

УДК 631.811:631.821:631.559(470.13)

ВЛИЯНИЕ ДЛИТЕЛЬНОГО ПРИМЕНЕНИЯ МИНЕРАЛЬНЫХ УДОБРЕНИЙ И ПОСЛЕДСТВИЯ ИЗВЕСТИ НА ПРОДУКТИВНОСТЬ АГРОЦЕНОЗОВ ЕВРОПЕЙСКОГО СЕВЕРА

© 2024 г. Н. Т. Чеботарев¹, О. В. Броварова¹, А. М. Турлакова^{1,*}¹Федеральный исследовательский центр Коми научного центра Уральского отделения РАН – Институт агробиотехнологий им. А.В. Журавского

167023 Сыктывкар, ул. Ручейная, 27, Россия

*E-mail: turlakova100krapt@mail.ru

Исследование эффективности применения минеральных удобрений (N60P75K75) на фоне последствия 2-х доз извести (1.0 и 2.0 г.к.) проводили в полевом стационарном опыте, заложенном в 1983 г., на дерново-подзолистой среднесуглинистой почве. Изучили последствие 2-х доз извести на фоне без удобрений, а также при ежегодном внесении минеральных удобрений. Установлено, что наибольшая урожайность сухого вещества (с.в.) бобово-злаковых травосмесей с высоким качеством получена в варианте известь 2.0 г.к. + NPK и составила в 2015 г. 5.3, в 2023 г. – 4.6 т с.в./га при урожайности в контроле 3.3 и 3.2 т/га соответственно. Содержание сухого вещества при таком внесении агрохимикатов составило 21.5, сырого протеина – 13.5%, содержание нитратов не превышало ПДК. Установлено, известь и NPK благоприятно воздействовали на агрохимические свойства почвы. В 2023 г. содержание гумуса было равно 4.6%, pH_{KCl} 4.0 ед. pH, содержание P_2O_5 – 159 и K_2O – 124 мг/кг почвы.

Ключевые слова: почва, минеральные удобрения, известь, урожайность, травосмеси, сырой протеин, сухое вещество.

DOI: 10.31857/S0002188124110041, **EDN:** ANXGUE

ВВЕДЕНИЕ

Повышение продуктивности агроценозов европейского северо-востока России требует неотложного решения вопросов сохранения и повышения плодородия почв, сокращения материальных и энергетических затрат на производство сельскохозяйственной продукции [1–4].

Республика Коми расположена на крайнем северо-востоке европейской части страны, что определяет относительную суровость ее природно-климатических условий [5–7].

Пахотные почвы региона представлены в основном типичными подзолистыми и дерново-подзолистыми почвами, которые характеризуются недостатком азота и подвижных соединений фосфора и калия, высокой кислотностью, губительно действующими на растительность и полезную микрофлору, а также на образование и накопление органического вещества в верхних слоях почв [8–13].

Почвенная кислотность оказывает большое влияние на поступление питательных веществ в растения. На кислых почвах внесению минеральных удобрений должно предшествовать известкование.

Оно обуславливает лучшее обеспечение растений не только азотом, но и зольными элементами вследствие активизации бактерий, разлагающих органические фосфорные соединения почвы. В дерново-подзолистых почвах фосфор по большей части связан с полуторных окислами в виде фосфатов железа и алюминия. При известковании уменьшается активность полуторных окислов, ослабляются адсорбционные связи фосфора, увеличивается относительное количество фосфатов кальция и, как следствие, происходит мобилизация фосфатов [1, 9, 14–16].

Внесение извести в почву нормализует ее кислотность, улучшает структуру верхнего плодородного слоя, попутно обогащая ее кальцием, значительно снижая обменную и гидролитическую кислотность, и увеличивает степень насыщения основаниями. 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 их вредоносное действие на растения [2, 14, 17–22].

Многолетнее использование минеральных удобрений в комплексе с известкованием позволяет создать благоприятные условия для улучшения почвенного плодородия и питания растений [10, 22, 23]. В настоящее время важно изучить способы применения минеральных удобрений на ранее известкованных кислых дерново-подзолистых почвах при возделывании многолетних травосмесей [4, 10, 22, 23].

Длительное применение минеральных удобрений в сочетании с известкованием позволяет создать оптимальные параметры почвенного плодородия для возделывания многолетних травосмесей [17–19].

Цель работы – изучение влияния длительного применения минеральных удобрений на фоне последствий известки на свойства дерново-подзолистой почвы и продуктивность бобово-злаковой травосмеси.

