

**НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ АГРАРНИХ НАУК УКРАЇНИ
ІНСТИТУТ СІЛЬСЬКОГО ГОСПОДАРСТВА ПІВНІЧНОГО СХОДУ**

**В.М. Кабанець, О.І. Рудник-Іващенко, В.В. Швартау,
Л.М. Михальська, В.В. Кабанець, С.І. Бердін**

**ФІТОМЕЛІОРАТИВНИЙ
ПОТЕНЦІАЛ КУЛЬТУРИ
КОНОПЕЛЬ**

СУМИ – 2021

Рекомендовано до друку рішенням Вченої ради Інституту сільського господарства Північного сходу НААН, протокол № 4 від 25 листопада 2021 р.

Рецензенти:

Федоренко Віталій Петрович – головний науковий співробітник лабораторії ентомології та стійкості сільськогосподарських культур проти шкідників Інституту захисту рослин НААН, доктор біологічних наук, професор, академік Національної академії аграрних наук України.

Кожушко Неллі Семенівна – доктор сільськогосподарських наук, професор, професор кафедри селекції і насінництва ім. М. Д. Гончарова Сумського національного аграрного університету.

Коваленко Ігор Миколайович – доктор біологічних наук, професор, декан факультету агротехнологій та природокористування Сумського національного аграрного університету.

Фітомеліоративний потенціал культури конопель : монографія / В. М. Кабанець та ін. Суми : ФОП Щербина І. В., 2021. 120 с.

Узагальнено результати досліджень та аналізу літературних даних щодо можливості використання посівів конопель для біоремедіації забруднених ґрунтів. В роботі уточнено метаболічний потенціал конопель посівних по транслокації та акумуляції важких металів та радіонуклідів в тканини стебел та насіння культури. Встановлено високий ремедіаційний потенціал конопель щодо виносу стронцію (Sr) та сполук, що відносяться до групи високотоксичних важких металів. Розроблені технологічні аспекти оптимізації фітомеліоративного використання культури конопель.

Для фахівців із напрямку біоремедіації забруднених ґрунтів, студентів, аспірантів, викладачів агрономічного та екологічного спрямування.

ВСТУП.....	5
РОЗДІЛ 1. СТАН ВИВЧЕННЯ ПРОБЛЕМИ	7
1.1. Основні підходи до рекультивації земель в Україні.....	7
1.2. Біоремедіації, як метод відновлення забруднених земель	14
1.3. Біологічні особливості конопель та характеристика системи взаємодії рослина-ґрунт	21
РОЗДІЛ 2. МІСЦЕ, УМОВИ ТА МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕНЬ	27
2.1. Місце та умови проведення досліджень	27
2.2. Методика та об'єкти досліджень.....	32
РОЗДІЛ 3. ТРАНСЛОКАЦІЯ ПОТЕНЦІЙНО ТОКСИЧНИХ ЕЛЕМЕНТІВ ІЗ ҐРУНТУ ДО РОСЛИН КОНОПЕЛЬ.....	37
3.1. Вміст лужноземельних металів у ґрунті та характер їх акумуляції рослинами конопель.....	40
3.2. Особливості накопичення в рослинах конопель хімічних елементів лантаноїдної групи	49
3.3. Характер транслокації хімічних елементів актиноїдної групи у ґрунті та рослинах конопель	54
3.4. Накопичення хімічних елементів групи перехідних металів у ґрунті та акумуляція їх рослинами конопель	57
3.5. Вміст хімічних елементів групи лужних металів у ґрунті та акумуляція їх рослинами конопель.....	66
3.6. Характер акумуляції рослинами конопель хімічних елементів групи напівметалів	76
3.7. Концентрація неорганічних елементів у ґрунті та характер їх накопичення в частинах рослин	82
РОЗДІЛ 4. РЕМЕДІАЦІЙНИЙ ПОТЕНЦІАЛ КУЛЬТУРИ КОНОПЕЛЬ..	93
ВИСНОВКИ	104
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	108

ПЕРЕЛІК ВЖИВАНИХ ТЕРМІНІВ ТА СКОРОЧЕНЬ

МОЗ	–	Міністерство охорони здоров'я;
НАН	–	Національна академія наук України;
НААН	–	Національна академія аграрних наук України;
ГТК	–	гідротермічний коефіцієнт Т. Г. Селянінова;
САТ	–	сума активних температур;
ВОС	–	відмінність, однорідність та стабільність;
АТФ	–	аденозинтрифосфорна кислота;
АДФ	–	аденозиндифосфорна кислота;
ЮСО	–	південнодостигаючі однодомні, від рос. – южносозревающая;
ТГК	–	тетрагідроканнабінол;
КБД	–	каннабідіол;
КБГ	–	каннабігерол;
ВМ	–	важкі метали;
ГДК	–	гранично допустима концентрація;
КБН	–	коефіцієнт біологічного накопичення;
НІР _{0,05}	–	найменша істотна різниця.

ВСТУП

Культура конопель в Україні має давні сформовані традиції вирощування та використання її врожаю. Глибокі теоретичні та практичні дослідження, які проведені вітчизняними науковцями, забезпечили високий селекційний та технологічний рівень галузі коноплярства [1, 2].

Серед технічних культур, які вирощують у світі та в Україні, коноплі посівні займають особливе місце. Рослина є джерелом продуктів харчування та високоякісного, міцного й екологічного волокна. Поряд із цим, рослини конопель під час вегетації можуть виробляти канабіноїдні сполуки, які останнім часом набувають практичного застосування у фармакології (КБД, КДГ), і, в той же час, один із них, тетрагідроканнабінол (ТГК), вважається психотропним елементом, що суворо контролюється державою. Проте, на сьогодні створені сорти конопель, що майже не містять каннабіноїдних сполук і є повністю соціально безпечними. Таким чином, аграрний сектор економіки повернув цінну технічну культуру, яку можна використовувати максимально комплексно [3].

До останнього часу залишалася поза увагою ще одна важлива властивість рослин конопель посівних – їх здатність до фітомеліорації. Потужне накопичення біомаси культурою протягом вегетації передбачає й можливість використовувати посіви для фітомеліоративних цілей [4].

До переваг конопель посівних, як фітомеліоративної культури, слід віднести не тільки її значну біомасу. По-перше, на відміну від основних рослин для ремедіації, які є багаторічними, коноплі – однорічна рослина, що дозволяє щорічно майже повністю видаляти з рекультивованої площі накопичену біомасу, що містить важкі метали та їх сполуки [5]. По-друге, коноплі витримують повторні посіви, а це вказує на можливість вирощувати культуру у вигляді фітомеліоранта декілька років поспіль, не змінюючи технологію та технічне забезпечення ремедіації [6]. По-третє, розроблені технології, які

гарантують бездефіцитний баланс гумусу при беззмінному вирощуванні конопель, що дозволяє відновлювати землі сільськогосподарського призначення без зниження їх родючості [7].

До переваг культури слід також віднести її двоцільове вирощування, як на соломі, так і на насінні. Технологічно при вирощуванні на «зеленець» культура збирається в фазі технічної стиглості (стебла), а при вирощуванні на насіння – в фазі повної (біологічної) стиглості (стебла та насіння) [8]. Це дозволяє зібрати врожай на конкретному етапі розвитку рослин у визначену фазу максимального виносу небажаних елементів з подальшою утилізацією шляхом переробки сировини.

Все вище перелічене вимагає розглянути біоремедіаційний потенціал конопель посівних, встановивши здатність рослин до виносу важких металів та інших потенційно токсичних елементів та їх сполук. Шляхи вирішення цього базового питання і викладені в представленій роботі.

У монографії широко досліджено вміст лужноземельних металів, хімічних елементів лантаноїдної групи, актиноїдної групи, групи перехідних металів, хімічних елементів групи напівметалів, неорганічних елементів у ґрунті та їх накопичення й виніс елементами врожаю конопель посівних.

Досліджено, що хімічні елементи, які є різного ступеня токсичними для людини і відносяться за хімічною характеристикою до однієї групи, по різному надходять до рослин конопель.

Встановлено, що на величину показників акумуляції більшості хімічних елементів, які досліджували в рослинах конопель посівних проявляли істотний вплив: вміст сполук цих елементів в орному шарі ґрунту, рівень енергетичного (світлового) забезпечення рослин культури у процесі вегетації, сортів особливості, фаза збирання та рівень врожайності коноплепродукції.

Визначено середні значення коефіцієнта біологічного накопичення токсичних елементів у надземній частині рослин, як базового показника ремедіаційного потенціалу культури конопель.

РОЗДІЛ 1 СТАН ВИВЧЕННЯ ПРОБЛЕМИ

1.1. Основні підходи до рекультивації земель в Україні

Сьогодні Конституція України визначає землю, як основне національне багатство, яке згідно зі статтею 14 знаходиться під особливою охороною держави [9]. Однак, слід завжди зважати на те, що земля є одним із елементів навколишнього природного середовища і в багатьох випадках виконує роль просторового базису для існування природних об'єктів.

