

**РОЛЬ ҐРУНТОВОЇ МІКРОФЛОРИ У ПРОЦЕСАХ МОБІЛІЗАЦІЇ ФОСФОРУ  
З ЙОГО МАЛОРОЗЧИННИХ СПОЛУК**

Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара (м. Дніпро)

scarlett.watson.1870@gmail.com

**Зв'язок публікації з плановими науково-дослідними роботами.** Роботу виконано в рамках держбюджетної теми № 1-294-15 «Структурно-функціональні властивості природних мікробіоценозів та механізми біологічної дії мікробних препаратів».

**Вступ.** Надмірне і незбалансоване застосування пестицидів та мінеральних добрив для підвищення врожайності сільськогосподарських культур негативно впливає на кислотно-основні властивості, хімічний склад і біологічну компоненту ґрунту. У результаті погіршується його фітосанітарний стан, знижується родючість [6,17]. Останнім часом, у світовій практиці узятий курс на біологізацію землеробства – заміну хімічних препаратів на екологічно безпечні біодобрива на основі ґрунтових штамів мікроорганізмів, які не лише покращують мінеральне живлення рослин і збільшують їх продуктивність, але й підвищують стійкість до стресових факторів, пригнічують розмноження фітопатогенів, знижують пестицидне навантаження на агроценози тощо [12,26,29]. Саме тому, розробка і застосування у сільськогосподарській практиці таких препаратів набуває особливої актуальності. Значний інтерес становить створення біодобрив на основі фосфатмобілізуючої ґрунтової мікрофлори, яка здатна переводити малорозчинні сполуки фосфору в ґрунті у розчинний стан і, таким чином, поліпшувати фосфорне живлення рослин. Метою роботи став аналіз сучасної наукової літератури щодо ролі фосфору та його сполук у життєдіяльності рослин, кількісного співвідношення форм фосфатів у ґрунті, видового складу фосфатмобілізуючої мікрофлори, механізмів мікробної трансформації фосфоровмісних сполук, а також огляд сучасних біопрепаратів, створених на основі ефективних штамів фосфатмобілізаторів.

**Фосфор як елемент мінерального живлення рослин.** Одним із найважливіших елементів мінерального живлення рослин є фосфор, що відіграє центральну роль у процесах енергетичного обміну: він входить до складу високоенергетичних сполук, таких як АТФ, ГТФ, ЦТФ, фосфоенолпіруват тощо. Фосфатні групи виконують і структурну функцію, зв'язуючи нуклеотиди у нуклеїнових кислотах. Наявність фосфатних груп у складі ліпідів клітинних мембран сприяє формуванню та підтримці структури останніх, а також обумовлює їх гідрофільні властивості [23]. Особливо важливою є роль фосфору в процесах післятрансляційної модифікації білків за участі ферментів фосфорилаз та протеїназ. Внаслідок цих процесів змінюються ферментативні, ре-

гуляторні або рецепторні функції білкових молекул. Процеси фосфорилування та дефосфорилування є головними у регуляції експресії генів, транскрипції та трансляції, проліферації та диференціації клітин [19].

Необхідність покращення фосфорного живлення сільськогосподарських культур обумовлено тим, що фосфатні аніони, швидко зв'язуючись із іонами лужно-земельних металів у ґрунтового розчині, утворюють малорозчинні фосфати, недоступні для поглинання кореневою системою рослин [33].

**Вміст та форма фосфатів у ґрунті.** За даними дев'ятого туру агрохімічної паспортизації земель сільськогосподарського призначення, середній вміст рухомих сполук фосфору в ґрунтах України не перевищує 103,90 мг/кг ґрунту, в той час як оптимальним є значення 150-200 мг/кг [28].

У чорноземах фосфор знаходиться переважно у вигляді мінеральних солей, представлених апатитами (наприклад, фторалатит, кальцій гідроксилалатит). У процесі руйнування цих первинних фосфоровмісних мінералів материнських порід фосфор переходить до складу вторинних мінеральних сполук та надходить у ґрунтовий розчин, а там засвоюється рослинами та тваринами і потрапляє у біологічний колообіг, постійно трансформуючись із мінеральної в органічну форму і навпаки.

Вторинні неорганічні форми фосфатів у ґрунті представлені солями ортофосфорної кислоти, що містять фосфатний аніон, зв'язаний із катіонами  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Al}^{3+}$ ,  $\text{Fe}^{2+}$ ,  $\text{Mn}^{2+}$ . Більша частина органічних форм фосфору представлена гумусом, цукрофосфатами, фосфатидами, нуклеїновими кислотами, фітином та фітатами. Фосфор, що входить до складу цих молекул, може засвоюватися рослинами лише після попередньої мінералізації [20].

**Кількість та видовий склад ґрунтової фосфатмобілізуючої мікрофлори.** Трансформацію мало- або нерозчинних фосфатів ґрунту (фосфати або ортофосфати кальцію, фосфати заліза та алюмінію) із звільненням фосфат-іонів, що можуть поглинатися кореневою системою рослин, здійснює фосфатмобілізуюча мікрофлора, чисельність якої залежить від багатьох факторів: температури, фізико-хімічних властивостей ґрунту; вмісту у ньому гумусу, іонів кальцію, заліза; доступності джерел вуглецю та азоту; інтенсивності використання тощо [31].

