

УДК 631.414:631.445.24:631.821.1

ИЗМЕНЕНИЕ КИСЛОТНО-ОСНОВНЫХ СВОЙСТВ ДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТОЙ ЛЕГКОСУГЛИНИСТОЙ ПОЧВЫ ПРИ ПЕРИОДИЧЕСКОМ ИЗВЕСТКОВАНИИ

© 2025 г. А. В. Пасынков¹, Е. Н. Пасынкова^{1,*}, А. А. Иванов¹,
А. В. Купреева¹, С. Ю. Разумовская¹, Э. М. Шихаметов¹

¹Ленинградский научно-исследовательский институт “Белогорка” – филиал Федерального исследовательского центра картофеля им. А. Г. Лорха

188338 д. Белогорка, Гатчинский р-н, Ленинградская обл., Россия

*E-mail: pasynkova.elena@gmail.com

В полевом опыте в звене зернотравяного севооборота (ячмень с подсевом клевера и тимофеевки – многолетние травы первого и второго года пользования) изучили изменение кислотно-основных свойств дерново-подзолистой легкосуглинистой почвы при периодическом известковании с целью установления оптимальных доз извести при ее длительном периодическом применении. Сравнение средних величин урожайности зерна ячменя и сена многолетних трав за 3 года опыта в вариантах с однократным и периодическим известкованием показало преимущество периодического внесения извести в дозе по 1.0 H_g . В варианте с периодическим внесением извести по 1.0 H_g кислотность была существенно ниже, чем в контроле и в вариантах с дозами 0.5 и 0.25 H_g , при этом последние варианты по величине кислотности существенно не различались. Периодическое известкование приводило к существенному снижению содержания Al^{3+} , Fe и Mn. При этом отмечено существенное увеличение показателей S и V и снижение H_g . Каких-либо существенных изменений в содержании фосфора, калия и гумуса под действием периодического применения извести не установлено. Показали, что оптимальной дозой извести при периодическом ее применении является доза по 1.0 H_g .

Ключевые слова: известь, дерново-подзолистая почва, периодическое известкование, кислотно-основные свойства почвы.

DOI: 10.31857/S0002188125010014, **EDN:** VCVDFW

ВВЕДЕНИЕ

Известно, что дерново-подзолистые почвы, как наиболее распространенные в Нечерноземье России, имеют сравнительно низкий естественный уровень плодородия и в большинстве случаев характеризуются кислой реакцией, сравнительно низким содержанием органического вещества и основных элементов минерального питания. Поэтому разработка и внедрение приемов их эффективного использования всегда имела особое значение. В последнее время важность эффективного использования дерново-подзолистых почв существенно возросла по причине наблюдающегося ускоренного процесса их деградации. Одной из основных причин сложившегося положения является практически полное прекращение работ по сохранению и повышению плодородия почв начиная с 1990-х гг. При этом известно, что применение извести, минеральных и органических удобрений на дерново-подзолистых почвах Нечерноземья

России является необходимым условием получения высоких и стабильных урожаев возделываемых культур с регламентируемыми ГОСТами или требуемыми потребителями технологическими качествами [1–8].

Выше было отмечено, что в настоящее время резко сократилось применение удобрений, а также и извести, поэтому возникает необходимость в разработке рациональной системы их применения, которая предотвратила бы резкое снижение урожая и способствовала сохранению созданного ранее уровня плодородия. То есть в сложившихся условиях важное значение приобретает вопрос об уточнении рекомендуемых ранее доз извести для максимально эффективного ее использования, что нашло свое отражение в работах последних лет [9–12]. При этом наиболее корректно данную задачу можно решить в условиях длительных стационарных полевых опытов [1–3, 5, 8, 9, 11]. Имея контрольный вариант без внесения извести и широкий интервал доз ее

применения в течение длительного времени, можно изучить не только влияние различных доз и кратности внесения извести на урожайность сельскохозяйственных культур, но и изменения широкого спектра кислотно-основных свойств дерново-подзолистых почв Нечерноземья.

Цель работы – сравнительная оценка эффективности различных доз извести при периодическом известковании дерново-подзолистой почвы.

