удобрения (2 вариант) изменение фона кислотности почвы не отразилось на величине прибавки.

Содержание кальция (СаО) в зеленой массе вико-овсяной смеси в среднем по опыту на фоне известкования (рН_{ккл} = 5,7–5,9 ед.) составило 0,82%, а на неизвестко-

ванном фоне ($pH_{kcl} = 5,1-5,2$ ед.) – 0,84%. Таким образом, изменение кислотности почвы на 0,6–0,8 единицы незначительно повлияло на уровень содержания кальция в зеленой массе вико-овсяной смеси (рис. 3).

Однако нужно отметить, что колебания в уровне содержания СаО в зеленой массе на слабокислом фоне (без известкования) были выше, чем на фоне кислотности почвы, близкой к нейтральной (с известкованием).

Что же касается систем удобрения, то наименьшее содержание кальция в зеленой массе фиксировали в варианте без удобрения (контрольном) – 0,79% в сред-

нем по фонам кислотности. По вариантам систем удобрения (2–5 вариант) содержание кальция (в среднем по фонам кислотности) колебалось от 0,82 до 0,86%, достигая наибольшего значения в варианте с первой органо-минеральной системой удобрения (4 вариант).

Содержание магния (MgO) в зеленой массе вико-овсяной смеси, как и кальция, незначительно изменялось от уровня кислотности почвы, составив в среднем по опыту на фоне $pH_{kcl} = 5,1-5,2$ ед. (слабокислый) 0,36%, а на фоне $pH_{kcl} = 5,7-5,9$ ед. (близкий к нейтральному) – 0,35% (рис. 4).

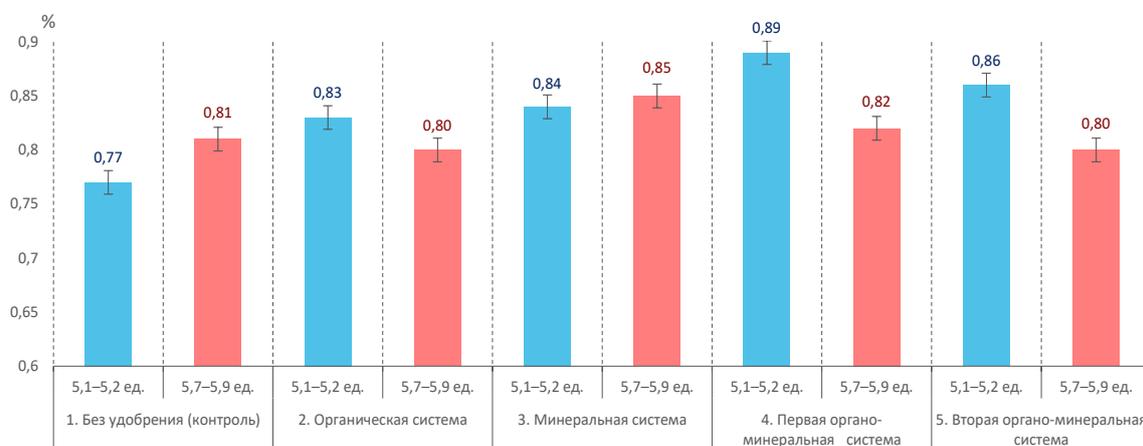


Рис. 3. Влияние систем удобрения на содержание кальция в зеленой массе вико-овсяной смеси (в среднем за 5 лет), % сухого вещества

Плankи – размер относительной погрешности измерения.

Источник: данные авторов.

