

УДК 631.82:631.812:633.11“321”:631.445.24

ЭФФЕКТИВНОСТЬ НОВЫХ ФОРМ НРК-УДОБРЕНИЙ С ЗАМЕДЛЕННЫМ И РЕГУЛИРУЕМЫМ ВЫСВОБОЖДЕНИЕМ ПИТАТЕЛЬНЫХ ВЕЩЕСТВ ПРИ ВЫРАЩИВАНИИ ЯРОВОЙ ПШЕНИЦЫ НА ДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТОЙ ПОЧВЕ

© 2023 г. В. М. Лапушкин¹, Ф. Г. Игралиев¹, А. А. Лапушкина¹, С. П. Торшин^{1,*}, А. М. Норов^{2,**}, Д. А. Пагалешкин², П. С. Федотов², В. В. Соколов², И. М. Кочетова², Е. А. Рыбин²

¹Российский государственный аграрный университет—МСХА им. К.А. Тимирязева
127550 Москва, ул. Тимирязевская, 49, Россия

²Научно-исследовательский институт по удобрениям и инсектофунгицидам им. проф. Я.В. Самойлова
162625 Череповец, Северное шоссе, 75, Россия

*E-mail: sptorshin@rambler.ru

**E-mail: ANorov@phosagro.ru

Поступила в редакцию 07.10.2022 г.

После доработки 29.10.2022 г.

Принята к публикации 15.11.2022 г.

Показана эффективность новых форм гранулированных НРК-удобрений с покрытием гранул тонкой пленкой из смесей моно- и дикальцийфосфата на дерново-подзолистой почве при выращивании яровой пшеницы. В качестве защищающих от потерь питательных элементов пленок использовали моно- и дикальцийфосфат в разных соотношениях. Химический анализ урожая, расчет выноса и коэффициентов использования растениями питательных веществ свидетельствовали о том, что наибольшей эффективностью обладало НРК-удобрение с покрытием гранул монокальцийфосфатом.

Ключевые слова: удобрения с покрытием, монокальцийфосфат, дикальцийфосфат, дерново-подзолистая почва, потери азота, ингибиторы нитрификации.

DOI: 10.31857/S0002188123020096, **EDN:** MSXFNF

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время важнейшей задачей земледелия является эффективное применение минеральных удобрений, особенно азотных. По многочисленным данным, ≈20% технического дешевого азота удобрений по разным причинам непроизводительно теряется [1, 2]. Среди причин подобных потерь — вымывание из корнеобитаемого слоя, иммобилизация в почве в органической форме и газообразные потери азота. Последний путь трансформации азота вносит наибольший вклад в снижение эффективности азотных удобрений. Существует несколько методов снижения потерь азота удобрений [1–10]: 1 — использование аммонийных и амидных форм легко растворимых азотных удобрений. В отличие от нитратов катион NH_4^+ в почве фиксируется в составе ППК, теряет подвижность и не вымывается, при этом доступен растениям. Однако этот азот под-

вергается биологическому окислению с образованием нитратов и нитритов (нитрификация) и становится предметом и вымывания, и денитрификации. Кроме того, азот в виде аммиака может улетучиваться при использовании аммиачных, аммонийных и амидных удобрений, что происходит, как правило, при поверхностном их внесении на карбонатных и свежепроизвесткованных легких почвах с нейтральной и щелочной реакцией [8–10]; 2 — блокирование биологического окисления азота специальными веществами-ингибиторами нитрификации, которые вносят вместе с азотными удобрениями, например, широко применяемым во 2-й половине XX века препаратом “N-serve” [3]; 3 — применение медленно растворимых азотных удобрений, например, мочевино-формальдегидных удобрений [2, 4]. Однако производство таких удобрений оказалось экономически невыгодным; 4 — внесение гранулированных удобрений с покрытием гранул [2, 5].

В качестве покрытия использовали серу, органические полимеры и пр. В настоящее время разрабатывают и испытывают новые, экономически оправданные виды и модификации как пролонгированных форм азотных удобрений, в том числе с включением микроэлементов [6], так и удобрений с покрытием гранул [7].

В связи с этим цель работы – испытание эффективности новых гранулированных НРК-удобрений с покрытием гранул тонкой пленкой из смесей моно- и дикальцийфосфата на дерново-подзолистой почве при выращивании яровой пшеницы.

