

ВПЛИВ БАКТЕРІАЛЬНИХ ПРЕПАРАТІВ НА НАСІННЄВУ ПРОДУКТИВНІСТЬ, КОРЕНЕВУ СИСТЕМУ ТА АЗОТФІКСАЦІЮ ПРИ ВИРОЩУВАННІ СОРТІВ ЛЮЦЕРНИ В УМОВАХ ЗРОШЕННЯ

ТИЩЕНКО А.В. – кандидат сільськогосподарських наук
<https://orcid.org/0000-0003-1918-6223>

ТИЩЕНКО О.Д. – кандидат сільськогосподарських наук,
старший науковий співробітник
<https://orcid.org/0000-0002-8095-9195>

ПІЛЯРСЬКА О.О. – кандидат сільськогосподарських наук
<https://orcid.org/0000-0001-8649-0618>

ДІДОВИЧ С.В. – кандидат сільськогосподарських наук,
старший науковий співробітник
<https://orcid.org/0000-0001-6569-0602>

Інститут зрошуваного землеробства
Національної академії аграрних наук України

ГАЛЬЧЕНКО Н.М. – кандидат сільськогосподарських наук
<https://orcid.org/0000-0002-1717-5101>

Асканійська Державна сільськогосподарська дослідна станція
Інституту зрошуваного землеробства
Національної академії аграрних наук України

Вступ. Для задоволення зростаючого глобального попиту на продовольство необхідно підтримувати і підвищувати рівень продуктивності сільського господарства за одночасного скорочення сільськогосподарських ресурсів, таких як мінеральні добрива [1]. Але, сучасне землеробство, в основному, базується на використанні сортів інтенсивного типу, вирощування яких вимагає великої кількості мінеральних азотних добрив, що призвело до безпрецедентного погіршення глобальної екологічної обстановки: забруднення навколишнього середовища, втрати природної родючості ґрунтів, погіршення їх властивостей і зниження якості сільськогосподарської продукції через накопичення в ній шкідливих для організму людини і тварин підвищених концентрацій нітратів, зниження біорізноманіття природних екосистем і погіршення умов життя людини практично всіх регіонів світу [2; 3]. В той же час економічна та екологічна криза привели до різкого зменшення внесення органічних і мінеральних добрив, зниження площ посівів багаторічних бобових трав, ігнорування сівозмін, що сприяє збільшенню площ деградованих земель. Проте, для ефективного їх відновлення перспективним є використання рослин-біомеліорантів, серед яких бобові культури мають пріоритетне значення і, перш за все люцерна, оскільки вона має унікальну здатність підвищувати ґрунтову родючість за рахунок накопичення атмосферного азоту внаслідок симбіозу з бульбочковими бактеріями. Крім симбіотичних відносин рослина-штам, культура люцерни сприяє зниженню рівня ґрунтових вод і розсоленню ґрунтів, що особливо актуально на сьогодні. Однак розширення посівних площ цієї цінної кормової культури не відбувається через відсутність у достатній кількості посівного матеріалу, що в свою чергу пов'язано з низькою насінневою продуктивністю [4].

Підвищення насінневої продуктивності люцерни – надзвичайно важливе і складне питання, яке можливо вирішити шляхом створення нових високо врожайних сортів, а також розробки більш досконалої технології вирощування. Суть останньої зводиться до доповнення звичайної агротехніки комплексом спеціальних прийомів, які прямо чи опосередковано поліпшують процеси росту і розвитку, утворення генеративних органів та підвищують врожайність насіння люцерни [5]. Для отримання високих сталих урожаїв насіння люцерни необхідно створити оптимальні для росту та розвитку рослин умови. Ефективним фактором впливу на урожай насіння люцерни є бактеріальні добрива. Інокуляція насіння бактеріальними добривами збільшує об'єм кореневої маси, активізує симбіотичні процеси, підвищує стійкість рослин до стресових факторів зовнішнього середовища, що є дуже важливою умовою для підвищення насінневої продуктивності. Використання бактеріальних препаратів стимулює формування додаткового врожаю, накопичення органічної речовини (у вигляді кореневих залишків) та симбіотичного азоту, при цьому знижуючи внесення мінеральних добрив для наступних культур, не забруднюючи довкілля.

Тому максимальне використання та підвищення рівня біологічної азотфіксації дозволить обійтися без застосування дорогих та екологічно небезпечних мінеральних азотних добрив і порушень екології природного середовища – це альтернативний шлях забезпечення рослин азотом [6].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Для вирішення цієї проблеми потрібні нові підходи до регіонального природокористування з ухилом на біологізацію сільського господарства, що передбачає ведення сівозмін з підвищеною часткою бобових культур [8; 9], які у структурі посівних площ

повинні складати 25–40%. Вони у сівозміні сумісно з бульбочковими бактеріями зв'язують атмосферний азот, збільшують його природне надходження в ґрунт за рахунок фіксації атмосферного азоту, що знижує витрати на виробництво продукції, зменшує потребу в мінеральних добривах, сприяє збереженню навколишнього середовища [9–11; 13]. Для використання дешевого біологічного азоту в сільськогосподарському виробництві багато країн збільшують посівні площі під бобовими культурами, а також широко застосовують передпосівний обробіток насіння препаратами бульбочкових бактерій, одержуваних на основі активних штамів *Sinorhizobium* [14]. Тому обов'язковим агроприємом у технологіях вирощування бобових культур має бути передпосівна обробка насіння біопрепаратами. Завдяки здатності бобових рослин вступати в симбіоз із специфічними для певного виду або групи видів бульбочковими бактеріями, вони можуть у ґрунтово-кліматичних умовах України засвоїти за вегетацію до 125–480 кг/га азоту повітря. Дякуючи симбіотичній азотфіксації бобові культури формують високі урожаї, які забезпечують підвищення їх продуктивності у середньому на 10–30%, а зростання вмісту протеїну в рослинах на 20–45%. Після збирання урожаю більше 30% біологічно фіксованого азоту залишається в післяжнивних і кореневих рештках і використовується наступними культурами [15–19]. Бобові рослини і бульбочкові бактерії мають істотний вплив на життєздатність один одного. Наприклад, рослини люцерни в симбіозі з селекційно-підібраними штамми-інокулянтами набувають великої стійкості до стресових умов, що виражається в збільшенні надбавки зеленої маси рослин. Рослини засвоюють речовини, які ризобії синтезують, у тому числі й для захисту від сольового стресу, в той же час коріння рослин виробляють ексудат, що стимулює зростання бактерій у ризосфері [20–23]. Саме тому рослинно-мікробні системи, стійкі до впливу абіотичних стрес-факторів, вкрай затребувані для розвитку фітомеліоративних технологій відновлення деградованих ґрунтів, наприклад, засолених ґрунтів, площа яких за останні 20 років збільшилася в світі в 2,5 рази і досягла 800 млн га [24; 25].

Відомо, що в підвищенні врожайності та якості бобових культур, у тому числі люцерни, істотну роль відіграють біопрепарати на основі бульбочкових бактерій *Sinorhizobium*, які здатні посилювати симбіотичну азотфіксацію, а також пригнічувати захворювання рослин шляхом індукції у них стійкості до несприятливих факторів зовнішнього середовища та дають прибавку врожаю зеленої маси [26; 27].

