

УДК 631.416.2:[631.811.2+631.821+631.879.32

ИЗМЕНЕНИЕ ФОСФАТНОГО ПОТЕНЦИАЛА ДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТЫХ ПОЧВ ПРИ ВНЕСЕНИИ ФОСФОРНЫХ УДОБРЕНИЙ, ИЗВЕСТИ И ШЛАКОВ

Н. В. РЕШЕТНИКОВА, Ф. А. ЮДИН, М. Т. ГОЛОПЯТОВ
(Кафедра агрономической и биологической химии)

В условиях широкой химизации земледелия особое значение приобретает известкование кислых почв, которое повышает эффективность действия минеральных удобрений, в частности фосфорных, способствует переходу фосфорных соединений почвы в более усвояемые формы [2, 5, 9, 11, 13]. Вместе с тем установлено, что известкование на одних почвах может повышать, а на других понижать доступность фосфатов [3]. Действие известкования связано также с формой фосфатов.

В последние годы выдвинуто положение о том [7, 8], что для характеристики доступности почвенных фосфатов необходимо учитывать не только общее содержание усвояемых фосфатов («фактор емкости»), но и степень их подвижности в почве («фактор интенсивности»). Для определения степени подвижности почвенных фосфатов обычно используют водные и солевые вытяжки при узком отношении почвы к раствору. По количеству фосфора в равновесных водных и солевых вытяжках судят о способности почвенных труднорастворимых фосфатов отдавать фосфат-ион в почвенный раствор. Равновесная концентрация фосфора в почвенном растворе регулируется в основном реакциями растворения — осаждения фосфорных соединений, которые, в свою очередь, определяются реакцией почвенного раствора, содержащимся в нем кальцием и величинами произведений растворимости почвенных фосфатов. Эта способность получила физико-химическое обоснование в работах Р. К. Скофилда [14]. Предлагая пользоваться понятием фосфатного потенциала, Р. К. Скофилд исходил из представления, что произведение активностей ионов Ca^{2+} и H_2PO_4^- , которые соответствуют раствору монокальцийфосфата, пригодно для характеристики фосфатного режима почв. Термодинамический потенциал для оценки обеспеченности почвы питательными элементами [14] представляет собой отрицательный логарифм (Р) произведения ионной активности монокальцийфосфата.

Величина фосфатного потенциала может служить показателем доступности фосфатов почвы и удобрений растениям [10, 12, 15]. Считается, что значение $0,5p\text{Ca} + p\text{H}_2\text{PO}_4$ 7,0 свидетельствует о низкой обеспеченности почвы доступными фосфатами. Применение фосфорных удобрений приводит к увеличению активности фосфат-ионов и уменьшению фосфатного потенциала почв [6, 7, 8].

Внесение извести совместно с фосфорными удобрениями способствует образованию труднорастворимых фосфатов и тем больше, чем выше дозы извести, что вызывает повышение фосфатного потенциала почвы [10]. В вариантах с CaCO_3 при увеличении рН до 5,5 фосфатный потенциал изменялся в соответствии с выносом фосфора растениями. В тех случаях, когда под влиянием извести значение рН почвы

возрастало до 7,3—7,4, наблюдалось значительное увеличение фосфатного потенциала.

В настоящее время в литературе имеется очень мало данных об изменении фосфатных потенциалов почв в связи с применением фосфорных удобрений в сочетании с известкованием и совсем отсутствуют сведения о влиянии шлаков (с которыми дополнительно в почву вносятся значительное количество фосфора) в сравнении с известью на фосфатный потенциал дерново-подзолистых почв. В связи с этим мы изучали влияние различных доз фосфора в сочетании с известью и шлаками, содержащими разное количество фосфора, а также времени взаимодействия извести и шлаков с почвой на ее фосфатный потенциал.

Методика

Многолетний стационарный полевой опыт был проведен в совхозе «Сепычевский» Завьяловского района Удмуртской АССР на легкосуглинистой дерново-подзолистой почве, ее агрохимическая характеристика представлена в табл. 1.

ского завода (табл. 2), взятый непосредственно из отвалов, размер частиц — 0,25—0,5 мм (70%).

