

<https://doi.org/10.30766/2072-9081.2021.22.3.385-392>

УДК 631.452:631.559.2:633.31/37

Влияние минеральных удобрений и известкования на свойства дерново-подзолистых почв и продуктивность бобово-злаковой травосмеси в условиях Республики Коми

© 2021. Н. Т. Чеботарев, О. В. Броварова ✉

Институт агробиотехнологий им. А. В. Журавского Коми НЦ УрО РАН,
г. Сыктывкар, Российская Федерация

Исследования проводили в 1998-2018 гг. в условиях Республики Коми. Изучали эффективность однократного внесения (1983 г.) доз извести (по 1,0; 2,0; 2,5 г. к.) и систематического использования минеральных удобрений ($N_{60}P_{75}K_{75}$) на фоне последствия извести при возделывании многолетней травосмеси (клевер луговой, тимофеевка луговая и ежа сборная). Высокую эффективность показало известкование в дозах 2,0 и 2,5 г. к., которые по истечению 35 лет после их внесения в почву продолжали действовать. В 2018 году обменная кислотность составила 4,5-4,8 ед. рН_{KCl} (исходная 4,1-4,2 ед. рН_{KCl}). Подобное снижение отмечено и по гидролитической кислотности и содержанию обменного алюминия в почве. Количество гумуса к 2018 году повысилось до 1,7-1,8 % (исходное 1,4-1,5 %). Средняя урожайность многолетних трав при известковании почвы в дозах 2,0 и 2,5 г. к. составила 24,0-25,1 т/га зеленой массы (5,3-5,5 т/га сухого вещества хорошего качества), что на 52,8-59,8 % выше варианта без удобрений (15,7 т/га зеленой массы и 3,7 т/га сухого вещества). В варианте с систематическим применением НРК обменная кислотность почвы и содержание гумуса практически остались на исходном уровне, количество подвижных форм фосфора и калия повысилось до 198 и 121 мг/кг почвы (исходное 42 и 62 мг/кг). Среднегодовая урожайность трав составила 25,3 т/га зеленой массы (5,4 т/га с. в.) и на 61,1 и 45,9 % превысила контроль. На фоне последствия известняковой муки влияние НРК на свойства почвы было аналогичным эффекту от известкования без внесения удобрений, за исключением значительного повышения обеспеченности подвижными формами фосфора и калия – до 254-288 и 148-166 мг/кг соответственно. Получена высокая урожайность зеленой массы 28,1-30,7 т/га (6,4-6,7 т/га с. в.), превышающая контроль на 78,9-95,5 %. В указанных вариантах получена травосмесь с высоким качеством: содержание сырого протеина – 13,8-13,9 %; сухого вещества – 21,8-21,9 %; общего фосфора – 0,92-0,94 %; калия – 2,93-2,95 % и кальция – 0,79-0,81 %. Количество нитратов в корме не превышало ПДК (147-149 мг/кг с. м.) Длительные исследования на дерново-подзолистой слабокультуренной почве показали, что оптимальным приемом при возделывании многолетней бобово-злаковой травосмеси явилось использование известняковой муки (по 2,0 и 2,5 г. к.) и ежегодное применение $N_{60}P_{75}K_{75}$.

Ключевые слова: обменная и гидролитическая кислотность, известь, минеральные удобрения, сырой протеин, кальций, нитраты, подвижные формы фосфора и калия

Благодарности: работа выполнена при поддержке Минобрнауки РФ в рамках Государственного задания (тема № 0333-2019-0008).

Авторы благодарят рецензентов за их вклад в экспертную оценку данной работы.

Конфликт интересов: авторы заявили об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Чеботарев Н. Т., Броварова О. В. Влияние минеральных удобрений и известкования на свойства дерново-подзолистых почв и продуктивность бобово-злаковой травосмеси в условиях Республики Коми. Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2021;22(3):385-392. DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2021.22.3.385-392>

Поступила: 25.03.2021

Принята к публикации: 01.06.2021

Опубликована онлайн: 23.06.2021

The effect of mineral fertilizers and liming on the properties of sod-podzolic soils and the productivity of legume-grass mixture in the conditions of the Komi Republic

© 2021. Nikolay T. Chebotarev, Olga V. Brovarova ✉

A. V. Zhuravsky Institute of Agro-Biotechnologies of Komi Science Centre of the Ural
Branch of the Russian Academy of Sciences, Syktyvkar, Russian Federation