В останні роки великий інтерес проявляється до підбору, для інокуляції насіння, найбільш ефективних поєднань різних штамів симбіотичних мікроорганізмів, оскільки одновидові системи мало стійкі за своєю природою і в умовах стресів уразливі для конкурентів, збудників хвороб та інших факторів, що впливають на їх функціонування в агроценозах. Переваги застосування консорціумів над монокультурами полягає в багатоплановості дії з можливістю цілеспрямованого управління процесом, підвищен-

ної стійкості до змін навколишнього середовища та підвищенні ефективності рослинно-мікробної взаємодії, адаптації [28–31], в т.ч. включають фосфатомобілізуючі препарати, які посилюють мобілізацію фосфору з важкодоступних сполук ґрунту в легкодоступні рослинам [32]. У результаті відбувається вивільнення з важкодоступних фосфатів від 10 до 40% рухливих і доступних рослинам сполук фосфору. [33]. Крім того, більшість видів фосфатомобілізуючих бактерій благотворно впливають на рослини, стимулюючи їх ростові й фотосинтетичні процеси внаслідок виділення мікроорганізмами вітамінів і фітогормонів, продукування ними антибіотиків, що пригнічують розвиток патогенів; переведення мінеральних елементів у доступну для рослин форму [34]. Особливий інтерес представляють ціанобактерії (ЦБ), які здатні продукувати органічну речовину, фіксувати атмосферний азот, підвищувати доступність фосфору та інших елементів, виділяти фітогормони і токсини, вести протиерозійну діяльність, володіти стійкістю до мінливих ґрунтових умов. Крім того, ЦБ здатні покращувати фізичні властивості ґрунту, поглинати різні солі, впливати на перерозподіл елементів у ґрунті, залишаються доступними для рослин і повертаються в круговорот речовин після їх відмирання. Тому ці всі властивості зробили ЦБ привабливим об'єктом для створення на їх основі штучних асоціацій [35–40]. Внаслідок цього, такий симбіоз, як спільне існування неспоріднених організмів є функціональним явищем адаптації кожного партнера і системи в цілому до мінливих умов середовища проживання. В результаті симбіотичних відносин відбувається збільшення екологічних можливостей організмів. Як правило, симбіотичні відносини виникають у середовищі, збідненому життєвими ресурсами, а симбіотичні взаємини партнерів збільшують можливості їх виживання [41; 42].

Виходячи з аналізу вітчизняного і зарубіжного наукового матеріалу в дослідження ми включили мікробні препарати: Ризобофит – на основі бульбочкових бактерій *Sinorhizobium meliloti*; Комплекс біопрепаратів – на основі Ризобофиту, фосфатомобілізуючих, рістстимулюючих та біопротекторних мікроорганізмів; мікробні препаративні форми на основі мікросимбіонту люцерни *Sinorhizobium meliloti* и азотфіксуючої, рістстимулюючої ціанобактерії. Ефективність новітніх формул бактеріальних препаратів оцінювали для виявлення кращих і включення у технологію вирощування люцерни.

Мета роботи. Вивчення впливу бактеріальних препаратів на насінневу продуктивність, симбіотичну азотфіксацію, накопичення кореневої маси люцерни другого року життя.

Матеріали та методи досліджень. Дослідження проводили протягом 2016–2018 рр. на дослідному полі Інституту зрошувального землеробства НААН. У ґрунтово-кліматичному відношенні поле розташоване в степовій зоні, на Інгупецькому зрошуваному масиві.

Метод закладки польового досліду – розщеплені ділянки. Головні ділянки (фактор А) – сорти люцерни (Унітро і Зоряна); суб-ділянки (фактор В) – обробка насіння мікробними препаратами

із розрахунку 1% від маси насіння без розведення водою в день посіву: Ризобіфіт – на основі штаму бульбочкових бактерій *Sinorhizobium meliloti* 4046; Комплекс біопрепаратів (КБП) – Ризобіфіт, Фосфоентерин – на основі фосфатмобілізуєчих та рістстимулюєчих бактерій *Lelliottia nimipressuralis*, Біополіцид – на основі біопротекторних мікроорганізмів *Paenibacillus polymyxa*; ціаноризобіальний консорціум (ЦБК) і ціаноризобіальний препарат (ЦБП) – на основі штаму *Sinorhizobium meliloti* 4046, ціанобактерії *Nostoc linckia* та асоційованих з нею мікроорганізмів поліфункціональної дії. ЦБК – гомогенатна форма з первинними і вторинними ціанобактеріальними метаболітами; ЦБП – препаративна форма з первинними ціанобактеріальними метаболітами, виготовлені за оригінальними авторськими рецептами середовищ. Варіанти досліду: 1 – контроль (без обробки); 2 – Ризобіфіт; 3 – Комплекс біопрепаратів (КБП) (1:1:1); 4 – Ціанобактеріальний консорціум (ЦБК); 5 – Ціанобактеріальний препарат (ЦБП). Строк сівби ранньовесняний. Посів широкорядковий з міжряддям 70 см. Площа посівної ділянки – 16 м², повторність триразова.

Статистична обробка врожайних даних проводилась методом дисперсійного аналізу [43].

Вивчення розподілу коренів методом відмивання дозволило визначити масу і процентний їх розподіл (після збирання) по шарах ґрунту через кожні 10 см [44]. Азотфіксацію визначали методом балансу [45].

Результати досліджень та їх обговорення.

Отримані експериментальні дані свідчать про різну реакцію сортів люцерни на бактерізацію. Урожайність насіння при моно інокуляції бульбочковими бактеріями (Ризобіфіт) вище на 16,0–20,0% у порівнянні з контролем і склала 271,8 кг/га у сорту Зоряна та 361,9 кг/га – сорту Унітро. Проте, дія монокультури (Ризобіфіт) по насінневій продуктивності істотно відрізнялася, була нижчою від трикомпонентних асоціацій (КБП) на основі Ризобіфіту, Фосфоентерину та Біополіциду з урожайністю насіння 303,6 кг/га (сорт Зоряна) та 398,8 кг/га (сорт Унітро). Слід зазначити, що сильно виражена стимулююча дія зазначалася у асоціації з ціанобактеріями ЦБК і ЦБП. Високий ефект показав ціаноризобіальний консорціум (ЦБК) (337,3; 424,6 кг/га), але максимальний результат за аналізованою ознакою отриманий у варіанті з застосуванням ЦБП – 361,1 та 456,4 кг/га у сортів Зоряна і Унітро, відповідно (табл. 1)

Таблиця 1 – Урожайність насіння люцерни, накопичення повітряно-сухої кореневої маси у шарі ґрунту 0–50 см та фіксація атмосферного азоту залежно від сорту та застосування бактеріальних препаратів, (середнє за 2016–2018 рр.)