Кількість фосфатмобілізуючої мікрофлори значно залежить від ступеню сільськогосподарської обробки ґрунту та глибини горизонту. Так, С.М. Крамарьовим із спів. показано, що максимальна кіль-

кість бактерій, здатних до розчинення мінеральних фосфоровмісних сполук, у незораному ґрунті Дніпропетровської області спостерігається на глибині 0-5 см і становить близько 6,8 млн. на 1 г ґрунту, а далі – поступово знижується з глибиною. У ціліні кількість мікрофлори, що мінералізує органічні сполуки фосфору, також є максимальною на глибині 0-5 см і сягає 9,8 млн. на 1 г ґрунту.

У ріллі кількість фосфатмобілізуювальної мікрофлори, здатної до розчинення неорганічних фосфатів, сягає максимального значення на глибині 15-25 см, але не перевищує 2,2 млн. на 1 г ґрунту. Що стосується мікрофлори, яка бере участь у мінералізації органічних фосфатів, то у ріллі її максимальна кількість становить близько 5,4 млн. на 1 г ґрунту на глибині 0-5 см [20].

Уперше здатність природної ризосферної мікрофлори до мобілізації фосфору із його важкорозчинних сполук було описано у 1903 році. Ця властивість не є специфічною, тому на долю фосфатмобілізуювальної мікрофлори припадає 40-50%, а іноді, до 88% від загальної кількості ризосферної мікрофлори [31].

Видове різноманіття фосфатмобілізуювальної мікрофлори представлене бактеріями (*Bacillus sp.*, *B. megaterium*, *B. mycoides*, *B. cereus*, *B. subtilis*, *Pseudomonas sp.*, *P. putida*, *P. striata*, *P. fluorescens*, *Erwinia sp.*, *Enterobacter sp.*, *Micrococcus sp.* та ін.), грибами (*Aspergillus awamori*, *A. niger*, *A. flavus*, *Mortierella sp.*, *Micromonospora sp.*, *Mucor sp.*, *Penicillium digitatum*, *P. lilacinum*, *P. balaji* та ін.), актиноміцетами (*Actinomyces sp.*, *Streptomyces sp.*), ціанобактеріями (*Anabena sp.*, *Nostoc sp.*, *Scytonema sp.*) [44].

**Механізми трансформації фосфоровмісних сполук мікроорганізмами.** Прийнято виділяти три принципових механізми мікробної фосфатмобілізації – кислотне розчинення фосфатів; утворення органічними кислотами хелатних комплексів із металами у складі мінеральних фосфатів; ензиматичне розщеплення органічних фосфоровмісних сполук [38,40,44].

Першим механізмом мобілізації неорганічних фосфатів є виділення рослинами і мікроорганізмами неорганічних та органічних кислот, під дією яких відбувається вивільнення фосфатних аніонів різної валентності шляхом заміщення катіону, що входить до складу малорозчинного фосфату ( $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Al}^{3+}$ ,  $\text{Fe}^{3+}$ ), на протон, наприклад,  $\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6\text{F}_2 + 12\text{H}^+ \rightarrow 10\text{Ca}^{2+} + \text{H}_2\text{PO}_4^- + 2\text{F}^-$  [42]. Показано, що органічні кислоти, які містять дві або три карбоксильні групи (лимонна, малонна, винна, фумарова, цис-аконітова, щавлева), ефективніше розчиняють неорганічний фосфат, ніж органічні кислоти з однією карбоксильною групою (гліколева, піровиноградна, молочна) [35]. При цьому зазвичай спостерігається різке зниження рН.

Але в науковій літературі існують дані, що розчинення мінеральних фосфатів може відбуватися за нейтральних та лужних значень рН [39]. У такому випадку припускають, що механізм розчинення полягає у хелатуванні катіонів  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Al}^{3+}$ ,  $\text{Fe}^{3+}$  у складі неорганічних фосфатів гідроксильними або карбоксильними групами кислот. Цей процес полягає у

створенні двох або більше координаційних зв'язків між аніоном (полярною молекулою) і катіоном із утворенням кільцевого комплексу [45]. Встановлено, що кислоти з більшою кількістю карбоксильних груп є більш ефективними розчинниками мінеральних фосфатів [46].

Відомо також, що мобілізація фосфатів шляхом протонування може відбуватися не лише за рахунок дії кислот: при асиміляції мікробними клітинами  $\text{NH}_4^+$  відбувається звільнення протонів, здатних виступати в якості фосфатмобілізуювального фактора [36,37].

Органічні фосфоровмісні сполуки потребують попередньої мінералізації за участі екзоферментів – фосфатаз або фосфогідролаз, активність яких у ґрунті залежить від співвідношення грибної та бактеріальної мікрофлори. У кислих ґрунтах, де у складі мікробіоценозу переважають гриби, оптимум фосфатазної активності знаходиться в кислій зоні, в нейтральних і лужних, – де грибна мікрофлора існує в меншій кількості – переважають ґрунтові фосфатази, головним чином, бактеріального походження, з оптимумом рН в нейтральній зоні [41].

