

Корисна модель належить до сільського господарства та агроекології, зокрема до біологічних способів фітотехнологій і технологій зменшення накопичення токсичних елементів у рослинній продукції при одночасному покращенні мікроелементного живлення. Може застосовуватися для вирощування зернових і технічних культур на деградованих ґрунтах та у зонах техногенного навантаження та на ґрунтах із природно підвищеним вмістом важких металів.

Відомо, що деградовані ґрунти характеризуються низькою біологічною активністю, порушенням мінерального балансу та підвищеною мобільністю токсичних елементів, що призводить до дефіциту життєво необхідних мікроелементів у рослин та одночасного накопичення важких металів у їхніх тканинах. Це негативно впливає на продуктивність культур, якість продукції та екологічну безпеку агроєкосистем.

Існуючі способи біоремедіації та мікроелементного живлення рослин здебільшого базуються на внесенні органо-мінеральних добрив або сорбентів, проте вони не забезпечують комплексної регуляції надходження важких металів і одночасного профілактичного живлення рослин мікроелементами.

Відомий аналог (Файчук В., Пашкевич Л., 2025, DOI: 10.70286/ISU-08.10.2025.002) описує методи застосування штамів хлорели для біотехнологічних цілей, зокрема у біоремедіації. Однак у ньому не розкрито спосіб регуляції надходження важких металів у рослини та забезпечення мікроелементного живлення шляхом використання водної суспензії хлорели. Корисна модель вирішує зазначене завдання, забезпечуючи зниження токсичного навантаження та одночасне підвищення біологічної доступності мікроелементів.

Відомий аналог (Патент України № 25274 У, опубл. 10.08.2007, Бюл. № 15/2007) стосується способу вирощування сільськогосподарських культур на ґрунтах, забруднених радіонуклідами і/або важкими металами. Спосіб включає передпосівну обробку ґрунту сумішшю біогумусу та сапропелю і дражування насіння біогумусом. Недоліком цього рішення є відсутність комплексного впливу на регуляцію надходження важких металів у рослини та забезпечення їх мікроелементного живлення.

Відомий аналог (Патент України № 132724 У, опубл. 11.03.2019, Бюл. № 5/2019) розкриває спосіб активізації біологічного потенціалу ґрунту за допомогою бактеріального біопрепарату *Pseudomonas aureofaciens*. Спосіб забезпечує підвищення продуктивності та імунного статусу рослин, однак не вирішує завдання профілактики мікроелементозів і регуляції надходження важких металів шляхом використання водоростей.

Найбільш близьким є аналог (Патент України № 100982 У, опубл. 25.08.2015, Бюл. № 16/2015), що описує спосіб біоремедіації системи ґрунт-ґрунтова біота-рослина за забруднення важкими металами. Як активний агент використовується мікробний препарат на основі *Trichoderma viride*, який вносять у ґрунт для зниження токсичного навантаження та підвищення імунного статусу рослин. Недоліком є вузька спрямованість на використання грибового біопрепарату без можливості одночасного забезпечення рослин мікроелементами. Патент є найближчим за технічною суттю, оскільки він також спрямований на біоремедіацію системи ґрунт-рослина за умов забруднення важкими металами із застосуванням біологічного агента. Однак він не забезпечує комплексної дії, яка поєднує зниження токсичного навантаження та одночасне мікроелементне живлення рослин.

В основу корисної моделі поставлено задачу створення способу біопротекції мікроелементозів рослин на деградованих ґрунтах, який би забезпечував одночасне зниження токсичного навантаження важких металів та підвищення біологічної доступності мікроелементів.

