

УДК 631.815.2:631.445.24

## ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ СЛОЖНЫХ ГРАНУЛИРОВАННЫХ PKS-УДОБРЕНИЙ НА ДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТОЙ СУПЕСЧАНОЙ И ТЯЖЕЛОСУГЛИНИСТОЙ ПОЧВЕ

© 2019 г. И. М. Кочетова<sup>1</sup>, А. М. Норов<sup>1</sup>, В. В. Соколов<sup>1,\*</sup>,  
П. С. Федотов<sup>1</sup>, В. М. Лапушкин<sup>2</sup>, С. П. Торшин<sup>2,\*\*</sup>, В. В. Кидин<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Научно-исследовательский институт по удобрениям и инсектофунгицидам им. Я.В. Самойлова  
162622 Череповец, Вологодская обл., Северное шоссе, 75, Россия

<sup>2</sup> Российский государственный аграрный университет—МСХА им. К.А. Тимирязева  
127550 Москва, ул. Тимирязевская, 49, Россия

\*E-mail: [bbc1953@mail.ru](mailto:bbc1953@mail.ru)

\*\*E-mail: [sptorshin@rambler.ru](mailto:sptorshin@rambler.ru)

Поступила в редакцию 15.07.2019 г.

После доработки 27.07.2019 г.

Принята к публикации 10.09.2019 г.

В серии вегетационных опытов на дерново-подзолистой почве супесчаного и тяжелосуглинистого гранулометрического состава изучили влияние PKS-удобрений как в прямом действии, так и в последствии на урожай сельскохозяйственных культур. В первый год изучали прямое действие PKS-удобрений на урожай ярового ячменя и ярового рапса, во второй год — последствие на урожай гороха и райграса. Был учтен урожай основной и побочной продукции, проведен химический анализ растительных образцов, определены величины выноса элементов питания урожаем сельскохозяйственных культур и коэффициенты использования фосфора растениями. Результаты исследования подтвердили высокую эффективность исследованных PKS-удобрений и их пролонгированное действие, которое было обусловлено особенностью микроструктуры гранул.

*Ключевые слова:* фосфорсодержащие сложные удобрения, удобрения пролонгированного действия, вегетационный опыт, дерново-подзолистая почва, тяжелый суглинок, супесь, яровой ячмень, яровой рапс, горох, райграс.

DOI: 10.1134/S0002188119120056

### ВВЕДЕНИЕ

Оптимальное соотношение основных элементов питания растений — азота, фосфора и калия — в применяемых удобрениях в первую очередь определяется агрохимическими свойствами почвы, выращиваемыми сельскохозяйственными культурами, используемыми агротехническими приемами и методами, климатическими условиями. Для культур, выращиваемых на территории Российской Федерации, оптимальным является соотношение 1.0 : 0.9 : 0.7 в пересчете на N, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> и K<sub>2</sub>O [1, 2]. До 1990 г. это соотношение было близким к научно обоснованному, однако затем в результате произошедших экономических преобразований, одновременно с резким сокращением объемов внесения удобрений оно изменилось в сторону увеличения доли азота. К 2000 г. доля фосфора и калия в потребляемых в РФ удобрениях достигла минимума (соотношение основных

питательных элементов составило 1.0 : 0.2 : 0.2) и в последующие годы практически не изменилось [3–5].

В результате сложившегося отрицательного баланса элементов назрела необходимость восполнения дефицита фосфора и калия для сохранения плодородия почв. Одним из инструментов для покрытия указанного дефицита могут выступать фосфорно-калийные удобрения, однако большинство известных способов их производства либо экономически не эффективно, либо не позволяет получать продукт, удовлетворяющий требованиям потребителей по качеству. В зарубежных странах фосфорно-калийные удобрения в основном получают путем сухого смешения готовых гранулированных простых фосфорных и калийных удобрений [6], при этом смешанные удобрения обладают рядом существенных недостатков, связанных с сегрегацией компонентов и различным химическим составом отдельных гра-



Рис. 1. Гранулы PKS-удобрения марки 0-20-20(5S).

