

УДК 631.851

## ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРОДУКТОВ НЕПОЛНОГО РАЗЛОЖЕНИЯ АМОРФНЫХ ФОСФОРИТОВ

Н. Е. САМСОНОВА, Л. В. АСТАХОВА

(Кафедра агрономической и биологической химии ТСХА,  
кафедра агрохимии и мелиорации Смоленского филиала ТСХА)

Значительную долю в ассортименте фосфорных удобрений, поставляемых сельскому хозяйству Нечерноземной зоны, составляет фосфоритная мука, хорошо зарекомендовавшая себя на кислых почвах. Создание благоприятных условий для выращивания большинства сельскохозяйственных культур в первую очередь предполагает нейтрализацию почвенной кислотности и тем самым устранение самого механизма разложения фосфорита. В связи с этим необходим новый подход к использованию такого источника фосфора для растений, как фосфоритная мука.

Переработка аморфных фосфоритов в суперфосфат по принятой технологии, как правило, невозможна из-за низкой концентрации фосфора в них и наличия разнообразных примесей в виде полторных окислов, карбонатов магния и кремния. В нашей стране и за рубежом предпринимался ряд попыток повысить эффективность фосфоритной муки путем смешивания ее с суперфосфатом, обработки газообразным хлором, небольшими дозами азотной, соляной или фосфорной кислот [1, 5, 6, 7]. В указанных случаях фосфорит подвергается лишь частичному разложению («активации»). Для повышения концентрации фосфора в нем производится смешивание фосфорита катализированным элементарным красным фосфором, который, постепенно окисляясь до фосфорных кислот, переводит дополнительное количество фосфора неразложившейся части фосфорита в усвояемую форму.

При этом можно рассчитывать на значительное последствие такой смеси.

Цель наших исследований состояла в изучении эффективности продуктов неполного разложения фосфорита и их влияния на питание растений азотом и калием.

### Методика и материал опытов

Продукты неполного разложения фосфорита были получены в лабораторных условиях путем обработки его раствором фосфорной кислоты. Дозы реагентов рассчитывали по уравнению основной реакции, протекающей при производстве двойного суперфосфата (за 100 % принят расход  $P_2O_5$  в этом процессе). Таким образом были получены продукты с 25, 50 и 100 %-ным уровнем разложения фосфорита кислотой и смеси их с красным фосфором (условно в дальнейшем  $H_3PO_4$ , 25+ $P_{кр}$ , 75 и  $H_3PO_4$ , 50+ $P_{кр}$ , 50). Удобрения гранулировали и отбирали гранулы диаметром 1—3 мм.

При взаимодействии фосфорита с фосфорной кислотой образуются продукты, не

содержащие гигроскопичных солей, поэтому удобрения имели хорошие физические свойства независимо от количества реагента, взятого для обработки фосфорита. С повышением степени разложения фосфорита содержание общего и усвояемого фосфора увеличивалось (табл. 1).

Эффективность удобрений изучали в условиях вегетационного и полевого опытов. Дозы фосфорных удобрений рассчитывали исходя из содержания общего фосфора в туках.

Вегетационный опыт проводили в 1974—1976 гг. на Агрохимической опытной станции им. Д. Н. Прянишникова. Опытная культура — райграс многоукосный. Ежегод-

**Т а б л и ц а 1**  
**Содержание общего и усвояемого фосфора**  
**в «активированном» фосфорите (%)**

Степень разложения фосфорита, %	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	
	общая	усвое- мая
0 (фосфорит Егорьев- ского месторождения)	21,6	7,2
H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub> , 25	28,2	15,8
H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub> , 50	33,3	21,9
H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub> , 100	40,7	28,2
H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub> , 25 + P <sub>кр</sub> , 75	50,2	16,2
H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub> , 50 + P <sub>кр</sub> , 50	46,6	21,0

но производили по 3—4 укоса. Повторность опыта 4-кратная.

