

ВЛИЯНИЕ СУПЕРФОСА НА УРОЖАЙНОСТЬ КУЛЬТУР ПРИ ОСНОВНОМ ВНЕСЕНИИ

Л. Б. КАРЕНГИНА,
кандидат сельскохозяйственных наук, доцент,
Уральский государственный аграрный университет
(620075, г. Екатеринбург, ул. К. Либкнехта, д. 42; тел.: 89617789086)

Ключевые слова: суперфосфат, суперфосфатно-фосфоритное удобрение (суперфос), растворимость фосфатов почвы, динамика подвижного фосфора, урожайность.

Рассматривается одна из важных проблем сельскохозяйственного производства Среднего Урала – применение фосфорных удобрений, сокращение объемов которых приводит к снижению фосфатного уровня почв. Суперфосфатно-фосфоритные удобрения (суперфосы) получают из сырья, не пригодного для производства водорастворимых форм (суперфосфатов). Затраты серной и фосфорной кислот на разложение фосфатного сырья для получения суперфосов в два раза ниже, чем на производство суперфосфата. В результате получается продукт неполного разложения фосфорита, содержащий три формы фосфорной кислоты: водо-, цитратно- и труднорастворимую. Динамика подвижного фосфора в почве показывает, что переход фосфора из суперфосов в почвенный раствор идет медленнее, чем из суперфосфата, и продолжается до конца вегетации. В начале роста растения используют водорастворимую часть удобрения, позднее цитратнорастворимую, а к концу вегетационного периода становится доступной трудно-растворимая форма фосфора. Внесение фосфорных удобрений различной растворимости обеспечивает получение прибавки урожая полевых культур по отношению к азотно-калийному фону в пределах 0,29–0,77 т/га з. е. Прирост урожайности сельскохозяйственных культур от применения суперфосов зависит от содержания в них усвояемой формы фосфорной кислоты: чем выше содержание доступного фосфора, тем существенно прибавка урожайности. Эффективность применения суперфоса, получаемого из «мягких» Чилисайских фосфоритов и содержащего до 70 % усвояемой фосфорной кислоты от общего количества, под зерновые культуры составляет 94 % относительно двойного суперфосфата, а под однолетние травы – равна ему. Волховский и кингисеппский суперфосы содержат меньше фосфора в усвояемой форме (от общего количества 66 и 60 % соответственно), поэтому их эффективность несколько ниже. У волховского при внесении под зерновые культуры 91 % по отношению к двойному суперфосфату, а под однолетние травы – 88 %, в среднем – 89 %, кингисеппского – 87,85 и 86 % соответственно.

INFLUENCE OF SUPERPHOS ON YIELD UNDER BASIC APPLICATION

L. B. KARENGINA,
candidate of agricultural sciences, associate professor,
Ural State Agrarian University
(42 K. Liebknecht Str., 620075, Ekaterinburg; tel.: 89617789086)

Keywords: superphosphate, superphosphate-phosphate fertilizer (superphos), solubility of soil phosphates, dynamics of a mobile phosphorus, yield.

The article considers one of the important problems of agricultural production in the Middle Urals – the application of phosphoric fertilizers, reduction of which leads to decrease of the phosphate level of soils. Superphosphate-phosphate fertilizers (superphos) are produced of raw materials not suitable for production of water-soluble substances (superphosphates). The cost of sulfuric and phosphoric acids on the decomposition of phosphate raw material for producing superphos in two times less than for the production of superphosphate. As a result we obtain a product of incomplete decomposition of phosphorite containing three forms of phosphoric acid: water-, citric- and poorly-soluble. Dynamics of mobile phosphorus in the soil shows that the process of transferring phosphorus from superphos into soil solution is slower than from superphosphate, and it continues to the end of the vegetation. In the early growth plants use the water-soluble part of the fertilizer, later the citric-soluble part, and by the end of the vegetation period the poorly-soluble form of phosphorus becomes available. The application of phosphate fertilizers of different solubility provides a yield increase of field crops in relation to nitrogen-potassium background in the range of 0.29–0.77 t/ha of grain units. Increase of the yield of agricultural crops because of the use of superphos depends on the content of assimilable form of phosphoric acid: then higher the content of an available phosphorus, then higher the yield increase. Efficiency of the use of superphos made of “soft” phosphates of the Chilisaisky phosphate field and containing up to 70 % of assimilable phosphorus acid of the total quantity, is 94% for cereals compared to double superphosphate, and they are equal, when used for annual grasses. The Volkhovsky, Kingisepp superphoses contain less phosphorus in the assimilable form (66 and 60 % of the total number, respectively), so their efficiency is somewhat lower. When we use the Volkhovsky superphos for cereal crops, 91 % are taken up compared to the double superphosphate, and for annual plants – 88 %, on average – 89 %, the Kingisepp one – 87,85 % and 86 %, respectively.