The research was carried out in 1998-2018 in the conditions of the Komi Republic. Under study was the effectiveness of single application (1983) of lime doses (1.0; 2.0; 2.5 h. a.) and the systematic use of mineral fertilizers ($N_{60}P_{75}K_{75}$) against the background of lime effect in the cultivation of perennial grass mixtures (meadow clover, meadow timothy and cocksfoot). High efficiency was shown by liming at doses of 2.0 and 2.5 h. a., the effect remained for 35 years since their introduction to the soil. Thus, in 2018, the exchange acidity was 4.5-4.8 рН_{KCl} (the initial 4.1-4.2 рН_{KCl}). A similar decrease was observed

in the hydrolytic acidity and the content of exchangeable aluminum in the soil. The amount of humus by 2018 increased to 1.7-1.8 % (the initial 1.4-1.5 %). The average yield of perennial grasses during soil liming at doses of 2.0 and 2.5 h.a. was 24.0-25.1 t/ha of green mass (5.3-5.5 t/ha of good quality dry matter), which is 52.8-59.8 % higher than the variant without fertilizers (15.7 green mass and 3.7 t/ha of dry matter). In the variant with the systematic use of NPK, the exchange acid content of the soil and the humus content remained at the initial level, the amount of the mobile forms of phosphorus and potassium increased to 198 and 121 mg/kg of soil (the initial 42 and 62 mg/kg). The average annual yield of grasses was 25.3 t/ha of green mass (5.4 t/ha dry matter) and was 61.1 and 45.9 % higher than the control. Against the background of the aftereffect of lime flour, the effect of NPK on soil properties was similar to the effect of non-fertilizing cultivation, with the exception of a significant increase in the availability of mobile forms of phosphorus and potassium – up to 254-288 and 148-166 mg/kg, respectively. A high yield of green mass of 28.1-30.7 t/ha (6.4-6.7 t/ha dry matter) was obtained, exceeding the control by 78.9-95.5 %. In these variants, grass mixture of high quality was obtained: the content of crude protein – 13.8-13.9 %; dry matter – 21.8-21.9 %; the content of total phosphorus – 0.92-0.94 %; potassium – 2.93-2.95 % and calcium – 0.79-0.81 %. The amount of nitrates in the feed did not exceed the MPC (147-149 mg/kg dry matter). Long-term studies on sod-podzolic poorly cultivated soil showed that the optimal method for the cultivation of long-term legume-cereal grass mixture was the use of lime flour (2.0 and 2.5 h.a.) and the annual use of $N_{60}P_{75}K_{75}$.

Keywords: exchangeable and hydrolytic acidity, lime, mineral fertilizers, crude protein, calcium, nitrates, mobile forms of phosphorus and potassium

Acknowledgement: the research was supported by the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation within the state assignment (theme No. 0333-2019-0008).

The authors thank the reviewers for their contribution to the peer review of this work.

Conflict of interest: the authors declare no conflict of interest.

For citation: Chebotarev N. T., Brovarova O. V. The effect of mineral fertilizers and liming on the properties of sod-podzolic soils and the productivity of legume-grass mixtures in the conditions of the Komi Republic. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka = Agricultural Science Euro-North-East*. 2021;22(3):385-392. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2021.22.3.385-392>

Received: 25.03.2021

Accepted for publication: 01.06.2021

Published online: 23.06.2021

Республика Коми расположена на крайнем Северо-Востоке европейской части Российской Федерации, что определяет относительную суровость ее природных почвенно-климатических условий [1]. Почвы на территории республики изменяются в зависимости от характера рельефа, климата, материнских пород, водного режима, органического мира. В тундровой зоне основной тип почв – глеевые подзолистые почвы, отличающиеся сильным переувлажнением, слабым накоплением органической массы. Территория Республики Коми представлена в основном типичными подзолистыми и дерново-подзолистыми почвами, которые характеризуются недостатком азота и подвижных соединений фосфора и калия, высокой кислотностью, губительно действующей на растительность и полезную микрофлору, а также на образование и накопление органического вещества в верхних слоях почвы. Недостаток минеральных удобрений в российском земледелии, обусловленный экономическими причинами, повышает значение методов экологически адаптивного управления процессами воздействия извести в сочетании с минеральными удобрениями на почвенно-растительную систему для сохранения и увеличения плодородия кислых дерново-подзолистых почв, получения высокой про-

дуктивности и устойчивости агроэкосистем к стрессовым ситуациям в условиях Севера.

Внесение извести в почву нормализует ее кислотность, улучшает структуру верхнего плодородного слоя, попутно обогащая его кальцием, значительно снижая обменную и гидролитическую кислотность, и увеличивает степень насыщенности основаниями¹. Известкование оказывает многостороннее действие на свойства почвы, создает благоприятную среду для роста растений и жизнедеятельности полезных микроорганизмов. При внесении извести снижается содержание в почве подвижных соединений алюминия, железа и марганца, они переходят в нерастворимую форму и поэтому устраняется вредное действие на растения [2, 3].

Продолжительность действия известковых материалов зависит от их вида, нормы внесения и выращиваемых культур [4, 5]. Важные изменения физико-химических параметров дерново-подзолистых почв происходят при внесении полной дозы извести и проявляются в течение 15-20 лет [6, 7, 8].

Многолетнее использование минеральных удобрений в комплексе с известкованием позволяет создать благоприятные условия для улучшения почвенного плодородия [9, 10, 11] и питания растений [12, 13, 14, 15].