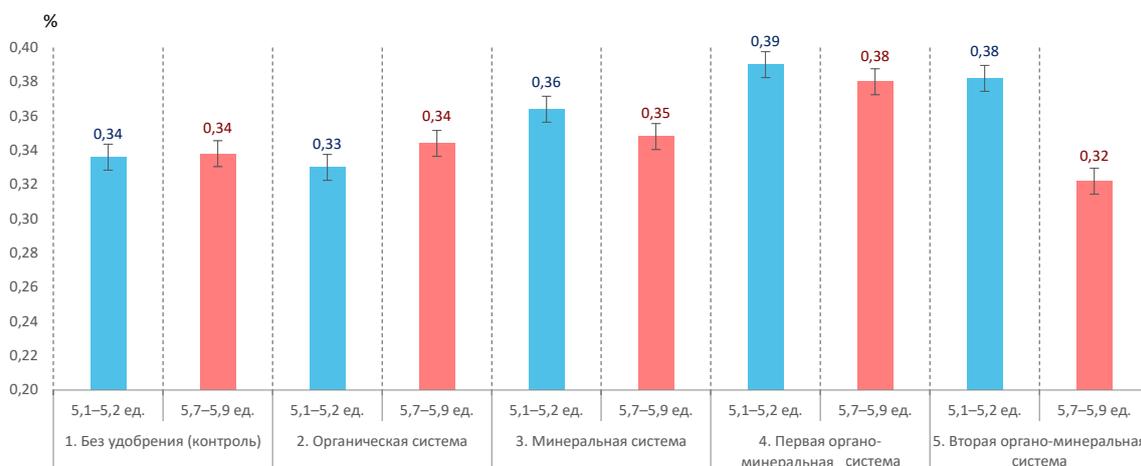


Рис. 4. Влияние систем удобрения на содержание магния в зеленой массе вико-овсяной смеси (в среднем за 5 лет), % сухого вещества

Плankи – размер относительной погрешности измерения.

Источник: данные авторов.

Влияние систем удобрения на содержание элемента питания также было незначительным, но выделялся 4 вариант (первая органо-минеральная система удобрения), в котором в среднем по фонам кислотности содержание магния было на 15% (в относительных единицах) выше, чем в варианте без удобрения (1 вариант, контроль).

Таким образом, изменение кислотности почвы практически не влияет на уровень содержания кальция и магния в растительной массе вико-овсяной смеси, а под влиянием систем удобрения больше изменяется содержание CaO, чем MgO.

Несмотря на вышеизложенные промежуточные выводы, стоит заметить, что непосредственно вынос элементов питания с урожаем с единицы площади изменялся в зависимости от применяемых систем удобрения и практически не зависел от уровня кислотности почвы (табл. 3).

Изменение количества вынесенных элементов (CaO + MgO), в зависимости от системы удобрения произошло в сторону увеличения от варианта без удобрения (контроль, 1 вариант) к варианту со второй органо-минеральной системой удобрения (5 вариант). Разница в уровне выноса между этими вариантами составила 63%, что в первую очередь связано с различием в урожайности (см. табл. 1), а не с изменением содержания элементов в зеленой массе.

Стоит отметить, что на практике вынос с единицы площади рассчитывается крайне редко, поскольку требуется учитывать как урожайность, так и изменение почвенного плодородия под действием удобрений, несмотря на то, что данный метод дает более точные результаты по выносу элементов питания и позволяет, в первом приближении, оценить скорость расхода Ca и Mg, содержащихся в почве, на формирование урожая в зави-

Таблица 3. Вынос кальция и магния с урожаем зеленой массы вико-овсяной смеси в зависимости от систем удобрения и уровня кислотности почвы

Системы удобрения – фактор В	Элемент	Уровни кислотности – фактор А					
		вынос, кг/га			вынос 1 т сена, кг		
		5,1–5,2 ед.	5,7–5,9 ед.	среднее	5,1–5,2 ед.	5,7–5,9 ед.	среднее
1. Без удобрений (контроль)	CaO	40,0	41,3	40,7	4,5	4,7	4,6
	MgO	17,5	17,2	17,4	1,9	2,0	2,0
	сумма	57,5	58,5	58,1	6,4	6,6	6,5
2. Органическая	CaO	54,8	52,0	53,4	4,8	4,6	4,7
	MgO	21,8	22,4	22,1	1,9	2,0	2,0
	сумма	76,6	74,4	75,5	6,7	6,6	6,7
3. Минеральная	CaO	53,8	57,0	55,4	4,9	4,9	4,9
	MgO	23,3	23,3	23,3	2,1	2,0	2,1
	сумма	77,1	80,3	78,7	7,0	6,9	7,0
4. Первая органо-минеральная	CaO	61,4	64,8	63,1	5,1	4,7	4,9
	MgO	26,9	30,0	28,5	2,3	2,2	2,3
	сумма	88,3	94,8	91,6	7,4	6,9	7,2
5. Вторая органо-минеральная	CaO	66,2	67,2	66,7	5,0	4,6	4,8
	MgO	29,4	27,0	28,2	2,2	1,9	2,1
	сумма	95,6	94,2	94,9	7,2	6,5	6,9
В среднем по опыту	CaO	55,2	56,5	55,9	4,9	4,7	4,8
	MgO	23,8	24,0	23,9	2,1	2,0	2,1
	сумма	79,0	80,5	79,8	7,0	6,7	6,9

Источник: данные авторов.

