

УДК 581,133:631.88

## ЭФФЕКТИВНОСТЬ ФОСФАТОВ ПОНИЖЕННОЙ РАСТВОРИМОСТИ В УСЛОВИЯХ ЗАЩИЩЕННОГО ГРУНТА

А. Н. КУЛЮКИН, Н. Е. САМСОНОВА, А. И. КИСЕЛЕВ

(Кафедра агрономической химии МСХА,  
кафедра агрохимии и почвоведения Смоленского СХИ)

**Изучена сравнительная эффективность фосфоритов различного месторождения (Северной Каролины, США и Егорьевске, Россия). Установлено, что суперфосфат благодаря оборудованию фосфорной кислоты способствует разложению фосфорита.**

Важнейшим показателем окультуренности и плодородия почв, от которого зависит направленность продукционного процесса агроценозов, надежность и устойчивость растениеводства, является степень обеспеченности их подвижным фосфатом. В сложившихся условиях постоянного увеличения стоимости энергоресурсов, крайней ограниченности запасов высокосортного фосфатного сырья, резкого снижения производства и применения фосфорных удобрений при наличии огромных площадей пахотных почв, бедных фосфором, возрастает потребность в создании новых фосфорсодержащих удобрений на основе принципов энерго- и ресурсосбережения.

Этому отвечает получение продуктов неполного кислотного разложения фосфоритов и безкислотные методы переработки фосфатного сырья в удобрения, например, получение суперфосфатно-фосфоритных смесей.

Опыты по изучению смесей суперфосфата с фосфоритом начаты по инициативе И. Г. Рождественского около 70 лет назад (1932 г.) и получили развитие в работах [1, 2,

7]. Эта тема не теряет своей актуальности и в настоящее время. Обязательные исследования в этой области проведены в Болгарии [5] с североафриканскими фосфоритами с разным соотношением суперфосфата и фосфоритной муки (80:20, 60:40, 40:60) в гранулированной и порошковой форме.

Нами была проведена агрохимическая оценка смесей на примере суперкаролинфосфата (СКФ), являющегося прессованной смесью 30% каменного фосфата Северной Каролины США (ФСК) и 70% двойного суперфосфата (размер частиц 1-4 мм), в сравнении с Рсд, продуктом неполного разложения фосфорита — суперфосом (Рсф) и егорьевским фосфоритом. Удобрения были предоставлены НИУИФ. Данные о содержании в них фосфора приведены в табл. 1.

В состав фосфатов Северной Каролины входит, %: СаО — 45,8; Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> — 1,3; Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> — 1,3; MgO — 0,8; CO<sub>2</sub> — 3,9; F — 3,6 [10].

### Методика

Эффективность суперкаролинфосфата суперфоса, двойного суперфосфата изучали в условиях отап-

Т а б л и ц а 1

Содержание фосфора в удобрениях (%)

Удобрение	Общий	Усвояемый
Суперфосфат двойной	—	41,7
Суперфос	41,5	31,9
Фос. мука (егорьевская)	21,4	7,2
Фосфаты Северной Каролины	30,8	10,6
Суперкаролинфосфат	37,6	30,1 (18,6/11,5)*

\* 18,6 — лимоннорастворимый, 11,5 — водорастворимый фосфор.

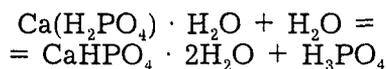
ливаемой остекленной теплицы при выращивании томата Fj Гамаюн ТмСФ. Субстратом служил известкованный до  $pH_{\text{водн.}}$  6,0 верховой торф, содержащий 4,0 мг/л подвижного фосфора. В расчете на 1 растение вносили 12 г азота (аммиачная селитра), 4 — фосфора, 18 — калия (сульфат калия), 1 — магния (сульфат магния) и комплекс микроэлементов. Азотные удобрения вносили при основной заправке грунта и в нескольких (4-5) подкормках, фосфорные — локально: при пикировке рассады в горшочки (1 г) и в лунки перед высадкой ее в грунт (3 г/раст.). Повторность 6-кратная, учетная площадь делянки — 1м<sup>2</sup> (4 растения).