Людству вже давно зрозуміло, що збереження або відновлення навколишнього середовища потребує досить великих зусиль і ресурсів, а подальший збалансований розвиток потребує значних капіталовкладень в охорону навколишнього природного середовища для компенсації наслідків виробничої діяльності. Сьогоднішня економія на природоохоронних заходах уже призводить до значних втрат або навіть екологічних катастроф. Особливо актуальною є проблема відновлення природних ресурсів саме для землі, адже однією з основних цінностей землі є її ґрунти. Відновлення ґрунтів займає особливе місце у механізмі забезпечення існування земель як природного ресурсу, який є основним національним багатством України. Для кожного землекористувача важливою є стабільність високої якості ґрунтового покриву земельної ділянки [10].

Тому, одним із важливих напрямків завершення земельної реформи в Україні має бути забезпечення раціонального використання й охорони земель усіх категорій і форм власності. Так, сучасний стан використання земель для потреб сільського господарства, промисловості, транспорту, зв'язку, оздоровчого, рекреаційного та іншого призначення внаслідок антропогенного впливу на довкілля характеризується багатьма негативними явищами і тенденціями, які супроводжуються скороченням площ і погіршенням якості

продуктивних земель, забрудненням, засміченням, деградацією земель як сільськогосподарського, так і несільськогосподарського призначення. Серед деградаційних процесів земель найбільш масштабними є ерозія (близько 57,5 відсотка території), забруднення (близько 20 відсотків території), підтоплення (близько 12 відсотків території) [11].

Рекультивацію, в першу чергу, необхідно проводити на порушених землях. До цього терміну відносяться землі, що втратили первісну природно-господарську цінність і, як правило, є джерелом негативного впливу на довкілля. Порушують землі при виконанні відкритих та підземних гірничих робіт, складуванні промислових, будівельних та комунально-побутових відходів, будівництві лінійних споруд, а також при проведенні геологорозвідувальних, розвідувальних, будівельних та інших робіт. При цьому, порушується ґрунтовий покрив, змінюються гідрогеологічний та гідрологічний режими, утворюється техногенний рельєф, а також відбуваються інші якісні зміни, що погіршують екологічне середовище загалом [12].

Порушені території внаслідок господарської діяльності поділяють на дві групи:

- землі, які пошкоджені насипним ґрунтом (відвали, терикони, кар'єри та звалища);
- території, які пошкоджені виїмкою ґрунту (кар'єри відкритих гірничих розробок, видобутку місцевих будівельних матеріалів та торфу, провали та прогини на місці підземних гірничих робіт, резерви та траншеї під час будівництва лінійних споруд).

У цьому зв'язку особливого значення набувають питання щодо виконання комплексу організаційно-правових, фінансових, матеріальних та інших заходів, спрямованих на проведення рекультивації земель з метою їх відновлення і повернення у попередній стан, відновлення ландшафтної структури земель, покращення санітарно-гігієнічних умов життя і діяльності людини, формування екологічної мережі в Україні. У чинному законодавстві

залишаються недостатньо врегульованими суспільні відносини у сфері рекультивації земель, оскільки правові норми з питань виконання заходів з відновлення якісного стану порушених внаслідок промислової та іншої діяльності земель, закріплені у нормативно-правових актах різної юридичної сили, мають переважно загальний чи декларативний характер, несистематизовані, що призводить до виникнення юридичних прогалин та колізій у механізмі правового регулювання земельних рекультиваційних правовідносин [13].

До "сухих" меліорацій відносять агролісомеліорації, агромеліорації (агрономічні), фітомеліорації, хімічні меліорації, протиерозійні меліорації, теплові меліорації (снігозатримання та ін.).

Одним із напрямків рекультивації землі є фітомеліорація. Фітомеліорація (грец. φυτόν – рослина та лат. melioratio – покращення) – це комплекс заходів із використання рослинних систем для покращення просторово-естетичних характеристик навколишнього середовища. Фітомеліорація як наукова дисципліна базується на вченні В.І. Вернадського про живу речовину біосфери, головною особливістю якої є здатність відновлювати і пристосовувати до своїх потреб біохімічні й енергетичні кругообіги. З цієї позиції розглядають меліоративне значення фітоценотичного покриву в створенні гумусового шару ґрунту на рекультивованих та еродованих землях, які втратили природну родючість [14].

Фітомеліорація як наука виникла на території України. Основоположниками фітомеліорації були вчені – В. В. Докучаєв, Г. Ф. Морозов, В. І. Вернадський, Г. М. Висоцький, О. Л. Бельгардт, Ю. П. Бялович, А. Д. Фурсаєв, С. С. Хохлов, А. Я. Вага, В. М. Сукачов, О. О. Ніценко, Р. М. Панас. Проблемами фітомеліорації сміттєзвалищ, териконів, відвалів, техногенних водойм, кар'єрів фундаментально займаються науковці під керівництвом професора В. П. Кучерявого [15].

Сільськогосподарська фітомеліорація – це комплекс заходів із вирощування на порушених землях певного асортименту сільськогосподарських культур. Фітомеліоративний процес може тривати 10–15 років і навіть більше та закінчується тоді, коли продуктивність сільськогосподарських культур досягне продуктивності таких самих культур на сусідніх територіях.

Тобто, треба розуміти, що фітомеліорація – це процес використання природної перетворювальної функції рослинності в оптимізації ноосфери. Фітоценотичний покрив, або автотрофний блок екосистеми, є біосферноактивним. Він виробляє біомасу, фіксує вуглекислий газ і молекулярний азот, продукує кисень, бере участь у біохімічних циклах і ґрунтових процесах. Тому прогресивний розвиток ноосфери, як зауважує відомий український вчений Ю.П. Бяллович, неможливий без науково-планового управління нею за принципом оптимізації.

Виділяють три групи фітомеліорантів:

- 1) спеціальні, в яких фітомеліоративна функція має провідне значення (парки, лісопарки, захисні смуги тощо);
- 2) продуктивні, в яких перше місце відводиться одержанню продукції, а фітомеліорація має другорядне значення (ліси, поля, луки, сади, виноградники тощо);
- 3) рудеральні (бур'яни), які спонтанно виконують фітомеліоративні функції.

Фітомеліоранти виконують перетворювальні функції: меліоративну (лісові культури, садіння і висів рослин на рекультивованих землях), сануючу (лісові масиви, санітарно-захисні смуги), рекреаційну (парки і лісопарки), інженерно-захисну (полезахисні та протиерозійні смуги), архітектурно-планувальну (міська система озеленення), етико-естетичну (духовне виховання людини) [16, 17].

Фітомеліорація буває штучна та природна. Штучна фітомеліорація входить в комплекс рекультиваційних робіт (біологічний етап) та регулюється вимогами ДБН В.2.4-2-2005[18]. Використання штучної фітомеліорації можливе лише після врахування вимог щодо нанесення насипних ґрунтосумішей та ізоляційних екранів при технічному етапі рекультивації сміттєзвалищ. Дерев та чагарники не слід висаджувати при температурах субстрату +25°C та вище. Хвойні види садити не рекомендується внаслідок їх чутливості до техногенних забруднень та радіаційного фону. Своєю чергою деревно-чагарникова рослинність відіграє важливу роль для зменшення техногенного пресингу небезпечних речовин сміттєзвалищ на довкілля використовуючи природну перетворювальну функцію та забезпечує належну естетику [19].

Таким чином, фітомеліорацію можна визначити, як заходи щодо поліпшення земель посівом та посадкою рослин. Важливим об'єктом фітомеліорації та, насамперед, лісорозведення стають береги штучних водосховищ, каналів. Проблема захисту берегів штучних водоймищ від руйнування є дуже серйозною і повне її вирішення потребує також комплексного підходу. Протиерозійні меліорації поєднують з фітомеліораціями, що покращують кліматичні та едафічні фактори середовища за допомогою рослинності: залуження земель, корінне поліпшення сінокосів та пасовищ [20].

Треба розуміти, що меліорацією займається тільки аграрний сектор. Деякі дослідники витоків нових наукових дисциплін – урбоекології та фітомеліорації, вважають, що їх започаткувало саме народження міста. Перша практика будівництва міст, а їхня історія розпочинається у 4-3 тисячолітті до нової ери, свідчить про те, що будівничі тих часів на перше місце ставили правильний вибір території не лише з економічних чи оборонних, але, (і це, напевно, було головним), екологічних позицій. Місто мало забезпечити умови існування людей: мати родючу землю, сприятливий клімат, достатньо води, розвинутий

рослинний покрив, простір для розвитку. Все це сьогодні має назву екологічні чинники.

Найбільшу шкоду навколишньому середовищу завдала третя стадія урбанізації, яка збіглася з періодами технічної і науково-технічної революцій. Як відомо, високий рівень урбанізованості території призводить до інтенсивного забруднення середовища в обмежених ареалах. У 80-90-х роках з'явилося чимало робіт, направлених на дослідження міських ґрунтів як об'єктів накопичення і переносу важких металів та різних хімічних забруднювачів. Ряд дослідників вважає, що фітомеліорація – один із напрямів прикладної екології, який полягає у дослідженні, прогнозуванні та використанні фітоценозів (природних і створених людиною рослинних систем) для поліпшення геофізичних, геохімічних, біотичних, просторових і естетичних характеристик оточуючого людину середовища, проектуванні і створенні штучних рослинних угруповань з високими перетворюючими фізичне середовище властивостями [21, 22].

