

## БІОЛОГІЧНА ТРАНСФОРМАЦІЯ ФОСФОРУ В КОРЕНЕВІЙ ЗОНІ РОСЛИН КУКУРУДЗИ ЗА ДІЇ АГРОБАКТЕРИНУ ТА МІНЕРАЛЬНИХ ДОБРИВ

Л. М. Токмакова, А. О. Трепач

Інститут сільськогосподарської мікробіології та агропромислового виробництва НААН  
вул. Шевченка, 97; м. Чернігів, 14035, Україна; e-mail: tokmakova\_ln@ukr.net

**Мета.** Визначити інтенсивність біологічної трансформації фосфору в кореневій зоні рослин кукурудзи за дії мікробного препарату Агробактерину та різних норм мінеральних добрив. **Методи.** Польового досліду (на чорноземі вилуженому), мікробіологічні (облік чисельності фосфатмобілізувальних бактерій в ризосфері рослин кукурудзи, біохімічні (визначення фосфатазної активності, ступеня рухомості фосфатів у ризосферному ґрунті рослин), статистичні. **Результати.** Встановлено, що протягом вегетаційного періоду в ризосферному ґрунті рослин кукурудзи за впливу мікробного препарату Агробактерину зростає чисельність бактерій, які гідролізують мінеральні сполуки фосфору та органічні фосфати ґрунту. Враховуючи особливості впливу мінеральних добрив на розвиток фосфатмобілізувальних бактерій у ризосферному ґрунті рослин кукурудзи, оптимальним є застосування туків у дозах, що не перевищують  $N_{90}P_{90}K_{90}$ . Водночас фосфатазна активність ризосферного ґрунту найвищих значень сягає у фазу цвітіння; у фазу молочно-воскової стиглості зерна кукурудзи показники значно знижуються внаслідок уповільнення засвоєння фосфору рослинами. За дії інокуляції підвищується ступінь рухомості фосфатів у ризосферному ґрунті рослин, що виражається в зниженні їх вмісту внаслідок посиленого поглинання рослинами. У фазу молочно-воскової стиглості рухомість фосфатів знижується від 0,42 (у контролі без добрив) до 0,23 мг  $P_2O_5/дм^3$  ґрунтового розчину, що свідчить про підсилення засвоєння рослинами фосфору. **Висновки.** За впливу Агробактерину активізуються процеси трансформації фосфору в кореневій зоні рослин кукурудзи, зростає чисельність фосфатмобілізувальних бактерій, підвищується фосфатазна активність та ступінь рухомості фосфатів, що впливає на засвоєння рослинами фосфору. Як наслідок, підвищується винос фосфору з урожаю культури від 51,2 (у контролі без добрив) до 83,4 кг/га (у варіанті із застосуванням Агробактерину), ефективність фосфорного живлення рослин за внесення  $N_{90}P_{90}K_{90}$  складає 62,9 %.

Ключові слова: ґрунтові мікроорганізми, інокуляція, мінеральні добрива, біопрепарат Агробактерин, трансформація фосфору ґрунту, ферменти, чорнозем вилужений, кукурудза.

**Вступ.** Сьогодні кукурудза є третьою після пшениці та рису за поширеністю продовольчою культурою світового землеробства, яка відзначається високою урожайністю, а продукція — цінними властивостями. Зерно кукурудзи є сировиною для використання в різних галузях переробної промисловості. В Україні збільшуються посівні площі цієї культури, що спонукає до удосконалення технологій її вирощування [1]. Рослини кукурудзи засвоюють поживні речовини з ґрунту протягом майже всього вегетаційного періо-

ду. Раніше закінчується поглинання азоту й калію, а фосфору продовжується практично до дозрівання. У зв'язку з цим проведення досліджень щодо трансформації сполук фосфору в кореневій зоні рослин кукурудзи за дії біогенних та абіотичних чинників є актуальним.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Значення мікроорганізмів кореневої зони в забезпеченні рослин сполуками біогенних елементів донедавна недооцінювалося, тоді як пропонувалося надмірне використан-

ня мінеральних добрив. Безсистемне застосування агрохімікатів призводить до деградації ґрунтового покриву й змушує переглядати особливості механізмів кореневого живлення. Сьогодні вже не викликає сумніву визначальна роль ризосферних мікроорганізмів у забезпеченні рослин елементами живлення та фізіологічно активними речовинами. Для активізації біологічних процесів у ґрунтах агроценозів запропоновано низку мікробних препаратів на основі селекціонованих активних штамів мікроорганізмів. Застосування біопрепаратів сприяє суттєвому зростанню коефіцієнтів засвоєння культурними рослинами діючої речовини з добрив [2; 3]. За рахунок цього зменшуються непродуктивні втрати сполук біогенних елементів, зокрема обмежується активність процесу денітрифікації, суттєво знижується ступінь вимивання поживних речовин по ґрунтовому профілю. Використання мікробних препаратів активізує діяльність окремих ферментних систем рослин, що сприяє зростанню вмісту в рослинницькій продукції білка, аскорбінової кислоти, крохмалю. У зв'язку з вищезазначеним застосування мікробних препаратів у сільськогосподарському виробництві може стати незамінною технологічною складовою для підвищення його продуктивності та покращення якості продукції.

Вирішальним фактором мобілізації для рослин фосфору є життєдіяльність ґрунтової мікробіоти, а саме мікроорганізмів, що мають потенційну здатність перетворювати важкорозчинні фосфати ґрунту в доступну для рослин форму та продукувати фізіологічно активні речовини [4]. Активна мобілізація фосфору з нерозчинних сполук відбувається в ризосфері, де значна кількість гетеротрофних бактерій, які живуть за рахунок корневих виділень, утворюють у процесі дихання  $\text{CO}_2$ , (так само, як і корені), що сприяє розчиненню солей фосфору. Крім того, на розчинність фосфатів ґрунту можуть впливати такі мікробні метаболіти, як органічні кислоти, а також ферменти фосфатази. Стійкість фосфорних сполук до мікробного розкладу залежить від природи катіонів, з якими зв'язаний фосфат-іон. Найлегше мобілізується фосфат мангану. Фосфати кальцію та алюмінію менше піддаються розчиненню, а фосфат заліза надзвичайно стійкий до дії бактеріальних метаболітів. Аналізуючи ре-

зультати досліджень вітчизняних та зарубіжних вчених, можна відзначити, що в різних типах ґрунтів мікроорганізми, які мобілізують фосфати кальцію, складають від 5,0 % до 95,0 % від загальної чисельності мікробіоти [5; 6]. За даними Муромцева і Павлової [7], у різних типах ґрунтів від 1,0 % до 50,0 % від загальної чисельності мікроорганізмів складає група бактерій, актиноміцетів і грибів, які розчиняють фітати кальцію, алюмінію, заліза. У чорноземах України чисельність мікроорганізмів, які мають фосфатмобілізувальні властивості, зростає зі сходу на захід — зі збільшенням вологості та родючості ґрунтів. Так, найменша їх кількість спостерігалася в чорноземі глибокому малогумусному Сумської області, а найбільша — у чорноземі малогумусному Хмельницької області [8].

