

## ФОСФОРНОЕ УДОБРЕНИЕ ПРОЛОНГИРОВАННОГО ДЕЙСТВИЯ НА ОСНОВЕ ОТХОДА САХАРНЫХ ЗАВОДОВ

*И.П. Юхин, д.с.-х.н., Башкирский ГАУ, Т.В. Шарипов, к.т.н., Башкирский ГУ*

*Представлены результаты научных исследований по разработке и оценка агрохимической эффективности фосфорного удобрения пролонгированного действия на основе дефеката отхода сахарных заводов. Показана эффективность нового удобрения на посевах сахарной свеклы.*

*Ключевые слова: удобрение, дефекат, фосфор, сахарная свекла, урожайность, сахаристость.*

Фосфор - один из важнейших элементов питания растений, они потребляют его главным образом в виде анионов из солей ортофосфорной кислоты  $H_3PO_4$ , а также из солей полифосфорных кислот (после их гидролиза). Больше всего фосфора в репродуктивных и молодых растущих органах растений, где идет интенсивный синтез органического вещества. Растения наиболее чувствительны к недостатку фосфора в самом раннем возрасте, когда их слабо развитая корневая система обладает низкой способностью к усвоению. Поэтому в начале вегетации обеспечение растений фосфором исключительно важно для их роста, развития и формирования будущего урожая [1].

Основным источником фосфора для растений служит почва. Компонентный состав почвенных фосфатов, их режим и доступность растениям обуславливают уровень продуктивности сельскохозяйственных культур. Запасы и формы этого элемента зависят от почвообразующей породы, степени ее выветривания и содержания в почве органического вещества. Основные фосфорсодержащие соединения в материнских породах большинства почв представлены группой апатитовых минералов. В процессе выветривания и почвообразования под влиянием растений, а также микроорганизмов фосфор первичных минералов включается в биологический круговорот, образуя новые соединения.

В условиях Республики Башкортостан запасы фосфора составляют в слое 0-50 см от 8,4 т/га в светло-серых лесных пахотных почвах до 10,9 т/га в черноземах типичных карбонатных [2].

Эффективность фосфорных удобрений во многом определяется агрохимическими свойствами почв, в первую очередь содержанием подвижного фосфора и реакцией почвенной среды. Степень обеспечения почв подвижным фосфором по зонам Башкортостана относится к третьему и четвертому классам средней и низкой обеспеченности (по Чирикову) и составляет 21-50 мг/кг [3]. Источником пополнения содержания фосфора в почве является внесение фосфорсодержащих удобрений: простого или двойного суперфосфата, аммофоса, диаммонийфосфата, а также сложных NPK - удобрений.

Производство фосфорных удобрений основано на взаимодействии фосфатного сырья с серной (простой суперфосфат) [4] и фосфорной (двойной суперфосфат) кислотами [5]. Однако, простой суперфосфат характеризуется низким содержанием фосфора и значительным присутствием вредной примеси, такой как фтор. Двойной суперфосфат, при высоком содержании фосфора, отличается повышенным содержанием свободной кислоты (не более 7%). Фосфор в суперфосфатах находится в виде монокальцийфосфата  $Ca(H_2PO_4)_2$  и свободной фосфорной кислоты, в связи с этим суперфосфаты не обладают пролонгированным действием.

Известен способ получения фосфорного удобрения, аналога двойного суперфосфата, путем смешения бедного фосфатного сырья с фосфорной кислотой, либо ее смесью с серной кислотой и ретуром, грануляции продукта и последующего дозревания и сушки продукта. Фосфорное сырье предварительно увлажняют до влажности 6-9%, далее смешивают с

кислотой до получения в пульпе соотношения монофосфат кальция : дифосфат кальция, равного 1-4, а затем добавляют ретур в количестве, необходимом для достижения влажности смеси 7-11%. На стадии смешения в реакционную массу вводят микроэлементы. Этот способ позволяет получить удобрения пролонгированного действия с повышенной прочностью гранул и определенным соотношением лимонно- и водорастворимого фосфатов [6]. Основными недостатками технологии являются малое содержание дикальцийфосфата в продукте, т.е. последний обладает пониженным пролонгирующим действием, а также присутствие свободной фосфорной кислоты в готовом продукте (от 1 до 7%). Избыток кислоты необходим для достижения требуемой степени разложения фосфатного сырья. Как правило, в продукте с высоким количеством водорастворимых фосфатов, содержание свободной кислот больше. А при получении продукта пролонгированного действия, степень разложения сырья резко снижается. Наличие свободной кислоты ухудшает физико-химические свойства продукта, агрохимическую эффективность удобрения.

