

**ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ ЖИДКИХ
ФОСФОРНЫХ УДОБРЕНИЙ**

В.Г. Сычёв, ак. РАН, Э.Н. Аканов, к.б.н., Н.И. Аканова, д.б.н., ФГБНУ «ВНИИ агрохимии»

Представлены результаты вегетационного опыта с яровой пшеницей по эффективности ортофосфорной кислоты (ОФК), как фосфорного удобрения. Выявлено её положительное влияние на формирование продуктивности посева. Показано, что применение ОФК в дозах 60-100 л/га в основное внесение в почву и 15-30 л/га при опрыскивании растений в подкормку имело существенные преимущества перед твердыми формами фосфорных удобрений.

Ключевые слова: плодородие почв, фосфор, жидкие удобрения, продуктивность.

DOI: 10.25680/S19948603.2020.113.01

Большинство почв земель сельскохозяйственного назначения в России в неполной степени обеспечены фосфором, что не позволяет в полной мере использовать потенциал урожайности сельскохозяйственных культур. Кроме того, при недостаточном внесении фосфора истощается фосфорный фонд почвы, что ведет к ее деградации [1].

Анализ результатов мониторинга фосфатного режима пахотных почв земель сельскохозяйственных угодий проведен по федеральным округам и субъектам Российской Федерации. По состоянию на 01.01.2019 г. из 89,96 млн га обследованных пахотных земель России более 50,0 млн га (58%) характеризуется очень низким, низким и средним содержанием фосфора (менее 100 мг/кг почвы). Площади низкообеспеченных фосфором почв распространены в Центральном – 46%, Северо-Западном – 40, Южном – 61, Северо-Кавказском – 81, Приволжском – 63, Уральском – 82, Сибирском – 47, Дальневосточном – 83% округах.

Результаты мониторинга пашни по субъектам Центрального федерального округа показывают, что, в соответствии с показателями фосфатного режима, почвы требуют первоочередного внесения фосфорных удобрений. Площади низко- и среднеобеспеченных фосфором почв распространены в Тамбовской области на 64% пашни, в Воронежской – 54, Ивановской – 72, Калужской – 57, Костромской – 53, Липецкой – 65, Орловской – 66, Рязанской – 57, Смоленской – 53, Тульской – 57, Ярославской – 48%. Наличие больших площадей низко- и среднеобеспеченных подвижным фосфором почв пашни выявлено во всех федеральных округах России.

Эффект от применения фосфора зависит от многих факторов, один из них – форма, в которой фосфорсодержащие удобрения попадают в почву и из почвенного раствора – в растения. В почвах степной зоны фосфор представлен в нерастворимой в воде и слабых кислотах форме, при реакции среды, близкой к нейтральной, его усвоение из гранулированных удобрений не превышает 15-20%. Современные агротехнологии позволяют использовать потенциал фосфора намного эффективнее, чем десятилетия назад.

В отличие от гранулированных удобрений, жидкие удобрения (ЖУ) быстро всасываются почвой, просачиваются во все ее слои, что также способствует повышению влагоудержания и получению питательных веществ для роста растений [2]. ЖУ имеют высокое со-

держание фосфора с большим сроком хранения при достаточно широком диапазоне температур. ЖУ, в том числе ортофосфорная кислота, характеризуются высоким качеством и функциональностью, устойчивы при различных температурах, эффективны на разных типах почв [3-5]. Исследования, выполненные на щелочных почвах (карбонатных и засоленных), продемонстрировали более высокую эффективность применения жидких фосфорных удобрений под пшеницу по сравнению с твердыми удобрениями [6,7]. При этом эффективность жидких фосфорных удобрений была выше в основном на почвах с высокой карбонатностью [8].