нул, что приводит к неравномерному распределению питательных веществ при их внесении в почву [5]. В связи с этим в АО «НИУИФ» была разработана гибкая технология производства сложных гранулированных PKS- и NPKS-удобрений на основе фосфатов кальция и аммония с использованием аппарата, совмещающего стадии гранулирования и сушки – барабанного гранулятора-сушилки (БГС). Процесс получения PKS-удобрений заключается в нейтрализации экстракционной фосфорной кислоты (ЭФК) или ее смеси с серной кислотой карбонатом кальция с последующим введением в полученную нейтрализованную пульпу хлористого калия. Серная кислота может быть заменена на сульфат кальция из гипса

или полупродукта производства ЭФК – пульпы ЭФК без отделения фосфогипса. Для получения NPKS-удобрений в нейтрализованную пульпу помимо хлористого калия вводят сульфат аммония или NP-удобрения. Технология защищена 3-мя патентами РФ [7–9] и реализована в Волховском филиале АО «Апатит» (г. Волхов).

Согласно результатам анализов промышленных образцов, PKS- и NPKS-удобрения обладают хорошими физико-механическими свойствами и представляют собой сферичные, прочные (статическая прочность не ниже 5–6 МПа) и однородные по гранулометрическому и химическому составу гранулы (рис. 1, 2), имеющие низкую пыльность и склонность к слеживанию. Содержание фосфора в усвояемой форме составляет не менее 95% от общего содержания.

Для оценки агрохимической эффективности PKS-удобрений в течение 2-х лет была проведена серия вегетационных опытов с использованием промышленных образцов удобрений. Опыты проводили по общепринятой методике [10] в четырехкратной повторности в сосудах Митчерлиха, вмещающих по 5 кг сухой почвы, в вегетационном домике при кафедре агрономической, биологической химии и радиологии РГАУ–МСХА. В опытах использовали дерново-подзолистую почву тяжелосуглинистого и супесчаного гранулометрического состава с содержанием подвижного фосфора на уровне II и III группы обеспеченности, обменного калия – на уровне II и I группы. Поскольку исходная почва характеризовалась сильнокислой реакцией среды, перед закладкой опытов она была известкована жженой известью (CaO), дозу которой рассчитывали по величине

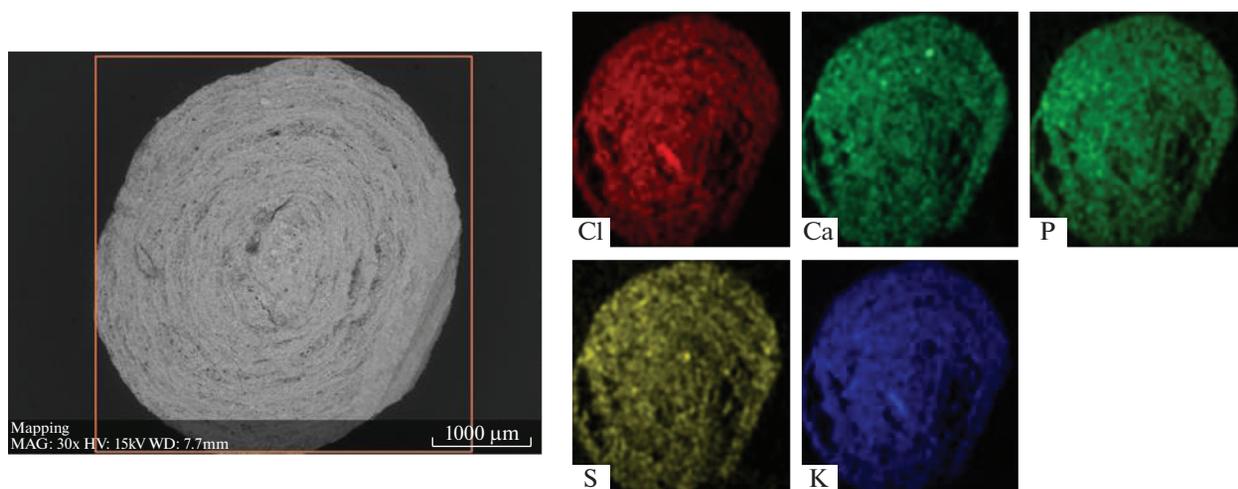


Рис. 2. Микрофотография скола гранулы PKS-удобрения марки 0-20-20(5S) и распределение различных химических элементов по поверхности скола.