Сорт (фактор А)	Застосування бактеріальних препаратів (фактор В)	Урожайність насіння, кг/га	Накопичення повітряно-сухої кореневої маси, т/га	Фіксація атмосферного азоту, кг/га
Унітро	контроль 1 (без обробок)	307,5	4,50	161,98
	Ризобіфіт	369,1	4,60	193,18
	КБП (комплекс біопрепаратів)	398,8	5,00	205,03
	ЦБК (ціанобактеріальний консорціум)	424,6	5,62	215,27
	ЦБП (ціанобактеріальний препарат)	456,4	5,80	222,49
	середнє	391,3	5,10	199,59
Зоряна	контроль 1 (без обробок)	234,1	4,52	168,35
	Ризобіфіт	271,8	4,72	193,87
	КБП (комплекс біопрепаратів)	303,6	5,08	213,13
	ЦБК (ціанобактеріальний консорціум)	337,3	5,62	220,26
	ЦБП (ціанобактеріальний препарат)	361,1	5,76	227,59
	середнє	301,6	5,14	204,64

Оцінка істотності часткових відмінностей

НІР ₀₅	А	23,76	0,228	4,40
НІР ₀₅	В	18,61	0,209	10,35

Оцінка істотності головних ефектів

НІР ₀₅	А	10,63	0,114	1,97
НІР ₀₅	В	13,16	0,148	7,32

Аналіз отриманих результатів показує, що застосування ціаноризобіальних консорціумів сприяє істотному підвищенню насінневої продуктивності в порівнянні як з контролем, так і моноінокуляцією. Такий факт підтверджено даними деяких авторів, що штучні консорціуми ціанобактерій з різними видами *Rhizobium* стимулюють ріст, розвиток, під-

вищують врожайність рослин та посилюють ефект нітрагінізації бобових рослин [3; 46; 47].

Ефективна взаємодія між усіма партнерами симбіозу забезпечує активізацію ряду метаболічних процесів, перш за все, фіксацію атмосферного азоту, також підсилює ризогенний ефект [3; 48]. Наші дослідження показали, що разом зі збільшен-

ням врожайності насіння відбуваються й зміни параметрів накопичення повітряно-сухої кореневої маси та азотфіксації. Накопичення сухої маси коренів по варіантах досліджу має також істотні коливання залежно від застосування бактеріальних препаратів. Найбільша маса спостерігалася у сортів Зоряна й Унітро при застосуванні ціанобактеріального препарату (ЦБП) – 5,76 та 5,80 т/га, відповідно, тоді як на контрольних варіантах становила 4,52 й 4,50 т/га.

Відзначено збільшення активності процесів азотфіксації при обробці тими ж препаратами ЦБК та ЦБП, але найбільша азотфіксація відмічена

при використанні ціанобактеріального препарату (ЦБП), яка склала 222,49 й 227,59 кг/га у сортів Унітро і Зоряна, відповідно, при низьких показниках на контрольному варіанті 161,98 кг/га (Унітро) та 168,35 кг/га (Зоряна).

Проведений подальший аналіз результатів свідчить про тісний прямий кореляційний зв'язок між врожайністю насіння, накопиченням кореневої маси та азотфіксацією (рис. 1, 2). Це знаходить підтвердження у дослідженнях вчених. За їх даними існує позитивна кореляція між врожайністю надземної маси і масою коренів [49–51].

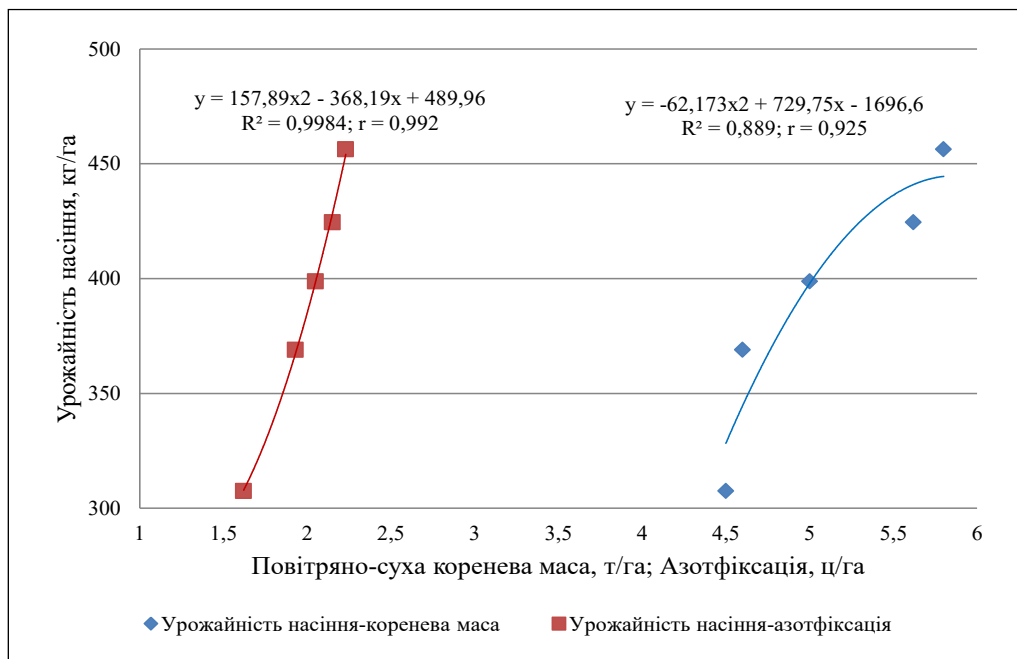


Рис. 1. Поліноміальна лінія тренду залежності між врожайністю насіння, накопиченням кореневої маси та азотфіксацією у сорту люцерни Унітро

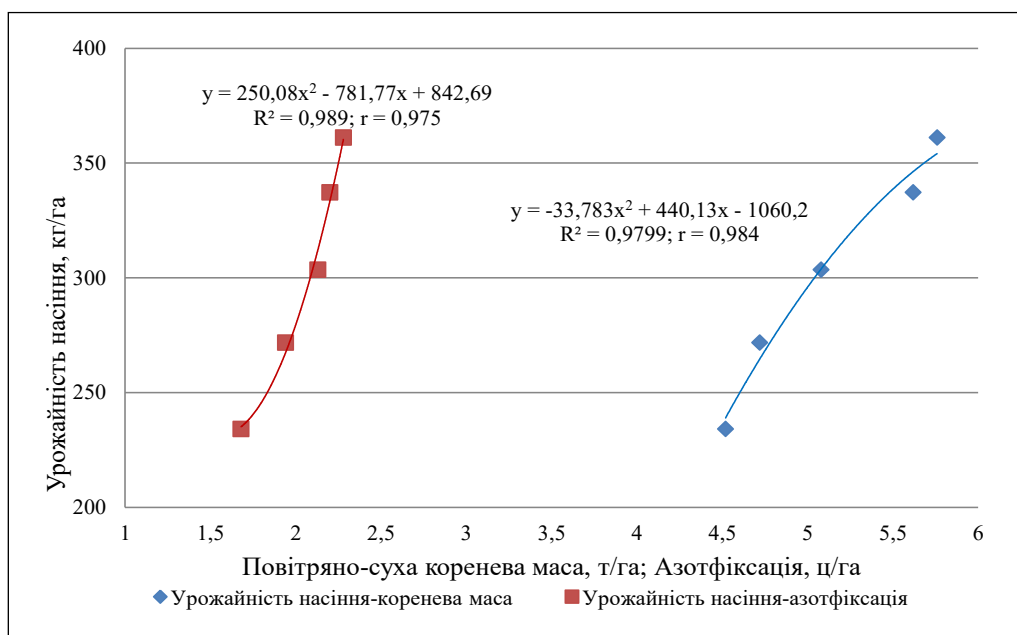


Рис. 2. Поліноміальна лінія тренду залежності між врожайністю насіння, накопиченням кореневої маси та азотфіксацією у сорту люцерни Зоряна

Зокрема, коефіцієнт кореляції між врожайністю насіння та накопиченням кореневої маси у сорту Унітро становив $r = 0,925$, а у сорту Зоряна $r = 0,984$.