Крім того, різниця в активності мікробних фосфатаз пов'язана із фізико-хімічними особливостями ґрунтів, видовим складом мікроорганізмів і залежить від особливостей самих ферментів, що потребують різних умов для прояву своєї максимальної активності [30].

**Сучасні біопрепарати на основі фосфатомобілізуювальної мікрофлори.** Для покращення фосфорного живлення рослин провідними науковими лабораторіями розроблено десятки біологічних добрив на основі бактерій, здатних мобілізувати фосфор із малорозчинних неорганічних і органічних фосфатів [10].

Більшість мікробних добрив представлені монопрепаратами, до складу яких входить культура одного штаму бактерій із високою фосфатмобілізуювальною активністю.

На сьогодні в Україні найчастіше застосовуються такі препарати, як «Альобактерин», «Поліміксобактерин», «Фосфоентерин» [21,22]. Їх ефективність доведена численними лабораторними та польовими дослідженнями. Препарати покращують фосфорне живлення рослин, стимулюють їх ріст, збільшують врожайність, захищають від фітопатогенів тощо [8,16,25]. Показано, що використання біодобрив на основі фосфатмобілізуювальної мікрофлори також сприяє оптимізації калійного живлення рослин і підвищенню ефективності азотфіксації [38,43].

Розробником препаратів «Альобактерину» і «Поліміксобактерину» є Інститут сільськогосподарської мікробіології та агропромислового виробництва НААН (Україна, м. Чернівці). До складу «Альобактерину» входить штам бактерій *Achromobacter album 1122*, до «Поліміксобактерину» – *Paenibacillus polymyxa KB* із титрами не менше  $5,0 \times 10^9$  клітин КУО/см<sup>3</sup> рідкої форми / г сухої форми. Обидва вони використовуються для бактеризації насіння. Але, якщо «Альобактерин» застосовується переважно для обробки насіння озимого та ярового ріпаку, то «Поліміксобактерин» є препаратом широкого спектра дії:

його ефективність доведена на насінні цукрових буряків, зернових культур, кукурудзи, льону-довгунця, соняшника [4,5, 10,27].

«Фосфоентерин» – біопрепарат на основі фосфатмобілізуючої бактерії *Enterobacter nitropressuralis* 32-3, що випускається Південною дослідною станцією Інституту сільськогосподарської мікробіології УААН України. Штам *E. nitropressuralis* 32-3 утилізує вуглеводи з утворенням органічних кислот, що сприяють мобілізації фосфору з малорозчинних неорганічних фосфатів, а також синтезує лужну фосфатазу, що бере участь у мінералізації органічних фосфоровмісних сполук. Окрім того, бактерія здатна до синтезу фітогормонів, що стимулюють ріст рослин.

Передпосівна обробка насіння «Фосфоентерином» сприяє підвищенню врожайності зернових і овочевих культур як в умовах південного Степу України, так і в Лісостеповій зоні [10,21]. Показано, що використання даного препарату приводить до підвищення кількості та якості врожаю ярого ячменю, кукурудзи, озимої пшениці [7,9,24].

Мікробні монопрепарати за безперечного позитивного їх впливу на культурні рослини мають такий суттєвий недолік, як нестабільність дії. На ефективність бактеріальних добрив можуть негативно впливати несприятливі фактори навколишнього середовища. Тому достовірний стимулюючий ефект монопрепарати забезпечують лише у 60-70% випадків їх використання. Стабілізувати препарати можна шляхом введення до їх складу мікроорганізмів інших таксонів із додатковими екологічними функціями. У зв'язку з цим стратегія розробки біопрепаратів змістилася у напрямку створення біотехнологій на основі мікробних асоціацій [13,14]. На сьогодні до Державного переліку пестицидів та агрохімікатів входить цілий ряд вітчизняних комплексних мікробних добрив, які застосовуються для підвищення врожайності сільськогосподарських культур [27]. Серед них найбільш відомі: «Біокомплекс-БТУ», «Ековітал», «Нітрозлак», «Органік-баланс».

«Біокомплекс-БТУ» та «Органік-баланс» випускаються ПП «БТУ-Центр», м. Ладизин. Склад першого представлений штамми бактерій: *Bacillus subtilis* 221 – 40±10 %, р. *Azotobacter* – 30±10 %, *Paenibacillus polymyxa* – 10±5 %, р. *Enterococcus* – 10±5 %, р. *Lactobacillus* – 10±5 %, титр – 1,0x10<sup>8</sup> – 1,0x10<sup>9</sup> КУО/см<sup>3</sup>. Сюди також входять: макро- та мікроелементи, біологічно активні продукти життєдіяльності бактерій, такі як ніотинова та пантотенова кислоти, піридоксин, біотин, гетероауксини, гібереліни, цитокініни, ферменти, фунгіциди та бактеріцидні речовини тощо.

До складу «Органік-баланс» входять: клітини бактерій *Bacillus subtilis* 221 – 40±10 %, р. *Azotobacter* – 30±10 %, *Paenibacillus polymyxa* – 10±5 %, р. *Enterococcus* – 10±5 %, р. *Lactobacillus* – 10±5 %, титр 1,0x10<sup>8</sup>–1,0x10<sup>9</sup> КУО/см<sup>3</sup>, макро- та мікроелементи, біологічно активні продукти життєдіяльності бактерій.