Подвижность внесенного фосфора из ЖУ в почве объясняется его более низкой фиксацией. Исследования взаимодействия жидких и твердых фосфорных удобрений с почвой свидетельствуют о более высокой скорости диффузии и большей подвижности внесенного фосфора при использовании жидких удобрений [9]. За счет равномерного распределения жидких фосфорных удобрений в объеме почвы создаются низкие концентрации фосфатов и, следовательно, в карбонатных почвах снижается образование труднорастворимых фосфатов кальция. Аналогичные результаты для карбонатных почв получены при сравнении жидкого полифосфата аммония и твердых фосфорных удобрений – аммофоса и диаммофоса [10]. При инкубировании жидких фосфорных удобрений с кислыми почвами с высоким содержанием оксигидроксидов алюминия и железа, а также аллофанов, обладающих высокой сорбционной способностью по отношению к фосфатам, скорость диффузии фосфора повышалась, но его подвижность в почве снижалась по сравнению с внесением твердых удобрений.

Результаты полевого опыта с яровой пшеницей показали, что действие жидких фосфорных удобрений аналогично по эффективности в сравнении с твердыми удобрениями [11]. При локальном внесении ЖУ и твердых фосфорных удобрений в кислые почвы больше фосфора остается в доступной растениям форме по сравнению с разбросным (поверхностным) внесением [12]. С помощью изотопного метода (^{33}P) установлено, что на карбонатных почвах коэффициент использования фосфора из удобрений растениями яровой пшеницы выше при внесении жидких фосфорных удобрений, а на кислых почвах данный показатель статистически одинаков при применении твердых и жидких фосфорных удобрений.

Скорость диффузии фосфора зависит от влажности почвы и количества воды, поступающей с жидкими удобрениями. Изучение процессов миграции фосфора в почве, внесенного ленточным способом с жидкими как ортофосфатами, так и полифосфатами, показало увеличение содержания доступного растениям фосфора до глубины 13 см [13]. Поверхностное внесение жидких фосфорных удобрений в системах земледелия может способствовать миграции фосфора в глубь почвенного профиля. Это важно для питания фосфором культур с глубоко проникающей корневой системой. Кроме того, снижается риск потерь фосфора из почвы за счет поверхностного смыва.

Полевые опыты на дерново-подзолистых почвах разного гранулометрического состава продемонстрировали одинаковую отзывчивость сельскохозяйственных культур на внесение в почву жидкого фосфора и аммофоса. В целом, в зернотравянопропашном севообороте растения одинаково использовали фосфор из изученных видов фосфорных удобрений. В то же время, обобщение результатов полевых опытов, проведенных в Нечерноземной зоне (дерново-подзолистые, дерново-глеевые, дерново-карбонатные и серые лесные почвы), свидетельствует о том, что эффективность применения жидкого фосфора и двойного суперфосфата примерно одинакова, но на более тяжелых почвах прибавки урожайности сельскохозяйственных культур от ЖУ были значительно выше [14].

В полевом опыте на супесчаной дерново-подзолистой почве в прибалтийском регионе, запасное внесение жидкого полифосфата аммония (раз в два года) было более эффективным по сравнению с двойным суперфосфатом [15]. Результаты обосновывались меньшей фиксацией фосфора в почве полуторными оксидами железа и алюминия, а также карбонатом кальция при применении полифосфатной формы. Запасное внесение жидкого полифосфата аммония имело преимущества по сравнению с его ежегодным внесением. Лучшее последствие жидкого полифосфата аммония по сравнению с двойным суперфосфатом наблюдалось и в других опытах на дерново-подзолистых почвах.

На дерново-подзолистой почве, черноземе выщелоченном и сероземе светлом растения овса одинаково отзывались на твердые и жидкие фосфорные удобрения, включая полиформы. При инкубировании почв с изученными фосфорными удобрениями не выявлено существенных различий в условиях питания растений фосфором. Использование жидкого полифосфата аммония в системе удобрения овощных культур, выращиваемых на черноземе выщелоченном и лугово-черноземных почвах, способствовало получению такой же урожайности, как и при применении твердых фосфорных удобрений. Однако при внесении жидкого удобрения отмечено улучшение качества продукции белокочанной капусты, томата и лука (повышение содержание сухого вещества, витамина С, дисахаридов).

