

## УДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЇ ФІТОЕКСТРАКЦІЇ ВАЖКИХ МЕТАЛІВ З ҐРУНТУ

**Т.Ф. Яковишина**, к.с.-г.н., доцент, Державний вищий навчальний заклад “Придніпровська державна академія будівництва та архітектури

*Запропоновано радикальне вирішення проблеми забруднення ґрунту важкими металами шляхом їх фітоекстракції петрушкою кучерявою. Для збільшення виносу токсикантів рекомендовано використовувати ефектор фітоекстракції у поєднанні з регулятором росту рослин.*

*Ключові слова:* важкі метали, фітоекстракція, ефектор, гіперакумулятор, регулятор росту.

**Постановка проблеми.** Сучасний стан агропромисловості в районах зі значним техногенним навантаженням на компоненти біосфери формує попит на пошук маловитратних, але в теж час безпечних та ефективних технологій відновлення екологічних властивостей забрудненого важкими металами (ВМ) ґрунту. Фітоекстракція полягає в висіванні та вирощуванні на протязі деякого часу на забруднених ділянках спеціально підібраних видів рослин – гіперакумуляторів ВМ, здатних поглинати ці токсиканти у великих кількостях та накопичувати їх в своїй біомасі з подальшою утилізацією забруднених рослин-фітоекстрагентів [3]. При цьому коефіцієнт накопичення металів в рослинах збільшують завдяки внесенню в ґрунт ефекторів фітоекстракції. Дана технологія вважається простою у виконанні, не завдає шкоди ґрунтам та економічно вигідна у порівнянні з фізичною та хімічною детоксикацією. Так, фізична детоксикація пов'язана зі зніманням найбільш забруднених поверхневих шарів ґрунту і його розміщенням на сміттєзвалищах (секвестрування), перемішуванням з менш забрудненими глибше лежачими шарами ґрунту методом плантажної оранки (розбавляння), екрануванням забрудненого шару з нанесенням чистого ґрунту (ґрунтування). Хімічна детоксикація ВМ полягає у промиванні ґрунту спеціальними реагентами, внесенні органічних добрив та сорбент-меліорантів. Крім того зазначені методи направлені тільки на зменшення токсичності ґрунтового середовища для рослин, а не вирішують проблему радикально, на відміну від фітоекстракції, яку проводять доки вміст ВМ в ґрунті не буде відповідати нормам ГДК, що, по-перше, призведе до повного очищення, а, по-друге, згідно ресурсозберігаючим технологіям дасть змогу повторно використовувати ВМ, вилучені безпосередньо із забруднених рослин.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Для фітоекстракції використовують рослини-гіперакумулятори ВМ, такі як ярутка синьовата (*Thlaspi caerulescens*), бурачок стінний (*Alyssum murale*), резуха Галлера (*Cardaminopsis halleri*), гірчиця сарептська (*Brassica juncea*) та ін. [2].

Винос ВМ рослинами-гіперакумуляторами запропоновано підвищувати за рахунок використання ефекторів фітоекстракції, які забезпечують високий рівень рухомості ВМ в ґрунті [6]. Серед

поліамінополіоцтових кислот найбільш ефективною є етилендіамінтетраоцтова кислота (ЕДТА), що було доведено М.Ж.Вайлок [5] в досліджах з гірчицею сарептською при рівні забруднення 600 мг/кг по Pb. В польових досліджах Z.G.Shen [7] був встановлений ряд зниження ефективності дії хелатоутворюючих агентів щодо накопичення Pb біомасою капусти при рівні техногенного навантаження на ґрунт 10600 мг Pb/кг: ЕДТА > дігідроксіетилетилендіаміндіоцтова кислота (ДДДА) > діетилентріамінпентаоцтова кислота (ДТПА) > нітрилтриоцтова кислота (НТА) > лимонна кислота, які використовували в дозах 1,5 ммоль/кг. Р.В. Галіулінім (2008) експериментальним шляхом була встановлена доза ЕДТА в 10 ммоль/кг при забрудненні ґрунту Cu і Ni в 100 мг/кг, яка забезпечувала досягнення фонових концентрацій при двократному висіві гірчиці сизої через 3,5 роки [1]. Однак більш доцільно було б визначити дозу внесення ефектору фітоекстракції відповідно до рівня забруднення ґрунту. Крім того підвищити винос ВМ можна за рахунок збільшення біомаси рослини-гіперакумулятора, чому буде сприяти використання регуляторів росту рослин. Отже виникла необхідність в перевірці гіпотези сумісного використання ефектору фітоекстракції з регулятором росту рослин для збільшення виносу ВМ рослинами-гіперакумуляторами.

