

УДК 631.85

АГРОХИМИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ЧАСТИЧНО РАЗЛОЖИВШИХСЯ ФОСФОРИТОВ РАЗЛИЧНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

А. Н. КУЛЮКИН, Н. Е. САМСОНОВА

(Кафедра агрономической и биологической химии)

В работе обобщены результаты полевых и вегетационных опытов, в которых изучалось влияние частично разложившихся фосфоритов, используемых в качестве фосфорных удобрений, на урожайность различных сельскохозяйственных культур.

Наша страна занимает третье место в мире по запасам фосфатного сырья и второе по производству фосфорных удобрений [3]. Между тем отечественное земледелие, где имеется ~34 % почв с низким содержанием подвижного фосфора, далеко не полностью обеспечивается фосфорными удобрениями.

Учитывая, что в разрабатываемых месторождениях запасы фосфатных руд ограничены и что в связи с этим решение существующей проблемы фосфора в земледелии может быть затруднено, представляется необходимым наряду с разведкой новых месторождений разработка таких технологических схем получения фосфорных удобрений, которые, с одной стороны, позволили бы вовлечь в производство низкоконцентрированное сырье, а с другой — были бы менее энергоемкими.

Запасы фосфоритов, непригодных для переработки в водорастворимые фосфорные удобрения, достигают 45—48 % общих ресурсов фосфатного сырья [9]. Эти руды после обогащения и размола используются в виде фосфоритной муки, которая в ряде случаев дает малый эффект. Эффективность применения фосфоритной муки зависит от степени ее растворимости в лимонной кислоте, которая по своему воздействию практически эквивалентна кислотам почвы. При содержании лимоннорастворимой P_2O_5 , превышающем 25 % общего фосфора, фосфорит в виде муки можно использовать как удобрение.

Существует ряд способов повышения растворимости фосфатов, отличающихся от известного процесса переработки их в суперфосфат.

Фосфаты могут измельчаться в специальном механическом активаторе, что приводит к структурным изменениям фосфатных минералов, в результате в них существенно повышается содержание лимоннорастворимой P_2O_5 [6, 7, 10].

Заслуживает внимания и другой способ вовлечения в сферу производства низкопроцентных фосфатов — неполное их разложение фосфорной кислотой, благодаря которому обеспечивается значительная экономия сопряженной в технологическом процессе с фосфорной дефицитной серной кислоты, используемой во многих отраслях промышленности, и снижается энергоемкость процесса. В литературе имеются сведения о нецелесообразности перевода всего фосфора-сырья в водорастворимую форму, так как в почвах, особенно кислых, она в значительной степени переходит в свою противоположность.

Исследования, проведенные в этом направлении, показали, что норма фосфорной кислоты может быть снижена на 40—50 % по сравнению со стехиометрической, при этом по эффективности получаемый продукт сравним с суперфосфатом [2, 4].

Содержание вода-, цитратно-растворимого и общего фосфора в ЧРФ

ЧРФ	P ₂ O ₅ %				Соотношение моно- и трикальций-фосфатов
	общий	водорастворимый	цитратно-растворимый	Усвояемый	
Егорьевский	28,2	6,8	9,0	15,8	0,55:0,73:1
Кингисеппский	35,0	22,1	0,6	22,7	1,80:0,55:1
Лагаский	21,8	3,5	8,7	12,2	0,36:0,91:1

В настоящей работе представлены результаты агрономических испытаний частично разложившихся фосфоритов (ЧРФ), полученных при ограниченном количестве фосфорной кислоты по технологической схеме, которая сходна со схемой, используемой для получения двойного суперфосфата.

Методика

Исходным сырьем для получения ЧРФ служили егорьевские, кингисеппские и лагаские фосфориты, которые были обработаны фосфорной кислотой, при этом ее расход был в 4 раза меньше, чем при получении двойного суперфосфата. В состав конечных продуктов входили быстро- и медленнодействующие формы фосфора. Содержание общего фосфора в ЧРФ Кингисеппского месторождения составляло 35 %, Егорьевского — 28, Лагаского — 21,8 %, причем первый отличался большей усвояемостью главным образом за счет водорастворимого фосфора, содержание которого было в 3,2 и 6,3 раза выше, чем соответственно в егорьевском и лагаском ЧРФ (табл. 1). Содержание водорастворимого фосфора в кингисеппском, егорьевском и лагаском ЧРФ составляло соответственно 63, 24 и 16 %, а усвояемого — 65, 56 и 56 % общего фосфора. Остальная часть фосфора представлена труднорастворимыми соединениями.