Поставлена задача вирішується тим, що в способі біопротекції мікроелементозів рослин на деградованих ґрунтах, який включає внесення біологічного агента у ґрунт, застосування його для передпосівної обробки насіння та у фоліарне застосування, згідно з корисною моделлю, як біологічний агент застосовують мікробний біостимулюючий препарат *Chlorella* spp. у вигляді культуральної рідини з активним агентом *Chlorella* spp., із концентрацією живих клітин $1 \cdot 10^6$ - $1 \cdot 10^8$ клітин/мл, вносять у ґрунт із витратою 20-35 л/га; передпосівну обробку насіння проводять зануренням у мікробний біостимулюючий препарат *Chlorella* spp. у вигляді культуральної рідини протягом 24-48 годин, за відсутності світла у кількості 25-35 мл на 1 кг насіння; фоліарне використання мікробного біостимулюючого препарату *Chlorella* spp. полягає в обприскуванні вегетуючої маси рослин у критичні фази онтогенезу при нормі витрати препарату 160-200 л/га.

Причинно-наслідковий зв'язок між сукупністю ознак корисної моделі та очікуваним технічним результатом полягає в наступному.

У природних умовах *Chlorella* spp. є космополітними зеленими мікроводоростями, які зустрічаються у ґрунтах, прісних водоймах та навіть у атмосферному пилу. У ґрунтах Північного Степу України вони не формують масових популяцій, проте можуть бути присутні у вигляді поодиноких клітин або спорових форм, що зберігають життєздатність у ґрунтового банку мікроводоростей. Дослідження похованих і деградованих ґрунтів показали, що життєздатні штами *Chlorella mirabilis* та споріднених видів можна ізолювати навіть після тривалого перебування у несприятливих умовах, що пояснюється наявністю спорополініну у клітинних стінках. Це свідчить про здатність хлорели витримувати екстремальні умови степових ґрунтів і зберігати потенціал для реактивації. У сучасних

екологічних оглядах флори Північного Степу також зазначається присутність мікроводоростей у складі біоценозів, хоча їхня чисельність є низькою і вони не мають домінуючої ролі. Таким чином, *Chlorella* spp. у природному стані дійсно зустрічається у ґрунтах Північного Степу, але для досягнення вираженого біостимулюючого чи біоремедіаційного ефекту її необхідно вносити штучно у вигляді суспензії.

Високий рівень деградації та техногенного забруднення ґрунтів Північного Степу формує перекид у транслокації біофільних елементів і важких металів ксенобіотиків у рослини, що призводить до зниження їхньої продуктивності та ефективності використання поживних речовин. У таких умовах природна присутність хлорели не може забезпечити достатнього біостимулюючого чи біоремедіаційного ефекту. Саме тому для покращення біологічного стану ґрунтів, зниження токсичного навантаження та профілактики мікроелементозів необхідно вносити суспензію *Chlorella* spp. штучно, у концентраціях, що забезпечують оптимальний баланс між сорбційною здатністю клітинної стінки та біостимулюючим впливом метаболітів.

Застосування біостимулюючої мікробного біостимулюючого препарату на основі культуральної рідини *Chlorella* spp., яка поєднує суспензію живих клітин мікроводорості та їхні метаболіти, забезпечує одночасний вплив на ґрунтове середовище і рослинний організм. Вибір саме живих клітин хлорели обумовлений їх здатністю не лише продукувати біологічно активні речовини, але й активно сорбувати іони важких металів, зокрема кадмій (Cd^{2+}). Численні дослідження підтверджують, що клітини *Chlorella vulgaris* та інших видів здатні ефективно зв'язувати важкі метали, зокрема кадмій, як у живому, так і в інактивованому стані. Механізм сорбції включає біосорбцію на клітинній стінці, яка містить функціональні групи ($-\text{COOH}$, $-\text{OH}$, $-\text{NH}_2$, $-\text{PO}_4^{3-}$), здатні утворювати комплекси з іонами металів, біоаккумуляцію всередині клітини, де важкі метали, зокрема, кадмій, зв'язуються з білками та металотіонеїнами, що знижує їхню токсичність, біомінералізацію та трансформацію, коли важкі метали переводяться у менш токсичні або нерозчинні форми. Експериментальні дані свідчать, що ємність сорбції важких металів, зокрема, кадмію, *Chlorella vulgaris* є високою і залежить від концентрації металу у середовищі, pH, температури та часу контакту. Встановлено, що навіть інактивовані клітини зберігають значну сорбційну здатність, проте саме живі клітини забезпечують додатковий ефект завдяки синтезу метаболітів (амінокислот, вітамінів, фітогормонів, антиоксидантів), які діють як біостимулятори для рослин.