**Мета роботи** полягала в удосконаленні технології фітоекстракції ВМ з техногенно забруднених чорноземів звичайних малогумусних важкосуглинкових Північного Степу України, в якому ефективність виносу ВМ рослиною-гіперакумулятором – петрушкою кучерявою підвищувалась за рахунок внесення ефектору фітоекстракції ЕДТА в дозі відповідно до рівня забруднення ґрунту та опудрення насіння регулятором росту рослин препаратом “Корневін”.

**Вихідний матеріал, методика та умови дослідження.** При проведенні вегетаційних дослідів використано чорнозем звичайний малогумусний важкосуглинковий з наступними агрохімічними показниками: вміст гумусу (за І.В. Тюрніним) 3,5–4,0%, загального азоту 0,20–0,23%, фосфору 0,10–0,12%, валовий вміст калію 2,0–2,3%. Кількість легкогідролізованого азоту (за І.В. Тюрніним і М.М. Коновою) 10,0–11,4 мг на 100 г сухого ґрунту при можливості поповнення його доступних форм за рахунок нітрифікаційної здатності

(за Кравковим) – 2,4–2,8 мг на 100 г ґрунту. Вміст рухомих форм фосфору в орному шарі становив 8,8–9,8 мг, калію 14,3–15,4 мг у 100 г ґрунту (метод Ф.В. Чирикова). Валовий вміст мікроелементів такий: Zn – 38,8–40,4; Mn – 473,0–484,0; Cu – 12,5–14,2; Co – 8,0–8,3; Fe – 835,0–845,0; Pb – 32,4–33,1; Cd – 0,38–0,39 мг/кг ґрунту і відповідно рухомих форм, що складають невеликий відсоток від валових: рухомого Zn – 0,96–1,20; Cu – 0,13–0,15; Co – 0,42–0,48; Mn – 57,5–63,8; Fe – 27,6–28,0; Pb – 0,05–0,10; Cd – 0,10–0,11 мг/кг. Реакція ґрунтового розчину близька до нейтральної (рН 6,75).

В повітряно-сухий ґрунт вносили Cd, Cu та Ni у вигляді нітратної форми з розрахунку з ГДК, що відповідало середньому рівню забруднення за В.Б. Ільїним (1995). Дозу внесення ЕДТА розраховували відповідно до рівня забруднення, а саме, в 1,5 рази більше необхідної кількості для

утворення комплексів з катіонами  $BM^{2+}$ , та вносили у вигляді водного розчину з подальшою заробкою в ґрунт. В якості рослини-гіперакумулятора Cd була вибрана петрушка кучерява, ефективність якої для фітоекстракції була перевірена у вегетаційному досліді порівняно до сарептської гірчиці [3], адже цю рослину традиційно використовують для очистки ґрунту від ВМ. Перед висівом насіння петрушки кучерявої опудрювали регулятором росту препаратом “Корневін”. Повторність досліді чотириразова.

**Результати та їх обговорення.** Наявність середнього та сильного забруднення за В.Б.Ільїним (1995) зумовлює необхідність вибору фітоекстракції для відновлення екологічних функцій ґрунту. На основі світового досвіду [2, 6-7] та проведених досліджень [4, 8] технологія проведення фітоекстракції була розбита на етапи, які представлені на рис. 1.