Слід відзначити, що до номенклатури наукових дисциплін входить спеціальність "Лісові культури та фітомеліорація". Таким чином, заявлено про появу фітомеліорації як наукової дисципліни.

У 20-30 рр. ХХ ст. з'являються роботи, які підсумовують результати озеленення дюн (Голландія), створення лісозахисних смуг (Радянський Союз, США), у 50-60-ті роки – озеленення териконів, кар'єрів, звалищ (СРСР, Німеччина, Бельгія, Англія). Необхідно відзначити величезний фронт фітомеліоративних робіт в Україні, які були проведені у 50-60 роках минулого століття. По-перше, це створення у степовій і лісостеповій зонах системи полезахисних смуг. По-друге, створення водорегулюючих та берігокріплюючих насаджень у басейні Дніпра, пов'язаних із створенням Дніпровського каскаду водосховищ. По-третє, заліснення Олешківських пісків та пісків Полісся. По-четверте, масове озеленення міст і робітничих селищ. І на кінець, п'яте, біологічна рекультивація відвалів, териконів, кар'єрів, звалищ. Шосте,

створення протиерозійних посадок. І, врешті-решт, створення промислових санітарно-захисних зон. Площа цих фітомеліоративних посадок сягає декількох мільйонів гектарів [23].

Інший підхід у використанні методу фітомеліорації є закріплення пісків (застосування хімічних препаратів – тимчасовий захід), який полегшує подальше їхнє освоєння. На піщаних землях створюють масивні, лаштункові та кілкові (куртинні) лісові насадження, полезахисні, пасовищозахисні, пасовища кормові, прифермські та іншого призначення лісові смуги, зелені (деревні) парасольки та інші насадження. У степовій зоні зазвичай не вдаються до попереднього закріплення пісків перед створенням лісових захисних смуг. Тут закріплення та заліснення – єдиний процес. У напівпустелі та пустелі, як правило, заліснення пісків передує їх закріплення. Залежно від умов застосовують біологічний, механічний, хімічний та комбінований захист [24].

Є думка, що сьогоднішні способи відновлення ґрунтів: промивання, гіпсування, фітомеліорація є неефективними та дорогими і тому доцільно використовувати ці ґрунти в існуючому стані. Сильно засолені ґрунти під природною рослинністю можуть використовуватися як сіножаті через те, що у травостоях переважають цінні кормові злаки – покісниця розхилиста і ячмінь короткоостий. Використання таких ділянок як пасовищ недоцільно, оскільки ущільнення ґрунту копитами худоби у вологу пору року викличе вторинне засолення ґрунтів (випас по непросохлому ґрунту сильно ущільнює його, що посилює капілярне піднесення солей до поверхні ґрунту). У результаті формується мізерна рослинність солончаків із солонцю трав'янистого та сведи дуголистої та загостреної [25].

Однак, у сучасних умовах інтенсивного технічного розвитку суспільства природне середовище схильне до комбінованого техногенного забруднення важкими металами. Землі з таким забрудненням, ні в якому разі не можливо використовувати без проведення заходів по зниженню їх вмісту. Це пов'язане з тим, що серед більшості елементів і речовин, що забруднюють навколишнє

середовище важкі метали через небезпеку впливу на живі організми та обсяг викидів займають особливе місце. Розроблено безліч заходів вилучення важких металів із ґрунтів. Серед них слід виділити технічні, фізичні, хімічні та біологічні методи, а також їх комбінації.

Як правило, ці методи дуже затратні, внаслідок чого їх використання дуже обмежене. В останні роки велике поширення набуває метод вилучення важких металів за допомогою рослин (фітоекстракція), а також з використанням хімічних добавок, що підвищують доступність металів рослинам і, отже, збільшують винесення поліютантів (будь-які хімічні речовини або сполуки, які знаходяться в об'єкті навколишнього природного середовища в кількостях, що перевищують фонові значення і тим самим викликають хімічне забруднення) [26].

Підбір рослин, які здатні екстрагувати велику кількість важких металів та оцінка ефективності їх використання при фітоекстракції, є актуальним на всій території України, враховуючи найбільш страшну техногенну аварію – Чорнобильську.

1.2. Біоремедіації, як метод відновлення забруднених земель

Небажаним результатом антропогенного впливу на середовище є хімічне забруднення ґрунтів різними поліютантами. До найбільш небезпечних забруднювачів, які мають високі токсичні, мутагенні і канцерогенні ефекти, відносять важкі метали. Слід зазначити, що за низьких концентрацій в середовищі багато з них є есенціальними елементами, які є важливими компонентами біокаталізаторів і біорегуляторів фізіологічних процесів. Проте, за умов забруднення важкі метали можуть накопичуватися у верхніх горизонтах ґрунту, активно впливаючи, в першу чергу, на рослини в негативному ключі [27]. Це призводить до поступової зміни хімічного складу, порушення єдності геохімічного середовища та живих організмів. Відомо, що

самоочищення ґрунтів практично не відбувається або його швидкість надзвичайно низька: період напіввидалення цинку становить до 310 років, кадмію – до 1110 років, міді – до 1500 років, свинцю – до 5900 років.

Фітомеліорація, яка направлена на реабілітацію ґрунтів земельних ділянок різного призначення забруднених важкими металами має назву "ремедіація" або "біоремедіація". Ремедіація проводиться на забруднених важкими металами ґрунтах різних функціональних зон міста, техногенних територій на околицях хімічних та металургійних підприємств, для відновлення або поліпшення сільськогосподарських земель різного призначення, які потрапили в зону техногенних катастроф. Тобто, завдання, які вирішує ремедіація, це відновлення екологічних функцій забруднених ґрунтів, зниження концентрацій біологічно доступних сполук поліютантів у ґрунтах до цільових критичних значень, запобігання поширенню забруднюючих речовин з ерозією ґрунтів, поверхневих та ґрунтових вод [28].

Слід зазначити, що відновлення (restoration) зазвичай розглядається як дія або процес повернення місцеперебування до колишнього стану, яке було порушено в минулому внаслідок негативного впливу хімічних, фізичних або біологічних факторів, що часто діють спільно. Відновлення (restoration) та виправлення (remediation) тісно пов'язані, оскільки остання дія чи процес показує реалізацію заходів виправлення минулої діяльності, що призвела до порушення системи. При цьому відновлення може бути однією з можливих цілей ремедіації, яка спрямована на повернення місцеперебування у вихідний стан. Ця мета може бути складною, або важко досяжною. Досягнення її залежить від якості та ступеня порушень. Таким чином, під ремедіацією розуміють виправлення, очищення території від небезпечних відходів або стримування їх поширення відповідно до застосовуваних норм. Видалення забруднюючих речовин із ґрунтів для захисту здоров'я людини та навколишнього середовища регулюється сукупністю законодавчих вимог та базується на оцінках санітарно-гігієнічних та екологічних ризиків.

Як і відновлення (restoration), реабілітація (rehabilitation) може бути також визначена як дія або процес повернення порушеної території в колишній стан і виглядає синонімом відновлення. Однак, у практичному ракурсі відтінки відмінностей між відновленням і реабілітацією часто показують різницю у ймовірності успіху у поверненні до початкового стану. При відновленні повернення у вихідний стан зазвичай може бути досягнуто з більшою ймовірністю, тоді як реабілітація переслідує досягнення певного заданого стану, яке не є в повному розумінні слова початковим. Відмінності між відновленням та реабілітацією, таким чином, вказують на ступінь успіху у поверненні місцеперебування до вихідного стану.

На противагу відновленню та реабілітації меліорація (reclamation) зазвичай розглядається, як дія або процес позбавлення зазначеного місця проживання від деякого небажаного стану. Меліорація передбачає навмисне освоєння чи обробку земель для подальшого використання людиною, зазначаючи, що вихідне становище об'єкту є з небажаним природним станом (наприклад, трансформація болота в оброблювані землі чи міські території) чи порушеним ландшафтом (наприклад, розвиток занедбаних промислових територій для подальшого використання людиною).

Тобто, в якості "м'якої" технології обробки забруднених ґрунтів на місці, без значних порушень ґрунтового покриву, ремедіаційна технологія на рівні хемо-фітостабілізації спрямована на зниження мобільності та біологічної доступності важких металів за допомогою процесів адсорбції рослиною певної кількості хімічних елементів та сполук.

За прийнятою міжнародною класифікацією біоремедіаційні технології поділяються на три групи [29]:

- біоремедіація *ex situ* – передбачає вилучення забрудненого ґрунту, переміщення його на майданчики знешкодження, агротехнічні роботи по вивезення видобутого ґрунту від забруднення, повернення на колишнє місце та проведення меліорації;

- біоремедіація *on site* – у цьому випадку забруднений ґрунт залишається на місці, проводяться меліорація, біостимулювання, висів рослин-аккумуляторів;

- біоремедіація *in situ* (забруднення знаходиться під поверхнею ґрунту) - проводиться у разі розливу нафти і здійснюється під дією мікроорганізмів.

Природна фітомеліорація вивчає стадійну динаміку рослинних серійних угруповань, які спонтанно з'явилися на об'єкті ремедіації (сингенетична стадія сукцесії) та продовжують розвиватися (ендоекогенетична стадія сукцесії). Природна фітомеліорація не передбачає технічного етапу, оскільки внаслідок цього буде знищено рослинний покрив та деревно-чагарникову рослинність, яка вже набула розвитку. Чимало дослідників стверджують, що сміттєзвалища без втручання людини швидко заростають рудеральною рослинністю.

