

Влияние извести и минеральных удобрений на агрохимические показатели почвы и продуктивность лядвенце-тимофеечной травосмеси

© 2021. А. П. Кислицына✉, В. А. Фигурин

ФГБНУ «Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока имени Н. В. Рудницкого, г. Киров, Российская Федерация

В статье приведены результаты трёхлетних (2017...2019 гг.) полевых исследований по изменению агрохимических показателей почвы и формированию продуктивности лядвенце-тимофеечной смеси в зависимости от известкования (по 0,25 гидролитической кислотности) и внесения минеральных удобрений, в том числе фосмуки. Почва дерново-подзолистая среднесуглинистая, сильноокислая, со средним содержанием подвижного фосфора и обменного калия, содержанием гумуса 1,9 %, подвижного алюминия – от 4,27 до 5,24 мг/кг почвы. Установлено, что внесение извести тонкого помола в дозе 3 т/га под предпосевную культивацию лядвенце-тимофеечной травосмеси снижало кислотность почвы в слое 0-10 см к осени следующего года с 4,2 до 5,6 единиц pH. Внесение фосфоритной муки (1 т/га) приводило к повышению содержания подвижного фосфора в слое почвы 0-10 см на 135-163 %. Самая высокая продуктивность лядвенце-тимофеечной смеси в течение трёх лет жизни получена при совместном внесении извести и минеральных удобрений, а в среднем за три года жизни выход обменной энергии превышал 50 ГДж/га, что выше контрольного варианта без удобрений более чем на 35 %. Внесение минеральных удобрений повышало продуктивность травосмеси только в первые два года жизни. Доза фосмуки (1 т/га) способствовала росту продуктивности трав на сильноокислой почве только в год посева. Дополнительное внесение аммиачной селитры (N_{30}) вместе с фосфорно-калийными удобрениями ($P_{60}K_{60}$), как и хлористого калия (K_{60}) с фосфоритной мукой, не приводило к достоверному повышению выхода обменной энергии.

Ключевые слова: известкование, фосфоритная мука, фосфорно-калийные удобрения, кислотность почв, продуктивность, обменная энергия, выход обменной энергии

Благодарности: работа выполнена при поддержке Минобрнауки РФ в рамках Государственного задания ФГБНУ «Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока имени Н. В. Рудницкого» (тема № 0767-2019-0100).

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

Конфликт интересов: авторы заявили об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Кислицына А. П., Фигурин В. А. Влияние извести и минеральных удобрений на агрохимические показатели почвы и продуктивность лядвенце-тимофеечной травосмеси. Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2021;22(3):367-375. DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2021.22.3.367-375>

Поступила: 05.02.2021 Принята к публикации: 24.05.2021 Опубликована онлайн: 23.06.2021

The effect of lime and mineral fertilizers on agrochemical characteristics of soil and productivity of birdsfoot trefoil and timothy grass mixture

© 2021. Antonida P. Kislitsyna✉, Valentin A. Figurin

Federal Agricultural Research Center of the North-East named N. V. Rudnitsky, Kirov, Russian Federation

The article presents the results of three-year (2017-2019) field studies on changes in agrochemical characteristics of soil and formation of productivity of birdsfoot trefoil and timothy grass mixture in dependence of the liming (hydrolytic acidity 0.25) and application of mineral fertilizers, phosphorite meal in particular. The soil is sod-podzolic, medium loamy, strongly acidic, with intermediate concentration of mobile phosphorous and metabolizable potassium, humus content is 1.9 %, and mobile aluminum – from 4.27 to 5.24 mg/kg of soil. It has been established that application of finely ground lime at a dose of 3 tons per hectare prior to sowing of birdsfoot trefoil and timothy grass mixture decreased soil acidity in the layer of 0-10 cm from 4.2 to 5.6 pH units by next autumn. Application of phosphorite meal (1t/ha) led to an increase in the concentration of mobile phosphorous in the layer of 0-10 cm by 135-163 %. The highest productivity of birdsfoot trefoil and timothy mixture during 3 years was obtained by means of combined application of lime and mineral fertilizers, and for 3 years on the average the yield of metabolic energy exceeded 50 GJ/ha, which is over 35 % higher than in the control variant without fertilizers. The use of mineral fertilizers increased grass mixture productivity only during the first two years. The applied dosage of phosphorite meal (1t/ha) promoted the increase in grass productivity on strongly acidic soil only in the year of sowing. Additional treatment with ammonium nitrate (N_{30}) together with phosphorous and potassium fertilizers ($P_{60}K_{60}$), as well as potassium chloride (K_{60}) with phosphorite meal did not result in significant rise in metabolizable energy yield

Key words: liming, phosphorite meal, phosphorous and potassium fertilizers, soil acidity, productivity, metabolic energy, metabolic energy yield

Acknowledgement: the research was carried out under the support of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation within the state assignment of the Federal Agricultural Research Center of the North-East named N. V. Rudnitsky (theme No. 0767-2019-0100).

The authors are grateful to reviewers for their contribution to expert assessment of the work.