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

Покрытия наносили с применением лабораторного тарельчатого гранулятора на гранулированные НРК-удобрения марки 15 : 15 : 15, произведенные в промышленных условиях. Выбор ортофосфатов кальция в качестве материалов для покрытия был обусловлен тем, что эти вещества доступны, относительно дешевы, легко могут быть получены на предприятиях по производству минеральных удобрений. Также очень важно, что и монокальцийфосфат (МКФ), и дикальцийфосфат (ДКФ) являются хорошо изученными и широко применяемыми удобрениями, поэтому никаких вопросов по биоразложению покрытий (как в случае с применением полимеров) в этом случае не возникает. Скорость высвобождения питательных веществ можно регулировать как за счет изменения толщины покрытия, так и за счет изменения его состава. Обе соли являются усвояемыми, но имеют разную растворимость, поэтому, изменяя соотношение между монокальцийфосфатом и дикальцийфосфатом, можно также влиять на поступление питательных веществ в почвенный раствор.

Для проведения вегетационных опытов были приготовлены образцы НРК-удобрений с 3-мя видами покрытий: 1 – с покрытием толщиной 0.1 мм, состоящим из смеси МКФ с небольшим (до 5% масс.) количеством ДКФ. Небольшая добавка ДКФ сделана с той целью, чтобы не допустить угнетения корневой системы растений за счет избыточной кислотности. В дальнейшем этот тип покрытия обозначен как МКФ; 2 – с покрытием толщиной 0.1 мм, состоящим из смеси МКФ и ДКФ, взятых в равных долях, в дальнейшем обозначено как МКФ + ДКФ; 3 – с покрытием, идентичным по составу предыдущему, но толщиной 0.05 мм, в дальнейшем обозначено как 1/2 (МКФ + ДКФ). Эффективность новых удобрений испытывали в вегетационном опыте.

Для решения поставленной задачи в РГАУ–МСХА им. К.А. Тимирязева был заложен вегетационный опыт (табл. 1). Все варианты были выровнены по количеству внесенных элементов питания (за исключением контрольного и фоновых). Опыт проводили в сосудах Митчерлиха, емкостью 5 кг сухой почвы. Агрохимическая характеристика дерново-подзолистой, тяжелосуглинистой почвы представлена в табл. 2. Повторность опыта четырехкратная. Опытная культура – яровая пшеница сорта Любава. Опыт заложен 17 мая. В основных фазах развития растений были отобраны образцы с целью оценки темпов накопления биомассы растениями в зависимости от формы внесенного удобрения.

Содержание элементов питания в урожае определяли после мокрого озольнения по Кьельдалю: валовое содержание азота – микрометодом Кьельдаля (ГОСТ 13496.4-93), фосфора – колориметрическим методом (ГОСТ 26657-97), калия – пламенно-фотометрическим методом (ГОСТ 30504-97).

При появлении признаков поражения растений мучнистой росой 22 июня была проведена обработка пропиконазолом. При появлении признаков поражения растений желтой пятнистостью 30 июня проведена обработка пенконазолом.

Опыт по изучению интенсивности нитрификации проводили в лабораторных условиях. В навеску почвы 450 г (естественной влажности) вносили азотные удобрения в дозе 200 мг N/кг сухой почвы, тщательно перемешивали, увлажняли (40 см³ дистиллированной воды на сосуд), помещали в пластиковые контейнеры без уплотнения и без крышки (аэробные условия). Контейнеры помещали в термостат и компостировали при температуре 25–30°C. Через 5 сут (далее через 10, 15, 20, 25 сут) почву из контейнеров высыпали, тщательно перемешивали и отбирали пробы почвы массой 30 г для анализа. Остаток почвы увлажняли (10 см³ дистиллированной воды), перемешивали и помещали обратно в контейнер и термостат для дальнейшего компостирования. В отобранных образцах почвы после высушивания определяли содержание нитратного азота спектрофотометрическим методом [11] при длине волны 220 нм на приборе СФ-26.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Урожай основной и побочной продукции яровой пшеницы был убран 21 августа, высушен до воздушно-сухого вещества, определена масса зерна и соломы, соотношение основной и побочной продукции, масса одного колоса, масса