¹Тюрин И. В. Органическое вещество почвы и его роль в плодородии. М.: Наука, 1965. 320 с.

В данной научной работе представлены многолетние исследования по использованию минеральных удобрений на фоне известкования дерново-подзолистых почв Республики Коми.

Цель исследований – изучить влияние систематического применения химических удобрений на фоне последствий известняковой муки на физико-химические свойства дерново-подзолистой почвы и продуктивность многолетних трав.

Материал и методы. Исследования проводили в период 1998–2018 гг. в полевом стационарном опыте Института агробиотехнологий им. А. В. Журавского Коми НЦ УрО РАН Республики Коми по методике Б. А. Доспехова².

Почва опытного участка дерново-подзолистая среднесуглинистая, характеризующаяся до закладки опыта низким уровнем плодородия со следующими физико-химическими показателями: pH_{KCl} 4,1–4,3; содержание гумуса – 1,3–1,6 %; гидролитическая кислотность – 5,6–6,0 ммоль/100 г почвы; степень насыщенности основаниями (Ca + Mg) – 42–45 %; содержание в почве подвижного фосфора – 32–44 мг/кг; обменного калия – 49–77 мг/кг и обменного алюминия – 0,8–2,8 ммоль/100 г почвы.

В качестве мелиоранта однократно (1983 г.), в год закладки опыта, внесли известь нейтрализующей способностью 92 % в дозах 1,0; 2,0 и 2,5 величины гидролитической кислотности (г. к.). В последующие годы изучали последствие указанных доз извести.

Схема опыта: без удобрений (контроль); известь 1,0 г. к.; известь 2,0 г. к.; известь 2,5 г. к.; $N_{60}P_{75}K_{75}$; известь 1 г. к. + $N_{60}P_{75}K_{75}$; известь 2,0 г. к. + $N_{60}P_{75}K_{75}$; известь 2,5 г. к. + $N_{60}P_{75}K_{75}$.

В 1998–2018 гг. изучали последствия трех доз извести без внесения минеральных удобрений, а также при ежегодном их применении ($N_{60}P_{75}K_{75}$) в форме аммиачной селитры (34 % д. в.), двойного суперфосфата (45 % д. в.) и хлористого калия (60 % д. в.). При пересеве многолетних трав (один раз в шесть лет) минеральные удобрения вносили под основную обработку почвы. В другие годы исследований их применяли рано весной в начале вегетации, в подкормку (вручную, поделяночно).

На опытном участке за все годы исследований возделывалась бобово-злаковая травосмесь: клевер луговой Трио, тимофеевка луговая Северодвинская и ежа сборная Хлыновская. Норма высева травосмесей: клевер

луговой – 8 кг/га, тимофеевка луговая – 6 кг/га и ежа сборная – 6 кг/га.

Площадь делянки составила 50 м², повторность опыта четырехкратная. Учет урожайности сплошной поделяночный.

В научной работе использовали следующие методы анализов: в почве – гумус (ГОСТ 26213-91), гидролитическая кислотность (ГОСТ 27821-88); pH в солевой вытяжке (ГОСТ 26207-91); подвижные формы фосфора и калия (ГОСТ 26207-91); в растениях – азот общий фотоколориметрическим методом; сырая клетчатка по Геннебергу и Штоману; сырая зола сухим озолением в муфельной печи; общий фосфор (ГОСТ 26657-97); общий калий на пламенном фотометре после сухого озоления, сырой протеин расчетным методом, нитратный азот ионоселективным методом.

Результаты и их обсуждение. Систематические научные исследования показали, что известняковая мука, внесенная в 1983 г. в дозах 1,0; 2,0; 2,5 г. к., в различной степени влияла на физико-химические показатели дерново-подзолистой почвы.

Известь, внесенная в дозе 1,0 г. к., к 2000 г. нейтрализовала обменную кислотность до 4,8 ед. pH_{KCl} (табл. 1), но к 2010 году кислотность почвы повысилась до исходного значения и последующие восемь лет оставалась на этом уровне (4,2–4,3 ед. pH_{KCl}). В контроле показатели обменной кислотности были относительно стабильными.

Подобная закономерность отмечена и по гидролитической кислотности. Гидролитическая кислотность снизилась до 4,9 ммоль/100 г почвы (2000 г.) и стабилизировалась на этом уровне последующие 18 лет.

Длительное последствие извести на дерново-подзолистой почве привело к улучшению показателей кислотности пахотного слоя. Также известкование снизило количество обменного алюминия во всех вариантах опытного участка, положительный эффект заключается в том, что при этом улучшился катионный состав почвенного поглощающего комплекса в следствие замены ионов водорода и алюминия на катионы кальция, что привело к повышению степени насыщенности почвы основаниями. После внесения извести данные агрохимические показатели почвы сохраняются в течение ряда лет.

²Доспехов Б. А. Методика полевого опыта (с основами статической обработки результатов исследований). 5-е изд., дополненное и переработанное. М.: Агропромиздат, 1985. 351 с.