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

For citations: Kislitsyna A. P., Figurin V. A. The effect of lime and mineral fertilizers on agrochemical characteristics of soil and productivity of birdsfoot trefoil and timothy grass mixture. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka* = Agricultural Science Euro-North-East. 2021;22(3):367-375. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2021.22.3.367-375>

Received: 05.02.2021

Accepted for publication: 24.05.2021

Published online: 23.06.2021

За последние 15-20 лет резкое сокращение объёмов известкования, внесения органических и минеральных удобрений привело к снижению плодородия почвы. Особое беспокойство вызывает то, что доля кислых почв ежегодно увеличивается. По Нечернозёмной зоне кислые почвы (с pH до 5,5) занимают уже более 63 % [1], Кировской области – 74,6 % обследуемой пашни [2].

При кризисном состоянии сельскохозяйственного производства стабилизирующим фактором сохранения, а в лучшем случае и повышения плодородия почвы и устойчивости растениеводства является биологизация земледелия на основе совершенствования полевого травосеяния. Биологическое разнообразие многолетних трав даёт возможность создавать продуктивные агрофитоценозы на почвах разного уровня плодородия. Правильно подобранные травосмеси для каждого конкретного поля, агроландшафтного участка позволят повысить продуктивность травяного поля на 20...30 % без значительных затрат. Например, на дерново-подзолистой среднесуглинистой сильно-кислой почве лучшей травосмесью является смесь лядвенца рогатого с тимopheевкой луговой [3].

Лядвенец рогатый лучше других культур переносит избыточную кислотность пахотного и подпахотного горизонтов^{1, 2},

однако симбиотический аппарат лядвенца лучше развивается при pH 5,0-6,0^{3, 4}. Как и все бобовые культуры, лядвенец рогатый предъявляет повышенные требования к обеспеченности фосфором, калием и микроэлементами⁵. Тимофеевка луговая переносит повышенную кислотность почвы, но pH_{kcl} должна быть не ниже 4,5^{6, 7}.

Преимущества использования многолетних бобовых трав определяются не только их кормовыми достоинствами, но и способностью повышать плодородие и улучшать фитосанитарное состояние почв⁸, и чем выше урожайность многолетних трав, тем более высокое действие они оказывают на плодородие почв [4].

Для повышения урожайности трав, и в первую очередь бобовых, требуется устранение избыточной кислотности путём известкования и фосфоритования [1, 5, 6]. При известковании повышается эффективность минеральных удобрений на 30-40 %, снижается в 4-10 раз подвижность в почве тяжёлых металлов и радионуклидов, улучшаются физические свойства почвы, усиливается деятельность почвенной микрофлоры^{9, 10} [5, 6, 7, 8]. При отсутствии возможностей проведения известкования полными дозами внесение извести в небольших дозах (0,5-1,5 т/га) в верхний слой почвы перед посевом значительно улучшает развитие растений^{11, 12}.

¹Вавилов П. П., Посыпанов Г. С. Бобовые культуры и проблема растительного белка. М.: Россельхозиздат, 1983. 256 с.

²Фёдоров А. К. Кормовые растения. М.: 1989. 160 с.

³Иванов Д. А. Повышение продуктивности сенокосов и пастбищ. Л.: Колос, Ленингр. отд-ние, 1975. 288 с.

⁴Андреев Н. Г., Тюльдюков В. А. Теория и практика луговодства. М.: Россельхозиздат, 1977. 632 с.

⁵Уолтон Питер Д. Производство кормовых культур: Перевод с англ. Синичкина И. М. М.: Агропромиздат, 1986. 286 с.

⁶Андреев Н. Г., Тюльдюков В. А. Указ. соч.

⁷Клапп Э. Сенокосы и пастбища. Пер. с нем. Под общ. ред. и с предисл. Т. А. Работнова. М.: Сельхозиздат, 1961. 613с.

⁸Фигурин В. А., Кислицына А. П., Сунцова Н. П. Рекомендации по созданию и использованию травостоев долголетнего использования на полевых землях. Киров: ГНУ «НИИСХ Северо-Востока Россельхозакадемии», 2011. 36 с.

⁹Минеев В. Г., Ремпе Е. Х. Агрохимия, биология и экология почвы. М.: Госагропромиздат. 1990. 206 с.

¹⁰Тяжёлые металлы в системе почва – растения – удобрения. Под общей ред. Овчаренко М. М. М.: Пролетарский светоч, 1997. 290 с.

¹¹Андреев Н. Г., Тюльдюков В. А. Указ. соч.

¹²Фигурин В. А., Кислицына А. П., Сунцова Н. П. Указ. соч.

В этих случаях малые дозы извести следует вносить в почву сеялками вместе с семенами или под культивацию перед посевом. При таком агротехническом приёме создаются благоприятные условия для развития бобовых растений в начальный период, когда всходы наиболее чувствительны к кислотной реакции среды и недостатку кальция в почвенном растворе.

Снижает кислотность почвы и применение фосфоритной муки, которая помимо фосфора содержит до 50 % кальция. Основным условием усвоения фосфора из фосфоритной муки является кислотность почвы, которая способствует её разложению.

Установлено, что на слабоокультуренной дерново-подзолистой суглинистой почве фосфоритная мука при систематическом применении оказывает такое же влияние на урожайность культур, как и суперфосфат на фоне высоких доз извести [9], что актуально для Кировской области.

Многолетние бобовые травы при питании азотом воздуха нуждаются в повышенном обеспечении фосфором и калием [10, 11], так как для процесса азотфиксации клубеньковые бактерии используют значительно больше фосфора и калия, чем их симбиотический партнёр-микросимбионт – бобовые растения [12].

