

Научная статья

УДК [631.821.1:631.445.24]:631.811.1

DOI 10.48012/1817-5457_2025_1_49-57

ВЛИЯНИЕ ИЗВЕСТКОВАНИЯ СИЛЬНОКИСЛОЙ ДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТОЙ ПОЧВЫ НА АЗОТНОЕ ПИТАНИЕ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ КУЛЬТУР

Макаров Вячеслав Иванович✉, Коконов Сергей Иванович

Удмуртский ГАУ, Ижевск, Россия

makaroffVI@yandex.ru

Аннотация. Известкование является важным мелиоративным мероприятием, оказывающим комплексное влияние на плодородие почв, питание сельскохозяйственных культур. Цель исследований – оценка влияния известкования сильнокислой дерново-подзолистой легкосуглинистой почвы на азотное питание яровой пшеницы и белой горчицы. Вегетационный опыт был заложен в 2022 г. В вариантах В2-В5 проведено известкование почвы в дозах 8, 16, 24, 32 г/сосуд соответственно (аналог 4, 8, 12, 16 т $\text{CaCO}_3/\text{га}$). В 2022-2024 гг. в опыте выращивали яровую пшеницу, пожнивно – белую горчицу. В 2022 г. почва по фону А2 содержалась под чистым паром. При известковании дозой 32 г $\text{CaCO}_3/\text{сосуд}$ в звене севооборота без чистого пара прибавка сбора вегетативной массы растений в первый год действия мелиоранта составила 126 %, во второй – снизилась до 76, в третий – 43 %. В среднем за три года исследований биопродуктивность в звене севооборота с чистым паром была меньше на 19,0 %. Связь между дозами известки и содержанием общего азота в растениях нелинейная. Использование половинной дозы известки (8 г/сосуд) снизило содержание азота в биомассе растений в звене севооборота с чистым паром (А2) на 0,09 %, а при ежегодном выращивании яровой пшеницы и пожнивно белой горчицы (А1) на 0,47 %. С повышением доз известки с 16 до 32 г/сосуд обогащенность биомассы растений азотом увеличивается. Хозяйственный вынос азота растениями имеет тесную прямую связь ($r = 0,89-0,98$) с дозами известки. Суммарно за три года в звене севооборота без чистого пара удельная прибавка выноса общего азота составила 13,3 мг N/сосуд на 1 г $\text{CaCO}_3/\text{сосуд}$, в том числе в первый год 54,1 %; во второй – 31,6 %, в третий – 14,3 %. В звене севооборота с чистым паром удельная прибавка выноса общего азота была ниже (9,0 мг N на 1 г CaCO_3). Между содержанием нитратов в биомассе растений и дозами известки связь нелинейная.

Ключевые слова: известкование почв, азотное питание растений, дерново-подзолистые почвы, кислотность почв, содержание азота в растениях, вынос азота растениями.

Для цитирования: Макаров В. И., Коконов С. И. Влияние известкования сильнокислой дерново-подзолистой почвы на азотное питание сельскохозяйственных культур // Вестник Ижевской государственной сельскохозяйственной академии. 2025. № 1 (81). С. 49-57. https://doi.org/10.48012/1817-5457_2025_1_49-57.

Актуальность. Повышенная кислотность – характерная особенность почв сельскохозяйственных угодий во многих регионах Российской Федерации. В настоящее время доля кислых почв пашни в России составляет около 33 % [1], в Нечерноземной зоне – 60 % [10]. Агрохимический мониторинг земель сельскохозяйственного назначения в последних турах обследований выявил дальнейшее увеличение почв с избыточной кислотностью [10, 11].

Известкование, являясь важным мелиоративным приемом для повышения плодородия дерново-подзолистых почв, имеет многогранный характер. Устранение избыточной кислотности положительно сказывается на агрофизические, агрохимические, биологические показатели плодородия почв. Известкование позволяет улучшить оструктуренность и гу-

мусированность почв; повышает насыщенность ППК кальцием; влияет на мобилизацию фосфатов и молибдена, иммобилизацию многих тяжелых металлов [3, 9, 14]. Устранение избыточной кислотности почв позволяет повысить окупаемость азотных удобрений [8, 12].

Улучшение азотного питания сельскохозяйственных культур на известкованных почвах ученые связывают с формированием более уравновешенного почвенного раствора и усилением микробиологических процессов с участием азотфиксирующих организмов симбиотического и ассоциативного типа [8, 13]. В ранее проведенных нами исследованиях было выявлено, что особенностью сильнокислых дерново-подзолистых почв является аномально высокое содержание в составе ППК аммонийной формы азота [5].

Близкие результаты были получены и другими учеными [6]. Эффективность известкования таких почв может быть вызвана главным образом мобилизацией аммонийного азота и последующим улучшением азотного питания сельскохозяйственных культур. Однако имеются сведения о слабом действии известкования на накопление минерального азота в агроземах и действии мелиоративного приема на урожайность [2].

Цель исследований – оценка влияния известкования сильнокислой дерново-подзолистой почвы на азотное питание яровой пшеницы и белой горчицы.

Задачи: 1) установить агрономическую эффективность известкования по изменению биопродуктивности яровой пшеницы и белой горчицы; 2) выявить изменения содержания общего азота и нитратов в растениях при использовании возрастающих доз известки; 3) установить тесноту связи выноса азота растениями с дозами известкового мелиоранта.

