



# Землеробство, грунтознавство, агрохімія

УДК 631.452:631.413.1

© 2018

## **ФОСФАТНИЙ ФАКТОР ІНТЕНСИВНОСТІ ТА ФОСФАТ- БУФЕРНА ЄМНІСТЬ — ОСНОВНІ ІНСТРУМЕНТИ ДІАГНОСТИКИ ТА ОПТИМІЗАЦІЇ ФОСФАТНОГО СТАНУ ҐРУНТІВ**

*Р.С. Трускавецький<sup>1</sup>, В.В. Зубковська<sup>2</sup>*

*<sup>1</sup>доктор сільськогосподарських наук, професор, член-кореспондент НААН*

*<sup>2</sup>кандидат сільськогосподарських наук*

*ННЦ «Інститут ґрунтознавства та агрохімії імені О.Н. Соколовського»*

*вул. Чайковська, 4, м. Харків, 61024, Україна*

*e-mail: <sup>1</sup>truskavetskiy@ukr.net, <sup>2</sup>vikvik09@meta.ua*

Надійшла 30.07.2018

**Мета.** Удосконалити спосіб діагностики та оптимізації фосфатного стану ґрунтів. **Методи.** Теоретичного узагальнення, лабораторно-модельні дослідження, хімічний аналіз, розрахунково-аналітичний. **Результати.** Установлено, що всі наявні методи діагностики фосфатного стану ґрунтуються лише на використанні різних екстрагентів, певною мірою адаптованих до ґрунтового середовища залежно від його кислотно-основного стану, карбонатності, гранулометричного складу тощо. Дослідження показали, що фосфатний стан ґрунту найоб'єктивніше оцінюється за його фосфат-буферною здатністю з урахуванням фосфат-буферної ємності та показника концентрації фосфатних іонів ( $pP$ ) у ґрунтовому розчині. За кривою буферності визначають, скільки потрібно внести фосфорних добрив у розрахунку на відповідну масу ґрунту або ж реалізувати інші технологічні заходи, щоб перевести фактичне значення фосфатного фактора інтенсивності (ФФІ) в оптимальний стан. Для всіх ґрунтів незалежно від їх фосфат-буферної ємності верхню межу допустимого ФФІ визначено на рівні 3,1 – 3,3 од. У середньобуферних ґрунтах і ґрунтах із більшою буферною здатністю досягти цього значення майже неможливо. Обґрунтовано необхідність використання в діагностуванні трофного режиму ґрунтів процеси його саморегуляції. Для цього розроблено діагностично-оптимізаційну графічну модель на основі кривої буферності з нанесенням на цю криву оптимальних параметрів фосфатного стану. Установлено параметри фосфат-буферних властивостей ґрунтів, що дало змогу вдосконалити спосіб діагностики фосфатного стану, рівень його стійкості та способи оптимізації. **Висновки.** Результати досліджень пока-

**зали, що в глейових ґрунтах для оптимізації фосфатного стану порівняно з неоглеєними потрібно вносити істотно більшу дозу добрив. Це зумовлено тим, що оглеєні ґрунти мають вищу буферну ємність в іммобілізаційному інтервалі. Оптимізація фосфатного стану ґрунтів на основі показників фосфат-буферної ємності та фосфатного фактора інтенсивності з побудовою відповідної фосфат-буферної графічної моделі є найбільш об'єктивною та ефективною щодо діагностування та оцінювання рівня сталого забезпечення рослин фосфатним живленням.**

**Ключові слова:** ґрунти, фосфатний режим, фосфат-буферність, родючість, акумуляція фосфору, мобілізація фосфору, діагностика фосфатного стану, оптимізація фосфатного стану, фосфатний фактор інтенсивності.

<https://doi.org/10.31073/agrovisnyk201810-02>

У сучасних умовах землекористування набуває особливого значення точність і простота діагностування трофного режиму ґрунту. Від того, наскільки точно, швидко та якісно буде проведено діагностику кожного окремого елементу родючості, залежить відтворення продуктивної функції ґрунту та ефективність застосування добрив. Однією з найбільш проблематичних є діагностика фосфатного стану ґрунту, оскільки фосфатні іони здатні утворювати різноманітні за міцністю зв'язків сполуки та комплекси, що загалом ускладнює процес їх визначення [1–4].