Инкубирование разных видов твердых фосфорных удобрений (орто- и полифосфатов) и жидкого полифосфата аммония с черноземом обыкновенным показало, что существенно более высокая степень подвижности фосфатов в почве (метод Карпинского и Замятиной) наблюдается при использовании жидкой полифосфатной формы. Полевые опыты, проведенные в Средней

Азии, продемонстрировали более высокую эффективность ЖУ [16,17]. На сероземных и других почвах с повышенной карбонатностью жидкие фосфорсодержащие удобрения действовали лучше по сравнению с гранулированными. По влиянию на урожайность сельскохозяйственных культур и усвояемость фосфора из удобрений в год прямого действия жидкий фосфат превосходил твердые орто- и полифосфаты. Был сделан вывод о том, что южные области РФ, орошаемые районы Поволжья, а также Средней Азии, где распространены почвы с высоким содержанием карбонатов, могут быть наиболее перспективными регионами для использования ЖУ.

Среди преимуществ жидких фосфорных удобрений стоит отметить удобство их хранения в хозяйствах, а также более точное и равномерное внесение фосфора в почву [18-20]. ЖУ могут смешиваться с другими удобрениями и пестицидами. Разработаны и опробованы технологии дифференцированного внесения ЖУ и пестицидов. Добавление микроудобрений в растворы ЖУ – эффективный способ внесения микроэлементов. ЖУ можно использовать и для листовых подкормок растений.

Следует отметить, что существенной разницы в агрономической эффективности применения жидких и твердых фосфорных удобрений на большинстве типов почв не наблюдается, поэтому решение о применении того или иного продукта зависит от его стоимости и удобства использования в конкретных условиях. Тем не менее, согласно результатам ряда исследований, в некоторых почвенно-климатических условиях (на карбонатных почвах) жидкие фосфорные удобрения, включая полифосфат аммония, могут иметь существенные преимущества по сравнению с твердыми удобрениями.

Для агроэкологической оценки и установления биологической эффективности применения продуктов ТОО «Казфосфат» – жидких фосфатов (чистой ортофосфорной кислоты), в качестве фосфорного удобрения в системе питания различных сельскохозяйственных культур, в том числе яровой пшеницы, в условиях фитотрона с регулируемыми условиями внешней среды был заложен вегетационный опыт на дерново-подзолистой легкосуглинистой почве. Агрохимические показатели этой почвы: pH_{KCl} – 5,8, Нг – 0,61 мг-экв/100 г, содержание гумуса – 1,46%, P_2O_5 – 200 мг/кг, K_2O – 59 мг/кг. Согласно схеме опыта, на одном азотно-калийном фоне $N_{60}K_{60}$ испытывали разные формы фосфорных удобрений в виде суперфосфата и жидкой ортофосфорной кислоты (ОФК) в концентрации 75,2% в эквивалентных дозах P_{60} и P_{90} при основном посевном внесении этих доз и дополнительном в подкормку на этапе кушения.

Схема опыта в расчётных дозах N, P_2O_5 , K_2O , кг д.в. на 1 га пашни:

1. $N_{60}P_{60}K_{60}$ (суперфосфат + NH_4NO_3 + KCl).
2. $N_{60}P_{60}K_{60}$ (ОФК, 68 л/га + NH_4NO_3 + KCl).
3. $N_{60}P_{90}K_{60}$ (суперфосфат + NH_4NO_3 + KCl).
4. $N_{60}P_{90}K_{60}$ (ОФК, 102 л/га + NH_4NO_3 + KCl).
5. $N_{60}P_{(45+15)}K_{60}$ (суперфосфат + NH_4NO_3 + KCl).
6. $N_{60}P_{(45+15)}K_{60}$ [ОФК (51+17 л/га) + NH_4NO_3 + KCl].
7. $N_{60}P_{(30+30)}K_{60}$ (суперфосфат + NH_4NO_3 + KCl).
8. $N_{60}P_{(30+30)}K_{60}$ [ОФК (34+34 л/га) + NH_4NO_3 + KCl].

В качестве удобрений использовали суперфосфат простой, аммиачную селитру, хлористый калий, жидкое фосфорное удобрение – концентрированный 75,2%-ный водный раствор H_3PO_4 (P_2O_5 – 54%, плотность 1,65 г/см³). Ортофосфорная кислота в обычных условиях смешивается с водой в любых соотношениях, не проявляет сильных окислительных свойств. Продолжительность опыта 30 дней. Растения выращивали в пластиковых дренажированных сосудах с перфорированным дном для сбора избыточной влаги в специальные поддоны. На дно сосуда был уложен дренажный слой из среднезерных гранул керамзита общей массой 100 г. Путём периодической вентиляции температура воздуха в экспериментальном объёме фитотрона поддерживалась на уровне 24-25⁰С днём и 18-19⁰С ночью, при колебаниях влажности 50-70%.

