

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ  
І ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ**

**ІЛЛЄНКО ВОЛОДИМИР ВІТАЛІЙОВИЧ**

УДК 621.039.574.5:631.4:633

**ТРАНСФОРМАЦІЯ ФІЗИКО-ХІМІЧНОГО СТАНУ РАДІОНУКЛІДІВ  
У ҐРУНТІ ТА ЇХ НАДХОДЖЕННЯ ДО СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ  
РОСЛИН ЗА ВПЛИВУ КОМПЛЕКСНИХ БАКТЕРІАЛЬНИХ  
ПРЕПАРАТІВ**

03.00.01 «Радіобіологія»

Автореферат дисертації на здобуття наукового ступеня  
кандидата біологічних наук

Київ – 2017

Дисертацією є рукопис

Роботу виконано у Національному університеті біоресурсів і природокористування України Міністерства освіти і науки України

**Науковий керівник** доктор біологічних наук, професор, академік НААН  
**Гудков Ігор Миколайович**,  
Національний університет біоресурсів  
і природокористування України,  
завідувач кафедри радіобіології та радіоекології

**Офіційні опоненти:** доктор біологічних наук  
**Дружина Микола Олександрович**,  
Інститут експериментальної патології,  
онкології і радіобіології ім. Р. Є. Кавецького  
Національної академії наук України,  
старший науковий співробітник  
відділу біологічних ефектів іонізуючого  
та неіонізуючого випромінювання

доктор біологічних наук, професор  
**Кутлахмедов Юрій Олексійович**,  
Інститут клітинної біології та генетичної інженерії  
Національної академії наук України,  
завідувач лабораторії радіоекологічної  
надійності біосистем

Захист відбудеться «12» липня 2017 року о 10<sup>00</sup> годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 26.004.19 у Національному університеті біоресурсів і природокористування України за адресою: 03041, м. Київ, вул. Героїв Оборони, 15, навчальний корпус № 3, кімната 301

З дисертацією можна ознайомитися у науковій бібліотеці Національного університету біоресурсів і природокористування України за адресою: 03041, м. Київ, вул. Героїв Оборони, 13, навчальний корпус № 4, кімната 41а

Автореферат розіслано «10» червня 2017 року

Вчений секретар  
спеціалізованої вченої ради

В. С. Морозова

## ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

**Актуальність теми.** Регіон аварії на Чорнобильській АЕС охопив величезну площу Європи, піддавши радіонуклідному забрудненню тією чи іншою мірою території понад 20 країн. Тільки обмежена ізолінією щільності забруднення за основним дозоутворюючим довгоживучим штучним радіонуклідом  $^{137}\text{Cs}$  37 кБк/м<sup>2</sup> (1 Кі/км<sup>2</sup>), вона охоплює понад 200 тис. км<sup>2</sup>, зокрема в Україні – 53,5 тис. км<sup>2</sup>, що становить 9 % усієї її території, на котрій розташовувалися сільськогосподарські угіддя (11,3 тис. км<sup>2</sup>), ліси (12,1 тис. км<sup>2</sup>), 2 293 населені пункти, у яких мешкало, та й мешкає дотепер, понад 2 млн людей.

Навколо ЧАЕС було створено зону відчуження – унікальну територію площею 2 600 км<sup>2</sup> з високою щільністю радіонуклідного забруднення, з якої було евакуйовано населення, вивезено велику кількість домашніх тварин і майже повністю припинено традиційну господарську діяльність. За відносно короткий час це спровокувало інтенсивні зміни в характері рослинності не тільки колишніх агроценозів, а й природних фітоценозів, зооценозів, мікроценозів та всього біогеоценозу загалом (Гродзинський Д. М. та ін., 1991, 2008; Гайченко В. А., 1996; Gudkov I. N. et al., 2011). Важливими процесами, які тут відбуваються, є зміни у ґрунтовому мікроценозі (Жданова Н. Н. и др., 1999; Тугай Т. І. та ін., 2008; Shirong Tang et al., 2011) та функціонування мікрофлори, пов'язане з перерозподілом радіонуклідів у ґрунтовому профілі та зміною їхньої біологічної доступності (Паренюк О. Ю. та ін., 2013).

Хоча вплив дії іонізуючого випромінювання на мікроорганізми, зокрема ґрунтові, досліджувався і до аварії на ЧАЕС (Davis R. J., Sheldon V. L., Auerbach S. I., 1956; Monib M. et al., 1971; Franz E. H., Woodwell G. M., 1973; Gochenaour S. E., Woodwell G. M., 1974), роль мікроорганізмів у міграції радіонуклідів та зміні їхнього фізико-хімічного стану у ґрунті не досліджували ще тривалий час. Переважно у взаємовідносинах «радіонуклідне забруднення – мікроорганізми» розглядався вплив іонізуючої радіації на стан мікроорганізмів, а не навпаки, вплив життєдіяльності мікроорганізмів на фізико-хімічний стан радіонуклідів.

Проте, оскільки ґрунтова мікрофлора характеризується величезним біорізноманіттям і значною біомасою, вона може впливати на стан радіонуклідів у ґрунті і, відповідно, на їх надходження у рослини, зокрема й у культури сільськогосподарського призначення, які становлять основу харчового раціону людини, утворюють кормову базу тваринництва і на забруднених радіонуклідами територіях стають головним дозоформуючим джерелом опромінення людини. Саме тому зменшення надходження радіонуклідів на першій ланці харчового ланцюга ґрунт–рослина і тепер, на пізній фазі аварії на Чорнобильській АЕС, залишається одним з основних завдань не тільки сільськогосподарської радіобіології та радіоекології, а й радіаційної гігієни.

Варто зазначити, що з роками після аварії відбувається «старіння цезію» – фіксація його у ґрунтово-вбирному комплексі, перехід у слаботорочинний стан,

тому традиційні прийоми гальмування переходу  $^{137}\text{Cs}$  у рослини за допомогою вапнування кислих ґрунтів, внесення підвищених норм калійних добрив знижують свою ефективність, про що свідчить зменшення коефіцієнтів накопичення і переходу радіонукліду (Прістер Б. С., 2008; Перепелятніков Г. П., 2008; Кашпаров В. О. та ін., 2009). У цій ситуації застосування бактеріальних препаратів, які можуть впливати, з одного боку, на фізико-хімічний стан поживної бази ґрунту, а з іншого – на стан радіонуклідів, може стати одним з елементів контрзаходів, спрямованих на зменшення переходу радіонуклідів із ґрунту у продовольчі рослини.

**Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.** Основний обсяг досліджень дисертаційної роботи було виконано у рамках бюджетної теми Українського науково-дослідного інституту сільськогосподарської радіології Національного університету біоресурсів і природокористування України «Вивчити зміни фізико-хімічного стану, рухомості та біологічної доступності радіонуклідів  $^{90}\text{Sr}$  і  $^{137}\text{Cs}$  під впливом мікрофлори ґрунту» (номер державної реєстрації 0110U003582, 2010–2014 рр.), бюджетних тем Науково-дослідного інституту рослинництва, ґрунтознавства, біотехнологій та сталого природокористування Національного університету біоресурсів і природокористування України «Закономірності впливу радіонуклідного забруднення території на біорізноманіття ґрунтової мікрофлори» (номер державної реєстрації 0116U001585, 2016–2018 рр.) та «Вивчення поведінки та прогнозування стану мікрофлори на об'єктах ядерного-паливного циклу» (номер державної реєстрації 0117U002646, 2017–2019 рр.).

**Мета та завдання дослідження.** Мета дисертаційної роботи – встановити роль окремих штамів мікроорганізмів у переході  $^{137}\text{Cs}$  і  $^{90}\text{Sr}$  у рослини й описати зміни фізико-хімічного стану радіонуклідів внаслідок діяльності бактеріальної мікрофлори.

Для досягнення мети було поставлено наступні завдання:

- визначити вплив інокуляції насіння мікроорганізмами на морфометричні показники рослин, вирощені на забрудненому радіонуклідами субстраті;

- дослідити зміни у накопиченні рослинами  $^{137}\text{Cs}$  під впливом мікроорганізмів в умовах лабораторного та польового експериментів;

- оцінити зміни фізико-хімічного стану  $^{137}\text{Cs}$  під впливом життєдіяльності системи корінь-мікроорганізм;

- визначити можливість використання інокуляції насіння мікроорганізмами як додаткового контрзаходу для зменшення накопичення радіонуклідів у зеленій масі рослин;

- визначити вплив радіонуклідного забруднення на показники індукції флуоресценції хлорофілу рослин.

*Об'єкт дослідження* – вплив ґрунтових бактерій на ріст і розвиток рослин та накопичення ними радіонуклідів.

*Предмет дослідження* – перехід радіонуклідів у системі субстрат–рослина залежно від умов вирощування, зміна ґрунтових фізико-хімічних форм

$^{137}\text{Cs}$ , масова питома активність  $^{137}\text{Cs}$  та  $^{90}\text{Sr}$  у повітряно-сухій біомасі рослин, коефіцієнти накопичення цих радіонуклідів із ґрунту в досліджувані рослини.

**Методи дослідження:** польові (радіометричні вимірювання та відбір зразків); лабораторні (гамма- і бета-спектрометрія, радіохімічний аналіз); мікробіологічні; методи математичної статистики.

**Наукова новизна одержаних результатів.** Отримано нові дані щодо впливу інокуляції насіння штамми ґрунтових мікроорганізмів *Azotobacter chroococcum* УКМ В-6082, *Azotobacter chroococcum* УКМ В-6003, *Bacillus megaterium* УКМ В-5724, *Agrobacterium radiobacter* ІМВ В-7246 та *Rhizobium leguminosarum* *bv. viceae* у монокультурі та у складі комплексних препаратів на морфометричні та ростові показники рослин ріпаку, вики та пшениці за умов вирощування *ex situ* та *in situ*.

Наведено результати щодо впливу зазначених мікроорганізмів на перехід  $^{137}\text{Cs}$  та  $^{90}\text{Sr}$  у рослини та оцінено можливість використання даного методу для зменшення накопичення радіонуклідів у зеленій масі рослин. Показано, що використані штами мікроорганізмів не змінюють фізико-хімічні форми знаходження радіонуклідів у ґрунті, а лише опосередковано впливають на міграцію радіоактивних ізотопів у системі ґрунт–рослина.