Положительная рецензия представлена Е. П. Шаниной, доктором сельскохозяйственных наук, руководителем селекционно-технологического центра по картофелю Уральского научно-исследовательского института сельского хозяйства.

Получение высоких урожаев сельскохозяйственных культур возможно только при комплексном воздействии на все факторы роста и развития растений, в частности на уровень обеспеченности питательными веществами. Оптимальное содержание доступных для питания растений элементов в почве можно достичь высоким уровнем применения органических и минеральных удобрений. Сбалансированное применение удобрений позволяет получать не только высокие урожаи, но и экологически чистые и высокого качества [1, 2, 3, 5]. Резкое сокращение объемов применения удобрений приводит к истощению почвенного плодородия, ухудшению агрохимических и физических показателей почвы [4]. Баланс азота, фосфора и калия – отрицательный, коэффициент возврата элементов питания не превышает 30 % [5].

Эффективным приемом улучшения фосфатного режима почв является фосфоритование, т. е. применение фосфоритной муки. Фосфоритная мука – самое дешевое фосфорное удобрение. Но она не содержит водорастворимой формы фосфора. Ее эффективность зависит от целого ряда условий: геологического возраста фосфорита, тонины помола, величины гидролитической кислотности почвы, сопутствующих удобрений, выращиваемых культур и т. д.

Производство суперфосфата требует сырья определенного качества, энергоемко и высокзатратно. Поэтому в настоящее время разрабатываются технологии переработки фосфорного сырья с получением удобрений, содержащих водорастворимые формы фосфата, цитратно- и труднорастворимые. Достигается это путем неполного разложения фосфорита за счет меньшего объема применения для его разложения серной и фосфорной кислоты. Такое удобрение получило название суперфосфатно-фосфоритное, или суперфос.

Цель и методика исследований. Целью наших опытов было изучение суперфосов, полученных на основе фосфоритной муки разных месторождений.

Полевые опыты закладывали на темно-серой лесной тяжелосуглинистой почве. Содержание гумуса (по методу Тюрина) – 6,5 %, рН_{сол.} – 5,9, гидролитическая кислотность – 4,7 ммоль/100 г, сумма обменных оснований – 27 ммоль/100 г. Обеспеченность азотом, фосфором и калием средняя: содержание азота – 155 мг/кг, фосфора (P₂O₅) – 75, калия (K₂O) – 115. Азот определяли по методу Корнфилда, фосфор и калий по методу Кирсанова (0,2 н HCl). Средний балл окультуренности 76, почва относится к группе освоенных и отражает уровень природного плодородия. Коэффициент действия удобрений, рассчитанный по методу Ю. И. Ермохина, показывает, что ограничивающим фактором для получения урожая будет недостаток элементов питания, особенно

фосфора, коэффициент действия которого равен 2,13 (для азота – 1,29, калия – 1,56). Поднять фосфатный уровень в почве можно только путем применения фосфорных удобрений [6–11].

В опыте применяли фосфорные удобрения, полученные из НИУИФ им. Самойлова. В качестве фосфорных удобрений использовали двойной суперфосфат из Чилисайских фосфоритов (42,2 % усвояемого P₂O₅), суперфос из этих же фосфоритов (40,9 % общего P₂O₅), суперфос Волховского химического комбината (41,5 % общей P₂O₅) и суперфос из Кингисеппских фосфоритов (32,9 % общего P₂O₅). Суперфосы получают при меньших затратах кислот: на 1 т P₂O₅ расход кислот в два раза меньше, чем при производстве двойного суперфосфата. В результате неполного разложения фосфорита фосфор в суперфосах содержится в форме монокальцийфосфата, дикальцийфосфата и неразложившейся части фосфоритного концентрата. Суперфосы не содержат свободной фосфорной кислоты, а содержание кальция (CaO) составляет 46 %, магния (MgO) – 1,75 %. Удобрения гранулированные, размер гранул – 1–3 мм, прочность – от 1 до 4,5 Мпа. Водорастворимая часть в чилисайском суперфосе составляет 70 % от общего содержания, в волховском – 66 %, кингисеппском – 60 %. Дозы удобрений рассчитывали: двойной суперфосфат по содержанию усвояемой фосфорной кислоты, суперфосы – по общему содержанию (P₆₀).