Таблица 1 – Влияние минеральных удобрений и извести на показатели кислотности дерново-подзолистой почвы / Table 1 – The effect of mineral fertilizers and lime on the acidity of sod-podzolic soil

Вариант / Variant	pH_{KCL}				<i>Hr</i>				<i>Al</i>			
					ммоль/100г почвы / mmol/100g of soil							
	1983	2000	2010	2018	1983	2000	2010	2018	1983	2000	2010	2018
Контроль / Control	4,1	4,1	4,2	4,1	5,8	6,6	5,5	5,8	0,8	0,6	0,5	0,6
Известь 1,0 г. к. / Lime 1.0 h. a.	4,2	4,8	4,2	4,3	5,6	4,9	4,8	4,9	2,8	0,8	0,4	0,7
Известь 2,0 г. к. / Lime 2.0 h.a.	4,2	5,4	4,8	4,5	5,7	4,8	4,4	4,3	2,4	0,6	0,2	0,4
Известь 2,5 г. к. / Lime 2.5 h. a.	4,1	5,6	5,1	4,8	5,9	4,7	4,2	4,0	1,6	0,4	0,5	0,6
$N_{60}P_{75}K_{75}$	4,3	4,2	4,4	4,3	5,8	6,2	6,2	6,1	2,4	0,9	1,6	1,8
Известь 1,0 г. к. + $N_{60}P_{75}K_{75}$ / Lime 1.0 h. a. + $N_{60}P_{75}K_{75}$	4,1	5,1	4,8	4,4	5,6	4,8	4,3	4,1	2,7	0,7	0,6	0,7
Известь 2,0 г. к. + $N_{60}P_{75}K_{75}$ / Lime 2.0 h.a. + $N_{60}P_{75}K_{75}$	4,3	5,4	5,1	4,6	6,0	5,2	4,1	3,9	1,9	0,9	0,8	0,6
Известь 2,5 г. к. + $N_{60}P_{75}K_{75}$ / Lime 2.5 h. a. + $N_{60}P_{75}K_{75}$	4,1	5,8	5,4	4,8	5,9	5,0	3,9	3,5	2,1	0,8	0,5	0,4
НСР ₀₅ / LSD ₀₅	0,42	0,51	0,47	0,44	0,57	0,48	0,42	0,43	0,26	0,07	0,07	0,05

Самое длительное последствие извести (более 35 лет) наблюдалось при ее внесении в дозах 2,0 и 2,5 г. к. За период 1983-2018 гг. содержание гумуса в вариантах с тремя дозами

извести и контроле, как и количество подвижных форм фосфора и калия, изменилось незначительно, в пределах ошибки опыта (табл. 2).

Таблица 2 – Влияние мелиорантов и минеральных удобрений на агрохимические показатели дерново-подзолистой почвы / Table 2 – The effect of ameliorants and mineral fertilizers on agrochemical parameters of sod-podzolic soil

Вариант / Variant	Гумус, % / Humus, %				P_2O_5				K_2O			
					мг/кг почвы / mg/kg of soil							
	1983	2000	2010	2018	1983	2000	2010	2018	1983	2000	2010	2018
Контроль / Control	1,6	1,7	1,7	1,6	34	37	28	34	77	64	53	52
Известь 1,0 г. к. / Lime 1.0 h. a.	1,6	1,7	1,8	1,6	41	39	37	45	49	46	41	50
Известь 2,0 г. к. / Lime 2.0 h. a.	1,5	1,6	1,8	1,7	43	41	35	62	66	57	46	66
Известь 2,5 г. к. / Lime 2.5 h. a.	1,4	1,8	1,9	1,8	32	43	39	66	58	69	51	74
$N_{60}P_{75}K_{75}$	1,4	1,5	1,6	1,4	42	126	144	198	62	92	112	121
Известь 1,0 г. к. + $N_{60}P_{75}K_{75}$ / Lime 1.0 h. a. + $N_{60}P_{75}K_{75}$	1,5	1,6	1,9	2,0	44	138	156	212	74	88	124	134
Известь 2,0 г. к. + $N_{60}P_{75}K_{75}$ / Lime 2.0 h. a. + $N_{60}P_{75}K_{75}$	1,6	1,6	2,0	2,1	38	145	184	254	57	108	141	148
Известь 2,5 г. к. + $N_{60}P_{75}K_{75}$ / Lime 2.5 h. a. + $N_{60}P_{75}K_{75}$	1,3	1,5	2,1	2,3	43	154	192	288	65	115	157	166

Таблица 3 – Влияние систематического применения минеральных удобрений и известняковой муки на урожайность многолетних трав, т/га (2011–2018 гг.) /
Table 3 – The effect of systematic use of mineral fertilizers and lime flour on the yield of perennial grasses, t/ha (2011–2018)