Метою наших досліджень було встановлення особливостей трансформації фосфору в кореневій зоні рослин кукурудзи за використання експериментального мікробного препарату Агробактерину та вирощування культури на різних мінеральних агрофонах.

**Матеріали та методи.** Дослідження проводили в 2016–2020 рр. на базі дослідного поля Інституту сільськогосподарської мікробіології та агропромислового виробництва НААН відповідно до загальноприйнятих методів. Ґрунт — чорнозем вилужений, який містить 3,03 % гумусу, 95,2 мг/кг азоту легкогідролізного, 226 мг/кг фосфору, 108 мг/кг обмінного калію,  $\text{pH}_{\text{сол.}}$  5,30. Схема досліду з ранньостиглим гібридом кукурудзи Дніпровський 181 СВ передбачала такі варіанти:

Без бактеризації:

- 1) Контроль – без добрив;
- 2)  $\text{N}_{30}\text{P}_{30}\text{K}_{30}$ ;
- 3)  $\text{N}_{60}\text{P}_{60}\text{K}_{60}$ ;
- 4)  $\text{N}_{90}\text{P}_{90}\text{K}_{90}$ ;
- 5)  $\text{N}_{120}\text{P}_{120}\text{K}_{120}$ .

Бактеризація насіння Агробактерином:  
6–10) аналогічні норми добрив.

Площа дослідної ділянки становила 50,4 м<sup>2</sup>, повторність досліду — триразова. У досліді використовували експериментальний біопрепарат Агробактерин. Бактеризацію насіння проводили згідно з СОУ 01.11-37-782 [9].

Ґрунтові зразки відбирали з ризосфери рослин в основні фази органогенезу кукуру-

дзи: вихід у трубку, цвітіння, молочно-воскова стиглість зерна. Визначення вологості ґрунту проводили гравіметричним методом згідно з ДСТУ ISO 11465 [10]. Облік бактерій, здатних до розчинення мінеральних та органічних фосфатів, проводили шляхом мікробіологічного посіву ґрунтової суспензії з певним розведенням на живильне середовище Муромцева з внесенням  $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$  —  $5 \text{ г/дм}^3$  ( $229 \text{ мг P}_2\text{O}_5 / 100 \text{ см}^3$ ) та кальцій гліцерофосфату ( $\text{C}_3\text{H}_5(\text{OH})_2\text{PO}_4\text{Ca}$ ) —  $6,0 \text{ г/л}$  ( $203 \text{ мг P}_2\text{O}_5 / 100 \text{ см}^2$ ) відповідно з наступним підрахунком колоній бактерій, навколо яких утворюються зони просвітлення. Фосфатазну активність визначали за методом І. Т. Геллера і К. Е. Гінзбурга, вміст фосфору у рослинах та зерні кукурудзи — методом Деніже в модифікації Буватьє [11]. Розрахунки виносу фосфору з урожаєм зерна та листо-стеблової маси кукурудзи проводили за методом Чирікова [12], ступеня рухомості фосфатів ґрунту — за методом Карпінського і Зам'ятіної [13; 14]. Статистичну обробку отриманих даних здійснювали за допомогою комп'ютерних програм Microsoft Excel та Origin 8. Різницю середніх показників вважали вірогідною за рівня значимості  $p < 0,05$ .

**Результати та їх обговорення.** Результати проведених нами досліджень за використання мікробного препарату Агробактерину свідчать, що інокуляція насіння сприяє акти-

вному розвитку в ризосферному ґрунті мікроорганізмів, які гідролізують мінеральні сполуки фосфору (рис. 1) та органічні фосфати ґрунту (рис. 2). Взагалі, оптимальним за впливом добрив на розвиток представників цих груп мікроорганізмів є застосування мінеральних добрив у нормах, що не перевищують  $\text{N}_{90}\text{P}_{90}\text{K}_{90}$ . Підвищення дози мінеральних добрив вище зазначеної демонструє тенденцію до зниження активності розвитку цих бактерій.

Фосфор органічних сполук не може безпосередньо використовуватися живими організмами, оскільки в такій формі не може проникнути в клітину. Для цього його потрібно мінералізувати, що досягається шляхом гідролітичного розщеплення, яке каталізується ферментами фосфатазами. У ґрунті в цьому процесі може брати участь до 70–80 % мікробного угруповання. Ці мікроорганізми секретують, або вивільнюють після своєї загибелі фосфатази з більшою або меншою субстратною специфічністю [15–17].