Почва дерново-подзолистая среднесуглинистая с Опытной станции лесоводства Тимирязевской академии, ее агрохимическая характеристика: рН<sub>с.о.л</sub> — 4,2, рН<sub>в.о.л</sub> — 5,4, Н<sub>г</sub> — 6,2, S — 2,0 мэкв на 100 г, К<sub>2</sub>O по Масловой — 5,0, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> по Кирсанову — 2,2 мг на 100 г, гумус — 1,2 %. Для устранения влияния кислотности почвы на разложение фосфорита, входящего в состав изучаемых удобрений, перед закладкой опыта почва была известкована жженой известью по <sup>3</sup>/<sub>4</sub> гидролитической кислотности,

в результате гидролитическая кислотность снизилась до 1,8 мэкв на 100 г, а уровень рН<sub>с.о.л</sub> увеличился до 6,2.

Соотношение N : P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> : K<sub>2</sub>O в удобрениях было 1,0 : 0,8 : 1,2 г на сосуд. Азот и калий вносили в виде NH<sub>4</sub>NO<sub>3</sub> и KCl. В процессе вегетации растений после 2-го и 3-го укосов проводили подкормку их азотом и калием — по 0,25 г N и K<sub>2</sub>O на сосуд.

В 1980 г. был заложен полевой опыт в совхозе «Катынский» Смоленского района Смоленской области на дерново-подзолистой среднесуглинистой почве, которая характеризуется следующими агрохимическими показателями: рН<sub>с.о.л</sub> — 5,6, рН<sub>в.о.л</sub> — 6,4, Н<sub>г</sub> — 2,5, S — 6,3 мэкв на 100 г, K<sub>2</sub>O по Кирсанову — 12,1, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> по Гинзбург и Артамоновой — 5,8 мг на 100 г, гумус по Тюрину — 1,2 %. Опытная культура — картофель сорта Темп. Площадь опытной делянки — 105 м<sup>2</sup>, учетная площадь — 55 м<sup>2</sup>, повторность — 4-кратная. Дозы N, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> и K<sub>2</sub>O составляли соответственно 120, 90, 120 кг на 1 га. Азот вносили в виде аммиачной селитры, калий — в виде 40 %-ной калийной соли. При расчете норм фосфорных удобрений исходили из общего содержания P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> в них. Все удобрения вносили весной под перепахку за 10 дней до посадки картофеля. Операции по посадке и уходу были механизированы. Посадку проводили 21 мая по схеме 70×25 см, уборку — 10 сентября. Урожай учитывали сплошным методом.

### Результаты опытов и их обсуждение

В вегетационном опыте выявлена высокая эффективность продуктов неполного разложения фосфорита фосфорной кислотой. Сокращение нормы расхода кислоты в 4 раза по сравнению с ее количеством, идущим на производство двойного суперфосфата, позволило получать продукт, не уступающий ему по действию на урожайность трав (табл. 2). Разница в урожае райграса между вариантами с внесением двойного суперфосфата и «активированного» фосфорита (25 %) на протяжении всех лет опыта была статистически недостоверной. Окупаемость урожаем 1 г усвояемой P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, внесенной с «активированным» фос-

**Т а б л и ц а 2**

**Урожайность райграса в зависимости от источника питания фосфором**  
 (г сухого вещества на сосуд)

Вариант (уровень активации, %)	1974	1975	1975 (послед- действие)	За 3 года	Окупаемость 1 г усвояемой P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> урожаем за 3 го- да, г
НК (фон)	12,6	7,5	9,1	29,2	—
Фон + P <sub>с.дв</sub>	40,4	46,7	23,5	110,6	50,9
» + P <sub>кр</sub>	21,1	32,8	19,8	73,7	—
» + P <sub>ф</sub>	20,5	26,9	21,8	69,2	62,9
» + P <sub>ф</sub> + P <sub>кр</sub> , 100	22,2	37,6	19,8	79,6	259,8
» + H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub> , 25	38,9	44,5	21,2	104,6	84,2
» + H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub> , 50	41,7	45,2	22,6	109,5	76,3
» + H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub> , 100	40,8	46,9	23,6	111,3	74,0
» + H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub> , 25 + P <sub>кр</sub> , 75	37,7	43,6	21,0	102,3	141,9
» + H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub> , 50 + P <sub>кр</sub> , 50	41,7	48,6	24,2	114,5	118,1
НСР <sub>05</sub>	2,1	2,7	2,6		

форитом (25 %  $H_3PO_4$ ), была в 1,7 раза выше, чем при внесении суперфосфата. Это согласуется с данными С. Н. Розанова [4], считавшего, что для значительного повышения эффективности аморфных фосфоритов не всегда требуется полностью перевести фосфор в водорастворимую форму. И. Мак-Лин и Т. Логан [9] полагают, что фосфор минерала, не вступившего в разложение, способствует увеличению выноса его растениями, а следовательно, повышению коэффициента использования фосфора из удобрений.