За результатами польового експерименту встановлено статистично вірогідне зменшення  $K_{\text{H}}^{137}\text{Cs}$  і  $^{90}\text{Sr}$  за інокуляції насіння вики комплексним препаратом *Azotobacter chroococcum* УКМ В-6082 + *Rhizobium leguminosarum* *bv. viceae* більш ніж удвічі, а інокуляція насіння ріпаку штамом *Azotobacter chroococcum* УКМ В-6082 забезпечувала пониження  $K_{\text{H}}^{137}\text{Cs}$  майже на 50 % у порівнянні з контролем.

**Практичне значення одержаних результатів.** Отримані результати мають фундаментальне значення, поглиблюючи існуючі уявлення про вплив ризосферних мікроорганізмів на надходження радіонуклідів у системі ґрунт–рослина, і можуть стати основою для створення нових, додаткових до загальноприйнятих, контрзаходів, побудованих на модифікації біологічної доступності радіонуклідів, підвищенні родючості ґрунту та урожайності культурних рослин.

Результати дисертаційного дослідження застосовано у «Рекомендаціях з використання бактеріальних препаратів для зменшення надходження радіонуклідів в сільськогосподарські рослини», затверджених Державною екологічною інспекцією у Житомирській області.

Основні положення та висновки дисертаційної роботи впроваджено у Навчально-науковому інституті рослинництва, екології та біотехнологій Національного університету біоресурсів і природокористування України у викладанні дисциплін «Радіобіологія», «Сільськогосподарська радіоекологія» і «Сільськогосподарська радіобіологія та радіоекологія» (акт впровадження від 11 квітня 2017 р.).

**Особистий внесок здобувача.** Основні експериментальні дані було одержано здобувачем особисто. Автор здійснив пошук літературних даних, аналіз і узагальнення результатів експериментів. Інтерпретацію та формулювання основних положень висновків, підготовку публікацій за

результатами досліджень було здійснено за участю наукового керівника дисертаційної роботи доктора біологічних наук, професора, академіка НААН І. М. Гудкова.

Здобувач висловлює щирю подяку кандидату біологічних наук О. Ю. Паренюк за методичну допомогу у проведенні окремих спільних експериментів, доктору біологічних наук, професору В. О. Кашпарову за підтримку роботи на всіх етапах її виконання, кандидату біологічних наук С. Є. Левчуку за допомогу у проведенні спектрометричних вимірювань, кандидату біологічних наук Л. В. Титовій за надання культур із колекції відділу загальної та ґрунтової мікробіології Інституту мікробіології і вірусології ім. Д. К. Заболотного НАН України.

**Апробація результатів дослідження.** Основні наукові результати дисертаційної роботи викладено, обговорено і схвалено на 8-й Міжнародній науковій конференції студентів та аспірантів «Молодь і поступ біології» (м. Львів, 2012 р.); науково-практичній конференції в рамках міжнародного форуму «Довкілля України» «Радіоекологія-2013. Чорнобиль–Фукусіма. Наслідки» (м. Київ, 2013 р.); 4-му Всеукраїнському з'їзді екологів з міжнародною участю (м. Вінниця, 2013 р.); Міжнародній науково-практичній конференції «Радіаційна і техногенно-екологічна безпека людини та довкілля: стан, шляхи і заходи покращення» (м. Миколаїв, 2014 р.); 7-м Съезде по радиационным исследованиям: радиобиология, радиоекология, радиационная безопасность (м. Москва, Російська Федерація, 2014 р.); 11-й Міжнародній науковій конференції студентів та аспірантів «Молодь і поступ біології» (м. Львів, 2015 р.); науково-практичній конференції «Радіоекологія-2015. Радіоекологічні і радіобіологічні аспекти наслідків Чорнобильської катастрофи» (м. Київ, 2015 р.); 6-му З'їзді радіобіологічного товариства України (м. Київ, 2015 р.); 3-й Міжнародній науково-практичній конференції студентів, аспірантів та молодих вчених (м. Київ, 2016 р.); Міжнародній конференції «Сільськогосподарська та лісова радіологія – 30 років після Чорнобилю» (м. Київ, 2016 р.); 11-й Міжнародній науковій конференції молодих науковців «Біологія: від молекули до біосфери» (м. Харків, 2016 р.).

**Публікації.** Основні результати дисертаційних досліджень викладено у 18 опублікованих працях, з яких 2 статті у наукових фахових виданнях України, 3 статті у наукових виданнях інших держав, стаття в іншому науковому виданні України, рекомендації та 11 тез наукових доповідей.

**Структура та обсяг дисертації.** Дисертаційна робота складається зі вступу, огляду наукової літератури, матеріалів і методів дослідження, результатів експериментальних досліджень, узагальнення одержаних результатів досліджень, висновків, списку використаних джерел, що налічує 162 найменувань, із яких 65 латиницею, та двох додатків. Роботу викладено на 156 сторінках друкованого тексту, проілюстровано 26 таблицями та 28 рисунками.

## ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

**Огляд наукової літератури.** Проаналізовано вплив факторів навколишнього середовища на фізико-хімічний стан радіонуклідів та процеси їх міграції (Лошилов Н. А., Кашпаров В. А., Юдин Е. Б. и др., 1991; Иванов Ю. А., Кашпаров В. А., Левчук С. Е. и др., 1996; Salbu B., Oughton D., Kashparov V. et al., 1996; Бондаренко Г. Н., Кононенко Л. В., 1998; Кашпаров В. О., 2001; Ivanov Yu., 2009). Висвітлено роль мікроорганізмів ґрунту в іммобілізації, фіксації та надходженні  $^{137}\text{Cs}$  та  $^{90}\text{Sr}$  у рослини (Іутинська Г. О., 2006; Smith S. E., Read D. J., 2008; Dupre H. de Boulois, Joner E. J., Leyval C. et al., 2008). Наведено відомості щодо використання симбіотичних ризосферних мікроорганізмів для інокуляції рослин з метою покращення їхньої продуктивності та поліпшення умов живлення (Патика В. П., Волкогон В. В., 1997; Штарк О. Ю., Шапошников А. И., Кравченко Л. В., 2003; Шерстобоева О. В., 2004).

## МАТЕРІАЛИ І МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ

Об'єктами досліджень були три види сільськогосподарських рослин: ріпак ярий (*Brassica napus* L.) сорту Сіріус, вика посівна (*Vicia sativa* L.) сорту Владіслава і пшениця яра (*Triticum aestivum* L.) сорту Елегія миронівська. Насіння перед висівом інокулювали шляхом замочування у 24-годинній культурі мікроорганізмів, при цьому розраховане бактеріальне навантаження становило  $10^7$  клітин/насінину. Насіння в контрольному варіанті замочувалось у стерильній воді. Для інокуляції було використано штами мікроорганізмів з колекції Інституту мікробіології і вірусології ім. Д. К. Заболотного НАН України, що входять до складу бактеріальних препаратів та мікробних добрив, а саме *Azotobacter chroococcum* УКМ В-6082, *Azotobacter chroococcum* УКМ В-6003, *Bacillus megaterium* УКМ В-5724, *Agrobacterium radiobacter* ІМВ В-7246 та бульбочкові бактерії *Rhizobium leguminosarum* bv. *viciae* як у монокультурі, так і у складі комплексних препаратів.

Дослідження проводили в умовах лабораторного та польового експериментів. Субстратом для вирощування рослин були кварцовий пісок та ґрунти (дерново-підзолистий, торфово-болотний та чорнозем типовий). Питома активність  $^{137}\text{Cs}$  у субстратах, які використовували у лабораторних експериментах, становила  $4,0 \pm 0,3$  кБк/кг.

Основні агрохімічні показники ґрунту визначали згідно із загальноприйнятими стандартизованими методами. Кислотність (рН) сольового екстракту визначали потенціометричним методом (ДСТУ ISO 10390:2007), визначення рухомого фосфору та калію за методом Кірсанова (ДСТУ 4405:2005), гумус – за методом Тюріна (ДСТУ 4289:2004), вміст лужногідролізованого азоту – за методом Корнфілда («Методические указания по определению щелочногидролизующего азота в почве по методу Корнфилда», 1985).

Відсоток проростання визначався як відношення кількості проростків на 5 добу експерименту до загальної кількості посіяних насінин. У лабораторному

досліді ґрунт стерилізували текучим паром в апараті Коха, тричі обробляючи по 30 хв щодня протягом 3 діб.

Вміст  $^{137}\text{Cs}$  у підготовлених пробах ґрунту та зеленої маси рослин визначали на вискоефективному гамма-спектрометрі з напівпровідниковим детектором із високочистого германію GEM-30185 (ORTEC, США) і програмним забезпеченням GammaVision 32. Калібрування спектрометра здійснювали з використанням сертифікованих еталонних матеріалів відповідно до вимог стандартизованого методу (ASTM Standard E181–10, 2010).

Для виділення фізико-хімічних форм  $^{137}\text{Cs}$  у дерново-підзолистому ґрунті застосовували метод послідовної екстракції (Павлоцкая Ф. И., 1981) з подальшим визначенням вмісту радіонукліда в отриманих витяжках на гамма-спектрометрі.

Вміст  $^{90}\text{Sr}$  у пробах визначали після його стандартного радіохімічного виділення за активністю його дочірнього радіонукліда  $^{90}\text{Y}$  (ISO 18589-5:2009). Вимірювання вмісту  $^{90}\text{Y}$  проводили на бета-спектрометрі СЕБ-01 (АКП, Україна).

Перед відбором проб на досліджуваній ділянці вимірювали потужність еквівалентної дози гамма-випромінювання в повітрі радіометром-дозиметром РКС-01 «СТОРА-ТУ» (ECOTEST, Україна) на висоті 100 см над поверхнею ґрунту в місці наміченого пробовідбору.

Для оцінки стану фотосинтетичного апарату рослин вики використали метод індукції флуоресценції хлорофілу. Дослідження здійснювали за допомогою портативного приладу «Флора-тест», розробленого державним науково-інженерним центром мікроелектроніки Інституту кібернетики ім. В. М. Глушкова НАН України (Брайон О. В. та ін., 2000). Порівнювали криві з контрольної та дослідної груп; для побудови кривих індукції флуоресценції хлорофілу та їх аналізу використовували програмний засіб *Microsoft Office Excel 2007*.

Усі досліді проводили у триразовій повторності. Статистичне опрацювання отриманих результатів виконували з використанням дисперсійного аналізу (Доспехов Б. А., 1985) і пакетів програм *MS Excel 2007* та *STATISTICA 10*.

## РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕННЯ

**Зміна доступності  $^{137}\text{Cs}$  рослинам під впливом мікрофлори ґрунтів за умови вирощування на інертному середовищі.** Проаналізовано вплив низки ґрунтових бактерій на доступність  $^{137}\text{Cs}$  для рослин ріпаку ярого, вики посівної та пшениці ярої і вивчено вплив цезію та інокуляції насіння мікроорганізмами на морфологічні особливості рослин, вирощених на стерилізованому кварцовому піску. Експериментальні дані з морфометрії та накопичення  $^{137}\text{Cs}$  у рослинах ріпаку було отримано спільно з О. Ю. Паренюк і використовуються з її дозволу.

Мікроорганізми-інокулянти, протестовані у варіантах із ріпаком, стимулюють проростання насіння. Як свідчать дані, наведені в табл. 1, відсоток проростання насіння, не інокульованого бактеріями, становив  $78,3 \pm 5,8\%$ , а в



решті експериментальних посудин проросла більша кількість насіння, досягаючи максимуму в посудинах з насінням, обробленим *Agrobacterium radiobacter* ІМВ В-7246 (91,7±5,8 %). У досліді із пшеницею підвищений, порівняно з контролем, відсоток проростання насіння виявили у варіанті з інокуляцією *B. megaterium* УКМ В-5724. У цьому варіанті проросло 90,3±14,1 % насінин, що в 1,3 раза більше, ніж у контролі. У досліді з викою посівною було отримано схожий результат. Як і в досліді з ріпаком, найвищий показник проростання насіння було виявлено у варіанті з інокуляцією *Agrobacterium radiobacter* (88,3±8,5 %).

Таблиця 1

**Морфометричні показники рослин, вирощених на інертному середовищі та інокульованих мікроорганізмами**

Рослина	Культура-інокулянт	Довжина, см			Проростання, %
		корінь	стебло	рослина	
Ріпак	Контроль	5,1±0,6	9,0±1,6	14,1±2,2	80,7±7,8
	Контроль + <sup>137</sup> Cs (без бактерій)	4,8±0,3	8,5±1,1	13,4±1,1	78,3±5,8
	<i>A. chroococcum</i> УКМ В-6003	8,1±0,2	9,2±0,3	17,3±0,5	85,0±8,7
	<i>A. chroococcum</i> УКМ В-6082	6,7±0,6	8,1±0,5	14,8±0,6	81,7±12,6
	<i>B. megaterium</i> УКМ В-5724	7,8±0,9	8,9±0,7	16,1±1,2	85,0±8,7
	<i>A. radiobacter</i> ІМВ В-7246	8,5±0,7	9,2±0,6	17,5±0,4	91,7±5,8
Пшениця	Контроль	3,8±1,2	12,3±3,1	16,0±4,3	70,3±14,1
	Контроль + <sup>137</sup> Cs (без бактерій)	7,6±0,5	8,0±0,6	15,6±1,1	65,7±5,0
	<i>A. chroococcum</i> УКМ В-6003	4,3±1,6	11,5±4,2	15,9±5,6	70,0±4,1
	<i>A. chroococcum</i> УКМ В-6082	2,6±0,2	10,9±4,1	13,5±4,3	66,7±9,4
	<i>B. megaterium</i> УКМ В-5724	5,3±2,5	14,6±2,9	19,8±4,2	90,3±14,1
	<i>A. radiobacter</i> ІМВ В-7246	3,8±1,1	13,8±2,0	17,7±3,1	76,7±6,2
Вика посівна	Контроль	1,3±0,2	3,1±0,9	4,4±0,9	68,3±13,1
	Контроль + <sup>137</sup> Cs (без бактерій)	1,0±0,2	3,5±1,2	4,5±1,4	66,7±6,2
	<i>A. chroococcum</i> УКМ В-6003	1,2±0,1	3,5±0,8	4,7±0,9	78,3±13,1
	<i>A. chroococcum</i> УКМ В-6082	1,3±0,1	4,6±0,9	5,9±0,9	71,7±11,8
	<i>B. megaterium</i> УКМ В-5724	1,0±0,05	3,1±1,1	4,2±1,1	71,7±13,1
	<i>A. radiobacter</i> ІМВ В-7246	1,3±0,2	5,2±0,6	6,5±0,7	88,3±8,5
	<i>R. leguminosarum</i>	1,4±0,2	3,5±0,3	4,9±0,2	66,7±10,3

У досліді з ріпаком ефективність стимуляції розвитку стебла та кореня проявили всі проаналізовані штами. Хоча варто зазначити, що *A. chroococcum* УКМ В-6003 та *A. radiobacter* ІМВ В-7246 дали найкращі результати щодо поліпшення умов живлення, а отже, і швидкості розвитку рослин: сумарна довжина рослини становила 17,3±0,5 та 17,5±0,4 см відповідно, порівняно з контрольними рослинами, вирощеними без інокуляції, довжина яких становила

14,1±2,2 см. Слід також наголосити, що збільшення довжини відбулося переважно завдяки стимуляції розвитку кореневої системи. Так, довжина кореня рослин, інокульованих *A. chroococcum* УКМ В-6003, становила 8,1±0,2 см, що майже в 1,6 раза перевищує довжину кореня контрольних проростків. Водночас корінці інокульованих рослин більш розгалужені і набагато краще розвинені, що може бути пов'язано зі стимуляцією гормональної активності рослини саме за наявності радіонукліда.

У досліді із пшеницею було отримано дещо інші результати щодо стимуляції розвитку рослин. Варіанти з інокуляцією двома штамми *Azotobacter* показали знижену швидкість росту рослин. Сумарна довжина рослин становила 13,5±4,3 та 15,9±5,6 см відповідно, у той час як контрольні рослини мали довжину в середньому 16,0±4,3 см. Найбільший приріст довжини рослин показав штам *B. megaterium* – 19,8±4,2 см. І тут перевага у рості значною мірою була забезпечена завдяки більш розвиненій кореневій системі рослин. Що стосується варіанту з інокуляцією *Agrobacterium radiobacter*, то тут знову спостерігається збільшення загальної довжини рослин – 17,7±3,1 см.

Третя культура, з якою проводилося дане дослідження, – вика посівна. Оцінивши отримані дані, нами виокремлено два штами, інокуляція насіння якими за умов вирощування на стерилізованому кварцовому піску показала найвищий приріст загальної довжини рослин. Це штами *Agrobacterium radiobacter* (довжина рослин 6,5±0,7 см) та *A. chroococcum* УКМ В-6082 (довжина рослин 5,9±0,9 см). Рослини контрольного варіанта мали довжину в середньому 4,4±0,9 см. Але в досліді з викою приріст був забезпечений не розвитком кореневої системи, а переважно завдяки збільшенню довжини стебла. Обидва штами, які показали найвищий результат приросту, є модифікаторами азотного живлення рослини. Діяльність цих бактерій збагачує субстрат доступними для рослин сполуками азоту, що прискорює ріст і розвиток надземної частини рослин.

Проте, всі мікроорганізми із розглянутої групи є такими, що збільшують доступність поживних речовин для рослини. Так, *A. Chroococcum* УКМ В-6003, *A. chroococcum* УКМ В-6082 та *Agrobacterium radiobacter* є стимуляторами азотного живлення рослини, а *B. megaterium* підвищує доступність сполук фосфору.

Саме зміна фізико-хімічних форм і покращення доступності різних форм азоту і фосфору зумовлює підвищення інтенсивності білкового синтезу та обміну в рослині. Фосфор викликає поліпшення енергетичного обміну зростаючого кореня, а саме процесів дихання, що у кінцевому підсумку може зумовлювати інтенсивний розвиток кореневої системи.

Також варто окремо зазначити варіанти, які показали протилежний результат. Так, рослини, не інокульовані бактеріями, але до субстрату яких вносили в розчинній формі <sup>137</sup>Cs, мали найменшу довжину в досліді з ріпаком – 13,4±1,1 см і показували одне з найнижчих значень у досліді із пшеницею та викою – 15,6±1,1 та 4,5±1,4 см відповідно. Тобто спостерігається загальний негативний вплив радіонуклідного забруднення субстрату на розвиток рослин.

Таким чином, отримані дані ще раз засвідчують ефективність мікробних біопрепаратів для стимуляції мінерального живлення рослин, а, отже, покращення їхніх ростових показників.

Наступним кроком дослідження був аналіз радіоактивності рослин. Найбільшою вона була в рослин ріпаку, вирощених після інокуляції *A. chroococcum* УКМ В-6003, та становила  $876,5 \pm 63,2$  Бк/г повітряно-сухої біомаси, або  $50,2 \pm 5,0$  % від активності субстрату (рис. 1). Саме це і є найвищим показником для усіх проаналізованих мікроорганізмів. Щодо мінімальних показників, то вони характерні для *Agrobacterium radiobacter* у всіх варіантах:  $495,0 \pm 83,7$  Бк/г у досліді з ріпаком,  $71,7 \pm 12,0$  Бк/г для пшениці та  $95,3 \pm 11,4$  Бк/г для вики.