Рівень фосфатазної активності відображає потенційну інтенсивність та спрямованість процесів біохімічної мобілізації фосфору в ґрунті та є важливою характеристикою його родючості, оскільки дослідники відзначають існування кореляційних зв'язків між активністю фосфатази й родючістю ґрунту [18; 19], а також чутливим індикатором

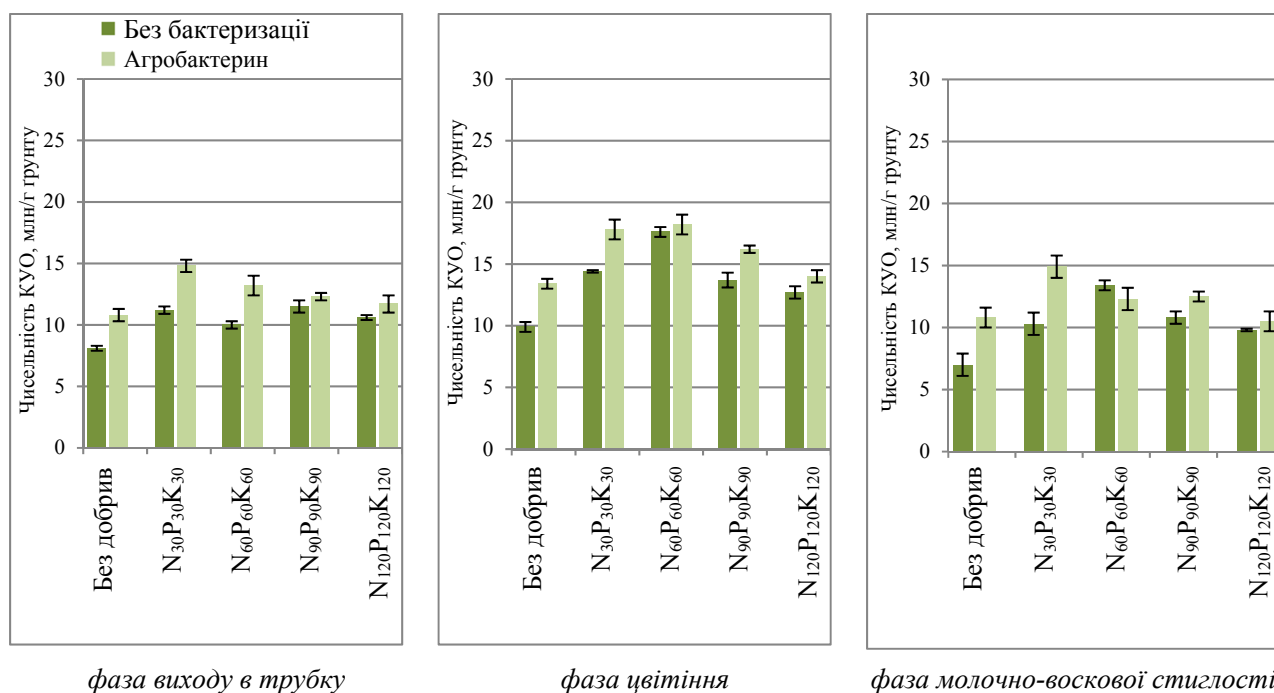


Рис. 1. Вплив бактеризації на чисельність бактерій, які розчиняють мінералофосфати, у ризосферному ґрунті рослин кукурудзи.

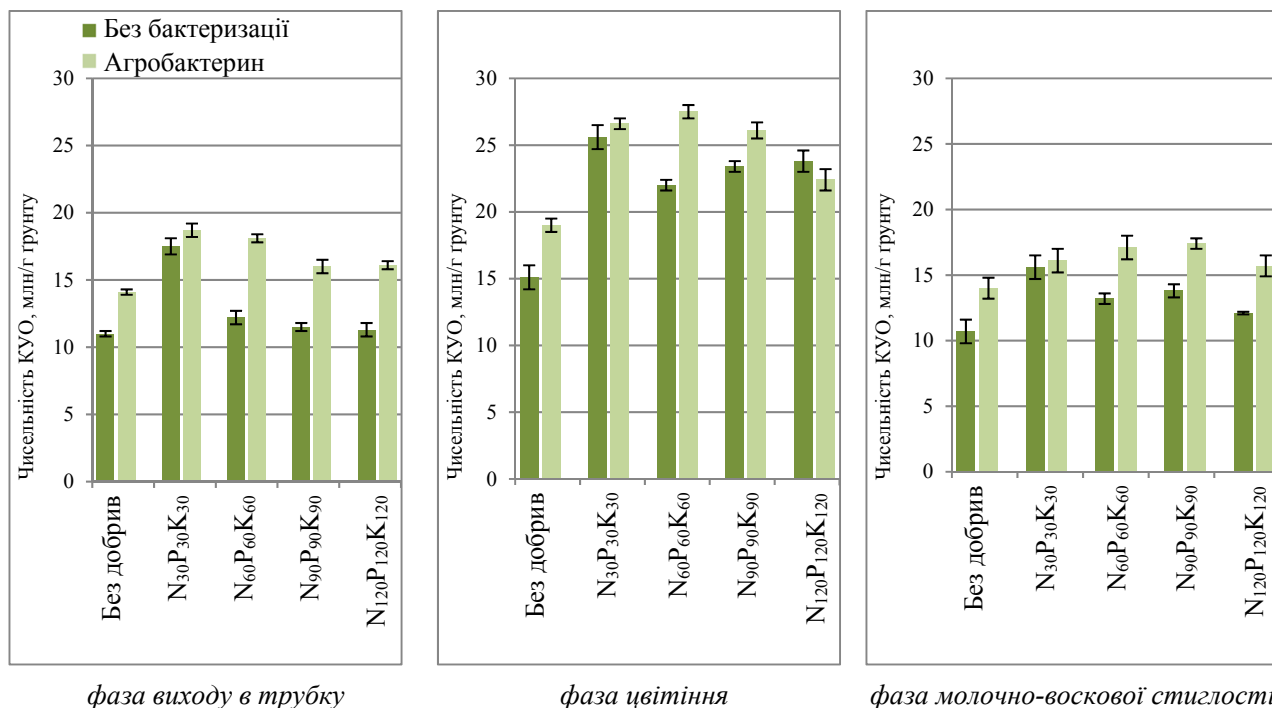
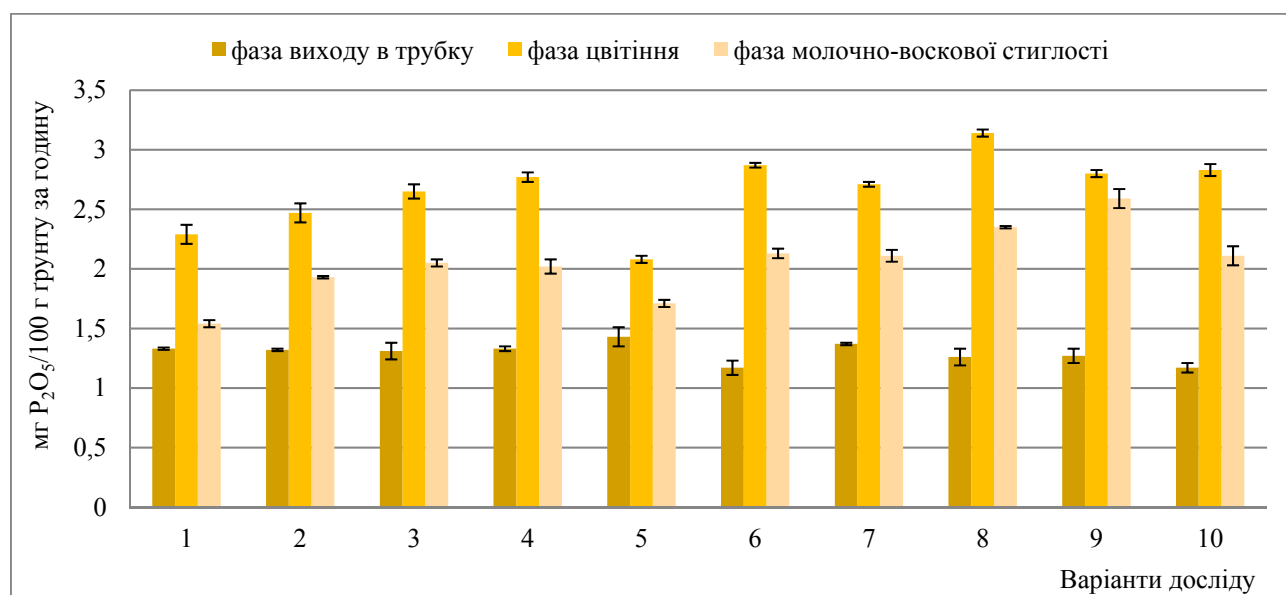