Площадь делянки – 80 м², повторность – четырехкратная. Технология возделывания культур общепринятая на Среднем Урале. Уборка урожая зерновых культур поделаяночная комбайном «Сампо», однолетних трав – КИР-1,5. Для удобства сравнения урожаи культур пересчитаны в зерновых единицах.

Результаты исследований. Опыты по изучению эффективности суперфоса закладывали по схеме: 1) без удобрений; 2) N₆₀K₆₀ – фон; 3) фон + двойной суперфосфат (Рсд); 4) фон + суперфос чилисайский (Рсп Ч); 5) фон + суперфос волховский (Рсп В); 6) фон + суперфос кингисеппский (Рсп К). Фон – аммиачная селитра (33,4 % N), хлористый калий (56 % K₂O). Все удобрения вносили под предпосевную культивацию.

Наблюдение за динамикой подвижного фосфора (по Кирсанову) показало, что в начале вегетации количество его в почве выше при внесении удобрений, содержащих фосфор в усвояемой форме – двойной суперфосфат и суперфос чилисайский (рис. 1).

При внесении двойного суперфосфата степень обеспеченности почвы фосфором поднимается до уровня высокой, при использовании суперфоса чилисайского и волховского до повышенного уровня. В середине вегетации степень обеспеченности почвы фосфором остается на уровне средней (двойной су-

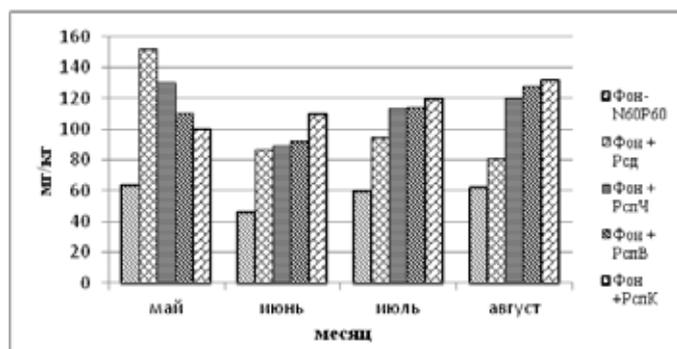


Рис. 1. Динамика подвижного фосфора в течение вегетации

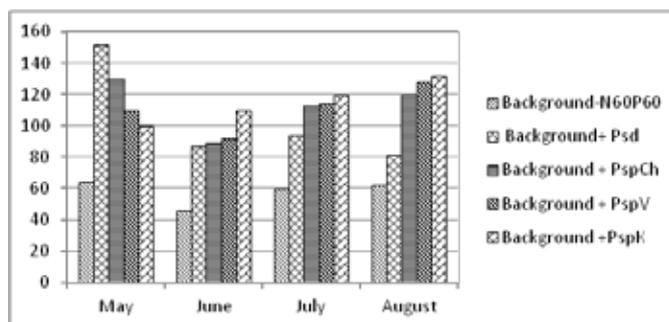


Fig. 1. Dynamics of active phosphorus during the vegetation period, mg/kg

Таблица 1
Растворимость почвенных фосфатов (по Голубеву) при внесении фосфорных удобрений, мг/кг P_2O_5

Table 1
Solubility of soil phosphate (according to Golubev) at applying phosphate fertilizers, mg/kg P_2O_5

Вариант Variant	Нормальность HCl Normality HCl						
	0,05	0,2	0,4	0,5	0,6	0,8	1,0
Суперфосфат двойной Double superphosphate	60	160	200	215	250	275	290
Чилисайский суперфос Chilisaysky superphos	46	126	184	207	253	322	380
Волховский суперфос Volkhovsky superphos	43	119	173	195	278	354	396
Кингисеппский суперфос Kingiseppsky superphos	44	128	157	177	293	372	410

перфосфат, суперфосы чилисайский и волховский), при внесении суперфоса кингисеппского – повышенной. В июле и до конца вегетации с применением суперфоса независимо от месторождения степень обеспеченности почвы фосфором остается повышенной. Без внесения фосфорных удобрений (фон $N_{60}K_{60}$) в период интенсивного роста полевых культур степень обеспеченности почвы фосфором опускается до низкой, что весьма неблагоприятно сказывается на урожае полевых культур.

Переход в доступное состояние фосфора при внесении суперфосов идет постепенно в течение всей вегетации. В начале вегетации используется водорастворимая часть удобрения, в середине вегетации – цитратнорастворимая, а в конце – труднорастворимая.