Обидва препарати використовують для передпосівної обробки насіння, розсади і саджанців перед висадкою, у якості кореневого і позакореневого під-

годовування, для захисту від грибкових і бактеріальних хвороб, для відновлення ґрунтової мікрофлори. Їх застосовують під зернові культури (пшениця озима, кукурудза, гречка, соя), олійні культури (ріпак озимий, соняшник), стерню та післяжнивні рештки, овочеві культури (томати, огірки) [10,34]. Ефективність застосування препарату «Біокомплекс-БТУ» доведена експериментально при вирощуванні таких культур як озима пшениця, конюшина лучна, цибуля порей та брюсельська капуста [1,11,15,32].

Розробником «Ековітала» є Інститут мікробіології і вірусології ім. Д.К. Заболотного НАН України. «Ековітал» – поліфункціональний мікробний препарат, який отримують шляхом глибинного культивування чистих культур бульбочкових бактерій родів *Rhizobium*, *Sinorhizobium*, *Bradyrhizobium* і фосфатмобілізуючих бактерій *Bacillus megaterium*, селекційованих у ІМВ НАН України.

«Ековітал» у рідинній або торф'яній формах використовують для передпосівної обробки насіння бобових культур [10,13]. Численні дослідження підтверджують позитивний вплив даного препарату на розвиток сої [2,3,18].

Сільськогосподарським підприємством «Нива» (Україна), випускається біодобриво «Нітрозлак». Першим компонентом препарату є бактеріальна суспензія *Agrobacterium radiobacter* з титром життєздатних клітин не менше 2,0x10<sup>9</sup> КУО/мл. Асоціативні бактерії *Agrobacterium radiobacter*, після інюкуляції і проростання насіння у ґрунті, колонізують ризосферу кореневої системи зернових колосових культур та фіксують атмосферний азот. Другий компонент «Нітрозлаку» представлений бактеріями *Bacillus megaterium* з титром життєздатних клітин не менше 2,0x10<sup>9</sup> КУО/мл, що також утворюють асоціації з культурними рослинами, колонізують ризосферу кореневої системи рослин, синтезують органічні кислоти, підвищують доступність фосфору, кальцію, заліза, магнію.

Інокуляція бактеріальних культур приводить до збільшення вмісту білка в зерні на 1-2 %, врожайності рослин – на 3,0-3,5 ц/га; сприяє фіксації атмосферного азоту в кількості 7-15 ц/га, звільненню фосфору з його малодоступних сполук у кількості 8-10 ц/га, реалізації генетичного потенціалу культури, економії мінеральних добрив [13,27].

**Висновок.** Таким чином, численні літературні дані щодо ефективності створених моно- і комплексних біопрепаратів на основі фосфатмобілізуючої мікрофлори, дають змогу стверджувати, що їх впровадження у сільськогосподарську практику сприятиме високій врожайності культурних рослин, оздоровленню оброблюваних ґрунтів та підтриманню природної родючості українських чорноземів. На нашу думку, на сучасному етапі розвитку світового суспільства та економіки пріоритет має надаватися не лише економічно вигідним, а й екологічно безпечним технологіям. Тому тематика розробки і виробництва мікробних біопрепаратів для покращення фосфорного живлення рослин потребує подальшого розвитку і широкомасштабної практичної реалізації.