Нині для визначення фосфору в ґрунті є кілька сотень методів, заснованих переважно на застосуванні хімічних екстрагентів — нейтральних солей (м'які методи), кислот і лугів (жорсткі методи).

Найпоширеніші методики визначення рухомого фосфору в ґрунтах — методи Кірсанова, Чирікова, Мачигіна, Олсена, Карпінського-Зам'ятиної, Скофільда. Вибір методу залежить від хімічних, фізичних і фізико-хімічних властивостей ґрунту. Так, скажімо, на кислих та слабокислих ґрунтах використовують кислотні витяжки і різноманітні буферні суміші з вихідним рівнем рН 1–5, на карбонатних ґрунтах — буферні суміші та лужні витяжки з рН 8,5–9,0 (табл. 1).

На жаль, застосування зазначених вище жорстких методів на всіх типах ґрунтів без урахування їхніх генетичних особливостей і ступеня агрогенності, зокрема таких показників, як рН ґрунтового середовища, гранулометричного складу та наявності

фосфоровмісних мінералів, може зумовити отримання необ'єктивних результатів [5–8]. За даними цих авторів, із застосуванням жорстких методів (кислотні та лужні), зокрема на кислих ґрунтах, можна отримати занижені результати щодо вмісту доступних для рослин фосфатів у ґрунті, що пов'язано з явищем вторинних реакцій між екстрагентом і ґрунтовою масою і, навпаки, завищені дані, якщо в ґрунті підвищена кількість апатитоподібних сполук. Щодо лужних ґрунтів, то, навіть незначна їх лужність, спричиняє часткову нейтралізацію кислоти, яку використовують як екстрагент, що також призводить до отримання занижених результатів аналізу. М'які методи можна вважати універсальними, бо їх застосовують для визначення рухомих форм фосфору на різних за генетичною природою ґрунтах [9]. На підставі цього нами використано для діагностики фосфатного стану саме м'які методи Скофільда і Карпінського-Зам'ятиної, які визначають найбільш доступні рослинам фосфатні іони (так званого фосфатного фактора інтенсивності). Виявилось, що отримані за наведеними вище методами дані тісно корелюють з урожаєм лише в межах одного агроекологічного типу ґрунтів або ґрунтів з однаковими фосфат-буферними властивостями.

За нашими дослідженнями [10, 11], фосфатний стан ґрунту можна об'єктивно оцінювати за показниками фосфат-буферної ємності ґрунту з урахуванням величини фосфатного фактора інтенсивності (ФФІ). Показники зміни фосфат-буферних

1. Методи визначення рухомих фосфатів у ґрунтах різної ґенези

Спосіб	Метод	Витяжка	Ґрунти
Жорсткий	Кірсанова	0,2 н HCl	Дерново-підзолисті та сірі лісові
	Чирікова	0,5 н CH <sub>3</sub> COOH	Чорноземи та сірі лісові (непридатний для карбонатних ґрунтів)
	Мачигіна	1% NH <sub>4</sub> HCO <sub>3</sub>	Сіроземи, сіро-бурі, бурі, каштанові, чорноземи, в яких наявні карбонати
М'який	Карпінського-Зам'ятиної	0,03 н K <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	Для більшості ґрунтів
	Скофільда	0,01 М CaCl <sub>2</sub>	Те саме
	Олсена	NaHCO <sub>3</sub>	Для більшості ґрунтів

властивостей визначають за співвідношенням фосфорних добавок у ґрунт чи їх вилученням із нього до відповідної зміни величини активності монофосфатних іонів.

**Мета досліджень** — удосконалення способу діагностики та оптимізації фосфатного стану ґрунтів.

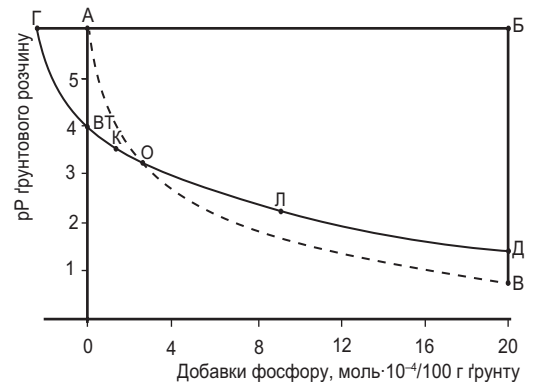
**Методика досліджень.** Дослідження проводили на теоретичних принципах буферних властивостей ґрунтів. Діагностування фосфатного стану ґрунту найкраще здійснювати за допомогою фосфат-буферної графічної моделі, яка будується згідно з ДСТУ 4724:2007 і дає змогу отримати низку буферних показників для діагностики, оптимізації та прогнозу фосфатного стану досліджуваного ґрунту (рисунок).