Материал и методы исследований. Вегетационный опыт был заложен в ФГБОУ ВО Удмуртский ГАУ в 2022 г. с использованием образца сильнокислой дерново-подзолистой легкосуглинистой почвы. Индекс окультуренности почвы, по Кулаковской, составил всего 0,35 ед. при следующих агрохимических свойствах: рН солевой вытяжки 3,91 ед.; гидролитическая кислотность 5,18 ммоль/100 г, степень насыщенности почв основаниями 66,4 %; содержание гумуса 1,58 %, подвижного фосфора 128 мг/кг, калия – 126, обменного аммония 46,7 мг/кг.

Масса почвы в вегетационном сосуде Кирсанова составила 5 кг. В вариантах 2-5 проведено известкование почвы в дозах 8, 16, 24, 32 г/сосуд соответственно (4, 8, 12, 16 т в пересчете на гектарную норму). В качестве известкового мелиоранта была использована известняковая мука с активным действующим веществом 98 %.

Исследования проведены в 2022-2024 гг. Посев яровой пшеницы проводился во второй декаде мая, белой горчицы – в первой декаде августа. В варианте два фактора А в 2022 г. почва в вегетационном опыте содержалась без растений. Учет сбора вегетативной массы яровой пшеницы проводился в фазе колошения-цветения, белой горчицы – цветения. Содержание сухого вещества, общего азота и нитратов в растениях было определено рекомендованными для анализов кормов стандартными методами (ГОСТ 31640, ГОСТ 134964, ГОСТ

13496.19 соответственно). Азотминерализующая способность почв была определена после недельного компостирования почвенных проб по методике ЦИНАО.

Достоверность экспериментальных данных рассчитана методом дисперсионного анализа на 5 % уровне значимости. Наличие и теснота связи между показателями определена на основе корреляционно-регрессионного анализа. Математическая обработка результатов проведена с помощью прикладных программ Microsoft Excel.

Результаты исследований. В эксперименте установлено, что известкование сильнокислой дерново-подзолистой почвы сопровождается мобилизацией обменного аммония и нитратов.

В первый срок наблюдений (отбор почвенных проб 30.08.2022 г.) при внесении известки по схеме опыта в среднем по двум фонам удельная величина азотминерализующей способности имела прямой линейный характер ($r = 0,98$), составила 12,4 мг N/сосуд на 1 г CaCO_3 /сосуд. При завершении вегетационного опыта (отбор проб 30.08.2024 г.) удельное значение азотминерализующей способности при известковании снизилось до 4,4 мг N/сосуд почвы на 1 г CaCO_3 /сосуд.

Установлено, что известкование сильнокислой дерново-подзолистой почвы достоверно повышает сбор вегетативной массы яровой пшеницы и белой горчицы, выращенной в качестве пожнивной культуры (табл. 1).

Таблица 1 – Влияние известкования почвы на суммарный сбор вегетативной массы яровой пшеницы и белой горчицы, г/сосуд

Чередование культур (А)	Доза известки, г/сосуд (В)	Год исследования				
		2022	2023	2024	среднее	
					2022-2024	2023-2024
1. Яровая пшеница – белая горчица (пожнивno) (2022-2024 гг.)	1) 0 (к)	22,9	23,4	20,3	66,6	43,7
	2) 8	33,3	29,4	20,8	83,5	50,2
	3) 16	47,5	32,1	26,6	106,2	58,7
	4) 24	48,6	39,4	27,6	115,6	67,0
	5) 32	51,7	41,2	29,1	122,0	70,3
2. Чистый пар (2022 г.); яровая пшеница – белая горчица (пожнивno) (2023, 2024 гг.)	1) 0 (к)	–	34,8	24,2	–	59,0
	2) 8	–	45,8	29,6	–	75,4
	3) 16	–	60,3	28,7	–	89,0
	4) 24	–	59,6	29,6	–	89,2
	5) 32	–	56,4	31,0	–	87,4
НСР ₀₅ частн. =		3,5	4,2	2,4	–	–

В первый год исследований (2022 г.) наибольшая биопродуктивность растений установлена при использовании дозы извести 32 г/сосуд. Прибавка составила 126 % к контролю. Во второй год действия извести в варианте А1 агрономическая эффективность мелиоративного мероприятия снизилась – максимальная прибавка сбора вегетативной массы составила 76 %. В третий год наблюдений прибавки не превышали 43 %.

В звене севооборота с чистым паром (варианта А2) в 2023 г. установлена более высокая биопродуктивность в сравнении с вариантом А1. На известкованной дерново-подзолистой почве сбор вегетативной массы растений увеличился на 11,4 г/сосуд (при НСР₀₅ = 4,2 г/сосуд). В свою очередь известкование этой почвы и содержание вегетационных сосудов в виде чистого пара сопровождается на следующий год увеличением биопродуктивности культур на 15,2-28,2 г/сосуд в сравнении с аналогичными вариантами фона А1. В исследованиях 2024 г. суммарный сбор вегетативной массы растений яровой пшеницы и белой горчицы в звене севооборота с чистым паром (А2) был в среднем на 55 % больше в сравнении с А1.

В среднем за три года исследований биопродуктивность на фоне с чистым паром была меньше всего на 19,0 %.

Известкование сильноокислой дерново-подзолистой почвы существенно повлияло на биохимические процессы в растениях, о чем можно судить по содержанию форм азота в растениях.

В первый год действия извести не выявлено прямого действия доз мелиоранта на содержание общего азота в растениях. Наблюдается даже существенное снижение (на 0,46 % N) данного макроэлемента в тканях растений при применении минимальной в эксперименте дозы извести (табл. 2).

Массовая доля азота в тканях белой горчицы в эксперименте превышала аналогичные значения для яровой пшеницы в 1,8 раза. Эти закономерности влияния плодородия почв на состав растений были аналогичны данным, полученным в исследованиях с яровой пшеницей.