Клітини *Chlorella* spp. мають високоспецифічні білкові транспортні системи, які еволюціонували для активного та ефективного захоплення есенціальних мікроелементів, таких як залізо, цинк, мідь і марганець. Наприклад, спеціалізовані транспортери заліза активуються у випадку його дефіциту, забезпечуючи цілеспрямоване надходження іонів Fe^{2+} або Fe^{3+} . Поглинені есенціальні елементи відразу інтегруються у внутрішньоклітинні структури, стаючи кофакторами ферментів або складовими білків, що робить процес їхнього засвоєння високоселективним і контрольованим. На відміну від цього, токсичні важкі метали, такі як кадмій, свинець чи ртуть, можуть проникати у клітину неспецифічно, імітуючи корисні іони завдяки схожому радіусу та валентності. Вони потрапляють через широкодіапазонні канали, призначені для есенціальних металів, або зв'язуються на поверхні клітинної стінки, багатой на карбоксильні та амініні групи. Це пасивний процес, що залежить від хімічної спорідненості і часто є більш вираженим для токсичних металів, ніж для необхідних.

Після проникнення токсичних іонів клітина хлорели запускає механізми детоксикації, які відсутні при поглинанні есенціальних елементів. У відповідь на надлишок кадмію, міді чи цинку вона швидко синтезує фітохелатини та металотіонеїни - невеликі білки, багаті на цистеїн, які міцно зв'язують токсичні метали та ізолюють їх у вакуолях, роблячи біологічно неактивними. Деякі іони можуть бути виведені з клітини або залишатися зв'язаними на її поверхні, що додатково знижує їхню концентрацію у цитоплазмі.

У ґрунтовому середовищі ці механізми формують подвійний ефект. Токсичні метали, такі як Cd і Pb, знерухомлюються завдяки пасивній сорбції на клітинній стінці та внутрішній ізоляції, що знижує їхню біодоступність для рослин. Водночас есенціальні елементи, такі як Zn, Fe та Mn, поглинаються селективно і можуть вивільнятися у ґрунт у хелатованій, органічно зв'язаній формі, яка є легкозасвоюваною для культурних рослин. Таким чином, селективність транспортних систем та різні фізіологічні реакції на поглинуті іони дозволяють *Chlorella* spp. одночасно знижувати токсичне навантаження та підвищувати біодоступність необхідних мікроелементів, виконуючи свою подвійну функцію у ґрунтових екосистемах.

Оптимальний діапазон концентрації живих клітин *Chlorella* spp. у мікробному біостимулюючому препараті становить $1 \cdot 10^6$ - $1 \cdot 10^8$ клітин/мл. Саме цей інтервал забезпечує оптимальний баланс між біоремедіаційною та біостимулюючою функціями. При нижній межі ($\leq 1 \cdot 10^6$ клітин/мл) клітини вже продукують достатню кількість біологічно активних речовин - амінокислот, вітамінів, фітогормонів та антиоксидантів - і демонструють початкову сорбційну здатність щодо іонів важких металів. При верхній межі ($\geq 1 \cdot 10^8$ клітин/мл) створюється висока щільність біомаси, що значно підсилює процеси біосорбції та біоаккумуляції токсичних елементів, але водночас залишається технологічно зручною для

внесення у ґрунт чи обробки рослин.