**Література**

1. Vdovenko SA, Shhigol' VI. Urozhajnist' gibridiv kapusti brjussel's'koi zalezno vid zastosuvannya biopreparativ. Visnik Umans'kogo nacional'nogo universitetu sadivnictva. 2015;2:20-3. [in Ukrainian].
2. Voznjuk SV, Ljaska SI. Efektivnist' sumisnogo vikoristannya kompleksnogo mikrobnogo preparatu Ekovital i reguljatoriv rostu roslin. Mikrobiologija v suchasnomu sil's'kogospodars'komu virobnictvi: materiali IX naukovoi konferencii molodih vchenih; 2013 listop 26-27; Chernigiv, Chernigiv: Siver-Druk; 2013, s. 55-7. [in Ukrainian].
3. Voznjuk SV, Titova LV, Iutinskaja GA. Osobennosti formirovanija soevo-rizobial'nyh sistem pri primenenii fungicidov i kompleksnoj inokuljacii. Naukovi zapiski Ternopil's'kogo nacional'nogo pedagogichnogo universitetu. Serija: Biologija. 2014;3(60):61-4. [in Russian].
4. V'juncov SM. Formuvannya produktivnosti l'onu-dovguncja zalezno vid zastosuvannya mikrobnogo preparatu polimiksobakterin. Visnik Zhitomir's'kogo nacional'nogo agroekologichnogo universitetu. 2016;53(1):125-31. [in Ukrainian].
5. German MM, Marenich MM. Efektivnist' peredposivnoji obrobki nasinnja fosfatmobilizujuchimi preparatami pshenici m'jakoi ozimoi. Visnik Poltav's'koi derzhavnoi agrarnoi akademii. 2013;2:19-21. [in Ukrainian].
6. Gospodarenko GM, Prokopchuk IV. Transformacija kislотно-osnovnih vlastivostej gruntu za trivalogo zastosuvannya dobriv u pol'ovij sivozmini. Visnik Umans'kogo nacional'nogo universitetu sadivnictva. 2014;1:8-12. [in Ukrainian].
7. Grigor'eva OM, Grigor'eva TM, Liman PB, Tokmakova LM. Vpliv mikrobnih preparativ na produktivnist' zernovih kul'tur u pivnichnomu stepu Ukraini. Sil's'kogospodars'ka mikrobiologija. 2012;15-16:49-57. [in Ukrainian].
8. Grigor'eva OM, Grigor'eva MI. Mikrobnii preparati u tehnologii viroshhuvannya kukurudzi na zerno v pivnichnomu stepu Ukraini. Zbirnik naukovih prac' Umans'kogo nacional'nogo universitetu sadivnictva. 2011;76:8-23. [in Ukrainian].
9. Grigor'eva TM. Efektivnist' zastosuvannya mineral'nih dobriv u kombinacij z mikrobnimi preparatami pri viroshhuvanni jachmenju jarogo. Sil's'kogospodars'ka mikrobiologija. 2014;19:21-6. [in Ukrainian].
10. Derzhavnij reestr pesticidiv i agrohimiaktiv, dozvoljenih do vikoristannya v Ukraini (rozpochato z 01.01.2008 r. zgidno z vimogami postanovi Kabinetu Ministriv Ukraini vid 21.11.2007 № 1328) [Internet]. Kiiv: Ministerstvo ekologii ta prirodnihih resursiv Ukraini; 2017 [onovleno 08 kvitnja 2017; citovano 05 sichnja 2018]. Dostupno: <https://menr.gov.ua/content/derzhavnij-reestr-pesticidiv-i-agrohimiaktiv-dozvoljenih-do-vikoristannya-v-ukraini-dopovneniya-z-01012017-zgidno-vimog-postanovi-kabinetu-ministriv-ukraini-vid-21112007-1328.html> [in Ukrainian].
11. Dubovik Dju, Olefirenko BA. Efektivnist' zastosuvannya biodobriv na posivah pshenici ozimoi. Mironiv's'kij visnik. 2016;2:214-48. [in Ukrainian].
12. Iutins'ka GO. Mikrobnii biotehnologii dlja realizacii novoi global'noi programi zabezpechennja stalogo rozvitku agrosferi Ukraini. Agroekologichnij zhurnal. 2017;2:149-54. [in Ukrainian].
13. Iutinskaja GA. Biologicheskie preparaty kompleksnogo dejstva dlja povyshenija effektivnosti mikrobnorastitel'nyh sistem. Materialy Shestoj Mezhdunarodnoj konferencii Radostim. Biologicheskie preparaty i reguljatory rosta rastenij v sel'skom hozjajstve [Internet]; 2010 nojabr 24-25; Krasnodar, Krasnodar: Kubanskij gosudarstvennij agrarnij universitet; 2010 [citirovano 2018 Janv 05]; s. 19-23. Dostupno: [http://www.darostim-conference.info/2010/2010%20ru/Word%20Formulare/Radostim\\_2010\\_Talk\\_Catalogue.pdf](http://www.darostim-conference.info/2010/2010%20ru/Word%20Formulare/Radostim_2010_Talk_Catalogue.pdf) [in Russian].
14. Iutinskaja GA, Ponomarenko SP, redaktory. Bioreguljacija mikrobnorastitel'nyh sistem: Monografija. Kiev: «Nichlava»; 2010. 472 s. [in Russian].
15. Kovalenko OA, Kljuchnik MA, Chebanenko KV. Zastosuvannya biopreparativ dlja obrobki nasinnevo materialu pshenici ozimoi. Naukovi prac'. Ekologija. 2015;256(244):74-7. [in Ukrainian].
16. Kovpak PV, Tokmakova LM, Larchenko IV, Trepach AO. Chisel'nist' fosfatmobilizoval'nih bakterij u korenevij zoni roslin pshenici za dii polimiksobakterinu ta mineral'nih dobriv. Sil's'kogospodars'ka mikrobiologija. 2013;17:101-10. [in Ukrainian].
17. Kolodjzhnij Oju. Formuvannya mikrobnogo kompleksu chornoze mu tipovogo v agrocenozi pshenici ozimoy za riznih sistem zemlerobstva [disertacija]. Kiiv: Nacional'nij universitet bioresursiv ta prirodokoristuvannya Ukraini; 2015. 230 s. [in Ukrainian].
18. Koshevs'kij II, Ljaska SI. Vpliv inokuljacii soi biologichnimi preparatami na rozvitok gribnih hvorob. Naukovij visnik Nacional'nogo universitetu bioresursiv i prirodokoristuvannya Ukraini. Serija: Biologija, biotehnologija, ekologija. 2014;204:127-31. [in Ukrainian].
19. Koshkin EI. Patofiziologija sel'skohozjajstvennyh kul'tur: uchebnoe posobie. Moskva: RG-Press; 2016. 303 s. [in Russian].
20. Kramar'ov SM, Kramar'ov OS, Pisarenko OV, Hristenko AO, Tokmakova LM, Zhuchenko SI, ta in. Zmina vmistu ruhomogo fosforu v genetičnih gorizontah chornoze mu zvizhajno na rilli vidnosno cilini v umovah pivnichnogo stepu Ukraini. Visnik Poltav's'koi derzhavnoi agrarnoi akademii. 2014;7-22. [in Ukrainian].
21. Kurdish IK. Introdukcija mikroorganizmiv u agrosistemi. Kiiv: «Naukova dumka»; 2010. 255 s. [in Ukrainian].
22. Kurdish IK. Perspektiva zastosuvannya mikrobniv-antagonistiv u zahisti agroekosistem vid fitopatogeniv. Sil's'kogospodars'ka mikrobiologija. 2011;13:23-41. [in Ukrainian].
23. Medvedev SS. Fiziologija rastenij: uchebnik. Sankt-Peterburg: BHV-Peterburg; 2012. 512 s. [in Russian].
24. Mel'nichuk TM, Chajkovs'ka LO, Kameneva IO, Jakubovs'ka AI, Lolojko OA. Fiziologo-biohimichni aspekti vzaemodii bioagentiv mikrobnih preparativ ta roslin. Naukovi zapiski Ternopil's'kogo nacional'nogo pedagogichnogo universitetu. Serija: Biologija. 2014;3(60):134-8. [in Ukrainian].
25. Najd'onova OE, Shedej LO, Sjabruk OP, Akimova RV, Gvozdk VB. Zastosuvannya mikrobnogo preparatu polimiksobakterinu za viroshhuvannya sonjashnika v organichnomu zemlerobstvi. Agrohimiija i gruntoznavstvo. 2015;83:31-5. [in Ukrainian].
26. Ostapchuk MO, Polishhuk IS, Mazur VA. Mikrobiologichni preparati – skladova organichnogo zemlerobstva. Zbirnik naukovih prac' Vinnic'kogo nacional'nogo agrarnogo universitetu. 2011;7(47):11-6. [in Ukrainian].
27. Perelik pesticidiv i agrohimiaktiv, dozvoljenih do vikoristannya v Ukraini [Internet]. Dostupno: <http://agrosience.com.ua/perelik-pest/nitrozlak> [in Ukrainian].
28. Plisko IV, Dac'ko LV, Dem'janjuk OS. Vartist' osnovnih pozhivnih rečov in gruntah Ukraini. Agroekologichnij zhurnal. 2013;1:55-60. [in Ukrainian].
29. Povh OV. Integrovane zastosuvannya organichnih dobriv ta mikrobiologichnih preparativ v suchasnih agrotehnologijah. Visnik Centru naukovogo zabezpechennja agropromislovogo virobnictva Harkiv's'koj oblasti. 2014;16:287-95. [in Ukrainian].
30. Rechkin AI, Ladygina GN. Geohimicheskaja rol' mikroorganizmov: elektronnoe uchebnoe posobie. Nizhnij Novgorod: NGU; 2010. 72 s. [in Russian].