Таблица 1. Схема вегетационного опыта

Вариант	Доза элементов питания, мг/кг	Условное обозначение варианта
0 – абсолютный контроль	0	0
NP – фон для определения коэффициента использования калия из удобрений	$N_{150}P_{290}$	NP
NK – фон для определения коэффициента использования фосфора из удобрений	$N_{150}K_{150}$	NK
PK – фон для определения коэффициента использования азота из удобрений	$P_{290}K_{150}$	PK
NPK (12: 23: 12) покрытие МКФ толщиной 100 мкм	$N_{150}P_{290}K_{150}$	NPK (МКФ 100 мкм)
NPK (12: 21: 12) покрытие МКФ + ДКФ толщиной 100 мкм	$N_{150}P_{290}K_{150}$	NPK (МКФ + ДКФ 100 мкм)
NPK (14: 18: 14) покрытие МКФ + ДКФ толщиной 50 мкм	$N_{150}P_{290}K_{150}$	NPK (МКФ + ДКФ 50 мкм)
NPK (15: 15: 15) без покрытия	$N_{150}P_{290}K_{150}$	NPK (без покрытия)

Таблица 2. Агрохимическая характеристика почвы опыта

Гумус по Тюрину, %	pH_{KCl}	H_T	S	T	$V, \%$	Щелочно гидролизующий N по Корнфилду, мг/кг	P_2O_5	K_2O
		ммоль/100 г					по Кирсанову, мг/кг	
1.3	5.9	1.1	16.6	17.7	93.8	<100	134	146

Таблица 3. Структура урожая яровой пшеницы

Вариант	Масса зерна	Масса побочной продукции	Соотношение зерно : общая биомасса	Масса 1000 зерен	Масса 1-го колоса	Количество зерен в колосе, шт.
	г/сосуд			г		
0	5.2	9.2	1.8	28.9	0.4	10.6
NP	15.4	19.5	1.3	37.7	1.1	23.6
NK	15.0	21.0	1.4	34.5	1.0	23.3
PK	5.5	10.8	2.0	29.5	0.42	11.4
NPK (МКФ 100 мкм)	17.3	25.0	1.5	35.9	1.11	25.5
NPK (МКФ + ДКФ 100 мкм)	15.1	23.1	1.5	36.6	1.0	21.5
NPK (МКФ + ДКФ 50 мкм)	14.9	23.3	1.6	35.9	1.0	23.4
NPK (без покрытия)	15.4	22.7	1.5	36.3	1.0	23.9
HCP_{05}	0.8	1.8	–	5.2	0.2	4.1

1000 зерен и озерненность колоса. Результаты опыта обработаны методом дисперсионного анализа и приведены в табл. 3.

Результаты показали, что все исследованные удобрения оказали существенное действие на урожай яровой пшеницы по сравнению с контрольным вариантом и фосфорно-калийным фоном. При этом урожай зерна в варианте с внесением NPK-удобрения с покрытием гранул монокальцийфосфатом был достоверно больше по

сравнению с другими исследованными удобрениями – 17.3 г против 14.9–15.4 г/сосуд.

Аналогичные результаты получены и для урожая побочной продукции. Во всех вариантах опыта, с внесением исследованных форм минеральных удобрений урожай соломы был существенно больше по сравнению с контрольным и фоновыми вариантами. Наиболее высокий урожай получен также при внесении NPK-удобрения с по-

Таблица 4. Содержание основных элементов питания в урожае яровой пшеницы, %

Вариант	Зерно			Солома		
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
0	1.97	1.00	0.46	0.23	0.21	1.72
NP	2.95	1.26	0.55	0.82	0.28	1.44
NK	3.17	1.01	0.49	0.71	0.16	2.52
PK	1.93	1.08	0.48	0.33	0.38	2.51
НРК (МКФ 100 мкм)	2.73	1.20	0.47	0.69	0.27	2.41
НРК (МКФ + ДКФ 100 мкм)	2.92	1.15	0.53	0.67	0.27	2.47
НРК (МКФ + ДКФ 50 мкм)	2.92	1.12	0.56	0.72	0.29	2.50
НРК (без покрытия)	2.80	1.02	0.56	0.64	0.26	2.39

Таблица 5. Вынос основных элементов питания урожаем яровой пшеницы, мг/сосуд

Вариант	Вынос зерном			Вынос соломой			Общий вынос		
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
0	102	52	24	22	19	158	124	71	182
NP	454	194	84	160	55	281	614	249	365
NK	475	152	74	148	33	529	623	185	603
PK	107	59	27	36	41	271	143	101	297
НРК (МКФ 100 мкм)	471	206	81	172	68	602	643	274	684
НРК (МКФ + ДКФ 100 мкм)	442	174	79	155	62	570	597	236	650
НРК (МКФ + ДКФ 50 мкм)	436	167	84	168	67	582	604	235	666
НРК (без покрытия)	432	157	87	146	60	542	578	217	629

крытием гранул монокальцийфосфатом: 24.0 г против 22.7–23.3 г/сосуд.