Путем введения в состав «активированного» фосфорита элементарного красного фосфора получено высокоэффективное удобрение, в последствии не уступающее суперфосфату. Хотя при повышении доли  $P_{кр}$  в удобрении урожайность райграса снижалась, окупаемость единицы усвояемого фосфора урожаем значительно возрастала и была гораздо выше, чем двойного суперфосфата и продуктов неполного разложения фосфорита кислотой.

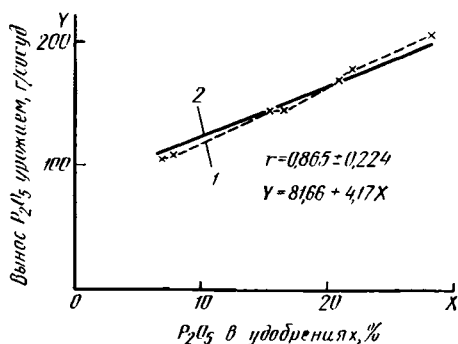
Данные о влиянии степени разложения фосфорита на содержание фосфора в растениях довольно противоречивы. В условиях вегетационного опыта содержание фосфора в просе и люцерне было примерно одинаковым и не зависело от степени разложения фосфорита [7]. В полевом опыте с кукурузой концентрация фосфора в растениях была максимальной при 20 %-ной обработке фосфорита фосфорной кислотой [8]. Авторы объясняют это дополнительным освобождением растворимого фосфора из минерала в результате образования кислоты при гидролизе  $Ca(H_2PO_4)_2$  в почве.

В наших исследованиях содержание фосфора в райгресе и вынос его урожаем находились в строгой зависимости от источника фосфорного питания. В продуктах неполного разложения фосфорита окружающее растворимое фосфора определяется главным образом минералом, не вступившим в реакцию разложения, в то время как фосфор двойного суперфосфата не имеет такой оболочки. Очевидно, этим объясняется более высокое содержание фосфора в тканях райграса при внесении суперфосфата (табл. 3). В среднем за 3 года в варианте с двойным суперфосфатом относительное содержание фосфора в растениях составило 0,67 %, а при использовании активированной фосфорной муки и ее смесей с красным фосфором оно колебалось от 0,42 до 0,48 %, причем наблюдалась прямая зависимость концентрации фосфора от степени разложения фосфорита кислотой. Более существенными были различия между вариантами с суперфосфатом и активированным фосфоритом (в пользу первого) по выносу  $P_2O_5$  урожаем райграса, который за-

Т а б л и ц а 3

Содержание фосфора в райгресе (%) и вынос его урожаем (мг/сосуд)

Вариант (уровень активации, %)	1974		1975		1976 (последствие)		Коэффициент использования $P_2O_5$ из удобрения, %
	%	мг/сосуд	%	мг/сосуд	%	мг/сосуд	
НК (фон)	0,29	37	0,41	31	0,31	28	—
Фон + $P_{с.дв}$	0,53	212	0,79	370	0,67	160	40,4
» + $P_{кр}$	0,33	69	0,55	177	0,42	83	14,6
» + $P_{ф}$	0,33	67	0,53	143	0,51	111	12,2
» + $P_{ф}$ + $P_{кр}$ , 100	0,31	65	0,46	171	0,40	79	13,7
» + $H_3PO_4$ , 25	0,31	118	0,52	229	0,44	93	21,5
» + $H_3PO_4$ , 50	0,37	156	0,59	264	0,49	111	27,2
» + $H_3PO_4$ , 100	0,46	187	0,67	312	0,55	129	33,3
» + $H_3PO_4$ , 25 + $P_{кр}$ , 75	0,31	118	0,53	230	0,40	85	21,2
» + $H_3PO_4$ , 50 + $P_{кр}$ , 50	0,34	141	0,54	264	0,44	106	25,9



Эмпирическая (1) и теоретическая (2) линии регрессии при прямолинейной корреляции между содержанием усвояемого фосфора в удобрениях и выносом его райграсом (в среднем за 3 года).