31. Safronova GV, Aleshhenkova ZM, Mel'nikova NV, Vasina EV. Transformacija vodonerastvorimyh pochvennyh fosfatov mikroorganizmami. Sbornik nauchnyh trudov. Mikrobnye biotekhnologii: fundamental'nye i prikladnye aspekty. Minsk: Belarusskaja navuka. 2011;3:192-210. [in Russian].
32. Skidan OV, redaktor. Efektivnist' zahodiv organichnogo viroshhuvannya cibuli porej. Zbirnik materialiv dopovidej uchasnikiv IV Mizhnarodnoi naukovo-praktichnoi konferencii. Organichne virobnictvo i prodovol'cha bezpeka; 2016 Trav 12-13; Zhitomir. Zhitomir: FOP OO. Jevenok; 2016. s. 118-21. [in Ukrainian].
33. Stahiv MP. Fosforne zhivlennja roslin ta metodichni aspekti viznachennja ruhomih spoluk fosforu v grunti. Gruntoznavstvo. 2010;11(3-4):88-95. [in Ukrainian].
34. Tehnologii majbutn'ogo – mikrobnii preparati. Katalog produkcii kompanii «BTU-Centr» [Internet]. Ladizhin: BTU-Centr «Biotekhnologija Ukraini»; 2017 [citovano 2018 Sichn 05]. Dostupno: [http://btu-center.com/upload/images/catalog\\_2017/%D0%91%D0%A2%D0%A3-mail.pdf](http://btu-center.com/upload/images/catalog_2017/%D0%91%D0%A2%D0%A3-mail.pdf) [in Ukrainian].
35. Atekan, Nuraini Y, Handayanto E, Syekhfan. The potential of phosphate solubilizing bacteria isolated from sugarcane wastes for solubilizing phosphate. Journal of degraded and mining lands management. 2014;1(4):175-82.
36. Behera BC, Singdevsachan SK, Mishra RR, Dutta SK, Thatoi HN. Diversity, mechanism and biotechnology of phosphate solubilizing microorganism in mangrove – a review. Biocatalysis and Agricultural Biotechnology. 2014;3(2):97-100.
37. Habte M, Osorio NW. Effect of nitrogen form on the effectiveness of a phosphate-solubilizing fungus to dissolve rock phosphate. Biofertilizers & Biopesticides [Internet]. 2012 Oct 18 [cited 2018 Jan 05];3(127):1-4. Available from: <https://www.omicsonline.org/effect-of-nitrogen-form-on-the-effectiveness-of-a-phosphate-solubilizing-fungus-to-dissolve-rock-phosphate-2155-6202.10000127.php?aid=9635> DOI: 10.4172/2155-6202.10000127
38. Hajjam Y, Cherkaoui S. The influence of phosphate solubilizing microorganisms on symbiotic nitrogen fixation: Perspectives for sustainable agriculture. Journal of Materials and Environmental Sciences. 2017;8(3):801-8.
39. Halvorson HO, Keynan A, Kornberg HL. Utilization of calcium phosphates for microbial growth at alkaline pH. Soil Biology and Biochemistry. 1990;22(7):887-90.
40. Krishnaraj PU, Danale S. Mineral Phosphate Solubilization: Concepts and Prospects in Sustainable Agriculture. Proceedings of the Indian National Science Academy. 2014;80(2):389-405.
41. Mennan C. Bacterial acid phosphatase and its application to waste remediation and metal recovery [thesis for the degree of doctor of philosophy]. Birmingham; The University of Birmingham; 2010. 244 p.
42. Panhvar QA, Jusop S, Naher UA, Othman R, Razi MI. Application of potential phosphate-solubilizing bacteria and organic acids on phosphate solubilization from phosphate rock in aerobic rice. The Scientific World Journal [Internet]. 2013 Aug 22 [cited 2018 Jan 05]; Article ID 272409:1-10. Available from: <https://www.hindawi.com/journals/tswj/2013/272409>
43. Sarikhani MR. Increasing potassium (K) release from K-containing minerals in the presence of insoluble phosphate by bacteria. Biological Journal of Microorganism. 2016;4(16):87-96.
44. Sharma SB, Sayyed RZ, Trivedi MH, Gobi TA. Phosphate solubilizing microbes: sustainable approach for managing phosphorus deficiency in agricultural soils. Springer Plus [Internet]. 2013 Oct 31 [cited 2018 Jan 05];2:587:1-10. Available from: <https://springerplus.springeropen.com/articles/10.1186/2193-1801-2-587>
45. Whitelaw MA. Growth promotion of plants inoculated with phosphate-solubilizing fungi. Advances in Agronomy. 2000;69:100-51.
46. Xu RK, Zhu YG, Chittleborough D. Phosphorus release from phosphate rock and an iron phosphate by low-molecular-weight organic acids. Journal of Environmental Sciences. 2004;16(1):5-8.