Во второй год исследований обеспеченность растений пшеницы азотом при их выращивании после парового предшественника была лучше. В среднем по фону А2 массовая доля азота в тканях растений составила 3,24 %, превысила значение показателя для вариантов фона А1 в 1,4 раза.

Известкование сильноокислой дерново-подзолистой почвы сопровождается неоднозначным

влиянием на содержание азотистых веществ в тканях растений. На фоне А1 выявлено достоверное увеличение содержания общего азота в биомассе растения пшеницы (в 1,2-1,3 раза) лишь при применении полуторных и двойных доз известкового мелиоранта (24 и 32 г/сосуд).

Таблица 2 – Влияние известкования почв на содержание общего азота в вегетативной массе яровой пшеницы и белой горчицы, %

Чередование культур (А)	Доза извести, г/сосуд (В)	Яровая пшеница, год			Белая горчица, год		
		2022	2023	2024	2022	2023	2024
1. Яровая пшеница – белая горчица (пожнивнo), 2022-2024 гг.	1) 0 (к)	2,26	2,17	2,02	3,95	4,27	3,56
	2) 8	1,80	2,18	2,02	3,15	3,23	3,05
	3) 16	2,42	1,76	1,64	4,23	3,28	3,14
	4) 24	2,44	2,61	2,43	4,25	3,64	3,39
	5) 32	2,45	2,82	2,63	4,28	3,45	2,87
2. Чистый пар (2022 г.); яровая пшеница – белая горчица (пожнивнo), 2023, 2024 гг.	1) 0 (к)	–	3,06	2,85	–	2,91	2,71
	2) 8	–	2,85	2,65	–	2,93	2,73
	3) 16	–	3,20	2,98	–	2,86	2,66
	4) 24	–	3,08	2,86	–	2,89	2,69
	5) 32	–	3,84	3,58	–	3,37	3,13
НСР ₀₅ частн. =		0,21	0,19	0,15	0,36	0,19	0,43

При выращивании яровой пшеницы по паровому предшественнику эффективной дозой мелиоранта была только при дозе 32 г/сосуд. Массовая доля общего азота увеличилась на 0,78 % N в сравнении с контрольным вариантом (2,85 % N). Аналогичная закономерность выявлена и при выращивании белой горчицы в опыте в качестве пожнивной культуры. Прибавка азота в тканях растений составила 0,46 % N при НСР₀₅ = 0,19 %.

Близкие результаты были получены и в исследованиях 2024 г. Двойная доза известкового мелиоранта (32 г/сосуд) достоверно повысила массовую долю азота в растениях пшеницы по обоим фонам в среднем в 1,3 раза (на 0,67 % N). В то же время при выращивании белой горчицы достоверно положительного влияния известкования на содержание азота в растениях не выявлено.

Вынос питательных элементов является важным агрохимическим показателем, характеризующим агроистощение почв. Выявлено, что известкование сильноокислой дерново-подзолистой почвы изменило вынос азота надземной вегетативной массой растений (табл. 3).

Таблица 3 – Влияние известкования почв на хозяйственный вынос общего азота вегетативной массой яровой пшеницы и белой горчицы, мг N/сосуд

Чередование культур (А)	Доза известки, г/сосуд (В)	Яровая пшеница, год			Белая горчица, год		
		2022	2023	2024	2022	2023	2024
1. Яровая пшеница – белая горчица (пожнивню) (2022-2024 гг.)	1) 0 (к)	64	67	48	81	80	69
	2) 8	74	80	51	92	83	58
	3) 16	146	70	60	170	93	61
	4) 24	148	125	93	180	129	68
	5) 32	160	149	100	191	120	67
2. Чистый пар (2022 г.); яровая пшеница – белая горчица (пожнивню) (2023, 2024 гг.)	1) 0 (к)	–	158	92	–	65	51
	2) 8	–	208	104	–	70	63
	3) 16	–	316	116	–	84	59
	4) 24	–	295	118	–	88	58
	5) 32	–	343	152	–	102	72

В первый год исследований наибольший хозяйственный вынос азота растениями был при использовании максимальной в опыте дозы известкования (32 г/сосуд). При выращивании яровой пшеницы прибавка выноса азота составила 150 %, белой горчицы – 136 %. Между дозами известки и выносом растениями азота наблюдается достоверная тесная прямая связь. Коэффициенты корреляции составили 0,88 и 0,90 соответственно (табл. 4).

Таблица 4 – Корреляционная связь доз известки (г/сосуд) с хозяйственным выносом азота (мг N/сосуд) культурами, $n = 5$; r_{05} , $\eta_{05} = 0,88$

Культура	Год	Варианты фактора А	Вид связи, значение	Уравнение регрессии
Яровая пшеница	2022	1	$r = 0,88$	$y = 3,1601x + 69,735$
		2	$r = 0,94$	$y = 2,7142x + 56,402$
	2023	1	$r = 0,89$	$y = 4,212x + 240,14$
		2	$r = 0,97$	$y = 1,8529x + 41,865$
	2024	1	$r = 0,98$	$y = 2,2954x + 97,85$
		2	$r = 0,90$	$y = 3,6811x + 86,111$
Белая горчица	2022	1	$r = 0,91$	$y = 1,5946x + 76,444$
		2	$r = 0,73$ $\eta = 0,94$	$y = -0,0577x^2 + 2,5394x + 68,453$
	2023	1	$r = 0,24$ $\eta = 0,69$	–
		2	$r = 0,63$ $\eta = 0,68$	–

В соответствии с уравнениями регрессии, приведенными в таблице 4, доза известки в ко-

личестве 1 г/сосуд приводит к увеличению выноса азота яровой пшеницей на 3,2 мг N/сосуд, белой горчицы – 3,9.