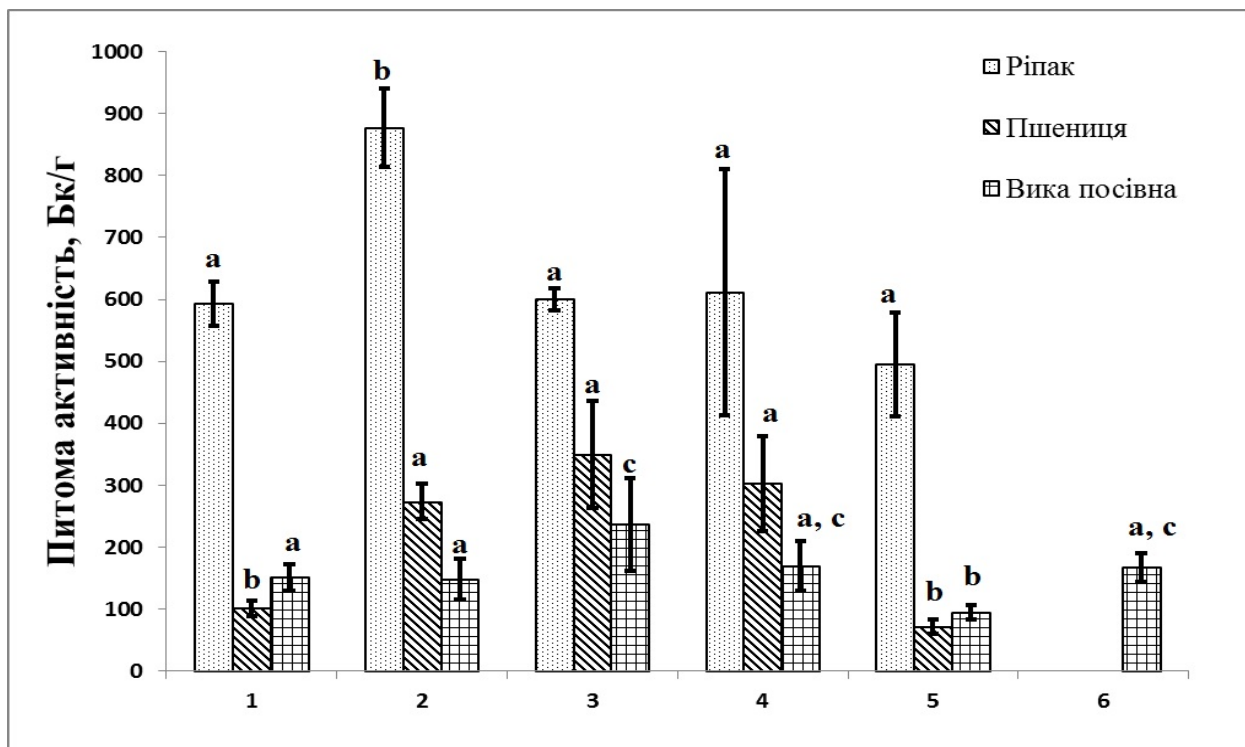


Рис. 1. Інтенсивність накопичення <sup>137</sup>Cs рослинами залежно від культури мікроорганізмів, інтродукованих у ризосферу (на кварцовому піску): 1 – контроль + <sup>137</sup>Cs (без бактерій); 2 – *A. chroococcum* УКМ В-6003; 3 – *A. chroococcum* УКМ В-6082; 4 – *B. megaterium* УКМ В-5724; 5 – *A. radiobacter* ІМВ В-7246; 6 – *R. leguminosarum*.

Примітка. Тут і далі: букви а, б, с, d позначають належність варіантів до різних гомогенних рядів за методом Фішера при  $p \leq 0,05$ . Порівнювати треба в межах кожного виду рослин окремо

Підсумовуючи, необхідно наголосити, що ґрунтові мікроорганізми можуть як знижувати, так і підвищувати накопичення <sup>137</sup>Cs у біомасі рослин. У наведених вище дослідженнях вдалося показати, що ця властивість не залежить від локалізації мікроорганізму на поверхні кореня, адже всі проаналізовані бактерії належали до групи таких, що колонізують ризосферу рослини.

**Зміна доступності <sup>137</sup>Cs рослинам за впливу представників ґрунтової мікрофлори та вирощування на стерилізованому ґрунті.** Показано, що найбільша питома активність <sup>137</sup>Cs у зеленій масі рослин ріпаку та вики

посівної спостерігалася у разі вирощування на торфово-болотному ґрунті, що серед решти досліджуваних типів ґрунту відрізнявся найнижчим рівнем обмінного калію. Тому через нестачу цього макроелемента рослини поглинали більш активно його хімічний аналог – цезій, що й зумовило збільшення питомої активності  $^{137}\text{Cs}$  у біомасі досліджених рослин.

Щодо порівняння впливу інокуляції різними штамами мікроорганізмів, варто зазначити, що всі дослідні варіанти з викою статистично вірогідно відрізнялися від контролю за умов вирощування на дерново-підзолистому ґрунті. При цьому у варіанті з інокуляцією насіння вики *R. leguminosarum* спостерігали найвищий для цієї культури рівень накопичення  $^{137}\text{Cs}$ . Решта штамів, навпаки, зменшували перехід радіонукліда з ґрунту (табл. 2). Для ріпаку, у варіантах з інокуляцією *A. chroococcum* УКМ В-6082 та *Agrobacterium radiobacter*, виявили зменшення накопичення радіонукліда, порівняно з контролем.

Таблиця 2

**Накопичення  $^{137}\text{Cs}$  рослинами залежно від культури мікроорганізмів, інтродукованих у ризосферу на дерново-підзолистому ґрунті**

Культура-інокулянт	Питома активність $^{137}\text{Cs}$ у біомасі рослин, Бк/г	
	Ріпак	Вика посівна
Контроль + $^{137}\text{Cs}$ (без бактерій)	6,92±0,73 <sup>a</sup>	2,87±0,15 <sup>a</sup>
<i>A. chroococcum</i> УКМ В-6003	5,69±0,46 <sup>a</sup>	1,56±0,25 <sup>b</sup>
<i>A. chroococcum</i> УКМ В-6082	3,82±0,62 <sup>b</sup>	1,28±0,16 <sup>b</sup>
<i>B. megaterium</i> УКМ В-5724	5,99±0,68 <sup>a</sup>	1,51±0,13 <sup>b</sup>
<i>A. radiobacter</i> ІМВ В-7246	4,27±0,35 <sup>b</sup>	1,33±0,06 <sup>b</sup>
<i>R. leguminosarum</i>	–	3,34±0,37 <sup>c</sup>

На торфово-болотному ґрунті в ріпаку спостерігали зниження накопичення  $^{137}\text{Cs}$  у всіх варіантах, крім варіанта з інокуляцією *B. megaterium* (табл. 3). Майже втричі нижчою порівняно з контролем була активність зеленої маси рослин, вирощених після інокуляції *Agrobacterium radiobacter*. Для вики посівної на даному типі ґрунту статистично вірогідне зниження накопичення спостерігали за інокуляції насіння штамом *A. chroococcum* УКМ В-6003.

Таблиця 3

**Накопичення  $^{137}\text{Cs}$  рослинами залежно від культури мікроорганізмів, інтродукованих у ризосферу на торфово-болотному ґрунті**

Культура-інокулянт	Питома активність $^{137}\text{Cs}$ у біомасі рослин, Бк/г	
	Ріпак	Вика посівна
Контроль + $^{137}\text{Cs}$ (без бактерій)	91,35±11,11 <sup>a</sup>	26,54±5,70 <sup>a</sup>
<i>A. chroococcum</i> УКМ В 6003	61,00±16,01 <sup>b, c</sup>	9,08±2,00 <sup>b</sup>
<i>A. chroococcum</i> УКМ В 6082	56,88±12,80 <sup>b, c</sup>	30,91±7,69 <sup>b</sup>
<i>B. megaterium</i> УКМ В-5724	66,69±12,17 <sup>a, b</sup>	15,79±2,42 <sup>a, c</sup>
<i>A. radiobacter</i> ІМВ В-7246	36,19±5,85 <sup>c</sup>	21,61±6,85 <sup>b, c</sup>
<i>R. leguminosarum</i>	–	17,90±0,94 <sup>a</sup>

На чорноземі типовому, найбільш збалансованому типі ґрунту з погляду агрохімічних показників, спостерігали зниження накопичення радіонукліда тільки для варіанта з інокуляцією *A. chroococcum* УКМ В-6003 для обох культур (табл. 4).

Таблиця 4

**Накопичення  $^{137}\text{Cs}$  рослинами залежно від культури мікроорганізмів, інтродукованих у ризосферу на чорноземі типовому**

Культура-інокулянт	Питома активність $^{137}\text{Cs}$ у біомасі рослин, Бк/г	
	Ріпак	Вика посівна
Контроль + $^{137}\text{Cs}$ (без бактерій)	9,47±0,92 <sup>a, b</sup>	3,05±0,24 <sup>a, b</sup>
<i>A. chroococcum</i> УКМ В-6003	2,50±0,46 <sup>c</sup>	2,39±0,13 <sup>b</sup>
<i>A. chroococcum</i> УКМ В-6082	8,97±0,93 <sup>a</sup>	2,32±0,16 <sup>b</sup>
<i>B. megaterium</i> УКМ В-5724	6,15±0,83 <sup>b</sup>	2,81±0,08 <sup>a, c</sup>
<i>A. radiobacter</i> ІМВ В-7246	11,15±0,85 <sup>b</sup>	2,61±0,07 <sup>b, c</sup>
<i>R. leguminosarum</i>	–	2,94±0,10 <sup>a</sup>

**Вплив  $^{137}\text{Cs}$  та інокуляції насіння мікроорганізмами на фотосинтетичну систему рослин вики посівної.** Зміна умов вирощування призводить до зміни в характері переходів індукції флуоресценції хлорофілу, які супроводжуються досить суттєвими змінами спектральних характеристик листової тканини рослин. Застосування методу оцінки індукції флуоресценції хлорофілу рослин дає змогу отримати об'єктивну експресну інформацію про функціонування фотосинтетичного апарату досліджуваної рослини під впливом дії різноманітних стресових чинників, зокрема радіонуклідного забруднення та інокуляції різними штамми ґрунтових мікроорганізмів, і, відповідно, оцінити рівень впливу стресового фактора на рослину.

Отже, результати проведених досліджень показали, що найбільш інтенсивно підвищився фоновий рівень флуоресценції ( $F_0$ ) фотосинтетичного апарату в рослин вики посівної за умов забруднення ґрунту радіонуклідами та інокуляції штамом *Bacillus megaterium* УКМ В-5724 на кожному проаналізованому типі ґрунту. У рослин, вирощених на дерново-підзолистому ґрунті, показник  $F_0$  в 1,20 раз перевищував контроль, на торфово-болотному – в 1,34 раз, на чорноземі типовому – в 1,03 раз. Інші бактерії показали радіопротекторні властивості майже на всіх типах ґрунтів.

Підсумовуючи наведені дані, можна зробити висновок, що при інокуляції насіння вики посівної штамом *Bacillus megaterium* УКМ В-5724 спостерігали підвищення показників індукції флуоресценції хлорофілу, що свідчить про найнижчу активність процесів фотосинтезу рослин за даного варіанта, порівняно з контролем.

**Фізико-хімічні форми  $^{137}\text{Cs}$  у ґрунті після вирощування інокульованих мікроорганізмами рослин.** У ґрунті радіонукліди можуть бути зв'язані з різними хімічними речовинами і мінералами. Залежно від цього вони можуть бути доступними, потенційно доступними або майже недоступними ні рослинам, ні мікроорганізмам, що живуть у ґрунті. Для визначення кількості всіх окремих категорій радіонуклідів у ґрунті була застосована послідовна екстракція.

Для проведення послідовної екстракції відібрали 10 варіантів. Контроль та чотири варіанти з інокуляцією різними штамми мікроорганізмів для рослин ріпаку та вики.

Результати вимірювання питомої активності водних витяжок були перераховані у відсоток від загальної початкової активності проби. Для рослин ріпаку результати наведено на рис. 2, а для вики – на рис. 3.