висел как от концентрации фосфора в растениях, так и от урожайности, являясь, таким образом, более полным показателем степени доступности фосфатов. Вынос фосфора урожаем находился в прямой корреляционной зависимости от содержания усвояемой  $P_2O_5$  в удобрениях ( $r=0,865$ ). Эта зависимость описывается уравнением регрессии:

$$Y = 81,66 + 4,17X,$$

где  $Y$  — вынос  $P_2O_5$  урожаем;  $X$  — содержание усвояемого фосфора в удобрениях. На рисунке даны эмпирическая и теоретическая линии регрессии.

Данные о выносе  $P_2O_5$  урожаем и коэффициент использования фосфора из удобрений свидетельствуют о более интенсивном поступлении фосфат-ионов в растения из двойного суперфосфата, чем из остальных удобрений, тем не менее в ряде случаев это не препятствовало формированию равновеликих урожаев.

Уровень фосфорного питания растений в значительной степени определяет продуктивность использования ими минеральных соединений азота и калия. Различные фосфорные удобрения, имея неодинаковую растворимость, а следовательно, и доступность для растений, очевидно, по-разному влияют на поступление в растения азота и калия.

В нашем опыте все фосфорные удобрения оказывали существенное влияние на потребление райграсом азота и калия. Вынос этих элементов урожаем был выше, чем по фону, в 2,5—3,3 раза. Максимум азота и калия в тканях райграса содержался в вариантах с красным фосфором, фосфоритной мукой и их смесью, минимум — при внесении суперфосфата. С повышением степени разложения фосфорита кислотой содержание этих элементов в растениях снижалось, хотя урожайность не изменялась. Корреляционная зависимость между содержанием усвояемой  $P_2O_5$  в этих удобрениях и концентрацией азота и калия в райграсе была достаточно тесной ( $r_N = -0,74$ ,  $r_{K_2O} = -0,73$ ). Следовательно, чем больше растворимость фосфорного удобрения, тем ниже относительное содержание азота и калия в райграсе. Возможно, здесь имеет место эффект разбавления.

Ранее нами были опубликованы результаты, позволяющие положи-

Таблица 4

Содержание азота и калия в райграсе (% в сухом веществе) и вынос их урожаем (мг/сосуд) в среднем за 3 года

Вариант (уровень активации, %)	N		K <sub>2</sub> O	
	%	мг/сосуд	%	мг/сосуд
НК (фон)	2,92	280	3,44	336
Фон + P <sub>с.дв</sub>	2,25	830	2,41	887
» + P <sub>кр</sub>	3,00	737	3,74	919
» + P <sub>ф</sub>	3,00	694	3,72	857
» + P <sub>ф</sub> + P <sub>кр</sub> , 100	3,20	840	3,68	976
» + H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub> , 25	2,60	908	2,83	985
» + H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub> , 50	2,51	917	2,66	971
» + H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub> , 100	2,30	853	2,47	915
» + H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub> , 25 + P <sub>кр</sub> , 75	2,31	789	2,85	972
» + H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub> , 50 + P <sub>кр</sub> , 50	2,38	910	2,76	1054

Урожайность картофеля и потребление им элементов питания в полевом опыте 1980 г.

Вариант (уровень активации, %)	Урожай, ц/га	Вынос, кг/га			Коэффициент использо- вания из удобрений, %		
		N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O
Контроль (без удобрений)	153	38,3	11,2	37,5	—	—	—
120N120K (фон)	175	57,4	14,6	88,0	15,9	—	42,1
Фон + P <sub>с. дв</sub>	191	90,3	33,7	107,5	43,3	21,1	58,3
» + P <sub>ф</sub>	184	73,6	25,6	94,7	29,4	12,1	47,6
» + H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub> , 25	207	71,0	35,4	122,7	27,2	23,0	71,0
» + H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub> , 25 + P <sub>кр</sub>	197	68,0	33,1	117,1	24,7	20,4	66,3
НСР <sub>05</sub>	10,8						

тельно оценить новые формы фосфорных удобрений, полученных в лабораторных условиях [2]. В полевом опыте в 1980 г. мы применили удобрения, полученные на опытной установке НИО ЛенНИИГИПРОХИМ в условиях, максимально приближенных к заводским. Эти удобрения представляют собой продукт обработки фосфорита Кингисеппского месторождения раствором ортофосфорной кислоты (25 %-ный уровень разложения) и смесь его с катализированным элементарным красным фосфором. В качестве катализатора окисления красного фосфора использовали пиритный огарок, дозу которого определяли по сумме содержащихся в нем железа и меди из расчета 1 % Cu + Fe от массы P<sub>кр</sub> [3].