### РОЛЬ ҐРУНТОВОЇ МІКРОФЛОРИ У ПРОЦЕСАХ МОБІЛІЗАЦІЇ ФОСФОРУ З ЙОГО МАЛОРОЗЧИННИХ СПОЛУК

**Літвінова В. В., Лаврентьева К. В., Скляр Т. В.**

**Резюме.** Роботу присвячено одному із найперспективніших напрямків сучасної екологічної біотехнології – оптимізації фосфорного живлення сільськогосподарських рослин при використанні біопрепаратів на основі фосфатмобілізуючої ґрунтової мікрофлори. Наведено дані щодо вмісту та кількісного співвідношення форм фосфатів у ґрунтах України, ролі фосфору та його сполук для у життєдіяльності рослинного організму. Охарактеризовано видовий склад мікрофлори, що бере участь у процесах трансформації фосфоровмісних сполук у ґрунті, описано головні механізми фосфатмобілізації. Наведено інформацію щодо основних моно- та комплексних біопрепаратів («Поліміксобактерин», «Фосфоентерин», «Альобактерин», «Біокомплекс-БТУ», «Ековітал», «Нітрозлак», «Органік-баланс») на основі фосфатмобілізуючої мікрофлори та проаналізовано сучасні літературні дані, що підтверджують ефективність їх застосування на практиці при вирощуванні злакових, технічних та овочевих культур.

**Ключові слова:** фосфор, фосфатмобілізуюча мікрофлора, фосфатмобілізація, біопрепарати.

### РОЛЬ ПОЧВЕННОЙ МИКРОФЛОРЫ В ПРОЦЕССАХ МОБИЛИЗАЦИИ ФОСФОРА ИЗ ЕГО МАЛОРАСТВОРИМЫХ СОЕДИНЕНИЙ

**Литвинова В. В., Лаврентьева Е. В., Скляр Т. В.**

**Резюме.** Работа посвящена тематике оптимизации фосфорного питания сельскохозяйственных растений с помощью биопрепаратов на основе фосфатмобилизирующей микрофлоры. Приведены данные о формах и количественном содержании соединений фосфора в почве и их роли в жизнедеятельности растительного организма. Охарактеризовано разнообразие микроорганизмов, способных к трансформации нерастворимых фосфатов в растворимую форму, и описаны главные механизмы фосфатмобилизации – растворение соединений фосфора под действием органических и неорганических кислот, образование органическими кислотами хелатных комплексов с металлами в составе минеральных фосфатов, а также расщепление органических фосфорсодержащих соединений под действием ферментов. Также в работе приведена информация об основных моно- и комплексных биопрепаратах («Полимиксобактерин», «Фос-

фоэнтерин», «Альбобактерин», «Биокомплекс-БТУ», «Эковитал», «Нитрозлак», «Органик-баланс») на основе фосфатмобилизующей микрофлоры и проанализированы современные литературные данные, подтверждающие эффективность и безопасность их применения на практике при выращивании злаковых, технических, овощных культур.