В исследованиях 2023 г. также установлена достоверная связь линейного типа продуктивности яровой пшеницы с дозами известки. Однако угловой коэффициент уравнения регрессии во второй год действия известки по фону А1 был на 14 % ниже в сравнении с данными, полученными в предыдущем году (2,71 мг N/сосуд на 1 г/сосуд известки).

В то же время, при выращивании пшеницы по паровому предшественнику (фон А2) хозяйственный вынос азота увеличился на 160 % в сравнении с другим фоном. При этом в 1,55 раза увеличился угловой коэффициент уравнения регрессии (4,2 мг N/сосуд на 1 г/сосуд известки). Таким образом, усиление азотмобилизационных процессов под действием известки в год проведения исследований наслонилось на аналогичные процессы, происходящие в парующей почве в предыдущем году.

В исследованиях 2023 г. хозяйственный вынос азота белой горчицей также уступал данным, полученным в предыдущий год. В вариантах фона А1 угловой коэффициент уравнения регрессии составил всего 1,59 мг N/сосуд на 1 г/сосуд известки, был ниже значения, полученного в первый год известкования, в 2,3 раза. В вариантах фона А2 связь выноса азота с дозами известки имела нелинейный характер. Корреляционное отношение по полиномиальному типу тренда составило 0,94.

В завершающий год исследований действие известкования по хозяйственному выносу азота проявилось только на первой культуре. Угловой коэффициент уравнения регрессии для фона А1 составил 1,85 мг N/сосуд на 1 г/сосуд известки, был наименьшим в трехлетних исследованиях с яровой пшеницей. Значение показателя, в сравнении с данными, полученными в 2022 г., снизились в 1,71 раза.

В то же время, угловой коэффициент уравнения регрессии для фона А2 был на четверть больше, составил 2,30 мг N/сосуд на 1 г/сосуд известки. Следовательно, действие чистого пара на питание яровой пшеницы проявилось не менее двух лет.

В третий год исследований (2024 г.) хозяйственный вынос азота белой горчицей был минимальным в эксперименте с данной культурой – не превышал 72 мг N/сосуд. При этом вынос азота стабилизировался по фонам А1 и А2 (63 и 62 мг N/сосуд соответственно). При пожнивном возделывании белой горчицы досто-

верного влияния известкования на азотное питание растений по выносу азота растениями не установлено – рассчитанные коэффициенты корреляции и корреляционные отношения недостоверны для данной выборки.

За трехлетний период исследований хозяйственный вынос азота на неизвесткованной дерново-подзолистой почве по фону А1 составил 409 мг/сосуд (табл. 5).

Таблица 5 – Влияние известкования почв на хозяйственный вынос общего азота вегетативной массой яровой пшеницы и белой горчицы, мгN/сосуд

Чередование культур (А)	Доза известки, г/сосуд (В)	Год исследования				
		2022	2023	2024	сумма	
					2022-2024	2022-2023
1. Яровая пшеница – белая горчица (пожнивнo), 2022-2024 гг.	1) 0 (к)	145	147	117	409	264
	2) 8	166	163	109	438	272
	3) 16	316	163	121	600	284
	4) 24	328	254	161	743	415
	5) 32	351	269	167	787	436
2. Чистый пар (2022 г.); яровая пшеница – белая горчица (пожнивнo), 2023, 2024 гг.	1) 0 (к)	–	223	143	–	366
	2) 8	–	278	167	–	445
	3) 16	–	400	175	–	575
	4) 24	–	383	176	–	559
	5) 32	–	445	224	–	669

Усредненный по вариантам А1В1-А1В5 хозяйственный вынос азота в 2022 г. составил 261 мг N/сосуд. В последующие годы значения показателя постепенно снизились – в 2023 г. на 62 мг N/сосуд (23,7 %), в 2024 г. на 126 мг N/сосуд (48,3 %).

Между дозами известкового мелиоранта и хозяйственным выносом азота растениями во все годы исследований установлена тесная прямая связь (рис. 1). Значения коэффициентов корреляции были в пределах 0,89-0,98.

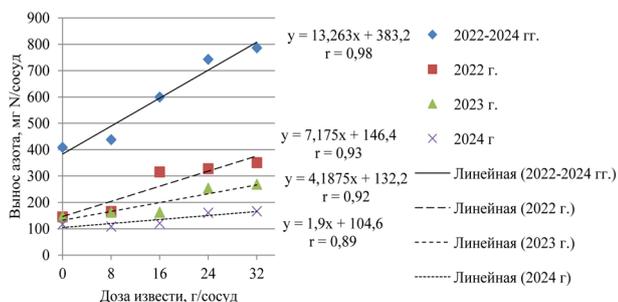


Рисунок 1 – Корреляционная связь доз известки (г/сосуд) с хозяйственным выносом азота (мг N/сосуд) сельскохозяйственными культурами (варианты А1), n = 5; $r_{05}(\eta_{05}) = 0,88$

Суммарно за три года действия мелиоранта в количестве 1 г/сосуд обеспечила прибавку выноса азота растениями яровой пшеницы и белой горчицы на 13,3 мг N/сосуд. В соответствии с угловыми коэффициентами уравнений регрессий, приведенными на рисунке 1, в первый год действия известки агрохимическая эффективность мелиоранта по выносу азота составила 54,1 % (для трехлетнего срока наблюдений). Во второй год эффективность известкования составила 31,6 %, в третий, при угловом коэффициенте 1,90 – всего 14,3 %.