Анализ результатов исследований по применению минеральных удобрений под многолетние бобово-злаковые травы показывает их высокую эффективность и необходимость дифференциации доз внесения туков в зависимости от типа почв и уровня их плодородия^{13, 14, 15}, хозяйственного назначения травостоев. Работ по изучению эффективности применения удобрений под культуру лядвенца рогатого немного. В основном исследования были проведены в 60-70 гг. прошлого века в Литовском НИИ земледелия¹⁶, Белоруссии¹⁷ и во Всероссийском НИИ кормов им. В. Р. Вильямса¹⁸.

В условиях кислых почв Евро-Северо-Востока исследований по повышению продуктивности лядвенце-тимофеечных травосмесей

в зависимости от известкования и применения удобрений не проводилось.

Цель исследований – определить наиболее эффективные виды и сочетания минеральных удобрений, включая фосфоритную муку и известь, для обеспечения высокой продуктивности лядвенце-тимофеечной травосмеси на дерново-подзолистых почвах в условиях Кировской области.

Материал и методы. Исследования проводили в 2017-2019 гг. на опытном поле ФГБНУ ФАНЦ Северо-Востока. Почва опытного участка дерново-подзолистая, среднесуглинистая на водно-ледниковых отложениях, подстилаемых пермскими глинами. Содержание гумуса в пахотном слое 1,9 %, P_2O_5 – 68 мг/кг, K_2O – 107 мг/кг почвы, $pH_{\text{сол.}}$ 4,25, гидролитическая кислотность – 5,08 мг-экв/100 г почвы, сумма поглощенных оснований – 10,65 мг-экв/100 г почвы, степень насыщенности основаниями – 69,3 %, содержание подвижного алюминия – 4,23...5,24 мг/кг почвы.

Схема опыта представлена в таблице 1. Под предпосевную культивацию вносили простой суперфосфат (26 % д. в.), хлористый калий (60 % д. в.), аммиачную селитру (34 % д. в.), фосфоритную муку (P_2O_5 – 19 % и Ca – 50 %), известь (85 % $CaCO_3$). Известь и фосмука внесены за один прием с NPK-удобрениями.

Изучали травосмесь лядвенца рогатого Солнышко с тимофеевкой луговой Ленинградская 204. Норма высева семян с учётом всхожести 10 и 5 кг/га соответственно. Посев проведён в ранневесенний период по чистому пару, беспокровно. Размещение делянок систематическое в один ярус. Повторность четырехкратная. Учетная площадь делянки составляла 14 м², общая – 20 м². Первый укос трав проведён в фазу цветения лядвенца рогатого, второй – в третьей декаде августа. Наблюдения и исследования проводили в соответствии с методическими указаниями¹⁹.

¹³Андреев Н. Г., Тюльдюков В. А. Указ. соч.

¹⁴Уолтон Питер Д. Указ. соч.

¹⁵Клапп Э. Указ. соч.

¹⁶Каджюлис Л. Ю. Выращивание многолетних трав на корм. Л.: Колос, 1977. 247 с.

¹⁷Стрелков В. Г., Шашко Т. Минеральные удобрения под лядвенец. Земледелие. 1972;(10):36-37.

¹⁸Родионов В. А. Агротехника и семеноводство лядвенца рогатого. Семеноводство кормовых культур. М.: ЦИНТИ, 1967. С. 66-72.

¹⁹Методические указания по проведению полевых опытов с кормовыми культурами. М.: ВНИИ, 1997. 155 с.

Концентрацию обменной энергии в кормовой массе лядвенце-тимофеечной травосмеси рассчитывали по методике ВНИИ кормов²⁰, статистическую обработку – дисперсионным анализом с использованием пакета программ AGROS (версия 2.07).

Закладка опыта проведена в 2017 году. Метеорологические условия вегетационных периодов различались по характеру выпадения осадков и температурному режиму, что отразилось на развитии растений лядвенца рогатого и тимофеевки луговой, и их реакции на внесённые удобрения.

Вегетационный период 2017 года характеризовался как прохладный и увлажнённый. 2018 год отличался недостатком осадков в мае и первой половине июня. В 2019 году отмечен недобор осадков с повышенными температурами в мае, прохладная и сухая погода в июле и августе. Условия для перезимовки многолет-

них трав в годы проведения эксперимента были близки к среднемуголетним.

Результаты и их обсуждение. Известкование дерново-подзолистой сильнокислой почвы и внесение минеральных удобрений оказали существенное влияние на изменение агрохимических свойств почвы и продуктивность лядвенце-тимофеечной травосмеси.

Перед закладкой опыта кислотность почвы в пахотном горизонте (0-20 см) в среднем по опыту составляла $4,35 \pm 0,1$. Внесение в 2017 г. мелкодисперсного известкового материала, конверсионного мела (осаждённого карбоната кальция – ОКК), обладающего высокой химической активностью, под предпосевную культивацию (варианты 2, 5, 7) в дозе 3 т/га (0,25 Нг) снизило кислотность верхнего 0-10 см слоя почвы уже к осени следующего года (табл. 1).