**Таблица 1.** Схема опыта и дозы внесенных удобрений, г/сосуд (5 кг почвы)

№ п/п	Вариант	NH <sub>4</sub> NO <sub>3</sub>	PKS-удобрение 0-20-20(5S)	Ca(H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> · H <sub>2</sub> O	KCl	CaSO <sub>4</sub> · 2H <sub>2</sub> O
1	N + P + K + S	1.30	—	1.00	0.75	0.60
2	N + PKS (фракция 2 мм)	1.30	2.25	—	—	—
3	N + PKS (фракция 4 мм)	1.30	—	—	—	—
4	N + K + S (контроль)	1.30	—	—	0.75	0.60

**Таблица 2.** Влияние прямого действия PKS-удобрения марки 0-20-20(5S) на урожай ячменя и рапса на тяжело-суглинистой и супесчаной почвах

№	Вариант	Яровой рапс						Яровой ячмень					
		зерно		солома		сумма		зерно		солома		сумма	
		1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
Супесчаная почва													
1	N + P + K + S	11.2	93.1	27.4	72.3	38.6	77.9	21.9	21.7	18.6	30.1	40.4	25.1
2	N + PKS (фракция 2 мм)	11.1	91.4	27.8	74.8	38.8	78.8	24.0	33.3	18.8	31.5	42.9	32.8
3	N + PKS (фракция 4 мм)	10.1	74.1	25.3	59.1	35.3	62.7	23.5	30.6	18.1	26.6	41.6	28.8
4	N + K + S (контроль)	5.8	—	15.9	—	21.7	—	18.0	—	14.3	—	32.3	—
HCP <sub>05</sub>		0.8	—	1.7	—	2.3	—	2.2	—	1.8	—	3.1	—
Тяжелосуглинистая почва													
1	N + P + K + S	16.6	19.4	30.6	-1.6	47.1	4.7	32.1	7.0	24.8	3.8	56.9	5.8
2	N + PKS (фракция 2 мм)	16.9	21.6	31.4	1.0	48.3	7.3	29.5	-1.7	22.2	-7.1	51.6	-4.1
3	N + PKS (фракция 4 мм)	15.7	12.9	32.7	5.1	48.4	7.6	29.5	-1.7	23.6	-1.3	53.1	-1.3
4	N + K + S (контроль)	13.9	—	31.1	—	45.0	—	30.0	—	23.9	—	53.8	—
HCP <sub>05</sub>		1.6	—	3.2	—	4.2	—	3.6	—	1.9	—	5.3	—

Примечание. В графе 1 – г/сосуд, 2 – прибавка урожая ( $\pm$ , %) по отношению к варианту 4 без внесения фосфора). То же в табл. 3.

гидролитической кислотности, измеренной титриметрическим методом по Каппену. После известкования почва имела нейтральную реакцию и степень насыщенности основаниями >85%.

В первый год изучали прямое действие PKS-удобрений на урожай ярового ячменя и ярового рапса. В качестве источника азота во всех опытах применяли аммиачную селитру (NH<sub>4</sub>NO<sub>3</sub>), фосфора, калия и серы – промышленные образцы PKS-удобрения марки 0-20-20(5S) различного гранулометрического состава или гранулированный двойной суперфосфат (Ca(H<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>)<sub>2</sub> · H<sub>2</sub>O), хлористый калий (KCl) и гипс (CaSO<sub>4</sub> · 2H<sub>2</sub>O). Все удобрения вносили в почву при набивке сосудов. Двойной суперфосфат, гипс и PKS-удобрение вносили в виде сухих навесок, аммиачную селитру и хлористый калий – в виде растворов. Схема опыта включала 4 варианта (табл. 1). Дозы удобрений составили N<sub>90</sub>, P<sub>90</sub>, K<sub>90</sub>, S<sub>12</sub>. Действие удобрений оценивали относительно варианта 4 (без

внесения фосфора) и варианта 1 (с внесением двойного суперфосфата).

Полив растений осуществляли водопроводной водой, во время вегетации проводили однократную корневую подкормку растений аммиачной селитрой в дозе 50 мг N/кг почвы. После сбора и высушивания урожая была определена масса основной и побочной продукции и проведена статистическая обработка результатов по [11]. Результаты вегетационных опытов по изучению прямого действия PKS-удобрения марки 0-20-20(5S) на урожай ярового ячменя и ярового рапса на тяжело-суглинистой и супесчаной почвах приведены в табл. 2.