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

Исследование проводили в Институте агrobiотехнологий им. А.В. Журавского ФИЦ Коми НЦ УрО РАН в полевом стационарном опыте по методике Б.А. Доспехова. Почва опытного участка – дерново-подзолистая среднесуглинистая, характеризующаяся до закладки опыта низким уровнем плодородия: pH_{KCl} 4.1–4.3, содержание гумуса (по Тюрину) – 1.3–1.6%, гидролитическая кислотность – 5.6–6.0 ммоль/100 г почвы (ионометрическим методом), степень насыщенности основаниями (Ca + Mg) – 42–45%, содержание в почве подвижного фосфора – 34–44, обменного калия – 49–77 мг/кг (по Кирсанову), обменного алюминия – 0.8–2.7 ммоль/100 г почвы (по Соколову).

В качестве мелиоранта однократно (в 1983 г.), в год закладки опыта внесли известняковую муку с нейтрализующей способностью 92% в дозах 1.0

и 2.0 величины гидролитической кислотности (г.к.). В последующие годы изучали последствие указанных доз известки, том числе с применением минеральных удобрений.

Схема опыта, варианты: без удобрений (контроль), известь 1.0 г.к. (9 т/га), известь 2.0 г.к. (18 т/га), N60P75K75, известь 1.0 г.к. + N60P75K75, известь 2.0 г.к. + N60P75K75.

Подробно внесение удобрений, способ известкования, состав выращиваемой бобово-злаковой травосмеси описаны в работе [4].

В работе использовали следующие методы анализа показателей почвы: содержание гумуса – по ГОСТ 26213-91, pH_{KCl} – по ГОСТ 2607-91, гидролитическая кислотность – по ГОСТ 27821-88, подвижные формы фосфора и калия – по ГОСТ 26207-91; растений: содержание азота общего – фотоколориметрическим методом, сырой клетчатки – по Геннебергу–Штоману, сырой золы – сухим озолением в муфельной печи, общего фосфора – по ГОСТ 26657-97, общего калия – методом пламенной фотометрии после сухого озоления, сырого протеина – расчетным методом, нитратного азота – ионоселективным методом.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Систематическое наблюдение показало, что известь, внесенная в 1983 г. в дозах 1.0 и 2.0 г.к. в различной степени влияла на свойства дерново-подзолистой почвы (табл. 1).

Установлено, что за период с 1983 по 2023 г. двойная доза известки снижала обменную кислотность почвы до 2013 г., подобные явления наблюдали также при совместном применении известки и NPK, что составило 3.9–4.0 ед., в последующие годы наблюдали подкисление почвы указанных вариантов опыта. В вариантах без удобрений и внесения одних минеральных удобрений во все годы отмечено подкисление

Таблица 1. Влияние известкования и внесения минеральных удобрений на кислотность дерново-подзолистой почвы

Вариант	pH_{KCl} , ед. pH				H_p , ммоль/100 г почвы			
	1983 г.	2000 г.	2013 г.	2023 г.	1983 г.	2000 г.	2013 г.	2023 г.
Без удобрений	4.1	3.9	3.7	3.4	5.8	5.6	5.4	5.7
Известь 1.0 г.к. (9 т/га)	4.2	4.3	4.2	4.0	5.6	4.9	5.1	5.4
Известь 2.0 г.к. (18 т/га)	4.2	4.5	4.3	4.1	5.7	4.8	4.6	4.8
N60P75K75	4.3	4.0	3.8	3.6	5.8	4.8	4.7	3.9
Известь 1.0 г.к. + N60P75K75	4.1	4.4	4.2	3.9	5.6	4.9	4.6	3.8
Известь 2.0 г.к. + N60P75K75	4.3	4.5	4.3	4.0	6.0	5.2	4.8	4.0
HCP_{05}	0.4	0.5	0.4	0.4	0.5	0.5	0.5	0.4

почвы, что к 2013 г. составило 3.4 ед. рН. Подобные закономерности отмечены и для гидролитической кислотности почвы. Ее содержание снижалось в основном с 5.6–6.0 (1983 г.) до 4.8–5.4 ммоль/100 г почвы, в последующие годы исследования ее величина стабилизировалась.

Наиболее эффективное действие на содержание гумуса оказало использование извести в дозе 2.0 г.к. и применение минеральных удобрений (N60P75K75) и составило к 2023 г. 1.8%. Это произошло прежде всего за счет гумификации корне-пожневных остатков многолетних трав. В других вариантах количество гумуса изменялось от 1.2 до 1.8%, в контроле было равно 1.3% (табл. 2).