Таблица 1 – Изменение кислотности (pH_{кел}) в пахотном слое дерново-подзолистой почвы в зависимости от внесенных удобрений и извести /

Table 1 – Acidity changes (pH_{кел}) in the top layer of sod-podzolic soil depending on fertilizers and lime application

№ варианта / Variant number	Удобрения / Fertilizers	2018 г.		2019 г.	
		0-10 см / 0-10 cm	10-20 см / 10-20 cm	0-10 см / 0-10 cm	10-20 см / 10-20 cm
1	Без удобрений (контроль) / No fertilizers(control)	4,20	4,17	4,32	4,21
2	Известь 3 т/га / Lime 3 t/ha	5,60	4,22	4,90	4,30
3	Фосмука 1 т/га / Phosphorite meal 1 t/ha	4,50	4,20	4,38	4,19
4	P ₆₀ K ₆₀	4,31	4,16	4,19	4,15
5	Известь 3 т/га + P ₆₀ K ₆₀ / Lime 3 t/ha + P ₆₀ K ₆₀	4,86	4,25	4,63	4,15
6	N ₃₀ P ₆₀ K ₆₀	4,23	4,10	4,21	4,15
7	Известь 3 т/га + N ₃₀ P ₆₀ K ₆₀ / Lime 3 t/ha+ N ₃₀ P ₆₀ K ₆₀	5,34	4,20	4,64	4,10
8	Фосмука 1 т/га + K ₆₀ / Phosphorite meal 1 t/ha+ K ₆₀	4,44	4,16	4,28	4,16

Более значительное снижение кислотности почвы произошло на делянке без применения удобрений (вар. 2), на 1,25 ед. pH.

При внесении фосфоритной муки кислотность почвы в слое 0-10 см осталась на прежнем уровне. К осени 2019 года в верхнем слое (0-10 см) почвы отмечается повышение кислотности во всех вариантах, причём более значительное в вариантах с

известкованием (0,3...0,7 ед. pH). Изменение обусловлено, главным образом, высоким выносом кальция с урожаем трав, так как снижения кислотности в слое 10-20 см не отмечено. По нашим предыдущим исследованиям, вынос кальция с урожаем лядвенце-тимофеечной смеси при двуукосном использовании травостоев достигал 58,0...76,2 кг/га в год.

²⁰Методическое пособие по агроэнергетической и экономической оценке технологий и систем кормопроизводства. М.: ВИК, 1995. 175 с.

Работами²¹ [13] также показано быстрое, на второй-третий год после известкования ОКК, возрастание уровня кислотности дерново-подзолистой почвы в зерно-травяном севообороте, даже при внесении более высоких доз известкового материала. Исследованиями [14] установлено, что более сильная тенденция подкисления почвы под многолетними травами проявляется в вариантах с двукосным скашиванием, где обеспечивается высокий вынос кальция и магния с урожаем трав.

В слое почвы 10-20 см после 3-летнего содержания лядвенце-тимофеечной смеси во всех вариантах опыта отмечается увеличение кислотности на 0,10...0,25 ед. pH от исходного уровня.

Внесение фосфоритной муки в дозе 1 т/га с заделкой культиватором привело к повышению содержания подвижного фосфора в слое почвы 0-10 см. Через год после фосфоритования содержание фосфора в верхнем слое пахотного горизонта третьего и восьмого вариантов опыта было на 80,4 и 107,7 мг/кг больше исходных значений (табл. 2).

Таблица 2 – Содержание подвижного фосфора в дерново-подзолистой почве под травостоями лядвенце-тимофеечной смеси, мг/кг (2017-2019 гг.) /

Table 2 – Content of mobile phosphorous in sod-podzolic soil under birdsfoot trefoil and timothy grass mixture, mg/kg (2017-2019)

№ варианта / Variant number	Удобрения / Fertilizers	2017 г. (перед закладкой опыта, 0-20 см) / (before sowing experiment, 0-20 cm)	2018 г.	2019 г.
1	Без удобрений (контроль) / No fertilizers(control)	76,5±15,0	<u>71,7±14,3</u> 60,8±12,1	<u>59,0±11,8</u> 57,0±11,4
2	Известь 3 т/га / Lime 3 t/ha	75,8±16,9	<u>69,2±13,8</u> 52,4±10,4	<u>67,7±13,5</u> 70,9±14,2
3	Фосмука 1 т/га / Phosphorite meal 1 t/ha	78,3±15,6	<u>168,7±33,7</u> 57,4±11,4	<u>143,2±28,6</u> 74,9±14,9
4	P ₆₀ K ₆₀	72,4±14,4	<u>78,9±15,7</u> 54,6±10,9	<u>79,4±15,8</u> 59,9±11,9
5	Известь 3 т/га + P ₆₀ K ₆₀ / Lime 3 t/ha + P ₆₀ K ₆₀	65,8±12,8	<u>88,3±17,6</u> 70,0±14,0	<u>83,5±16,7</u> 57,6±11,5
6	N ₃₀ P ₆₀ K ₆₀	69,4±13,5	<u>83,4±16,6</u> 74,8±14,9	<u>77,9±15,6</u> 66,7±13,3
7	Известь 3 т/га + N ₃₀ P ₆₀ K ₆₀ / Lime 3 t/ha + N ₃₀ P ₆₀ K ₆₀	74,8±14,97	<u>88,7±17,7</u> 81,4±16,2	<u>78,7±15,7</u> 63,3±12,6
8	Фосмука 1 т/га + K ₆₀ / Phosphorite meal 1 t/ha + K ₆₀	71,2±14,2	<u>188,8±37,7</u> 82,9±16,5	<u>135,7±27,2</u> 69,9±13,9

Примечания: в числителе – слой почвы 0-10 см, в знаменателе – слой почвы 10-20 см /
Notes: in the numerator – layer of soil 0-10 cm, in the denominator – 10-20 cm.