Рис. 2. Вплив бактеризації на чисельність бактерій, які розчиняють органофосфати, у ризосферному ґрунті рослин кукурудзи.

для оцінки рівня деградації ґрунту в природних екосистемах [20]. Під час вивчення активності фосфатази в ризосферному ґрунті рослин кукурудзи за дії Агробактерину на фоні різних доз мінеральних добрив виявлено, що фосфатазна активність ризосферного ґрунту динамічна протягом вегетаційного періоду та сягає найвищих значень у фазу цвітіння, оскільки саме до цього періоду ро-

слини проходять фази найбільш активного росту й розвитку та поглинають найбільшу кількість фосфору з ґрунту (рис. 3).

У фазу молочно-воскової стиглості зерна кукурудзи фосфатазна активність ризосферного ґрунту значно знижується внаслідок уповільнення активного споживання фосфору рослинами та поступового накопичення його рухомих форм у ґрунті.



1–5 — без бактеризації: 1. Контроль – без добрив. 2. N<sub>30</sub>P<sub>30</sub>K<sub>30</sub>. 3. N<sub>60</sub>P<sub>60</sub>K<sub>60</sub>. 4. N<sub>90</sub>P<sub>90</sub>K<sub>90</sub>. 5. N<sub>120</sub>P<sub>120</sub>K<sub>120</sub>. 6–10 — аналогічні варіанти, але з бактеризацією насіння Агробактерином.

Рис. 3. Загальна фосфатазна активність у ризосферному ґрунті рослин кукурудзи гібриду Дніпровський 181 СВ за впливу Агробактерину та добрив.

Основним джерелом фосфорного живлення рослин є рухомі фосфати ґрунтового розчину. Оскільки за однакового запасу рухомого фосфору в ґрунті ступінь його доступності для рослин може бути різним, для оцінки фосфорного стану ґрунту використовують фактор «інтенсивності» — ступінь рухомості розчинних фосфатів [21]. Підвищення ступеня рухомості фосфатів у кореневій зоні рослин виражається у зниженні їх вмісту в ґрунтовому розчині внаслідок посиленого поглинання рослинами. У наших дослідженнях найнижчі показники вмісту  $P_2O_5$  у ґрунті відзначали за дії Агробактерину (рис. 4). Так, вміст  $P_2O_5$  у ризосферному ґрунті рослин кукурудзи у фазу виходу в трубку знижувався від  $0,57 \text{ мг } P_2O_5/\text{дм}^3$  ґрунтового розчину у контролі до  $0,41 \text{ мг } P_2O_5/\text{дм}^3$  ґрунтового розчину, у фазу цвітіння — від  $0,58$  до  $0,32 \text{ мг } P_2O_5/\text{дм}^3$  ґрунтового розчину, фазу молочно-воскової стиглості — від  $0,42$  до  $0,23 \text{ мг } P_2O_5/\text{дм}^3$  ґрунтового розчину.

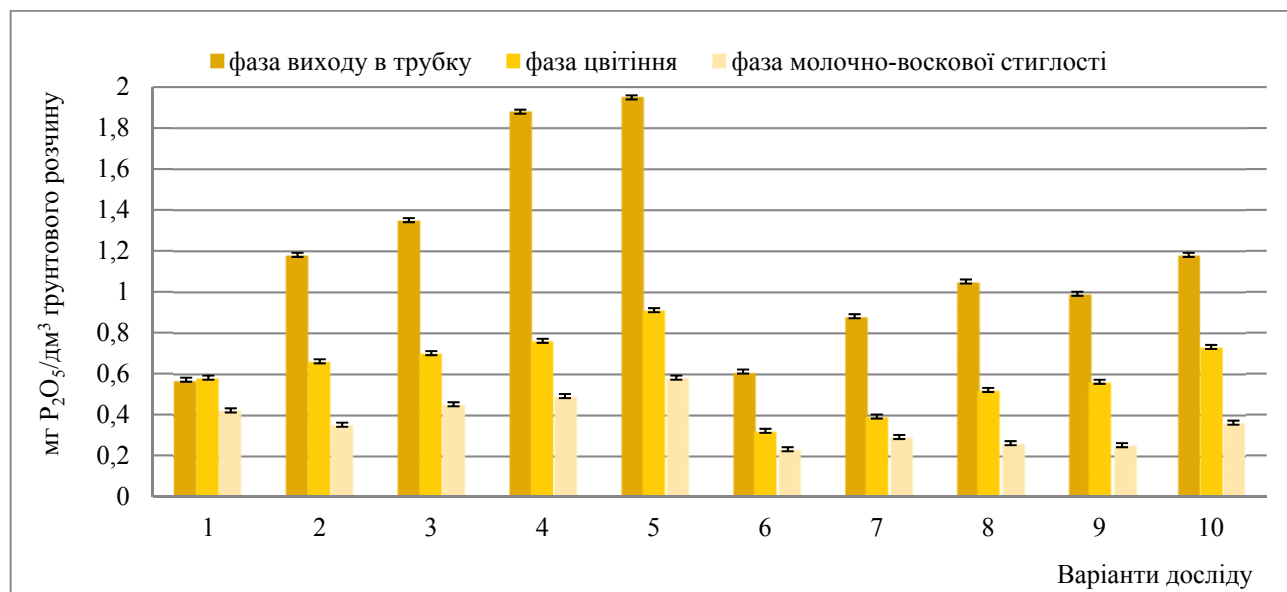
Дія інокуляції також позитивно позначилася на ступені рухомості фосфатів за внесення добрив, що свідчить про підвищення доступності фосфатів добрив для рослин кукурудзи [22] та поліпшення фосфорного живлення.