В исследованиях с растениями, проведенных в звене севооборота с чистым паром (А2), усредненный хозяйственный вынос азота, полученный за два вегетационных периода, уступал данным для фона А1 (3 вегетационных периода) всего на 10,5 %. Усредненный по вариантам А2В1-А2В5 хозяйственный вынос азота растениями яровой пшеницы и белой горчицы в 2023 г. составил 346 мг N/сосуд, что составляет 66,5 % от общего выноса за два года.

Между дозами известкового мелиоранта и хозяйственным выносом азота растениями во все годы исследований установлена тесная прямая связь (рис. 2). Значения коэффициентов корреляции были в пределах 0,92-0,96.

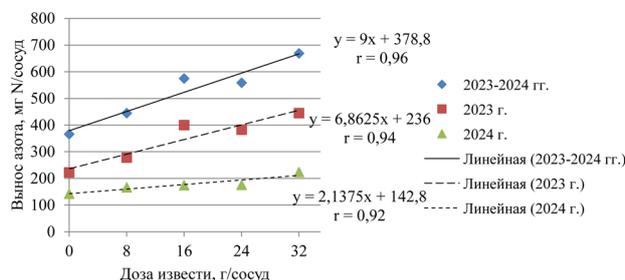


Рисунок 2 – Корреляционная связь доз известки (г/сосуд) с хозяйственным выносом азота (мг N/сосуд) сельскохозяйственными культурами (варианты А2), n = 5; $r_{05}(\eta_{05}) = 0,88$

Суммарно за три года действия мелиоранта доза известки в количестве 1 г/сосуд обеспечила прибавку выноса азота растениями яровой пшеницы и белой горчицы за два вегетационных периода на 9,0 мг N/сосуд. Это значение показателя на 32,1 % меньше данных, полученных по фону А1.

За трехлетний период исследований использование звена севооборота с чистым паром (фон А2) сопровождается снижением суммарного выноса азота в сравнении с фоном А1 по усредненным данным всего на 7,1 %. Наибольшее снижение выноса азота произошло при использовании доз известки 24 и 32 г/со-

суд – на 24,8 и 15,0 % соответственно. Расхождение в суммарном выносе азота растениями за трехлетний срок на разных фонах (A1 и A2) при применении «нормальных» доз извести (8 и 16 г/сосуд – аналог 4 и 8 т CaCO₃/га) составило всего 1,6-4,2 %.

Выращивание яровой пшеницы и белой горчицы в звене севооборота с чистым паром на сильнокислой дерново-подзолистой почве (вариант A2B1) привело к снижению выноса азота на 43 мг N/сосуд (10,5 %) в сравнении с вариантом A1B1.

Основными источниками минерального корневого питания растений азотом являются нитраты и аммоний. Усвоение растениями нитратной формы азота более предпочтительно [4, 7]. Это связано со многими абиотическими и биотическими факторами. Во-первых, нитрат-ион обладает слабой абсорбцией и адсорбцией в отношении твердой фазы почв, располагается преимущественно в жидкой фазе. Во-вторых, нитраты вступают в синергические связи при корневом питании растений. В третьих, в отличие от аммония NO₃⁻ может в значительных количествах аккумулироваться в вегетативной массе растений как запасной фонд азота для синтеза веществ органической природы, в том числе в генеративных органах.

Установлено стабильно высокое содержание нитратов в биомассе яровой пшеницы и белой горчицы при их возделывании на сильнокислой дерново-подзолистой почве без известкования (табл. 6).

Таблица 6 – Влияние известкования почв на содержание нитратов в вегетативной массе яровой пшеницы и белой горчицы, мгN/кг

Чередование культур (А)	Доза извести, г/сосуд (В)	Яровая пшеница, год			Белая горчица, год		
		2022	2023	2024	2022	2023	2024
1. Яровая пшеница – белая горчица (пожнивнo), 2022-2024 гг.	1) 0 (к)	257	1192	542	235	2588	559
	2) 8	151	1089	510	216	283	538
	3) 16	122	733	217	161	211	339
	4) 24	134	767	297	118	305	309
	5) 32	199	815	611	184	371	528
2. Чистый пар (2022 г.); яровая пшеница – белая горчица (пожнивнo), 2023, 2024 гг.	1) 0 (к)	–	566	584	–	286	553
	2) 8	–	479	447	–	232	385
	3) 16	–	867	266	–	208	220
	4) 24	–	1040	281	–	208	121
	5) 32	–	1667	524	–	440	283
НСР ₀₅ частн. =		7	49	37	34	35	33

В первый год действия извести выявлено достоверное влияние доз мелиоранта на содержание нитратов в растениях пшеницы. Наименьшее содержание нитратов в растениях было при использовании доз извести 16 и 24 г/сосуд. Между дозами известкового мелиоранта и содержанием нитратов в растениях установлена тесная связь нелинейного типа. Значения корреляционных отношений по полиномиальному типу тренда были в пределах 0,87-1,00 (табл. 7).