### Результаты и их обсуждение

Экспериментально установлено, что около гранул двойного суперфосфата в почве формируется очень кислая реакция ( $pH$  1,5—3,5), которая обусловлена образованием  $H_3PO_4$  вследствие гидролиза  $Ca(H_2PO_4)_2$ .

При смешивании и гранулировании порошковидных двойного суперфосфата и фосфоритной муки устанавливается тесный контакт между компонентами смеси. Образующаяся при гидролизе  $Ca(H_2PO_4)_2$  фосфорная кислота вызывает разложение фосфорита в гранулах суперфосфатно-фосфоритных смесей, внесенных в почву.

Химически это взаимодействие можно выразить следующими уравнениями:



Для подтверждения предположения о разлагающем воздействии на фосфорит фосфорной кислоты, образующейся при гидролизе дигидрофосфата кальция в суперфосфатно-фосфоритных смесях, было проведено лабораторное исследование кислотности водного раствора СКФ и ФСК при отношении удобрение/вода = 1/2 и 1/6 (табл. 2).

Концентрация ионов водорода, создаваемая суперкаролинфосфатом, была значительно выше, чем фосфатом Северной Каролины. Кислотность растворов уже через сутки взаимодействия в варианте с СКФ

Т а б л и ц а 2

**pH водных растворов фосфатов Северной Каролины и суперкаролинфосфата**  
(лабораторный опыт)

Отношение удобрение/вода	Экспозиция, сут		
	1	2	8

#### Фосфат Северной Каролины

1/2	7,2	7,4	7,7
1/6	7,0	7,3	7,6

#### Суперкаролинфосфат

1/2	2,9	2,8	3,0
1/6	3,0	3,1	3,2

составила 2,9-3,0, а в варианте с ФСК 7,0-7,2 рН (при рН воды 5,7).

Для выяснения размеров образования растворимого фосфора под действием кислотности, создаваемой водным раствором суперфосфата на фосфорит, был проведен лабораторный опыт: навески двойного суперфосфата заливали дистиллированной водой и выдерживали в течение 4 сут. Полученными вытяжками заливали навески ФСК и настаивали 7 сут. Количество суперфосфата и фосфорита соответствовало их соотношению в суперкаролинфосфате. Дополнительно из фосфорита была получена водная вытяжка. Повторность — 3-кратная. Такой же эксперимент был проведен с егорьевским и сожским фосфоритами.

Исследования продемонстрировали образование дополнительных количеств водорастворимого фосфора при обработке фосфоритов водной вытяжкой из двойного суперфосфата с сильнокислой реакцией (табл. 3). В вытяжку вышло дополнительно 17%  $P_2O_5$  из ФСК и по 11% из егорьевского и сожского фосфоритов, при практическом отсутствии водорастворимого фосфора. При этом значение рН раствора несколько повысилось, но по-прежнему реакция осталась сильнокислой.

Т а б л и ц а 3

**Влияние водной вытяжки из двойного суперфосфата на растворимость фосфорита (лабораторный опыт)**

Вариант	рН	$P_2O_5$ , г/л
Рсд + $H_2O$	2,5	132
Рсд + $H_2O$ + ФСК	2,7	155
Рсд + $H_2O$ + Рф егор	2,7	146
Рсд + $H_2O$ + Рф сож	3,1	148
ФСК + $H_2O$	7,4	0,05
Рф егор + $H_2O$	7,6	0,06
Рф сож + $H_2O$	9,3	0,07
НСР <sub>05</sub>	0,04	5,6