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

Исследование проведено в 2021–2023 гг. в длительном стационарном полевом опыте по изучению эффективности известкования, заложенном в 1957 г. Опыт признан достоянием российской сельскохозяйственной науки, включен в реестр “Географической сети опытов с удобрениями и другими агрохимическими средствами” и имеет аттестат длительного опыта № 001 (1999 г.). Схема опыта представляет собой контрольный вариант (без известкования) и 11 вариантов с различными дозами извести при однократном и периодическом ее применении. Размещение делянок – систематическое со смешением внутри каждого повторения, как это было принято в 1950-е гг. Повторность – четырехкратная. Более детально с результатами полувековых исследований при проведении данного стационарного опыта можно ознакомиться в работах [2, 3]. В настоящей работе представлены результаты 3-летнего изучения кислотно-основных свойств дерново-подзолистой легкосуглинистой почвы в 10-й ротации севооборота при периодическом и однократном применении извести в дозах, эквивалентных 1.0, 0.5 и 0.25 H_f , как имеющих в настоящее время наиболее важное практическое значение [5].

Опыт проведен в звене зернотравяного севооборота со следующим чередованием культур: ячмень с подсевом клеверно-тимофеевчной смеси (2021 г.), клевер + тимофеевка 1-го года пользования (2022 г.) и клевер + тимофеевка 2-го года пользования (2023 г.) на сено. В опыте высевали ячмень сорта Балтиец, клевер сорта Волосовский 86 и тимофеевку сорта Ленинградская 204 селекции Ленинградского НИИСХ.

Гидротермические условия, сложившиеся в период проведения полевого опыта, представлены в табл. 1, где фазы вегетации приведены для злакового компонента смеси. При этом фаза кущения тимофеевки совпадала с фазой начала роста и ветвления растений клевера, фаза трубкования – с фазой бутонизации бобовой культуры, а фазы цветения совпадали у обеих изученных культур.

В первый год гидротермические условия характеризовались резким недостатком влаги в вегетативный период растений ячменя (и соответственно, клевера

и тимофеевки, находящихся под его покровом) и избыточным увлажнением – в репродуктивный. Необходимо отметить, что значительная часть осадков выпала в последние дни перед наступлением фазы полной спелости ячменя. По этой причине существенного влияния выпавшие осадки на урожай зерна ячменя не оказали. Таким образом, резкий недостаток влаги, сочетающийся с повышенными температурами в вегетативный и недостаточное увлажнение в репродуктивный период ячменя, привели к получению низкого урожая зерна покровной культуры и сравнительно высокой гибели растений клевера, что в дальнейшем и обусловило преобладание растений тимофеевки в составе смеси. Следующий период: от уборки покровной культуры и до окончания осенней вегетации трав в этот год характеризовался, как и в первую половину вегетации, недостаточным увлажнением ($ГТК = 0.84$).

Во второй год проведения опыта возобновление весенней вегетации началось в сроки, близкие к среднемноголетним. Период: возобновление вегетации – трубкование характеризовался нормальным ($ГТК = 1.25$), трубкование – колошение ($ГТК = 0.85$) – недостаточным увлажнением, а в предуборочный период наблюдался резкий недостаток влаги. В следующий период (от уборки и до окончания осенней вегетации многолетних трав) наблюдалось избыточное увлажнение ($ГТК = 3.04$).

В третий год возобновление весенней вегетации началось раньше среднемноголетних значений на 1.5 недели. В начальный период вегетации наблюдалось недостаточное увлажнение, сочетающееся с пониженными температурами. В период трубкование – колошение наблюдался менее сильный, но тоже недостаток влаги ($ГТК = 0.55$). В предуборочный период (третья декада июня и первая – июля 2023 г.) выпало значительное количество осадков, однако какого-либо существенного влияния на урожайность трав они не оказали. В целом период возобновление вегетации – уборка в третий год опыта можно характеризовать как засушливый ($ГТК = 0.87$). Таким образом, гидротермические условия, сложившиеся в различные межфазные периоды, были не всегда благоприятными для роста и развития растений изучаемых культур и не способствовали формированию высокого уровня урожайности.

После учета урожая во все годы отбирали образцы почвы для исследования агрохимических показателей. Определение величины pH_{KCl} проведено потенциометрическим методом, содержания P_2O_5 и K_2O – по методу Кирсанова, обменного Al^{3+} – по методу Соколова, H_f – по методу Каппена в модификации ЦИНАО, S – по методу Каппена, V – расчетным путем, содержание гумуса – по методу Тюрина [13]. Перечисленные выше аналитические работы, а также подвижность фосфатов (по методу

Таблица 1. Величина гидротермического коэффициента в период вегетации (ГТК по Селянинову)

Культура	Год	Период вегетации				
		П – К	К – Т	Т – Кол	Кол – ПС	П – ПС
Ячмень + многолетние травы	2021	0.62 УПК – ОВ	0.60 ВВ – Т	0.19 Т – Кол	1.83 Кол – У	0.93 У – ОВ
Многолетние травы 1-го года пользования	2022	0.84	1.25	0.85	0.19	3.04
Многолетние травы 2-го года пользования	2023	–	0.29	0.55	1.43	–

Примечание. Ячмень: П – посев, К – кущение, Т – трубкование, Кол – колошение, ПС – полная спелость; многолетние травы (фазы приведены в соответствии со злаковой культурой): УПК – уборка покровной культуры, ОВ – окончание осенне-вегетации, ВВ – возобновление весенней вегетации, У – уборка многолетних трав.