Важливо зазначити, що надмірне підвищення щільності клітин або метаболітів може створювати додаткові ефекти - наприклад, тимчасову конкуренцію за поживні речовини чи надлишковий гормональний сигнал. Проте саме діапазон 10^6 - 10^8 клітин/мл дозволяє уникнути таких крайнощів і забезпечує синергію: клітини одночасно діють як біосорбенти, знижуючи біодоступність токсичних металів, і як продуценти метаболітів, що стимулюють ріст культурних рослин.

Таким чином, вибраний діапазон концентрації є науково обґрунтованим і підтверджує подвійний результат використання живої хлорели у складі мікробного біостимулюючого препарату. Зменшення токсичного навантаження на агроєкосистему та збагачення рослин біологічно активними речовинами за таких умов підвищує їхню стійкість і продуктивність.

Мікробний біостимулюючий препарат з живими клітинами *Chlorella* spp. при внесенні у ґрунт забезпечує подвійний вплив на транслокацію елементів у рослинний організм, одночасно регулюючи надходження есенціальних мікроелементів і знижуючи біодоступність ксенобіотиків. У ризосфері клітини хлорели завдяки функціональним групам клітинної стінки ($-\text{COOH}$, $-\text{OH}$, $-\text{NH}_2$, $-\text{PO}_4^{3-}$) активно сорбують іони токсичних металів, таких як кадмій і свинець, зменшуючи їхню рухливість і концентрацію біля корневих волосків. Паралельно метаболіти хлорели - органічні кислоти, амінокислоти та полісахариди - утворюють хелати з есенціальними елементами (Fe, Zn, Mn, Cu), підтримуючи їх у ґрунтового розчині у легкодоступній формі. Це створює сприятливі умови для селективного захоплення потрібних іонів корневими транспортними системами та обмежує проникнення токсичних аналогів, які можуть імітувати корисні метали. Усередині рослинних клітин біостимулюючі речовини хлорели активують розвиток кореневої системи та експресію транспортерів мікроелементів, що підсилює їхнє надходження у симпласт і транслокацію ксилемою до надземних органів. Водночас невеликі кількості ксенобіотиків, що все ж потрапляють у клітини, ізолюються у вакуолях завдяки індукції металотіонеїнів і фітохелатинів, що обмежує їхнє переміщення по судинній системі. Таким чином, мікробний біостимулюючий препарат з живими клітинами хлорели діє як регулятор подвійного спрямування: вона знижує токсичне навантаження важких металів на рослину і водночас підвищує біологічну доступність есенціальних мікроелементів, забезпечуючи профілактику мікроелементозів та екологічно безпечне функціонування агроєкосистеми.

Внесення мікробного біостимулюючого препарату у ґрунт здійснюється нормою 20-35 мл л/га. Ця кількість відповідає внесенню від $7,5 \cdot 10^{10}$ до $3,0 \cdot 10^{11}$ клітин *Chlorella* spp. на гектар. Саме така висока кількість клітин є необхідною для ефективного виконання біоремедіаційної функції (сорбції важких металів) та інтенсивної колонізації ризосфери. Мікробний біостимулюючий препарат вносять кількістю 20-35 л/га у складі робочого розчину з нормою витрати рідини 200-300 л/га. Така норма витрати рідини забезпечує рівномірне насичення прикореневої зони клітинною масою автохтонних мікроорганізмів та біологічно активними речовинами без надмірного зволоження ґрунту, що є важливим для підтримки його аерації та загального мікробіому.