Эффективность продуктов неполного разложения фосфоритов в сравнении с двойным суперфосфатом и фосфоритной мукой изучали в условиях полевых и вегетационных опытов, заложенных на дерново-подзолистой среднесуглинистой почве Московской (егорьевский ЧРФ) и Смоленской (кингисеппский ЧРФ) областей и лугово-бурой оподзоленной почве Приморского края (лагаский ЧРФ)¹. Всего было проведено 13 полевых и 9 вегетационных опытов с районированными сортами различных сельскохозяйственных культур — картофеля, кукурузы, ячменя, горохоовсяной смеси и сои. Учетная площадь делянок 55—104 м², повторность 4-кратная (в вегетационных опытах — 4—6-кратная).

Почву предварительно известковали: дерново-подзолистую — по 3/4 Н_г, лугово-бу-

¹ Опыт с лагаским ЧРФ проведен Л. М. Панковой, с егорьевским — Л. В. Ромодиной и А. Н. Кулжиним.

Таблица 2

Агрохимическая характеристика почвы

Почва	рН _{сСол}	Н _г	S	P ₂ O ₅	K ₂ O	Гумус. %
		мэкв/100 г		мг/100 г		
Дерново-подзолистая среднесуглинистая:						
Московская обл.:						
полевой опыт	4,4 (5,8)	5,2 (2,0)	3,2	5,5	12,5	1,9
вегетационный опыт	4,2 (6,2)	6,2 (1,8)	2,0	2,2	5,0	2,2
Смоленская обл.:						
полевой опыт	5,6	2,5	6,3	5,8	12,1	1,2
Лугово-бурая оподзоленная тяжелосуглинистая	4,5 (5,6)	5,4 (2,1)	16,0	0,5	16,5	4,1

Примечание. В скобках — показатели кислотности почвы после известкования. P₂O₅ и K₂O определяли по Кирсанову, кроме K₂O в дерново-подзолистой почве Московской области в полевом опыте — по Масловой и P₂O₅ в той же почве Смоленской области в полевом опыте — по Гинзбург — Артамоновой.

Эффективность ЧРФ Егорьевского месторождения, вносимых в дерново-подзолистую почву

Вариант	Урожайность, ц/га				Всего корм. ед., ц/га	Вынос P ₂ O ₅ урожаем, кг/га
	Картофель, 1975 (Д)	Гороховая сень, 1976 (Д)	Картофель, 1977 (Д)	Гороховая сень, 1978 (ПД)		
1 — N К (фон)	163,7	50,6	157,7	61,8	119,8	122,3
По фону:						
2 — Pс.д	195,4	66,8	206,6	83,3	151,6	194,0
3 — Pф	141,3	46,6	186,9	65,7	122,0	139,3
4 — ЧРФ	211,1	64,0	195,0	84,4	152,7	181,9
НСР ₀₅	21,4	4,2	14,4	4,0	—	—

Примечание. Здесь и в табл. 5: Д — действие удобрений; ПД — их последствие.

рую — по Н_г, после чего установилась слабокислая реакция почвенного раствора (табл. 2). Содержание подвижного фосфора в дерново-подзолистой почве было средним, в лугово-бурой — очень низким.

В полевых опытах удобрения вносили весной под вспашку или глубокую культивацию. Их норма для лугово-бурой почвы 90N90P90K, дерново-подзолистой — 120N90P120K. Фоном служили аммиачная селитра и хлористый калий. Нормы фосфорных удобрений определяли по содержанию в них общего фосфора. В опытах соблюдалась принятая для соответствующих зон агротехника. Урожай учитывали сплошным методом.

В вегетационных опытах дозы удобрений — N:P₂O₅:K₂O= 1,2:0,8—0,9:1,2 г на сосуд (типа Митчерлиха) емкостью 5 кг сухой почвы.

Математическую обработку данных об урожае проводили методом дисперсионного анализа [5]. Содержание фосфора в растительных образцах определяли колориметрическим методом после ускоренного мокрого озоления по Гинзбург и др. [8], подвижного фосфора в почве — по Кирсанову и Гинзбург-Артамоновой, степень подвижности фосфатов — по Карпинскому-Замятиной [1], фракционный состав фосфатов — по Курмису [11].

Результаты

Экспериментальные данные показали, что ЧРФ разных месторождений являются полноценным фосфорным удобрением.