Високим зв'язок був між врожайністю насіння та азотфіксацією й становив у сорту Унітро $r = 0,992$ й у сорту Зоряна – $r = 0,975$.

При збільшенні кореневої маси й азотфіксації підвищується насіннева продуктивність рослин обох сортів люцерни. Але також, чим більш потужна та розвинена коренева система, тим сильнішою є азотфіксувальний потенціал рослин, що підтверджує високий коефіцієнт кореляції (рис. 3, 4).

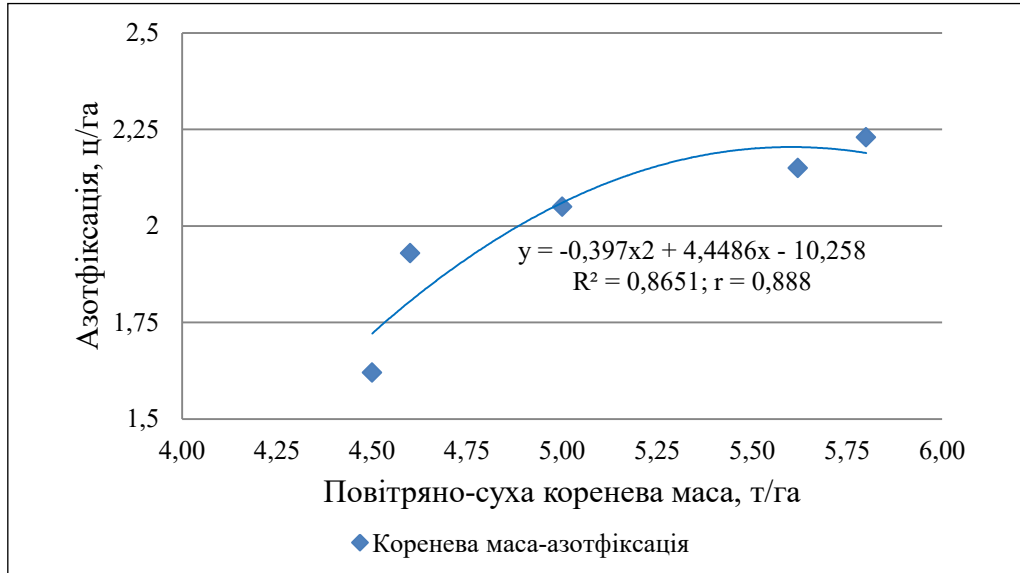


Рис. 3. Поліноміальна лінія тренду залежності між накопиченням кореневої маси та фіксацією атмосферного азоту у сорту люцерни Унітро

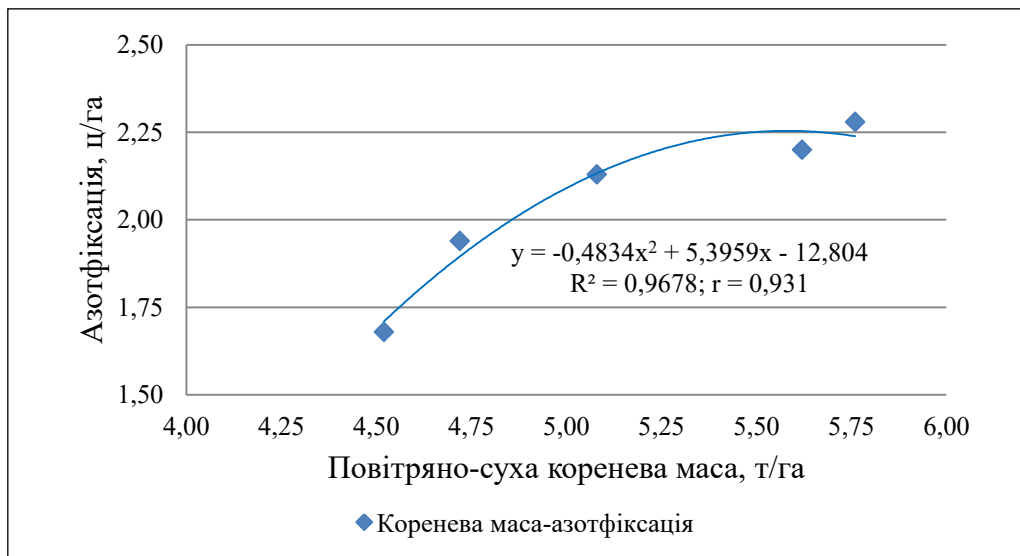


Рис. 4. Поліноміальна лінія тренду залежності між накопиченням кореневої маси та фіксацією атмосферного азоту у сорту люцерни Зоряна

Так, у сорту Унітро він становив $r = 0,888$ й у сорту Зоряна $r = 0,931$.

За даними дисперсійного аналізу встановлено, що найбільший вплив на урожайність насіння, накопичення кореневої маси та азотфіксацію сортів люцерни чинили бактеріальні препарати. Частка впливу становила 49,4%, 94,6% та 96,1%, відповідно. Це підтверджує те, що основним фактором формування врожайності насіння, накопичення

кореневої маси та азотфіксації є бактеріальні добрива. Частка впливу сорту на насінневу продуктивність рослин становила 24,5%, на накопичення кореневої маси та азотфіксацію – 0,1 та 1,4%, відповідно.

Висновки. Найбільший врожай насіння та накопичення кореневої маси було отримано у сорту Унітро за обробки насіння ціанобактеріальним препаратом – 456,4 кг/га й 5,80 т/га, відповідно. Про-

цес азотфіксації найбільш інтенсивно відбувався на сорті Зоряна за обробки насіння ціанобактеріальним препаратом та становив 227,59 кг/га. Найбільший вплив на урожайність насіння, накопичення кореневої маси та азотфіксацію на сорти люцерни чинили бактеріальні препарати. Частка впливу становила 49,4%, 94,6% та 96,1%, відповідно. Коефіцієнт кореляції між накопиченням кореневої маси та азотфіксацією по сорту Унітро становив $r = 0,888$, а по сорту Зоряна $r = 0,931$.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ:

1. Cassman K. G. Ecological intensification of cereal production systems: yield potential, soil quality, and precision agriculture. *Proc. Natl Acad. Sci. USA* 1999. 96:5952–5959. PP. 79-101.

2. Тихонович І. А., Проворов Н. А. Эколого-генетические основы использования биоразнообразия симбиотических систем для повышения продуктивности растений в условиях экологически устойчивого земледелия. URL: <https://textarchive.ru/c-1037341-pall.html>.

3. Трефилова Л. В., Патрушева М. Н. Эффективность использования цианоризобияльного консорциума при выращивании гороха посевного. *Теоретическая и прикладная экология*. 2009. № 3. С. 67-75.