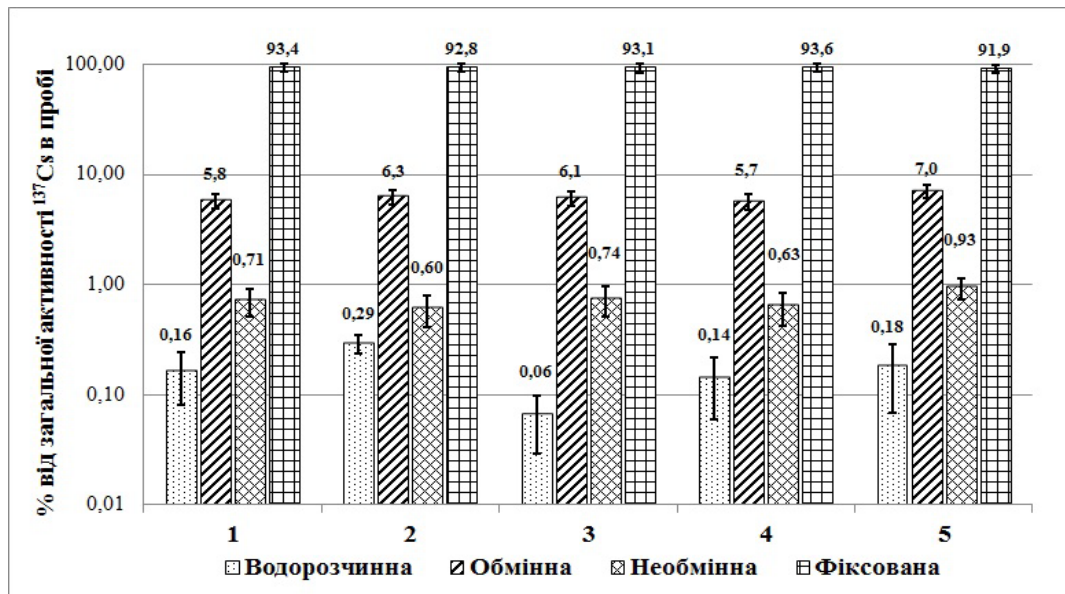


Рис. 2. Результати послідовної екстракції  $^{137}\text{Cs}$  з дерново-підзолистого ґрунту після вирощування ріпаку, інокульованого мікроорганізмами: 1 – контроль +  $^{137}\text{Cs}$  (без бактерій); 2 – *A. chroococcum* УКМ В-6003; 3 – *A. chroococcum* УКМ В-6082; 4 – *B. megaterium* УКМ В-5724; 5 – *A. radiobacter* ІМВ В-7246.

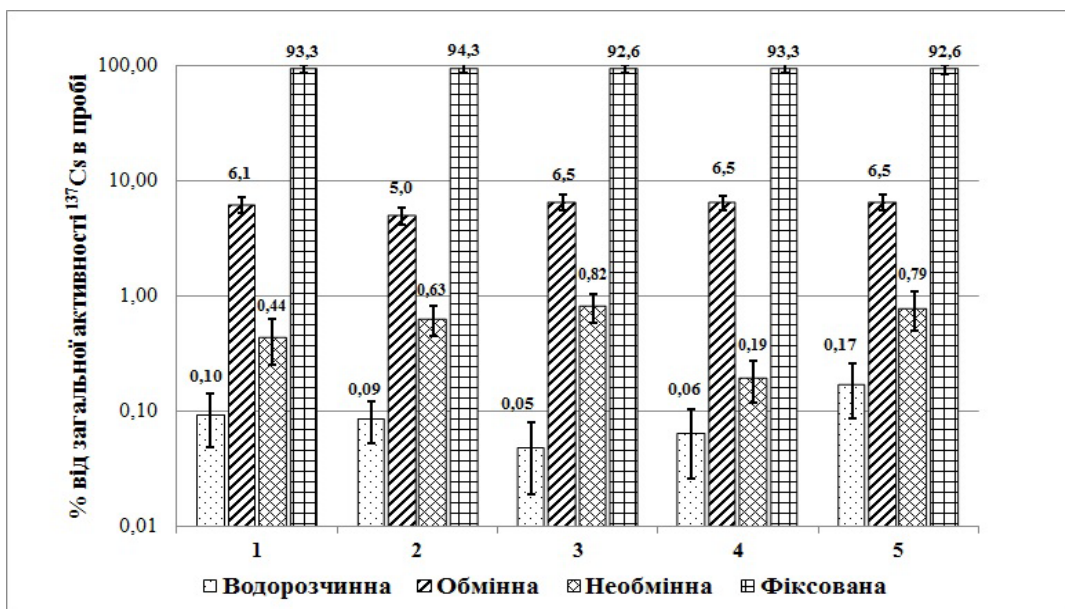


Рис. 3. Результати послідовної екстракції  $^{137}\text{Cs}$  з дерново-підзолистого ґрунту після вирощування вики посівної, інокульованої мікроорганізмами: 1 – контроль +  $^{137}\text{Cs}$  (без бактерій); 2 – *A. chroococcum* УКМ В-6003; 3 – *A. chroococcum* УКМ В-6082; 4 – *B. megaterium* УКМ В-5724; 5 – *A. radiobacter* ІМВ В-7246.

Згідно з отриманими даними більш як 92 % загальної активності  $^{137}\text{Cs}$  перебуває у фіксованій, недоступній для рослин та мікроорганізмів формі. Такий високий відсоток зв'язування  $^{137}\text{Cs}$  пояснюється явищем фіксації («старіння») цього радіонукліда у ґрунті.

При цьому статистично значущої різниці для активності  $^{137}\text{Cs}$  у екстракціях з контролю та варіантів з інокуляцією мікроорганізмами помічено не було.

**Біодоступність  $^{137}\text{Cs}$  рослинам після інокуляції бактеріями в умовах польового експерименту.** Для проведення польового досліду було обрано ділянку з дерново-підзолистим ґрунтом, подібним до ґрунтів Чорнобильської зони відчуження. Ділянка розташована в с. Ноздрище, яке належить до зони безумовного (обов'язкового) відселення (2 зона) та знаходиться на території природного заповідника «Древлянський». Забруднені радіонуклідами сільсько-господарські угіддя з таким типом ґрунту найбільше потребують здійснення контрзаходів для блокування надходження радіонуклідів у рослини, адже вирощування продукції тут дозволене на значних площах, а відсутність постійного контролю за забрудненням продуктів харчування може призводити до істотних змін у дозі внутрішнього опромінення мешканців досліджуваних територій. Підвищення ж ефективності контрзаходів може зменшити витрати часу та коштів, що дасть змогу зекономити людські ресурси і провести контрзаходи на більшій території.

Гамма-зйомка території дослідної ділянки показала, що потужність дози гамма-випромінювання у повітрі на висоті 100 см коливалася від  $0,28 \pm 0,01$  до  $0,50 \pm 0,03$  мкЗв/год. Середнє значення для всієї ділянки  $0,38$  мкЗв/год.

За результатами вимірювання питомої активності ґрунту та повітряно-сухої біомаси рослин було обраховано коефіцієнти накопичення ( $K_H$ )  $^{137}\text{Cs}$  для ріпаку, вики і пшениці за умови передпосівної інокуляції насіння культурами мікроорганізмів, що є біоагентами мікробних добрив.

Аналіз даних, наведених у табл. 5, свідчить, що у дослідах з ріпаком під час двох пробовідборів (1 і 3, тому що 2 не було зроблено з технічних причин) спостерігається незначне зниження  $K_H$  за інокуляції насіння *A. chroococcum* УКМ В-6082. У решті варіантів суттєвого впливу інокуляції на накопичення ізотопу не спостерігали.

Таблиця 5

**Питома активність  $^{137}\text{Cs}$  у зеленій масі рослин ріпаку  
(ґрунт  $2,3 \pm 0,7$  кБк/кг)**

Культура-інокулянт	1 пробовідбір		3 пробовідбір	
	Бк/кг	$K_H$	Бк/кг	$K_H$
Контроль	$123 \pm 12$	$0,053 \pm 0,016$	$75 \pm 12$	$0,032 \pm 0,011$
<i>B. megaterium</i> УКМ В-5724	$138 \pm 22$	$0,059 \pm 0,020$	$85 \pm 18$	$0,036 \pm 0,013$
<i>A. chroococcum</i> УКМ В-6003	$155 \pm 61$	$0,066 \pm 0,033$	$92 \pm 33$	$0,039 \pm 0,018$
<i>A. chroococcum</i> УКМ В-6082	$82 \pm 31$	$0,035 \pm 0,017$	$38 \pm 11$	$0,016 \pm 0,007$
<i>A. radiobacter</i> ІМВ В-7246	$113 \pm 21$	$0,048 \pm 0,017$	$76 \pm 16$	$0,032 \pm 0,012$

Не спостерігали помітного зменшення накопичення радіонукліда і в дослідах із пшеницею в усіх варіантах за всіх трьох пробовідборів (табл. 6). Хоча також можна помітити певну тенденцію до зменшення накопичення радіонукліда у варіанті з інокуляцією насіння *A. chroococcum* УКМ В-6082.

Таблиця 6

**Питома активність  $^{137}\text{Cs}$  у зеленій масі рослин пшениці  
(грунт  $2,6 \pm 0,6$  кБк/кг)**

Культура-інокулянт	1 пробовідбір		2 пробовідбір		3 пробовідбір	
	Бк/кг	$K_H$	Бк/кг	$K_H$	Бк/кг	$K_H$
Контроль	69±13	0,026±0,008	25±4	0,009±0,003	35±7	0,013±0,004
<i>B. megaterium</i> УКМ В-5724	41±7	0,016±0,005	24±7	0,009±0,003	31±8	0,012±0,004
<i>A. chroococcum</i> УКМ В-6003	106±29	0,040±0,014	23±6	0,009±0,003	24±7	0,009±0,003
<i>A. chroococcum</i> УКМ В-6082	41±17	0,016±0,008	29±7	0,011±0,004	20±6	0,008±0,003
<i>A. radiobacter</i> ІМВ В-7246	97±31	0,037±0,015	23±8	0,009±0,004	38±8	0,014±0,004

У дослідах з викою (табл. 7) варіант з інокуляцією насіння *A. chroococcum* УКМ В-6082+*R. leguminosarum* перевищив очікувані результати, показавши за даними всіх трьох пробовідборів стійке зменшення  $K_H$ . За результатами першого і другого пробовідборів зменшення удвічі, а третього – у 5–6 разів порівняно з контролем.