Карпинского–Замятиной) определяли методами [14] в отделе агрохимии и агроландшафтов Ленинградского НИИСХ. Содержание подвижных форм Fe и Mn проведено в соответствии с методом М-МВИ-80-2008, принятым в Агрохимслужбе России (ацетатно-аммонийный буфер pH 4.8), на атомно-абсорбционном спектрофотометре в аккредитованной лаборатории. Статистическую обработку полученных экспериментальных данных провели методом дисперсионного и регрессионного анализов по [15], в среднем за годы исследования – согласно [16] с использованием пакета статистических программ «Statistica 6» (Stat-Soft Inc., США).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Показано (табл. 2), что гидротермические условия, сложившиеся в период проведения полевого опыта, оказывали существенное влияние на уровень урожайности зерна ячменя и сена многолетних трав. В силу сложившихся гидротермических условий в первый год (2021 г.), урожай зерна ячменя в контроле составил лишь 0.71 т/га.

Периодическое внесение извести достоверно повышало урожайность зерна ячменя только при внесении ее по 1.0 H_{Γ} . Во всех вариантах с однократным применением извести существенных изменений урожайности зерна ячменя по сравнению с контролем

Таблица 2. Урожайность сельскохозяйственных культур при периодическом и однократном известковании, т/га

Вариант	Урожайность, т/га				средняя, т к.е./га	
	2021 г.	2022 г.	2023 г.	многолетние травы (сено) 1-го года пользования		
	ячмень + многолетние травы	1-го года пользования	2-го года пользования			
1. Без известкования	0.71	3.76	3.27		1.40	
2. Известкование по 1 H_{Γ} *	0.89	4.54	4.07		1.72	
3. Известкование по 1 H_{Γ} **	0.79	3.99	3.56		1.51	
4. Известкование по 0.5 H_{Γ} *	0.82	4.07	3.36		1.50	
5. Известкование по 0.5 H_{Γ} **	0.74	3.67	3.17		1.38	
6. Известкование по 0.25 H_{Γ} *	0.77	4.02	3.38		1.48	
7. Известкование по 0.25 H_{Γ} **	0.68	3.52	3.15		1.33	
Среднее в опыте	0.77	3.80	3.42		1.45	
Среднее I	0.83	4.21	3.60		1.57	
Среднее II	0.74	3.73	3.29		1.41	
HCP_{05}	0.13	0.51	0.44		–	

Примечания. 1. Среднее I – среднее в вариантах периодического известкования, Среднее II – среднее в вариантах однократного известкования. То же в табл. 3, 5. 2. Нумерация вариантов та же в табл. 3, 5.

* Периодически.

** Один раз за все время проведения полевого опыта.

не установлено. Сравнение средних величин урожайности зерна в вариантах с однократным и периодическим известкованием показало преимущество последнего: 0.74 и 0.83 т/га соответственно.

Во 2-й год только начальный период вегетации характеризовался нормальным увлажнением, однако, начиная с фазы трубкования и вплоть до учета урожая, наблюдали резкий недостаток влаги (табл. 1). Урожай сена многолетних трав в контрольном варианте составил 3.76 т/га. Периодическое внесение извести достоверно повышало урожайность сена по сравнению с контролем только в варианте по 1.0 H_g , а однократное внесение извести не оказывало существенного влияния на урожайность сена. Сравнение средних величин урожайности сена в вариантах с однократным и периодическим известкованием показало преимущество периодического: 3.73 и 4.21 т/га соответственно.

В 3-й год опыта урожайность сена многолетних трав в среднем в опыте была меньше, чем во 2-й: 3.42 и 3.80 т/га соответственно. Урожайность сена в контрольном варианте в текущем году составила 3.27 т/га, т.е. была тоже меньше, чем в предыдущем году. Периодическое внесение извести по 1.0 H_g достоверно повышало урожайность сена по сравнению с контролем. Однако при периодическом внесении извести в дозах 0.5 и 0.25 H_g достоверной прибавки урожая сена по сравнению с контролем не получено. Возделывание многолетних трав при однократном внесении извести в изученных дозах не оказалось существенного влияния на урожайность сена. То есть в оба года проведения полевого опыта варьировании урожайности сена многолетних трав наблюдали одинаковые тенденции. Сравнение средних величин урожайности сена в вариантах с однократным и периодическим известкованием, как и в предыдущий год,

показало преимущество последнего: 3.29 и 3.60 т/га соответственно.