Рудеральна рослинність на забруднених ґрунтах, безумовно, є позитивним явищем, оскільки сприяє збагаченню едафотопу та розвитку стійких фітоценозів-меліорантів. Найбільш прийнятними, наприклад, для сміттєзвалищ є бобові [30].

Професором В. П. Кучерявим розроблена класифікаційна схема сукцесій біогеоценотичного покриву урбоєкосистеми, яка може бути використана для покращення моніторингу та прогнозування екологічного стану населених пунктів [15].

За автором фітоценози-меліоранти поділяють на три групи:

- спеціальні, в яких фітомеліоративна функція має провідне значення (парки, захисні смуги, лісопарки, тощо);

- продуктивні, в яких перше місце відводиться отриманню продукції, а фітомеліорація має другорядне значення (ліси, поля, луки, сади, виноградники, тощо);

- рудеральні (бур'яни), які спонтанно виконують фітомеліоративні функції.

Технологія ремедіації також спрямована на відновлення ґрунту та усунення забруднень радіоактивними елементами. Дана технологія масштабна, її можна успішно застосовувати як активний засіб очищення від радіонуклідів на великих територіях, що зазнали забруднення, без необхідності зняття, перенесення та переробки ґрунту та механічного впливу на неї. Оскільки ремедіація реалізується за принципом очищення ґрунту без екскавації, вона вимагає набагато менше витрат порівняно з інженерними технологіями з екскавцією. Фітомеліорація значно економічніша за фізико-хімічну та хімічну меліорацію, водночас потребує більше витрат, ніж природне очищення забрудненого ґрунту. Однак, для природного очищення ґрунту, забрудненого радіонуклідами, потрібні дуже великі терміни відновлення до рівня екологічної безпеки [31].

Фітомеліоративні властивості рослин добре досліджені. Нікель (Ni) гіперакумулюється у найбільшій кількості таксонів (більше 75%), у той час, як невелика кількість гіперакумуляторів (на сьогодні всього 5 видів) було виявлено для кадмію (Cd), який є одним із найтоксичніших важких металів. Нікель (Ni) також є металом, який, як було доведено, досягає найвищої концентрації у рослині. До рослин, які здатні накопичувати значну кількість важких металів, так званих гіперакумуляторів, близько 25% відносяться до сімейства Brassicaceae і, зокрема, родам *Thlaspi* і *Alyssum*. До них також відноситься найбільша кількість таксонів, що гіперакумулюють нікель. Гіперакумулятори цинку менш численні і включають *Arabidopsis halleri* та види *Thlaspi*, серед Brassicaceae та *Sedum alfredii* (Crassulaceae). *A. halleri* та *S. alfredii*, разом з *Thlaspi caerulescens* та *T. praecox* є чотирма визнаними видами, які, крім цинку, гіпер-акумулюють кадмій. Нещодавно *Solanum nigrum* (Solanaceae) був помічений як п'ятий гіперакумулятор кадмію. Гіперакумулюючі види селену (Se) поширені в родах різних родин, серед яких Fabaceae, Asteraceae, Rubiaceae, Brassicaceae, Scrophulariaceae та Chenopodiaceae. Крім деяких покритонасінних, таких як Brassicaceae

Isatis cappadocica і *Hesperis persica* [32, 33], було виявлено, що ряд папоротей, які належать до роду *Pteris*, гіперакумулюють миш'як (As) [34, 35].

Серед акумулюючих меншою мірою виділяють добре досліджені групи садово-паркових та дикоростучих і сіяних трав. Щодо використання польових культур (за виключенням вирощування на засолених ґрунтах люцерна, сорго та ячменю, як основних опріснювачів [36]), то їх рідко досліджують з точки зору застосування як ремедіантів [37]. Дослідженнями встановлено, що поверхня занедбаних ділянок придатна для розвитку рудеральної та деревно-чагарникової рослинності. При цьому, розвивається переважно зональний тип рослинності притаманний природному середовищу в межах якого розташована ділянка.

Визначимо, що фітомеліоративна ефективність фітоценозів-меліорантів розраховується в балах залежно від проективного вкриття досліджуваної ділянки ценозами. Для оцінки надходження важких металів та радіонуклідів із ґрунту в рослини використовують різні показники. Найчастіше використовуються коефіцієнти переходу (Кп) і навіть коефіцієнти накопичення чи коефіцієнти концентрації (Кн). Коефіцієнт переходу – це відношення вмісту елементів у рослинній масі до поверхневої активності ґрунту. Коефіцієнт накопичення – відношення вмісту елементів у рослинній масі до вмісту їх у ґрунті. Коефіцієнт накопичення різними культурами, наприклад, стронцію (Sr) змінюється від 0,02 до 12, цезію (Cs) - від 0,02 до 1,1 [38].

Іноді використовують коефіцієнт біологічного поглинання, який показує відношення концентрації важких металів у золі рослин до концентрації важких металів у ґрунті. Швидкість міграції важких металів у ланцюзі ґрунт-рослина залежить від вмісту їх ізотопних та неізотопних носіїв. Концентрація неізотопних носіїв у ґрунті значно вища, ніж ізотопних.

Величина накопичення важких металів залежить від таких основних показників: 1) властивостей радіонуклідів та форм знаходження їх у ґрунті;

2) фізико-хімічних параметрів ґрунту; 3) біологічних особливостей рослин; 4) агротехніки; 5) погодно-кліматичних умов.

Надходження та розподіл важких металів по рослині визначається їх властивостями та участю у процесах обміну речовин. З водного розчину іони одновалентних важких металів поглинаються інтенсивніше, ніж іони дво- та тривалентних важких металів. Відомо, що кобальт (Co), рутеній (Ru) та церій (Ce) поглинаються в 10 разів менше, ніж цезій та стронцій. З ґрунтових частинок одновалентні іони поглинаються в незначній кількості, тому що вони міцніше фіксуються. При надходженні з водного розчину коефіцієнт накопичення цезію (Cs) значно вищий, ніж стронцію (Sr). При надходженні з ґрунтово-поглинаючого комплексу коефіцієнт накопичення цезію набагато менший, ніж стронцію. Це пов'язано з міцнішою сорбцією цезію мінеральною частиною ґрунтово-поглинаючого комплексу. У надземну частину рослин іони низьких валентностей переносяться активніше і у більших кількостях, ніж іони високих валентностей, які до 90-99% концентруються у корінні. З цезію і стронцію, що надійшли в корені, залишається 20-40%, а 60-80% переноситься в надземні органи, де вони розподіляються нерівномірно. Виявлено подібність у поглинанні та просуванні по рослині цезію та калію, стронцію та кальцію [39].

Надходження важких металів залежить від часу і форм знаходження в ґрунті, від концентрації доступних форм у шарі, що живе корінь. Якщо, наприклад, з часом зменшується вміст доступних для рослин форм цезію, то і знижується його надходження в рослини.

Серед ґрунтових характеристик найбільший вплив мають гранулометричний та мінералогічний склад, агрохімічні показники ґрунту та режим зволоження ґрунту. Гранулометричний склад впливає на сорбцію важких металів, яка залежить від ступеня дисперсності частинок. Чим більше у ґрунті глинистих частинок, тим міцніше сорбція металів і менше коефіцієнти накопичення їх рослинами. На ґрунтах важкого гранулометричного складу з високим вмістом глини важких металів накопичується в рослинах у менших

кількостях, ніж на ґрунтах легкого складу. Основний вплив на накопичення радіонуклідів надає глиниста фракція, до складу якої входять глинисті мінерали групи монтморилоніту, гідроліт і слюд.

1.3. Біологічні особливості конопель та характеристика системи взаємодії рослина-ґрунт

Для повноти розуміння питання використання конопель посівних, як фітомеліоративної культури, необхідно розглянути їх біологічні та технологічні особливості, охарактеризувати взаємодію рослини з ґрунтом.

Коноплі – висока, пряма, однорічна, трав'яниста рослина родини Конопцеві – Cannabinaceae. Для потреб народного господарства вирощують коноплі звичайні або посівні – *Cannabis sativa* L. [40]. Коноплі звичайні (посівні) – у природі зустрічаються, як однорічна дводомна рослина, що має чоловічі і жіночі екземпляри. Рослини, що мають чоловічі квітки, називають плоскінню, а рослини, що утворюють жіночі квітки і насіння – матіркою. Співвідношення між чоловічими і жіночими рослинами в посівах зазвичай 1:1, проте частка їх в урожаї різна. Матірка забезпечує близько 2/3 загального врожаю волокна. Рослини матірки більш товстостеблеві і високорослі, сильно облиствені, дозрівають пізніше. Рослини плоскі дозрівають раніше за матірку, після цвітіння засихають, що ускладнює процес механізованого збирання. Чоловічі квітки конопель нещільні, сильно розгалужені, тоді як жіночі – щільно сформовані між дрібними листками [41].