Причём более значительным повышение было в варианте опыта с одновременным внесением калийных удобрений в форме хлористого калия, который, являясь физиологически кислым удобрением, вероятно, способствовал растворению фосфоритной муки и переходу трёхзамещённых фосфатов кальция в подвижные формы. Высокое содержание фосфора в этом слое отмечено и к концу вегетации 2019 года.

В слое 10-20 см различия в содержании подвижного фосфора по вариантам опыта в годы наблюдений были в пределах допустимых отклонений.

Прослеживается тенденция к снижению содержания обменного калия по отношению к исходному содержанию в почве. Наиболее значимое уменьшение подвижных форм калия наблюдалось в слое 10-20 см (табл. 3), где расположена основная масса молодых корней трав.

²¹Юлушев И. Г. Рекомендации по использованию карбоната кальция химического синтеза в системе удобрений севооборота. Киров, 1987. 49 с.

Таблица 3 – Содержание обменного калия в дерново-подзолистой почве под травостоями лядвенце-тимopheечной смеси, мг/кг (2017-2019 гг.) /

Table 3 – Content of metabolic potassium in sod-podzolic soil under birdsfoot trefoil and timothy grass mixture, mg/kg (2017-2019)

№ варианта / Variant number	Удобрения / Fertilizers	2017 г. (перед закладкой опыта, 0-20 см) / (before laying the experiment, 0-20 cm)	2018 г.	2019 г.
1	Без удобрений (контроль) / No fertilizers(control)	123,5±18,5	$\frac{106,8 \pm 14,6}{97,7 \pm 13,5}$	$\frac{104,2 \pm 14,5}{91,4 \pm 12,9}$
2	Известь 3 т/га / Lime 3 t/ha	121,2±18,2	$\frac{92,4 \pm 12,30}{88,5 \pm 11,5}$	$\frac{116,9 \pm 20,6}{104,2 \pm 19,8}$
3	Фосмука 1 т/га / Phosphorite meal 1 t/ha	125,8±22,3	$\frac{91,1 \pm 12,7}{88,5 \pm 11,9}$	$\frac{111,8 \pm 19,5}{102,8 \pm 17,5}$
4	P ₆₀ K ₆₀	123,5±18,8	$\frac{106,8 \pm 16,2}{85,9 \pm 11,5}$	$\frac{110,5 \pm 18,3}{88,8 \pm 14,4}$
5	Известь 3 т/га + P ₆₀ K ₆₀ / Lime 3 t/ha + P ₆₀ K ₆₀	116,7±17,5	$\frac{102,9 \pm 15,8}{99,0 \pm 15,8}$	$\frac{104,1 \pm 16,7}{81,2 \pm 12,2}$
6	N ₃₀ P ₆₀ K ₆₀	114,4±16,8	$\frac{104,2 \pm 16,2}{92,4 \pm 13,9}$	$\frac{106,7 \pm 16,9}{96,5 \pm 14,5}$
7	Известь 3 т/га + N ₃₀ P ₆₀ K ₆₀ / Lime 3 t/ha + N ₃₀ P ₆₀ K ₆₀	114,3±16,9	$\frac{108,1 \pm 15,8}{100,2 \pm 14,7}$	$\frac{104,2 \pm 16,0}{88,8 \pm 12,9}$
8	Фосмука 1 т/га + K ₆₀ / Phosphorite meal 1 t/ha + K ₆₀	114,6±16,8	$\frac{106,8 \pm 16,2}{102,9 \pm 15,0}$	$\frac{102,9 \pm 15,2}{92,6 \pm 12,1}$

Примечания: в числителе – слой почвы 0-10 см, в знаменателе – слой почвы 10-20 см /
Notes: in the numerator – layer of soil 0-10 cm, in the denominator – 10-20 cm.

Ряд авторов отмечает снижение содержания калия в почвах при длительном возделывании калиелюбивых многолетних трав [15, 16, 17], в основном снижение калия в почвах под травами наблюдается, когда вынос с урожаем не покрывается внесением калия с удобрениями [15].

В год закладки опыта прохладная погода с достаточным количеством осадков благоприятствовала появлению всходов лядвенца. При внесении фосфоритной муки всхожесть семян лядвенца достигала 75,9 % и составляла 569 раст/м² (в контроле 509 раст/м²) и снижалась значительно при внесении аммиачной селитры совместно с другими удобрениями (вар. 7 до 292 и вар. 6 до 375 раст/м²).

Минеральные удобрения и известь, внесённые под предпосевную культивацию в весенний период, способствовали достоверному повышению выхода обменной энергии (ОЭ) лядвенце-тимopheечной смеси уже в год посева (табл. 4).

При раздельном внесении извести, фосфорно-калийных удобрений и фосфоритной муки выход обменной энергии возрастал на 6,6-9,4 ГДж/га по сравнению с контрольным вариантом, продуктивность которого состав-

ляла 21,4 ГДж/га, а при совместном внесении извести и полного минерального удобрения увеличивался до 33,7 ГДж/га. Во всех вариантах в травосмеси преобладал лядвенец рогатый.