Таблиця 7

**Питома активність  $^{137}\text{Cs}$  у зеленій масі рослин вики  
(грунт  $2,7 \pm 0,6$  кБк/кг)**

Культура-інокулянт	1-й пробовідбір		2-й пробовідбір		3-й пробовідбір	
	Бк/кг	$K_H$	Бк/кг	$K_H$	Бк/кг	$K_H$
Контроль	626±85 <sup>c</sup>	0,234±0,064	478±79 <sup>d</sup>	0,178±0,052	437±90 <sup>c</sup>	0,163±0,051
<i>R. leguminosarum</i>	592±86 <sup>c</sup>	0,221±0,062	438±74 <sup>cd</sup>	0,163±0,048	480±91 <sup>c</sup>	0,179±0,055
<i>B. megaterium</i> УКМ В-5724 + <i>R. leguminosarum</i>	324±55 <sup>ab</sup>	0,121±0,035	203±27 <sup>a</sup>	0,076±0,021	197±31 <sup>a</sup>	0,074±0,021
<i>A. chroococcum</i> УКМ В-6003 + <i>R. leguminosarum</i>	293±66 <sup>ab</sup>	0,109±0,036	296±47 <sup>ab</sup>	0,110±0,032	151±31 <sup>ab</sup>	0,056±0,018
<i>A. chroococcum</i> УКМ В-6082 + <i>R. leguminosarum</i>	242±44 <sup>a</sup>	0,09±0,032	227±51 <sup>a</sup>	0,085±0,028	77±18 <sup>b</sup>	0,029±0,010
<i>A. radiobacter</i> ІМВ В-7246 + <i>R. leguminosarum</i>	391±64 <sup>b</sup>	0,15±0,043	339±37 <sup>bc</sup>	0,126±0,033	224±44 <sup>a</sup>	0,084±0,026



*Agrobacterium radiobacter* IMB B-7246 вирізняється помітною здатністю до зменшення  $K_H$ . За результатами третього пробовідбору спостерігали зменшення накопичення  $^{137}\text{Cs}$  удвічі. Проте з цією культурою майже в усіх варіантах, зокрема при інокуляції насіння *A. chroococcum* УКМ B-6082 + *R. leguminosarum*, спостерігали зменшення накопичення рослинами  $^{137}\text{Cs}$ .

Безперечно, це пов'язане зі специфікою взаємовідносин видів рослин і бактерій, які не завжди можна легко пояснити.

Проте, на основі попередніх лабораторних і польових досліджень було зроблено висновок про зменшення надходження  $^{137}\text{Cs}$  у рослини, особливо у вику, саме бактерій *Azotobacter chroococcum* УКМ B-6082. І тому, коли постало питання про можливе впровадження способу оброблення насіння вики бактеріями-інокулянтами, воно було вирішено позитивно.

Після аналізу отриманих результатів вирішено наступного року не висівати пшеницю повторно через те, що інокуляція мікроорганізмами не показала ефективного впливу на накопичення  $^{137}\text{Cs}$  у зеленій масі рослин.

Застосування комплексів препаратів на основі штамів бактерій *Agrobacterium radiobacter* IMB B-7246 + *A. chroococcum* УКМ B-6082 для інокуляції насіння ріпаку і *A. chroococcum* УКМ B-6003 + *A. chroococcum* УКМ B-6082 + *R. leguminosarum* для інокуляції насіння вики посівної можна розглядати як додатковий радіозахисний прийом для блокування надходження  $^{137}\text{Cs}$  у ці види сільськогосподарських рослин (табл. 8 та 9).

Таблиця 8

**Питома активність  $^{137}\text{Cs}$  у зеленій масі рослин ріпаку  
(грунт  $2,3 \pm 0,7$  кБк/кг)**

Культура-інокулянт	Бк/кг	$K_H$
Контроль	$144 \pm 30^{a,b}$	$0,062 \pm 0,022$
<i>B. megaterium</i> УКМ B-5724	$119 \pm 25^{a,b,c}$	$0,051 \pm 0,018$
<i>A. chroococcum</i> УКМ B-6003	$167 \pm 24^b$	$0,071 \pm 0,023$
<i>A. chroococcum</i> УКМ B-6082	$100 \pm 17^{a,c}$	$0,043 \pm 0,015$
<i>A. radiobacter</i> IMB B-7246	$144 \pm 31^{a,b}$	$0,062 \pm 0,023$
<i>A. chroococcum</i> УКМ B-6003 + <i>B. megaterium</i> УКМ B-5724	$250 \pm 35^d$	$0,107 \pm 0,035$
<i>A. radiobacter</i> IMB B-7246 + <i>A. chroococcum</i> УКМ B-6082	$83 \pm 18^c$	$0,035 \pm 0,013$

**Оцінка впливу мікроорганізмів бактеріальних добрив на накопичення  $^{90}\text{Sr}$  рослинами.** Попередні дослідження біологічної доступності  $^{137}\text{Cs}$  для рослин під впливом мікроорганізмів в умовах лабораторного та польового експериментів показали ефективність мікробних біопрепаратів для зміни коефіцієнтів накопичення радіонукліда.

Спостерігалось відносно стабільне зниження накопичення  $^{137}\text{Cs}$  рослинами, насіння яких було інокульоване бактерією *Azotobacter chroococcum* УКМ B-6082. Тому для вимірювання питомої активності  $^{90}\text{Sr}$  у

грунті та зеленій масі рослин було відібрано варіанти після інокуляції саме цим штамом.

Таблиця 9

**Питома активність  $^{137}\text{Cs}$  у зеленій масі рослин вики  
(грунт  $2,8 \pm 0,6$  кБк/кг)**

Культура-інокулянт	Бк/кг	$K_H$
Контроль	$427 \pm 65^{b,c,d}$	$0,159 \pm 0,045$
<i>R. leguminosarum</i>	$404 \pm 82^{b,c,d}$	$0,151 \pm 0,047$
<i>B. megaterium</i> УКМ В-5724+ <i>R. leguminosarum</i>	$504 \pm 76^d$	$0,188 \pm 0,053$
<i>A. chroococcum</i> УКМ В-6003+ <i>R. leguminosarum</i>	$479 \pm 84^{c,d}$	$0,179 \pm 0,053$
<i>A. chroococcum</i> УКМ В-6082+ <i>R. leguminosarum</i>	$351 \pm 62^b$	$0,131 \pm 0,039$
<i>A. radiobacter</i> ІМВ В-7246+ <i>R. leguminosarum</i>	$359 \pm 68^{b,c}$	$0,134 \pm 0,041$
<i>R. leguminosarum</i> + <i>A. radiobacter</i> ІМВ В-7246 + <i>B. megaterium</i> УКМ В-5724	$475 \pm 70^{b,c,d}$	$0,177 \pm 0,050$
<i>A. chroococcum</i> УКМ В-6003+ <i>A. chroococcum</i> УКМ В-6082+ <i>R. leguminosarum</i>	$190 \pm 68^a$	$0,071 \pm 0,031$

Питома активність  $^{90}\text{Sr}$  у ґрунті дослідної ділянки становила  $35 \pm 3$  Бк/кг. Аналіз отриманих даних свідчить, що всі дослідні варіанти мали нижчі  $K_H$  порівняно з контролем. Для вики та пшениці за інокуляції *A. chroococcum* УКМ В-6082 + *Rhizobium leguminosarum*  $K_H$  знижувався в середньому у 2,5 раза, для ріпаку – у 1,5 раза у порівнянні з контролем (табл. 10).

Таблиця 10

**Питома активність  $^{90}\text{Sr}$  у зеленій масі рослин  
(грунт  $35 \pm 3$  Бк/кг)**

Культура-інокулянт	Бк/кг	$K_H$
Вика контроль	$783 \pm 59$	$22 \pm 3,3$
Вика + <i>A. radiobacter</i> ІМВ В-7246 + <i>R. leguminosarum</i> <i>bv. viceae</i>	$316 \pm 24$	$9 \pm 1,4$
Пшениця контроль	$52 \pm 5$	$1,5 \pm 0,2$
Пшениця + <i>A. chroococcum</i> УКМ В-6082	$22 \pm 2$	$0,6 \pm 0,1$
Ріпак контроль	$537 \pm 40$	$15 \pm 2,3$
Ріпак + <i>A. chroococcum</i> УКМ В-6082	$366 \pm 29$	$10 \pm 1,5$

Отримані  $K_H$  мають достатньо високі значення, адже з кожним роком кількість доступного  $^{90}\text{Sr}$  у ґрунті зростає. Це пояснюється тим, що з часом відбувається розчинення паливних частинок і збільшення частки обмінного радіонукліда у ґрунті, а його вертикальна міграція за ґрунтовим профілем та трофічними ланцюгами агроєкосистем збільшується, унаслідок чого зростає рівень забруднення рослинності та, відповідно, сільськогосподарської продукції. З отриманих результатів було зроблено висновок про відносно стабільний вплив бактерії *A. chroococcum* УКМ В-6082 на зменшення накопичення у рослинах не тільки  $^{137}\text{Cs}$ , а й  $^{90}\text{Sr}$ . Це дозволяє стверджувати, що біопрепарати на основі даного штаму можуть застосовуватися в якості додаткового контрзаходу для блокування надходження цих радіонуклідів.

## ВИСНОВКИ

На основі результатів власних досліджень оцінено роль окремих штамів мікроорганізмів у переході  $^{137}\text{Cs}$  і  $^{90}\text{Sr}$  у рослини. Описано зміни морфометричних показників рослин внаслідок діяльності бактеріальної мікрофлори. Запропоновано використання інокуляції насіння сільськогосподарських рослин бактеріальними препаратами за умов вирощування на забрудненому радіонуклідами ґрунті як додаткового заходу щодо зменшення накопичення радіонуклідів у зеленій масі рослин.

1. Проведені дослідження свідчать про те, що ґрунтові мікроорганізми можуть як знижувати, так і посилювати перехід  $^{137}\text{Cs}$  із ґрунту в рослини. Ця властивість не залежить від локалізації мікроорганізмів на поверхні кореня, адже всі проаналізовані штами бактерій належали до групи таких, що колонізують ризосферу рослини.

2. Мікроорганізми-інокулянти при використанні на бідних елементами живлення ґрунтах прискорюють ріст рослин у довжину, що свідчить про покращення умов їхнього зростання.

3. При інокуляції насіння вики посівної штамом *Bacillus megaterium* УКМ В-5724 спостерігали підвищення показників індукції флуоресценції хлорофілу, що свідчить про найнижчу активність процесів фотосинтезу рослин за такого варіанта.