З огляду на вище зазначене надзвичайно важливим з технологічної точки зору було створення однодомних конопель, завдяки яким стало можливим одноразове механізоване збирання рослин на волокно й насіння. В Україні роботи в цьому напрямку були розпочаті з 1931 року в Інституті луб'яних культур. Результатом багаторічної праці науковців стало створення однодомної форми конопель і, в подальшому, цілої низки сортів: Глухівські 18,

Глухівські 58, ЮСО-14, ЮСО-31, Глухівські 57, Гляна, Глесія, що забезпечило суттєве підвищення врожаю волокна та насіння з гектара посіву [42].

Однак, впровадження у виробництво однодомних конопель має свої особливості. Маса насіння з однієї рослини визначається наявністю в популяції п'яти статевих типів. Так, матірка однодомних конопель (МОК) формує тільки жіночі квітки, тобто максимальну кількість насіння. Однак, у селекційно відпрацьованих сортів однодомних конопель даний статевий тип відсутній. З п'яти типів у виробництво введені сорти трьох типів. У однодомної фемінізованої матірки (ОФМ) в суцвітті суттєво переважає чисельність жіночих квіток. У сучасних сортів вона реально дає найбільшу масу насіння. Справжні однодомні фемінізовані рослини (СОФР) дають менше насіння, оскільки у суцвітті їх формується приблизно однакова кількість квіток протилежної статі. Однодомна фемінізована плоскінь (ОФП) продукує ще менше насіння у зв'язку з тим, що в суцвітті значно переважає кількість чоловічих квіток. Отже, маса насіння в середньому з однієї рослини в однодомних сортах фемінізованої форми фактично залежить від співвідношення в популяції трьох основних статевих типів – ОФМ, СОФР і ОФП. Таким чином, підвищення насінневої продуктивності можна досягти шляхом створення популяції, яка б містила лише ОФМ. Проте такий підхід може викликати негативні наслідки – нестачу пилку для достатнього запилення жіночих квіток. Тому, актуальними є дослідження з оптимізації співвідношення трьох статевих типів з тим, щоб забезпечити популяцію нормальною кількістю пилку для одержання максимальної маси насіння. На сьогодні це є основним напрямком селекції однодомних рослин конопель [43].

Насіння конопель є не тільки засобом розмноження, а й використовується у технічних, харчових і лікарських цілях. Воно містить близько 36 % олії і 20–25 % рослинного білка. Насіння має округло-яйцеподібну форму, дещо стиснуту з боків або близьку до округлої. Розміри його змінюються у межах

(мм): довжина – від 4,49 до 5,21, ширина – від 3,30 до 4,10 і товщина – від 2,65 до 3,30. Колір насіння визначається за основним фоном забарвлення оболонки і мозаїчним рисунком на загальному фоні та змінюється не лише у межах сортів, а й у межах навіть однієї рослини [44, 45].

Корінь конопель стрижневий із великою кількістю бокових відростків першого й наступних порядків. Характерною особливістю кореневої системи є потужний розвиток не лише центрального та великих бокових, а й численних дрібних бокових коренів, які формуються близько до поверхні ґрунту. Однак, порівняно з надземною масою рослини мають слабку кореневу систему, що обумовлює високу вимогливість рослин до родючості ґрунту й вологозабезпечення [46].

Насіння конопель висівають навесні. Зазвичай воно проростає від 3 до 7 діб за температури від + 1 до 45°C. Нижня межа ефективної температури + 5°C. Проростки витримують понижені температури в межах – 3–5°C упродовж 12–15 діб, а від – 5 до – 10°C – упродовж 5 діб. Паросток конопель виходить із землі у формі гіпокотилля (підсім'ядольне коліно). Сім'ядолі (перші зелені частини) рослини є дещо нерівними за розміром, звуженими до основи, округлими або тупими до кінчиків пластинок. Гіпокотиль конопель – 1–10 см у довжину. На відстані близько 10 см від сім'ядолі розвиваються перші справжні листки. Пара молодих листків, розташованих супротивно, має окремі черешки. Після виходу першої пари справжніх листків конопель починають швидко розвиватися нові, які з'являються переважно також попарно, а іноді по три [47].

Коноплі потребують великої кількості вологи. Транспіраційний коефіцієнт рослин залежно від сорту, удобрення, вологості ґрунту коливається від 497 до 1180. Витрати води на формування одиниці сухої речовини в 3,3 рази більше порівняно з показниками проса і сорго, в 2,4 рази – вівса, в 2,43 – жита, 1,8 – пшениці та ячменю. Вони добре ростуть, розвиваються і формують високі врожаї за умови, коли ґрунт забезпечений вологою на 70–80 % від повної вологоємності [48].

Рослини конопель є досить високими. Як стверджують науковці, у разі вирощування конопель у відкритому сонячному навколишньому середовищі, відповідному ґрунті і достатньому зрошенні, рослина може вирости до 6 м у висоту впродовж 4–6 місяців вегетаційного періоду. Відкриті береги річок, луки, сільськогосподарські угіддя є ідеальним місцем природного проживання конопель, оскільки в таких місцях є постійний доступ до сонячного світла [49].

Коноплі – культура короткого світлового дня, яка характеризується пластичністю і швидким пристосуванням до різних умов вирощування [50].

Якщо рослині достатньо простору для ефективного розвитку, то гілки конопель формуються з бруньок, які розташовані на перетині черешків, а також із головного стебла. Кожна сім'я (жіноча незапилена рослина конопель) у разі достатнього простору для розвитку здатна формувати довгі осеві гілки і велике, проте тонке коріння. За такого розвитку рослина здатна збільшити формування врожаю вдвічі. За сприятливих умов рослини конопель наросшують до 7 см у висоту щодня впродовж довгих літніх днів [51, 52, 53].

Є кілька напрямів використання конопель посівних, а звідси і кілька способів їх вирощування. Однобічне використання спрямоване тільки на одержання волокна (зеленець). При цьому коноплі збирають у період відцвітання чоловічих квіток і на початку дозрівання окремих насінин. У цей період у рослин закінчується фаза вегетативного росту, повністю завершується формування волокна і воно характеризується найвищими споживчими властивостями. Двобічне використання конопель передбачає одержання волокна і насіння. При цьому, збирання конопель посівних проводять у фазі біологічного досягання рослин.

Останнім часом усе ширше застосовують технологію однобічного використання конопель тільки для одержання насіння на товарні цілі. При цьому використовують менші норми висіву насіння, збирання проводять у фазі біологічного досягання рослин зернозбиральними комбайнами, а стебла використовують як побічну продукцію [54].

За вирощування рослин конопель посівних на зеленець застосовують звичайну рядкову сівбу (міжряддя 15 см) з нормою до 5 млн насінин, здатних до проростання (90–100 кг) на гектар. При двобічному використанні на волокно і насіння застосовують також суцільну рядкову сівбу з нормою висіву однодомних конопель до 4 млн (70–80 кг) і дводомних – до 5 млн здатних до проростання насінин (90–100 кг) на гектар. Сівбу конопель для отримання насіння проводять з шириною міжрядь для сортів середньоросійських конопель 45 см, південних – 60–70 см і з нормою висіву 1,5–2,0 млн здатних до проростання насінин (25–35 кг) на гектар [55].

Коноплі посівні витримують умови монокультури. Однак, за сівби їх на одному полі кілька років поспіль рівень урожайності знижується. За вирощування у беззмінній культурі під посів конопель необхідно щорічно вносити високі норми органічних і мінеральних добрив. Як показали дослідження Інституту луб'яних культур НААН, за розміщення конопель у сівозміні під їх сівбу можна застосовувати порівняно менші обсяги добрив і отримувати більш високі врожаї [56].

За даними А. С. Хреннікова, коноплі виносять поживні речовини (N P K) з ґрунту у співвідношенні 100:30:60. В органічних добривах вони традиційно наявні у співвідношенні 100:50:120. Отже, за тривалого застосування органічних добрив під незмінні посіви відбувається недовикористання сполук фосфору і калію у орному шарі ґрунту. Монокультура конопель сприяє також накопиченню збудників хвороб і шкідників [57].

Характеризуючи систему взаємодії рослина – ґрунт слід зазначити, що при вирощуванні конопель на їх врожайність значний вплив мають рельєф та тип угідь. Взаємодія із ґрунтом, як джерелом вологи та поживних речовин визначається високою вимогливістю конопель до цих факторів. Особливо вона виражена у середньоросійських конопель, що мають нетривалий період інтенсивного росту (30–40 днів) і створюють за цей час близько 75 % урожаю стебел. Південні коноплі мають більш тривалий час інтенсивного росту (до 70-

80 днів), більш розвинену кореневу систему і тому рівномірніше використовують вологу та поживні речовини, ніж середньоросійські. Цим і пояснюється здатність конопель південного типу краще за середньоросійський вегетувати на менш родючих ґрунтах, при цьому забезпечуючи отримання достатньо високого урожаю рослинної маси.

Коноплі добре ростуть лише на родючих добре зволжених ґрунтах з нейтральним рН (близько 7), в яких достатньо поживних речовин у легкозасвоюваних формах. Кращим типом ґрунтів для вирощування конопель вважаються чорноземи. Добре ростуть рослини на темно-сірих та світло-сірих лісових землях. Висівають коноплі також на добре заправлених дерново-підзолистих ґрунтах. Досить високі врожаї конопель збирають на наносних заплавних ґрунтах річкових долин і на добре окультурених осушених торфовищах. В значній мірі біологічним особливостям конопель відповідають заплавні угіддя, які зрошуються за розливом річок і удобрюються відкладеннями мулу.