4. Царев А. П., Царева М. А. Агробиологические основы формирования высокопродуктивных агрофитоценозов люцерны на корм и семена в Поволжье. Саратов: ООО «Новый вектор», 2010. 262 с.

5. Шеуджен А. Х., Онищенко Л. М., Хурум Х. Д. Плодородие почвы и продуктивность люцерны при внесении микроудобрений. *Плодородие*. 2006. № 1. С. 18–19.

6. Коць С. Я., Воробей Н. А., Кириченко О. В., Мельникова Н. М., Михалків Л. М., Пухтаевич П. П. Мікробіологічні препарати для сільського господарства. Київ, 2016. 48 с.

7. Парахина Н. В., Лобкова В. Т. Биологизация земледелия в России. Орел : ОГАУ, 2000. 175 с.

8. Артюхов А. И., Кашеваров М. А. Зернобобовые культуры в условиях биологизации земледелия. Брянск : БГСХА, 2001. 94 с.

9. Патица В. П., Гнатюк Т. Т., Булеца Н. М., Кириленко Л. В. Біологічний азот у системі землеробства. *Землеробство*. 2015. Вип. 2. С. 12-20.

10. Хасанова Р. Ф., Суюндуков Я. Т. Многолетние травы и плодородие южных черноземов Башкирского Зауралья. *Известия Самарского научного центра Российской академии наук*. 2009. Т. 11, № 1(4). С. 556-561.

11. Barton L., Butterbach-Bahl K., Kiese R., Murphy D. V. Nitrous oxide fluxes from a grain-legume crop (narrow-leaved lupin) grown in a semiarid climate. *Global Change Biology*. 2011. 17:1153-1166. DOI: 10.1111/j.1365-2486.2010.02260.x

12. Gregorich E. G., Rochette P., VandenBygaart A. J., Angers D. A. () Greenhouse gas contributions of agricultural soils and potential mitigation practices in Eastern Canada. *Soil & Tillage Research*. 2005. 83:53-72. DOI: 10.1016/j.still.2005.02.009

13. Justin K. O'Dea, Clain A. Jones, Catherine A. Zabinski, Perry R. Miller, Ilai N. Keren. Legume, cropping

intensity, and N-fertilization effects on soil attributes and processes from an eight-year-old semiarid wheat system. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*. 2015. Volume 102, pages 179–194. <https://doi.org/10.1007/s10705-015-9687-4>.

14. Спиридонов А. М. Многолетние бобовые травы как источник биологического азота в земледелии. *Земледелие*. 2007. № 3. С. 14–15.

15. Биопрепараты в сельском хозяйстве. Методология и практика применения микроорганизмов в растениеводстве и кормопроизводстве / Под ред. И. Тихоновича и Ю. Круглова. М., 2005. 154 с.

16. Дідович С. В., Толкачов М. З., Бутвіна О. Ю. Ефективність симбіотичної азотфіксації в агроценозах України. *Сільськогосподарська мікробіологія. Міжвідомчий тематичний наук. зб. ІСГМ УААН*. Чернівці, 2008. Вип. 8. С. 117-125.

17. Іутинська Г. О. Ґрунтова мікробіологія: Навчальний посібник. К.: Арістей, 2006. 284 с.

18. Патица В. П., Коць С. Я., Волкогон В. В., Шерстобова О. В., Мельничук Т. М., Калініченко А. В., Гриник І. В. Біологічний азот. Київ : Світ, 2003. 424 с.

19. Волкогон В. В., Надкернична О. В., Ковалевська Т. М. та ін. Мікробні препарати у землеробстві. Теорія і практика. Київ : Аграрна наука, 2006. 312 с.

20. Teplitski M., Robinson J. B., Bauer W. D. Plants secrete substances that mimic bacterial Nacyl homoserine lactone signal activities and affect population density-dependent behaviors in associated bacteria. *Mol Plant Microbe Interact*. 2000. Vol. 13. N 6. P. 637–648.

21. Jiménez-Zurdo J. I., García-Rodríguez F. M., Toro N. The Rhizobium meliloti putA gene: its role in the establishment of the symbiotic interaction with alfalfa. *Mol Microbiol*. 1997. Vol. 23. № 1. P. 85–93.

22. Molbak L., Molin S., Kroer N., Root growth and exudate production define the frequency of horizontal plasmid transfer in the Rhizosphere. *FEMS Microbiol Ecol*. 2007. Vol. 59. N 1. P. 167–176.

23. Ибрагимова М. В., Румянцева М. Л., Онищук О. П. и др. Симбиоз клубеньковых бактерий Sinorhizobium meliloti с люцерной Medicago sativa в условиях засоления. *Микробиология*. 2006. Т. 75. № 1. С. 94–100.

24. Zahran H. H. Rhizobia from wild legumes: diversity, taxonomy, ecology, nitrogen fixation and biotechnology. *J. Biotechnol*. 2001. Vol. 91. № 2–3. P. 143–153.

25. FAO. Crops and drops: making the best use of water for agriculture. Rome. 2005. P. 22.

26. Калинин А. А., Ковина А. Л., Трефилова Л. В. Опыт применения препаратов клубеньковых бактерий для повышения продуктивности бобовых культур. *Экология родного края: проблемы и пути их решения: Сб. матер. XII Всеросс. научн.-практич. конф. с международ. уч.* 2017. С. 293-298.

27. Пташец О. В. Способы регулирования ростовых процессов люцерны посевной. *Мелиорация*. 2013. № 1(69). С. 162-170.

28. Панкратова Е. М., Зяблых Р. Ю., Калинин А. А., Ковина А. Л., Трефилова Л. В. Конструирование микробных культур на основе синезеленой водоросли Nostoc paludosum Kütz. *Альгология*. 2004. Т. 14. № 4. С. 445-458.

29. Pankratova Je. M., Zyablykh R. J., Kalinin A. A., Kovina A. L., Trefilova L. V. Designing of microbial binary

cultures based on blue-green algae (Cyanobacteria) *Nostoc paludosum* Kütz. *International Journal on Algae*. 2004. № 6 (3). P. 290-304.

30. Трефилова Л. В., Зяблых Р. Ю., Ковина А. Л., Калинин А. А. Эффективность цианобактериальных консорциумов при выгонке рассады капусты в защищенном грунте. *Всеросс. научн.-практ. конф. ученых и спец. АПК: «80 лет с.х. образованию и науки на Урале: Итоги и перспективы»*: *Аграрный вестник*. Пермь, 1998. Вып. 11. С. 116-117.

31. Наумкина Т. С., Васильчиков А. Г., Гурьев Г. П. и др. Повышение эффективности биологической азотфиксации зернобобовых культур. *Земледелие*. 2012. № 5. С. 21-23.

32. Park J., Bolan N., Mallavarapu M., Naidu R. Enhancing the solubility of insoluble phosphorus compounds by phosphate solubilizing bacteria. *19-th World Congres of Soil Science*. 2010. Pp. 126-130.

33. Yasmin H., Bano A. Isolation and characterization of phosphate solubilizing bacteria from rhizosphere soil of weeds of khewra salt range and attock. *Pakistan Journal of Botany*. 2011. № 3. P. 1663-1668.