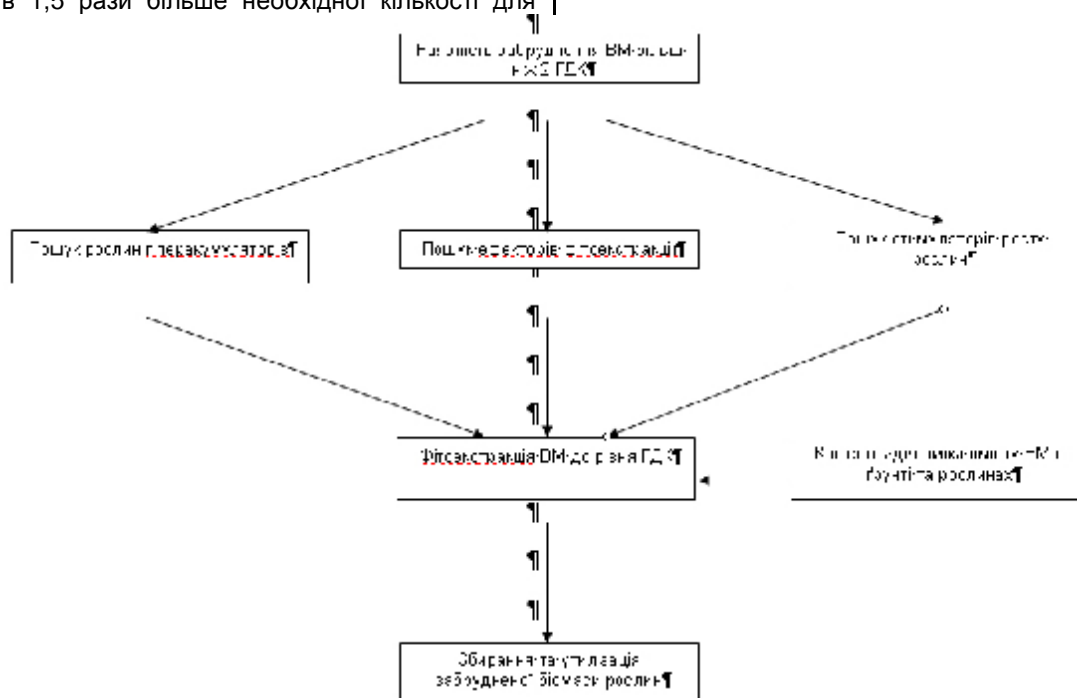


Рис. 1. Етапи технології проведення фітоекстракції

При пошуку рослин гіперакумуляторів ВМ з прив'язкою до конкретної природно-кліматичної зони звертають увагу на місцеві домінуючі на забруднених ділянках види, що відрізняються швидким зростанням і відносно великою біомасою. Рослина, яку збираються використовувати, як фітоекстрактор ВМ, повинна відповідати наступним вимогам:

Ø витримувати рівень забруднення ВМ без явно виражених проявів фітотоксичних ефектів (знебарвлення, пігментація, некрози, затримка росту й розвитку);

Ø відзначатися високою швидкістю росту, формувати значну надземну біомасу, мати глибоко розрощу кореневу систему, не вимагати

особливої агротехніки, бути стійкою до хвороб і шкідників, не привабливою для тварин і людини, для запобігання отруєння.

Для оцінки здатності рослин до акумуляції ВМ розраховують коефіцієнти накопичення та біологічного поглинання елементів і проводять пошук прямих кореляційних зв'язків між вмістом металів у біомасі та ґрунті.