Вариант / Variant	2011 г.	2012 г.	2013 г.	2014 г.	2015 г.	2016 г.	2017 г.	2018 г.	Среднее за 8 лет / Average yield over 8 years	Прибавка к контролю, % / Increase to control, %
Контроль / Control	8,5 2,0	18,2 4,3	19,6 4,6	17,9 4,2	16,7 3,9	8,2 1,9	17,5 4,1	18,5 4,4	15,7 3,7	-
Известь 1,0 г.к / Lime 1.0 h.a	13,8 3,1	26,2 5,9	23,5 5,3	22,2 5,0	21,8 4,9	12,5 2,8	20,3 4,5	18,8 4,2	19,9 4,5	26,7 21,6
Известь 2,0 г.к / Lime 2.0 h.a	14,6 3,2	28,8 6,4	26,2 5,8	25,6 5,7	23,3 5,2	15,6 3,5	27,2 6,0	30,4 6,7	24,0 5,3	52,8 43,2
Известь 2,5 г.к / Lime 2.5 h.a	15,4 3,4	30,2 6,6	27,6 6,0	26,8 5,9	24,6 5,4	16,6 3,6	28,2 6,2	31,7 6,9	25,1 5,5	59,8 48,6
N ₆₀ P ₇₅ K ₇₅	14,4 3,1	32,1 6,9	28,8 6,2	27,3 5,8	25,4 5,4	16,0 3,4	29,4 6,3	29,2 6,2	25,3 5,4	61,1 45,9
Известь 1,0 г.к. + N ₆₀ P ₇₅ K ₇₅ / Lime 1,0 h. a. + N ₆₀ P ₇₅ K ₇₅	18,3 4,1	33,6 7,6	31,2 7,1	30,5 6,9	29,6 6,7	17,1 3,9	31,0 7,0	33,5 7,6	28,1 6,4	78,9 72,9
Известь 2,0 г.к. + N ₆₀ P ₇₅ K ₇₅ / Lime 2,0 h. a. + N ₆₀ P ₇₅ K ₇₅	21,0 4,6	34,8 7,6	35,4 7,7	32,6 7,1	30,6 6,7	20,7 4,5	34,4 7,5	35,8 7,8	30,7 6,7	95,5 81,0
Известь 2,5 г.к. + N ₆₀ P ₇₅ K ₇₅ / Lime 2,5 h. a. + N ₆₀ P ₇₅ K ₇₅	22,5 4,9	35,7 7,8	37,2 8,1	33,4 7,3	31,4 6,9	22,5 4,9	36,8 8,0	36,7 8,0	32,0 7,0	103,8 89,1
HCP _{0,5} / LSD ₀₅	1,82 0,39	2,45 0,53	3,12 0,68	2,54 0,55	2,62 0,57	1,94 0,42	2,56 0,55	2,66 0,58	-	-

Примечания: в числителе – урожайность зеленой массы; в знаменателе – сухой массы / Note: in the numerator – yield of green mass; in the denominator – dry mass.

В вариантах внесения минеральных удобрений на фоне последствий известности количества гумуса, подвижного фосфора и калия повышалось за счет накопления объемов корнепоживных остатков, их гумификации и минерализации. В варианте только с минеральными удобрениями содержание гумуса практически не изменялось, а содержание подвижных форм фосфора и калия повышалось.

Применение минеральных удобрений, а также их совместное использование с известью способствовали резкому повышению урожайности многолетних трав (табл. 3). Так, в среднем за восемь лет (2011–2018 гг.) исследований при внесении трех доз известности урожайность зеленой массы многолетних трав составила 19,9–25,1 т/га (4,5–5,5 т/га сухой массы), что на 26,7–59,8 % превышало контроль (в контроле 15,7 т/га).

Применение минеральных удобрений без известкования повышало урожайность зеленой массы многолетних трав до 25,3 т/га (5,4 т/га сухой массы), что на 61,1 % превышало контрольный вариант. Большая часть многолетних злаковых и бобовых трав предпочитают окультуренные дерново-подзолистые почвы с кислотностью 5,1–5,5 ед. рН_{KCl} (со слабокислой реакцией среды), поэтому в вариантах применения минеральных удобрений по фону известкования средняя урожайность многолетних трав увеличилась на 78,9–103,8 % (72,9–89,1 % сухой массы) и составила 28,1–32,0 т/га зеленой массы трав (6,4–7,0 т/га сухой массы).

Резкое увеличение урожайности многолетних трав произошло за счет снижения кислотности почвы, но в большей степени за счет трансформации корнепозжнивных остатков. В данном случае наблюдается процесс накопления органического вещества почвы, то есть формирование гумуса происходило за счет корнепозжнивных остатков растений. В случае с выращиванием многолетней травосмеси основная масса органики и гумус в пахотном слое почвы формируется за счет корневых систем

высших растений, которые под действием микроорганизмов, питательной средой которых является технический азот, способствуют минерализации органического вещества и переходу трудноусвояемых форм элементов питания в легкодоступные для растений.