Содержание подвижного фосфора и обменного калия в вариантах внесения извести за период исследования изменялось незначительно – от 33 до 42 мг/кг почвы. В вариантах с внесением отдельно NPK и NPK на фоне последствий известкования оно постоянно повышалось и к 2023 г. составило: подвижного фосфора – 130–159 и обменного калия – 102–124 мг/кг почвы. Эти явления улучшали питание растений, а также увеличили объемы корне-пожневных остатков и их трансформацию в почве, что явилось дополнительным источником питания бобово-злаковой травосмеси.

В результате длительного исследования установлено, что известь нейтрализовала кислую среду дерново-подзолистой почвы, что улучшало питание растений. Дополнительное применение минеральных удобрений способствовало резкому повышению урожайности многолетних трав (табл. 3).

В первый год опыта (1983 г.) наибольшие урожаи многолетних трав были получены в вариантах

применения NPK на фоне внесения извести и составили 4.6–4.8 т с.в./га, что превышал вариант без удобрений на 30–60%. В вариантах внесения 2-х доз извести урожайность трав составила 3.2–3.3 т с.в./га. К 2010 г. в вариантах внесения 2-х доз извести и применения NPK на фоне известкования урожайность трав практически была равной (5.6–5.7 и 6.0–6.2 т с.в./га). В среднем за 7 лет наиболее высокая урожайность бобово-злаковой травосмеси составила 5.4–5.6 т с.в./га, что на 93–100% превысило контрольный вариант на 23.0–40.0% – вариант применения только NPK.

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

Содержание сухого вещества бобово-злаковых смесей в вариантах с известкованием снижалось и составило 22.3–22.4% (в варианте без удобрений – 22.8%). В вариантах внесения NPK на фоне извести оно было равно 21.3–21.5 и в варианте с NPK – 20.7%.

Наиболее важным показателем качества кормов для животноводства является содержание в них сырого протеина. Его количество в многолетних травах изменялось от 10.1 до 14.0%. Наибольшее его количество установлено в вариантах применения NPK на фоне известкования – 13.5–14.0%, 2-х доз извести – 10.6–11.6% и внесения NPK – 11.9% при содержании в контроле 10.1%. Содержание общего фосфора изменялось от 0.70 до 0.95%, калия – от 2.03 до 2.90% и кальция – от 0.66 до 0.81%. Количество нитратов в биомассе многолетних трав составило 81–150 мг/кг сырой массы и не превышало ПДК (500 мг/кг сырой массы).

Таблица 2. Влияние извести и минеральных удобрений на агрохимические показатели дерново-подзолистой почвы

Вариант	Гумус, %				P ₂ O ₅				K ₂ O			
					мг/кг почвы							
	1983 г.	2000 г.	2013 г.	2023 г.	1983 г.	2000 г.	2013 г.	2023 г.	1983 г.	2000 г.	2013 г.	2023 г.
Без удобрений	1.6	1.7	1.6	1.3	34	37	23	25	77	64	53	48
Известь 1.0 г.к. (9 т/га)	1.6	1.7	1.8	1.6	41	39	31	33	49	46	48	50
Известь 2.0 г.к. (18 т/га)	1.5	1.6	1.7	1.7	43	41	30	42	66	57	51	52
N60P75K75	1.4	1.3	1.3	1.2	42	126	128	130	58	92	102	102
Известь 1.0 г.к. + N60P75K75	1.5	1.6	1.7	1.7	44	138	149	151	74	88	117	121
Известь 2.0 г.к. + N60P75K75	1.3	1.6	1.9	1.8	38	145	156	159	57	108	121	124
НСП ₀₅	0.2	0.2	0.2	0.2	4	9	10	11	6	9	12	12

Таблица 3. Влияние минеральных удобрений и последствия извести на урожайность многолетних трав

Вариант	Урожайность, т с.в./га							
	1983 г.	2000 г.	2005 г.	2010 г.	2015 г.	2020 г.	2023 г.	Среднее за 7 лет
Без удобрений	2.0	2.1	2.4	3.6	3.3	3.4	3.2	2.8
Известь 1.0 г.к. (9 т/га)	3.2	4.8	5.2	5.7	4.8	3.9	3.5	4.4
Известь 2.0 г.к. (18 т/га)	3.3	5.2	5.3	5.6	5.0	4.4	3.7	4.6
N60P75K75	3.1	6.0	5.6	5.8	5.1	4.5	4.0	4.9
Известь 1.0 г.к. + N60P75K75	4.6	6.4	6.2	6.0	5.2	4.8	4.4	5.4
Известь 2.0 г.к. + N60P75K75	4.8	6.6	6.4	6.2	5.3	5.1	4.6	5.6
HCP ₀₅	0.4	0.5	0.6	0.6	0.6	0.5	0.4	—

Примечание. с.в.— сухое вещество.