Відмінності в поглинанні одним і тим же видом рослини різних металів вимагають створення спеціальних асоціацій рослин-гіперакумуляторів при поліелементному забрудненні ґрунту ВМ. Ефектори фітоекстракції збільшують належний рівень рухомості ВМ в ґрунті, а, отже, їх транслокацію з кореневої системи в надземну частину

рослини. В якості ефекторів фітоекстракції використовують в основному хелатоутворюючі агенти, що розрізняються за принципом дії. Ефектори фітоекстракції здебільшого представлені комплексами з числа поліамінополіоцтових кислот, таких як ЕДТА, ДДДА, ДТПА, етиленбіс(оксіетилентріамін)тетраоцтова (ЕТТА), етилендіаміндігідроксіфенілоцтова (ЕДФА), циклогексан – транс – 1,2 – діамінтетраоцтова (ЦДТА) та ін. Ці речовини здатні створювати стійкі водорозчинні внутрікомплексні сполуки (хелати) з багатьма металами, підвищувати розчинність, рухомість металів в ґрунті, і як внаслідок, їх поглинання кореневою системою та накопичення в надземній біомасі.

В хелаті метал знаходиться в напіворганічній формі, для якої характерна висока біологічна активність в тканинах рослинного організму. В природі, знаходячись в ґрунті, рослини використовують природні хелати, такі як гумінові та фульвокислоти. Також хелати утворюються при взаємодії ризосфери з солями ґрунту. Відомо декілька хелаторів для різних елементів, які часто використовуються в сільському господарстві: для кальцію – ОЕДФ, для заліза – ДТПА, для мікроелементів – ЕДТА. ЕДТА ( $C_{10}H_{16}N_2O_8$ ) утворює стійкі комплекси в широкому діапазоні рН, навіть у сильнокислому середовищі. Для кожного елемента існує коридор рН, який забезпечує існування стійкого комплексу. Так, комплекс заліза з ЕДТА ефективний при боротьбі з хлорозом тільки на помірно кислих ґрунтах. В лужному середовищі він нестабільний. ЕДТА піддається кислотному та ензиматичному гідролізу. Розкладання ЕДТА в природному середовищі призводить до утворення більш токсичних продуктів, ніж вихідна речовина. Нерозчинні комплекси ЕДТА менш стійкі, ніж розчинні. ЕДТА притаманні антивірусні властивості. ЕДТА, як і ДТПА, ДБТА, ЕДДЯ, відносяться до комплексонів, які містять карбоксильні групи.

Стимулятори росту рослин сприяють не тільки значному приросту біомаси, але і більш швидкому проходженню окремих етапів органогенезу, що дозволяє вирощувати рослини або отримувати біомасу кілька разів на рік, отже істотно скоротить терміни очищення ґрунту. Коренеутворення значно полегшується застосуванням регуляторів росту рослин групи ауксинів, які забезпечують формування коренів з клітин стебла та посилюють розвиток кореневої системи у вегетативних рослинах. Спочатку для стимуляції коренеутворення використовували керуючий цим процесом в рослинах фітогормон – гетероауксин (індоліл-3-оцтова кислота). Діюча речовина препарату “Корневін” 4-(індол-3-іл)масляна кислота, в рослинах поступово перетворюється в фітогормони гетероауксин, забезпечуючи найкращий ефект в самих низьких в порівнянні з іншими ауксинами дозах. Крім того, зручна препаративна форма “Кор-

невін” (пудра) дозволяє за рахунок високої адгезії (прилипання) до поверхні насіння активізувати проникнення діючої речовини в клітини, що значно підвищує ефективність та спрощує технологію застосування препарату. В результаті застосування препарату масове утворення коренів відбувається на 4-8 днів раніше.

Фітоекстракція *in situ* полягає у вирощуванні рослин-гіперакумуляторів з дотриманням всіх правил агротехніки, що включає основний обробіток ґрунту, протруювання і обробку стимулятором росту насіння, посів, підживлення добривами, боротьбу з бур'янами, хворобами і шкідниками, при необхідності зрошення, застосування ефектора фітоекстракції та збирання біомаси.