Лабораторный опыт проводили на Агрохимической опытной станции им. Д. Н. Прянишникова в фарфоровых сосудах емкостью

Т а б л и ц а 1

Агрохимическая характеристика дерново-подзолистой легкосуглинистой почвы

Показатель	Полевой опыт		Показатель	Полевой опыт	
	Полевой опыт	Лабораторный опыт		Полевой опыт	Лабораторный опыт
Гумус, %	1,3	—	T, мэкв на 100 г	17,7	—
pH _{вод}	—	5,5	V, %	74,6	63,0
pH _{сол}	4,6	4,3	Al, мг на 100 г	0,27	13,5
Обменная кислотность, мэкв на 100 г:			P ₂ O ₅ , мг на 100 г в 0,2 н. HCl	1,5	1,3
	общая	0,13	1,60	K ₂ O, мг на 100 г в 0,2 н. HCl	14,0
свободная	0,10	0,13			
Hг, мэкв на 100 г	4,5	4,2			
S, мэкв на 100 г	13,2	7,2			

При закладке полевого опыта (схема его приведена при обсуждении результатов) были внесены азотные, калийные и фосфорные удобрения: фон 1 — N₄₅P₄₅K₄₅; фон 2 — N₉₀P₉₀K₉₀. Азотные и калийные удобрения вносили в течение двух лет, фосфорные только при закладке опыта (в дальнейшем их внесение было исключено в целях вычленения действия фосфора шлака). Шлак и известь применяли в дозе, рассчитанной по 0,5 и 1,0 Нг. Повторность опыта 4-кратная. В полевом опыте использовался шлак Ижев-

1 кг воздушно-сухой почвы при двух уровнях минерального питания (в г на сосуд): фон 1 — N_{0,15}P_{0,10}K_{0,15}, фон 2 — N_{0,30}P_{0,20}K_{0,30}. Повторность опыта — 3-кратная. В качестве азотных удобрений использовали NH₄NO₃, фосфорных — простой суперфосфат, калийных — KCl. Шлак завода «Серп и молот» отвечал требованиям ГОСТа (табл. 2), предъявляемым к известковым удобрениям, его вносили при набивке сосудов в дозе, рассчитанной по 1,0 Нг.

Во всех опытах шлак вносили эквивалент-

Т а б л и ц а 2

Химический состав мартеновских шлаков (%)

Шлаки заводов	CaO	MgO	MnO	SiO ₂	Fe ₂ O ₃	FeO	Al ₂ O ₃	P ₂ O ₅
Ижевского	40,0	8,2	4,7	14,3	6,8	14,0	6,2	1,0
«Серп и молот»	33,6	10,0	3,5	12,0	—	10,1	5,0	2,5

но CaCO₃ по нейтрализующей способности в пересчете на CaO. Полив проводили по массе до 65% полной влагоемкости. Почвенные образцы для исследования отбирали через 1, 3 и 6 мес компостирования.

Различные формы почвенных фосфатов определяли по методу Гинзбург—Лебедевой

[4], валовой фосфор — по Гинзбург и др. [1], кислоторастворимый — по Кирсанову [1]. Фосфатный потенциал определяли в вытяжке 0,01 M CaCl₂ по методу Ульриха [1]. Этот показатель рассчитывали по формуле $0,5 pCa + pH_2PO_4$.

Результаты и обсуждение

Внесение возрастающих доз фосфорных удобрений после месячного компостирования почвы способствовало значительному повышению концентрации фосфатов и активности иона $H_2PO_4^-$, фосфатный потенциал снижался как при отсутствии известковых удобрений, так и по фону извести и шлака (табл. 3), что указывает на усиление подвижности доступных фосфатов в почве. Однако величина фосфатного потенциала в разных вариантах опыта была неодинаковой. Внесение извести и шлака способствовало сохранению фосфора суперфосфата в подвижной форме и тем самым содействовало увеличению активности фосфат-ионов $H_2PO_4^-$ и уменьшению фосфатного потенциала почвы. Самое низкое значение фосфатного потенциала было в вариантах со шлаками, что можно объяснить дополнительным внесением с ними фосфора. Большая эффективность шлака по сравнению с известью при формировании фосфатного режима кислых дерново-подзолистых почв подтверждается и тем, что в вариантах со шлаком (табл. 3) были выше содержание в почве валового, кислоторастворимого фосфора и степень подвижности фосфатов.

