

УДК 631.811:631.859:631.42

ПОСЛЕДЕЙСТВИЕ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИХ ШЛАКОВ НА ФОСФАТНЫЙ РЕЖИМ ПОЧВЫ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ УРОВНЯ АЗОТНО-КАЛИЙНОГО ПИТАНИЯ

Б. А. ЯГОДИН, Н. В. РЕШЕТНИКОВА, Е. Б. БАБИНСКАЯ,
Ж. Д. РАНДРИАМИАЛИ

(Кафедра агрономической и биологической химии)

Одним из факторов улучшения фосфатного режима кислых почв является известкование, под влиянием которого происходит мобилизация почвенных фосфатов, что, в свою очередь, приводит к улучшению фосфорного питания растений [7]. Оптимальное усвоение фосфора наблюдается при pH 5—6 [9]. В случае повышенной кислотности почвы образование нерастворимых фосфатов кальция сопровождается снижением доли усвояемых фосфатов [8].

Дополнительным источником фосфора являются металлургические шлаки, которые способствуют не только мобилизации почвенных фосфатов, но и обогащению почвы подвижными формами фосфора [3]. Однако при внесении фосфорных удобрений в кислые почвы на фоне известки возможно превращение водорастворимых фосфатов в менее растворимые фосфаты кальция [2, 4].

Таким образом, данные о влиянии известкования на доступность фосфора почвы и удобрений противоречивы. Кинетика превращения фосфорных соединений шлака, особенно фосфора, входящего в состав высокофосфатных шлаков, мало изучена.

В данной работе рассматривается последствие различных по содержанию фосфора металлургических шлаков на фосфатный режим почвы в зависимости от уровня азотно-калийного питания.

Условия и методика исследований

Многолетний вегетационный опыт (1978—1984 гг.) проводили в вегетационном домике лаборатории агрохимии им. Д. Н. Прянишникова ТСХА. Почва дерново-подзолистая среднесуглинистая, ее агрохимическая характеристика перед закладкой опытов была следующей: гумус—1,4%, $pH_{\text{сол}}$ —3,8, $pH_{\text{водн}}$ —4,8, N_T —6,6 мг-экв/100 г, $N_{\text{обм}}$ —0,76 мг-экв/100 г, S—3,1, T—9,7 мг-экв/100 г, V—32%, P_2O_5 и K_2O по Кирсанову—1,4 и 3,4 мг/100 г, Al по Соколову—6,5 мг/100 г.

Опыт поставлен в сосудах Митчерлиха емкостью 7 кг в 3-кратной повторности. Азотные и калийные удобрения применяли ежегодно в виде NH_4NO_3 и KCl; шлаки и

известь вносили по полной норме гидролитической кислотности при закладке опыта. О химическом составе шлаков можно судить по данным табл. 1.

Схема опыта представлена в табл. 2. Опытной культурой был райграс многоукосный, за время вегетации проведены 3 укоса. Статистическую обработку данных об урожае проводили методом дисперсионного анализа.

Фракционный состав фосфатов определяли по методу Чанга-Джексона в модификации Гинзбург и Лебедевой, степень подвижности фосфора—по Карпинскому и Замятиной, содержание кислоторастворимых фосфатов—по Кирсанову [1].

Т а б л и ц а 1
Химический состав шлаков (%), данные заводских лабораторий)

Шлак	CaO	MgO	SiO ₂	Fe ₂ O ₃	FeO	MnO	Al ₂ O ₃	P ₂ O ₅	ОНС*
Ижевского завода	40,0	8,2	14,3	6,8	14,0	14,7	6,8	1,0	51,5
Череповецкого завода	36,8	12,5	16,4	3,4	14,1	5,6	9,2	0,7	54,3
Высокофосфатный (ВФШ)	26,8	10,1	17,3	6,4	7,8	7,0	—	16,8	40,9

* — общая нейтрализующая способность шлака в пересчете на CaO.

Результаты исследований

Известь и шлаки на 3-й год последствий еще в значительной степени способствовали повышению урожайности опытной культуры (табл. 2). Как по извести, так и по шлакам получены достоверные прибавки урожая сухой массы райграса по сравнению с контролем. Особенно эффективно было последствие высокофосфатного шлака, которое зависело от уровня минерального питания. Так, если прибавки урожая на 3-й и 4-й год последствий высокофосфатного шлака на фоне 1 составляли соответственно 14,8 и 74,8 г/сосуд, то на фоне 2—36,9 и 123,9 г/сосуд (табл. 2). Действие шлаков Ижевского и Череповецкого металлургических заводов, содержащих небольшое количество фосфора, на урожай райграса заканчивалось на 4-й год проведения опыта.