Таблица 7 – Корреляционная связь доз извести (г/сосуд) с содержанием нитратов (мг N/сосуд) в биомассе сельскохозяйственных культур, n = 5; r₀₅ (η₀₅) = 0,88

Сельскохозяйственная культура	Год	Варианты фактора А	Вид связи, значение	Уравнение регрессии
Яровая пшеница	2022	1	η = 1,00	y = 0,4275x ² - 15,341x + 253,91
		2	η = 0,93	y = 0,7723x ² - 38,164x + 1233,3
	2023	1	η = 0,99	y = 1,3538x ² - 8,7839x + 544,49
		2	η = 0,84	y = 1,1886x ² - 38,973x + 602,54
	2024	1	η = 0,95	y = 1,067x ² - 37,718x + 614,17
		2	η = 0,87	y = 0,2031x ² - 9x + 248,8
Белая горчица	2022	1	η = 0,93	y = 5,4777x ² - 230,44x + 2335,1
		2	η = 0,94	y = 0,6652x ² - 17,736x + 303,14
	2023	1	η = 0,94 r = 0,94	y = -0,0352x ² - 11,019x + 576,35
		2	η = 0,99 r = 0,99	y = -11,863x + 578,6
	2024	1	η = 0,94 r = 0,94	y = 0,2695x ² - 24,731x + 556,15
		2	η = 1,00 r = 0,99	y = -18,263x + 538,9

В исследованиях, выполненных в 2023 г., закономерности накопления нитратов в тканях растений несколько изменились. При выращивании яровой пшеницы по фону A2 наблюдается увеличение содержания NO₃⁻ в растениях пропорционально дозам известкового мелиоранта. При этом связь между показателями имеет нелинейный характер – корреляционное отношение составляет 0,99 (рис. 3).

В то же время, при выращивании изучаемой культуры в севообороте по фону A1 наблюдается достоверное снижение содержания нитратов в биомассе растений. Корреляционное отношение равняется 0,93. Близкие результаты были получены и при пожнивном возделывании белой горчицы. Корреляционные отно-

шения для вариантов фонов A1 и A2 составили 0,93 и 0,94 соответственно.

В третий год действия извести (2024 г.) в эксперименте с яровой пшеницей на обоих фонах (A1 и A2) наименьшее содержание нитратов в растениях было при использовании доз извести в дозах 16 и 24 г/сосуд, что соответствует 8 и 16 т/га активного действующего вещества известкового мелиоранта.

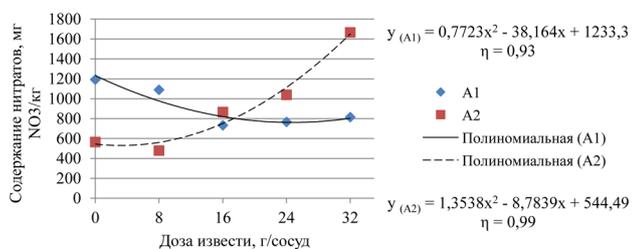


Рисунок 3 – Корреляционная связь доз извести (г/сосуд) с содержанием нитратов (мг NO₃-/сосуд) в биомассе яровой пшеницы (2023 г.), n = 5; r₀₅(η₀₅) = 0,88

При познивном выращивании белой горчицы связь доз извести с содержанием нитратов в биомассе растений была обратной тесной, имела линейный характер – значения коэффициентов корреляций и корреляционных отношений в выборках отличались не более 0,01 ед.

Выводы:

1. Агрোনмическая эффективность известкования сильноокислой дерново-подзолистой почвы наиболее высокая в первый год. При известковании дозой 32 г CaCO₃/сосуд в звене севооборота без чистого пара прибавка сбора вегетативной массы в первый год действия мелиоранта составила 126 %, во второй – 76, в третий – 43 %. В среднем за три года исследований биопродуктивность в звене севооборота с чистым паром была меньше на 19,0 %.

2. Связь между дозами извести и содержанием общего азота в растениях нелинейная. Использование половинной дозы извести (8 г/сосуд) снизило содержание азота в биомассе растений в звене севооборота с чистым паром на 0,09 %, а при ежегодном выращивании яровой пшеницы и познивно белой горчицы (A1) – на 0,47 %. С повышением доз извести с 16 до 32 г/сосуд обогащенность биомассы растений азотом увеличивается.

3. Хозяйственный вынос азота растениями имеет тесную прямую связь (r = 0,89-0,98) с дозами извести. Суммарно за три года в звене севооборота без чистого пара удельная прибавка выноса общего азота составила 13,3 мг N/сосуд на 1 г CaCO₃/сосуд, том числе в первый год 54,1 %; во второй – 31,6 %, в третий – 14,3 %.

В звене севооборота с чистым паром удельная прибавка выноса общего азота была ниже (9,0 мг N на 1 г извести).

4. Известкование сильноокислой кислой дерново-подзолистой почвы сопровождается снижением содержания нитратов в растениях в звене севооборота без чистого пара и повышением – с чистым паром. Между содержанием нитратов в биомассе растений и дозами извести связь нелинейная.

Список источников

1. Ранжирование кислых почв по приоритетности проведения известкования в Российской Федерации / А. Л. Иванов, В. С. Столбовой, А. М. Гребенников [и др.] // Бюллетень Почвенного института им. В. В. Докучаева. 2020. Вып. 103. С. 168-187. DOI 10.19047/0136-1694-2020-103-168-187.
2. Кодочилова Н. А., Бузынина Т. С., Варламова Л. Д. Накопление минерального азота в почве в условиях длительного стационарного опыта // Международный сельскохозяйственный журнал. 2021. № 6(384). С. 22-25. DOI 10.24412/2587-6740-2021-6-22-25.
3. Агроэкологическая оценка кислотности почв Центрального Черноземья и необходимость проведения химической мелиорации при возделывании белого люпина / С. В. Лукин, А. С. Цыгуткин, В. Д. Блинникова, А. Л. Кауфман // Плодородие. 2012. № 6 (69). С. 38-40.
4. Макаров В. И. Нитрификационная способность почв Удмуртии // Плодородие. 2016. № 6. С. 42-44.
5. Макаров В. И., Исупов А. Н. Связь форм аммония с агрохимическими свойствами почв в Нижегородском природно-сельскохозяйственном округе // Агрохимический вестник. 2020. № 5. С. 65-70. DOI 10.24411/1029-2551-2020-10071.
6. Небольсин А. Н., Небольсина З. П. Теоретические основы известкования почв. Санкт-Петербург: ЛНИИСХ, 2005. 252 с.
7. Окорков В. В. К вопросу о равноценности питания растений нитратным и аммонийным азотом // Агрохимия. 2021. № 12. С. 3-14. DOI 10.31857/S0002188121120103.
8. Сычев В. Г., Соколов О. А., Шмыряев Н. Я. Роль азота в интенсификации продукционного процесса сельскохозяйственных культур. Агрохимические аспекты роли азота в продукционном процессе. Москва: ВНИИА, 2009. Т. 1. 424 с.
9. Сычев В. Г., Аканова Н. И. Современные проблемы и перспективы химической мелиорации кислых почв // Плодородие. 2019. № 1(106). С. 3-7. DOI 10.25680/S19948603.2019.106.01.
10. Сычев В. Г., Шафран С. А., Виноградова С. Б. Плодородие почв России и пути его регулирования // Агрохимия. 2020. № 6. С. 3-13. DOI 10.31857/S0002188120060125.