Показано, что при выращивании ярового рапса на дерново-подзолистой супесчаной почве все фосфорсодержащие удобрения оказали существенное влияние на величину урожая. При этом наибольшая прибавка урожая по отношению к контрольному варианту (вариант 4) была получе-

**Таблица 3.** Влияние последействия PKS-удобрения марки 0-20-20(5S) на урожай гороха и райграса на тяжелосуглинистой и супесчаной почвах

№	Вариант	Горох						Райграс	
		зерно		солома		сумма		сено	
		1	2	1	2	1	2	1	2
Супесчаная почва									
1	N + P + K + S	3.3	65.0	6.3	34.0	9.6	43.3	15.6	15.6
2	N + PKS (фракция 2 мм)	2.7	35.0	6.0	27.7	8.7	29.9	16.1	19.3
3	N + PKS (фракция 4 мм)	2.9	45.0	5.1	8.5	8.0	19.4	15.5	14.8
4	N + K + S (контроль)	2.0	–	4.7	–	6.7	–	13.5	–
<i>HCP</i> <sub>05</sub>		1.0	–	0.73	–	1.6	–	2.09	–
Тяжелосуглинистая почва									
1	N + P + K + S	4.3	10.3	10.6	29.3	14.9	24.2	21.9	21.0
2	N + PKS (фракция 2 мм)	4.5	15.4	8.8	7.3	13.3	10.8	20.5	13.3
3	N + PKS (фракция 4 мм)	4.1	5.1	8.7	6.1	12.8	6.7	21.2	17.1
4	N + K + S (контроль)	3.9	–	8.2	–	12.0	–	18.1	–
<i>HCP</i> <sub>05</sub>		0.6	–	0.4	–	0.6	–	2.1	–

на при внесении PKS-удобрения с размером гранул 2 мм (вариант 2), которое не уступало в действии эквивалентному по содержанию фосфора количеству двойного суперфосфата (вариант 1). PKS-удобрение с размером гранул 4 мм (вариант 3) существенно уступало в действии двойному суперфосфату и PKS-удобрению с размером гранул 2 мм.

При выращивании ячменя на супесчаной почве удобрения оказали меньший положительный эффект по сравнению с рапсом. Максимальный урожай зерна и соломы был получен в варианте 2 с внесением PKS-удобрения с размером гранул 2 мм. Гранулы PKS-удобрения размером 4 мм и двойной суперфосфат оказали более слабое действие на урожай.

При выращивании рапса и ячменя на тяжелосуглинистой почве отмечена низкая эффективность всех фосфорсодержащих удобрений. По действию на урожай зерна рапса PKS-удобрения с гранулами размером 2 мм и двойной суперфосфат показали большую эффективность по сравнению с гранулами 4 мм, при этом все фосфорсодержащие удобрения оказали одинаковое действие на урожай соломы и биомассы растений в целом. При выращивании ячменя PKS-удобрения не оказали положительного воздействия на урожай, в то время как двойной суперфосфат влиял незначительно, но положительно на урожай зерна и соломы.

Во 2-й год опыта было изучено последствие внесенных удобрений. Опыты проводили в тех же сосудах, но с другими сельскохозяйственными

культурами: после ярового рапса выращивали горох, после ярового ячменя – райграс многоукосный. Во все сосуды перед посевом были дополнительно внесены  $\text{NH}_4\text{NO}_3$  и KCl, из расчета 1.3 г N и 0.75 г  $\text{K}_2\text{O}$  на сосуд. Данные опыта по изучению последействия PKS-удобрения марки 0-20-20(5S) на урожай гороха и райграса на тяжелосуглинистой и супесчаной почвах приведены в табл. 3.

Показано, что на супесчаной почве самым эффективным удобрением при выращивании гороха оказался двойной суперфосфат, обеспечивший получение максимального урожая зеленой массы. PKS-удобрение также обеспечило получение достоверной прибавки урожая. При этом следует отметить, что прибавка урожая зерна гороха при внесении PKS-удобрения с размером гранул 4 мм была больше, а прибавка массы соломы значительно меньше по сравнению с PKS-удобрением с размером гранул 2 мм, что объясняется, вероятно, более медленным растворением гранул крупной фракции.

По последствию на урожай сена райграса при выращивании его на супесчаной почве PKS-удобрения не уступали в эффективности суперфосфату, а максимальным последствием обладало PKS-удобрение с размером гранул 2 мм.