симости от уровня плодородия и применяемой системы удобрения.

На практике при расчете выноса элементов питания как на уровне хозяйства, так и на более высоких уровнях (муниципальном, региональном) используют т. н. коэффициент удельного выноса, т. е. выноса с единицей продукции. В случае с однолетними травосмесями урожай зеленой массы переводят в условное сено при помощи коэффициента 0,25, принятого как в статистической службе, так и в Агрохимслужбе, утвержденного Приказом Минсельхоза РФ № 792³. Урожайность зеленой массы вико-овсяной смеси по годам исследования представлена в работах (Налиухин и др., 2023; Ерегин, 2024).

По итогу нашей работы не удалось обнаружить значимых различий в выносе кальция и магния с единицей продукции (условное сено) как по фонам кислотности, так и в зависимости от применяемой системы удобрения. Однако расчет показал, что количественно $\text{CaO} + \text{MgO}$ выносилось с 1 т условного сена на уровне 6,7–7,0 кг. Данное значение отличается от принятого на сегодняшний день для расчета – 4,6 кг/т⁴.

В связи с этим предлагаем использовать уточненный коэффициент, равный 6,9, для расчета выноса карбонатов с урожаем однолетних смесей для территории Вологодской области. Это позволит более объективно оценивать скорость изменения содержания элементов питания в пахотном слое и рассчитывать срок действия известкового материала (как источника обогащения Ca и Mg пахотных почв).

Выводы

В результате проведенного исследования выявлено, что снижение кислотности пахотного слоя дерново-подзолистой почвы на 0,6–0,8 ед. pH_{kcl} под действием известкования не всегда обеспечивало статистически значимую прибавку урожайности, однако на уровне наблюдаемой тенденции увеличивало ее на 5% по сравнению с неизвесткованным фоном.

Содержание кальция в зеленой массе вико-овсяной смеси не зависело от изменения кислотности почвы, но повышалось при применении систем удобрения, по сравнению с вариантом без удобрения, до 0,89% с. в.

Содержание магния мало изменялось под действием известкования (снижения кислотности почвы), однако и применение систем удобрения не способствовало значительному увеличению показателя по отношению к контролю (без удобрения).

В результате расчетов вынос с единицы площади кальция и магния в совокупности более значительно изменялся при применении системы удобрения, чем при изменении кислотности пахотного слоя дерново-подзолистой почвы, и в среднем по опыту составил 79,8 кг/га.

Удельный вынос элементов (вынос с единицей урожая) практически не изменялся под действием систем удобрения и фона кислотности, в среднем по опыту он составил 6,9 кг на 1 т условного сена. Данный показатель рекомендуем использовать при расчетах выноса карбонатов из почвы с урожаем сена однолетних бобово-злаковых смесей на территории Вологодской области вместо применяющегося коэффициента 4,6 кг.

³ Об утверждении методических рекомендаций по бухгалтерскому учету затрат на производство и калькулированию себестоимости продукции (работ, услуг) в сельскохозяйственных организациях: Приказ Минсельхоза РФ № 792 от 6 июня 2003 г.

⁴ Приемы повышения плодородия почв (известкование, фосфоритование, гипсование) (2021): науч.-метод. реком. / под ред. М.М. Овчаренко [и др.]. Москва: Минсельхоз России. 115 с.