Процесс производства фосфорного удобрения пролонгированного действия - удобрительного преципитата - включает: смешение фосфорной кислоты концентрации 48-50%  $P_2O_5$  с кальцийсодержащим реагентом и ретуром в смесителе, грануляцию и дозревание смеси, сушку до достижения остаточной влажности 1-3% и классификацию продукта [7, 8]. В качестве кальцийсодержащего реагента используют предварительно измельченный известняк или мел. Фосфорную кислоту перед смешением нагревают до температуры 80-85°C, массовое соотношение (м.с.)  $CaO : P_2O_5$  составляет 0,7-0,8. Способ позволяет получить фосфорное удобрение - удобрительный преципитат, содержащий 45,7% общих фосфатов в пересчете на  $P_2O_5$ , в том числе 45%  $P_2O_5$  являются лимоннорастворимыми. Недостатки способа - присутствие свободной кислоты в продукте, а также невозможность регулирования степени пролонгированности получаемого продукта из-за недостаточной химической активности кальцийсодержащего сырья.

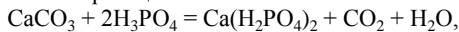
Цель наших исследований - создание технологии получения фосфорного удобрения пролонгированного действия с возможностью регулирования содержания лимонно- и водорастворимого фосфатов и их соотношения, продукта с минимальным содержанием свободной кислоты (не более 1,0 %).

Для выполнения поставленной задачи предлагался способ получения фосфорного удобрения, включающий смешение нагретой до 75-85°C фосфорной кислоты концентрацией 48-50%  $P_2O_5$  с дефекатом с влажностью 4-15%, и ретуром в смесителе, грануляцию и дозревание смеси, сушку до остаточной влажности 1-3% и классификацию продукта. В смеситель вводят абсорбционные растворы для поддержания массового соотношения расхода абсорбционного раствора к дефекату 0,15-0,30, а смешение реагентов проводят до массового соотношения  $CaO : P_2O_5$  в смеси (0,45-0,88):1 [9].

Дефекат - побочный продукт свеклосахарного производства, образующийся при очистке свекловичного сока [10]. Выход дефеката составляет около 10% от массы перерабатываемой свеклы, запасы дефеката исчисляются миллионами тонн. В состав дефеката входят следующие вещества (масс.%):  $P_2O_5$  - 0,5-1,7, сахар - до 2, пектиновые вещества - 1,0-1,7, безазотистые органические вещества до 9,5, азотистые органические вещества - до 5,9, магний - 1-2,4, минеральные элементы (B, S, Mn, Co и др.) - до 1,2, углекислый кальций

(CaCO<sub>3</sub>) - 55-60, влага - 5-20%. Дефекат обладает значительной нейтрализующей химической активностью и имеет мелкие частицы, не требующие дополнительного размалывания. Благодаря наличию в его составе ценных микроэлементов, таких как бор, марганец, кобальт, а также гуминовых органических веществ, фосфора и азота, дефекат является эффективным кальцийсодержащим реагентом и превосходит извешняковые виды природного сырья.

Сущность предлагаемой нами технологии получения фосфорного удобрения пролонгированного действия заключается в следующем. При смешении дефеката и фосфорной кислоты протекают реакции:



Основными компонентами фосфорного удобрения, получаемого смешением дефеката и фосфорной кислоты, являются водорастворимый пролонгированный фосфат (МКФ) - Ca(H<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>)<sub>2</sub> и лимонно-растворимый дикальцийфосфат (ДКФ) CaHPO<sub>4</sub>. Фосфорное удобрение, содержащее лимонно-растворимый ДКФ обладает пролонгированным действием. Технология производства фосфорного удобрения направлена на создание условий возможности регулирования содержания фосфатов в лимонно- и водорастворимой формах в продукте при достижении максимального взаимодействия фосфорной кислоты и дефеката (углекислого кальция CaCO<sub>3</sub> в составе дефеката) с получением удобрения с минимальным содержанием свободной кислоты (менее 1,0%).