На тяжелосуглинистой почве наибольшая прибавка урожая зерна гороха по сравнению с контрольным вариантом получена при применении PKS-удобрения с размером гранул 2 мм. При выращивании райграса на тяжелосуглинистой почве максимальным последствием обладал

**Таблица 4.** Вынос и коэффициенты использования фосфора растениями в сумме за 2 года

№	Вариант	Рапс—горох		Ячмень—райграсс	
		вынос P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> , мг/сосуд	КИ P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> , %	вынос P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> , мг/сосуд	КИ P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> , %
Супесчаная почва					
1	N + P + K + S	292	40	285	14
2	N + PKS (фракция 2 мм)	280	38	292	15
3	N + PKS (фракция 4 мм)	221	25	282	13
4	N + K + S (контроль)	110	—	223	—
Тяжелосуглинистая почва					
1	N + P + K + S	452	17	369	15
2	N + PKS (фракция 2 мм)	430	12	333	7
3	N + PKS (фракция 4 мм)	426	11	320	4
4	N + K + S (контроль)	375	—	303	—

суперфосфат, при этом PKS-удобрение с размером гранул 4 мм практически не уступало ему по эффективности.

Таким образом, установлено, что PKS-удобрения обладают пролонгированным действием и продолжают обеспечивать растения фосфором на следующий год после их внесения в почву.

Используя 2-летние данные и исходя из величины выноса фосфора урожаем сельскохозяйственных культур, разностным методом (с учетом выноса фосфора в варианте 4) были рассчитаны коэффициенты использования (КИ) фосфора из изученных удобрений (табл. 4).

При сопоставлении коэффициентов использования установлено, что доступность фосфора из гранул PKS-удобрения с размером гранул 2 мм во всех опытах была несколько больше, чем из гранул 4 мм. В опытах, проведенных на супесчаной почве, использование растениями фосфора из гранул PKS-удобрения с размером гранул 2 мм практически не отличалось от двойного суперфосфата, однако в опытах на тяжелосуглинистой почве доступность фосфора из PKS-удобрения оказалась меньше, чем из двойного суперфосфата.

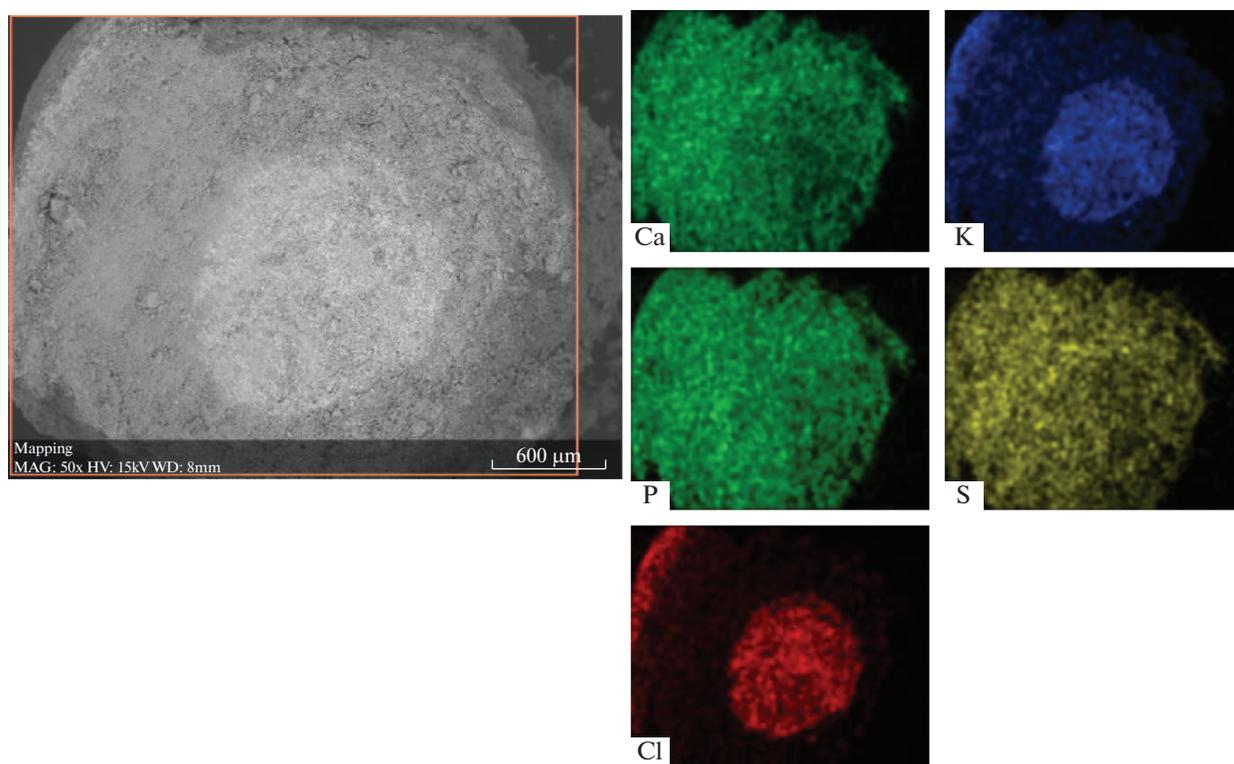
Пролонгированный характер действия PKS-удобрений подтвержден также исследованием скорости растворения гранул по алгоритму, предложенному IFDC [12]. В табл. 5 представлены результаты испытания для PKS-удобрения марки 0-20-20(5S) для гранул размером 2 мм и 4 мм по сравнению с двойным суперфосфатом. Из приведенных данных видно, что скорость растворения PKS-удобрения марки 0-20-20(5S) в воде была меньше по сравнению с двойным суперфосфатом.