Необходимо отметить, что в годы проведения полевого опыта средние величины урожайности зерна ячменя и сена многолетних трав в вариантах с однократным известкованием были практически одинаковы с таковой в контроле. Иными словами, однократное применение извести закончило свое положительное влияние на урожайность изученных культур.

Расчет сбора кормовых единиц (к.е.) (ячмень – 1.15, сено – 0.48 к.е.) с единицы площади показал аналогичные тенденции, которые отмечены варьировании урожайности изученных культур при периодическом и однократном применении извести. Определение ботанического состава смеси многолетних трав показало в оба года доминирующее положение тимофеевки, как известно, культуры, более устойчивой к засухе и кислотности. При сравнении средних величин доли тимофеевки, как менее ценной по отношению к клеверу культуры, в вариантах с однократным и периодическим известкованием в оба года проведения полевого опыта отмечено преимущество периодического: 89.3 и 83.6% – тимофеевка, 10.7 и 16.4% – клевер соответственно.

Ввиду того, что при проведении исследования агрохимические показатели дерново-подзолистой почвы изменялись в одном и том же направлении, ниже приведен анализ их усредненных показателей за 3-летний период.

Данные, представленные в табл. 3, показали, что действие извести при периодическом ее внесении продолжается до настоящего времени.

Во всех вариантах с периодическим известкованием почва характеризовалась как среднекислая, в вариантах с однократным ее применением и в контроле

Таблица 3. Изменение кислотно-основных свойств дерново-подзолистой легкосуглинистой почвы при известковании (среднее за 2021–2023 гг.)

Вариант, №	рН	P_2O_5	K_2O	Mn	Fe	Гумус, %	$\Pi\Phi^*$, мг/л	Al^{3+}	S	H_g	$V, \%$
								мг/100 г			
1	4.25	254	116	24	40	3.23	0.95	0.63	7.6	3.59	67.9
2	4.65	237	112	16	19	3.26	1.06	0.20	9.6	3.03	76.0
3	4.22	260	120	21	34	3.01	0.99	0.87	5.7	3.93	59.2
4	4.49	254	110	15	19	2.86	1.03	0.29	8.8	3.24	73.1
5	4.14	237	113	22	34	2.98	0.98	1.06	5.9	4.18	58.5
6	4.52	243	113	17	24	3.21	0.95	0.39	6.0	3.48	63.3
7	4.13	250	117	20	43	3.12	0.95	1.31	5.1	4.01	56.0
Среднее	4.34	248	115	19	30	3.10	0.99	0.68	7.0	3.64	64.9
Среднее I	4.55	245	112	16	21	3.11	1.01	0.29	8.1	3.25	70.8
Среднее II	4.16	249	117	21	37	3.04	0.97	1.08	5.6	4.04	57.9
HCP_{05}	0.09	19	12	4	10	0.26	0.04	0.19	1.7	0.20	4.7

* $\Pi\Phi$ – подвижность фосфатов.

она находилась уже в градации сильнокислой. В варианте с периодическим внесением извести по $1.0 H_{\Gamma}$ кислотность была существенно ниже, чем в контроле и в вариантах с дозами 0.5 и $0.25 H_{\Gamma}$, при этом последние по величине кислотности существенно не различались. Необходимо отметить, что в вариантах с дозами извести 0.5 и $0.25 H_{\Gamma}$ при однократном применении кислотность уже была существенно выше, чем в контроле. При сравнении средних величин рН в вариантах с однократным и периодическим известкованием отмечено существенное снижение кислотности при проведении периодического внесения извести. В обоих случаях, чем меньше была доза извести, тем выше кислотность почвы.

Исследование показало, что каких-либо существенных изменений в содержании фосфора, калия и гумуса под действием периодического и однократного применения извести на данный момент проведения полевого опыта не установлено. Однако следует отметить устойчивую тенденцию к повышению содержания фосфора и калия и к снижению – содержания гумуса в варианте с однократным известкованием по сравнению с периодическим в дозе $1.0 H_{\Gamma}$. Вероятно, это связано с увеличением выноса этих элементов минерального питания более высокими урожаями в варианте с периодическим известкованием. Аналогичное явление было отмечено уже и в более ранний период проведения данного полевого опыта [2, 3].