ЛИТЕРАТУРА

- Аканова Н.И., Шильников И.А., Ефремова С.Ю. [и др.] (2017). Значение химической мелиорации в земледелии и потери кальция и магния из почвы // Проблемы агрохимии и экологии. № 1. С. 28–35.
- Борисочкина Т.И., Котельникова А.Д., Рогова О.Б. (2022). Массоперенос химических элементов и их соединений в агроценозах // Бюллетень Почвенного института им. В.В. Докучаева. № 110. С. 114–147. DOI: 10.19047/0136-1694-2022-110-114-147
- Васбиева М.Т. (2016). Влияние длительного применения осадков сточных вод в качестве удобрения на продуктивность зернотравяного севооборота и качество сельскохозяйственных культур // Агрохимия. № 1. С. 44–51.
- Демиденко Г.А. (2024). Влияние биологизации кормового севооборота на урожайность и качество клубней картофеля на юге Красноярского края // Инновационные технологии производства конкурентоспособной, экологически безопасной продукции животноводства: мат-лы Междунар. науч.-практ. конф. Чита: Иркутский гос. аграрн. ун-т им. А.А. Ежевского. С. 118–124.
- Ерегин А.В. (2024). Эффективность использования азота культурами звена полевого севооборота при различных системах удобрения // Плодородие. № 4. С. 31–37. DOI: 10.25680/S19948603.2024.139.07
- Иовик Л.Н., Дашкевич М.М. (2022). Вынос ячменем элементов питания и их баланс при применении известковых мелиорантов на среднекислой дерново-подзолистой супесчаной почве // Мелиорация. № 1. С. 48–53.
- Косолапов В.М., Чуйков В.А., Худякова Х.К., Косолапова В.Г. (2019). Минеральные элементы в кормах и методы их анализа: монография. Москва: Угрешская типография. 272 с.
- Лапа В.В., Кулеш О.Г., Лопух М.С. (2013). Вынос и баланс элементов питания в зернотравяном севообороте на дерново-подзолистой легкосуглинистой почве // Почвоведение и агрохимия. № 2. С. 143–150.
- Миникаев Р.В., Фасхутдинов Ф.Ш., Михайлова М.Ю. (2022). Управление факторами почвенного плодородия в условиях Республики Татарстан // Агробиотехнологии и цифровое земледелие. № 4. С. 34–39. DOI: 10.12737/2782-490X-2022-34-39
- Налиухин А.Н., Завалин А.А., Силуянова О.В. [и др.] (2017). Влияние биоудобрений и известкования на продуктивность вико-овсяной смеси и изменение микробиоценоза дерново-подзолистой почвы // Российская сельскохозяйственная наука. № 6. С. 21–26.
- Налиухин А.Н., Ерегин А.В., Демидов Д.В. [и др.] (2023). Изменение агрохимических свойств дерново-подзолистой почвы и продуктивности зернотравяного севооборота в зависимости от баланса питательных веществ // Агрохимия. № 1. С. 3–12. DOI: 10.31857/S0002188123010076
- Небольсина З.П., Николаев И.Н., Лобзева Г.А. [и др.] (2016). К балансу кальция и магния в почве за 58-летний период проведения опыта // 75 лет Географической сети опытов с удобрениями: мат-лы Всерос. совещания науч. учреждений – участников Географической сети опытов с удобрениями. Москва: ВНИИ агрохимии им. Д.Н. Прянишникова. С. 181–184.
- Панасин В.И., Рымаренко Д.А. (2014). Анализ динамики кислотности почв сельскохозяйственных угодий Калининградской области // Агрохимический вестник. № 5. С. 15–18.
- Сычев В. Г., Налиухин А. Н., Ерегин А. В. [и др.] (2022). Углерод – секвестрирующая оценка различных систем удобрения и определение эмиссии N₂O в длительном полевом опыте // Плодородие. № 6. С. 73–77. DOI: 10.25680/S19948603.2022.129.19
- Цвирков В. В., Босак В. Н. (2009). Кормовая продуктивность и качество горохо-ячменной смеси в зависимости от применения удобрений на дерново-подзолистой легкосуглинистой почве // Почвоведение и агрохимия. № 1. С. 128–134.
- Чеботарев Н.Т., Броварова О.В. (2023). Влияние длительного применения органических и минеральных удобрений на агрохимические свойства дерново-подзолистой почвы и продуктивность однолетних трав в кормовом севообороте европейского Севера // Агрохимия. № 3. С. 53–59. DOI: 10.31857/S0002188123030031

Шильников И.А., Сычев В.Г., Шедужен А.Х. [и др.] (2012). Потери элементов питания растений в агробиогеохимическом круговороте веществ и способы их минимизации: монография. Москва: ВНИИ агрохимии им. Д.Н. Прянишникова. 351 с.

Яковлева М.И., Дементьев Д.А., Салюкова Н.Н. (2017). Действие и последствие зернобобовых культур в звеньях севооборота // Пермский аграрный вестник. № 2. С. 91–96.