Кожний ґрунт має свою характерну криву буферності щодо елемента родючості, яку отримують під впливом зростаючих доз меліорантів, добрив та інших видів впливу. Відхилення кривої буферності від так званої кривої «нуль-буферності» (на рисунку позначена пунктирною лінією) характеризує буферну ємність (БЄ). Вона визначається в акумуляційному (БЄп) та в мобілізаційному (БЄн) інтервалах кривої буферності (у балах за 100-бальною шкалою).

Для визначення нормативів агрохімічних навантажень і оцінювання якості трофного живлення рослин на певному ґрунті обов'язковою умовою є отримання інформації про оптимальні параметри фактора інтенсивності (ФІ), яку відображають відповідним відрізком на кривій буферності (див. відрізок КЛ на рисунку). Оптимальні параметри показників концентрації фосфатних іонів

для зернових культур у ґрунтових розчинах для основних типів ґрунтів наведено в монографії [10]. Оптимальні параметри ФІ слід установлювати для кожного ґрунту або ж близьких між собою за ґенезисом і рівнем окультуреності ґрунтів.

Розрахунок кількості добрив залежно від технологічних особливостей унесення проводили з урахуванням маси орного шару ґрунту на 1 га (під суцільну оранку маса орного шару становила 3000 т/га; під культувацію — 1800; локально — 180 т/га).



**Загальний вигляд графічної моделі фосфат-буферності ґрунту (на прикладі зразка евтрофного торфу) [10]:** --- безбуферний субстрат (пісок); — крива буферності ґрунту; VT — вихідний стан елемента родючості; O — точка термодинамічної рівноваги фосфатного обміну; АБВ — стандартна площа буферної ємності (100 балів); ОДВ — площа буферної ємності позитивна (БЄп); ОГА — площа буферної ємності негативна (БЄн); КЛ — відрізок кривої буферності в межах оптимальних параметрів фосфатного «фактора інтенсивності»

Нами використано найбільш показові результати з вивчення фосфат-буферної здатності різних типів ґрунтів, що контрастують між собою за морфологічною будовою та властивостями, а саме: дерново-підзолисті, ясно-сірі лісові, чорноземи опідзолені, торфові ґрунти низинного типу (алкалітрофні сильнорозкладені та евтрофні слабозкладені).

Кожний зразок, відібраний із верхнього горизонту ґрунтового профілю, має генетично властиву йому криву буферності. Вона характеризує динаміку зміни ФІ цього ґрунту під впливом закономірно зростаючих фосфатних навантажень.

Відбір ґрунтових зразків і параметрів буферності виконано на основі відповідних нормативних документів: відбирання проб — за ДСТУ 4287-2004; фосфат-буферність ґрунту — за ДСТУ 4724:2007.

**Результати досліджень.** Діагностика фосфатного стану на основі не лише показників умісту рухомих форм фосфатів (ФФІ), а й фосфат-буферної здатності дає змогу отримати чітку інформацію про фосфатний стан ґрунту на момент визначення і можливість спрогнозувати зміну фосфатного стану ґрунтів у період онтогенетичного розвитку рослин та ротації сівозміни.

Експериментально визначено, що для всіх типів ґрунтів незалежно від їх фосфат-буферної ємності верхня оптимальна межа фосфатного фактора інтенсивності (показник рР) рівноцінна 3,25 од., або 440 мг Р<sub>2</sub>О<sub>5</sub> на 1 кг сухого ґрунту. У практиці землеробства, починаючи із середньобуферних ґрунтів і вище, досягти цього значення, навіть за інтенсивного фосфатного навантаження, майже неможливо. За цих самих умов, але в слабобуферних щодо фосфору ґрунтах таке значення рР досягається значно легше. Зменшення показника рР нижче верхньої межі оптимуму (3,25 од.) недопустиме через можливе виникнення ризиків негативного впливу надлишку концентрації фосфатних іонів на родючість ґрунту та розвиток рослин.