Як вже зазначалося вище, кукурудза належить до культур з високими потребами в елементах живлення. Причому фосфор рослини засвоюють із ґрунту протягом майже

всього вегетаційного періоду. Раніше закінчується поглинання азоту і калію, а фосфору — продовжується майже до дозрівання. Так, у фазі викидання волотей рослини поглинають близько 33 % азоту, 43 % калію та 19 % фосфору, на початку фази молочної стиглості — 56 %, 64 % та 41 % відповідно, а у фазі молочно-воскової стиглості зерна відбувається засвоєння лише фосфору — 82 % від загальної кількості цього елемента живлення, необхідної рослинам. У цей період призупиняється накопичення сухої речовини в листках та відбувається посилена реутилізація поживних елементів із вегетативних органів у репродуктивні [23].

Вміст фосфору в листостебловій масі та зерні кукурудзи за дії добрив і Агробактерину характеризує вплив досліджуваних факторів на фосфорне живлення рослин. За вмістом фосфору в листостебловій масі рослин та зерні відзначено суттєву різницю проти контролю. Так, за дії мікробного препарату у фазу молочно-воскової стиглості зерна вміст фосфору в листках рослин був найвищим і становив 0,37 % за показників контролю 0,34 %. Вміст фосфору в зерні коливався від 0,42 % у контролі до 0,48 % за дії Агробактерину (табл. 1).

Додаткове надходження фосфору в інокульовані рослини кукурудзи за впливу бактеризації сприяє значному збільшенню виносу фосфору зерном та листостебловою ма-



1–5 — без бактеризації: 1. Контроль – без добрив. 2.  $N_{30}P_{30}K_{30}$ . 3.  $N_{60}P_{60}K_{60}$ . 4.  $N_{90}P_{90}K_{90}$ . 5.  $N_{120}P_{120}K_{120}$ . 6–10 — аналогічні варіанти, але з бактеризацією насіння Агробактерином.

Рис. 4. Вплив Агробактерину та добрив на ступінь рухомості фосфатів у ризосферному ґрунті рослин кукурудзи.

**Таблиця 1. Вміст фосфору в зерні кукурудзи гібриду Дніпровський 181 СВ за впливу Агробактерину та добрив**

Варіанти досліджу	Вміст фосфору, %
Без бактеризації	
Контроль — без добрив	0,42 ± 0,01
N <sub>30</sub> P <sub>30</sub> K <sub>30</sub>	0,42 ± 0,01
N <sub>60</sub> P <sub>60</sub> K <sub>60</sub>	0,44 ± 0,01
N <sub>90</sub> P <sub>90</sub> K <sub>90</sub>	0,44 ± 0,01
N <sub>120</sub> P <sub>120</sub> K <sub>120</sub>	0,45 ± 0,01
Бактеризація Агробактерином	
Контроль — без добрив	0,45 ± 0,01
N <sub>30</sub> P <sub>30</sub> K <sub>30</sub>	0,45 ± 0,01
N <sub>60</sub> P <sub>60</sub> K <sub>60</sub>	0,47 ± 0,01
N <sub>90</sub> P <sub>90</sub> K <sub>90</sub>	0,48 ± 0,01
N <sub>120</sub> P <sub>120</sub> K <sub>120</sub>	0,47 ± 0,01

сою кукурудзи (рис. 5). Так, винос фосфору зерном збільшувався до 40,8 кг/га (у контролі — 32,8 кг/га), листостебловою масою — до 23,6 кг/га (у контролі — 18,4 кг/га).

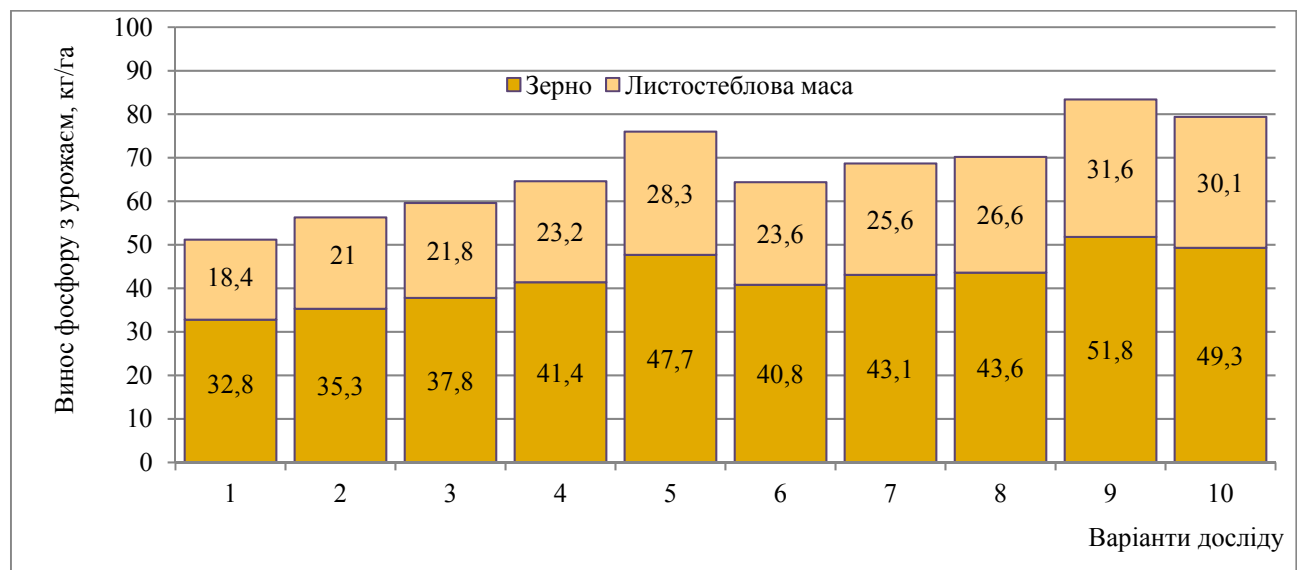
Загальний винос фосфору становив від 51,2 кг/га (у контролі) до 64,4 кг/га (табл. 2). Необхідно відзначити, що бактеризація вплинула на вміст фосфору як у зерні, так і листостебловій масі кукурудзи на фоні різних норм мінеральних добрив й особливо