В обов'язковому порядку проводять контроль динаміки вмісту ВМ у ґрунті та рослинах, а при необхідності оцінку екологічних наслідків застосування ефекторів фітоекстракції, наприклад, за рахунок аналізу ферментативної активності і спостереження за міграцією комплексу хелатоутворюючого агента з ВМ по ґрунтовому профілю.

Після збирання забрудненої ВМ біомасу використовують для рекуперації з неї кількох металів шляхом попереднього озолення, а потім виплавки з неї ВМ або їх екстракції мінеральними кислотами.

Токсична дія ВМ на рослини проявлялася, у першу чергу, в ушкодженні клітинних мембран, зміні активності ферментів, інгібуванні росту коренів, що сприяло виникненню цілого ряду вторинних ефектів, таких як гормональний дисбаланс, порушення фотосинтезу, транспірації, біосинтезу білка, мінерального живлення, пересування фотоасиміляторів, це все призводило до гальмування росту і розвитку рослин. Найбільшого токсичного удару зазнав корінь, так на забрудненому варіанті його довжина зменшувалась на 24,5 % порівняно до контролю, в меншій мірі це стосувалось надземної частини близько 7 % та біомаси 6 %. Застосування препарату “Корневін” в поєднанні з ЕДТА забезпечувало приріст біомаси до 18,0 %. Вміст ВМ на незабрудненому варіанті відповідав нормам ГДК. Ефективність фітоекстракції ВМ найбільшій мірі відображає коефіцієнт накопичення, який розраховується як відношення вмісту забруднювача в рослині до його вмісту в ґрунті (табл. 1).

Удосконалення технології фітоекстракції призвело до збільшення коефіцієнту накопичення ВМ як надземною біомасою в 5,5-7,6 разів, так і коренями до 8,4 разів. Використання ефектору фітоекстракції ЕДТА в поєднанні з регулятором росту рослин препаратом “Корневін” забезпечувало винос металів-токсикантів з ґрунту при однократному висіві до 0,5 ГДК. Двократний висів і вирощування петрушки кучерявої протягом одного вегетаційного сезону дали змогу вдвічі скоротити строки очищення ґрунту від ВМ і досягти норм ГДК через 3,5 роки.

**Коефіцієнти накопичення важких металів в органах петрушки кучерявої**

Варіант	Коефіцієнт накопичення важких металів					
	Надземна частина			Корені		
	Cd	Cu	Ni	Cd	Cu	Ni
Незабруднений ґрунт, без використання ЕДТА та обробки насіння препаратом "Корневін"	0,17	0,07	0,12	0,23	0,09	0,14
Забруднення ґрунту ВМ в 3 ГДК	0,39	0,19	0,21	0,28	0,11	0,17
Забруднення ґрунту ВМ в 3 ГДК в поєднанні з використанням ефектору фітоекстракції ЕДТА	0,73	0,51	0,60	0,46	0,24	0,33
Забруднення ґрунту ВМ в 3 ГДК в поєднанні з використанням ефектору фітоекстракції ЕДТА та обробкою насіння регулятором росту "Корневін"	4,03	3,89	3,94	2,21	2,03	2,18
НСР <sub>0,95</sub> , мг/кг	0,11	0,06	0,09	0,14	0,07	0,08
P, %	0,78	0,56	0,71	0,98	0,64	0,69

**Висновки.** Фітоекстракція ВМ є радикальним вирішенням проблеми забруднення ґрунту та відновлення його екологічних функцій з метою повернення у сільськогосподарське виробництво. Поєднання внесення ефектору фітоекстракції ЕДТА в дозі відповідно до рівня забруднення ґрунту та опудрення насіння рослини-гиперакумулятору ВМ – петрушки кучерявої регулятором росту рослин препаратом "Корневін" за-

безпечувало винос металів токсикантів до 0,5 ГДК, та відновлення ґрунту за 3,5 роки.

**Перспективи подальших досліджень** потрібно зосередити на створенні рослинних асоціацій гіперакумуляторів для вилучення ВМ за умов поліелементного забруднення ґрунту з прив'язкою до конкретної природно-кліматичної зони.