Шлаки по-разному влияли на содержание фосфора в почве. В вариантах с высокофосфатным шлаком содержание подвижного фосфора в почве (вытяжка 0,02 н. HCl) резко увеличивалось (табл. 3). Так, если в контроле на 3-й год опыта содержание подвижного фосфора составляло 0,35 мг/100 г, то при внесении высокофосфатного шлака—4,2 мг/100 г, т.е. увеличивалось в 12 раз. Это указывает на возможность длительного последствия данного шлака и использование его как источника фосфора для растений. В некоторой степени способствовал повышению содержания подвижного фосфора в почве мартеновский шлак Череповецкого завода. Шлак Ижевского завода действовал аналогично извести. Содержание в почве подвижных фосфатов во многом зависело от уровня азотно-калийного питания. Степень подвижности фосфора в почве была невысокой и мало изменялась при внесении химических мелиорантов.

В процессе взаимодействия известковых и фосфорсодержащих удобрений с почвой наблюдалось заметное изменение всех форм фосфатов в почве, причем характер распределения фосфора в тех или иных формах зависел не только от вида известкового удобрения, но и от уровня минерального питания растений (табл. 4).

Наши исследования показали (табл. 4), что в групповом составе фосфора во всех вариантах опыта преобладали фосфаты полуторных окислов (Fe—P). При внесении высокофосфатного шлака большая часть фосфора—около 60 % общего минерального фосфора почвы—оставалась в форме Fe—P, что свидетельствует о высоком потенциале высокофосфатного шлака как источника питания растений. Уста-

Таблица 2

**Последствие шлаков на урожай сухой массы райграса
в зависимости от уровня минерального питания (г/сосуд)**

Вариант опыта	3-й год последствий				4-й год последствий			
	укос			в сумме за 3 укоса	укос		в сумме за 2 укоса	
	I	II	III		I	II		
1 — без удобрений	0,7	2,1	1,5	4,3	5,3	4,1	9,4	
2 — 0,5N0,5K (фон 1)	0,5	4,5	3,2	8,2	1,2	3,0	4,2	
3 — фон 1 + CaCO ₃	2,1	8,3	2,7	13,1	9,4	12,6	22,0	
4 — фон 1 + шлак Ижевского завода	5,0	8,1	3,5	16,6	9,6	1,3	10,9	
5 — фон 1 + шлак Череповец- кого завода	2,5	7,7	3,0	13,2	6,1	11,2	17,3	
6 — фон 1 + ВФШ	12,7	6,3	4,0	23,0	37,8	41,2	79,0	
7 — 1,5N1,5K (фон 2)	0,2	—	—	0,2	—	—	—	
8 — фон 2 + CaCO ₃	1,9	2,0	2,6	6,5	1,1	5,2	6,3	
9 — фон 2 + шлак Ижевского завода	1,6	7,5	4,1	13,2	1,1	5,2	6,3	
10 — фон 2 + шлак Черепо- вецкого завода	1,0	3,0	2,4	6,4	1,5	7,3	8,8	
11 — фон 2 + ВФШ	10,6	18,7	7,8	37,1	60,1	68,0	128,1	
НСР ₀₅	1,0	3,3	1,1		2,0	1,6		

Последствие шлаков (3-й год) на содержание подвижного фосфора в почве и степень его подвижности

Вариант опыта	Содержание P ₂ O ₅		Вариант опыта	Содержание P ₂ O ₅	
	0,02 н. HCl, мг/100 г	0,03 н. K ₂ SO ₄ , мг/л		0,02 н. HCl, мг/100 г	0,03 н. K ₂ SO ₄ , мг/л
1	0,35	0,11	7	0,53	0,11
2	0,27	0,12	8	0,39	0,12
3	0,22	0,11	9	0,32	0,12
4	0,19	0,11	10	0,60	0,14
5	0,32	0,11	11	4,14	0,13
6	4,20	0,13			

новлено также различное влияние извести, мартеновских и высокофосфатного шлаков на фосфатный режим почвы. В варианте с высокофосфатным шлаком на фоне 2 по сравнению с фоном 1 содержание минеральных форм Fe—P и Al—P уменьшилось, а в вариантах с известью и мартеновскими шлаками увеличилось.

При внесении высокофосфатного шлака независимо от уровня минерального питания содержание Ca—P было самым высоким. В вариантах с мартеновскими шлаками Ижевского и Череповецкого заводов и извести на фоне 2 содержание Ca—P было больше, чем на фоне 1.

Известно, что минеральные фосфаты являются наилучшим источником фосфорного питания растений [5]. В нашем опыте в вариантах с высокофосфатным шлаком содержание минеральных фосфатов было значительно выше, чем в остальных вариантах, в том числе в вариантах с мартеновскими шлаками (табл. 4).