N<sub>90</sub>P<sub>90</sub>K<sub>90</sub>. Загальний винос фосфору з урожаєм збільшувався від 64,6 кг/га у контролі до 83,4 кг/га у варіанті з N<sub>90</sub>P<sub>90</sub>K<sub>90</sub>. Ефективність фосфорного живлення водночас склала 62,9 %.

**Висновки.** За впливу Агробактерину активізуються процеси трансформації фосфору в кореневій зоні рослин кукурудзи, зростає чисельність фосфатмобілізувальних бактерій, підвищується фосфатазна активність та ступінь рухомості фосфатів у ризосферному ґрунті рослин, що позитивно впливає на засвоєння ними фосфору, і як наслідок, підвищується винос його з урожаєм культури.

#### ЦИТОВАНА ЛІТЕРАТУРА

1. Черенков А. В., Циков В. С., Дзюбецький Б. В. Технологія вирощування кукурудзи в різних ґрунтово-кліматичних зонах України. Дніпропетровськ. 2011. 51 с.
2. Методологія і практика використання мікробних препаратів у технологіях вирощування сільськогосподарських культур / За ред. В. В. Волкогона. Київ, 2011. 156 с.
3. Остапчук М. О., Поліщук І. С., Мазур О. В., Максимов А. М. Використання біопрепаратів — перспективний напрямок вдосконалення агротехнологій. *Сільське господарство та лісівництво*. 2015. № 2. С. 5–17.
4. Мікробні препарати в сучасних аграрних технологіях (науково-практичні рекомендації) / За ред. В. В. Волкогона. Київ, 2015. 248 с.



1–5 — без бактеризації: 1. Контроль — без добрив. 2. N<sub>30</sub>P<sub>30</sub>K<sub>30</sub>. 3. N<sub>60</sub>P<sub>60</sub>K<sub>60</sub>. 4. N<sub>90</sub>P<sub>90</sub>K<sub>90</sub>. 5. N<sub>120</sub>P<sub>120</sub>K<sub>120</sub>. 6–10 — аналогічні варіанти, але з бактеризацією насіння Агробактерином.

**Рис. 5. Винос фосфору зерном та побічною продукцією кукурудзи за впливу Агробактерину та добрив.**

Таблиця 2. Загальний винос фосфору з урожаєм кукурудзи за впливу Агробактерину та різних норм мінеральних добрив

Варіанти дослідів	Загальний винос фосфору з урожаєм, кг/га	Ефективність фосфорного живлення*	
		кг/га	%
Без бактеризації			
Контроль — без добрив	51,2	–	–
N <sub>30</sub> P <sub>30</sub> K <sub>30</sub>	56,3	5,1	10,0
N <sub>60</sub> P <sub>60</sub> K <sub>60</sub>	59,6	8,4	16,4
N <sub>90</sub> P <sub>90</sub> K <sub>90</sub>	64,6	13,4	26,2
N <sub>120</sub> P <sub>120</sub> K <sub>120</sub>	76,0	24,8	48,4
Бактеризація Агробактерином			
Контроль — без добрив	64,4	13,2	25,8
N <sub>30</sub> P <sub>30</sub> K <sub>30</sub>	68,7	17,5	34,2
N <sub>60</sub> P <sub>60</sub> K <sub>60</sub>	70,2	19,0	37,1
N <sub>90</sub> P <sub>90</sub> K <sub>90</sub>	83,4	32,2	62,9
N <sub>120</sub> P <sub>120</sub> K <sub>120</sub>	79,4	28,2	55,1

Примітка. \* — різниця між показниками загального виносу фосфору з урожаєм досліджуваного і контрольного варіантів.

5. Горина Э. И., Илялетдинов А. Н. Мобилизация минеральных фосфатов почвы и удобрений чистыми культурами бактерий. *Каз. ССР Акад. Хабарлары, Изв. АН Каз.ССР Сер. Биол.* 1976. № 4. С. 25–28.

6. Braunova O., Bernat Y. Utilization of phosphorus from Ca<sub>3</sub>(PO<sub>4</sub>)<sub>2</sub> by soil micromycetes. *Acta-fac. rerum natur. Univ. comen. Microbiol.* 1980 (1981). № 8–9. P. 129–142.

7. Муромцев Г. С. Павлова В. Ф. Выделение почвенных микроорганизмов, мобилизирующих фосфаты железа и алюминия. *Доклады ВАСХНИЛ.* 1975. Вып. 1. С. 7–9.

8. Токмакова Л. М. Розробка прийомів і створення мікробіологічних препаратів для покращення фосфатного живлення і підвищення продуктивності цукрових буряків: автореф. дис. ... канд. с.-г. наук / Інститут землеробства УААН, Київ, 1997. 16 с.

9. СОУ 01.11-37-782:2008. Насіння зернових та зернобобових культур. Технологічний процес нанесення мікробних препаратів. Загальні вимоги: [Чинний від 2009-07-01]. Київ : Держспоживстандарт України, 2009. 18 с.

10. ДСТУ ISO 11465:2001. Якість ґрунту. Визначення сухої речовини та вологості за маєю. Гравіметричний метод (ISO 11465:1993, IDT): [Чинний від 2003-01-01]. Київ : Держстандарт України, 2002. 13 с.