На ґрунтах із надлишковим умістом фосфатів (зафосфачених) порушуються процеси поглинання заліза, цинку, калію та інших біогенних елементів кореневою системою рослин, що призводить до передчасного старіння рослин. Вони швидко в'януть, припиняється утворення хлорофілу, у клітинах накопичується аміак, від чого рослинні тканини відмирають. Тому фосфатний параметр (рР) 3,2 слід оцінити як поріг гранично допустимої концентрації фосфатних іонів у ґрунтовому розчині незалежно від типу

## **2. Оптимальні дози фосфорних добрив, розраховані за кривою буферності за різних технологій їх унесення**

Ґрунт	Фактичне рР	Нижня межа рР [10]	Буферна ємність, бал	Дози фосфорних добрив, кг Р <sub>2</sub> О <sub>5</sub> на 1 га		
				Технологія внесення добрив		
				під суцільну оранку	під культивуацію	локально
Дерново-підзолистий неоглеєний супіщаний (переліг)	5,2	4,4	3,8	148	102	11
Дерново-підзолистий оглеєний осушений супіщаний	5,6	4,7	7,2	166	115	13
Буроземно-підзолистий поверхнево оглеєний середньосуглинковий	5,8	5,1	31,8	111	77	9
Дерново-підзолистий середньосуглинковий вапнований	5,5	4,7	10,4	148	102	11
Ясно-сірий лісовий поверхнево оглеєний легкосуглинковий	5,6	4,8	12,5	148	102	11

ґрунту. На високо- та дуже високобуферних ґрунтах досягти величини 3,2 майже неможливо, навіть за умов надто великих доз унесення фосфатних добрив (до 2000 кг і більше  $P_2O_5$  на 1 га в шар ґрунту 20 см). Про це свідчать дані стаціонарного польового дослідження на чорноземі типовому [1]. На цих ґрунтах фосфорні добрива можна вносити в запас на кілька років, якщо є така можливість, і це економічно вигідно.

Фосфатний фактор інтенсивності найбільш динамічний у низькобуферних ґрунтах. Тому в них нижній оптимум настає за умов вищої концентрації фосфатних іонів у ґрунтового розчині, ніж у середньо-, а тим більше — у високо- і дуже високобуферних ґрунтах щодо фосфору.

Нами проведено розрахунок потрібної кількості фосфорних добрив для досягнення оптимального фактора інтенсивності (ступінь рухомості фосфатних іонів) на досліджуваних 5-ти ґрунтових різновидностях, які різняться між собою не лише оглеєністю, а й фосфат-буферною ємністю в іммобілізаційному інтервалі навантажень із використанням графічної моделі фосфат-буферності для зернових колосових культур. Параметри оптимуму використано за джерелом [10]. Основні показники фосфатного стану (ФФІ, БЄп) та дози фосфорних добрив, потрібних для досягнення нижньої межі оптимуму ФФІ, наведено в табл. 2.

Результати досліджень показали, що в глейових ґрунтах для оптимізації фосфатного стану порівняно з неоглеєними слід внести значно більшу дозу добрив. Це зумовлено тим, що оглеєні ґрунти мають вищу буферну ємність в іммобілізаційному інтервалі. За умов зміни технології внесення можна істотно зекономити фосфорні добрива. Загальновідома висока ефективність локалізації фосфорних добрив [12]. За розрахунками, для того, щоб досягти оптимальної концентрації фосфору за локального внесення добрив, достатньо на найбільш високобуферних ґрунтах щодо фосфору внести 13–15 кг  $P_2O_5$  на 1 га. Проте може виявитися, що цих доз недостатньо для нормального мінерального живлення рослин упродовж усього вегетаційного періоду. Тому розраховані за локального внесення дози потрібно скоригувати з урахуванням потреби конкретної культури та коефіцієнта ефективності використання фосфору за умов його локального застосування, не допускаючи перекоцентрації фосфатних іонів у ґрунтового розчині. Слід зазначити, що для буроземно-підзолистого середньосуглинкового ґрунту дози фосфору значно менші. Це можна пояснити тим, що в цих ґрунтах в орному шарі майже немає ознак оглеєння, і вони мають більші потенційні запаси фосфору для відтворення ФФІ.