По сравнению с контролем сумма поглощенных оснований (S) и степень насыщенности (V) ими была существенно больше, а гидролитическая кислотность (H_{Γ}) – достоверно ниже в вариантах с периодическим внесением извести по 1.0 и $0.5 H_{\Gamma}$. При этом существенных различий по величине S , V и H_{Γ} при внесении извести по $0.25 H_{\Gamma}$ по сравнению с контролем не обнаружено. Во всех вариантах с однократным известкованием каких-либо существенных изменений S по сравнению с контролем не установлено, а величина H_{Γ} в данном случае была достоверно больше, а V – меньше при всех уровнях применения извести. При сравнении средних величин S , V и H_{Γ} в вариантах с однократным и периодическим известкованием отмечено существенное повышение показателей S и V и снижение величины H_{Γ} при периодическом применении извести.

В работах [1–3] показано, что доминирующую роль в формировании кислотности дерново-подзолистых почв играет обменный Al^{3+} . Определение содержания обменного Al^{3+} в почве показало, что во всех 3-х вариантах при периодическом известковании его содержание существенно было меньше, чем в контроле. При этом все варианты с периодическим известкованием в дозах по 1.0 , 0.5 и $0.25 H_{\Gamma}$ между собой по содержанию обменного Al^{3+} существенно не различались. Определение содержания обменного Al^{3+} в почве в вариантах с однократным известкованием показало, что во всех вариантах оно

содержание было существенно больше, чем в контроле. При этом варианты с известкованием в дозе по 1.0 и $0.5 H_{\Gamma}$ по содержанию Al^{3+} между собой существенно не различались, в варианте с внесением извести по $0.25 H_{\Gamma}$ отмечено максимальное содержание Al^{3+} в опыте (1.31 мг/100 г почвы), что было существенно больше, чем при проведении известкования более низкими дозами. При сравнении средних величин содержания обменного Al^{3+} в вариантах с однократным (1.08) и периодическим (0.29 мг/100 г почвы) известкованием отмечено существенное (более чем в 3.5 раза) его снижение при периодическом.

Выше было отмечено, что доминирующую роль в формировании кислотности дерново-подзолистых почв играет обменный Al^{3+} , значительно меньшая роль принадлежит Fe и Mn. Поэтому одной из задач проведенного исследования, кроме определения обменного Al^{3+} , являлось определение содержания подвижных форм Fe и Mn. Показано, что в контролльном варианте содержание Fe составляло 40 , Mn – 24 мг/кг. Практически такое же их содержание отмечено и в вариантах с однократным известкованием: 37 и 21 мг/кг почвы. Периодическое известкование приводило к существенному снижению содержания подвижных форм как Fe, так и Mn, при этом в абсолютном выражении сильнее снижалось содержание подвижных форм Fe, чем Mn.

При проведении исследования кислотно-основных свойств почв определенный интерес представляют зависимости между ними. Однако для выявления зависимости какого-либо показателя плодородия почв (Y – зависимая) от величины рН (X , ед. – независимая переменная) рекомендуется перевод зависимой переменной в логарифмы (lg), т.к. показатель рН по своей сути является логарифмом [2, 3]. По этой причине какие-либо зависимости, в которых показатель рН служит в качестве зависимой или независимой переменной, будут иметь следующий вид: $lg Y = a_0 + b \cdot X(\text{pH})$ или $Y(\text{pH}) = a_0 + b \cdot \lg X$ [17].

Проведение регрессионного анализа показало [17], что содержание обменного Al^{3+} и подвижных форм Fe и Mn ($lgAl^{3+}$, $lgFe$ и $lgMn$ соответственно) было статистически значимо на принятом в агрохимических исследованиях уровне значимости ($p < 0.05$) связано с величиной pH_{KCl} . При этом более тесно с содержанием Al^{3+} и менее тесно – с содержанием Mn ($R^2 = 0.870$ и 0.672 соответственно). Отмеченное выше свидетельствовало о том, что кислотность почвы не определяется только количеством ионов Al^{3+} , а является комплексным показателем, о чем более детально показано ранее в работах [1–3].

Данные, представленные в табл. 4, показали, что содержания Fe и Al^{3+} , а также Fe и Mn были связаны тесной положительной зависимостью. При этом содержание Fe более тесно связано с содержанием Mn, чем Al^{3+} , а зависимость содержания Mn

от содержания Al^{3+} в почве оказалась незначимой. Возможно, это было связано со сравнительно малым количеством наблюдений или узким интервалом варьирования зависимой и независимой переменных [17]. По этой причине возникла необходимость увеличения общего количества наблюдений в последующий период проведения исследования.