4. Результати послідовної екстракції форм  $^{137}\text{Cs}$  із дерново-підзолистого ґрунту свідчать, що більш як 92 % загальної активності радіонукліда перебуває у фіксованій, недоступній для рослин та мікроорганізмів формі та загалом 5–6 % перебуває у водорозчинній та обмінній формах. При цьому статистично значущої різниці не спостерігали для варіантів з інокуляцією мікроорганізмами.

5. В умовах польового дослідження інокуляція насіння вики посівної комбінацією штамів *Azotobacter chroococcum* УКМ В-6082 та *Rhizobium leguminosarum* зумовила статистично значуще зменшення  $K_{\text{H}}$   $^{137}\text{Cs}$  більш ніж удвічі, а інокуляція насіння ріпаку штамом *A. chroococcum* УКМ В-6082 забезпечила зниження  $K_{\text{H}}$   $^{137}\text{Cs}$  майже на 50 % порівняно з контролем. У досліджах із пшеницею достовірного зменшення накопичення  $^{137}\text{Cs}$  не було.

6. Продуктивність зеленої маси рослин майже не відрізнялася за дослідними варіантами. Хоча і спостерігався деякий її приріст у варіантах, інокульованих комбінацією штамів *B. megaterium* УКМ В-5724 та *Agrobacterium radiobacter* ІМВ В-7246. Це свідчить про те, що механізм зменшення накопичення рослинами  $^{137}\text{Cs}$  не зумовлений простим його розбавленням у біомасі.

7. Застосування комплексів препаратів на основі штамів бактерій *Agrobacterium radiobacter* ІМВ В-7246 та *A. chroococcum* УКМ В-6082 для інокуляції насіння ріпаку й *Azotobacter chroococcum* УКМ В-6003, *A. chroococcum* УКМ В-6082 та *R. leguminosarum* для інокуляції насіння вики посівної можна розглядати як додатковий радіозахисний спосіб блокування надходження  $^{137}\text{Cs}$  у ці види сільськогосподарських рослин.

8. Помічена тенденція щодо зменшення накопичення рослинами  $^{90}\text{Sr}$  за інокуляції насіння *A. chroococcum* УКМ В-6082 свідчить про можливість використання бактеріального препарату на основі даного штаму для гальмування переходу в рослини цього радіонукліда.

## СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

### Статті у наукових фахових виданнях України:

1. Паренюк О. Ю., Ілленко В. В., Чижевський І. В., Мельник А. І., Левчук С. Є., Гудков І. М. Динаміка складу еколого-трофічних груп ґрунтових мікроорганізмів в зоні відчуження та зоні безумовного (обов'язкового) відселення навколо Чорнобильської АЕС // Біологічні системи. 2013. Т. 5. № 1. С. 21–25. *(Здобувачем отримано експериментальні дані, виконано статистичну обробку даних).*

2. Гудков І. М., Ілленко В. В., Русавська А. В., Паренюк О. Ю., Журавель М. П. Сучасна радіаційна ситуація на території відокремленого підрозділу НУБіП України навчально-дослідне господарство «Ворзель» // Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Серія «Біологія, біотехнологія, екологія». 2013. Вип. 193. С. 87–98. *(Здобувачем отримано експериментальні дані та підготовлено матеріали до друку).*

### Статті у наукових виданнях інших держав:

3. Pareniuk O. Ju., Illienko V. V., Gudkov I. M. Modification of  $^{137}\text{Cs}$  transfer to rape (*Brassica napus* L.) phytomass under the influence of soil microorganisms // Journal of Environmental Radioactivity. 2015. № 149. С. 73–80. *(Здобувачем отримано експериментальні дані, сформульовано висновки).*

4. Паренюк О. Ю., Ільєнко В. В., Шаванова Е. Е., Титова Л. В., Левчук С. Є., Гудков І. Н. Влияние почвенной микрофлоры на переход  $^{137}\text{Cs}$  в растения // Радиационная биология. Радиоэкология. 2015. Т. 55. № 1. С. 51–56. *(Здобувачем отримано експериментальні дані та підготовлено матеріали до друку).*

5. Pareniuk O. Ju., Illienko V. V., Gudkov I. M. Study of eco-trophic structure of microbial communities in soils contaminated by the accident at the Chernobyl nuclear power plant // European Applied Sciences. 2013. № 3. С. 11–13. *(Здобувачем отримано експериментальні дані).*

### Стаття в іншому науковому виданні України

6. Паренюк О. Ю., Шаванова К. Є., Ілленко В. В., Самофалова Д. О., Гудков І. М. Мікробіом ґрунту «Рудого лісу»: як вплинуло забруднення радіонуклідами на структуру ґрунтової мікрофлори? // Фактори експериментальної еволюції організмів. 2016. Т. 18. С. 194–197. *(Здобувачем отримано експериментальні дані, виконано статистичну обробку даних).*

### Рекомендації

7. Гудков І. М., Паренюк О. Ю., Ілленко В. В., Шаванова К. Є. Рекомендації з використання бактеріальних препаратів для зменшення надходження радіонуклідів в сільськогосподарські рослини: [методичні рекомендації]. Національний університет біоресурсів і природокористування України. К.: Видавничий центр НУБіП України, 2014. 17 с. *(Здобувачем отримано експериментальні дані, виконано статистичну обробку даних та підготовлено матеріали до друку).*

### Тези наукових доповідей:

8. Ілленко В. В., Паренюк О. Ю. Характеристика структури і біорізноманіття мікрофлори ґрунту на забруднених радіонуклідами територіях // Молодь і поступ біології: 8-а Міжнародна наукова конференція студентів та аспірантів, 3–6 квітня 2012 року, м. Львів: тези доповіді. Львів, 2012. С. 165–166. *(Здобувачем отримано експериментальні дані, виконано математичну обробку, інтерпретовано результати, підготовлено матеріали до друку).*

9. Паренюк О. Ю., Ілленко В. В., Гудков І. М. Зміна біологічної доступності  $^{137}\text{Cs}$  під впливом мікрофлори ґрунтів // Радіоекологія-2013. Чорнобиль–Фукусіма. Наслідки: науково-практична конференція в рамках міжнародного форуму «Довкілля України», м. Київ, 25–27 квітня 2013 року: тези доповіді. К., 2013. С. 133–135. *(Здобувачем отримано експериментальні дані, виконано математичну обробку, інтерпретовано результати, підготовлено матеріали до друку).*

10. Паренюк О. Ю., Ілленко В. В., Гудков І. М. Зміна доступності  $^{137}\text{Cs}$  рослинам під впливом представників мікрофлори ґрунтів // 4-й Всеукраїнський з'їзд екологів з міжнародною участю (Екологія / Ecology – 2013), м. Вінниця, 25–27 вересня 2013 року: тези доповіді. Вінниця, 2013. С. 390–392. *(Здобувачем отримано експериментальні дані, виконано математичну обробку, інтерпретовано результати, підготовлено матеріали до друку).*

11. Ілленко В. В., Паренюк О. Ю., Гудков І. М. Про можливості використання мікроорганізмів для зменшення радіонуклідного забруднення ґрунту і рослин // Радіаційна і техногенно-екологічна безпека людини та довкілля: стан, шляхи і заходи покращення: Міжнародна науково-практична конференція, м. Миколаїв, 3–5 червня 2014 року: тези доповіді. Миколаїв, 2014. С. 19–21. *(Здобувачем отримано експериментальні дані, виконано математичну обробку, інтерпретовано результати, підготовлено матеріали до друку).*

12. Ілленко В. В., Паренюк Е. Ю., Гудков І. Н. Влияние микрофлоры почвы на поступление радионуклидов в растения // 7-й Съезд по радиационным исследованиям: радиобиология, радиоекология, радиационная безопасность, г. Москва, Российская Федерация, 21–24 октября 2014 года: тезисы доклада. М., 2014. С. 260. *(Здобувачем отримано експериментальні дані, виконано математичну обробку, інтерпретовано результати, підготовлено матеріали до друку).*

13. **Ілленко В.**, Паренюк О., Шаванова К. Біодоступність  $^{137}\text{Cs}$  для рослин після інокуляції бактеріями *in situ* // Молодь і поступ біології: 11-а Міжнародна наукова конференція студентів та аспірантів, м. Львів, 20–23 квітня 2015 року: тези доповіді. Львів, 2015. С. 219–220. *(Здобувачем отримано експериментальні дані, виконано математичну обробку, інтерпретовано результати, підготовлено матеріали до друку).*

14. **Ілленко В. В.**, Паренюк О. Ю., Гудков І. М. Зміна біодоступності  $^{137}\text{Cs}$  під впливом інокуляції насіння бактеріями // Радіоекологія-2015. Радіоекологічні і радіобіологічні аспекти наслідків Чорнобильської катастрофи: науково-практична конференція, м. Київ, 24–26 квітня 2015 року: тези доповіді. К., 2015. С. 35–37. *(Здобувачем отримано експериментальні дані, виконано математичну обробку, інтерпретовано результати, підготовлено матеріали до друку).*

15. **Ілленко В. В.**, Паренюк О. Ю., Гудков І. М. Вплив інокуляції насіння бактеріальними препаратами на накопичення  $^{137}\text{Cs}$  в зеленій масі рослин вики посівної // 6-й з'їзд радіобіологічного товариства України, м. Київ, 5–9 жовтня 2015 року: тези доповіді. К., 2015. С. 59–60. *(Здобувачем отримано експериментальні дані, виконано математичну обробку, інтерпретовано результати, підготовлено матеріали до друку).*

16. **Ілленко В. В.** Зміна біодоступності  $^{90}\text{Sr}$  для рослин під впливом інокуляції насіння в умовах польового експерименту // 3-я Міжнародна науково-практична конференція студентів, аспірантів та молодих вчених, м. Київ, 26–28 квітня 2016 року: тези доповіді. К., 2016. С. 84–85.

17. **Ілленко В. В.**, Паренюк О. Ю. Вплив інокуляції насіння ґрунтовими мікроорганізмами на накопичення  $^{137}\text{Cs}$  та  $^{90}\text{Sr}$  рослинами в умовах польового експерименту на дерново-підзолистому ґрунті // Сільськогосподарська та лісова радіологія – 30 років після Чорнобилю: Міжнародна конференція, м. Київ, 3 червня 2016 року: тези доповіді. К., 2016. С. 12. *(Здобувачем отримано експериментальні дані, виконано математичну обробку, інтерпретовано результати, підготовлено матеріали до друку).*

18. **Ілленко В. В.**, Паренюк О. Ю., Рубан Ю. В., Шаванова К. Є. Вплив інокуляції мікроорганізмами насіння вики та ріпаку на морфометричні показники рослин, вирощуваних на забрудненому радіонуклідами ґрунті // 11-а Біологія: від молекули до біосфери: Міжнародна наукова конференція молодих науковців, м. Харків, 29 листопада – 2 грудня 2016 року: тези доповіді. Х., 2016. С. 177–179. *(Здобувачем отримано експериментальні дані, виконано математичну обробку, інтерпретовано результати, підготовлено матеріали до друку).*

## АНОТАЦІЯ

**Ілленко В. В.** Трансформація фізико-хімічного стану радіонуклідів у ґрунті та їх надходження до сільськогосподарських рослин за впливу комплексних бактеріальних препаратів. – На правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата біологічних наук зі спеціальності 03.00.01 «Радіобіологія». – Національний університет біоресурсів і природокористування України, Київ, 2017.