В литературе имеются данные [8, 10], что при совместном применении фосфорных удобрений и извести внесение высоких доз последней (в результате чего значение pH увеличивалось до 7,0 и более) приво-

Таблица 3

Изменение фосфатного потенциала ($0,5pCa + pH_2PO_4$) дерново-подзолистой почвы при внесении фосфорных удобрений, извести и шлака. Лабораторный опыт (вытяжка 0,01 M CaCl₂)

Вариант	Валовой Р	Р в 0,2 н. HCl	Р в 0,03 н. K ₂ SO ₄ , мг/л	Р вытяжки	моль/л		pCa	aH ₂ PO ₄ · 10 ⁻³ , моль/л	pH ₂ PO ₄	0,5pCa + pH ₂ PO ₄
	мг/100 г	Р в 0,2 н. HCl			aH · 10 ⁻³	aCa · 10 ⁻³				
Через 1 мес компостирования										
Контроль (без удобрений)	109	1,3	0,06	4,70	1,77	0,561	2,25	0,56	6,25	7,37
Фон ₁	119	4,2	0,13	4,70	1,77	0,561	2,25	1,04	5,98	7,10
Фон ₂	129	5,2	0,15	4,60	2,23	0,561	2,25	1,52	5,82	6,94
Фон ₁ + CaCO ₃	119	5,1	0,14	4,90	1,12	0,638	2,19	1,30	5,89	6,98
Фон ₂ + »	129	6,5	0,16	4,95	0,95	0,660	2,18	1,52	5,82	6,74
Фон ₁ + шлак	128	6,7	0,17	4,90	1,07	0,638	2,20	1,86	5,73	6,83
Фон ₂ + »	140	7,5	0,20	4,85	1,25	0,680	2,17	2,55	5,59	6,67
HCP ₀₅	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0,09
Через 6 мес компостирования										
Контроль (без удобрений)	109	1,1	0,05	4,70	1,77	0,561	2,25	0,56	6,25	7,37
Фон ₁	120	3,9	0,14	4,70	1,77	0,561	2,25	0,73	6,14	7,26
Фон ₂	129	5,0	0,16	4,50	2,81	0,552	2,26	1,31	5,88	7,01
Фон ₁ + CaCO ₃	120	4,3	0,14	4,95	0,95	0,660	2,18	1,04	5,98	7,07
Фон ₂ + »	131	5,9	0,15	4,95	1,00	0,651	2,19	1,46	5,84	6,93
Фон ₁ + шлак	130	4,7	0,18	4,80	1,41	0,638	2,19	1,56	5,81	6,90
Фон ₂ + »	142	6,9	0,20	4,85	1,25	0,638	2,19	1,62	5,79	6,88
HCP ₀₅	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0,21

Изменение фосфатного потенциала ($0,5pCa + pH_2PO_4$) в дерново-подзолистой почве после 5-летнего взаимодействия удобрений, извести и шлака с почвой. Полевой опыт (вытяжка 0,01 М CaCl₂)

Вариант	pH вытяжки	$aH_2PO_4^-$, моль/л	Ca ²⁺ , мг/л	$aCa \cdot 10^{-3}$, моль/л	pCa	P ₂ O ₅ , мг/л	$aH_2PO_4^- \cdot 10^{-3}$, моль/л	pH ₂ PO ₄	$0,5pCa + pH_2PO_4$
Контроль (без удобрений)	4,80	1,41	490	0,561	2,25	0,05	0,56	6,25	7,37
Фон ₁	4,80	1,41	480	0,561	2,25	0,05	0,56	6,25	7,37
Фон ₂	4,70	1,77	480	0,561	2,25	0,06	0,69	6,16	7,28
Фон ₁ + CaCO ₃ , 0,5 Нг	4,85	1,25	595	0,660	2,18	0,06	0,68	6,17	7,26
Фон ₁ + » 1,0 »	4,95	1,00	600	0,638	2,20	0,06	0,67	6,17	7,27
Фон ₂ + » 0,5 »	4,85	1,25	580	0,680	2,17	0,07	0,79	6,10	7,18
Фон ₂ + » 1,0 »	4,95	1,00	595	0,660	2,18	0,07	0,78	6,11	7,20
Фон ₁ + шлак, 0,5 Нг	4,85	1,25	578	0,638	2,20	0,07	0,78	6,11	7,21
Фон ₁ + » 1,0 »	4,90	1,07	595	0,660	2,18	0,08	0,90	6,05	7,14
Фон ₂ + » 0,5 »	4,85	1,25	578	0,638	2,20	0,10	1,11	5,89	6,99
Фон ₂ + » 1,0 »	4,95	1,00	578	0,638	2,20	0,10	1,11	5,89	6,99

дило к уменьшению активности ионов $H_2PO_4^-$ и увеличению фосфатного потенциала почвы.