Кроме определения содержания подвижного фосфора по методу Кирсанова (количественный фактор), одной из задач исследования являлось определение степени подвижности фосфатов (**ПФ**) (фактор интенсивности). В работах [2, 3, 18] отмечено повышение подвижности фосфатов при уменьшении кислотности дерново-подзолистой почвы, происходящих при ее известковании.

Проведение статистической обработки полученных данных с общим числом наблюдений $n = 48$ позволило получить уравнение регрессии, отражающее зависимость подвижности фосфатов ($\lg Y$) от величины кислотности почвы (X , ед. рН). На рис. 1 в пределах полученных экспериментальных данных представлено уравнение регрессии и графическое изображение полученной зависимости.

При этом интервал варьирования величины рН составил 4.05–5.32, а подвижности фосфатов – 0.94–1.38 мг/л (\lg : –0.027...+0.140 соответственно). Известно, что $\lg 10$ равен 1, $\lg 1$ – нулю, а при величинах < 1 десятичный \lg – отрицательный.

Необходимо отметить, что хотя в разработанном уравнении коэффициент корреляции и значим на принятом в агрохимических исследованиях уровне $p < 0.05$ (при $n = 48$ $r_{\text{крит}} = 0.285$), однако сравнительно низкая его величина и, соответственно, коэффициента детерминации (R^2) позволяют сделать предположение о том, что на величину подвижности фосфатов, кроме статистически значимого влияния кислотности (рН), оказывали существенное влияние, вероятно, и другие, неучтенные в данном случае факторы.

Известно, что одним из основных показателей уровня плодородия пахотных почв, как и их целинных аналогов, является содержание общего азота ($N_{\text{общ}}$). Это положение очень важно для дерново-подзолистых почв, т.к. азот в них находится в первом минимуме [19]. Поэтому одной из задач исследования являлось определение содержания $N_{\text{общ}}$ в почве и его фракционного состава в зависимости от доз

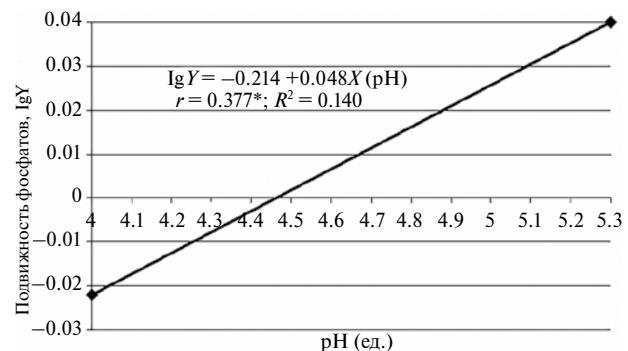


Рис. 1. Зависимость подвижности фосфатов ($\lg Y$) от величины рН (X , ед.).

и кратности применения извести, т.к. исследование фракционного состава азота почвы за весь период проведения данного полевого опыта не проводили.

Данные, представленные в табл. 5, показали, что большая часть азота в дерново-подзолистой легкосуглинистой почве была представлена негидролизуемой фракцией (66.7–77.0%), т.е. азотом битумов, гуминов, меланинов и необменным аммонием [20].

Фракции трудногидролизуемого и легкогидролизуемого азота, в меньшей степени доступные для растений, составляют 14.9–21.0% и 6.9–10.7% соответственно, а фракция минерального азота, непосредственно используемая в питании растений, – лишь 1.24 – 1.58%.

Исследование показало, что содержание $N_{\text{общ}}$ в дерново-подзолистой легкосуглинистой почве варьировало в пределах 1280–1960 мг/кг. При этом из 3-х вариантов с периодическим известкованием только в варианте с внесением извести по 1.0 H_g отмечено существенное повышение его содержания по сравнению с контролем. Однократное известкование по 1.0 и 0.5 H_g не оказывало, а применение извести по 0.25 H_g – существенно снижало содержание $N_{\text{общ}}$ в почве. При этом существенных различий между периодическим и однократным известкованием по содержанию $N_{\text{общ}}$ в указанных выше дозах применения извести не установлено.

Исследование показало, что наиболее важная и непосредственно используемая в питании растений фракция минерального азота составляла небольшую

Таблица 4. Взаимосвязи содержания обменного Al^{3+} и подвижных форм Fe и Mn

Уравнение регрессии	r	R^2
$Y(\text{Fe}) = 21.101 + 14.011X(\text{Al}^{3+})$	0.780*	0.609
$Y(\text{Mn}) = 17.303 + 2.979X(\text{Al}^{3+})$	0.486	0.236
$Y(\text{Fe}) = -18.521 + 2.538X(\text{Mn})$	0.867*	0.752

* Статистически значимо при $p < 0.05$. То же на рис. 1.