11. Экспериментальная ґрунтова мікробіологія / За ред. В. В. Волкогона. Київ, 2010. 464 с.

12. Чириков Ф. В. Агрохимия калия и фосфора. Москва, 1956. 462 с.

13. Агрохімічний аналіз: підручник / За ред. М. М. Городнього. 2-ге вид. Київ, 2005. 476 с.

14. ДСТУ 4727-2007. Якість ґрунту. Визначення рухомих сполук фосфору за методом Карпінського-Зам'ятіної в модифікації ННЦ ІГА ім. О. Н. Соколовського: [Чинний від 2008-01-01]. Київ, Держспоживстандарт України, 2008. 9 с.

15. Ehrlich H. L. Geomicrobiology. 4-th ed. New York, 2002. 800 p.

16. Karl D. M. Phosphorus, the staff of life. *Nature.* 2000. Vol. 406. P. 31–32. <https://doi.org/10.1038/35017683>

17. Ali Khan A., Jilani G., Akhtar M. S., Saqlan M. S., Rasheed M. Phosphorus Solubilizing Bacteria: Occurrence, Mechanisms and their Role in Crop Production. *J. Agric. Biol. Sci.* 2009. Vol. 1, № 1. P. 48–58.

18. Хазиев Ф. Х. Системно-экологический анализ ферментативной активности почв. Москва, 1982. 202 с.

19. Dick W. A., Tabatai M. A. Potential uses of soil enzymes. F. B. Jr. Metting (Ed.). *Soil Microbial Ecology: Applications in Agricultural and Environmental Management.* New York : Marcel Dekker, 1992. P. 95–127.

20. Gianfreda L., Rao M. A., Piotrowska A., Palumbo G., Colombo C. Soil enzyme activity esaffected by anthropogenic alterations: intensive agricultural practices and organic pollution. *Science of the Total Environment.* 2005. № 341. С. 265–279. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2004.10.005>

21. Карпинский Н. П., Глазунова Н. М. Изменение степени подвижности почвенных фос-

фатов в длительных микрополевых опытах при внесении фосфорных удобрений. *Агрохимия*. 1993. № 9. С. 3.

22. Трещач А. О., Токмакова Л. М., Ларченко И. В. Трансформація сполук фосфору у кореневій зоні рослин кукурудзи за дії фосфатмобілізуювальних бактерій. *Мікробіологія в сучасному*

сільськогосподарському виробництві: матеріали XII наук. конф. молодих вчених (м. Чернігів, 24–25 жовтня). Чернігів, 2017. С. 54–56.

23. Частная физиология полевых культур / Под ред. Е. И. Кошкина. Москва, 2005. 344 с. ISBN 5-9532-0164-8.

Отримано 13.07.2021

<https://doi.org/10.35868/1997-3004.34.44-52>

UDC 579.266:631.461.7:631.847/631.8

## PHOSPHORUS BIOTRANSFORMATION IN ROOT ZONE OF CORN PLANTS UNDER ACTION OF AHROBACTERYN AND MINERAL FERTILIZERS

L. M. Tokmakova, A. O. Trepach

Institute of Agricultural Microbiology and Agroindustrial Manufacture, NAAS, Chernihiv  
e-mail: tokmakova\_ln@ukr.net

**Objective.** To determine the intensity of phosphorus biotransformation in the root zone of corn plants under the action of the microbial preparation *Ahrobacteryn* and various rates of mineral fertilizers. **Methods.** Field experiment (on leached chernozem), microbiological (accounting for the number of phosphate-mobilizing bacteria in the rhizosphere of corn plants, biochemical (determination of phosphatase activity, the degree of mobility of phosphates in the rhizosphere soil of plants), statistical. **Results.** It was found that during the growing season, the number of bacteria that hydrolyze mineral phosphorus compounds and organic soil phosphates increases in the rhizosphere soil of corn plants under the influence of the microbial preparation *Ahrobacteryn*. Given the features of the influence of mineral fertilizers on the development of phosphate-mobilizing bacteria in the rhizosphere soil of corn plants, it is optimal to use fertilizers in doses not exceeding  $N_{90}P_{90}K_{90}$ . At the same time, phosphatase activity of the rhizosphere soil reaches the highest values in the flowering phase; in the phase of milk-wax ripeness of corn grain, the parameters are significantly reduced due to the slowdown in the absorption of phosphorus by plants. The effect of inoculation increases the degree of phosphate mobility in the rhizosphere soil of plants, which is expressed in a decrease in their content due to increased uptake by plants. In the phase of milk-wax ripeness, the mobility of phosphates decreases from 0.42 (in the control without fertilizers) to 0.23 mg  $P_2O_5/dm^3$  of soil solution, which indicates increased absorption of phosphorus by plants. **Conclusion.** Under the influence of *Ahrobacteryn*, the processes of phosphorus transformation in the root zone of corn plants are activated, the number of phosphate-mobilizing bacteria increases, phosphatase activity improves and the degree of phosphate mobility, which has an effect on the absorption of phosphorus by plants. As a result, phosphorus removal increases with a crop yield from 51.2 (in the control without fertilizers) to 83.4 kg/ha (with *Ahrobacteryn*), the efficiency of phosphorus plant nutrition after introduction of  $N_{90}P_{90}K_{90}$  is 62.9 %.

Key words: soil microorganisms, inoculation, mineral fertilizers, biopreparation *Ahrobacteryn*, soil phosphorus transformation, enzymes, leached chernozem, corn.

### REFERENCES

1. Cherenkov, A. V., Tsykov, V. S., & Dziubetskiy, B. V. (2011). *Tekhnolohiia vyroshchuvannia kukurudzy v riznykh gruntovo-klimatychnykh zonakh Ukrainy* [Technology of growing corn in different soil and climatic zones of Ukraine]. Dnipropetrovsk [in Ukrainian].

trovsk [in Ukrainian].

2. V. V. Volkohon (Ed.). (2011). *Metodolohiia i praktyka vykorystannia mikrobykh preparativ u tekhnolohiiah vyroshchuvannia silskohospodarskykh kultur* [Methodology and practice of using microbial preparations in crop cultivation technolo-



gies]. Kyiv [in Ukrainian].