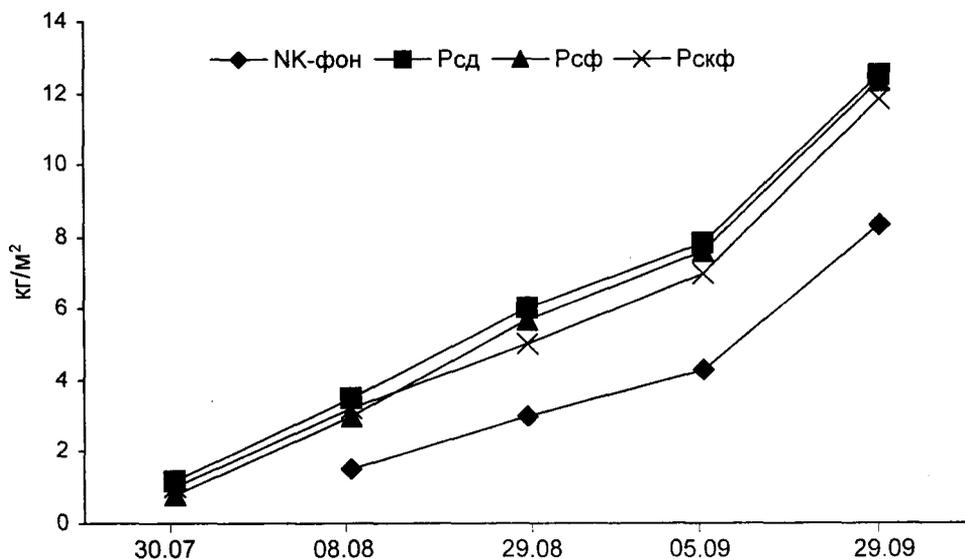
Приведенные данные подтверждают предположение о взаимодействии между компонентами суперфосфатно-фосфоритных смесей, приводящем к повышению растворимости фосфорита. Это же взаимодействие, по-видимому, имеет место и в продуктах неполного кислотного разложения фосфоритов с комплексом фосфатов кальция разной растворимости.

Испытание суперкаролинфосфата в сравнении с двойным суперфосфатом и суперфосом в условиях защищенного грунта при выращивании томата  $F_1$  Гамаюн ТмСФ показало их равноценность и высокую эффективность. Фосфорные удобрения значительно ускорили созревание плодов томата, обеспечив 43-51% прибавку урожая к НКМg-фону (рисунок, табл. 4).

По отношению к варианту с суперфосфатом урожай плодов при внесении Рскф и Рсф составил соответственно 95 и 98%, несмотря на то, что доля усвояемых фосфатов в них была гораздо ниже, чем при Рсд (соответственно 50 и 77% от общего). По коэффициенту использования фосфора удобрения располагались в следующем порядке: Рсд > Рсф > Рскф.

В исследованиях [3, 6, 8, 9], проведенных в полевых условиях, вынос  $P_2O_5$  урожаем в вариантах с суперфосфатом в среднем составил 96% от Рсд. Что касается СКФ, то в литературе есть сведения об отсутствии его эффективности при внесении под картофель на фоне 40 т/га навоза и  $N_{90}K_{120}$  в течение 1991 — 1993 гг., различавшихся по гидро-термическим условиям, и равноценности суперфосфату (98% к Рсд) при внесении под ячмень на НК-фоне.

Внесение фосфорных удобрений способствовало улучшению качества продукции: общая кислотность



Динамика поступления урожая томата нарастающим итогом, кг/м<sup>2</sup>

Т а б л и ц а 4

Эффективность фосфорных удобрений пониженной растворимости в защищенном грунте при выращивании томата F, Гамаюн TmCF (среднее за 2 года)

Вариант	Урожайность, кг/м <sup>2</sup>	Доля участия фосфора в урожае, %	КИУ, %	Качество плодов								
				сухое вещество, %	сахар, %	вита-мин С, мг%	общая кислотность, %	сахаро-кислотный коэффициент	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> , мг/кг			
									начало плодоношения	мас-совый сбор	конец плодоношения	
НКМg-фон	8,3	—	—	3,9	2,0	12	0,40	5,0	—	112	63	
По фону:												
Ред	12,5	33,6	22,6	4,2	2,1	13	0,36	5,5	50	34	13	
Рсф	12,3	32,5	20,8	4,0	2,3	14	0,23	10,0	64	49	18	
Рскф	11,9	30,3	18,3	4,6	2,3	13	0,28	8,2	60	47	12	
НСР <sub>05</sub>	1,7											

снизилась, сахаро-кислотный коэффициент увеличился, особенно при внесении суперфоса и суперкарбонилфосфата, содержание витамина С осталось на уровне фона, а концентрация нитратов заметно уменьшилась (в период массового сбора плодов в 2,3-3,3 раза при фо-

новом 112 мг/кг) и была в 6-9 раз ниже МДУ.