Наблюдения за динамикой фосфора при внесении фосфорных удобрений показали, что переход фосфора в почву в подвижные формы зависит от увлажнения почвы, в частности, от выпадения атмосферных осадков. Коэффициент корреляции содержания подвижного фосфора в почве и количества выпавших осадков для двойного суперфосфата равен 0,701, для суперфоса чилисайского – 0,827, волховского – 0,851, кингисеппского – 0,921. Очевидно, этим можно объяснить колебания по годам эффективности применения суперфоса по сравнению с двойным суперфосфатом.

Интенсивность перехода фосфатов почвы в почвенный раствор можно проследить по растворимо-

сти фосфорных соединений в соляной кислоте различной концентрации (по Голубеву) (табл. 1).

Данные растворимости почвенных фосфатов свидетельствуют о том, что при внесении водорастворимых форм фосфорных удобрений (двойной суперфосфат) в почве накапливаются в основном легко-растворимые фосфорные соединения (концентрация соляной кислоты 0,05, 0,2 н), запасы труднорастворимых фосфорных соединений в этом варианте невелики, не превышают 290 мг/кг в расчете на P_2O_5 .

Растворимость почвенных фосфатов при внесении суперфосов практически одинакова. При малых концентрациях соляной кислоты (до 0,5 н) переход фосфорных соединений в доступное растениям состояние ниже, чем при внесении двойного суперфосфата, но больше запасов труднорастворимых соединений, которые могут быть доступны растениям в той или иной мере в течение вегетации. Таким образом, переход фосфора в доступное для питания растений состояние при внесении фосфорных удобрений, содержащих разные по растворимости формы фосфорных соединений, идет более равномерно.

Следует отметить, что внесение суперфоса способствует увеличению подвижного фосфора в почве (0,2 н HCl) на уровне повышенной обеспеченности 119–128 мг/кг. Можно предположить, что растения будут испытывать недостаток фосфора в начале вегетации (оптимальным для темно-серой лесной почвы считается содержание фосфора 160 мг/кг почвы).

Таблица 2
Эффективность удобрений на темно-серой лесной почве, т/га з. е.

Table 2

Efficiency of fertilizers on dark grey forest soil, tones per hectare of grain units

№	Варианты опыта	Пшеница		Ячмень		Овес		Однолетние травы		Среднее за ряд лет	
		Урожайность	Прибавка к фону, т	Урожайность	Прибавка к фону, т	Урожайность	Прибавка к фону, т	Урожайность	Прибавка к фону, т	Урожайность	Прибавка к фону, т
		<i>Wheat</i>		<i>Barley</i>		<i>Oat</i>		<i>Annual grasses</i>		<i>Average value for several years</i>	
<i>Variants of experiment</i>		<i>Yield</i>	<i>Back-ground gain, t</i>	<i>Yield</i>	<i>Back-ground gain, t</i>	<i>Yield</i>	<i>Back-ground gain, t</i>	<i>Yield</i>	<i>Back-ground gain, t</i>	<i>Yield</i>	<i>Back-ground gain, t</i>
1	Без удобрений <i>No fertilizers</i>	1,31		2,24		1,92		3,15		2,15	
2	Фон N ₆₀ K ₆₀ <i>Background N₆₀K₆₀</i>	1,72		2,62		2,28		4,14		2,69	
3	Фон + (Рсд) <i>Background + double superphos</i>	2,65	0,93	3,12	0,50	2,84	0,56	5,13	0,99	3,46	0,77
4	Фон + (Рсп Ч) <i>Background + Chilisyayky superphos</i>	2,29	0,57	3,10	0,42	2,82	0,54	5,23	1,09	3,36	0,67
5	Фон + (Рсп В) <i>Background + Volkhovsky superphos</i>	2,19	0,47	3,00	0,38	2,66	0,38	4,53	0,39	3,09	0,40
6	Фон + (Рсп К) <i>Background + Kingiseppsky superphos</i>	2,10	0,38	2,95	0,33	2,52	0,24	4,36	0,22	2,98	0,29

Главным критерием оценки эффективности удобрений является урожайность полевых культур. Результаты исследования показывают, что удобрения положительно влияют на продуктивность культур: внесение азотно-калийного удобрения увеличивает урожайность зерновых культур практически одинаково (табл. 2). Увеличение урожайности пшеницы, ячменя и овса составляет 0,36–0,41 т/га з. е. Наибольший прирост урожайности в этом варианте однолетних трав – 0,99 т/га з. е. Применение двойного суперфосфата на фоне азотно-калийных удобрений повышает урожайность зерновых культур по сравнению с неудобренным вариантом более чем в три раза, а однолетних трав – в два раза. Влияние суперфосов на увеличение урожайности зависит от количества усвояемой фосфорной кислоты в удобрении. Самая высокая эффективность отмечена при внесении суперфоса Чилисайского месторождения: пшеница – 2,29, ячмень – 3,10, овес – 2,82 т/га з. е. Средняя прибавка к варианту без удобрений – 1,21 т/га з. е., а к фону – 0,67.