Большое значение в сельскохозяйственном производстве наряду с получением высоких урожаев многолетних трав имеет их качество (табл. 4).

Таблица 4 – Влияние минеральных удобрений и известняковой муки на химический состав многолетних трав, % на сухое вещество (в среднем за 2011-2018 гг.) /

Table 4 – The effect of mineral fertilizers and lime flour on the chemical composition of perennial grasses, % per dry matter (average for 2011-2018)

<i>Вариант / Variant</i>	<i>Сухое вещество / Dry matter</i>	<i>Азот / Nitrogen</i>	<i>Сырой протеин / Crude protein</i>	<i>Фосфор общ. / Phosphorus total</i>	<i>Калий общ. / Potassium total</i>	<i>Кальций / Calcium</i>	<i>Нитраты, мг/кг сырой массы / Nitrates, mg/kg of raw weight</i>
Контроль / Control	23,7	1,65	10,3	0,72	2,03	0,68	95
Известь 1,0 г. к. / Lime 1.0 h. a.	22,6	1,77	11,1	0,76	2,06	0,72	104
Известь 2,0 г.к / Lime 2.0 h. a.	22,2	1,84	11,5	0,78	2,18	0,76	116
Известь 2,5 г.к / Lime 2.5 h. a.	21,9	1,91	11,9	0,81	2,31	0,77	124
N ₆₀ P ₇₅ K ₇₅	21,4	1,91	11,9	0,89	2,66	0,78	148
Известь 1,0 г. к. + N ₆₀ P ₇₅ K ₇₅ / Lime 1.0 h. a. + N ₆₀ P ₇₅ K ₇₅	22,7	1,96	12,3	0,91	2,82	0,77	137
Известь 2,0 г. к. + N ₆₀ P ₇₅ K ₇₅ / Lime 2.0 h. a. + N ₆₀ P ₇₅ K ₇₅	21,8	2,23	13,9	0,94	2,93	0,79	149
Известь 2,5 г. к. + N ₆₀ P ₇₅ K ₇₅ / Lime 2.5 h. a. + N ₆₀ P ₇₅ K ₇₅	21,9	2,26	13,8	0,92	2,95	0,81	147

Содержание сухого вещества при применении трех доз известняковой муки снижалось на 1,1-1,8 % и составило 21,9-22,6 % (в контроле 23,7 %). В вариантах с N₆₀P₇₅K₇₅, а также применения минеральных удобрений на фоне последействия извести содержание сухого вещества составило 21,4-22,7 %, что на 1,0-2,3 % ниже контроля.

Наиболее значимым показателем для кормления сельскохозяйственных животных является количество сырого протеина в корме. Его содержание в многолетних травах варьировало с 11,1 до 13,9 % (в контроле – 10,3 %). Наибольшее его количество отмечено в вариантах с дозами извести 2,0 и 2,5 г. к. + N₆₀P₇₅K₇₅ и составило 13,8-13,9 %. В этих

же вариантах отмечено наибольшее содержание фосфора – 0,92-0,94 % (в контроле – 0,72 %); калия 2,93-2,95 % (2,03 %) и кальция 0,79-0,81 % (0,68 %). Содержание нитратов в многолетних травах (147-149 мг/кг сырой массы) не превышало значений ПДК (250 мг/кг сырой массы)³.

Заключение. Длительное последействие трех доз извести (1,0, 2,0 и 2,5 г. к.) и применение NPK на фоне последействия мелиорантов снизило обменную и гидролитическую кислотности, а также количество обменного алюминия. Положительный эффект сохранялся для дозы 1,0 г. к. в течение 27 лет (до 2010 г.), а дозы 2,0 и 2,5 г. к. продолжали свое действие на протяжении 35 лет (до 2018 г.).

³ГОСТ Р 56912-2016. Зеленые корма. М.: Изд-во стандартов, 2016. 11 с.

Содержание гумуса, подвижных форм фосфора и калия в вариантах с тремя дозами известки и применением только минеральных удобрений изменялось в небольшой степени. Длительное применение НРК на фоне известкования способствовало повышению содержания гумуса на 0,5-1,0 %, количество подвижных форм фосфора и калия значительно повышалось за счет накопления корнепознанных остатков их гумификации и минерализации в почве.

Применение минеральных удобрений на фоне последействия известки способствовало значительному повышению урожайности многолетних трав и их качества. В наибольшей степени это относится к применению минеральных удобрений на фоне последействия высоких доз мелиорантов (2,0 и 2,5 г. к.) и является оптимальным приемом для возделывания многолетних бобово-злаковых травосмесей на кислых дерново-подзолистых почвах Севера.