34. Rodriguez H., Fraga R., Gonzalez T., Bashan Y. Genetics of phosphate solubilization and its potential applications for improving plant growthpromoting bacteria. *Plant and Soil*. 2006. № 9. P.15–21.

35. Большев Н. Н. Водоросли и их роль в образовании почв. М.: Изд-во МГУ, 1968. 84 с.

36. Rastogi R. P., Sinha R. P. Biotechnological and industrial significance of cyanobacterial secondary metabolites. *Biotech. Adv.* 2009. № 27. P. 521–539.

37. Prasanna R., Sood A., Ratha S. K., Singh P. K. Cyanobacteria as a “green” option for sustainable agriculture. *Cyanobacteria: an economic perspective*. 2014. Ch. 9. P. 145–166.

38. Титова В. И., Козлов А. В. Методы оценки функционирования микробоценоза почвы, участвующего в трансформации органического вещества: научно-методическое пособие. Нижний Новгород, 2012. 64 с.

39. Rastogi R. P., Sinha R. P. Biotechnological and industrial significance of cyanobacterial secondary metabolites. *Biotech. Adv.* 2009. № 27. P. 521–539.

40. Nilsson M., Rasmussen U., Bergman B. Competition among symbiotic cyanobacterial *Nostoc* strains forming artificial associations with rice (*Oryza sativa*). *FEMS Microbiol. Letters*. 2005. V. 245. № 1. P. 139–144.

41. Проворов Н. А. Генетико-эволюционные основы учения о симбиозе. *Журнал общей биологии*. 2001. Т.62. № 6. С. 472–495.

42. Панкратова Е. М., Трефилова Л. В. Симбиоз как основа существования цианобактерий в природных условиях. *Теоретическая и прикладная экология*. 2007. № 1. С. 4–14

43. Ушкаренко В. О., Нікішенко В. Л., Голобородько С. П., Коковіхін С. В. Дисперсійний і кореляційний аналіз у землеробстві та рослинництві: Навчальний посібник. Херсон : Айлант, 2008. 272 с.

44. Станков Н. З. Корневая система полевых культур. М. : Колос, 1964. 280 с.

45. Посыпанов Г. С. Методы изучения биологической фиксации азота воздуха. М. : Агропромиздат, 1991. 300 с.

46. Панкратова Е. М., Трефилова Л. В., Зяблых Р. Ю., Устюжанин И. А. Цианобактерия *Nostoc paludosum* Kutz как основа для создания агрономически полезных микробных ассоциаций на примере бактерий рода *Rhizobium*. *Микробиология*. 2008. Т. 77. №2. С. 266–272.

47. Пацко О. В., Воробей Н. А., Коць С. Я., Паршикова Т. В. Дослідження ефективності агроконсорціумів азотфіксувальних мікроорганізмів. *Физиол. биохим. культ. раст.* 2010. Т. 42. No 2. С. 137–145.31.

48. Коць С. Я., Воробей Н. А., Киризий Д. А., Караушу Е. В. Продукционный процесс люцерны при инокуляции бинарной композицией *sinorhizobium meliloti-nostoc*. *Физиология растений и генетика*. 2016. Т. 48. No 2. С. 120-129.

49. Omar S. A., Zeinab M. Abd El-Naby, Saieda S. Abd El-Rahman. Screening For Alfalfa Root Traits In Relation To Yield And Crown Rot Disease Resistance *International Journal of Applied and Pure Science and Agriculture (IJAPSA)*. Volume 02, Issue 05, (May- 2016) e-ISSN: 2394-5532, p-ISSN: 2394-823X. P. 184-191.

50. Lijun Liu, Hao Zhang, Chenxin Ju, Yiwei Xiong, Jinglong Bian, Buhong Zhao, Jianchang Yang. Changes in Grain Yield and Root Morphology and Physiology of Mid-Season Rice in the Yangtze River Basin of China During the Last 60 Years. *Journal of Agricultural Science*. 2014. Vol. 6, No. 7. doi:10.5539/jas.v6n7p1.

51. Long Li, Zhi Peng, Xinguo Mao, Jingyi Wang, Xiaoping Chang, Matthew Reynolds, Ruilian Jing. Genome-wide association study reveals genomic regions controlling root and shoot traits at late growth stages in wheat. *Annals of Botany*. 2019. 124: 993–1006. doi: 10.1093/aob/mcz041, available online at www.academic.oup.com/aob

REFERENCES:

1. Cassman, K.G. (1999). Ecological intensification of cereal production systems: yield potential, soil quality, and precision agriculture. *Proc. Natl Acad. Sci. USA* 96:5952–5959. PP. 79-101 [in English].

2. Tikhonovich, I.A., & Provorov, N.A. *Ekologo-geneticheskiye osnovy ispol'zovaniya bioraznoobraziya simbioticheskikh sistem dlya povysheniya produktivnosti rasteniy v usloviyakh ekologicheskoi ustoychivogo zemledeliya [Ecological and genetic foundations of using the biodiversity of symbiotic systems to increase plant productivity in environmentally sustainable agriculture]*. Retrieved from <https://textarchive.ru/c-1037341-pall.html> [in Russian].

3. Trefilova, L.V., & Patrusheva, M.N. (2009). Effektivnost' ispol'zovaniya tsianorizobial'nogo konsortsiuma pri vyrashchivaniy gorokha posevnogo [Efficiency of using the cyanorizobial consortium in the cultivation of seed peas]. *Teoreticheskaya i prikladnaya ekologiya – Theoretical and Applied Ecology*, 3, 67-75 [in Russian].

4. Tsarev, A.P., & Tsareva, M.A. (2010). *Agrobiologicheskiye osnovy formirovaniya vysokoproduktivnykh agrofytotsenozov lyutserny na korm i semena v Povolzh'ye [Agrobiological basis for the formation of highly productive agrophytocenoses of alfalfa for forage and seeds in the Volga region]*. Saratov: OOO «Novyy vektor», 262 [in Russian].