Таблица 5. Содержание общего азота и его различных фракций в пахотном слое (0–20 см) дерново-подзолистой легкосуглинистой почвы

Вариант, №	$N_{общ}$, мг/кг	N_{min}		$N_{лг}$		$N_{тр}$		N_h	
		мг/кг	% от $N_{общ}$	мг/кг	% от $N_{общ}$	мг/кг	% от $N_{общ}$	мг/кг	% от $N_{общ}$
1	1680	20.7	1.24	116	6.9	249	14.9	1290	77.0
2	1960	27.5	1.40	183	9.3	297	15.2	1450	74.1
3	1750	25.9	1.48	146	8.3	286	16.3	1290	73.8
4	1750	27.0	1.55	165	9.5	274	15.7	1280	73.3
5	1680	25.0	1.49	144	8.6	270	16.1	1240	73.8
6	1560	23.5	1.51	140	9.0	270	17.4	1120	72.1
7	1280	20.1	1.58	137	10.7	268	21.0	850	66.7
Среднее	1660	24.2	1.46	147	8.9	273	16.7	1220	73.0
Срелнее I	1750	26.0	1.49	163	9.3	280	16.1	1280	73.2
Среднее II	1570	23.7	1.52	142	9.2	275	17.8	1130	71.4
HCP_{05}	240	5.2	—	37	—	$F_3 < F_T$	—	$F_3 < F_T$	—

Примечание. N_{min} – содержание минерального азота ($\Sigma N-NH_4 + N-NO_3$), $N_{лг}$, $N_{тр}$ и N_h – соответственно содержание легкогидролизуемого, трудногидролизуемого и негидролизуемого азота. То же в тексте.

часть азотного фонда дерново-подзолистой легкосуглинистой почвы и была равна 1.24–1.58% от содержания $N_{общ}$. По сравнению с контролем только в вариантах с периодическим известкованием по 1.0 и 0.5 H_g отмечено существенное повышение содержания минерального азота. В варианте с периодическим и однократным известкованием в дозе по 0.25 H_g достоверных различий в содержании минерального азота по сравнению с контролем не отмечено.

Определение содержания легкогидролизуемого азота показало, что по сравнению с контролем только в вариантах с периодическим известкованием по 1.0 и 0.5 H_g отмечено существенное повышение его содержания. Возможно, отмеченное выше существенное повышение содержания общего, минерального и легкогидролизуемого азота было связано с тем, что в известкованных почвах усиливалась мобилизация запасов азота и активизировалась деятельность нитрифицирующих и азотфикссирующих микроорганизмов [3]. По сравнению с контролем не отмечено достоверных различий в содержании легкогидролизуемого азота в варианте с периодическим и однократным известкованием по 0.25 H_g . То есть в изменении содержания легкогидролизуемого азота наблюдали тенденции, аналогичные изменениям в содержании минерального азота.

Содержание трудногидролизуемого азота варьировало в пределах 249–297 мг/кг и составляло 14.9–21.0% от содержания $N_{общ}$. При этом его содержание, как и содержание негидролизуемого азота, не зависело от сроков и кратности применения извести ($F_3 < F_T$). Фракция негидролизуемого азота, определяемая как разность между содержанием $N_{общ}$ в почве и суммой 3-х фракций ($N_{min} + N_{лг} + N_{тр}$), составляла в среднем

1280 мг/кг, или 73.2% от его содержания. При этом следует отметить тенденцию к возрастанию содержания трудногидролизуемого азота при периодическом известковании и тенденцию к снижению его негидролизуемой фракции по сравнению с контрольным, а также с вариантами с однократным внесением извести.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Учитывая уровень продуктивности звена зернотравяного севооборота и основные тенденции к изменению кислотно-основных свойств, содержания общего азота и его фракционного состава, основных элементов минерального питания и гумуса дерново-подзолистой легкосуглинистой почвы, оптимальной дозой извести при периодическом ее внесении является доза по 1.0 H_g .

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Шильников И.А., Сычев В.Г., Зеленов Н.А., Аканова Н.И., Федотова Л.С. Известкование как фактор урожайности и почвенного плодородия. М.: ВНИИА, 2008. 340 с.
- Небольсин А.Н., Небольсина З.П. Теоретические основы известкования почв. СПб., 2005. 252 с.
- Небольсин А.Н., Небольсина З.П. Известкование почв (результаты 50-летних полевых опытов). СПб.: ЛНИИСХ РАСХН, 2010. 354 с.
- Митрофанова Е.М. Влияние длительного применения минеральных удобрений и последействия извести на фосфатный режим дерново-поверхностно-подзолистой почвы Предуралья // Агрохимия. 2016. № 7. С. 36–43