На второй год жизни при недостатке осадков в начале вегетации (май и первая половина июня) выход обменной энергии в первом укосе был достоверно выше контроля (27,7 ГДж/га) только при внесении полного минерального удобрения как без известкования – 40,5, так и с известкованием – 41,0 ГДж/га. Во втором укосе при низкой продуктивности травосмеси проявилось действие фосфоритной муки (вар. 3 и 8), а также совместное действие извести и минеральных удобрений (вар. 5 и 7). В целом за вегетацию отмечен достоверно высокий выход ОЭ в вариантах с внесением минеральных удобрений, особенно при совместном внесении НРК с известью – 60,6 ГДж/га.

На третий год жизни в первом укосе и в сумме за два укоса только при совместном внесении извести и минеральных удобрений выход обменной энергии достоверно превышал контроль (49,5 ГДж/га за 2 укоса) и достигал за два укоса в варианте 5 – 63,5 и варианте 7 – 59,1 ГДж/га.

Таблица 4 – Влияние известкования и минеральных удобрений на выход обменной энергии лядвенце-тимофеечной смеси, ГДж/га /
Table 4 – Influence of liming and fertilizers on metabolic energy yield of birdfoot trefoil and timothy mixture, GJ/ha

№ варианта / Variant number	Удобрения / Fertilizers	2017 г.			2018 г.			2019 г.			В среднем за 3 года / For 3 years on the average
		1 укос / 1 st cut	2 укос / 2 nd cut	за два укоса / for two cuts	1 укос / 1 st cut	2 укос / 2 nd cut	за два укоса / for two cuts	1 укос / 1 st cut	2 укос / 2 nd cut	за два укоса / for two cuts	
1	Без удобрений (контроль) / Fertilizers (control)	21,4	27,7	41,9	21,4	27,7	41,9	31,0	18,5	49,5	37,6
2	Известь 3 т/га / Lime 3 t/ha	28,0	35,4	51,5	28,0	35,4	51,5	32,8	21,1	53,9	44,5
3	Фосмука 1 т/га / Phosphorite meal 1 t/ha	28,1	28,0	46,6	28,1	28,0	46,6	32,0	17,5	49,5	41,4
4	P ₆₀ K ₆₀	30,8	35,2	53,0	30,8	35,2	53,0	29,7	20,7	50,4	44,7
5	Известь 3 т/га + P ₆₀ K ₆₀ / Lime 3 t/ha + P ₆₀ K ₆₀	32,8	34,5	54,8	32,8	34,5	54,8	39,1	24,4	63,5	50,4
6	N ₃₀ P ₆₀ K ₆₀	35,7	40,5	56,9	35,7	40,5	56,9	30,3	21,2	51,5	48,1
7	Известь 3 т/га + N ₃₀ P ₆₀ K ₆₀ / Lime 3 t/ha + N ₃₀ P ₆₀ K ₆₀	33,7	41,0	60,6	33,7	41,0	60,6	37,0	22,1	59,1	51,2
8	Фосмука 1 т/га + K ₆₀ / Phosphorite meal 1 t/ha + K ₆₀	26,9	28,8	46,8	26,9	28,8	46,8	31,0	21,2	52,2	42,0
HCP ₀₅ / LSD ₀₅		5,6	8,4	10,0	5,6	8,4	10,0	5,7	F _Ф > F _{0,5}	9,7	6,8

В среднем за три года жизни трав известкование и внесение минеральных удобрений как по отдельности, так и совместно позволили получить достоверно высокий выход ОЭ – от 44,5 до 51,2 ГДж/га. Внесение одной фосфоритной муки, а также совместно с хлористым калием не повлияло достоверно на выход ОЭ.

Заключение. Проведённые исследования показали, что на дерново-подзолистой сильнокислой почве со средним содержанием подвижного фосфора и обменного калия внесение извести в дозе 3 т/га под предпосевную культивацию лядвенце-тимофеечной смеси снижало кислотность почвы в слое 0-10 см к осени следующего года с pH 4,2 до 5,6, меньше с внесением минеральных удобрений. Снижения кислотности в слое 10-20 см не отмечено. Внесение фосфоритной муки в дозе 1 т/га привело к повышению содержания подвижного фосфора в слое почвы 0-10 см на 135-163 %. Через два года после внесения удобрений и известкования наблюдалось достоверное подкисление и снижение содержания подвижного калия в почве.

Наиболее эффективно совместное внесение извести 3 т/га и минеральных удобрений в дозах P₆₀K₆₀ или N₃₀P₆₀K₆₀, которое обеспечивало достоверное повышение продуктивности лядвенце-тимофеечной травосмеси в течение трёх лет жизни относительно варианта без удобрений, при этом выход обменной энергии в среднем за три года превышал 50 ГДж/га. Минеральные удобрения без известкования способствовали повышению продуктивности изучаемой травосмеси только в первый и второй годы жизни. Внесение 1 т/га фосфоритной муки достоверно повышало выход обменной энергии в первый год жизни трав. Внесение аммиачной селитры (N₃₀) с фосфорно-калийными удобрениями (P₆₀K₆₀) и хлористого калия (K₆₀) с фосфоритной мукой не способствовало дополнительному росту продуктивности трав относительно вариантов внесения РК-удобрений и фосфоритной муки.