Список литературы

1. Почвы и земельные ресурсы Коми АССР. Сыктывкар, 1975. 344 с.
2. Hirte J., Leifeld J., Abiven S., Oberholzer H.-R., Hammelehle A., Mayer J. Overestimation of crop root biomass in field experiments due to extraneous organic matter. *Front Plant Sci.* 2017;(8):284. DOI: <https://doi.org/10.3389/fpls.2017.00284>
3. Минеев В. Г., Васильев В. А., Лукьяненко И. И., Попов П. Д., Семенов П. Я., Харламов В. А. Органические удобрения в интенсивном земледелии. М.: Колос, 1984. 157 с.
4. Елькина Г. Я. Оптимизация минерального питания растений на подзолистых почвах. Екатеринбург.: УрО РАН, 2008. 276 с.
5. Шильников И. А., Сычев В. Г., Зеленев Н. А., Аканова Н. И. Известкование как фактор урожайности и почвенного плодородия. М.: ВНИИА, 2008. 340 с.
6. Витковская С. Е., Яковлев О. Н., Шаврина К. Ф. Влияние возрастающих доз доломитовой муки на кислотно-основные свойства дерново-подзолистой почвы. *Агрохимия.* 2016;(7):3-11. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=26470159>
7. Митрофанова Е. М. Влияние длительного применения минеральных удобрений и последействия известки на фосфатный режим дерново-поверхностно-подзолистой почвы Предуралья. *Агрохимия.* 2016;(7):36-43. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=26470163>
8. Хомченко А. А., Булатова Н. В., Чеботарев Н. Т. Влияние известки и минеральных удобрений на агрохимические свойства и продуктивность дерново-подзолистой почвы. *Земледелие.* 2016;(6):28-30. Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/vliyanie-izvesti-i-mineralnyh-udobreniy-na-agrohimicheskie-svoystva-i-produktivnost-dernovopodzolistoy-pochvy>
9. Завьялова Н. Е., Сторожева А. Н. Влияние длительного применения минеральных удобрений на фосфатный режим дерново-подзолистой тяжелосуглинистой почвы. *Агрохимия.* 2015;(9):33-40. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=24131693>
10. Афанасьев Р. А., Мерзлая Г. Е. Содержание подвижного калия в почвах при длительном применении удобрений. *Агрохимия.* 2013;(6):5-11. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=19421520>
11. Ghimire B., Ghimire R., VanLeeuwen D., Mesbah A. Covercrop residue amount and quality effects on soil organic carbon mineralization. *Sustainability.* 2017;(9):2316. DOI: <https://doi.org/10.3390/su9122316>
12. Титова В. И., Варламова Л. Д., Тюрникова Е. Г., Архангельская А. М., Нефедьева В. В. Изменение продуктивности культур и агрохимических показателей почвы в девятой ротации севооборота в многолетнем полевом опыте при применении удобрений. *Агрохимия.* 2013;(7):25-32. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=19421536>
13. Митрофанова Е. Н., Васбиева М. Т. Фосфатный режим дерново-подзолистой почвы при длительном применении органических и минеральных удобрений. *Агрохимия.* 2014;(9):13-19. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=21987376>
14. Минеев В. Г., Гомонова Н. Ф. Действие и последействие удобрений на плодородие дерново-подзолистой среднесуглинистой почвы. *Агрохимия.* 2005;(1):5-13. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=9140429>
15. Криштапоните И., Майкштене С. Влияние длительного применения различных систем удобрения на плодородие тяжелосуглинистой почвы и продуктивность севооборота. *Агрохимия.* 2005;(11):34-42. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=9150781>

References

1. *Pochvy i zemel'nye resursy Komi ASSR.* [Soils and land resources of the Komi ASSR]. Syktывkar, 1975. 344 p.
2. Hirte J., Leifeld J., Abiven S., Oberholzer H.-R., Hammelehle A., Mayer J. Overestimation of crop root biomass in field experiments due to extraneous organic matter. *Front Plant Sci.* 2017;(8):284. DOI: <https://doi.org/10.3389/fpls.2017.00284>