При фоліарному застосуванні мікробний біостимулюючий препарат з живими клітинами *Chlorella* spp. реалізує подвійний ефект завдяки поєднанню поверхневої сорбції токсичних металів та надходження біологічно активних речовин і мікроелементів у листові тканини. Клітинна стінка хлорели, багата на функціональні групи, здатна зв'язувати іони кадмію, свинцю та інших ксенобіотиків, які можуть потрапляти на поверхню листка з атмосферних джерел, утворюючи локальний біосорбційний бар'єр і зменшуючи їх проникнення у апопласт. Одночасно низькомолекулярні метаболіти хлорели - амінокислоти, органічні кислоти, фітогормони та антиоксиданти - легко проникають крізь кутикулу та продихи, стимулюючи фотосинтез, антиоксидантний захист і метаболізм мікроелементів у клітинах. Важливим є те, що сама біомаса хлорели містить есенціальні елементи, такі як магній, залізо, цинк, марганець і мідь, які у хелатованій формі можуть безпосередньо надходити у листові тканини, минаючи ґрунтові бар'єри, що особливо актуально для деградованих ґрунтів із низькою доступністю мікроелементів. Якщо ж невеликі кількості токсичних металів потрапляють у клітини листка, вони ізолюються у вакуолях завдяки індукції металотіонеїнів і фітохелатинів, що обмежує їхню транслокацію по флоемі. Таким чином, фоліарне внесення суспензії хлорели забезпечує швидкий біостимулюючий ефект через пряме живлення і стимуляцію фізіологічних процесів у фотосинтезуючих тканинах та одночасно створює захисний бар'єр проти ксенобіотиків, знижуючи токсичне навантаження на рослину.

Для забезпечення швидкої та потужної дії біостимулюючих речовин застосовується фоліарне внесення без розведення (тобто у початковій концентрації $1 \cdot 10^6$ - $1 \cdot 10^8$ клітин/мл). Витрата мікробного біостимулюючого препарату становить 160-200 л/га. Цей об'єм є достатнім для рівномірного покриття листової поверхні, максимізуючи трансдермальну абсорбцію органічно зв'язаних мікроелементів, фітогормонів та антиоксидантів, що призводить до негайної активації захисних та метаболічних процесів рослини.

Праймінг насіння кукурудзи суспензією *Chlorella* spp. забезпечує формування так званої "стресової пам'яті" рослин, тобто стану підготовленості до майбутніх абіотичних навантажень. Біологічно активні речовини, що виділяються клітинами хлорели, зокрема амінокислоти, органічні кислоти, фітогормони

та антиоксиданти, діють як сигнальні молекули, які активують антиоксидантні ферменти та системи захисту ще на стадії проростання насіння. Це призводить до епігенетичних і транскрипційних змін, що підвищують експресію генів, пов'язаних із захистом від оксидативного стресу та синтезом фітохелатинів і металотіонеїнів, завдяки чому рослина реагує швидше та ефективніше при повторному впливі стресових факторів. Одночасно клітини хлорели сорбують токсичні метали, такі як кадмій і свинець, знижуючи їхню біодоступність, а метаболіти утворюють хелати з есенціальними елементами - залізом, цинком, марганцем і міддю - підвищуючи їхню доступність для проростка. У результаті праймінг насіння кукурудзи хлорелою забезпечує подвійний ефект: з одного боку, захист від токсичного навантаження, а з іншого - покращене живлення мікроелементами та стимуляцію ростових процесів. Це проявляється у швидшому проростанні, формуванні більш розвиненої кореневої системи, підвищенні толерантності до посухи, засолення та інших стресів, а також у зменшенні ризику розвитку мікроелементозів у ранніх фазах росту. Таким чином, застосування суспензії хлорели для праймінгу насіння кукурудзи є ефективним способом поєднання біостимулюючої та біоремедіаційної дії, що забезпечує екологічно безпечно підвищення стійкості та продуктивності культури.

Праймінг проводять зануренням насіння у мікробний біостимулюючий препарат у кількості 25-35 мл/кг насіння протягом 24-48 годин за відсутності світла. Такий об'єм є оптимальним для повного змочування насіннєвої оболонки та забезпечення контакту з екзометаболітами *Chlorella* без ризику надмірного зволоження. Ця процедура забезпечує м'яку фізіологічну активацію насіння та закладає основи для інтегрованої біоадаптації. Внесені клітини *Chlorella* виступають не просто як біостимулятор, а як модулятор стресової пам'яті та ризосферного середовища, готуючи рослину до ефективної протидії стресам на ранніх етапах розвитку.