## **Висновки**

*Показники фосфат-буферності дають високу оцінку фосфатного стану ґрунту і фосфатного живлення рослин. Вони орієнтують на вжиття додаткових заходів залежно від фосфат-буферної здатності ґрунту. Запропонований спосіб оптимізації фосфатного стану ґрунтів на основі показників фосфат-буферної ємності та*

*фосфатного фактора інтенсивності (концентрації фосфатних іонів  $pP$  у ґрунтового розчині) з побудовою відповідної фосфат-буферної графічної моделі є найбільш об'єктивним і ефективним щодо діагностування та оцінювання рівня сталого забезпечення рослин фосфатним живленням.*

**Трускавецкий Р.С.<sup>1</sup>, Зубковская В.В.<sup>2</sup>**

*ННЦ «Институт почвоведения и агрохимии имени А.Н. Соколовского», ул. Чайковская, 4, г. Харьков, 61024, Украина; e-mail: <sup>1</sup>truskavetskiy@ukr.net, <sup>2</sup>vikvik09@meta.ua*

**Фосфатний фактор інтенсивності і фосфат-буферна ємність — основні інструменти діагностики та оптимізації фосфатного стану ґрунту**

**Цель.** Усовершенствовать способ диагностики и оптимизации фосфатного состояния почв. **Методы.** Теоретического обобщения, лабораторно-модельные исследования, химический анализ, расчетно-аналитический. **Результаты.** Установлено, что все существующие методики диагностики фосфатного состояния базируются только на использовании различных экстрагентов, в определенной степени адаптированных

к почвенной среде в зависимости от кислотности-основного состояния карбонатности, гранулометрического состава и тому подобное. Исследования показали, что фосфатное состояние почвы наиболее объективно оценивается по его фосфат-буферной способности с учетом фосфат-буферной емкости и показателя концентрации фосфатных ионов (рР) в почвенном растворе. По кривой буферности определяют, сколько необходимо внести фосфорных удобрений в расчете на соответствующую массу почвы или же реализовать другие технологические мероприятия, чтобы перевести фактическое значение фосфатного фактора интенсивности (ФФИ) в оптимальное состояние. Для всех почв независимо от их фосфат-буферной емкости верхний предел допустимого ФФИ определен на уровне 3,1–3,3 ед. В среднебуферных почвах и почвах с большой буферной способностью достичь этого значения почти невозможно. Обоснована необходимость использования в диагностике трофного режима почв процессов его саморегуляции. Для этого разработана диагностико-оптимизационная графическая модель на основе кривой буферности с нанесением на эту кривую оптимальных параметров фосфатного состояния. Установлены параметры фосфат-буферных свойств почв, что дало возможность усовершенствовать способ диагностики фосфатного состояния, уровень его устойчивости и пути оптимизации. **Выводы.** Результаты исследований показали, что в глеевых почвах для оптимизации фосфатного состояния по сравнению с неоглееными необходимо вносить существенно большую дозу удобрений. Это обусловлено тем, что оглеенные почвы имеют более высокую буферную емкость в иммобилизационном интервале. Оптимизация фосфатного состояния почв на основе показателей фосфат-буферной емкости и фосфатного фактора интенсивности с построением соответствующей фосфат-буферной графической модели является наиболее объективной и эффективной в плане диагностики и оценки уровня устойчивого обеспечения растений фосфатным питанием.

**Ключевые слова:** почвы, фосфатный режим, фосфат-буферность, плодородие, аккумуляция фосфора, мобилизация фосфора, диагностика фосфатного состояния, оптимизация фосфатного состояния, фосфатный фактор интенсивности.

<https://doi.org/10.31073/agrovisnyk201810-02>

**Truskavetskyi R.<sup>1</sup>, Zubkovska V.<sup>2</sup>**

*NSC «A.N.Sokolovskiy Institute of soil science and*

*agrochemistry», Chaikovska Str., 4, Kharkiv, 61024, Ukraine; e-mail: <sup>1</sup>truskavetskiy@ukr.net, <sup>2</sup>vikvik09@meta.ua*

**Phosphate factor and phosphate-buffer capacity as the basic instruments for diagnostics and optimization of phosphate state of soils**