Щодо рельєфу, то найкращими є низинні угіддя з глибиною залягання ґрунтових вод не більше 80-100 см від поверхні ґрунту. Височини є не зовсім сприятливими для культивування рослин через недостатній вміст вологи у ґрунті. Тому, як правило, чим нижча ділянка по рельєфу, тим вищий врожай волокна та насіння отримується. Високі врожаї коноплепродукції одержують також на притерасних заплавах, які багаті, як на поживні речовини, так і на вологу (але, на жаль, такі ділянки часто надмірно зволожені, що унеможливає вчасний, якісний обробіток ґрунту). Не бажано посіви конопель розміщувати на відкритій місцевості, яка характеризується наявністю вітрів та нестачею вологи [44, 48].

РОЗДІЛ 2

МІСЦЕ, УМОВИ ТА МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕНЬ

2.1. Місце та умови проведення досліджень

Метою досліджень було оцінити фітомеліоративний потенціал культури конопель за рахунок вивчення особливостей накопичення та виносу врожаєм шкідливих хімічних елементів з ґрунту.

Польові дослідження проводили у 2015 – 2017 роках в умовах науково-експериментальної бази Інституту луб'яних культур НААН України, який розташований на околиці м. Глухів Сумської області (рис. 1). Місто Глухів знаходиться у північній частині Сумської області на берегах річки Есмань, яка належить до басейну Дніпра. Географічні координати місцевості: 51°39' північної широти і 33°59' східної довготи. Глибина залягання ґрунтових вод досягає 15–18 м.



Рис. 1. – Місце проведення досліджень (Інститут луб'яних культур НААН)

Ґрунт, на якому розміщували досліди – темно-сірий, опідзолений на карбонатних лесовидних суглинках. Ґрунтовий покрив земельних ділянок характеризується слабо кислою реакцією ґрунтового розчину з рН сольової витяжки від 5,5 до 5,1. Уміст гумусу за методом Тюріна у горизонті ґрунту 0 – 20 см складає від 2,18 до 3,46 %. Забезпеченість ґрунтів рухомими формами фосфору є середньою з вмістом P_2O_5 за методом Чірікова з оцтово-кислої витяжки від 54 до 99 мг на 1 кг ґрунту. Уміст обмінного калію за Чіріковим характеризується підвищеним умістом і складає 82–110 мг/кг ґрунту. Забезпеченість 0-20 – сантиметрового горизонту ґрунту легкогідролізованим азотом за методом Корнфілда складає від 56 до 88 мг/кг.

Кількість важких металів, зокрема кадмію (Cd) складає від 0,07 до 0,18 (у середньому 0,12) та свинцю (Pb) – 0,28 – 1,41 (у середньому 0,7 мг на 1 кг ґрунту) і є близькою до природного фону.

Кліматичні умови є одним із вирішальних факторів впливу на рівень врожайності рослин конопель посівних, а отже і винос токсичних елементів з ґрунту врожаєм культури.

Веgetаційний період рослин конопель посівних у зоні проведення досліджень зазвичай триває з травня по вересень. Середня багаторічна температура повітря за цей період складає 15,9 °C, сума активних температур більше 10°C становить 2659°C при 291 мм опадів. Детальна інформація щодо погодніх умов за веgetаційний період рослин конопель посівних у 2015–2017 рр. наведена в таблицях 2.1, 2.2 та 2.3.

Веgetаційний період рослин конопель посівних у 2015 році був у цілому не досить сприятливим для вирощування культури і значно відрізнявся від середніх багаторічних показників. Так, сума активних температур становила 2718°C, що на 59°C, або 2,2 %, більше за середні багаторічні значення на фоні меншого вологозабезпечення рослин на 78 мм, або 27,0 %, відповідно. У травні випала двомісячна норма опадів (131,5 мм), що сприяло отриманню дружніх сходів культури. Подальша ж веgetація ролин проходила в умовах підвищених

температур повітря поряд із значним дефіцитом вологи. Так, за червень – серпень випало усього 74,8 мм опадів, що майже втричі менше за середні багаторічні показники. Наведені екстремальні умови не дозволили рослинам конопель посівних реалізувати генетичний потенціал продуктивності повною мірою, що позначилось на низькій урожайності рослин у дослідях.

Таблиця 2.1. – Метеорологічні умови веgetації рослин конопель посівних (метеостанція м. Глухів, 2015 рік)

Місяць	Декада	Температура, °C	Відносна вологість повітря, %	Опади, мм
2015 рік				
Травень	I	12,6	62	7,3
	II	13,2	59	22,3
	III	19,2	66	101,9
	<i>Всього/сер.</i>	<i>15,1</i>	<i>62</i>	<i>131,5</i>
Червень	I	19,1	58	0,0
	II	18,0	72	15,8
	III	18,2	78	17,2
	<i>Всього/сер.</i>	<i>18,4</i>	<i>69</i>	<i>33,0</i>
Липень	I	21,0	68	10,5
	II	16,5	78	28,0
	III	21,1	71	0,1
	<i>Всього/сер.</i>	<i>19,6</i>	<i>72</i>	<i>38,6</i>
Серпень	I	21,3	61	3,2
	II	19,6	57	0,0
	III	18,6	54	0,0
	<i>Всього/сер.</i>	<i>19,8</i>	<i>57</i>	<i>3,2</i>
Вересень	I	16,8	72	32,8
	II	15,4	65	0,0
	III	17,1	59	3,0
	<i>Всього/сер.</i>	<i>16,5</i>	<i>65</i>	<i>35,8</i>
За період		15,9	65	242,1

Погодні умови веgetації рослин 2016 року виявились умовно сприятливими для культивування *Cannabis sativa* L. і характеризувались

помірним температурним режимом із підвищеним вологозабезпеченням. Так, САТ за травень–вересень становила 2505°C, що на 153,5, або 5,8 %, менше за середню багаторічну на фоні підвищеного режиму зволоження на 79,9 мм. Такі погодні умови сприяли розвитку фітопатогенних інфекцій, особливо на посівах із звичайною рядковою сівбою і на зеленці. У низинах спостерігалось короточасне підтоплення посівів. Водночас, підвищений режим зволоження сприяв інтенсивному нарощуванню вегетативної маси рослин, що позитивно вплинуло на урожайність соломки і насіння конопель посівних.

Таблиця 2.2. – Метеорологічні умови вегетації рослин конопель посівних (метеостанція м. Глухів, 2016 рік)

Місяць	Декада	Температура, °C	Відносна вологість повітря, %	Опади, мм
2016 рік				
Травень	I	13,8	62	9,1
	II	12,8	76	42,3
	III	16,6	80	35,0
	<i>Всього/сер.</i>	<i>14,5</i>	<i>73</i>	<i>86,4</i>
Червень	I	14,9	63	6,8
	II	18,5	78	58,5
	III	21,9	76	54,5
	<i>Всього/сер.</i>	<i>18,4</i>	<i>72</i>	<i>119,8</i>
Липень	I	18,9	71	23,4
	II	22,5	70	70,8
	III	20,9	75	18,8
	<i>Всього/сер.</i>	<i>20,8</i>	<i>72</i>	<i>113,0</i>
Серпень	I	20,9	69	4,0
	II	17,5	79	35,5
	III	20,1	70	8,8
	<i>Всього/сер.</i>	<i>19,5</i>	<i>73</i>	<i>48,3</i>
Вересень	I	16,3	71	0,0
	II	12,1	72	1,2
	III	9,1	78	2,2
	<i>Всього/сер.</i>	<i>12,5</i>	<i>73</i>	<i>3,4</i>
За період		17,4	73	370,9

Вегетаційний період 2017 року відзначався помірним температурним режимом із значним дефіцитом вологи (ГТК за період вегетації 0,87), особливо, у другій половині вегетації. Отже, сума активних температур за травень–вересень становила 2494°C, а опадів випало 216,3 мм (на 74,7 мм менше за середню багаторічну норму). Особливо дефіцит вологи на фоні підвищеного температурного режиму був помітний у липні–серпні, що збіглося з фазами цвітіння–формування насіння у рослин і мало негативний вплив на утворення й запилення генеративних органів культури.

Таблиця 2.3. – Метеорологічні умови вегетації рослин конопель посівних (метеостанція м. Глухів, 2017 рік)

Місяць	Декада	Температура, °C	Відносна вологість повітря, %	Опади, мм
2017 рік				
Травень	I	13,1	54	10,6
	II	10,3	64	16,2
	III	16,4	64	17,1
	<i>Всього/сер.</i>	<i>13,4</i>	<i>60</i>	<i>43,9</i>
Червень	I	15,7	65	11,9
	II	16,8	65	5,0
	III	19,0	69	32,7
	<i>Всього/сер.</i>	<i>17,2</i>	<i>66</i>	<i>49,6</i>
Липень	I	16,4	70	14,4
	II	18,6	74	29,0
	III	20,9	74	21,1
	<i>Всього/сер.</i>	<i>18,7</i>	<i>73</i>	<i>64,5</i>
Серпень	I	22,0	72	15,9
	II	22,9	65	0,0
	III	16,8	71	3,6
	<i>Всього/сер.</i>	<i>20,5</i>	<i>69</i>	<i>19,5</i>
Вересень	I	15,1	83	37,7
	II	17,1	65	0,7
	III	11,7	62	0,4
	<i>Всього/сер.</i>	<i>14,6</i>	<i>70</i>	<i>38,8</i>
За період		16,9	67	216,3

Отже, погодні умови вегетаційного періоду посівів конопель у роки проведення досліджень за ступенем відхилення від середніх багаторічних мали істотні відмінності і характеризувалися як: з вищою сумою температур та меншою кількістю опадів – 2015 рік, з меншою сумою температур і меншою кількістю опадів – 2017 рік та з меншою сумою температур та більшою кількістю опадів – 2016 рік. Такі умови в значній мірі впливали на особливості росту й розвитку рослин конопель посівних і, як наслідок, на величину врожаю і винис шкідливих елементів із ґрунту.