3. Ostapchuk, M. O., Polishchuk, I. S., Mazur, O. V., & Maksymov, A. M. (2015). Vykorys-tannia biopreparativ — perspektyvnyi napriamok vdoskonalennia ahrotekhnologii [The use of bio-preparations is a promising direction for improving of agrotechnologies]. *Sil'ske hospodarstvo ta lisivnytstvo — Agriculture and forestry*, 2, 5–17 [in Ukrainian].

4. Volkohon, V. V. (Ed.). (2015). Mikrobni preparaty v suchasnykh ahrarynykh tekhnologiiakh (naukovo-praktychni rekomendatsii) [Microbial preparations in modern agricultural technologies (scientific and practical guidans)]. Kyiv [in Ukrainian].

5. Gorina, Je. I., Iljaletdinov, A. N. (1976). Mobilizacija mineral'nyh fosfatov pochvy i udobrenij chistymi kul'turami bakterij [Mobilization of soil mineral phosphates and fertilizers with pure cultures of bacteria]. *Izvestia AN Kaz.SSR Ser. Biol. — Proceedings of Academy of Sciences of Kaz.SSR. Series Biology*, 4, 25–28. [in Russian].

6. Braunova, O., Bernat, Y. (1980). Utilization of phosphorus from  $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$  by soil micromycetes. *Actafac. rerum natur. Univ. comen. Microbiol.*, 8–9, 129–142.

7. Muromcev, G. S. Pavlova, V. F. (1975). Vy-delenie pochvennyh mikroorganizmov, mobilizirujushih fosfaty zheleza i aljuminija [Release of soil micro-organisms that mobilize iron and aluminium phosphates]. *Doklady VASHNIL — Reports of VASHNIL*, 1, 7–9 [in Russian].

8. Tokmakova, L. M. (1997). Rozrobka pry-omiv i stvorennia mikrobiolohichnykh preparativ dlja pokrashchennia fosfatnoho zhyvlennia i pidvyshchennia produktyvnosti tsukrovnykh buriakiv (Unpublished candidate thesis). Institute of agriculture, UAAS, Kyiv, Ukraine [in Ukrainian].

9. SOU 01.11-37-782:2008. Nasinnia zernovykh ta zernobobovykh kultur. Tekhnolohichni protsess nanesennia mikrobnykh preparativ. Zahalni vymohy. [Seeds of grain and leguminous crops. Technological process of application of microbial drugs. General requirements.]. Kyiv: Derzhspozhyvstandart Ukrainy, 2009 [in Ukrainian].

10. DSTU ISO 11465:2001. Yakist gruntu. Vyznachannia sukhoi rechovyny ta volohosti za masoiu. Hravimetrychnyi metod (ISO 11465:1993, IDT). [Soil quality. Determination of dry matter and humidity by weight. Gravimetric method]. Kyiv: Derzhstandart Ukrainy, 2002 [in Ukrainian].

11. Volkohon, V. V. (Ed.). (2010). Eksperymentalna gruntova mikrobiolohiia [Experimental soil microbiology]. Kyiv [in Ukrainian].

12. Chirikov, F. V. (1956). Agrohimiia kaliia i fosfora [Potassium and phosphorus agrochemistry]. Moskva [in Russian].

13. Horodnii, M. M. (Ed.). (2005). Ahrokhi-michniyi analiz [Agrochemical analysis]. Kyiv [in Ukrainian].

14. DSTU 4727–2007. Yakist gruntu. Vyzna-chennia rukhomykh spoluk fosforu za metodom Karpinskoho-Zamiatinoi v modyfikatsii NNTs IHA im. O. N. Sokolovskoho [Soil quality. Determination of movable compounds of phosphorus according to the method of Karpinsky-Zamyatina in the modification of the NSC IGA named by O. N. Sokolovskiy]. Kyiv, Derzhspozhyvstandart Ukrainy [in Ukrainian].

15. Ehrlich, H. L. (2002). Geomicrobiology. New York.

16. Karl, D. M. (2000). Phosphorus, the staff of life. *Nature*, 406, 31–32. <https://doi.org/10.1038/35017683>

17. Ali Khan, A., Jilani, G., Akhtar, M. S., Saq-lan, M. S., & Rasheed, M. (2009). Phosphorus Solu-bilizing Bacteria: Occurrence, Mechanisms and their Role in Crop Production. *J. Agric. Biol. Sci.*, 1 (1), 48–58.

18. Haziev, F. H. (1982). Sistemno-jekologi-cheskij analiz fermentativnoj aktivnosti pochv [Sys-tem-ecological analysis of enzymatic activity of soils]. Moskva [in Russian].

19. Dick, W. A., Tabatai, M. A. (1992). Poten-tial uses of soil enzymes In F. B. Jr. Metting (Ed.). *Soil Microbial Ecology: Applications in Agricultural and Environmental Management*. (pp. 95–127). New York.

20. Gianfreda, L., Rao, M. A., Piotrowska, A., Palumbo, G., & Colombo, C. (2005). Soil enzyme activity esasaffected by anthropogenic alterations: intensive agricultural practices and organic pollu-tion. *Science of the Total Environment*, 341, 265–279. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2004.10.005>

21. Karpinskij, N. P., Glazunova, N. M. (1993). Izmenenie stepeni podvizhnosti pochvennyh fosfa-tov v dlitel'nyh mikropolevyh opytah pri vnesenii fosfornyh udobrenij [Change in the degree of mo-bility of soil phosphates in long-term microfield ex-periments when applying phosphate fertilizers]. *Agrohimiia — Agrochemistry*, 9, 3 [in Russian].

22. Trepach, A. O., Tokmakova, L. M., & Lar-chenko, I. V. (2017, October). Transformatsiia spo-luk fosforu u korenevii zoni roslyn kukurudzy za dii fosfatmobilizovalnykh bakterii [Transformation of phosphorus compounds in the root zone of corn plants by phosphatmobilysis bacteria]. Proceeding of the XII Scientific Conference of youn scientist Microbiology in modern agricultural production (pp. 54–56), Chernihiv [in Ukrainian].

23. E. I. Koshkin (Ed.). (2005). Chastnaja fizi-ologija polevykh kul'tur [Frequent physiology of crops]. Moskva [in Russian].

Received 13.07.2021