5. Чекмарев П.А., Купреев Е.М., Ермаков А.А. К проблеме кислотности почв Нечерноземной зоны Российской Федерации // Достиж. науки и техн. АПК. 2017. № 31(7). С. 14–19.
6. Сорокин И.Б., Сиротина Е.А. Известкование – один из факторов повышения плодородия почв Томской области // Агрохим. вестн. 2019. № 1. С. 7–10. DOI: 1024411/0235-2516-2018-10057
7. Некрасов Р.В., Овчаренко М.М., Аканова Н.И. Агротехнологические основы химической мелиорации почв // Земледелие. 2019. № 4. С. 3–8.
8. Чеботарев Н.Т., Броварова О.В. Влияние минеральных удобрений на фоне последействия известков на продуктивность многолетних трав в условиях Республики Коми // Агрохим. вестн. 2023. № 6. С. 24–28. DOI: 1024412/1029-2551-2023-6-004
9. Литвинович А.В., Небольсина З.П. Продолжительность действия известковых мелиорантов в почвах и эффективность известкования // Агрохимия. 2012. № 10. С. 79–94.
10. 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.
11. Корченкина Н.А., Гувеннов А.И., Богомолова Ю.А., Махалов Р.М. Последействие известкования и длительного внесения удобрений на динамику физико-химических свойств светло-серой лесной почвы // Агрохим. вестн. 2017. № 5. С. 2–6.
12. Окорков В.В., Щукин И.М., Окоркова Л.А., Щуккина В.И., Козлов А.А. О приоритетности и нуждаемости в известковании кислых почв Владимирской области // Владимир. земледелец. 2022. № 4(102). С. 32–38. DOI: 1024412/2225-2584-2022-4-32-38
13. Практикум по агрохимии / Под ред. В.Г. Минеева. 2-е изд., перераб. и доп. М.: Изд-во МГУ, 2001. 689 с.
14. Воробьева Л.А. Химический анализ почв. М.: Изд-во МГУ, 1998. С. 202–203.
15. Доспехов Б.А. Методика полевого опыта. М.: Колос, 1968. С. 90–92.
16. Афанасьев Р.А. К методике дисперсионного анализа результатов многолетних полевых опытов // Агрохимия. 2004. № 5. С. 85–91.
17. Пасынков А.В., Пасынкова Е.Н. Особенности использования регрессионного анализа в агрохимических исследованиях // Агрохимия. 2022. № 10. С. 71–83. DOI: 10.31857/S0002188122100088
18. Адрианов С.Н. Формирование фосфатного режима дерново-подзолистых почв в разных системах удобрения. М.: ВНИИА, 2004. 296 с.
19. Кореньков Д.А. Агротехнологические аспекты применения азотных удобрений. М.: Агроконсалт, 1999. 296 с.
20. Пискунов А.С. Азот почвы и эффективность азотных удобрений на зерновых культурах в Предуралье. Пермь: Пермский СХИ, 1994. 168 с.

Changes in the Acid-Base Properties of Sod-Podzolic Light Loam Soil during Periodic Liming

A. V. Pasynkov^a, E. N. Pasynkova^{a, #}, A. A. Ivanov^a, A. V. Kupreeva^a, S. Yu. Razumovskaya^a, E. M. Shikhametov^a

^aLeningrad Scientific Research Institute of Agricultural “Belogorka” – Branch of the A.G. Lohr Federal Research Center of Potato,

Gatchinsky district, Leningrad region, d. Belogorka 188338, Russia

#E-mail: pasynkova.elena@gmail.com

In a field experiment in the link of the grain-grass crop rotation (barley with sowing of clover and phleum – perennial grasses of the 1st and 2nd year of use), changes in the acid-base properties of sod-podzolic light loamy soil during periodic liming were studied in order to establish optimal doses of lime with its long-term periodic use. A comparison of the average yields of barley grain and hay of perennial grasses over 3 years of testing in variants with single and periodic liming showed the advantage of periodic lime application in a dose of 1.0 H_a . In the variant with periodic lime application of 1.0 H_a , the acidity was significantly lower than in the control and in the variants with doses of 0.5 and 0.25 H_a , while the latter variants did not differ significantly in terms of acidity. Periodic liming led to a significant decrease in the content of Al^{3+} , Fe and Mn. At the same time, there was a significant increase in S and V indicators and a decrease in H_a . No significant changes in the content of phosphorus, potassium and humus under the influence of periodic application of lime have been established. It was shown that the optimal dose of lime for its periodic use is 1.0 H_a .

Keywords: lime, sod-podzolic soil, periodic liming, acid-base properties of the soil.