Сколы гранул удобрения PKS 0-20-20(5S) (исходных образцов и образцов после растворения) исследовали методом сканирующей электронной микроскопии с применением электронного микроскопа TM3030 (НИТАСНИ). Методом рентгенофлуоресцентного микроанализа на EDX-приставке Quantax-70 исследовали распределение химических элементов по сколу гранул. На рис. 3 показана микрофотография скола гранулы PKS-удобрения марки 0-20-20(5S) и распределение химических элементов по сколу гранулы после ее растворения в течение 30 мин. В табл. 6 приведен химический состав поверхности сколов гранул исследованных образцов, определенный методом рентгенофлуоресцентного микроанализа.

Исходя из представленных данных, можно сделать вывод, что растворение гранул PKS-удобрений начинается с поверхностного слоя, причем глубина его возрастает с увеличением времени растворения. В первую очередь из гранулы вымывается KCl, в приповерхностном слое его содержание значительно снижается по сравнению с центром гранулы. Следует отметить, что степень растворения в значительной мере определяется

**Таблица 5.** Скорость растворения в воде гранул двойного суперфосфата и PKS-удобрения марки 0-20-20(5S)

Марка удобрения	Степень растворения, %	
	за 60 с	за 300 с
Двойной суперфосфат	16	40
PKS 0-20-20(5S) (фракция 2 мм)	8	25
PKS 0-20-20(5S) (фракция 4 мм)	9	16



**Рис. 3.** Микрофотография скола гранулы PKS-удобрения марки 0-20-20(5S) и распределение химических элементов по сколу гранулы после растворения в воде в течение 30 мин.

гранулометрическим составом продукта: гранулы крупной фракции (4 мм) растворяются в меньшей степени, чем гранулы мелкой фракции (2 мм), что связано с уменьшением площади контакта образца с водой.

Таким образом, пролонгированный характер действия PKS-удобрений обусловлен особенностью микроструктуры гранул, состоящей из взаимокристаллизованных микрокристаллов хлористого калия, моно- и дикальцийфосфата и сульфата кальция. Такая структура замедляет растворение хлористого калия и монокальцийфос-

фата за счет экранирующего действия медленно растворяющихся дикальцийфосфата и сульфата кальция.

Содержание дикальцийфосфата в продукте в свою очередь при необходимости изменения скорости растворения может регулироваться за счет корректировки технологических параметров процесса его получения. По мере увеличения нормы мела, подаваемого на нейтрализацию фосфорной кислоты, происходит снижение содержания  $P_2O_5$  в водорастворимой форме (рис. 4), что обусловле-

**Таблица 6.** Химический состав в точках на поверхности сколов гранул исходных образцов и образцов после растворения в воде в течение 30 мин, % масс.