Висновок

Застосування способу на основі мікробного біостимулюючого препарату *Chlorella* spp. забезпечує профілактику мікроелементозів (через постачання мікроелементів та стимуляцію) та екологічно безпечно зниження токсичного навантаження (через сорбцію важких металів), що веде до підвищення стійкості та продуктивності культурних рослин на деградованих ґрунтах.

Таким чином, використання біостимулюючого препарату забезпечує подвійний результат: зниження біодоступності кадмію у ґрунті та воді (біоремедіаційна функція) і збагачення рослин біологічно активними речовинами (біостимулююча функція). Це дозволяє одночасно зменшити токсичне навантаження на агроєкосистему та запобігти розвитку мікроелементозів у культурних рослин.

У сукупності ознаки корисної моделі забезпечують досягнення технічного результату у вигляді детоксикації, мобілізації мікроелементів та стимуляції ростових процесів.

Приклади реалізації способу біостимуляції рослин за агрономічного застосування мікробного біостимулюючого препарату з активним мікробним агентом *Chlorella* spp. на чорноземі звичайному Північного Степу України.

У прикладах реалізації способу використано два типи біопрепаратів, які являють собою культуральну рідину з активним мікробним агентом *Chlorella* spp. з титром життєздатних клітин $1 \cdot 10^6$ - $1 \cdot 10^8$ клітин/мл: Варіант I - мікробний біостимулюючий препарат у вигляді культуральної рідини з активним агентом *Chlorella* spp., отриманий у виробничих умовах; Варіант II - мікробний біостимулюючий препарат у вигляді культуральної рідини з активним агентом *Chlorella* spp., приготовлений безпосередньо перед застосуванням. Зазначений Варіант II заявлений окремо у заявці на корисну модель, яка перебуває на стадії розгляду, і наведений у даному описі як один із можливих варіантів реалізації способу за корисною моделлю.

Приклад 1.

Ефективність комбінованого застосування мікробного біостимулюючого препарату *Chlorella* spp. у вигляді культуральної рідини при вирощуванні кукурудзи, що включає праймінг насіння зануренням у препарат протягом 24-48 годин за відсутності світла у нормі витрати 25-35 мл на 1 кг насіння та подальше внесення препарату у ґрунт при посіві у нормі витрати 20-35 л/га, підтверджена у модельному вегетаційному досліді, проведеному у контрольованих умовах.

Досліджено вплив: Варіант I - мікробний біостимулюючий препарат у вигляді культуральної рідини з активним агентом *Chlorella* spp., отриманий у виробничих умовах; Варіант II - мікробний біостимулюючий препарат у вигляді культуральної рідини з активним агентом *Chlorella* spp., приготовлений безпосередньо перед застосуванням., на зразках чорноземного ґрунту 0-20 см, відібраного з контрастних за рельєфом ділянок. Характеристика зразків ґрунту з плакору є оптимальною за вмістом важких металів (табл. 1). Схиловий ґрунт має більш високий вміст рухомих форм Cd і Ni, а також Pb забруднення і недостатній вміст Zn.

Характеристика ґрунтових зразків для вегетаційного досліді

Ділянка відбору	Вміст хімічних елементів (у ААБ рН 4,8), мг/ кг ґрунту								
	Cd	Co	Cr	Cu	Fe	Mn	Ni	Pb	Zn
Плакор	0,08	0,21	0,67	0,26	0,06	7,12	0,41	0,05	1,24
Схил	0,13	0,75	0,36	0,31	0,02	6,60	0,59	1,43	0,29

Вплив стану ґрунту та застосування мікробного біостимулюючого препарату *Chlorella* spp. на транслокацію важких металів і мікроелементів у рослинну масу кукурудзи надано у таблиці 2.