Список литературы

1. Чекмарев П. А., Купреев Е. М., Ермаков А. А. К проблеме кислотности почв Нечерноземной зоны Российской Федерации. Достижения науки и техники АПК. 2017;31 (7):14-19. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=30053573>
2. Молодкин В. Н., Бусыгин А. С. Плодородие пахотных почв Кировской области. Земледелие. 2016;(8):16-18. Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/plodorodie-pahotnyh-kirovskoy-oblasti-pochv>
3. Фигурин В. А., Кислицына А. П., Сунцова Н. П. Создание продуктивных травостоев с новыми сортами клевера лугового и люцерны сибирской. Кормопроизводство. 2010;(2):27-30.
4. Фигурин В. А. Выращивание многолетних трав на корм. Киров: НИИСХ Северо-Востока, 2013. 188 с.
5. Небольсин А. Н., Небольсина З. П. Теоретические основы известкования почв. Санкт-Петербург, 2005. 252 с.
6. Некрасов Р. В., Овчаренко М. М., Аканова Н. И. Агроэкологические основы химической мелиорации почв. Земледелие. 2019;(4):3-8. DOI: <https://doi.org/10.24411/0044-3913-2019-10401>
7. Шильников И. А., Удалова Л. П., Аканова Н. И., Нестеров А. А. Известкование – главный экологический фактор сохранения плодородия. Химия в сельском хозяйстве. 1997;(4):6-29.
8. Шильников И. А., Аканова Н. И., Зеленов Н. А. Известкование – главный фактор сохранения плодородия почв и повышения продуктивности сельскохозяйственных культур. Достижения науки и техники АПК. 2008;(1):21-23. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=10304053>
9. Кирпичников Н. А., Чернышкова Л. Б. Научное обоснование применения фосфоритной муки в условиях многолетнего полевого опыта. Плодородие. 2017;(5(98)):20-23. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=30322860>
10. Шпаков А. С. Кормовые культуры в системах земледелия и севооборотах. М.: ФГНУ «Росинформатех», 2004. 400 с.
11. Ergon A., Seddaiu G., Korhonen P., Korhonen P., Virkajarvi P., Bellocchi G., Jorgensen M., Osterem L., Reheul D., Volaire F. How can forage production in Nordis and Mediterranean Europe adapt to the challenges and opportunities arising from climate? European Journal of Agronomy. 2018;92:97-106. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.eja.2017.09.016>
12. Лапинскас Э. Б., Мотузене Л. П. Влияние фосфорно-калийных удобрений на симбиотическую азотфиксацию *Risobium galega*. Агрохимия. 2007;(9):45-52. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=9536708>
13. Прудников А. Д., Яненко Д. А. Динамика кислотности почв при внесении различных известковых материалов. Агрохимический вестник. 2013;(3):6-7. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=21014401>
14. Лазарев Н. Н., Авдеев С. М., Демина Л. Ю., Яцкова В. Г. Изменение агрохимических свойств дерново-подзолистой почвы и урожайности бобово-злаковых травостоев при их долготлетнем использовании. Известия Тимирязевской сельскохозяйственной академии. 2011;(1):9-18. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=16728680>
15. Кшикаткина А. Н., Тимошкин О. А. Влияние козлятника восточного на плодородие. Земледелие. 2007;(2):12-13.
16. Тюлин В. А., Лазарев Н. Н., Иванова Н. Н., Вагунин Д. А. Многолетние бобовые травы в агроландшафтах Нечерноземья. Тверь, 2014. 234 с.
17. Ганичева В. В. Влияние луговых трав на агрохимические свойства почвы. Кормопроизводство. 2002;(9):19-21.

References

1. Chekmarev P. A., Kupreev E. M., Ermakov A. A. *K probleme kislotnosti pochv Nechernozemnoy zony Rossiyskoy Federatsii*. [To the problem of soil acidity of the Non-Black Soil zone of the Russian Federation]. *Dostizheniya nauki i tekhniki APK = Achievements of Science and Technology of AICis*. 2017;31 (7):14-19. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=30053573>
2. Molodkin V. N., Busygin A. S. *Plodorodie pakhotnykh pochv Kirovskoy oblasti*. [Fertility of arable soils of Kirov region]. *Zemledelie*. 2016;(8):16-18. (In Russ.). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/plodorodie-pahotnyh-kirovskoy-oblasti-pochv>
3. Figurin V. A., Kislitsyna A. P., Suntsova N. P. *Sozdanie produktivnykh travostoev s novymi sortami klevra lugovogo i lyadventsem rogamym*. [Formation of productive herbage compositions containing new varieties of red clover and birds-foot trefoil]. *Kormoproizvodstvo = Forage Production*. 2010;(2):27-30. (In Russ.).
4. Figurin V. A. *Vyrashchivanie mnogoletnikh trav na korm*. [Cultivating perennial grasses for fodder]. Kirov: NIISKh Severo-Vostoka, 2013. 188 p.
5. Nebol'sin A. N., Nebol'sina Z. P. *Teoreticheskie osnovy izvestkovaniya pochv*. [Theoretical foundation for soil liming]. Saint-Petersburg, 2005. 252 p.
6. Nekrasov R. V., Ovcharenko M. M., Akanova N. I. *Agroekologicheskie osnovy khimicheskoy melioratsii pochv*. [Agroecological foundation of chemical amelioration of soils]. *Zemledelie*. 2019;(4):3-8. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.24411/0044-3913-2019-10401>