Оценка структуры урожая позволила заключить, что применение НРК-удобрения с покрытием гранул монокальцийфосфатом способствовало увеличению массы колоса и его озерненности, а также повышению хозяйственного коэффициента, т.е. доли зерна в общей биомассе растений. Например, в варианте с внесением этого удобрения на единицу урожая зерна было сформировано 1.45 ед. побочной продукции, в то время как в вариантах с внесением других форм НРК-удобрений это соотношение варьировало от 1.47 до 1.56. Количество зерен в колосе увеличивалось до 25.5 шт. по сравнению с 21.5–23.9 шт. в вариантах с остальными удобрениями. Масса одного колоса составила 1.11 г при 0.96–1.07 г в вариантах с внесением других форм НРК-удобрений.

После учета структуры урожая был проведен химический анализ растительных образцов. По результатам химического анализа урожая (табл. 4) был рассчитан вынос элементов питания основной и побочной продукцией (табл. 5) и

определены коэффициенты использования питательных веществ из удобрений (рис. 1).

Из результатов химического анализа следует, что вынос элементов питания тесно коррелировал с величиной полученного урожая, и наибольшее потребление питательных веществ отмечено в варианте с внесением НРК-удобрения с покрытием гранул монокальцийфосфатом, что свидетельствовало о большей доступности этого удобрения. Это подтверждено более высокими коэффициентами использования элементов питания удобрений в этом варианте опыта. Коэффициенты использования азота из удобрений с различным покрытием гранул были больше по сравнению со стандартным НРК-удобрением и варьировали в диапазоне 61–67% против 58%. В варианте с внесением НРК-удобрения с покрытием гранул монокальцийфосфатом коэффициент использования азота был наиболее высоким и достиг 67%, что было на 16% (абсолютных) больше, относительно НРК-удобрения без покрытия.

В целом в опыте коэффициенты использования фосфора были довольно низкими, что объясняется, с одной стороны, повышенным содержа-