Таблиця 2

Винесення з ґрунту вегетаційною масою рослин кукурудзи

Біопрепарат	Ґрунт	Вміст хімічного елемента у рослинній масі, мг/посудину					
		Cd	Co	Cu	Fe	Mn	Zn
Фон	Плакор	0,03	3,03	9,83	426,08	102,08	62,25
I		0,03	1,98	9,70	543,48	117,18	53,38
II		0,03	1,23	10,5	457,65	88,8	48,40
Фон	Схил	0,59	1,55	8,43	308,35	61,63	40,40
I		0,02	0,73	5,13	429,85	84,38	64,13
II		0,02	0,65	11,55	751,03	111,2	70,23

Характеристику рослин кукурудзи у момент фіксації результатів досліді надано у таблиці 3.

Таблиця 3

Характеристика рослин кукурудзи у момент збирання

Біопрепарат	Ґрунт	Довжина, см	Кількість листків, шт.	Суха вага, г/посудину
Фон	Плакор	61,5	10	0,73
I		65,88	11,5	0,85
II		68	10,25	0,86
Фон	Схил	69,67	9,7	0,61
I		70,25	11,25	0,95
II		69	10,75	0,87

Результати.

1. Комбіноване застосування при вирощуванні кукурудзи на ґрунті схилової ділянки з підвищеним вмістом важких металів (Cd, Pb, Ni).

Варіант I забезпечує виражений детоксикаційний ефект зеленої маси кукурудзи (зниження винесення Cd на 96,2 %) та відновлення мікроелементного балансу (Fe+39,4 %, Mn+36,9 %, Zn+58,7 %). Це супроводжується приростом біомаси +56 % стимуляцією розвитку +16 %.

Варіант II препарату спричиняє детоксикацію (зниження винесення Cd на 97,0 %) і водночас активує надходження біофільних елементів (Fe+143,6 %, Mn+80,4 %, Zn+73,8 %, Cu+37,1 %). Ефект проявляється у прирості біомаси +43 % та стимуляції розвитку +11 %.

2. Комбіноване застосування при вирощуванні кукурудзи за оптимального агрохімічного складу ґрунту (ділянка плакору).

Варіант I препарату помірно підвищує винесення Fe (+27,6 %) та Mn (+14,8 %), забезпечує приріст біомаси +16 %, збільшення висоти рослин +7 % та стимуляцію розвитку +15 %.

Варіант II препарату має помірний вплив на біофільні мікроелементи (Fe+7,4 %, Cu+6,9 %), формує приріст біомаси +18 %, збільшення висоти рослин +11 % та стимуляцію розвитку +2,5 %.

Таким чином, комбіноване застосування мікробного біостимулюючого препарату з активним мікробним агентом *Chlorella* spp. при вирощуванні кукурудзи забезпечує зниження токсичного навантаження на хімічно деградованих ґрунтах із забрудненням важкими металами та одночасно стимулює приріст біомаси й розвиток рослин, а на ґрунтах з оптимальним елементним складом проявляє біостимулюючий ефект, що виражається у підвищенні винесення біофільних елементів, прирості біомаси та стимуляції ростових процесів.

Приклад 2.

У польових умовах показано ефективність застосування мікробного біостимулюючого препарату з активним мікробним агентом *Chlorella* spp., приготувану безпосередньо перед застосуванням (Варіант

II), внесенням у ґрунт за добу до посіву культури у нормі 20-35 л/га та з послідуочим внесенням у ґрунт у такій же нормі витрати через три дні після посіву соняшнику при вирощуванні культури на мілітарно порушеному артилерійським вибухом ґрунті за рік до проведення досліду.

Результати:

Внесення препарату у ґрунт сприяло збільшенню надходження у ядро насіння соняшнику заліза, цинку та міді на 18 %, 50 % та 54 % через перерозподіл мікроелементів із лушпиння.

При цьому спостерігається зменшення транслокації кадмію в основну продукцію культури на 35 %.

На фоні застосування препарату спостерігається збільшення діаметру кошика у середньому на 3-9 %.