**The purpose.** To improve the way of diagnostics and optimization of phosphate state of soils. **Methods.** Theoretical generalization, laboratory-model experiment, chemical analysis, calculation-analytical. **Results.** It is established that all existing techniques of diagnostics of phosphate state are based only on use of different extractants, in specific extent adapted to soil substrate depending on acid-alkaline state of calcimorphic earth, granulometric composition, etc. Researches showed that phosphate nature of soil can be objectively evaluated on its phosphate-buffer ability in view of phosphate-buffer of capacity and index of density of phosphate ions (PI) in soil solution. By curve of buffering it is possible to determine amount of phosphate fertilizers counting upon the matching mass of soil or to realize other technological measures in order to transfer actual value of phosphate intensity factor (FIF) into optimum state. For all soils irrespective of their phosphate-buffering capacity the upper admissible meaning of FIF is fixed at the level of 3,1–3,3 units. In average-buffering soils and soils with the big buffering power it is almost impossible to reach that value. Necessity of uiy for diagnostics of trophic regimen of soils of processes of its self regulation is justified. Diagnostic-optimization graphical model is developed for this purpose on the basis of curve buffering with drawing on this curved line of optimum parameters of phosphate stat. Parameters of phosphate-buffer of properties of soils are determined. That made it possible to develop the way of diagnostics of phosphate state, level of its stability and a path of optimization. **Conclusions.** Results of researches have displayed that in gley soils for optimization of phosphate state in comparison with not gleyed ones it is necessary to deposit essentially high dose of fertilizers. It is caused by higher buffering capacity of gleyed soils in immobilized spacing. Optimization of phosphate state of soils on the basis of indexes of phosphate-buffer capacity and phosphate factor with creation of graphical model matching phosphate-buffer is the most objective and efficient way of diagnostics and assessment of the level of stable provision of plants with phosphate feed.

**Key words:** soils, phosphate regimen, phosphate-buffering, fertility, accumulation of phosphorus, mobilization of phosphorus, diagnostics of phosphate state, optimization of phosphate state, phosphate factor.

<https://doi.org/10.31073/agrovisnyk201810-02>

## **Бібліографія**

1. Носко Б.С. Фосфатний режим ґрунтів і ефективність добрив. Київ: Урожай, 1990. 224 с.

2. Трускавецький Р.С., Цяпко Ю.Л. Основы

управління родючістю ґрунтів; за ред. Р.С. Трускавецького. Харків: ФОП Бровін О.В., 2016. 388 с.

3. McLaughlin M.H., Alston A.M., Martin J.K.

Phosphorus cycling in wheat-pasture rotation. 1. The source of phosphorus taken up by wheat. *Aust. J. Soil Res.* 1988. № 26. P. 323–331.

4. *Слюсар І.Т.* Природоохоронне та ефективне використання осушуваних органоґенних ґрунтів гумідної зони: методичні рекомендації. Київ, 2014. 79 с.

5. *Носко Б.С., Христенко А.О., Максимова В.П.* Проблема фосфору в землеробстві України. *Вісник аграрної науки.* 1998. № 5. С. 13–16.

6. *Христенко А.А.* Влияние состава и свойств почв на результаты определения в них подвижного фосфора по методу Кирсанова. *Агрoхимия.* 2004. № 11. С. 80–86.

7. *Христенко А.О.* Розробка стандарту України на методи визначення рухомих сполук фосфору і калію в ґрунтах. *Вісник аграрної науки.* 2003. № 6. С. 9–13.

8. *Христенко А.О.* Оценка методов определения

содержания подвижных соединений азота, фосфора и калия в почвах. *Агрoхимия і ґрунтознавство.* 2009. № 70. С. 96–104.

9. *Гинзбург К.Е.* Фосфор основных типов почв СССР. Москва: Наука, 1981. 242 с.

10. *Трускавецький Р.С.* Буферна здатність ґрунтів та їх основні функції. Харків: Нове слово, 2003. 225 с.

11. *Пат.* 91419 Україна, МПК G01N 33/343. Спосіб оптимізації фосфатного стану ґрунтів. Трускавецький Р.С., Цапко Ю.Л., Зубковська В.В., Калініченко В.М., Горякіна В.М.; заявник та власник ННЦ «Інститут ґрунтознавства та агрохімії імені О.Н. Соколовського». № u2013; заявл. 14.10.2013; опубл. 10.07.2014, Бюл. № 13.

12. *Фатеев А.И.* Локальный способ внесения удобрения. Почвенно-агрoхимические аспекты. Харьков: ННЦ «Інститут почвоведения и агрохимии имени А.Н. Соколовского», 2002. 160 с.