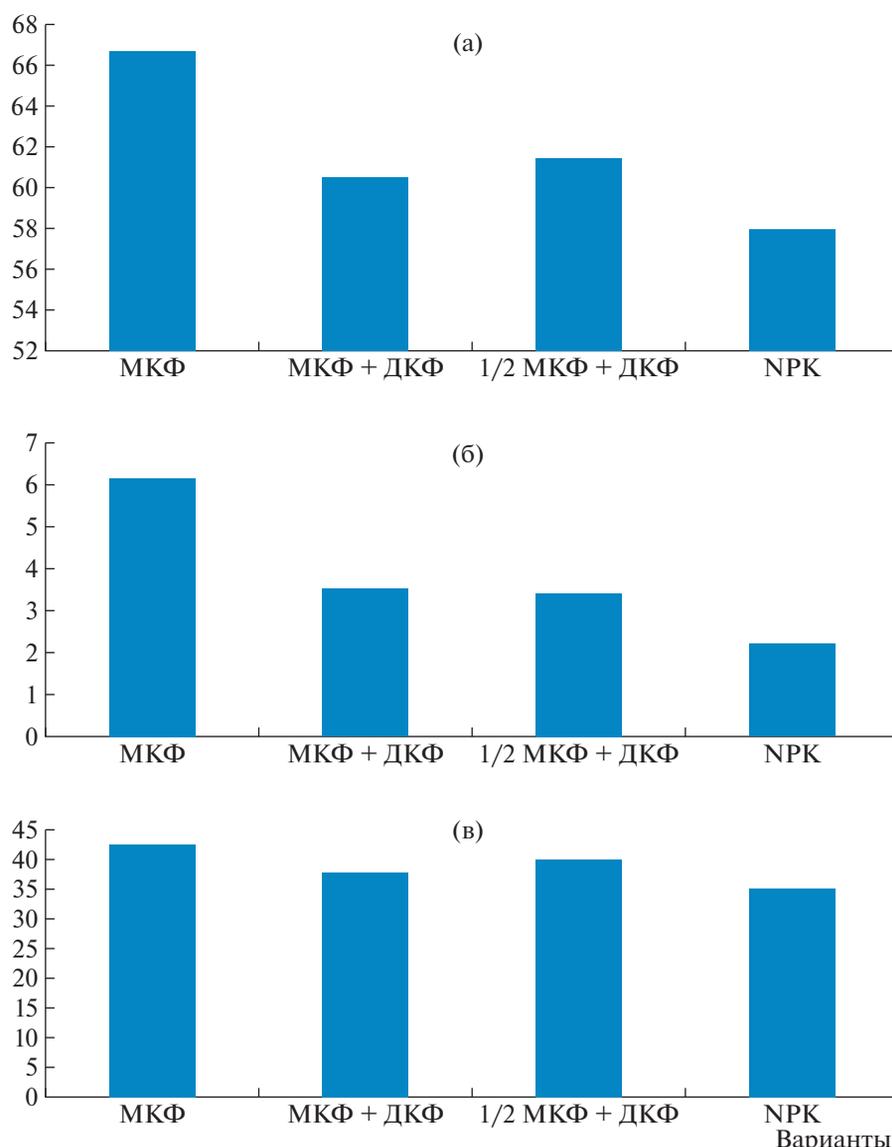


Рис. 1. Коэффициенты использования минеральных элементов из удобрений: (а) – азота, (б) – фосфора, (в) – калия, %.

нием подвижных фосфатов в почве, а с другой, высокой дозой внесенного фосфора, обусловленной соотношением элементов питания в составе комплексных удобрений. Тем не менее, интерес представляет сравнение коэффициентов использования фосфора из разных форм NPK-удобрений, которое показало, что наибольшей доступностью для растений обладали фосфаты удобрения, гранулы которого были покрыты МКФ. При этом все виды покрытий способствовали заметному увеличению коэффициента использования фосфора относительно обычного NPK-удобрения. Коэффициенты использования калия из удобрений варьировали в меньшем диапазоне по сравнению с азотом и фосфором, и составили 38–

42% при внесении удобрений с покрытием гранул и 35% при внесении NPK-удобрения без покрытия. Наибольшая доступность калия растениям также отмечена из состава удобрения с покрытием гранул монокальцийфосфатом.

Результаты лабораторного опыта по изучению нитрификации (табл. 6) показали, что покрытие гранул различными компонентами, особенно монокальцийфосфатом и ингибитором нитрификации существенно снижали интенсивность окисления аммонийного азота особенно к концу опыта. К 25-м сут наибольшая концентрация $N-NO_3$ (170 мг/кг) мг/кг была обнаружена в вариантах с NPK, минимальная (114 мг/кг) – в абсолютном контроле (в отсутствие азота удобрений).

Таблица 6. Содержание нитратного азота в компостированной почве, мг/кг

Вариант	Экспозиция, сут				
	5	10	15	20	25
0	73 ± 4.3	90 ± 2.7	94 ± 3.7	99 ± 3.9	114 ± 4
НРК (без покрытия)	74 ± 4.1	90 ± 3.2	100 ± 2	122 ± 1	170 ± 7
НРК (МКФ 100 мкм)	74 ± 4.0	90 ± 1.2	98 ± 3.8	123 ± 2	151 ± 10
НРК (МКФ + ДКФ 100 мкм)	81 ± 1.4	85 ± 4.6	101 ± 2	126 ± 8	165 ± 9
НРК (МКФ + ДКФ 50 мкм)	79 ± 3.0	89 ± 3.8	101 ± 2	126 ± 3	179 ± 5
НРК (без покрытия) + + ингибитор нитрификации*	84 ± 1.7	77 ± 2.8	86 ± 1.2	104 ± 1	129 ± 3

*В качестве ингибитора нитрификации использовали 17.4%-ный раствор 3,4-диметилпиразол фосфата (DMPP).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Исследование действия НРК-удобрений с различным покрытием гранул показало, что к моменту наступления фазы кущения наиболее заметное действие на формирование биомассы яровой пшеницы из исследованных удобрений оказали формы удобрений с покрытием гранул из монокальцийфосфата. Растения, выращенные в вариантах с внесением этого удобрения, превосходили другие растения по темпам роста и накопления сырой и сухой массы.

Во время выхода в трубку наилучший результат также показали формы удобрений с покрытием гранул из монокальцийфосфата. В фазе колошения—цветения ситуация несколько изменилась и на первый план по морфо-биометрическим показателям вышли растения, выращенные в вариантах с внесением удобрений с различными по толщине покрытиями из смеси моно- и дикальцийфосфата.