Проведено комплексні дослідження щодо впливу ґрунтових ризосферних мікроорганізмів на перехід  $^{137}\text{Cs}$  та  $^{90}\text{Sr}$  у сільськогосподарські рослини та оцінено можливість використання даного методу для зменшення накопичення радіонуклідів у зеленій масі рослин.

Уперше проведено дослідження впливу інокуляції насіння штамми ґрунтових мікроорганізмів *Azotobacter chroococcum* УКМ В-6082, *Azotobacter chroococcum* УКМ В-6003, *Bacillus megaterium* УКМ В-5724, *Agrobacterium radiobacter* ІМВ В-7246 та *Rhizobium leguminosarum* *bv. viciae* у монокультурі та у складі комплексних препаратів на морфометричні, ростові показники та рівень накопичення  $^{137}\text{Cs}$  рослинами ріпаку, вики та пшениці за умов вирощування в лабораторних та польових умовах.

Проведено дослідження впливу інокуляції насіння штамом *Azotobacter chroococcum* УКМ В-6082 на морфометричні, ростові показники та рівень накопичення  $^{90}\text{Sr}$  рослинами ріпаку, вики та пшениці за умов польового експерименту.

Показано, що використані штами мікроорганізмів не змінюють фізико-хімічні форми знаходження радіонуклідів у ґрунті, а лише опосередковано впливають на перехід радіоактивних ізотопів у системі ґрунт–рослина.

Визначено закономірності взаємодії досліджуваних штамів з рослинами за різних умов вирощування: на інертному середовищі, простерилізованому дерново-підзолистому, торфово-болотному ґрунті, чорноземі типовому та в полі на дерново-підзолистому ґрунті.

За результатами польового експерименту встановлено вірогідне зменшення  $K_n$   $^{137}\text{Cs}$  і  $^{90}\text{Sr}$  за інокуляції насіння вики комплексним препаратом *A. chroococcum* УКМ В-6082 + *R. leguminosarum* (за даними всіх трьох пробовідборів).

За результатами проведених досліджень оброблення насіння бактеріальним добривом на основі штаму *A. chroococcum* УКМ В-6082 може бути рекомендоване як додатковий захід для зниження накопичення рослинами  $^{137}\text{Cs}$  і  $^{90}\text{Sr}$ .

**Ключові слова:** ґрунтова мікрофлора, бактеріальні препарати,  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{90}\text{Sr}$ , забруднені радіонуклідами ґрунти, коефіцієнт накопичення.

## АННОТАЦІЯ

**Ильенко В. В. Трансформация физико-химического состояния радионуклидов в почве и их поступления в сельскохозяйственные растения под воздействием комплексных бактериальных препаратов. – На правах рукописи.**

Диссертация на соискание ученой степени кандидата биологических наук по специальности 03.00.01 «Радиобиология». – Национальный университет биоресурсов и природопользования Украины, Киев, 2017.

Проведены комплексные исследования относительно влияния почвенных ризосферных микроорганизмов на переход  $^{137}\text{Cs}$  и  $^{90}\text{Sr}$  в сельскохозяйственные растения и оценена возможность использования данного метода для уменьшения накопления радионуклидов в зеленой массе растений.

Впервые проведено исследование влияния инокуляции семян штаммами почвенных микроорганизмов *Azotobacter chroococcum* УКМ В-6082, *Azotobacter chroococcum* УКМ В-6003, *Bacillus megaterium* УКМ В-5724, *Agrobacterium radiobacter* ИМВ В-7246 и *Rhizobium leguminosarum* *bv. viciae* в монокультуре и в составе комплексных препаратов на морфометрические, ростовые показатели и уровень накопления  $^{137}\text{Cs}$  растениями рапса, вики и пшеницы в лабораторных условиях выращивания и в поле.

Определены закономерности взаимодействия исследуемых штаммов с растениями при условиях выращивания на разных субстратах загрязненных радионуклидами: на инертной среде, стерилизованной дерново-подзолистой, торфяно-болотной почве, черноземе типичном и в поле на дерново-подзолистой почве.

По результатам лабораторного эксперимента по выращиванию растений рапса, вики и пшеницы на стерильном кварцевом песке определено, что почвенные микроорганизмы могут как снижать, так и повышать уровень накопления  $^{137}\text{Cs}$  в биомассе растений. Данное свойство не зависит от локализации микроорганизма на поверхности корня, потому что все проанализированные бактерии принадлежат к группе таких, которые колонизируют ризосферу растения.

На основании экспериментальных данных лабораторных опытов было установлено, что микроорганизмы-инокулянты при использовании на бедных элементами питания почвах ускоряют рост растений в длину, что свидетельствует об улучшении условий их роста.

Проведено исследование по изучению влияния  $^{137}\text{Cs}$  и инокуляции семян микроорганизмами на фотосинтезирующий аппарат растений вики на основании измерений показателя уровня индукции флуоресценции хлорофилла. Установлено, что наиболее интенсивно повысился уровень флуоресценции хлорофилла у растений в условиях загрязнения радионуклидами почвы и инокуляции штаммом *Bacillus megaterium* УКМ В-5724. Другие бактерии показали радиопротекторные свойства почти во всех исследуемых вариантах.

Результаты последовательной экстракции форм  $^{137}\text{Cs}$  с дерново-подзолистой почвы свидетельствуют, что более 92 % общей активности радионуклида находится в фиксированной, недоступной для растений и микроорганизмов форме и в целом 5–6 % находится в водорастворимой и обменной формах. При этом статистически достоверной разницы не было отмечено для вариантов с инокуляцией микроорганизмами. Это означает, что использованные штаммы микроорганизмов не изменяют физико-химические формы нахождения радионуклидов в почве, а только косвенно влияют на переход радиоактивных изотопов в системе почва–растение.

Проведено исследование влияния инокуляции семян штаммом *Azotobacter chroococcum* УКМ В-6082 на накопление  $^{90}\text{Sr}$  растениями рапса, вики и пшеницы в условиях полевого эксперимента. Было достоверно установлено, что инокуляция семян этим штаммом уменьшает накопление радионуклида в зеленой массе исследуемых растений.



По результатам полевого эксперимента установлено, что инокуляция семян вики комбинацией штаммов *Azotobacter chroococcum* УКМ В-6082 и *Rhizobium leguminosarum* привела к статистически значимому уменьшению  $K_H$   $^{137}\text{Cs}$  более чем вдвое, а инокуляция семян рапса штаммом *A. chroococcum* УКМ В-6082 обеспечила снижение  $K_H$   $^{137}\text{Cs}$  почти на 50 %. В опытах с пшеницей достоверного уменьшения накопления  $^{137}\text{Cs}$  отмечено не было.

Продуктивность зеленой массы растений в условиях полевого эксперимента практически не отличалась по опытным вариантам, хотя и отмечался некоторый ее прирост в вариантах, инокулированных комбинацией штаммов *B. megaterium* УКМ В-5724 и *Agrobacterium radiobacter* ИМВ В-7246. Это свидетельствует о том, что механизм уменьшения накопления растениями  $^{137}\text{Cs}$  не предопределен простым его разбавлением в биомассе.

По результатам проведенных исследований обработка семян бактериальным удобрением на основе штамма *A. chroococcum* УКМ В-6082 может быть рекомендована в качестве дополнительного метода снижения накопления растениями  $^{137}\text{Cs}$  и  $^{90}\text{Sr}$ .

**Ключевые слова:** почвенная микрофлора, бактериальные препараты,  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{90}\text{Sr}$ , загрязненные радионуклидами почвы, коэффициент накопления.

#### ANNOTATION

**Ilienko V. V. Transformation of the physic-chemical state of radionuclides in soil and their uptake to agricultural crops under the impact of complex bacterial preparations.** – The Manuscript.

Thesis is submitted for the scientific degree of the candidate of biological sciences on specialty 03.00.01 Radiobiology. – National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine, Kiev, 2017.

Complex researches on the impact of soil rhizospheric microorganisms to the transition of  $^{137}\text{Cs}$  and  $^{90}\text{Sr}$  in agricultural crops were conducted and the possibility of using this method to reduce the accumulation of radionuclides in the green mass of plants was assessed.

For the first time the investigation of the impact of seed inoculation by soil microorganisms strains *Azotobacter chroococcum* UCM В-6082, *Azotobacter chroococcum* UCM В-6003, *Bacillus megaterium* UCM В-5724, *Agrobacterium radiobacter* IMV В-7246 and *Rhizobium leguminosarum* *bv. viceae* as monoculture and complex preparations to morphometric, growth rates and the accumulation of  $^{137}\text{Cs}$  in rapeseed, vetch and wheat plants, that were grown in field and laboratory.

The study of the influence of seed inoculation by *Azotobacter chroococcum* UCM В-6082 strain on morphometric, growth rates and the accumulation of  $^{90}\text{Sr}$  by rapeseed, vetch and wheat plants in field were conducted.

It was demonstrated that studied microbial strains has no influence on physic-chemical forms of the radionuclides in soil, but only indirectly affect the transition of radioactive isotopes in soil-plant system.

The regularities of studied strains interaction with plants under different growing conditions, on an inert medium, sterilized sodpodzolic, peat bog, a typical black earth and in the field on sodpodzolic soil were determined.

According to the results of field experiment we demonstrated statistically significant decrease of  $^{137}\text{Cs}$  and  $^{90}\text{Sr}$  TF after the seed inoculation by complex preparation of *A. chroococcum* UKM B-6082 + *R. leguminosarum* strains.

According to the research results the seed processing with bacterial fertilizers, based on strain *A. chroococcum* UCM B-6082 can be recommended as an additional measure to reduce the accumulation of  $^{137}\text{Cs}$  and  $^{90}\text{Sr}$  in plants.

**Key words:** soil microflora, bacterial preparations,  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{90}\text{Sr}$ , radionuclide-contaminated soils, accumulation factor.