Марка удобрения	Исходный образец		После 30 минут растворения	
	центр гранулы	край гранулы	центр гранулы	край гранулы
PKS 0-20-20(5S)	Ca – 11.9	Ca – 12.6	Ca – 11.6	Ca – 18.6
	P – 8.2%	P – 8.6	P – 8.3	P – 10.5
	K – 18.5	K – 18.5	K – 18.0	K – 7.9
	Cl – 16.9	Cl – 17.6	Cl – 17.4	Cl – 2.0
Двойной суперфосфат	P – 17.9	P – 17.8	P – 17.7	P – 17.8
	S – 1.9	S – 1.9	S – 1.9	S – 2.0
	Ca – 15.8	Ca – 15.3	Ca – 15.7	Ca – 15.5

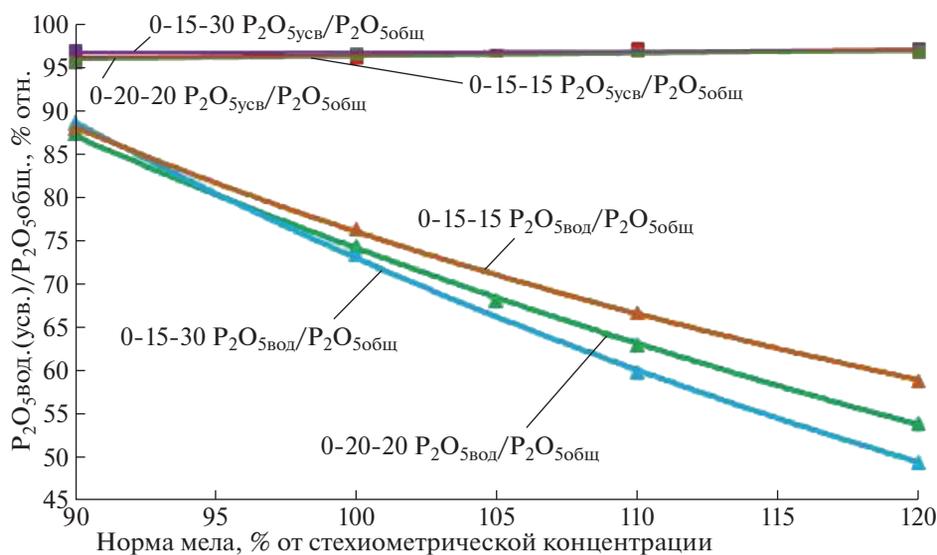


Рис. 4. Зависимость соотношений  $P_2O_{5\text{вод.}} : P_2O_{5\text{общ.}}$  и  $P_2O_{5\text{усв.}} : P_2O_{5\text{общ.}}$  в PKS-удобрениях различных марок от нормы мела, подаваемого на нейтрализацию кислот.

но возрастием содержания в продукте малорастворимого в воде дикальцийфосфата [13, 14]. При этом содержание  $P_2O_5$  в усвояемой форме от нормы мела практически не зависит, поскольку  $P_2O_5$  в составе дикальцийфосфата является усвояемым, и его доля во всех продуктах составляет 96.2–97.5% от общего содержания.

## ВЫВОДЫ

1. Исследованные сложные гранулированные PKS-удобрения показали свою высокую эффективность при выращивании различных сельскохозяйственных культур в условиях вегетационных опытов. Наиболее полно их действие раскрывается при использовании на почве более легкого гранулометрического состава, а коэффициенты использования  $P_2O_5$  из этих удобрений не уступают коэффициентам использования фосфора из двойного суперфосфата при внесении их в эквивалентном количестве.

2. Коэффициенты использования фосфора из PKS-удобрения с размером гранул 2 мм выше, чем из гранул размером 4 мм, что обусловлено более низкой скоростью растворения крупных гранул вследствие меньшей площади поверхности контакта с почвой.

3. По результатам двухлетних лабораторных и вегетационных испытаний установлено, что PKS-удобрения обладают пролонгированным действием и продолжают обеспечивать растения фосфором на следующий год после внесения в почву. Пролонгированный характер действия