Учет структуры урожая подтвердил предварительные выводы о большей эффективности удобрения с покрытием гранул монокальцийфосфатом (МКФ). Урожай зерна яровой пшеницы в варианте с внесением этого удобрения был существенно больше по сравнению со всеми остальными формами удобрений. Внесение НРК-удобрения с покрытием МКФ способствовало увеличению массы и озерненности колоса, а также сужало соотношение между основной и побочной продукцией.

Результаты химического анализа урожая, расчет выноса и коэффициентов использования питательных веществ растениями подтвердили вывод о том, что наибольшей эффективностью обладало НРК-удобрение с покрытием гранул монокальцийфосфатом. Коэффициент использования азота из состава этого удобрения был больше стандартного удобрения на 16%, и на 10% больше по сравнению с НРК-удобрениями с по-

крытием гранул смесью моно- и дикальцийфосфата.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Смирнов П.М.* Вопросы агрохимии азота (в исследованиях с ^{15}N). М.: ТСХА, 1977. 72 с.
2. *Кореньков Д.А.* Агрохимия азотных удобрений. М.: Наука, 1976. 209 с.
3. *Муравин Э.А.* Ингибиторы нитрификации. М.: Агропромиздат, 1989. 245 с.
4. Агрохимия / Под ред. П.М. Смирнова, А.В. Петербургского. 3-е изд. М.: Колос, 1975. 511 с.
5. *Tisdale S.L., Nelson W.L.* Soil fertility and fertilizers. Macmillan Publishing Co., Inc., 1975. p. 163–171.
6. *Шаповал О.А., Боровик Р.А.* Применение новых пролонгированных форм мочевиноформальдегидных удобрений с включением микроэлементов на яровой пшенице // Агрохим. вестн. 2021. № 6. С. 34–37.
7. *Жевора С.В.* Реакция сортов картофеля на введение в систему минерального питания стабилизированного карбамида УТЕС46 // Плодородие. 2021. № 3. С. 76–80.
8. *Макаров Б.Н., Игнатов В.П.* Потери азота из почвы в газообразной форме // Почвоведение. 1964. № 4. С. 85–92.
9. *Гетманец А.Я.* О потерях азота минеральных удобрений из почвы в газообразной форме // Почвоведение. 1972. № 3. С. 139–143.
10. *Fenn L.B., Kissel D.E.* The influence of cation exchange capacity and depth of incorporation on ammonia volatilization from ammonium compounds applied to calcareous soils // Soil Sci. Soc. Am. Proc. 1976. V. 40. № 3. P. 364–398.
11. *Борисова Н.И.* Спектрофотометрический метод определения нитратов в почве // Агрохимия. 1968. № 8. С. 148–153.

**Efficiency of New Forms of NPK-Fertilizers
with Delayed and Controlled Release
of Nutrients when Growing Spring Wheat on Sod-Podzolic Soil**

**V. M. Lapushkin^a, F. G. Igliev^a, A. A. Lapushkina^a, S. P. Torshin^{a, #},
A. M. Norov^{b, ##}, D. A. Pagaleshkin^b, P. S. Fedotov^b, V. V. Sokolov^b,
I. M. Kochetova^b, and E. A. Rybin^b**

^a*Russian State Agrarian University—Moscow Agricultural Academy named after K.A. Timiryazev
ul. Timiryazevskaya 49, Moscow 127550, Russia*

^b*Scientific Research Institute for Fertilizers and Insectofungicides named after Professor Ya.V. Samoilov
Severnoye shosse 75, Cherepovets 162625, Russia*

[#]*E-mail: sptorshin@rambler.ru*

^{##}*E-mail: ANorov@phosagro.ru*

The effectiveness of new forms of granular NPK fertilizers with a coating of granules with a thin film of mixtures of mono- and dicalcium phosphate on sod-podzolic soil in the cultivation of spring wheat is shown. Mono- and dicalcium phosphate in different ratios were used as films protecting against loss of nutrients. The chemical analysis of the crop, the calculation of the removal and the coefficients of the use of nutrients by plants indicated that the NPK fertilizer with a coating of granules with monocalcium phosphate had the greatest efficiency.

Key words: fertilizers with coating, monocalcium phosphate, dicalcium phosphate, sod-podzolic soil, nitrogen losses, nitrification inhibitors.