11. Шафран С. А. Динамика плодородия почв Не-черноземной зоны // Агрохимия. 2016. № 8. С. 3-10.
12. Шафран С. А. Баланс азота в земледелии России и его регулирование в современных условиях // Агрохимия. 2020. № 6. С. 14-21. DOI 10.31857/S0002188120060113.
13. Kreišmane D., Naglis-Liepa K., Popluga D., Lēnerts A., Rivža P. Liming effect on nitrogen use efficiency and nitrogen oxide emissions in crop farming. *Research for Rural Development*. 2016; 1: 31-36.
14. Nebytov V. G. Shanges in the properties of leashed chernozem upon its agricultural use and field protective afforestation. *Soil Sci*. 2005; 6: 656-664.

References

1. Ranzhирование kislýx pochv po prioritetnosti provedeniya izvestkovaniya v Rossijskoj Federacii / A. L. Ivanov, V. S. Stolbovoj, A. M. Grebennikov [i dr.] // *Byulleten' Pochvennogo instituta im. V. V. Dokuchaeva*. 2020. Vy'p. 103. S. 168-187. DOI 10.19047/0136-1694-2020-103-168-187.
2. Kodochilova N. A., Buzy'nina T. S., Varlamova L. D. Nakoplenie mineral'nogo azota v pochve v usloviyax dlitel'nogo stacionarnogo opý'ta // *Mezhdunarodny'j sel'skoxozyajstvenny'j zhurnal*. 2021. № 6(384). S. 22-25. DOI 10.24412/2587-6740-2021-6-22-25.
3. Agroekologicheskaya ocenka kislotnosti pochv Central'nogo Chernozem'ya i neobxodimost' provedeniya ximicheskoy melioracii pri vozdeľvanii belogo lyupina / S. V. Lukin, A. S. Cygutkin, V. D. Blinnikova, A. L. Kaufman // *Plodorodie*. 2012. № 6 (69). S. 38-40.
4. Makarov V. I. Nitrifikacionnaya sposobnost' pochv Udmurtii // *Plodorodie*. 2016. № 6. S. 42-44.
5. Makarov V. I., Isupov A. N. Svyaz' form ammoniya s agroximicheskimi svojstvami pochv v Nizhnevyatskom prirodno-sel'skoxozyajstvennom okru-

- ge // *Agroximicheskij vestnik*. 2020. № 5. S. 65-70. DOI 10.24411/1029-2551-2020-10071.
6. Nebol'sin A. N., Nebol'sina Z. P. *Teoreticheskie osnovy' izvestkovaniya pochv*. Sankt-Peterburg: LNIISX, 2005. 252 s.
7. Okorkov V. V. K voprosu o ravnocennosti pitaniya rastenij nitratny'm i ammonijnym azotom // *Agroximiya*. 2021. № 12. S. 3-14. DOI 10.31857/S0002188121120103.
8. Sy'chev V. G., Sokolov O. A., Shmy'ryaev N. Ya. Rol' azota v intensivizacii produkcionnogo processa sel'skoxozyajstvenny'x kul'tur. *Agroximicheskie aspekty' roli azota v produkcionnom processe*. Moskva: VNIIA, 2009. T. 1. 424 s.
9. Sy'chev V. G., Akanova N. I. Sovremenny'e problemy' i perspektivy' ximicheskoy melioracii kislýx pochv // *Plodorodie*. 2019. № 1(106). S. 3-7. DOI 10.25680/S19948603.2019.106.01.
10. Sy'chev V. G., Shafran S. A., Vinogradova S. B. Plodorodie pochv Rossii i puti ego regulirovaniya // *Agroximiya*. 2020. № 6. S. 3-13. DOI 10.31857/S0002188120060125.
11. Shafran S. A. Dinamika plodorodiya pochv Nechernozemnoj zony' // *Agroximiya*. 2016. № 8. S. 3-10.
12. Shafran S. A. Balans azota v zemledelii Rossii i ego regulirovanie v sovremenny'x usloviyax // *Agroximiya*. 2020. № 6. S. 14-21. DOI 10.31857/S0002188120060113.
13. Kreišmane D., Naglis-Liepa K., Popluga D., Lēnerts A., Rivža P. Liming effect on nitrogen use efficiency and nitrogen oxide emissions in crop farming. *Research for Rural Development*. 2016; 1: 31-36.
14. Nebytov V. G. Shanges in the properties of leashed chernozem upon its agricultural use and field protective afforestation // *Soil Sci*. 2005. № 6. R. 656-664.