Сведения об авторах

Александр Владимирович Ерегин – кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник, Вологодский научный центр Российской академии наук (Российская Федерация, 160555, г. Вологда, с. Молочное, ул. Ленина, д. 14; e-mail: szniirast@mail.ru)

Светлана Викторовна Ерегина – кандидат географических наук, старший научный сотрудник, Вологодский научный центр Российской академии наук (Российская Федерация, 160014, г. Вологда, ул. Горького, д. 56а; e-mail: ereginasv@mail.ru)

THE IMPACT OF FERTILIZER SYSTEMS ON THE CONTENT AND REMOVAL OF CALCIUM AND MAGNESIUM BY THE YIELD OF GREEN MASS OF VETCH-OAT MIXTURE ON DIFFERENT BACKGROUNDS OF SOIL ACIDITY

Eregin A.V., Eregina S.V.

The balance of calcium and magnesium carbonates determines the change of acidity level in arable soils. It is required an adequate assessment of their removal with crop yields to calculate the balance of nutrient elements. The aim of the study is to investigate the effect of traditional fertilizer systems on two backgrounds of arable layer acidity on the content of calcium and magnesium in the green mass of vetch-oat mixture and to quantify the alienation of elements with yield from the soil. The main research method is long-term field experiment on sod-podzolic medium-cultivated soil. The peculiarity of the experiment was a long period of research (5 years) under different agroclimatic conditions. Dry matter yield increase from the decrease in soil acidity on average for 5 years amounted to 5%. Yield growth from fertilization systems for the same period of time ranged from 27 to 59% in relation to the variant without fertilization. On average in the experiment at dry matter yield of 6.7 t/ha, the total yield removal of calcium and magnesium from the soil was 79.8 kg/ha. The value of removal depended more on the fertilizer system than on the soil acidity background. Calcium and magnesium content in green mass of vetch-oat mixture changed more under the influence of fertilizer systems than depended on soil acidity background. On average, the content of CaO in the green mass was 0.83%, and MgO – 0.35% of dry matter (d.m.). According to the research results, we proposed the refined coefficient for calculating the calcium and magnesium removal from the soil by the hay crop of annual legume-grass mixtures grown in the Vologda Region, equal to 6.9 kg per 1 ton of conventional hay.

Soil fertility, yield, vetch-oat mixture, calcium and magnesium removal, fertilizer system.