**Список використаної літератури:**

1. Галиулин Р. В. Очистка почв от тяжелых металлов с помощью растений / Р. В. Галиулин, Р. А. Галиулина // Вестник Российской академии наук. – 2008. – Т. 78, № 3. – С. 247 – 249.
2. Галиулин Р. В. Фитозекстракция тяжелых металлов из загрязненных почв / Р. В. Галиулин, Р. А. Галиулина // Агротехника. – 2003. – № 3. – С. 77 – 85.
3. Пат. 60784 Україна, МПК С09 К17/00. Спосіб вилучення важких металів з техногенно забрудненого ґрунту / Яковишина Т. Ф., Шматков Г. Г., Столярова К. М., Вергун О. О.; заявник і патентоволодар Яковишина Т. Ф. - № u2010153156; заявл. 20.12.2010; опубл. 25.06.211, Бюл. № 12.
4. Яковишина Т. Ф. Методы детоксикации тяжелых металлов в почве : монография. – LAP LAMBERT Academic Publishing: Saarbrochen (Германия). – 2012. - 154 с.
5. Blaylock M. J. Enhanced accumulation of Pb in Indian mustard by soil-applied chelating agent / M. J. Blaylock, D. E. Salt, S. Dushenkov // Environ. Sci. Technol. – 1997. – V. 31, № 3. – P. 860 - 865.
6. Huang J. W. Phytoextraction of lead-contaminated soil: role of synthetic chelates in lead phytoextraction / J. W. Huang, J. Chen, V. R. Berti, S. D. Cunningham // Environ. Sci. Technol. – 1997. – V. 31, № 3. – P. 800 - 805.
7. Shen Z. G. Phytoextraction of lead from a contaminated soil using high biomass species of plant / Z. G. Shen, X. D. Li, H. M. Chen // VI<sup>th</sup> Inter. Confer. "Biogeochem. Trace Elements" : materials digest. – Ontario, 2001. – P. 133.
8. Yakovyshyna T. F. Heavy metals phytoextraction from technogeneously polluted soil / T. F. Yakovyshyna // XI<sup>th</sup> Intern. Scien. and Pract. Conf. "Problems and tendencies of modern society development" : materials digest. – Kiev – London, 2011. – P. 20 - 21.

**СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ФИТОЭКСТРАКЦИИ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ ИЗ ПОЧВЫ****Т.Ф. Яковишина**

Предложено радикальное решение проблемы загрязнения почвы тяжелыми металлами путем их фитозекстракции петрушкой кучерявой. Для увеличения выноса токсикантов рекомендовано использовать эффектор фитозекстракции в сочетании с регулятором роста растений.

**Ключевые слова:** тяжелые металлы, фитозекстракция, эффектор, гиперакумулятор, регулятор роста.

**IMPROVEMENT OF TECHNOLOGY OF PHYTOEXTRACTION OF HEAVY METALS FROM THE SOIL****T.F. Yakovishina**

Radical solution of soil pollution problem with heavy metals through their phytoextraction curly parsley has been proposed. To increasing the removal of toxic elements it has been recommended to use the

effector of phytoextraction in combination with plant growth regulator.

**Keywords:** heavy metals, phytoextraction, effector, hyperaccumulator, growth regulator.

Дата надходження в редакцію: 03.03.2012 р.

Рецензент: Е.А. Захарченко.