По действию на урожайность опытных культур все образцы ЧРФ были практически равноценны двойному суперфосфату как в год внесения, так и в последствии и существенно превосходили фосфоритную муку (табл. 3—5). При этом ЧРФ Кингисеппского месторождения несколько превосходили остальные образцы. Это преимущество, очевидно, объясняется лучшим соотношением в кингисеппском ЧРФ моно-, ди- и трикальцийфосфатов. Выход кормовых единиц в варианте с егорьевским ЧРФ был таким же, как с двойным суперфосфатом, а в вариантах с кингисеппским ЧРФ — на 8,7 % выше, а с лагепским — на 2 % ниже.

Таблица 4

Эффективность ЧРФ Кингисеппского месторождения, вносимых в дерново-подзолистую почву

Вариант	Урожайность, ц/га			Всего корм. ед., ц/га	Вынос P ₂ O ₅ урожаем, кг/га
	Картофель, 1980	Ячмень, 1981	Кукуруза, 1982		
1	175,0	22,1	316	155,6	59,6
2	190,5	28,0	473	202,9	111,8
3	184,0	25,6	463	197,2	100,8
4	206,0	29,2	531	220,6	126,9
НСР ₀₅	10,8	2,3	67	—	—

Эффективность ЧРФ Лагапского месторождения,
вносимых в лугово-бурую оподзоленную почву

Вариант	Кукуруза, ц/га			Всего корм. ед., Ц/га	Вынос P ₂ O ₅ урожаем, кг/га	Соя, ц/га, 1978 (Д)	Кукуруза, ц/га		Всего корм. ед., Ц/га	Вынос P ₂ O ₅ урожаем, кг/га
	1977 (Д)	1978 (Д)	1979 (ПД)				1979 (Д)	1980 (ПД)		
	Опыт 1						Опыт 2			
1	271	266	69	121,4	28,7	19,0	87	210	107,4	20,5
2	300	346	131	155,4	47,6	23,9	159	455	155,6	48,4
3	277	285	72	126,8	31,0	20,0	95	323	111,0	27,8
4	292	333	121	149,2	40,6	23,7	160	457	155,8	44,7
НСР ₀₅	25	19	20	—	—	1,5	34	58	—	—

Вынос фосфора урожаем при использовании ЧРФ на 26—61 % превышал таковой в варианте с фосфоритной мукой. При внесении кингисеппского ЧРФ он был на 13,5 % выше, егорьевского и лагапского — соответственно на 6,2 и 11,2 % меньше, чем в варианте с двойным суперфосфатом.

Наряду с увеличением урожая в результате применения фосфорных удобрений, как правило, улучшалось и его качество (табл. 6), что свидетельствует о правильном соотношении азота, фосфора и калия, находящихся в почве и вносимых с удобрениями. Лишь в 1980 г. фосфаты не повлияли на содержание крахмала в клубнях картофеля, но за счет прибавки урожая сбор его был на 2,4—6,4 ц/га выше, чем на азотно-калийном фоне.

В опыте с кингисеппским ЧРФ действие всех фосфатов на качество урожая картофеля и ячменя было практически одинаковым, лишь при выращивании кукурузы преимущество имел двойной суперфосфат. Равноценность действия двойного суперфосфата и продуктов неполного разложения фосфоритов на качество урожая сельскохозяйственных культур отмечалась Ю. М. Безуглой и др. [2].

Егорьевский ЧРФ по сравнению с двойным суперфосфатом оказывал меньшее положительное влияние на качество продукции, что связано, очевидно, с меньшей его усвояемостью. По сбору крахмала и сырого протеина удобрения можно расположить в следующей возрастающей последовательности: фосфоритная мука, егорьевский ЧРФ, двойной суперфосфат.

Одним из критериев агрохимической оценки удобрения являются характер трансформации его в почве и влияние на отдельные элементы почвенного плодородия. Фосфатный режим почв хотя и определяется их генетическим типом, тем не менее применение удобрений оказывает значительное влияние на содержание фосфора и соотношение его форм в почве.