Проведенные нами исследования, как уже говорилось ранее, свидетельствуют о положительном влиянии извести и шлака в дозе 1,0 Нг на фосфатный режим почвы. Возможно, что с повышением реакции почвы до слабощелочной будет происходить ретроградация водорастворимой P₂O₅ суперфосфата в почве с образованием труднорастворимых соединений фосфора, вследствие чего активность ионов $H_2PO_4^-$ может уменьшиться. В наших исследованиях значение $pH_{сол}$ не превышало 5,9, а $pH_{вод}$ — 6,2. Таким образом, доведение реакции почвы до слабокислой способствует увеличению активности ионов $H_2PO_4^-$.

При длительном взаимодействии фосфорных удобрений с кислыми почвами (6 мес) активность $H_2PO_4^-$ уменьшалась и повышался фосфатный потенциал (табл. 3). Если на фоне 2 через 1 мес компостирования фосфатный потенциал составил 6,94, то после 6 мес он повысился до 7,01 (табл. 3). Это говорит об образовании в почве труднорастворимых фосфатов.

При внесении извести и шлаков возможность образования труднорастворимых соединений в почве в процессе длительного взаимодействия с ней фосфора удобрений полностью не устраняется, однако мелиоранты в какой-то степени препятствуют образованию фосфатов полуторных окислов. Несмотря на то, что в вариантах с известью и шлаком со временем фосфатный потенциал также повышался, все же он оставался более низким, особенно при внесении шлака, чем в других вариантах.

Интересно, на наш взгляд, проследить за изменением фосфатного потенциала почвы в полевом опыте при длительном (5 лет) взаимодействии фосфора, внесенного только при закладке опыта в дозе 45 и 90 кг/га совместно с известью и шлаком Ижевского металлургического завода.

Как показали результаты исследований (табл. 4), потребление фосфора растениями, а также ретроградация фосфатов привели к тому, что в контроле и в варианте с N₄₅P₄₅K₄₅ фосфатный потенциал был одинаковым и равным 7,37. Следовательно, эти почвы уже не могут обеспечить достаточного снабжения растений фосфором для получения высокого урожая. Более низкий фосфатный потенциал по извести

Фракционный состав минеральных фосфатов в почве (по Гинзбург — Лебедевой)
в полевом опыте после 5-летнего взаимодействия удобрений,
известки и шлака с почвой

Вариант	Ca—P _I	Ca—P _{II}	Al—P	Fe—P	Ca—P _{III}	$\begin{matrix} (\text{Ca—P}_I)^+ \\ + (\text{Ca—P}_{II})^+ \\ + (\text{Ca—P}_{III})^+ \\ + (\text{Al—P})^+ \\ + (\text{Fe—P})^+ \end{matrix}$
	мг/100 г					
Контроль (без удобрений)	1,7	2,4	8,3	17,1	9,0	0,53
Фон ₁	1,6	2,3	10,6	18,3	9,3	0,46
Фон ₂	2,1	2,5	14,0	18,5	9,3	0,46
Фон ₁ + CaCO ₃ , 0,5 Нг	2,5	3,0	8,1	16,0	10,8	0,77
Фон ₁ + » 1,0 »	2,3	3,2	8,0	15,0	10,9	0,71
Фон ₂ + » 0,5 »	3,0	4,5	8,2	17,3	10,7	0,71
Фон ₂ + » 1,0 »	4,1	5,0	8,0	16,5	11,5	0,84
Фон ₁ + шлак, 0,5 Нг	4,1	4,8	8,5	16,1	10,1	0,77
Фон ₁ + » 1,0 »	3,7	4,2	7,0	15,5	10,8	0,83
Фон ₂ + » 0,5 »	4,3	5,0	8,3	16,0	11,5	0,85
Фон ₂ + » 1,0 »	4,5	5,2	8,1	16,0	12,0	0,90

в сравнении с фонами можно объяснить дополнительной мобилизацией фосфора почвы, что согласуется с результатами определения фракционного состава почвенных фосфатов (табл. 5).