ЖУ применяют в сельском хозяйстве для основного внесения в почву ранней весной и осенью под вспашку, в период предпосевной культивации и в ранние фазы вегетации, а также вместе с поливной водой при орошении для некорневой подкормки. Использование ЖУ более эффективно в сравнении с твердыми удобрениями:

- обеспечивается высокая равномерность внесения питательных веществ;
- обеспечиваются практически полное усвоение питательных веществ и полноценное питание вследствие быстрого проникновения к корням растений;
- коэффициент использования растениями питательных веществ в жидких удобрениях значительно выше, чем в сухих твердых удобрениях;
- ЖУ менее зависимы от засушливых условий;
- позитивно воздействуют на почвенную микрофлору, не подкисляют почву;
- подкормку растворами ЖУ можно совмещать с обработкой почвы средствами защиты растений;
- внесение ЖУ имеет более точную дозировку распределения по площади;
- ЖУ обладают свободной текучестью, не пылят, не слеживаются, влажность не оказывает на них никакого влияния;
- применение ЖУ эффективно для листовой и прикорневой подкормок;
- применение ЖУ повышает урожайность и качество продукции;
- использование ЖУ способствует увеличению устойчивости растений к неблагоприятным погодным условиям: засухе, повышенной влажности, перепадам температур и др.

Для внесения гранулированных удобрений требуется влага, чтобы гранула смогла раствориться и усвоиться растениями, но период, когда влага доступна и находится в необходимом количестве очень непродолжителен. Поэтому переход на использование ЖУ расширяет сроки внесения удобрений. Благодаря этому снижается нагрузка на парк техники и гарантированно обеспечивается подкормка культуры, уменьшается риск «непопадания в технологические сроки».

Результаты учета сухой биомассы надземной части растений пшеницы представлены в таблице 1.

Установлено, что на фоне $N_{60}K_{60}$ при имеющемся почвенном плодородии дерново-подзолистого почва при дозе 60 кг д.в./га P_2O_5 использование ортофосфорной кислоты вместо суперфосфата способствует повышению продуктивности в среднем на 10%.

1. Влияние формы фосфорного удобрения на продуктивность 30-дневных растений яровой пшеницы, г/сосуд

Вариант опыта		P_2O_5 , кг д.в./га	Среднее из трех повторностей
$N_{60}P_{60}K_{60}$	Суперфосфат	60	2,68
	ОФК		2,93
$N_{60}P_{90}K_{60}$	Суперфосфат	90	2,84
	ОФК		2,99

Высокую потребность в фосфорных удобрениях испытывают молодые растения, начиная с этапа прорастания. В этот период растения усваивают до 75% общей потребности за весь вегетационный период. Возможный недостаток фосфора в начале вегетации зачастую бывает трудно компенсировать за счёт подкормок в последующие периоды развития. Фосфорный метаболизм имеет особенность, заключающуюся в том, что молодые растения создают внутренний фосфорный запас и могут его перераспределить при необходимости по разным органам и тканям.

Поэтому в опыте, помимо вариантов с одним основным припосевным внесением, испытывали также способы внесения разных форм фосфорных удобрений в подкормку, разделяя общую дозу 60 кг д.в./га P_2O_5 , на основную и подкормку в двух разных соотношениях 45:15 и 30:30. Подкормку провели на 20-й день после формирования 2-го настоящего листа, для опрыскивания использовали рабочий раствор в виде 5-кратно разбавленной ОФК, суперфосфат вносили в зону корней. Исследования показали, что ортофосфорная кислота высокоэффективное фосфорное удобрение (табл. 2).