Благодаря высокой нейтрализующей активности дефеката, при достижении массового соотношения (м.с.) CaO : P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> в смеси 0,45 : 1 протекает реакция нейтрализации фосфорной кислоты с образованием в основном МКФ. При уменьшении расхода дефеката ниже м. с. CaO : P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, чем 0,45 : 1, получаемое удобрение слеживается из-за присутствия свободной фосфорной кислоты, а также продукт имеет низкую степень пролонгированности. При увеличении расхода дефеката выше м. с. CaO : P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, чем 0,88:1, гранулы продукта имеют низкую прочность. Изменяя расходы исходных реагентов: дефеката и фосфорной кислоты в пределах м.с. CaO : P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> в реакционной смеси (0,45-0,88):1 регулируются содержание МКФ, ДКФ и их соотношение в готовом продукте. В составе лимонно-растворимой формы фосфатов (P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>лим.), извлекаемой водным раствором лимонной кислоты по ГОСТ 20851.2-75, содержится также водорастворимая форма фосфатов (P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>вод.). В связи с этим величина соотношения  $G = (P_{2O_{5\text{общ}}} - P_{2O_{5\text{вод}}}) / P_{2O_{5\text{общ}}}$  более точно отражает степень пролонгированности фосфорного удобрения.

Поддержание влажности исходного дефеката в пределах 4-15% обеспечивает оптимальные условия смешения реагентов и ведения процесса с получением подвижной реакционной массы и достижением высокой степени разложения карбоната кальция. При увеличении влажности дефеката выше 15% затрудняются транспортировка и дозировка дефеката, нарушается процесс гранулообразования ввиду повышенного содержания влаги в реакционной массе. При снижении влажности ниже 4% реакционная масса недостаточно подвижна, ухудшаются условия смешения исходных реагентов, снижается степень разложения карбоната кальция.

Поддержание соотношения расхода абсорбционного раствора и дефеката в пределах 0,15-0,30 также создает оптимальные условия смешения реагентов и гранулообразования, достижения необходимой степени разложения карбоната кальция и минимизации свободной кислоты в готовом продукте. Возврат абсорбционной жидкости, содержащей пыль продукта, обеспечивает бессточность технологического процесса производства фосфорного удобрения, уменьшает потери продукта, расходные нормы сырья.

Путем изменения соотношения расхода фосфорной кислоты и дефеката можно регулировать соотношение G в продукте от 0,25 до 0,9.

Для наработки опытной партии фосфорного удобрения использовали дефекат отхода Мелеузовского сахарного завода, содержащий 57% CaCO<sub>3</sub>, с размером частиц менее 1 мм,

влажностью 12% и экстракционную фосфорную кислоту концентрацией 50% P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, полученную сернокислотной экстракцией апатитового концентрата. При продолжительности смешения реагентов в смесителе 3 мин, дозревания 30 мин и сушке при температуре 105°C был получен продукт следующего состава (%): P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>общ. - 40,2, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>св. - 40,1, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>лим. - 39,2, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>вод. - 30,8, влаги - 2, свободная кислотность 1,0; м. с. CaO : P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> - 0,45:1, соотношение G = 0,23, размеры гранул 1-4 мм.

Для определения эффективности созданного фосфорного удобрения проведены полевые агрохимические опыты на посевах сахарной свеклы в ООО «Артемид» Кармаскалинского района Республики Башкортостан в 2010-2012 гг. в соответствии с методикой полевого опыта [11]. Почва - чернозем выщелоченный тяжелоглинистый с содержанием гумуса 8% в пахотном (0-30 см) слое почвы, азота общего 0,44%, фосфора валового 0,16%, фосфора подвижного 100 мг/кг почвы, калия обменного 192 мг/кг почвы, кислотности (pH<sub>KCl</sub>) - 6,1, гидролитической кислотности 4,5 мг-экв/100 г почвы [12, 13]. Сахарная свекла размещалась в специализированном зернопаропропашном севообороте (1-пар чистый; 2- озимая пшеница; 3- сахарная свекла; 4- яровая пшеница; 5- ячмень [14, 15]. Площадь учетной делянки 100 м<sup>2</sup>, повторность опыта - трехкратная. Основная обработка почвы заключалась в лущении стерни на глубину 6-8 см дисковым лущильником ЛДГ-10 и вспашке почвы оборотным плугом «ЕврОпал» на глубину 28-30 см в конце августа. Перед вспашкой почвы вносили минеральные удобрения. Весной проводили закрытие влаги путем боронования почвы тяжелыми боронами БЗТС-1,0 в два следа [12]. Предпосевную культивацию и посев сахарной свеклы выполняли в один день при достижении температуры почвы в посевном слое 5-7°C. Предпосевную обработку осуществляли культиватором «Компактор» на глубину 4-5 см. Посев семян свеклы гибрида Геракл проводили на глубину 3-4 см с нормой высева 5 клубочков на 1 м рядка сеялкой «Моносем». При появлении первой пары настоящих листьев свеклы посеы обрабатывали смесью гербицидов Бетанал Прогресс ОФ (1,1 л/га) + Карибу (30 г/га). Через 15 дней после этого проводили вторую химическую прополку посевов баковой смесью гербицидов: Бетанал Прогресс ОФ (1,1 л/га) + Лонтрел - 300 (0,4 л/га) + Фуроре Супер (1,5 л/га).