5. Sheudzhen, A.Kh., Onishchenko, L.M., & Khurum, Kh.D. (2006). Plodorodiye pochyv i produktivnost' lyutserny pri vnesenii mikroudobreniy [Soil fertility and productivity of alfalfa with micronutrient fertilization]. *Plodorodiye – Fertility*, 1, 18–19 [in Russian].
6. Kots', S.Ya., Vorobey, N.A., Kyrychenko, O.V., Mel'nykova, N.M., Mykhalkiv, L.M., & Pukhtayevych, P.P. (2016). *Mikrobiolohichni preparaty dlya sil'skohospodarstva [Microbiological preparations for agriculture]*. Kyiv, 48 [in Ukrainian].
7. Parakhina, N.V., & Lobkova, V.T. (2000). *Biologizatsiya zemledeliya v Rossii [Biologization of agriculture in Russia]*. Orel: OGAU, 175 [in Russian].
8. Artyukhov, A.I., & Kashevarov, M.A. (2001). *Zernobovovyye kul'tury v usloviyakh biologizatsii zemledeliya [Leguminous crops in the conditions of biologization of agriculture]*. Bryansk: BGSKHA, 94 [in Russian].
9. Patyka, V.P., Hnatyuk, T.T., Buletsa, N.M., & Kyrylenko, L.V. (2015). Biolohichnyy azot u systemi zemlerobstva [Biological nitrogen in the agricultural system]. *Zemlerobstvo – Agriculture*, 2, 12–20 [in Ukrainian].
10. Khasanova, R.F., & Suyundukov, Ya.T. (2009). Mnogoletniye travy i plodorodiye yuzhnykh chernozemov Bashkirkoskogo Zaural'ya [Perennial grasses and fertility of the southern chernozems of the Bashkir Trans-Urals]. *Izvestiya Samarskogo nauchnogo tsentra Rossiyskoy akademii nauk – Bulletin of the Samara Scientific Center of the Russian Academy of Sciences*, 11, 1(4), 556–561 [in Russian].
11. Barton, L., Butterbach-Bahl, K., Kiese, R., Murphy, D.V. (2011). Nitrous oxide fluxes from a grain-legume crop (narrow-leaved lupin) grown in a semiarid climate. *Global Change Biology*. 17:1153–1166. DOI: 10.1111/j.1365-2486.2010.02260.x [in English].
12. Gregorich, E.G., Rochette, P., VandenBygaart, A.J., & Angers, D.A. (2005). Greenhouse gas contributions of agricultural soils and potential mitigation practices in Eastern Canada. *Soil & Tillage Research*. 83:53–72. DOI: 10.1016/j.still.2005.02.009 [in English].
13. Justin, K. O'Dea, Clain, A. Jones, Catherine, A. Zabinski, Perry, R. Miller, Ilai, N. Keren. (2015). Legume, cropping intensity, and N-fertilization effects on soil attributes and processes from an eight-year-old semiarid wheat system. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*. Volume 102, pages 179–194. <https://doi.org/10.1007/s10705-015-9687-4> [in English].
14. Spiridonov, A.M. (2007). Mnogoletniye bobovyye travy kak istochnik biologicheskogo azota v zemledelii [Perennial legumes as a source of biological nitrogen in agriculture]. *Zemledeliye – Agriculture*, 3, 14–15 [in Russian].
15. Tikhonovicha, I., & Kruglova, Yu. (2005). *Biopreparaty v sel'skom khozyaystve. Metodologiya i praktika primeneniya mikroorganizmov v rasteniyevodstve i kormoproizvodstve [Methodology and practice of using microorganisms in plant growing and fodder production]*. Moscow, 154 [in Russian].
16. Didovych, S.V., Tolkachov, M.Z., & Butvina, O.Yu. (2008). Efektyvnist' symbiotichnoyi azotifikatsiyi v ahrotsenozakh Ukrainy [Efficiency of symbiotic nitrogen fixation in agrocenoses of Ukraine]. *Sil'skohospodars'ka mikrobiolohiya – Agricultural microbiology*, 8, 117–125 [in Ukrainian].
17. Iutyn's'ka, H.O. (2006). *Gruntova mikrobiolohiya: Navchal'nyy posibnyk [Soil microbiology: Textbook]*. Kyiv: Aristey, 284 [in Ukrainian].
18. Patyka, V.P., Kots', S.Ya., Volkohon, V.V., Sherstoboyeva, O.V., Mel'nychuk, T.M., Kalinichenko, A.V., & Hrynyk, I.V. (2003). *Biolohichnyy azot [Biological nitrogen]*. Kyiv : Svit, 424 [in Ukrainian].
19. Volkohon, V.V., Nadkernychna, O.V., Kovalev's'ka, T.M. et al. (2006). *Mikrobni preparaty u zemlerobstvi. Teoriya i praktyka [Microbial preparations in agriculture. Theory and practice]*. Kyiv : Ahrama nauka, 312 [in Ukrainian].
20. Teplitski, M., Robinson, J.B., & Bauer, W.D. (2000). Plants secrete substances that mimic bacterial Nacyl homoserine lactone signal activities and affect population density-dependent behaviors in associated bacteria. *Mol Plant Microbe Interact*. Vol. 13. N 6.P. 637–648 [in English].
21. Jiménez-Zurdo, J.I., García-Rodríguez, F.M., & Toro, N. (1997). The Rhizobium meliloti putA gene: its role in the establishment of the symbiotic interaction with alfalfa. *Mol Microbiol*. Vol. 23. № 1. P. 85–93 [in English].
22. Molbak, L., Molin, S., & Kroer, N. (2007). Root growth and exudate production define the frequency of horizontal plasmid transfer in the Rhizosphere. *FEMS Microbiol Ecol*. Vol. 59. N 1. P. 167–176 [in English].
23. Ibragimova, M.V., Rumyantseva, M.L., & Onishchuk, O.P. et al. (2006). Simbioz klubenkovykh bakteriy Sinorhizobium meliloti s lyutsernoy Medicago sativa v usloviyakh zasoleniya [Symbiosis of Sinorhizobium meliloti nodule bacteria with Medicago sativa alfalfa under salinization]. *Mikrobiologiya – Microbiology*, 75, 1, 94–100 [in Russian].
24. Zahran, H.H. (2001). Rhizobia from wild legumes: diversity, taxonomy, ecology, nitrogen fixation and biotechnology. *J. Biotechnol*. Vol. 91. № 2–3. P. 143–153 [in English].
25. FAO. (2005). Crops and drops: making the best use of water for agriculture. Rome. P. 22 [in English].
26. Kalinin, A.A., Kovina, A.L., & Trefilova, L.V. (2017). Opyt primeneniya preparatov klubenkovykh bakteriy dlya povysheniya produktivnosti bobovykh kul'tur [Experience in the use of preparations of nodule bacteria to increase the productivity of legumes]. *Ekologiya rodnogo kraya: problemy i puti ikh resheniya: Sb. mater. KHII Vseross. nauchn.-praktich. konf. s mezhdunarod. uch.*, 293–298 [in Russian].
27. Ptashets, O.V. (2013). Sposoby regulirovaniya rostovykh protsessov lyutserny posevnoy [Methods of regulating the growth processes of sowing alfalfa]. *Meliorsatsiya – Land reclamation*, 1(69), 162–170 [in Russian].
28. Pankratova, Ye.M., Zyablykh, R.Yu., Kalinin, A.A., Kovina, A.L., Trefilova, L.V. (2004). Konstruirovaniye mikrobnnykh kul'tur na osnove sinezelenoy vodorosli Nostoc paludosum Kütz [Construction of microbial cultures based on the blue-green alga Nostoc paludosum Kütz]. *Al'gologiya – Algology*, 14, 4, 445–458 [in Russian].
29. Pankratova, Je.M., Zyablykh, R.J., Kalinin, A.A., Kovina, A.L., & Trefilova, L.V. (2004). Designing of microbial binary cultures based on blue-green algae (Cyanobacteria) Nostoc paludosum Kütz. *International Journal on Algae*. № 6 (3). P. 290–304 [in English].
30. Trefilova, L.V., Zyablykh, R.Yu., Kovina, A.L., & Kalinin, A.A. (1998). Effektivnost' tsianobakterial'nykh