2. Влияние суперфосфата и ОФК на продуктивность 30-дневных растений яровой пшеницы при основном внесении и в подкормку в соотношениях 45:15 и 30:30 кг д.в./га P_2O_5 (г сухой массы/сосуд)

Вариант опыта	Среднее из трех повторностей	
	Суперфосфат	ОФК
$N_{60}P_{60}K_{60}$	2,68	2,93
$N_{60}P_{(45+15)}K_{60}$	2,77	2,67
$N_{60}P_{(30+30)}K_{60}$	2,64	2,82
HCP_{05}	0,37	0,27

Высокая концентрация основного питательного вещества делает её экономически выгодной в сравнении с другими твердыми фосфорными удобрениями и позволяет значительно сократить расходы на перевозку, хранение и внесение.

Рациональное использование удобрений при возделывании различных сельскохозяйственных культур – самый быстрый способ повышения их урожайности. Использование фосфорных минеральных удобрений особенно, в засушливых условиях, осложняется дефицитом влаги, при этом на ЖУ отзывчивость различных растений, как правило, более высокая.

Заключение. Ортофосфорная кислота – полноценное высокоэффективное удобрение, которое может быть использовано на различных почвах для всех сельскохозяйственных культур. Особенно она рекомендуется для засушливых условий, подкормки и/или орошаемого земледелия. Высокое содержание фосфора обеспечивает равномерный и интенсивный рост растений в течение всего вегетационного периода и увеличивает урожайность.

Полученные в вегетационном опыте данные по продуктивности 30-дневных растений яровой пшеницы показывают, что проявляется положительное влияние ортофосфорной кислоты при использовании её в качестве фосфорного удобрения, особенно в подкормку во время

вегетации. При этом важно отметить высокую технологичность агрохимиката: после опрыскивания пятикратно разбавленным раствором ОФК на растениях отсутствовали следы ожогов. Это особенно важно при выращивании культур на бедных почвах, в годы с большим количеством осадков или в условиях орошения.

Физиологически нейтральное удобрение хорошо растворяется в воде. Удобрение не содержит вредных примесей и полностью соответствует требованиям экологической безопасности. Целесообразно рациональное сочетание припосевного твердых и в подкормку жидких фосфорных удобрений.

Литература

1. Иванов А.Л., Сычев В.Г., Державин Л.М., Карпунин А.И. Комплекс технологических агрохимических и биологических воздействий на фосфатный режим почв и продуктивность земледелия // Плодородие, 2009. - №1. - С. 4-7.
2. Сергеев К. А. ЖКУ :особенности использования в сельхозпроизводстве//Ресурсосберегающее земледелие, 2013, №1. – С. 40-44.
3. Nutrient Source Specifics. 2010. IPNI. www.ipni.net/specifics-en
4. Torres-Dorante L.O., Claassen N., Steingrobe B. et al. 2005. J. Plant Nutr. Soil Sci., 168: 352-358.
5. Engelstad O.P. and Allen S.E. 1971. Soil Sci. Soc. Am. Proc., 35: 1002-1004.
6. Holloway R.E., Bertrand I., Frischke A.J. et al. 2001. Plant and Soil, 236: 209-219.
7. Holloway R., Frischke B., Frischke A. 2006. Fluid J., Spring 2006: 1-2.
8. Fluid Fertilisers: A South Australian Manual. 2008. Holloway B., McLaughlin M., McBeath T., Kelly J. (eds). The University of Adelaide, GRDC, SARDI, CSIRO, Australia. 111 p.