Сведения об авторах:

В. И. Макаров [✉], кандидат сельскохозяйственных наук, доцент, <https://orcid.org/0000-0002-2240-700X>;
С. И. Коконев, доктор сельскохозяйственных наук, профессор, <https://orcid.org/0000-0001-7201-3909>
 Удмуртский ГАУ, ул. Кирова, 16, Ижевск, Россия, 426033
makaroffVI@yandex.ru

Original article

IMPACT OF LIMING ON NITROGEN NUTRITION OF AGRICULTURAL CROPS IN HIGHLY ACIDIC SOD-PODZOLIC SOIL

Vyacheslav I. Makarov [✉], **Sergey I. Kokonov**
 Udmurt State Agricultural University, Izhevsk, Russia
makaroffVI@yandex.ru

Abstract. *Liming is an important reclamation measure that has a complex effect on soil fertility and crop nutrition. The purpose of the research is to evaluate the effect of liming of highly acidic sod-podzolic light loamy soils on nitrogen nutrition of spring wheat and white mustard. The vegetation experiment was conducted in 2022. The soils in variants B2-B5 were chalked at doses of 8, 16, 24, 32 g/vessel, respectively (analogous to 4, 8, 12, 16 t CaCO₃/ha). During the experiment in 2022-2024 the spring wheat was grown, the white mustard was the post-*

harvest crop. In 2022 the soil in the plot A2 lay complete fallow. The liming of the crop rotation link without rest with a dose of 32 g CaCO₃/vessel increased the vegetative mass of plants by 126 % in the first year of the ameliorant using, in the second year – decreased to 76 %, in the third year – 43 %. On average for the three years of research the bioproductivity in the crop rotation link with complete fallow land was lower by 19.0 %. The relationship between lime doses and the total nitrogen content in plants is non-linear. The use of a half dose of lime (8 g/vessel) reduced the nitrogen content in the biomass of plants in the crop rotation link with complete fallow land (A2) by 0.09 %, and with annual cultivation of spring wheat and white mustard as the postharvest crop (A1) by 0.47 %. With an increase in lime doses from 16 to 32 g/vessel, the enrichment of plant biomass with nitrogen increases. The economic removal of nitrogen by plants has a close direct relationship ($r = 0.89-0.98$) with lime doses. In total, for three years in the crop rotation link without complete fallow land, the specific increase in total nitrogen removal was 13.3 mg N/vessel per 1 g CaCO₃/vessel, in the first year - 54.1 %; in the second – 31.6 %, in the third – 14.3 %. The crop rotation link with complete fallow land had the lower level of specific increase in total nitrogen removal (9.0 mg N per 1 g CaCO₃). There is a non-linear relationship between the nitrate content in plant biomass and lime doses.

Key words: liming of soils, nitrogen nutrition of plants, sod-podzolic soils, soil acidity, nitrogen content in plants, nitrogen removal by plants.

For citation: Makarov V. I., Kokonov S. I. Impact of liming on the nitrogen nutrition of agricultural crops in highly acidic sod-podzolic soil. *The Bulletin of Izhevsk State Agricultural Academy*. 2025; 1 (81): 49-57. (In Russ.). https://doi.org/10.48012/1817-5457_2025_1_49-57.

Authors:

V. I. Makarov[✉], Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor, <https://orcid.org/0000-0002-2240-700X>;

S. I. Kokonov, Doctor of Agricultural Sciences, Professor, <https://orcid.org/0000-0001-7201-3909>

Udmurt State Agriculture University, 16 Kirova St., Izhevsk, Russia, 426033

makaroffVI@yandex.ru

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest: the authors declare that they have no conflicts of interest.

Статья поступила в редакцию 10.09.2024; одобрена после рецензирования 04.02.2025; принята к публикации 03.03.2025.

The article was submitted 10.09.2024; approved after reviewing 04.02.2025; accepted for publication 03.03.2025.

Научная статья

УДК 633.15:631.82

DOI 10.48012/1817-5457_2025_1_57-64

ВЛИЯНИЕ СРЕДСТВ ХИМИЗАЦИИ НА ФОТОСИНТЕТИЧЕСКУЮ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ И УРОЖАЙНОСТЬ НАЗЕМНОЙ МАССЫ КУКУРУЗЫ

Хныкин Тимур Владимирович¹, Еряшев Александр Павлович²[✉]

¹ФГБОУ ВО «МГУ им. Н. П. Огарёва», Саранск, Россия

²Мордовский НИИСХ – филиал ФГБНУ ФАНЦ Северо-Востока, Саранск, Россия

¹eryashev_alex@mail.ru

Аннотация. Приводятся результаты исследований, проведенных в Мордовском НИИСХ Республики Мордовия, на черноземах выщелоченных по изменению фотосинтетической деятельности и урожайности наземной массы кукурузы от применения минеральных удобрений под запланированную урожайность зерна 6,2 т/га (фон) и на их фоне в фазе 3–4; 3–4 + 5–6 и 5–6 листьев жидких комплексных удобрений «Мегамикс-Профи», «Мегамикс-Азот» и регулятора роста «Альбит». В среднем за 2021–2023 гг. исследований выявлено, что опрыскивание кукурузы «дополнительными агрохимикатами» в фазе 3–4 + 5–6 листьев и в момент формирования 5–6 листьев не способствовало увеличению фотосинтетического потенциала (1,57 и 1,62 млн м²×дн./га) относительно фазы 3–4 листьев (1,59 млн м²×дн./га). Максимальным он был, по сравнению с контролем (1,44 млн м²×дн./га), с внесением минеральных удобрений