**Ключевые слова:** фосфор, фосфатмобилизующая микрофлора, фосфатмобилизация, биопрепараты.

### THE ROLE OF SOIL MICROFLORA IN PROCESSES OF MOBILIZATION OF PHOSPHORUS FROM ITS INSOLUBLE COMPOUNDS

Litvinova V. V., Lavrentyeva K. V., Skliar T. V.

**Abstract.** Excessive and unbalanced use of pesticides and mineral fertilizers in order to increase the productivity of agricultural plants adversely affects the acid-base properties, chemical composition and biological component of the soil. As a result, its phytosanitary condition deteriorates, fertility declines. Recently, the world has seen a transition to the practice of biologization of agriculture, which consists in replacing chemicals with ecologically safe biofertilizers based on soil microorganisms that not only promote the improvement of mineral nutrition of plants and increase their productivity, but also enhance its resistance to stress factors, inhibit the multiplication of phytopathogenic species, reduce the pesticide load on agrocenosis.

In this regard, the development and introduction of such preparations in agriculture is especially relevant. Of considerable interest are biofertilizers based on phosphate-mobilizing soil microflora, capable of translating poorly soluble phosphorus compounds in the soil into a soluble form and thereby optimizing the phosphorous nutrition of plants. It is to this promising direction of biotechnology that this literature review is devoted.

The paper contains data on the content and quantitative ratio of phosphate forms in the soils of Ukraine, the role of phosphorus and its compounds in the vital activity of the plant organism. It is shown that in black earth phosphorus is mainly in the form of sparingly soluble mineral salts, which contain a phosphate anion bound to the cations  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Al}^{3+}$ ,  $\text{Fe}^{2+}$ ,  $\text{Mn}^{2+}$ . Most of the organic compounds of phosphorus are represented by humus, phosphatides, sugar phosphates, nucleic acids, phytin and phytates with a low rate of mineralization. It is known that the rhizosphere phosphate-mobilizing microflora plays the main role in the transformation of poorly soluble inorganic and organic phosphates. Its species composition is represented by bacteria (*Bacillus sp.*, *B. megaterium*, *B. mycoides*, *B. cereus*, *B. subtilis*, *Pseudomonas sp.*, *P. putida*, *P. striata*, *P. fluorescens*, *Erwinia sp.*, *Enterobacter sp.*, *Micrococcus sp.*, etc.), fungi (*Aspergillus awamori*, *A. niger*, *A. flavus*, *Mortierella sp.*, *Micromonospora sp.*, *Mucor sp.*, *Penicillium digitatum*, *P. lilacinium*, *P. balaji*, etc.) actinomycetes (*Actinomyces sp.*, *Streptomyces sp.*), cyanobacteria (*Anabena sp.*, *Nostoc sp.*, *Scytonema sp.*). Many research works indicate that the transformation of phosphorus-containing compounds by these microorganisms can occur in accordance with three basic mechanisms: acid dissolution of phosphates; formation of chelated complexes with metal cations in the composition of mineral phosphorus-containing compounds by organic acids; enzymatic cleavage of organic compounds of phosphorus. On the basis of the most active of the isolated strains of soil phosphate-mobilizing bacteria, a number of mono- and complex biofertilizers have been created ("Polymyxobacterin", "Phosphoenterin", "Albobacterin", "Biocomplex-BTU", "Ecovital", "Nitrozlak", "Organic Balance"), the effectiveness of which has been confirmed experimentally in numerous laboratory and field studies.

**Key words:** phosphorus, phosphate-mobilizing microflora, phosphate mobilization, biofertilizers.

Рецензент – проф. Катрушов О. В.

Стаття надійшла 09.01.2018 року

DOI 10.29254/2077-4214-2018-1-1-142-45-50

УДК 616.831-178.1-053.6

Лобанов І. Ю.

## МІНІМАЛЬНА МОЗКОВА ДИСФУНКЦІЯ ЯК ПЕРЕДУМОВА ФОРМУВАННЯ РОЗЛАДІВ, ПОВ'ЯЗАНИХ З ВЖИВАННЯМ ПСИХОАКТИВНИХ РЕЧОВИН У ОСІБ МОЛОДОГО ВІКУ

ДУ «Інститут неврології, психіатрії та наркології НАМН України» (м. Харків)

ivanlobanov.ua@gmail.com

**Зв'язок публікації з плановими науково-дослідними роботами.** Стаття є фрагментом НДР «Вивчити ендокринні механізми формування алкогольної залежності», № державної реєстрації 0113U001290.

**Вступ.** Одним з найбільш соціально значущих завдань сучасної наркології є збереження психічного здоров'я підростаючого покоління, боротьба з наслідками споживання алкоголю та інших психоактив-

них речовин (ПАР) та розробка засобів попередження вживання.

За даними епідеміологічних досліджень у Харківському регіоні серед 1532 підлітків 15-18 років поширеність тютюнової залежності серед молоді складає 12,21%, алкогольної – 2,6%, а вживання алкоголю сягає 76,11% [15].