- konsortiumov pri vygonke rassady kapusty v zashchishchennom grunte [Efficiency of cyanobacterial consortia in forcing cabbage seedlings in greenhouses]. *Vseross. nauchn.-prakt. konf. uchenykh i spets. APK: «80 let s.kh. obrazovaniyu i nauki na Urals: Itogi i perspektivy»: Agramy vestnik. Perm'*, 11, 116-117 [in Russian].
31. Naumkina, T.S., Vasil'chikov, A.G., & Gur'yev, G.P. et al. (2012). Povysheniye effektivnosti biologicheskoy azotifikatsii zernobobovykh kul'tur [Increasing the efficiency of biological nitrogen fixation of leguminous crops]. *Zemledeliye – Agriculture*, 5, 21-23 [in Russian].
32. Park, J., Bolan, N., Mallavarapu, M., & Naidu, R. (2010). Enhancing the solubility of insoluble phosphorus compounds by phosphate solubilizing bacteria. *19-th World Congres of Soil Science*. Pp. 126-130 [in English].
33. Yasmin, H., & Bano, A. (2011). Isolation and characterization of phosphate solubilizing bacteria from rhizosphere soil of weeds of khewra salt range and attock. *Pakistan Journal of Botany*. № 3. P. 1663-1668 [in English].
34. Rodriguez, H., Fraga, R., Gonzalez, T., & Bashan, Y. (2006). Genetics of phosphate solubilization and its potential applications for improving plant growthpromoting bacteria. *Plant and Soil*. № 9. P.15–21 [in English].
35. Bolyshev, N.N. (1968). *Vodorosli i ikh rol' v obrazovanii pochvy [Algae and their role in soil formation]*. Moscow: Izd-vo MGU, 84 [in Russian].
36. Rastogi, R.P., & Sinha, R.P. (2009). Biotechnological and industrial significance of cyanobacterial secondary metabolites. *Biotech. Adv.* № 27. P. 521–539 [in English].
37. Prasanna, R., Sood, A., Ratha, S.K., & Singh, P.K. (2014). Cyanobacteria as a "green" option for sustainable agriculture. *Cyanobacteria: an economic perspective*. Ch. 9. P. 145–166 [in English].
38. Titova, V.I., & Kozlov, A.V. (2012). *Metody otsenki funktsionirovaniya mikrobiotsenoza pochvy, uchastvuyushchego v transformatsii organicheskogo veshchestva: nauchno-metodicheskoye posobiye [Methods for assessing the functioning of soil microbiocenosis involved in the transformation of organic matter: scientific and methodological manual. Nizhny Novgorod]*. Nizhny Novgorod, 64 [in Russian].
39. Rastogi, R.P., & Sinha, R.P. (2009). Biotechnological and industrial significance of cyanobacterial secondary metabolites. *Biotech. Adv.* № 27. P. 521–539 [in English].
40. Nilsson, M., Rasmussen, U., & Bergman, B. (2005). Competition among symbiotic cyanobacterial Nostoc strains forming artificial associations with rice (*Oryza sativa*). *FEMS Microbiol. Letters*. V. 245. № 1. P. 139–144 [in English].
41. Provorov, N.A. (2001). Genetiko-evolyutsionnyye osnovy ucheniya o simbioze [Genetic and evolutionary foundations of the doctrine of symbiosis]. *Zhurnal obshchey biologii – Journal of General Biology*, 62, 6, 472–495 [in Russian].
42. Pankratova, Ye.M., & Trefilova, L.V. (2007). Simbioz kak osnova sushchestvovaniya tsianobakteriy v prirodnykh usloviyakh [Symbiosis as the basis for the existence of cyanobacteria in natural conditions]. *Teoreticheskaya i prikladnaya ekologiya – Theoretical and Applied Ecology*, 1, 4–14 [in Russian].
43. Ushkarenko, V.O., Nikishenko, V.L., Holoborod'ko, S.P., & Kokovikhin, S.V. (2008). *Dyspersiyunnyy i korelyatsiyunnyy analiz u zemlerobstvi ta roslynnystvi: Navchal'nyy posibnyk [Dispersion and correlation analysis in agriculture and crop production: Textbook]*. Kherison: Aylant, 272 [in Ukrainian].
44. Stankov, N.Z. (1964). *Kornevaya sistema polevykh kul'tur [Root system of field crops]*. Moscow: Kolos, 280 [in Russian].
45. Posypanov, G.S. (1991). *Metody izucheniya biologicheskoy fiksatsii azota vozdukha [Methods of studying biological fixation of nitrogen in the air]*. Moscow: Agropromizdat, 300 [in Russian].
46. Pankratova, Ye.M., Trefilova, L.V., Zyablykh, R.Yu., & Ustyuzhanin, I.A. (2008). Tsianobakteriya Nostoc paludosum Kutz kak osnova dlya sozdaniya agronomicheskogo poleznykh mikrobykh assotsiatsiy na primere bakteriy roda Rhizobium [Cyanobacterium Nostoc paludosum Kutz as a basis for the creation of agronomically beneficial microbial associations by the example of bacteria of the genus Rhizobium]. *Mikrobiologiya – Microbiology*, 77, 2, 266–272 [in Russian].
47. Patsko O. V., Vorobey N. A., Kots' S. YA., Parshykova T. V. 2010. Doslidzhennya efektyvnosti ahrokonortiumiv azotfiksuval'nykh mikroorhanizmiv [Investigation of efficiency of agroconsortiums of nitrogen-fixing microorganisms]. *Fiziol. biokhim. kul't. rast. – Physiol. biochemistry. cult. Growth*, 42, 2, 137–145, 31 [in Ukrainian].
48. Kots', S.Ya., Vorobey, N.A., Kiriziy, D.A., & Karaushu, Ye.V. (2016). Produktsionnyy protsess lyutserny pri inokulyatsii binarnoy kompozitsiyey *sinorhizobium meliloti–nostoc* [Production process of alfalfa inoculation with a binary composition *sinorhizobium meliloti – nostoc*]. *Fiziologiya rasteniy i genetika – Plant physiology and genetics*, 48, 2, 120-129 [in Russian].
49. Omar, S.A., Zeinab, M. Abd El-Naby, & Saieda, S. Abd El-Rahman. (2016). Screening For Alfalfa Root Traits In Relation To Yield And Crown Rot Disease Resistance *International Journal of Applied and Pure Science and Agriculture (IJAPSA)*. Volume 02, Issue 05, (May- 2016) e-ISSN: 2394-5532, p-ISSN: 2394-823X. P. 184-191 [in English].
50. Lijun, Liu, Hao, Zhang, Chenxin, Ju, Yiwei, Xiong, Jinglong, Bian, Buhong, Zhao, & Jianchang, Yang. (2014). Changes in Grain Yield and Root Morphology and Physiology of Mid-Season Rice in the Yangtze River Basin of China During the Last 60 Years. *Journal of Agricultural Science*, Vol. 6, No. 7. doi:10.5539/jas.v6n7p1 [in English].
51. Long, Li, Zhi, Peng, Xinguo, Mao, Jingyi, Wang, Xiaoping, Chang, Matthew, Reynolds, & Ruilian, Jing. (2019). Genome-wide association study reveals genomic regions controlling root and shoot traits at late growth stages in wheat. *Annals of Botany*, 124: 993–1006. doi: 10.1093/aob/mcz041, available online at www.academic.oup.com/aob [in English].