Таблица 6

Изменение содержания крахмала в клубнях картофеля и сырого протеина
в зерне ячменя, кукурузы и в горохово-ячменной смеси (%)
при внесении ЧРФ в дерново-подзолистую почву

Вариант	Кингисеппский ЧРФ			Егорьевский ЧРФ	
	Картофель, 1980	Ячмень, 1981	Кукуруза, 1982	Картофель, 1975, 1977	Горохово-ячменная смесь, 1976, 1978
1	17,6	9,9	7,1	10,7	9,0
2	17,8	10,7	12,1	15,3	10,9
3	17,6	9,8	7,9	13,9	9,4
4	17,6	11,1	8,3	13,4	9,9

Фракционный состав почвенных фосфатов
(числитель — мг/100 г, знаменатель — % к валовому)

Вариант	Ca—P	Al, Fe—P	Ca—P:Al, Fe—P	P _{орг}	P _{ост}	P _{вал}
Дерново-подзолистая почва кингисеппский ЧРФ (полевой опыт)						
1	$\frac{24}{14,3}$	$\frac{56}{33,3}$	1:2,3	$\frac{2}{1,2}$	$\frac{86}{51,2}$	$\frac{168}{100}$
2	$\frac{23}{11,5}$	$\frac{90}{45,0}$	1:3,9	$\frac{12}{6,0}$	$\frac{75}{37,2}$	$\frac{200}{100}$
3	$\frac{30}{17,1}$	$\frac{74}{42,0}$	1:2,5	$\frac{12}{6,8}$	$\frac{60}{34,1}$	$\frac{176}{100}$
4	$\frac{27}{14,7}$	$\frac{80}{43,5}$	1:3,0	$\frac{7}{3,8}$	$\frac{70}{38,0}$	$\frac{184}{100}$
Егорьевский ЧРФ (вегетационный опыт)						
1	$\frac{5}{10,8}$	$\frac{12}{26,2}$	1:2,4	$\frac{4}{8,7}$	$\frac{25}{54,3}$	$\frac{46}{100}$
2	$\frac{6}{8,8}$	$\frac{26}{38,2}$	1:4,3	$\frac{6}{8,8}$	$\frac{30}{44,1}$	$\frac{68}{100}$
3	$\frac{23}{31,5}$	$\frac{15}{20,5}$	1:0,7	$\frac{7}{9,6}$	$\frac{28}{38,4}$	$\frac{73}{100}$
4	$\frac{21}{29,2}$	$\frac{17}{23,6}$	1:0,8	$\frac{11}{15,3}$	$\frac{23}{31,9}$	$\frac{72}{100}$
Лугово-бурая почва, лагапский ЧРФ (вегетационный опыт)						
1	$\frac{12}{7,5}$	$\frac{30}{18,9}$	1:2,5	$\frac{40}{25,0}$	$\frac{77}{48,4}$	$\frac{159}{100}$
2	$\frac{15}{8,2}$	$\frac{52}{28,4}$	1:3,5	$\frac{34}{18,6}$	$\frac{82}{44,8}$	$\frac{183}{100}$
3	$\frac{26}{13,4}$	$\frac{34}{17,5}$	1:1,3	$\frac{39}{20,1}$	$\frac{95}{49,0}$	$\frac{194}{100}$
4	$\frac{41}{20,6}$	$\frac{38}{19,1}$	1:0,9	$\frac{45}{22,6}$	$\frac{75}{37,7}$	$\frac{199}{100}$

В дерново-подзолистой почве более половины всех фосфатов оказались практически недоступны растениям (табл. 7). На долю остаточных фосфатов, не извлекаемых по методу Курмиса, приходилось 51—54 % валовых запасов фосфатов, на долю фосфатов, связанных с органическим веществом и представляющих незначительную ценность для растений, — до 9 %. В лугово-бурой почве обнаружено 73,6 % недоступных растениям фосфатов. В ней содержалось гораздо больше, чем в дерново-подзолистой, органического фосфора и около половины (48,8 %) валовых запасов фосфатов составляли остаточные фосфаты.

Минеральный фосфор в обеих почвах в основном был представлен фосфатами алюминия и железа (70—71 %), которые менее доступны растениям, особенно при «старении», чем фосфаты кальция. В целом неудобренные почвы характеризовались низким уровнем фосфорного питания.