Внесение высокофосфатного шлака положительно сказалось на распределении накопленного фосфора в почве, при этом резко возросла доля рыхлосвязанных фосфатов. Так, их содержание в вариантах с высокофосфатным шлаком увеличилось в 2,4 и 2,8 раза по сравнению с таковым в вариантах с известью на фоне 1 и фоне 2. (табл. 4). Поскольку рыхлосвязанные фосфаты, извлекаемые из почвы по методу Чанга—Джексона, являются наиболее доступными формами для растений, то, следовательно, можно заключить, что фосфор высокофосфатного шлака легко доступен растениям и данный шлак может

Таблица 4

Фосфатный режим дерново-подзолистой почвы на 3-й год последствия шлаков, (по Чангу — Джексону, мг/100 г)

Вариант опыта	Рыхлосвязанные фосфаты (1 н. NH ₄ Cl)	Al—P 0,5 н. NH ₄ F		Fe—F0,1 н. NaOH		Ca—P 0,5 н. H ₂ SO ₄	Сумма фосфатов	В т. ч.	
		минер.	орган.	минер.	орган.			минеральных	органических
0*	0,59	14,0	15,3	34,7	53,9	4,8	123,22	53,99	69,23
1	0,39	7,7	11,2	33,2	41,1	5,3	98,81	46,53	52,28
2	0,26	7,6	12,5	31,4	46,6	4,5	102,71	43,92	58,79
3	0,59	8,3	14,7	20,6	46,7	6,1	96,89	35,54	61,35
4	0,50	7,1	9,1	23,4	44,7	7,1	92,36	38,05	54,31
5	0,68	11,3	6,6	28,1	51,3	6,1	103,59	46,08	57,91
6	1,42	52,0	5,8	93,6	45,6	11,8	210,12	158,82	51,30
7	1,11	12,3	12,6	31,7	56,2	5,9	119,77	50,96	68,81
8	0,49	13,5	3,3	27,8	48,8	6,8	100,67	48,54	52,13
9	0,38	17,0	0,6	29,7	51,9	6,8	106,26	53,78	52,48
10	0,69	10,1	9,2	31,5	52,5	8,2	112,14	50,46	61,68
11	1,35	44,3	10,0	79,4	70,4	11,9	217,20	136,85	80,35

* Фосфатный режим дерново-подзолистой почвы до закладки опыта.

служить дополнительным источником минерального питания сельскохозяйственных культур.

Выводы

1. Эффективность последействия (на 3-й и 4-й год) металлургических шлаков на урожай сухой массы райграсса многоукосного зависела от содержания в них фосфора. По сравнению с известью и мартеповскими шлаками высокофосфатный шлак обеспечивал существенные прибавки урожая, и эффект на повышенном уровне азотно-калийного питания возрастал.

2. Наиболее доступен для растений фосфор, содержащийся в высокофосфатном шлаке; последний является медленнодействующим фосфорным удобрением, обладающим длительным последствием.

3. При внесении высокофосфатного шлака по сравнению с известью изменялось соотношение группового состава почвенных фосфатов и увеличивалось содержание рыхлосвязанных фосфатов, что свидетельствует о доступности фосфора этого удобрения. В варианте с высокофосфатным шлаком на фоне 2 по сравнению с фоном 1 содержание минеральных фосфатов алюминия и железа снижалось.

4. Внесение шлаков и извести на фоне 2 способствовало мобилизации почвенных фосфатов и обогащению почвы обменными формами фосфора.

ЛИТЕРАТУРА

1. Агрохимические методы исследования почв / Под ред. А. В. Соколова. — М.: Наука, 1975. — 2. Решетникова Н. В., Юдин Ф. А. Фосфатный режим дерново-подзолистой почвы при внесении шлака Ижевского металлургического завода. — Изв. ТСХА, вып. 4, с. 210. — 3. Решетникова Н. В., Юдин Ф. А., Голопятов М. Т. Влияние извести и шлаков на урожай полевых культур и фосфатный режим почвы при различном уровне минерального питания. — Изв. ТСХА, 1976, вып. 4, с. 132. — 4. Синягин М. Г. Изменение фосфатного равновесия в почвах под влиянием фосфорного удобрения и извести. — Агрохимия, 1969, № 6, с. 26. — 5. Чернышов А. П. Сравнительное действие разных по растворимости фосфорсодержащих удобрений на урожай растений и фосфатный режим дерново-подзолистой почвы. — Автореф. канд. дис. М., 1984. — 6. Юдин Ф. А. Методика агрохимических исследований. — М.: Колос, 1980. — 7. Griffing G. F. — Soil Sci. Soc. Amer. Soc., 1973, vol. 34, N 34, p. 540—542. — 8. Haynes R. J. — Plant a. Soil., 1982, vol. 68, N 3, p. 95. — 9. Juo ASR, Uzu F. O. — Plant. a. Soil., 1977, vol. 47, N 2, p. 80.

Статья поступила 13 сентября 1985 г.

SUMMARY

Greenhouse experiment in 1978—1984 studied the aftereffect of metallurgic slags varying in phosphorus content on the yield of ryegrass and phosphate regime of soddy-podzolic soil as depended on the level of nitrogen-potassium nutrition. Slags and lime were applied once when starting the experiment at full rate of hydrolytic acidity. Nitrogen and potassium fertilizers were applied annually in the form of NH_4NO_3 and KCl (0.5N0.5K and 1.5N1.5K).

Slag containing 16.8 % P_2O_5 was highly efficient. On the 3rd—4th year after application following 1.5N1.5K it contributed to enriching the soil with mobile forms of phosphorus, the group composition of soil phosphates thus being changed towards higher content of loosely-fixed phosphates and lower content of mineral forms of Fe-P and Al-P.