7. Shil'nikov I. A., Udalova L. P., Akanova N. I., Nesterov A. A. *Izvestkovanie – glavnyy ekologicheskiy faktor sokhraneniya plodorodiya*. [Liming as a major ecological factor of fertility conservation]. *Khimiya v sel'skom khozyaystve*. 1997;(4):6-29. (In Russ.).
8. Shil'nikov I. A., Akanova N. I., Zelenov N. A. *Izvestkovanie – glavnyy faktor sokhraneniya plodorodiya pochv i povysheniya produktivnosti sel'skokhozyaystvennykh kul'tur*. [Liming as a major factor of soil fertility conservation and higher yields of farm crops]. *Dostizheniya nauki i tekhniki APK = Achievements of Science and Technology of AICis*. 2008;(1):21-23. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=10304053>
9. Kirpichnikov N. A., Chernyshkova L. B. *Nauchnoe obosnovanie primeneniya fosforitnoy muki v usloviyakh mnogoletnego polevogo opyta*. [Scientific substantiation of phosphorite meal application in a long-term field experiment]. *Plodородie*. 2017;(5(98)):20-23. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=30322860>
10. Shpakov A. S. *Kormovye kul'tury v sistemakh zemledeliya i sevooborotakh*. [Fodder crops in systems of farming and crop rotation]. Moscow: FGNU «Rosinformagrotekh», 2004. 400 p.
11. Ergon A., Seddaiu G., Korhonen P., Korhonen P., Virkajarvi P., Bellocchi G., Jorgensen M., Osterem L., Reheul D., Volaire F. How can forage production in Nordis and Mediterranean Europe adapt to the challenges and opportunities arising from climate? *European Journal of Agronomy*. 2018;92:97-106. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.eja.2017.09.016>
12. Lapinskas E. B., Motuzene L. P. *Vliyanie fosforno-kaliynykh udobreniy na simbioticheskuyu azotfiksatsiyu Risobium galega*. [Effect of phosphorus and potassium fertilizers on symbiotic nitrogen fixation by *Rhizobium galegae*]. *Agrokhimiya*. 2007;(9):45-52. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=9536708>
13. Prudnikov A. D., Yanenkov D. A. *Dinamika kislotnosti pochv pri vnesenii razlichnykh izvestkovykh materialov*. [Dynamics of soil acidity during application of limy materials]. *Agrokhimicheskiy vestnik = Agrochemical Herald*. 2013;(3):6-7. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=21014401>
14. Lazarev N. N., Avdeev S. M., Demina L. Yu., Yatskova V. G. *Izmenenie agrokhimicheskikh svoystv der-novo-podzolistoy pochvy i urozhaynosti bobovo-zlakovykh travostoev pri ikh dolgoletnem ispol'zovanii*. [Changes in agrochemical properties of sod-podzolic soil and fertility of leguminous and cereal grasses in their long-term use]. *Izvestiya Timiryazevskoy sel'skokhozyaystvennoy akademii = Izvestiya of Timiryazev Agricultural Academy*. 2011;(1):9-18. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=16728680>
15. Kshnikatkina A. N., Timoshkin O. A. *Vliyanie kozlyatnika vostochnogo na plodородie*. [Influence of eastern galega on fertility]. *Zemledelie*. 2007;(2):12-13. (In Russ.).
16. Tyulin V. A., Lazarev N. N., Ivanova N. N., Vagunin D. A. *Mноголетние бобовые травы в агроландшафтах Nеchernozem'ya*. [Perennial leguminous grasses in agricultural landscapes of Non-Black Soil Zone]. Tver, 2014. 234 p.
17. Ganicheva V. V. *Vliyanie lugovykh trav na agrokhimicheskie svoystva pochvy*. [Influence of meadow grasses on agrochemical properties of soil]. *Kormoproizvodstvo = Forage Production*. 2002;(9):19-21. (In Russ.).

Сведения об авторах

✉ **Кислицына Антонида Павловна**, кандидат с.-х. наук, ст. научный сотрудник лаборатории агрохимии и кормопроизводства, ФГБНУ «Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока имени Н. В. Рудницкого», ул. Ленина, д.166а, г. Киров, Российская Федерация, 610007, e-mail: priemnaya@fanc-sv.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7474-7359>, e-mail: zemledel_niish@mail.ru

Фигурин Валентин Алексеевич, доктор с.-х. наук, ведущий научный сотрудник лаборатории агрохимии и кормопроизводства, Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока имени Н. В. Рудницкого», ул. Ленина, д.166а, г. Киров, Российская Федерация, 610007, e-mail: priemnaya@fanc-sv.ru

Information about the authors

✉ **Antonida P. Kislitsyna**, PhD in Agricultural science, senior researcher, the Laboratory of Agrochemistry and Fodder Production, Federal Agricultural Research Center of the North-East named N. V. Rudnitsky, Lenin str, 166a, Kirov, Russian Federation, 610007, e-mail: priemnaya@fanc-sv.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7474-7359>, e-mail: zemledel_niish@mail.ru

Valentin A. Figurin, DSc in Agricultural science, leading researcher, the Laboratory of Agrochemistry and Fodder Production, Federal Agricultural Research Center of the North-East named N. V. Rudnitsky, Lenin str, 166a, Kirov, Russian Federation, 610007, e-mail: priemnaya@fanc-sv.ru

✉ – Для контактов / Corresponding author