Таблица 4. Влияние агрохимических средств на качество многолетних трав (среднее за 2010–2023 гг.)

Вариант	Сухое вещество	Азот общий	Сырой протеин	Фосфор общий	Калий общий	Кальций общий	Нитраты, мг/кг с.м.
	%						
Без удобрений	22.8	1.62	10.1	0.70	2.03	0.66	81
Известь 1.0 г.к. (9 т/га)	22.4	1.70	10.6	0.75	2.04	0.75	102
Известь 2.0 г.к. (18 т/га)	22.3	1.86	11.6	0.76	2.11	0.75	116
N60P75K75	20.7	1.90	11.9	0.82	2.18	0.78	124
Известь 1.0 г.к. + N60P75K75	21.5	2.16	13.5	0.84	2.83	0.79	146
Известь 2.0 г.к. + N60P75K75	21.3	2.24	14.0	0.95	2.90	0.81	150
HCP ₀₅	2.2	0.25	1.4	0.08	0.24	0.07	13

Примечание. с.м. - сырая масса.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, в многолетнем полевом опыте, проведенном на дерново-подзолистой среднесуглинистой почве, показана высокая эффективность применения NPK на фоне последействия известкования. Установлено, что известь в дозе 1.0 г.к. снижала кислотность почвы в течение 15–20 лет, доза 2.0 г.к. — до 25–30 лет. Содержание гумуса, подвижных форм фосфора и калия в вариантах с NPK, внесенных на фоне известкования, повышалось на 0.3–0.7%, количество подвижного фосфора и обменного калия увеличивалось за счет трансформации корне-поживных остатков растений и внесения минеральных удобрений. Наибольшая средняя урожайность многолетних трав за годы исследования получена в вариантах внесения NPK на фоне последействия 2-х доз извести (1.0 и 2.0 г.к.), что составило 5.4–5.6 т с.в./га

и превышало контроль на 92.9 и 100% соответственно (в контроле — 2.8 т с.в./га). Корма с наиболее высоким качеством получены также при применении указанных доз NPK и извести. Содержание сырого протеина в кормах составило 13.5–14.0%. Количество нитратов в биомассе было равно 146–150 мг/кг сырой массы при ПДК нитратов, равной 500 мг/кг сырой массы. Показано, что наиболее целесообразно при возделывании бобово-злаковой травосмеси на кислой дерново-подзолистой почве применение извести в дозе 2.0 г.к. (один раз в 20 лет) и ежегодное внесение минеральных удобрений в дозе N60P75K75.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Чекмарев П.А., Купреев Е.М., Ермаков А.А. К проблеме кислотности почв Нечерноземной зоны