Волховский и кингисеппский суперфосы, содержащие меньшее количество фосфорной кислоты в усвояемой форме, чем чилисайские, имеют более низкую эффективность. При внесении волховского суперфоса прибавки урожайности зерновых культур

колеблются в пределах 0,74–0,88 т/га з. е. по отношению к варианту без применения удобрений и 0,38–0,47 т/га з. е. – по отношению к фону. Несколько меньше прибавки получены при внесении кингисеппского суперфоса: 0,60–1,21 т/га з. е. при сравнении с вариантом без применения удобрений и 0,22–0,38 т/га з. е. при сравнении с азотно-калийным фоном. Тем не менее внесение суперфосов – эффективный прием удобрения полевых культур.

При изучении фосфорных удобрений разной растворимости принято сравнивать их эффективность с суперфосфатом (водорастворимая форма) (табл. 3).

Анализ урожайных данных показывает, что суперфос, полученный из фосфоритной муки Чилисайского месторождения, по эффективности приближается к суперфосфату: эффективность его применения под зерновые культуры составляет 84–99 % по отношению к суперфосфату, а при внесении под однолетние травы он дает такой же эффект, как и применение водорастворимой формы. Несколько ниже, но все-таки довольно высокий эффект наблюдается при внесении волховского и кингисеппского суперфосов. В среднем за ряд лет применение волховского суперфоса дает эффективность 89 % по отношению к двойному суперфосфату, а кингисеппского – 86 %.

Таблица 3
Влияние фосфорных удобрений на урожайность культур, т/га з. е.
Table 3

Impact of phosphorus fertilizers on crop yield, tones per hectare of grain units

№	Варианты опыта	Пшеница		Ячмень		Овес		Однолетние травы		Среднее за ряд лет	
		Урожайность	Эффект по отношению Рсд, %								
	Yield	Effect with regard to double superphos, %	Yield	Effect with regard to double superphos, %	Yield	Effect with regard to double superphos, %	Yield	Effect with regard to double superphos, %	Yield	Effect with regard to double superphos, %	
1	Без удобрений <i>No fertilizers</i>	1,31		2,24		1,92		3,15		2,15	
2	Фон N ₆₀ K ₆₀ <i>Background N₆₀ K₆₀</i>	1,72		2,62		2,28		4,14		2,69	
3	Фон + (Рсд) <i>Background + double superphos</i>	2,65	100	3,12	100	2,84	100	5,13	100	3,46	100
4	Фон + (Рсп Ч) <i>Background + Chilisaysky superphos</i>	2,29	84	3,10	99	2,82	99	5,23	101	3,36	97
5	Фон + (Рсп В) <i>Background + Volkhovsky superphos</i>	2,19	83	3,00	96	2,66	94	4,53	88	3,09	89
6	Фон + (Рсп К) <i>Background + Kingiseppsky superphos</i>	2,10	79	2,95	94	2,52	89	4,36	85	2,98	86

Выводы. Рекомендации.

1. Эффективное применение суперфосфов зависит от количества содержащейся в них фосфорной кислоты в усвояемой форме (водо- и цитратнорастворимой).

2. Переход фосфорной кислоты в почвенный раствор идет постепенно и продолжительно, нежели из двойного суперфосфата.

3. Растворимость фосфорных соединений почвы при внесении суперфосфов увеличивается с повышением концентрации кислоты.