УДК 631:42

## ОСОБЛИВОСТІ ПРАКТИЧНОЇ ПІДГОТОВКИ ФАХІВЦІВ АГРОНОМІЧНИХ НАПРЯМІВ

**О.А. Власюк**, к.с.-г.н., Інститут інноваційних технологій і змісту освіти

**Т.М. Хоменко**, к.с.-г.н., Білоцерківський національний аграрний університет

**Т.Д. Іщенко**, к.пед.н., НДІ Укראгропромпродуктивності

*Обґрунтовано необхідність земельних площ для ефективно навчально-наукової та професійної підготовки фахівців агрономічних напрямів і спеціальностей. Залежно від типової сівозміни конкретної зони площа польової та кормової сівозміни має становити 5–10 га, овочевої – 2–5 га. Для професійної підготовки фахівця напряму “Агрономія” на одну групу площа земельної ділянки має становити 7–15 га.*

**Ключові слова:** практика, земельні площі, фахівці, агрономічні напрями та спеціальності.

Обов'язковою складовою забезпечення якості вищої освіти є високий рівень практичної підготовки фахівців, яка спрямована на закріплення знань студентів, отриманих під час теоретичного навчання, набуття і удосконалення умінь, навичок та компетенцій, визначених освітньо-кваліфікаційними характеристиками підготовки фахівців агрономічних напрямів і спеціальностей.

### **Постановка та стан вивчення проблеми.**

Для забезпечення ефективного навчально-виховного процесу, зокрема проведення практики студентів в аграрних ВНЗ, необхідною умовою є їх потреба у земельних площах (сільськогосподарські угіддя, багаторічні насадження, водойми тощо). Для забезпечення науково-дослідної роботи необхідним є створення демонстраційно-інформаційних та науково-дослідних ділянок, селекційно-насінневих розсадників, спеціалізованих навчальних полігонів для випробування мобільних енергетичних засобів та самохідних сільськогосподарських машин [1].

Виробничо-технологічні та переддипломні практики проводяться на базах агропідприємств, галузевих установ та організацій, а також можна частково використовувати власну матеріально-технічну базу ВНЗ або орендовані земельні площі в більших масштабах.

Вищі навчальні заклади для проведення наукових досліджень та здійснення інноваційної діяльності в галузі тваринництва та рослинництва можуть створювати модельні господарства, що потребує державних дотацій на утримання або додаткових площ для вирощування елітного насіння і племінних тварин, виробництва високоякісної продукції, а також інноваційних складових, з метою ведення рентабельного виробництва у цих модельних господарствах та отримання додаткових коштів, які можуть бути спрямовані на підвищення якості підготовки фахівців [2]. Модельні господарства створюються відповідно до чинного законодавства України.

З метою забезпечення ризиків аграрних ВНЗ у певній галузі (навчальній, науковій, господарській) має бути створено спеціальний фонд землі (страховий фонд), який становитиме 10–15% від загальної мінімальної потреби ВНЗ у земельних площах.

Національні аграрні ВНЗ, які мають статус дослідницьких, крім наукової, навчальної та господарської діяльності, здійснюють ще дослідницьку та інноваційну, що передбачає реалізацію інноваційних проектів розроблення, впровадження і виробництва нової високотехнологічної продукції, інтеграцію освіти та науки з виробництвом шляхом створення навчально-науково-виробничих об'єднань (технопарків, бізнес-інкубаторів, кластерів тощо), здійснення разом із галузевою академією наук фундаментальних і прикладних наукових досліджень за визначеними пріоритетними напрямами наукової, науково-технічної та інноваційної діяльності.

**Метою** досліджень було обґрунтування необхідності земельних площ для здійснення ефективно навчально-наукової та професійної підготовки фахівців аграрних ВНЗ. До того ж використовували освітньо-кваліфікаційні характеристики, освітньо-професійні програми аграрних напрямів і спеціальностей та практичний досвід аграрних вищих навчальних закладів.

**Виклад основного матеріалу.** Практика студентів є невід'ємною частиною процесу підготовки фахівців агрономічних напрямів та спеціальностей у вищому навчальному закладі і передбачає отримання студентами достатнього обсягу практичних знань і навичок роботи в галузі рослинництва, механізації, ґрунтознавства, захисту рослин тощо. Тому головною метою практики є оволодіння студентами сучасними методами організації виробництва рослинницької продукції на сільськогосподарських підприємствах різних форм власності. Навчальними планами підготовки фахівців-аграріїв освітньо-кваліфікаційних рів-