Опасны не сами нитраты, а нитриты и нитрозоамины, образующиеся в животном организме. Специалисты по питанию считают, что если даже две части аскорбиновой кислоты приходится на одну часть

нитратов, то реакция нитрозиования крайне затруднена.

В наших исследованиях это соотношение при внесении фосфатов было 2,7-3,8, что является экологически выдержанным, тогда как без их внесения — всего лишь 1,1.

### Заключение

Приведенные результаты исследований свидетельствуют о высокой эффективности суперфосфатно-фосфоритной смеси в условиях защищенного грунта.

При доле водорастворимого фосфора в структуре общего почти в 2 раза меньше, чем двойного суперфосфата, и в 1,5 раза — чем суперфоса, по действию на урожай и качество продукции он не уступал последним, что подтверждает целесообразность получения фосфорных удобрений пониженной растворимости на основе неполного кислотного разложения фосфорита или смешивания его с суперфосфатом. Между компонентами суперфосфатно-фосфоритных смесей (а значит, и в гранулах суперфоса) происходит взаимодействие, приводящее к растворению фосфорита (или его остатка в суперфосе).

Выбор технологии, по-видимому, должен определяться техническими возможностями и особенностями фосфатного сырья.

### ЛИТЕРАТУРА

1. *Алямовский Н. И., Буткевич В. В.* Повышение эффективности фосфоритной муки путем примешивания к ней суперфосфата. — *Хим. соц. земл.*, 1938, № 5, с. 48-55. — 2. *Баранов П. А.* Удоб-

рительная смесь из суперфосфата и фосфоритной муки — *Бюлл. ВАСХНИЛ*, 1936, №9, с. 23-24. — 3. *Безуглая Ю. М., Кожемячко З. В., Рябизина Т. Е.* Действие суперфоса на дерново-подзолистой почве при основном и рядковом внесении. — *Агрохимия*. — 1984, № 10, с. 14-20. — 4. *Вильдфлуш И. Р., Лапа В. В., Куруленко В. М.* Агрохимическая оценка новых форм фосфорсодержащих удобрений на дерново-подзолистых почвах Белоруссии. — *Агрохимия*, 1996, № 5, с. 43-49. — 5. *Гырбучев И.* Регулирование фосфатного режима в основных почвах Болгарии. М.: Колос, 1981. — 6. *Каликинский А. А., Вильдфлуш И. Р., Куруленко В. М., Шекинова З. Ф.* Эффективность суперфоса в севообороте на дерново-подзолистой легкосуглинистой почве северо-востока Белоруссии. — *Агрохимия*, 1987, № 11, с. 33-37. — 7. *Плесьвичюс К. И.* Действие смеси суперфосфата и фосфоритной муки на пахотных полях. — *Инф. бюлл. Лит НИИЗа*, 1971, № 26, с. 148-152. — 8. *Сидорина Л. В., Останин А. И., Подколзина Г. В. и др.* Агрохимическая эффективность нового фосфорного удобрения — суперфоса. *Сообщ. 1. Результаты исследований на дерново-подзолистых почвах.* — *Агрохимия*, 1983, № 10, с. 50-56. — 9. *Останин А. И., Крищенко Е. Ф., Янишевский П. Ф., Кузнецов А. А.* Эффективность суперфосов, полученных на основе отечественных и зарубежных фосфоритов при разном уровне разложения. — *Агрохимия*, 1990, № 11, с. 83-92. — 10. *Янишевский П. В.* Реакции с водой фосфатов кальция разной степени замещения в гранулах фосфорных удобрений. — *Агрохимия*, 1993, № 5, с. 18-21.

*Статья поступила  
3 октября 2004 г.*

### SUMMARY

Effectiveness of phosphates from different deposits (North Carolina, the USA, and Egoryevsk, Russia) was examined. It's established that superphosphate due to generation of phosphoric acid favours decomposition of phosphorite.