Применение фосфорных удобрений привело к увеличению валового содержания в почве фосфора и прежде всего за счет минеральных фосфатов, среди которых чаще всего преобладали фосфаты полуторных окислов. Характерным было изменение соотношения форм минерального фосфора в зависимости от растворимости фосфорных удобрений. Отношение Ca — P к Al, Fe — P было тем шире, чем лучше растворялись удобрения; это особенно четко проявлялось в опыте с ЧРФ Кингисеппского месторождения. В обеих почвах наибольшее количество алюмо- и железофосфатов образовалось после внесения двойного су-

Изменение некоторых агрохимических показателей дерново-подзолистой почвы под влиянием трехлетнего внесения фосфорных удобрений

Вариант	рН _{сол}	N _T	S	V, %	P ₂ O ₅ , мг/100 г	Степень подвижности фосфатов, мг/л
		мэв/100 г				
1	5,6	2,5	5,7	69,5	4,0	0,04
2	5,3	2,8	6,3	69,2	11,5	0,22
3	5,8	2,7	6,4	70,3	10,0	0,10
4*	5,9	2,5	6,7	72,8	10,4	0,22
Исходная почва	5,6	2,5	6,3	71,6	5,8	0,05

* ЧРФ Кингисеппского месторождения.

перфосфата, тогда как содержание фосфатов кальция резко увеличилось на фоне фосфоритной муки и ЧРФ, при этом отношение Ca — P к Al, Fe — P в вариантах с ЧРФ Егорьевского и Лагаского месторождений было гораздо уже, чем в варианте с кингисеппскими ЧРФ, что объясняется меньшей растворимостью первых.

Независимо от вида фосфорного удобрения в почве в равной мере возросли запасы подвижного фосфора, определяемого в буферной вытяжке по методу Гинзбург — Артамоновой. Этот показатель является одним из основных при оценке плодородия почвы (табл. 8). Степень подвижности фосфатов в вариантах с суперфосфатом и ЧРФ согласно индексам обеспеченности [1] возросла, в исходной почве она была низкой. По рассматриваемым показателям существенно уступала этим удобрениям фосфоритная мука из-за слабой растворимости. Внесение кингисеппского ЧРФ в течение 3 лет практически не привело к изменению кислотности почвы и содержания в ней обменных оснований.

Заключение

Фосфориты Кингисеппского, Егорьевского и Лагаского месторождений можно подвергать частичному (25 % -ному) разложению фосфорной кислотой и использовать в дальнейшем в качестве полноценного фосфорного удобрения.

Доля усвояемого фосфора в ЧРФ может быть доведена до 56—65 % к общему, при этом по своему действию на урожайность культур данное удобрение приближается к двойному суперфосфату.

Частично разложившиеся фосфаты в меньшей степени, чем фосфор суперфосфата, переходят в почве в состав фосфатов алюминия и железа, при этом почва сильнее обогащается фосфатами кальция и ее кислотность не меняется, в результате в почве создается более благоприятный фосфатный режим, чем при внесении фосфоритной муки.

ЛИТЕРАТУРА

1. Агрохимические методы исследования почв. — М.: Наука, 1975. — 2. Безуглая Ю. М., Кожемячко З. В., Рябизина Т. Е. Действие суперфосфата на дерново-подзолистой почве при основном и рядковом внесении. — Агрохимия, 1984, № 10, с. 14—20. — 3. Блисковский В. З., Минеев Д. А. Камни плодородия. — М.: Наука, 1986. — 4. Гырбучев И. Регулирование фосфатного режима в основных почвах Болгарии. — М.: Колос, 1981. — 5. Доспехов Б. А. Методика полевого опыта. — М.: Колос, 1968. — 6. Науменко И. и др. Использование механически активированных фос-

фатов в качестве фосфорных удобрений на почвах Нечерноземной зоны Западной Сибири. — Тез. докл. на IV зональн. науч.-практ. конф. молодых ученых и спец. сельск. хоз-ва. Тюмень, 1978, с. 117—118. — 7. Пермитина Г. В., Кочетков С. П., Зорихина З. А. и др. О растворимости механически активированных природных фосфатов. — Химия в сельск. хоз-ве, 1981, № 3, с. 30—32. — 8. Петербургский А. В. Практикум по агрономической химии. — М.: Колос, 1968. — 9. Сдобникова О. В. Фосфорные удобрения и урожай. — М.: Агропромиздат, 1985. — 10. Янишевский Ф. В., Ко-

ж е м я ч к о В. А., Полякова Г. В.
Эффективность фосфоритов, активирован-
ных механическими методами, на дерново-
подзолистой почве. — Агрохимия, 1985,
№ 9, с. 21—27. — 11. Kurmies В. —

Phosphorsaure, 1975, Bd. 29, N 2/3,
S. 118—151.

Статья поступила 20 июня 1988 г.

SUMMARY

Results of field and greenhouse experiments for studying the effect of partially decomposed phosphorites used as phosphorous fertilizers on the yield of different crops are generalized in the paper.