В период вегетации осуществляли два рыхления почвы в фазе смыкания листьев свеклы: в рядах на глубину 6-8 см и в междурядьях на глубину 8-10 см. Уборку урожая с опытных делянок проводили вручную. Сахаристость корнеплодов определяли методом холодной водной дигестии с использованием сахариметра СУ-3.

Состав нового фосфорного удобрения (%): P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>общ. - 33,7, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>св. - 33,6, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>лим. - 33,5, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>вод. 13,5, влаги 2; свободная кислота отсутствует, м.с. CaO : P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 0,67:1, соотношение G = 0,60. В качестве сравнительного образца удобрения применяли двойной суперфосфат гранулированный по ГОСТ 16306-80, содержащий 48,5% P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>св., 5% свободной кислоты и 3% влаги. Дозу удобрений P<sub>120</sub> в опыте брали в соответствии с рекомендациями по возделыванию сахарной свеклы в Башкортостане [16]. Результаты полевых опытов представлены в таблице.

**Влияние нового фосфорного удобрения на продуктивность сахарной свеклы**

Вариант опыта	2010 г.	2011 г.	2012 г.	Среднее за 3 года		
				урожайность, т/га	сахаристость, %	сбор сахара, т/га
Контроль (без удобрения)	20,0/ 17,1	23,1/ 16,0	23,0/ 17,2	22,3	16,7	3,72
Суперфосфат двойной	22,6/ 17,2	24,9/ 16,1	23,9/ 17,3	23,8	16,8	3,99
Фосфорное удобрение НР <sub>05</sub>	23,4/ 17,2	25,7/ 16,2	25,3/ 17,4	24,8	16,9	4,19
	1,1/ 0,03	1,0/ 0,01	1,1/ 0,04			

Примечание. В числителе урожайность, т/га, в знаменателе - сахаристость корнеплодов, %.

В годы проведения опытов наблюдалось недостаточное увлажнение почвы. В 2010 г. за вегетационный период выпало 200 мм осадков, в 2011 г. - 212, в 2012 г. - 214 мм, при средней многолетней норме 220 мм. Относительно невысокие урожаи сахарной свеклы за указанный период испытаний обусловлены недостатком влаги. По результатам многолетних исследований [12, 14, 15] установлена зависимость величины урожая сахарной свеклы от содержания влаги в метровом слое почвы. Коэффициент корреляции составляет 0,78.

В среднем за три года исследований наибольшая урожайность (24,8 т/га) получена в вариантах с внесением двойного суперфосфата и нового фосфорного удобрения, что на 2,5 т/га выше по сравнению с контролем (22,3 т/га). Фосфорное удобрение на основе дефеката не имело существенного преимущества по урожайности корнеплодов сахарной свеклы в сравнении с двойным суперфосфатом, хотя наблюдалась тенденция к повышению урожайности и сахаристости корнеплодов. Сахаристость корнеплодов в среднем за три года также была наибольшей (16,9%) там, где вносили новое фосфорное удобрение. Сбор сахара при внесении данного удобрения составил в среднем за три года 4,19 т/га, что на 0,47 т/га больше, чем на контроле и на 0,20 т/га выше в сравнении с применением двойного суперфосфата. Таким образом, применение нового фосфорного удобрения обеспечило повышение продуктивности сахарной свеклы в сравнении с контролем (без удобрений), однако существенной прибавки урожая в сравнении с двойным суперфосфатом не получено.

**Выводы.** 1. Фосфорное удобрение пролонгированного действия, получаемое на основе дефеката отхода сахарных заводов, обеспечивает повышение урожайности корнеплодов сахарной свеклы на 2,5 т/га, сбора сахара на 0,47 т/га по сравнению с контролем (без внесения удобрений).