3. Mineev V. G., Vasil'ev V. A., Luk'yanenkov I. I., Popov P. D., Semenov P. Ya., Kharlamov V. A. *Organicheskie udobreniya v intensivnom zemledelii*. [Organic fertilizers in intensive agriculture]. Moscow: Kolos, 1984. 157 p.
4. El'kina G. Ya. *Optimizatsiya mineral'nogo pitaniya rasteniy na podzolistykh pochvakh*. [Optimization of mineral nutrition of plants on podzolic soils]. Ekaterinburg.: UrO RAN, 2008. 276 p.
5. Shil'nikov I. A., Sychev V. G., Zelenov N. A., Akanova N. I. *Izvestkovanie kak faktor urozhaynosti i pochvennogo plodorodiya*. [Liming as a factor of productivity and soil fertility]. Moscow: VNIIA, 2008. 340 p.
6. Vitkovskaya S. E., Yakovlev O. N., Shavrina K. F. *Vliyanie vozrastayushchikh doz dolomitovoy muki na kislотно-osnovnye svoystva dernovo-podzolistoy pochvy*. [The influence increasing doses of dolomite flour on acid-base properties of soddy-podzolic soil]. *Agrokimiya*. 2016;(7):3-11. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=26470159>
7. Mitrofanova E. M. *Vliyanie dlitel'nogo primeneniya mineral'nykh udobreniy i posledeystviya izvesti na fosfatnyy rezhim dernovo-poverkhnostno-podzolistoy pochvy Predural'ya*. [The influence of continuous application of mineral fertilizers and aftereffect of lime on phosphate regime of soddy-shallow-podzolic soils of the Urals]. *Agrokimiya*. 2016;(7):36-43. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=26470163>
8. Khomchenko A. A., Bulatova N. V., Chebotarev N. T. *Vliyanie izvesti i mineral'nykh udobreniy na agrokhimicheskie svoystva i produktivnost' dernovo-podzolistoy pochvy*. [Influence of lime and mineral fertilizers on the agrochemical properties and productivity of sod-podzol soil]. *Zemledelie*. 2016;(6):28-30. (In Russ.). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/vliyanie-izvesti-i-mineralnyh-udobreniy-na-agrokhimicheskie-svoystva-i-produktivnost-dernovopodzolistoy-pochvy4>
9. Zav'yalova N. E., Storozheva A. N. *Vliyanie dlitel'nogo primeneniya mineral'nykh udobreniy na fosfatnyy rezhim dernovo-podzolistoy tyazhelosuglinistoy pochvy*. [Phosphate regime of soddy-podzolic soil under the long-term use of mineral fertilizers]. *Agrokimiya*. 2015;(9):33-40. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=24131693>
10. Afanas'ev R. A., Merzlaya G. E. *Soderzhanie podvizhnogo kaliya v pochvakh pri dlitel'nom primenenii udobreniy*. [Content of exchangeable potassium in soils under long-term fertilization]. *Agrokimiya*. 2013;(6):5-11. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=19421520>
11. Ghimire B., Ghimire R., VanLeeuwen D., Mesbah A. Covercrop residue amount and quality effects on soil organic carbon mineralization. Sustainability. 2017;(9):2316. DOI: <https://doi.org/10.3390/su9122316>
12. Titova V. I., Varlamova L. D., Tyurnikova E. G., Arkhangel'skaya A. M., Nefed'eva V. V. *Izmenenie produktivnosti kul'tur i agrokhimicheskikh pokazateley pochvy v devyatoy rotatsii sevooborota v mnogoletnem polevom opyte pri primenenii udobreniy*. [Changes of crops productivity and soil agrochemical parameters during the ninth cycle of crop rotation in a long-term field fertilization experiment]. *Agrokimiya*. 2013;(7):25-32. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=19421536>
13. Mitrofanova E. N., Vasbieva M. T. *Fosfatnyy rezhim dernovo-podzolistoy pochvy pri dlitel'nom primenenii organicheskikh i mineral'nykh udobreniy*. [Phosphate regime of soddy-podzolic soil under the long-term use of organic and mineral fertilizers]. *Agrokimiya*. 2014;(9):13-19. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=21987376>
14. Mineev V. G., Gomonova N. F. *Deystvie i posledeystvie udobreniy na plodorodie dernovo-podzolistoy srednesuglinistoy pochvy*. [Effect and after-effect of fertilization on the fertility of loamy soddy-podzolic soil]. *Agrokimiya*. 2005;(1):5-13. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=9140429>
15. Krishtaponite I., Maykshenene S. *Vliyanie dlitel'nogo primeneniya razlichnykh sistem udobreniya na plodorodie tyazhelosuglinistoy pochvy i produktivnost' sevooborota*. [The effect of the long-term application of different fertilizing systems on the fertility of clay loamy soil and the productivity of crop rotation]. *Agrokimiya*. 2005;(11):34-42. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=9150781>

Сведения об авторах

Чеботарев Николай Тихонович, доктор с.-х. наук, главный научный сотрудник, Институт агробиотехнологий им. А. В. Журавского Коми научного центра Уральского отделения РАН, ул. Ручейная, д. 27, г. Сыктывкар, Российская Федерация, 167023, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-7074-2734>

✉ **Броварова Ольга Владиславовна**, кандидат хим. наук, младший научный сотрудник, Институт агробиотехнологий им. А. В. Журавского Коми научного центра Уральского отделения РАН, ул. Ручейная, д. 27, г. Сыктывкар, Российская Федерация, 167023, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2225-4389>, e-mail: olbrov@mail.ru

Information about the authors

Nikolai T. Chebotaryov, DSc in Agricultural Science, chief researcher, A. V. Zhuravsky Institute of Agro-Biotechnologies of Komi Science Centre of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Rucheynaya St., 27, Syktyvkar, Russian Federation, 167023, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-7074-2734>

✉ **Olga V. Brovarova**, PhD in Chemistry, junior researcher, A. V. Zhuravsky Institute of Agro-Biotechnologies of Komi Science Centre of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Rucheynaya St., 27, Syktyvkar, Russian Federation, 167023, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2225-4389>, e-mail: olbrov@mail.ru

✉ – Для контактов / Corresponding author