Литература

- Афанасьева Р. А., Мерзлая Г. Е. Содержание подвижного фосфора в почвах при длительном применении удобрений // Агрохимия. 2013. № 2. С. 30–36.
- Воронин А. Н. Влияние различных систем земледелия на динамику содержания подвижного фосфора в черноземе типичном // Агрохимия. 2014. № 5. С. 32–37.
- Завьялова Н. Е., Сторожева А. Н. Влияние длительного применения минеральных удобрений на фосфатный режим дерново-подзолистой почвы // Агрохимия. 2015. № 9. С. 33–40.
- Курносова Е. В., Гришин Г. Е. Антропогенное воздействие на фосфатный режим черноземной почвы // Вестник Ульяновской ГСХА. 2013. № 3.
- Никитишен В. И., Личко В. И. Взаимосвязи в минеральном питании ячменя при длительном применении удобрений на серой лесной почве ополья // Агрохимия. 2014. № 10. С. 45–52.
- Прошкин В. А., Козеичева Е. С. Эффективность применения фосфорных удобрений под пшеницу в зависимости от агрохимических свойств почв // Агрохимия. 2015. № 3. С. 34–42.
- Серая Т. М., Богатырева Е. Н., Мезенцева Е. Г., Бирюкова О. М. Влияние системы удобрения на продуктивность севооборота и изменение агрохимических показателей дерново-подзолистой легкосуглинистой почвы // Агрохимия. 2011. № 11. С. 17–24.
- Усманов С., Тойпасова У. М., Омарова Г. Т., Байбацаева Ш., Исахова М. М., Козыбакова Э. Б. Агрохимическая эффективность новых форм фосфоросодержащих биоудобрений в посевах хлопчатника // Агрохимия. 2014. № 6. С. 48–54.
- Шафран С. А. Влияние типа почв и содержания в них подвижных фосфатов на эффективность фосфорных удобрений // Агрохимия. 2015. № 3. С. 26–33.

10. Шеуджен А. Х., Суетов В. П., Онищенко Л. М. Фосфатный режим чернозема выщелоченного Западного Предкавказья в условиях агрогенеза // Труды Кубанского государственного аграрного университета. 2014. Вып. 2. С. 98–108.

11. Энхтуяа Б., Убугунов Л. Л., Меркушева М. Г. Влияние разных форм фосфорита на урожайность и качество зерна яровой пшеницы на каштановой почве Северной Монголии // Агрохимия. 2014. № 5. С. 47–53.

References

1. Afanasieva R. A., Merzlaya G. E. Content of active phosphorus in soil at long-term application of fertilizers // *Agrochemistry*. 2013. № 2. P. 30–36.

2. Voronin A. N. Influence of various systems of agronomy on the dynamics of the content of active phosphorus in typical chernozemic soil // *Agrochemistry*. 2014. № 5. P. 32–37.

3. Zavalova N. E., Storozheva A. N. Impact of the long-term application of mineral fertilizers according to phosphate mode on soddy-podzolic soil // *Agrochemistry*. 2015. № 9. P. 33–40.

4. Kurnosova E. V., Grishin G. E. Anthropomorphic impact on phosphate mode of chernozemic soil // *Messenger of the Ulyanovsk State Agricultural Academy*. 2013. № 3.

5. Nikitishen V. I., Lichko V. I. Relation in mineral nutrition of barley at long-term application of fertilizers on grey forest soil of high plains // *Agrochemistry*. 2014. № 10. P. 45–52.

6. Proshkin V. A., Kozeicheva E. S. Efficiency of phosphorus fertilizers application for wheat depending on agrochemical characteristics of soil // *Agrochemistry*. 2015. № 3. P. 34–42.

7. Seraya T. M., Bogatyreva E. N., Mezentseva E. G., Biryukova O. M. Impact of fertilizing system on the productivity of crop rotation and the change of agrochemical indexes of soddy-podzolic lightly loamy soil // *Agrochemistry*. 2011. № 11. P. 17–24.

8. Usmanov S., Toipasova U. M., Omarova G. T., Baybashaeva Sh., Isakhova M. M., Kozybakova E. B. Agrochemical efficiency of new forms of phosphorus biofertilizers in seeding cotton plant // *Agrochemistry*. 2014. № 6. P. 48–54.

9. Shafran S. A. Influence of the type of soil and content of active phosphates in soils on efficiency of phosphorus fertilizers // *Agrochemistry*. 2014. № 6. P. 48–54.

10. Sheudzhen A. Kh., Suetov V. P., Onischenko L. M. Phosphate mode of degraded chernozem of western Fore-Caucasus in the terms of agro-genesis // *Works of the Kuban State Agrarian University*. 2014. Issue 2. P. 98–108.

11. Enkhtuyaa B., Ubugunov L. L., Merkusheva M. G. Impact of various forms of phosphorite on yield and quality of the grain of summer wheat on chestnut soil of Northern Mongolia // *Agrochemistry*. 2014. № 6. P. 48–54.