- Российской Федерации // Достиж. науки техн. АПК. 2017. № 7. С. 14–19.
2. Хализов З.Н., Зыкова С.А. Состояние и перспективы отрасли кормопроизводства в России // Эффект. живот-во. 2019. № 3. С. 14–18.
 3. Почвы и земельные ресурсы Коми АССР. Сыктывкар, 1975. 344 с.
 4. Чеботарев Н.Т., Броварова О.В. Влияние минеральных удобрений на фоне известкования на урожайность бобово-злаковой трвосмеси и свойства дерново-подзолистой почвы Евро-Северо-Востока // Кормопроизводство. 2021. № 6. С. 11–15.
 5. Некрасов Р.В., Овчаренко М.М., Аканова Н.И. Агроэкологические основы химической мелиорации почв // Земледелие. 2019. № 4. С. 3–8.
 6. Некрасов Р.В., Овчаренко М.М., Аканова Н.И. Агроэкологические основы химической мелиорации почв // Земледелие. 2019. № 3. С. 14–18.
 7. Прудников А.Д., Ясенков Д.А. Динамика кислотности почв при внесении различных известковых материалов // Агрохим. вестн. 2013. № 3. С. 6–7.
 8. Небольсин А.Н., Небольсина З.Н. Теоретические основы известкования почв. СПб., 2005. 252 с.
 9. Шильников И.А., Аканова Н.И., Зеленов Н.А. Известкование — главный фактор сохранения плодородия почв и повышения продуктивности сельскохозяйственных культур // Достиж. науки и техн. АПК. 2008. № 1. С. 21–23
 10. Шпаков А.С. Кормовые культуры в системах земледелия и севооборотах. М.: Росинформагротех, 2004. 400 с.
 11. Елькина Г.Я. Оптимизация минерального питания растений на подзолистых почвах. Екатеринбург: УрО РАН, 2008. 276 с.
 12. Шильников И.А., Сычев В.Г., Зеленов Н.А. Известкование как фактор урожайности и плодородия. М.: ВНИИА, 2008. 340 с.
 13. Витковская С.Е., Яковлев О.Н., Шафрина К.Ф. Влияние возрастающих доз доломитовой муки на кислотно-основные свойства дерново-подзолистой почвы // Агрохимия. 2016. № 7. С. 3–11.
 14. Фигурин В.А., Кислицина А.П., Сунцова Н.П. Создание продуктивных травосмесей с новыми сортами клевера лугового и лядвенцем рогатым // Кормопроизводство. 2010. № 2. С. 27–30.
 15. Митрофанова Е.М. Влияние длительного применения минеральных удобрений и последствий извести на фосфатный режим дерново-поверхностно-подзолистой почвы Предуралья // Агрохимия. 2016. № 7. С. 36–43.
 16. Завьялова Н.Е. Влияние длительного применения минеральных удобрений на фосфатный режим дерново-подзолистой тяжелосуглинистой почвы // Агрохимия. 2015. № 9. С. 33–40.
 17. Лазарев Н.Н., Авдеев С.М., Демина Л.Ю. Изменения агрохимических свойств дерново-подзолистой почвы и урожайности бобово-злаковых травостоев при их долголетнем использовании // Изв. ТСХА. 2011. № 1. С. 9–18.
 18. Кишикаткина А.Н., Тимошкин О.А. Влияние козлятника восточного на плодородие // Земледелие. 2007. № 2. С. 12–13.
 19. Гинтов В.В., Попова Л.А., Дыдыкина А.Л. Аспекты повышения эффективности производства молока в Архангельской области: научно обоснованные рекомендации по заготовке кормов собственного производства и кормления животных. Архангельск: Солти, 2018. 82 с.
 20. Корелина В.А. Создание бобово-злаковых травостоев с использованием тимopheевки луговой в условиях субарктической зоны РФ // Эффект. живот-во. 2019. № 6. С. 76–79.
 21. Афанасьев Р.А., Мерзлая Г.Е. Содержание подвижного калия в почвах при длительном применении удобрений // Агрохимия. 2013. № 6. С. 5–11.
 22. Митрофанова Е.М., Васбиева М.Т. Фосфатный режим дерново-подзолистой почвы при длительном применении органических и минеральных удобрений // Агрохимия. 2014. № 9. С. 13–19.
 23. Кирпичников Н.А., Чернышкова Н.Б. Научное обоснование применения фосфоритной муки в условиях многолетнего полевого опыта // Плодородие. 2017. № 5. С. 20–23.

Impact of Long-Term Use of Mineral Fertilizers and After-effects of Lime on the Productivity of Agrocenoses in the European North

N. T. Chebotarev^a, O. V. Brovarova^a, A. M. Turlakova^{a, #}

^a*Federal Research Center of the Komi Scientific Center of the Ural Branch of the RAS –*

A. V. Zhuravsky Institute of Agrobiotechnology,

Rucheynaya ul. 27, Syktyvkar 167023, Russia

[#]*E-mail: turlakova100krapt@mail.ru*

The study of the effectiveness of the use of mineral fertilizers (N60P75K75) against the background of the effects of 2 doses of lime (1.0 and 2.0 h.a.) was carried out in a field stationary experiment, established in 1983, on sod-podzolic medium loamy soil. The effect of 2 doses of lime on a background without fertilizers, as well as with the annual application of mineral fertilizers, was studied. It was found that the highest yield of dry matter (d.m.) of legume-cereal grass mixtures with high quality was obtained in the lime 2.0 h.a. + NPK variant and amounted to 5.3 in 2015, in 2023 – 4.6 t of d.m./ha with yields in the control of 3.3 and 3.2 t/ha, respectively. The dry matter content with such application of agrochemicals was 21.5%, crude protein – 13.5%, the nitrate content did not exceed the maximum permissible concentration (MPC). Lime and NPK were found to have a beneficial effect on the agrochemical properties of the soil. In 2023, the humus content was 4.6%, pH_{KCl} 4.0 pH units, the content of P₂O₅ – 159 and K₂O – 124 mg/kg of soil.

Keywords: soil, mineral fertilizers, lime, yield, grass mixtures, crude protein, dry matter.