2. Новое фосфорное удобрение по своей агрохимической эффективности на посевах сахарной свеклы было на уровне применения двойного суперфосфата, наблюдалась тенденция к повышению сахаристости корнеплодов.

3. Использование дефеката при производстве фосфорного удобрения позволяет получить равноценное с двойным суперфосфатом удобрение, обеспечить утилизацию отходов сахарных заводов, что имеет важное хозяйственное и экологическое значение.

#### *Литература*

1. Смирнов, П.М. Агрохимия / П.М. Смирнов, Э.А. Муравин. - М.: Колос, 1984. - 29 с.
2. Кольцова, Г.А. Фосфорное состояние почв Башкортостана / Г.А. Кольцова, Ф.Х. Хазиев, И.М. Габбасова. - Уфа: Гилем, 2001. - 214 с.
3. Середина, Н.А. Справочник по удобрениям / Н.А. Середина. - Уфа: Полиграф, 2013. - 144 с.
4. Чепелевецкий, М.Л. Суперфосфат. Физико-химические основы производства / М.Л. Чепелевецкий, Е.Б. Бруцкус. - М.: Госхимиздат, 1958. - 272 с.
5. Артюшин, А.М. Краткий справочник по удобрениям / А.М. Артюшин, Л.М. Державин. - М.: Колос, 1984. - 208 с.
6. Способ получения фосфорного удобрения: пат. 2142927 Рос. Федерация: МПК C05B3/00, C05B11/00, C05B1/02 / Альмухаметов И.А., Ангелов А.И., Габдуллина Ф.Г. и др.; - № 99106461/12; заявл. 08.04.1999; опубл. 20.12.1999, Бюл. № 35. - 4 с.
7. Технология фосфорных и комплексных удобрений / Под ред. С.Д. Эвенчика, А.А. Бродского. - М.: Химия, 1987. - 464 с.
8. Способ получения дикальцийфосфата: пат. 2461517 Рос. Федерация: МПК C01B25/32, C05B3/00 / Шарипов Т.В., Мустафин А.Г.; - № 2010154807/05; заявл. 30.12.2010; опубл. 20.09.2012. БИ № 26. - 4 с.
9. Способ получения фосфорного удобрения: пат. 020435 Евразийское патентное ведомство: МПК C05B11/10, C05D3/00 / Шарипов Т.В., Мустафин А.Г., Юхин И.П., Середина Н.А.; - № 201200730; заявл. 06.09.2012; опубл. 28.11.2014. - 4 с.
10. Конкин, В.Г. Дефекат для химической мелиорации почв / В.Г. Конкин // Химизация сельского хозяйства. - 1989. - № 1. - С. 25-26.
11. Доспехов Б.А. Методика полевого опыта / Б.А. Доспехов. - М.: Колос, 1985. - 351 с.
12. Юхин, И.П. Сахарная свекла в Башкортостане / И.П. Юхин. - Уфа: Мир печати, 2000. - 149 с.
13. Зубенко, В.Ф. Сахарная свекла. Основы агротехники / В.Ф. Зубенко. - Киев: Урожай, 1979. - 444 с.
14. Юхин, И.П. Научные основы технологии возделывания сахарной свеклы на Южном Урале / И.П. Юхин. - Уфа: Мир Печати, 2010. - 148 с.
15. Юхин, И.П. Свекловичные севообороты на Южном Урале / И.П. Юхин. - Уфа: Мир печати, 2007. - 74 с.

## **SLOW-RELEASE PHOSPHATE FERTILIZERS FROM WASTE OF SUGAR PRODUCTION**

*I.P. Yukhin<sup>1</sup>, T.V. Sharipov<sup>2</sup>*

<sup>1</sup>*Bashkir State Agrarian University, ul. 50-letiya Oktyabrya, Ufa, 450001 Bashkortostan Republic, Russia*

<sup>2</sup>*Bashkir State University, ul. Zaki Validi 32, Ufa, 450076 Bashkortostan Republic, Russia*

*E-mail: tag1957@mail.ru*

*Results of research on the development and agrochemical efficiency of slow-release phosphorus fertilizer from waste of sugar production are presented. The efficiency of a new fertilizer on sugar beet plantations is shown.*

*Keywords: fertilizer, prolonged action, defecate, phosphorus, sugar beet (Beta vulgaris L.), crop yield, sugar content*