Наиболее благоприятный режим фосфатов в этом опыте сложился при внесении шлака совместно с фосфорными удобрениями, несмотря на то, что урожай и вынос фосфора во все годы в вариантах со шлаком были значительно выше, чем в других вариантах. Это еще раз подтверждает превосходство шлака перед известью, поскольку с ним в почву дополнительно вносится некоторое количество фосфора.

Выводы

1. При внесении фосфорных удобрений в кислую дерново-подзолистую почву в процессе их длительного взаимодействия уменьшается содержание подвижных форм фосфора в почве. Внесение известки и шлаков способствует сохранению фосфора суперфосфата в форме более легкорастворимых фосфатов и препятствует его переходу в соединения, связанные с полуторными окислами.

2. В вариантах с применением шлаков происходит мобилизация почвенных фосфатов, почва обогащается валовым фосфором и подвижными его формами.

3. При внесении фосфорных удобрений совместно с известью и особенно шлаками реакция почвы становится слабокислой, увеличивается активность фосфат-ионов и снижается фосфатный потенциал.

ЛИТЕРАТУРА

1. Агрохимические методы исследования почв. М., «Наука», 1975. — 2. Возбуждающая А. Е. Химия почвы. М., «Высшая школа», 1968. — 3. Гедройц К. К. Влияние известкования на доступность растениям фосфорной кислоты и фосфорнокислых удобрений. Избр. соч., т. 3. М., Сельхозгиз, 1955. — 4. Гинзбург К. Е., Лебедева Л. С. Методика определения минеральных форм фосфатов почвы. «Агрохимия», 1971, № 1, с. 25—35. — 5. Корнилов М. Ф., Небольсин А. Н., Козловский Е. В., Зяблов В. А. Известкование кислых почв Нечерноземной полосы СССР. Л., «Колос», 1971. — 6. Кудеярова А. Ю. К вопросу о подвижности фосфатов в почвах. «Агрохимия», 1967, № 5, с. 43—50. — 7. Кудеярова А. Ю. Растворимость и превращение фосфорных удобрений в дерново-подзолистых почвах с разным содержанием обменных Al и Ca и изменение фосфатных потенциалов почв. «Агрохимия», 1969, № 6, с. 38—47. — 8. Кудеярова А. Ю. Определение фосфатного

потенциала почв и активности фосфат-ионов в почвенных растворах для оценки обеспеченности растений доступными фосфатами и изучения превращения фосфорных удобрений в почвах. Автореф. канд. дис. М., 1970. — 9. Соколов А. В. Запасы в почвах усвояемых фосфатов и их накопление при внесении фосфорных удобрений. «Почвоведение», 1958, № 2, с. 1—9. — 10. Синягина М. Г. Изменение фосфатного равновесия в почвах под влиянием фосфорных удобрений и извести. «Агрохимия», 1969, № 6, с. 26—37. — 11. Юдин

Ф. А. Повышение эффективности фосфатов при действии извести и доменного шлака на разных типах почвы. «Изв. ТСХА», 1958, вып. 3, с. 127—136. — 12. Aslyng H. C. "Yearbook Roy. Veterin Agric. Coll.", Copenhagen, 1954, vol. 1, p. 1—50. — 13. Kohlein J. L. "Acker- u. pflanzenbau", 1969, Bd 129, N 2, S. 121—144. — 14. Schofield R. K. "Soil a. Fertilisere", 1955, vol. 18. — 15. Ulrich B. Die Wechselbeziehungen von Boden und Pflanzen. Stuttgart, 1961.

Статья поступила 7 июля 1978 г.

SUMMARY

It has been found in the perennial stationary field experiment conducted on the state farm "Sepychevsky" (the Udmurt ASSR, Zavjalovsky district) on light loamy soddy-podzolic soil and in laboratory investigations that after application of slag not only the mobilization of soil phosphates takes place, but the soil becomes enriched with total phosphorus and its mobile forms as well.

The degree of phosphate mobility was determined by the formula of phosphate potential ($0.5 pCa + pH_2PO_4$). When phosphoric fertilizers are applied in combination with lime and especially with slags, soil reaction becomes weakly acid, the activity of phosphate-ions increases, and phosphate potential becomes lower.

In the course of time the amount of mobile forms of phosphorus in acid soddy-podzolic soils decreases under the effect of phosphoric fertilizers. Application of lime and slags contributes to a great extent to preservation of superphosphate phosphorus in the form of more readily soluble phosphates and prevents its transformation into compounds bound with sesquioxides.