2.2. Методика та об'єкти досліджень

Досягнення поставленої мети дослідження і вирішення науково-практичних завдань здійснювали шляхом виконання багатоваріантних польових та лабораторних модельних дослідів, які супроводжували спостереженнями, обліками та аналізом відповідно до загальноприйнятих методик і техніки закладання польових дослідів [60].

Польові дослідження проводили за такою схемою:

Фактор А – сорти: 1) Гляня; 2) Глесія.

Фактор Б – схеми висіву: 1) суцільного висіву (міжряддя 15 см із нормою висіву 2,0 млн шт/га) ; 2) просапна (міжряддя 45 см із нормою висіву 0,5 млн шт/га).

Фактор В – фаза збирання: 1) технічна стиглість; 2) біологічна стиглість.

Польові й лабораторні дослідження можливостей різних сортів конопель посівних засвоювати і накопичувати у стеблах та плодах важкі метали, які наявні у ґрунті, проводили за відповідними методиками [61,62,63].

Загальна площа посівної ділянки становила 20 м², облікової – 6 м², повторність – триразова, розміщення ділянок – систематичне (рис. 2).



Рис. 2. – Дослідна ділянка

Перед початком вирощування посівів конопель посівних на ділянках були відібрані проби ґрунту з орного шару глибиною 0–20 см. Зразки стебел

конопель посівних для проведення аналізів на вміст у них важких металів відбирали, відповідно, у фазу технічної і біологічної стиглості рослин культури.

Фенологічні спостереження за фазами росту й розвитку рослин, динаміку накопичення вегетативної маси, структуру репродуктивних органів та оцінку урожайності виконували за «Методикою государственного сортоиспытания сельскохозяйственных культур» [64] та «Методикою проведення експертизи сортів конопель (*Cannabis sativa* L.) на ВОС» [65]. У дослідях проводили обліки урожайності соломи в фазі технічної та біологічної стиглості та урожайності насіння у фазі біологічної стиглості.

Аналіз вмісту неорганічних елементів у ґрунті, насінні та стеблах конопель проводили в Інституті фізіології та генетики НАН України методом ICP-MS на емісійному мас-спектрометрі Agilent 7700x (рис. 3).

Зразки висушували до сухої маси і озолювали в азотній кислоті за допомогою мікрохвильової пробопідготовки Milestone Start D. Отриманий екстракт доводили до 50 мл водою I-го класу (18 Мом), підготовленою на системі очищення води Scholar-UV NexUp 1000 (Human Corporation, Корея).



Рис. 3. – Емісійний мас-спектрометр Agilent 7700x

В якості калібрувальних стандартів використовували ICP-MS Complete Standard IV-ICPMS-71A (Inorganic Ventures, USA). Налаштування мас-спектрометра наведено у таблиці 2.4.

Таблиця 2.4. – Основні налаштування мас-спектрометра Agilent 7700x для аналізу неорганічних елементів у коноплях посівних

Показник	Параметри	Значення
Живлення	Потужність генератора, W	1550
Налаштування аргонної плазми	Потік газу-носія, л/хв	15,5
	Потік гелію, л/хв	0,1
Автоналаштування	CeO ⁺ /Ce ⁺ (%)	1,114
	Ce ⁺ /Ce ⁺ (%)	1,867
	Чутливість, імпульсів за секунду до мг/л (CPS/ppb)	Li (62700), Y (92920), Tl (87080)

В аргонній плазмі окремі елементи можуть утворювати хибні піки. Наприклад, рівні за масою CaO⁵⁶ та Fe⁵⁶, чи ArN або ArO з іншими ізотопами заліза. ArNH та KO можуть маскувати Mn, а Ba⁺⁺ – Zn. Усі 6 ізотопів кальцію (Ca) можуть взаємодіяти з киснем (O), воднем (H) та аргонном (Ar), що призводить до неточностей у визначенні міді (Cu), заліза (Fe), скандію (Sc), селену (Se). Визначення більшості ізотопів селену перешкоджає ізобаричне перекриття криптану (Kr) або германію (Ge) (маси 74, 76, 78, 80 і 82), чи багатоатомних інтерференцій, головним чином, Ar₂ щодо мас 76, 78, 80. Хоча мідь добре іонізує в аргонній плазмі (90%), визначення ізотопу ⁶³Cu ускладнюється взаємодією NaAr та видами фосфору (P), а ⁶⁵Cu перекривається SO₂/SO₂H; також ізотопи міді інтерферують з оксидами кальцію та титану. Тому визначення складу неорганічних елементів проводили у режимі продувки гелієм, що ефективно видаляє згадані матричні та елементні інтерференції.

В якості внутрішнього стандарту використовували 1 ppb розчин Sc фірми Inorganic Ventures, USA. Обробку результатів проводили в програмному

забезпеченні ICP-MS MassHunter Software. Отримані цифрові матеріали опрацьовували статистично за допомогою програми Excel [60].

Дослідження проводили на однодомних сортах конопель посівних селекції Інституту луб'яних культур НААН, які повністю відповідають сучасним вимогам безнаркотичності й продуктивності (табл. 2.5).

Таблиця 2.5. – Характеристика досліджуваних сортів
(за даними Державного Інституту експертизи сортів рослин України)

Назва сорту	Вегетаційний період, діб	Висота рослин, см	Урожайність стебел, т/га	Урожайність насіння, т/га
Гляна	120	231	6,4	1,6
Глесія	118	263	7,9	2,1

Сорт-стандарт Гляна створений із сорту ЮСО-31 методом багаторазового родинно-групового добору із застосуванням методу половинок у напрямку підвищення стабільності популяції в ознаці статі, високих показників продуктивності, мінімального вмісту канабіноїдних сполук. Висота рослин на кінець вегетаційного періоду – до 2,5 м. Суцвіття за формою ромбічне. Тривалість періоду вегетації близько 120 діб. Урожайність стебел – 6,4 т/га, насіння – 1,6 т/га. Вміст волокна усього – 32,7 %. Рік реєстрації 2008.

Сорт Глесія створений відбором рослин конопель із сорту Глера у напрямку підвищення насінневої продуктивності. Висота рослин на кінець вегетаційного періоду – до 2,6 м. Урожайність насіння 2,1 т/га, стебел (за посіву на зеленець) 7,9 т/га, волокна (за посіву на зеленець) 2,5 т/га (вміст 31,6 %). Вегетаційний період 118 діб. ТГК – відсутній. Рік реєстрації 2016.

РОЗДІЛ 3 ТРАНСЛОКАЦІЯ ПОТЕНЦІЙНО ТОКСИЧНИХ ЕЛЕМЕНТІВ ІЗ ГРУНТУ ДО РОСЛИН КОНОПЕЛЬ

Фітомеліорація передбачає здатність конкретних видів рослин покращувати якісні показники ґрунтів, на яких вони вегетують. Згідно методики відбір зразків ґрунту з орного шару на ділянках закладки дослідів проводили перед сівбою культури. Відбір зразків частин рослин (стебла, плоди) проводили в період настання їх технічної та біологічної стиглості згідно до схеми дослідів.

У дослідженнях важливо було встановити вплив такого агрозаходу, як ширина міжрядь на здатність рослин конопель різних сортів засвоювати з ґрунтового вбирного комплексу сполуки важких металів.

Оскільки посіви конопель посівних у дослідів були з різною шириною міжрядь – 45 і 15 см, то рослини культури у процесі їх вегетації мали різні рівні світлового (енергетичного) забезпечення і можливості синтезувати в процесі фотосинтезу органічні речовини та молекули АТФ. Особливості рівнів освітленості листків рослин культури суттєво впливали на здатність корневих систем засвоювати з ґрунту сполуки мінерального живлення, насамперед аніони макроелементів: NO₃, PO₄, та ін. Такий вплив проявляється передусім на засвоєнні іонів, що надходять до цитоплазми корневих волосків із ґрунтового вбирного комплексу шляхом активного мембранного переносу, тобто з витратою клітинами енергії з молекул АТФ. В таких умовах росту й розвитку рослини у різній мірі засвоювали з орного шару сполуки важких металів, транслюкували їх і накопичували у надземних частинах.

Для зручності проведення аналізу наявності 42 хімічних елементів та їх сполук в об'єктах досліджень було здійснено їх оцінку відповідно до хімічної систематики за періодичною таблицею хімічних елементів.