Анализ данных об урожайности картофеля в указанном полевом опыте свидетельствует о высокой эффективности изучаемых фосфорных удобрений (табл. 5). Максимальный урожай (207 ц/га) получен при внесении 25 % H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>. Действие смеси его с красным фосфором было таким же, как и двойного суперфосфата. Разница в урожае картофеля между этими вариантами статистически недостоверна. Аналогичные данные, подтверждающие высокую эффективность продуктов неполного разложения фосфорита раствором фосфорной кислоты, приводят зарубежные исследователи [5—7, 9].

Вынос и коэффициент использования фосфора из удобрений при внесении двойного суперфосфата, «активированного» фосфорита и его смеси с красным фосфором были практически одинаковыми, а в варианте с фосфоритной мукой — значительно ниже.

Внесение фосфорных удобрений способствовало резкому повышению продуктивности использования картофелем минеральных соединений азота и калия. Коэффициент использования картофелем калия из удобрений был максимальным в варианте с «активированным» фосфоритом, минимальным — при внесении фосфоритной муки. Все это согласуется с данными, полученными в соответствующих вариантах вегетационного опыта. На продуктивность использования азота растениями наибольшее влияние оказал суперфосфат.

### Выводы

1. Результаты вегетационного и полевого опытов свидетельствуют о высокой эффективности продуктов неполного разложения фосфоритов Егорьевского и Кингисеппского месторождений фосфорной кислотой. При сокращении в 4 раза нормы расхода кислоты, необходимой для производства монокальцийфосфата, получается продукт, не уступающий по эффективности двойному суперфосфату.

2. Введение в состав «активированного» кислотой фосфорита катализированного элементарного красного фосфора позволяет повысить концентрацию удобрения и сохранять его высокую эффективность.

3. Коэффициент использования фосфора из продуктов неполного разложения фосфорита, полученных заводским путем, был таким же, как и из двойного суперфосфата.

4. При внесении фосфорных удобрений продуктивность использования минеральных соединений азота и калия растениями повышалась. Относительное содержания азота и калия в райграсе зависит от источника фосфорного питания: чем больше растворимость удобрения, тем меньше этих элементов содержится в растениях.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Буткевич В. В. Хлор как фактор урожайности. — Химизация соц. землед., 1935, № 2, с. 14—27. — 2. Кулюкин А. Н. и др. Активирование фосфоритной муки путем обработки ее фосфорными кислотами и смешивания с красным фосфором. — Изв. ТСХА, 1976, вып. 5, с. 83—94. — 3. Кулюкин А. Н., Самсонова Н. Е. Пиритный огарок как катализатор окисления красного фосфора. — Химия в сельск. хоз-ве, 1978, № 8, с. 9—11. — 4. Розанов С. Н. Лимонно-растворимая  $P_2O_5$  в фосфоритах. — В сб.: Из результатов вегетац. опытов и лаборат. работ. М.: ТСХА, 1935, т. 16, с. 120—128. — 5. Ashby D. et al. — Agric. J., 1966, vol. 58, N 6, p. 621—625. — 6. Din cu I. — Agrochemia as Talajtan, 1961, vol. 10, N 2, p. 285—292. — 7. McLean E., Wheeler R. — Soil Sci. Soc. Amer. Proc., 1964, vol. 28, N 4, p. 545—550. — 8. McLean E., Wheeler R., Watson J. — Soil Sci. Soc. Amer. Proc., 1965, vol. 29, N 5, p. 625—629. — 9. McLean E., Logan T. — Soil Sci. Soc. Amer. Proc., 1970, vol. 34, N 6, p. 907—911. — 10. McLean E., Balam B. — Soil Sci. Soc. Amer. Proc., 1967, vol. 31, N 6, p. 811—814.

*Статья поступила 12 апреля 1982 г.*

#### SUMMARY

The effectivity of the products of not fully disintegrated phosphorite received by its treatment of phosphoric acid solution and addition of catalysis red phosphorus to obtained product was studied. High effectiveness of these fertilizers and their positive influence on the productivity of the usage of mineral nitrogen and potassium compounds on farm crops were established.