PKS-удобрений, в том числе, обусловлен особенностью строения микроструктуры гранул, состоящей из взаимосокристаллизованных микрокристаллов хлористого калия, моно- и дикальцийфосфата и сульфата кальция и замедляющей растворение гранулы за счет экранирующего действия медленно растворяющихся дикальцийфосфата и сульфата кальция.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Коршунов В.В., Ангелов А.И., Левин Б.В. Прогноз спроса фосфорных удобрений на внутреннем рынке // Мир серы, N, P и K. 2005. Вып. 3. С. 3–7.
2. Левин Б.В., Ангелов А.И., Коршунов В.В. Потребности внутреннего рынка минеральных удобрений России при обеспечении продовольственной безопасности // Мир серы, N, P и K. 2005. Вып. 5. С. 3–8.
3. Савинская М.Э. Перспективы развития внутреннего рынка минеральных удобрений // Проблемы прогнозирования. 2003. № 1. С. 69–77.
4. Ангелов А.И., Левин Б.В., Барбашин А.А. Потребности внутреннего рынка минеральных удобрений при обеспечении продовольственной безопасности // Мир серы, N, P и K. 2005. Вып. 4. С. 3–9.
5. Лапушкин В.М., Торшин С.П., Кидин В.В. Современное состояние и перспективы развития применения минеральных удобрений в России // Материалы международной научно-практической конференции "Современные тенденции в производстве и применении фосфорсодержащих удобрений и неорганических кислот". Сост. В.И. Суходолова; НИУИФ. М., 2015. С. 5–11.

6. *Maartensdijk S.A.* Direct production of granulated superphosphates and PK compounds from sulphuric acid, phosphoric acid, rock phosphate and potash // Proceedings of the I.S.M.A. technical conference. Hague, Netherlands (13–16 September 1976). 1977. P. 200–214.
7. Патент РФ № 2514306. Способ получения фосфорно-калийного гранулированного удобрения. Черненко Ю.Д., Норов А.М., Овчинникова К.Н. и др. Оpubл. 27.04.2014. Бюл. № 14.
8. Патент РФ № 2551541. Способ получения комплексного удобрения. Левин Б.В., Норов А.М., Овчинникова К.Н. и др. Оpubл. 27.05.2015. Бюл. № 15.
9. Патент РФ № 2607332. Способ получения сложного удобрения. Левин Б.В., Норов А.М., Овчинникова К.Н. и др. Оpubл. 10.01.2017. Бюл. № 1.
10. *Юдин Ф.А.* Методика агрохимических исследований. М.: Колос, 1980. 366 с.
11. *Доспехов Б.А.* Методика полевого опыта. М.: Агропромиздат, 1985. 351 с.
12. IFDC Manual for Determining Physical Properties of Fertilizers, 1986.
13. *Норов А.М., Овчинникова К.Н., Малявин А.С., Пагалешкин Д.А., Федотов П.С., Петропавловский И.А.* Разработка технологии фосфорно-калийных удобрений с использованием карбонатов калия и кальция // Химическая технология. 2014. № 2. С. 75–79.
14. *Федотов П.С.* Гибкая технология сложных серосодержащих фосфорно-калийных удобрений: дисс. канд. техн. наук. М., 2016. 121 с.

## Evaluation of the Effectiveness of the Use of Complex Granular PKS-Fertilizers on Sod-Podzolic Sandy Loam and Heavy Loamy Soil

**I.M. Kochetova<sup>a</sup>, A.M. Norov<sup>a</sup>, V.V. Sokolov<sup>a,#</sup>, P.S. Fedotov<sup>a</sup>, V.M. Lapushkin<sup>b</sup>, S.P. Torshin<sup>b,##</sup>, and V.V. Kidin<sup>b</sup>**

<sup>a</sup> *Ya.V. Samoilov Research Institute for Fertilizers and Insectofungicides  
Nord highway 75, Vologda region, Cherepovez 162622, Russia*

<sup>b</sup> *Russian State Agrarian University—K.A. Timiryazev Moscow Agricultural Academy  
ul. Timiryazevskaya 49, Moscow 127550, Russia*

<sup>#</sup> *E-mail: bbc1953@mail.ru*

<sup>##</sup> *E-mail: sptorshin@rambler.ru*

A series of vegetation experiments was carried out to assess the effectiveness of PKS-fertilizers on light and heavy sod-podzolic soil. The effectiveness was studied both in direct action on crop yields and in the aftereffect. In the first year we studied the direct effect of PKS fertilizers on the harvest of spring barley and spring rape, in the second year — the aftereffect on the harvest of peas and ryegrass. The yield of green mass of plants, vegetative mass and grain yield was taken into account, the chemical analysis of plant samples was carried out, the values of the nutrients removal and the coefficients of phosphorus use by plants were determined. The high efficiency of the studied PKS fertilizers and their prolonged action, which is due to the peculiarity of the structure of the microstructure of granules, are confirmed.

*Key words:* phosphorus-containing complex fertilizers, fertilizers of prolonged action, vegetation experience, sod-podzolic soil, heavy loam, sandy loam, spring barley, spring rape, peas, ryegrass.