REFERENCES

- Akanova N.I., Shil'nikov I.A., Efremova S.Yu. et al. (2017). Importance of chemical reclamation in agriculture and losses of calcium and magnesium from soil. *Problemy agrokhimii i ekologii*, 1, 28–35 (in Russian).
- Borisochkina T.I., Kotel'nikova A.D., Rogova O.B. (2022). The mass transfer of chemical elements and of their compounds in agrocenoses. *Byulleten' Pochvennogo instituta im. V.V. Dokuchaeva=Dokuchaev Soil Bulletin*, 110, 114–147. DOI: 10.19047/0136-1694-2022-110-114-147 (in Russian).
- Vasbieva M.T. (2016). Effect of long-term application of sewage sludge as fertilizer on productivity of grain-grass crop rotation and quality of crops. *Agrokimiya*, 1, 44–51 (in Russian).
- Demidenko G.A. (2024). Influence of biologization of forage crop rotation on yield and quality of potato tubers in the south of Krasnoyarsk region. In: *Innovatsionnye tekhnologii proizvodstva konkurentosposobnoi, ekologicheskii bezopasnoi produktsii zhivotnovodstva: mat-ly Mezhdunar. nauch.-prakt. konf.* [Innovative Technologies of Production of Competitive, Ecologically Safe Livestock Products: Materials of International Scientific-Practical Conference]. Chita: Irkutskii gos. agrarn. un-t im. A.A. Ezhevskogo (in Russian).
- Eregin A.V. (2024). The efficiency of nitrogen use by crops of the field crop rotation link in various fertilizer systems. *Plodorodie*, 4, 31–37. DOI: 10.25680/S19948603.2024.139.07 (in Russian).
- Iovik L.N., Dashkevich M.M. (2022). The nutrient removal by Barley and nutrient balance during ameliorants application on sod-podzolic sandy loam soil. *Melioratsiya=Land Reclamation*, 1, 48–53 (in Russian).
- Kosolapov V.M., Chuikov V.A., Khudyakova Kh.K., Kosolapova V.G. (2019). *Mineral'nye elementy v kormakh i metody ikh analiza: monografiya* [Mineral Elements in Forages and Methods of Their Analysis: Monograph]. Moscow: Ugreshskaya tipografiya.
- Lapa V.V., Kulesh O.G., Lopukh M.S. (2013). Removal and balance of nutrients in grain-grass crop rotation on sod-podzolic light loamy soil. *Pochvovedenie i agrokimiya=Soil Science and Agrochemistry*, 2, 143–150 (in Russian).
- Minikaev R.V., Faskhutdinov F.Sh., Mikhailova M.Yu. (2022). Management of soil fertility factors in the conditions of the Republic of Tatarstan. *Agrobiotekhnologii i tsifrovoe zemledelie*, 4, 34–39. DOI: 10.12737/2782-490X-2022-34-39 (in Russian).
- Naliukhin A.N., Zavalin A.A., Siluyanova O.V. et al. (2017). Effect of biofertilizers and liming on productivity of vetch-oat mixture and changes in microbiocenosis of sod-podzolic soil. *Rossiiskaya sel'skokhozyaistvennaya nauka*, 6, 21–26 (in Russian).
- Naliukhin A.N., Eregin A.V., Demidov D.V. et al. (2023). Change of agrochemical properties of sod-podzolic soil and productivity of grain-grass crop rotation depending on the balance of nutrients. *Agrokimiya*, 1, 3–12. DOI: 10.31857/S0002188123010076 (in Russian).
- Nebol'sina Z.P., Nikolaev I.N., Lobzeva G.A. et al. (2016). To the balance of calcium and magnesium in the soil over the 58-year period of the experiment. In: *75 let Geograficheskoi seti opytov s udobreniyami: mat-ly Vseros. soveshchaniya nauch. uchrezhdenii – uchastnikov Geograficheskoi seti opytov s udobreniyami* [75 Years of Geographical Network of Experiments with Fertilizers: Proceedings of the All-Russian Meeting of Scientific Institutions – Participants of the Geographical Network of Experiments with Fertilizers]. Moscow: VNII agrokhimii im. D.N. Pryanishnikova (in Russian).
- Panasin V.I., Rymarenko D.A. (2014). Analysis of soil acidity dynamics in agricultural soils of the Kaliningrad Region. *Agrokhimicheskii vestnik*, 5, 15–18 (in Russian).
- Sychev V.G., Naliukhin A.N., Eregin A.V. et al. (2022). Carbon – sequestering evaluation of different fertilizer systems and determination of N₂O emission in a long-term field experiment. *Plodorodie*, 6, 73–77. DOI: 10.25680/S19948603.2022.129.19 (in Russian).
- Tsvirkov V.V., Bosak V.N. (2009). Fodder productivity and quality of pea-barley mixture depending on fertilizer application on sod-podzolic light loamy soil. *Pochvovedenie i agrokimiya*, 1, 128–134 (in Russian).

Chebotarev N.T., Brovarova O.V. (2023). Influence of long-term application of organic and mineral fertilizers on agrochemical properties of sod-podzolic soil and productivity of annual grasses in forage crop rotation in the European North. *Agrokimiya*, 3, 53–59. DOI: 10.31857/S0002188123030031 (in Russian).

Shil'nikov I.A., Sychev V.G., Sheudzhen A.Kh. et al. (2012). *Poteri elementov pitaniya rastenii v agrobiogeokhimicheskom krugovorote veshchestv i sposoby ikh minimizatsii: monografiya* [Losses of Plant Nutrition Elements in the Agrobiogeochemical Cycle of Substances and Ways to Minimize Them: Monograph]. Moscow: VNIИ agrokhimii im. D.N. Pryanishnikova.

Yakovleva M.I., Dement'ev D.A., Salyukova N.N. (2017). Action and aftereffects of leguminous crops in crop rotation links. *Permskii agrarnyi vestnik*, 2, 91–96 (in Russian).

Information about the authors

Aleksandr V. Ereġin – Candidate of Sciences (Agriculture), Leading Researcher Vologda Research Center, Russian Academy of Sciences (14, Lenin Street, Molochnoe Rural Settlement, Vologda, 160555, Russian Federation; e-mail: szniirast@mail.ru)

Svetlana V. Ereġina – Candidate of Sciences (Geography), Senior Researcher, Vologda Research Center, Russian Academy of Sciences (56A, Gorky Street, Vologda, 160014, Russian Federation; e-mail: ereġinasv@mail.ru)