Приклад 3.

Польовими дослідженнями показано ефективність фоліарного використання мікробного біостимулюючого препарату з активним мікробним агентом *Chlorella* spp., приготувану безпосередньо перед застосуванням (Варіант II) при вирощуванні кукурудзи - обприскування рослин у фазі 5-6 листків при нормі витрати препарату 160-200 л/га.

Результати: збільшення висоти рослин у фазі збирання на 6,4-8,8 % відносно контролю; ефект перевищує дію повного мікроелементного підживлення на 5,2 %.

Збільшення вмісту цинку в зерні кукурудзи відносно варіанта повного мікроелементного підживлення на 18 %, феруму на 21 %, купруму на 25 %.

Зменшення вмісту кадмію в зерні кукурудзи відносно варіанта повного мікроелементного підживлення на 46 %.

Приклад 4.

Польовими дослідженнями показано ефективність виробничого мікробного біостимулюючого препарату з активним мікробним агентом *Chlorella* spp. (Варіант I) за комбінованого застосування на початку вегетації культури внесенням у ґрунт у нормі 20-35 л/га та фоліарно нормою витрати препарату 160-200 л/га при вирощуванні льону олійного на чорноземі типовому в умовах складного агроландшафту.

На низинних, відносно зволужених ділянках, застосування біопрепарату I забезпечило підвищення вмісту феруму у коробочках із насінням льону до 46 %, приріст цинку на 6-9 %. Ефект реалізувався на фоні високого вмісту Fe та Zn у ґрунті у кислотнорозчинній формі (екстракція 1н HCl), що свідчить про мобілізацію резервних форм елементів у доступні для рослин.

На підвищених, більш дренажних елементах рельєфу, біопрепарат стимулював транслокацію мангану у коробочки з насінням льону на 12-70 %, що відображає посилення засвоєння мікроелементів у зонах з меншою вологістю. На еродованих ділянках (схил тальвегу) препарат сприяв підвищенню надходження купруму у коробочки на 15 %, компенсуючи дефіцит елементів у деградованих ґрунтах.

Дослідженнями показано, що мікробний біостимулюючий препарат з активним мікробним агентом *Chlorella* spp. (Варіант I) проявляє адаптивну дію залежно від морфології та якості ґрунту: на низинних, зволужених ґрунтах - мобілізує ферум і цинк із кислотнорозчинних форм, забезпечуючи їх надходження у рослини; на підвищених, дренажних ділянках - стимулює транслокацію мангану; на еродованих схилах - підвищує надходження купруму.

Таким чином, препарат забезпечує просторово диференційоване покращення мінерального живлення льону олійного, що підтверджує його універсальність у різних умовах агроландшафту.

У сукупності нові ознаки забезпечують досягнення технічного результату у вигляді: зниження токсичного навантаження важких металів (зокрема, Cd) у рослинній продукції за умов хімічно деградованих ґрунтів; мобілізації резервних кислотнорозчинних форм мікроелементів (Fe, Zn, Mn, Cu) у доступні для рослин форми; покращення транслокації біофільних елементів у зерно та насінніві коробочки, що забезпечує їх оптимальний баланс у продукції; стимуляції ростових процесів і приросту біомаси (збільшення висоти, кількості листків, сухої маси) у кукурудзи, соняшнику та льону олійного; просторово диференційованої адаптивної дії препарату залежно від морфології та якості ґрунту (низинні зволожені, підвищені дренажні, еродовані схили), що підтверджує універсальність способу у різних умовах агроландшафту.

Таким чином, спосіб біопрофілактики мікроелементозів рослин на деградованих ґрунтах із застосуванням мікробного біостимулюючого препарату з активним агентом *Chlorella* spp. забезпечує комплексний технічний результат у вигляді одночасної детоксикації важких металів, біостимуляції ростових процесів та адаптивної мобілізації мікроелементів, що підвищує продуктивність культур і якість рослинної продукції.