9. Montalvo D., Degryse F., McLaughlin M.J. 2014a. Soil Sci. Soc. Am. J., 78: 214-224.
10. Pierzynski J., Hettiarachchi G. 2016. Fluid J., Winter 2016: 4-9.
11. Montalvo D., Degryse F., McLaughlin M.J. 2015. Soil Sci. Soc. Am. J., 79: 577-584.
12. Khatiwada R., Hettiarachchi G.M., Mengel D.B., Fei M. 2012. Soil Sci. Soc. Am. J., 76: 2006-2018.
13. Smith D.R., Harmel R.D., Williams M. et al. 2016. Agricultural and Environmental Letters, 1: 1-4.
14. Буйлова В.П. Баланс питательных веществ при систематическом внесении разных форм сложных удобрений в севообороте. В кн.: Состав и свойства почв северо-востока Европейской части СССР и воспроизводство их плодородия в связи с обработкой и применением удобрений. Пермь. 1985. - С. 54-60.
15. Карклиныш А.А. 1985. Эффективность запасного внесения жидкого полифосфата аммония и твердых фосфорно-калийных минеральных удобрений. Тр. Латв. с.-х. акад., т. 233. С. 17-21.
16. Махматмуратов А.У. 2012. Наука и современность, 17: 164-168.
17. Зокиров Х.Х., Нормуратов О.У., Жураев Э.Б. и др. 2015. Влияние полифосфатов на рост, развитие вегетативных и генеративных органов хлопчатника. В кн.: Наука сегодня: теоретические и практические аспекты. Междунар. научн.-практ. конф. Научный центр «Олимп». Москва. С. 207-214.
18. Norton R., Christie R., Howie P., Walker C. 2008. Research Summary – Altering the rate of P supply to crops – field evaluations. GRDC Nutrient Management Initiative project report. anz.ipni.net/article/ANZ-3054.
19. Engelstad O.P., Terman G.L. 1980. Agronomic effectiveness of phosphate fertilizers. In: Khasawneh F.E., Sample E.C., Kamprath E.J. (eds). The role of phosphorus in agriculture. ASA, Madison, USA. P. 311-322.
20. Hedley M., McLaughlin M. 2005. Reactions of phosphate fertilizers and by-products in soils. In: Phosphorus: Agriculture and the Environment. Agronomy Monograph, 46: 181-252.

EFFICIENCY OF LIQUID PHOSPHORUS FERTILIZERS

V.G. Sychev, E.N. Akanov, N.I. Akanova

Pryanishnikov Institute of Agrochemistry, Pryanishnikova ul. 31A, 127434 Moscow, Russia

The results of the growing experience with spring wheat of the orthophosphoric acid (OFC) efficiency as phosphorous fertilizer are presented. It has been shown that the use of OFC in doses of 60-100 liters/ha in the main input into the soil and 15-30 liters/ha when spraying OFC as side-dressing had significant advantages over solid forms of phosphorus fertilizers.

Keywords: soil fertility, phosphorus, liquid fertilizers, productivity.

УДК 631.582:631.452:633.559

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ РАЗНОЙ НАСЫЩЕННОСТИ ЛЬНЯНОГО СЕВООБОРОТА УДОБРЕНИЯМИ

Н.Н. Кузьменко, к.с.-х.н., ФГБНУ Федеральный научный центр лубяных культур,
г. Тверь, Россия, E-mail: kuzmenko.nataliya2010@mail.ru

Работа выполнена по Госзаданию №075-00853-19-00 при финансовой поддержке Минобрнауки

Изучено влияние разной насыщенности 8-польного льняного севооборота органическими и минеральными удобрениями на изменение плодородия дерново-подзолистого почвенного слоя и продуктивность. Приведена их эффективность в условиях Центрального Нечерноземья. Внесение на 1 га севооборотной площади 5 т навоза + N₂₆P₄₆K₆₂ дало самую высокую окупаемость удобрений прибавкой урожая (7,9 кг/кг) и окупаемость дополнительных затрат стоимостью прибавки урожая (1,1 руб/руб.), но не обеспечило сохранение запасов гумуса. Положительный баланс NPK +90 кг/га, гумуса +0,30 т/га, среднегодовую продуктивность 3,57 т з.е/га обеспечило внесение 10 т/га навоза + N₁₉P₅₀K₈₁ = 280 кг д.в/га. Наибольшую продуктивность севооборота 3,97 т з.е/га при снижении качества продукции, положительный баланс NPK +151 кг/га и гумуса +0,30 т/га получили при внесении 12 т/га навоза + N_{27,5}P_{72,5}K₁₀₀ = 360 кг д.в/га. При насыщенности севооборота 280-370 кг д.в/га затраты на удобрения не окупались стоимостью прибавки урожая.

Ключевые слова: льняной севооборот, насыщенность удобрениями, баланс NPK, гумус, продуктивность, эффективность.

DOI: 10.25680/S19948603.2020.113.02

В современных экономических условиях, когда уровень интенсификации земледелия значительно снизился, важное значение приобретает сохранение плодородия

почв. В настоящее время, при резком превышении выноса питательных веществ из почвы над их поступлением, отрицательный баланс по азоту составляет 31,3