Порівняння отриманих результатів аналізів наявності важких металів у тканинах стебел рослин культури виявило неоднозначність інтенсивності надходження таких сполук і їх накопичення у тканинах, як за роками досліджень, так і фазами органогенезу та рівнем освітленості у процесі вегетації.

Визначаючи вміст важких металів у ґрунті і транслокацію їх у процесі вегетації у частини рослин конопель посівних, необхідно відмітити, що раціональна констатація кількісного показника акумуляції хімічних елементів може бути лише за наявності їх гранично допустимих концентрацій (ГДК). Щодо ґрунтів, то показники ГДК речовин, що їх забруднюють, є досить складними і неоднозначними. З одного боку, ґрунтовий покрив – це складний фізико-хімічний і біологічний комплекс, середовище, набагато менш рухливе та набагато складніше порівняно з поверхневими водами і атмосферою, та акумуляція хімічних сполук, які надходять у ґрунт, може відбуватися в результаті дії фізико-хімічних механізмів взаємодії і впродовж тривалого часу, поступово наближаючись до гранично допустимих концентрацій [66].

Активне мікробіологічне життя ґрунту і фізико-хімічні процеси адсорбції, процеси вилугування, реакції обміну і т. ін., які відбуваються в ньому, сприяють трансформації сторонніх речовин, що надходять у ґрунт, причому напрям і глибину цього процесу визначає багато чинників. У деяких випадках руйнування забруднювальних речовин та їхня міграція такі малі, що ними можна знехтувати. У іншому разі результати перебігу процесів деградації та міграції сторонніх хімічних сполук у ґрунті порівняно з темпами їх надходження і межа накопичення у ґрунті зумовлюються рівновагою між процесом надходження речовин забруднення та їхнім видаленням шляхом руйнування або міграції. Отже, ГДК речовин забруднення у ґрунтах визначають не тільки за їхньою хімічною природою і токсичністю, а й за властивостями самих ґрунтів відповідно до географічного закону системності.

На відміну від повітря і води, ґрунти зонально-генетичного ряду настільки відрізняються один від одного за хімічним складом, рівнем рН середовища та іншими властивостями, що для них не можуть бути встановлені уніфіковані рівні ГДК відповідно до закону географічної локальності. Такі рівні насамперед мають залежати від конкретних умов: біокліматичних особливостей природної зони, властивостей ґрунту, культур рослин, які вирощують, системи застосування добрив, хімічної природи сполук, рівня їх розчинності і переходу в ґрунтовий поглинальний комплекс, агротехніки, тощо. Від інших компонентів ландшафтної сфери ґрунт відрізняється ще й тим, що забруднювальні речовини надходять до нього не тільки з атмосферними опадами, поливними водами, у складі баластових речовин і різних відходів, а й можуть бути внесені свідомо як мікродобрива. Тут проявляються антропогенні впливи [67]. Систематичне внесення мінеральних добрив і хімічних меліорантів, які використовують з метою підвищення рівня родючості ґрунтів, неминуче пов'язане із внесенням у ґрунт забруднювальних речовин, які здатні проявляти токсичний вплив на рослини, тварин і людей.

Головні хімічні сполуки, що є в ґрунті, надходять в організм через інші субстрати, які контактують із ґрунтом – воду, повітря, рослини. Тому важливе вивчення вмісту хімічних елементів і їх сполук, які можуть мігрувати в атмосферу, ґрунті або поверхневі води чи накопичуватися в рослинах. Природно, що в результаті таких транслокацій хімічних елементів знижується якість сільськогосподарської продукції, яку вирощують [68]. Міністерством Охорони здоров'я України затверджено показники ГДК для багатьох важких металів, проте не всіх, які були визначені в результаті проведених аналізів у дослідках [69]. Тому визначення рівня їх шкідливого впливу на біологічні об'єкти за кількісним показником вмісту в ґрунті ділянок, де проводили дослідження, не є можливим.

Метою проведених у 2015–2017 роках польових і лабораторних досліджень було оцінити фітомеліоративний потенціал культури конопель за

рахунок вивчення особливостей накопичення та виносу врожаєм шкідливих хімічних елементів з ґрунту. Очікуваним результатом було встановлення основних параметрів ремедіаційного потенціалу культури конопель.

3.1. Вміст лужноземельних металів у ґрунті та характер їх акумуляції рослинами конопель

Представниками групи хімічних елементів лужноземельних металів, які вивчали, були: стронцій (Sr), барій (Ba), берилій (Be), кальцій (Ca) і магній (Mg). Як показали результати лабораторних аналізів, їх наявність в орному шарі ґрунту, де проводили дослідження, дуже різнилась кількісно, як і характер їх акумуляції до надземних частин рослин конопель за різних варіантів досліджень (табл. 3.1).

**Таблиця 3.1. – Вміст лужноземельних металів у ґрунті, мг/кг
(середнє за 2015 – 2017 рр.)**

Елемент	Сорт, стиглість, міжряддя			
	Гляна			
	технічна		біологічна	
	45 см	15 см	45 см	15 см
Sr	44,477±0,003	50,078±0,006	47,246±0,003	47,492±0,003
Ba	95,262±0,005	100,053±0,003	93,335±0,006	100,51±0,005
Be	0,496±0,006	0,510±0,003	0,501±0,006	0,489±0,001
Ca	355,814±0,003	394,883±0,003	340,20±0,001	351,02±0,001
Mg	2397,69±0,006	2461,15±0,002	2489,16±0,00	2350,3±0,004
	Глесія			
	технічна		біологічна	
	45 см	15 см	45 см	15 см
Sr	43,133±0,002	43,583±0,010	49,487±0,009	45,435±0,006
Ba	84,005±0,003	94,649±0,011	99,430±0,003	97,494±0,004
Be	0,429±0,003	0,430±0,004	0,481±0,003	0,485±0,007
Ca	366,396±0,001	389,579±0,002	406,08±0,005	393,33±0,003
Mg	2265,03±0,003	2402,73±0,006	2497,5±0,005	2362,46±0,00

Результати досліджень у середньому за три роки показали, що наявність сполук стронцію (Sr) в ґрунті на ділянках проведення досліджень суттєва – 46,4 мг/кг (середнє значення на ділянках усіх варіантів досліджень). Тому дослідження особливостей акумуляції рослинами конопель посівних сполук цього елементу і можливість відпрацювання ефективних агротехнічних заходів, що визначають інтенсивність його акумуляції у біологічній сировині, є актуальними.

Аналіз вмісту стронцію (Sr) у тканинах стебел конопель показав, що у всіх варіантах досліді рослини сорту Глесія накопичували його значно менше порівняно з рослинами сорту Гляна (табл. 3.2).

Таблиця 3.2. – Акумуляції лужноземельних металів в стеблах рослин конопель, мг/кг (середнє за 2015 – 2017 рр.)

Елемент	Сорт, стиглість, міжряддя			
	Гляна			
	технічна		біологічна	
	45 см	15 см	45 см	15 см
Sr	31,624±0,005	34,443±0,009	33,733±0,012	28,304±0,006
Ba	9,666±0,004	11,630±0,006	12,815±0,008	7,962±0,002
Be	<0.00	<0.00	<0.00	<0.00
Ca	438,469±0,003	477,19±0,002	448,238±0,003	431,99±0,014
Mg	750,335±0,002	741,52±0,004	619,342±0,010	659,09±0,013
	Глесія			
	технічна		біологічна	
	45 см	15 см	45 см	15 см
Sr	26,283±0,001	22,843±0,006	24,104±0,010	27,599±0,004
Ba	7,690±0,003	7,638±0,004	5,860±0,003	7,454±0,004
Be	<0.00	<0.00	<0.00	<0.00
Ca	397,333±0,003	355,04±0,002	381,894±0,003	409,28±0,004
Mg	756,746±0,004	764,14±0,002	509,961±0,002	463,49±0,002

Аналіз результатів трирічних досліджень показав, що рослини конопель посівних акумуляують в насінні сполуки стронцію (Sr) та його молекули

набагато менше порівняно з тканинами стебел у всіх варіантах дослідів. Так, у рослин сорту Гляна на 31 % при міжрядді 45 см та 34 % при міжрядді 15 см, відповідно, у рослин сорту Глесія – на 34 % та 33 % менше.

Суттєвий вплив на інтенсивність акумуляції сполук цього хімічного елемента мають умови вегетації рослин культури, насамперед рівень їх освітленості (світловий режим посівів). У фазу технічної стиглості рослин конопель посівних у посівах із міжряддям шириною 45 см ця різниця становила 5,34 мг/кг або 83 %; з міжряддям 15 см – 11,6 мг/кг або 66 %. У фазу біологічної стиглості у посівах із міжряддям 45 см ця різниця становила 9,63 мг/кг або 71 %, з міжряддям 15 см – 0,7 мг/кг або 97 %, відповідно.

Транслокація і концентрація стронцію (Sr) і його сполук до насіння конопель мали дещо іншу тенденцію (табл. 3.3).

Таблиця 3.3. – Акумуляції лужноземельних металів в насінні рослин конопель (біологічна стиглість), мг/кг (середнє за 2015 – 2017 рр.)

Елемент	Сорт, міжряддя			
	Гляна		Глесія	
	45 см	15 см	45 см	15 см
Sr	10,567±0,007	9,5046±0,004	8,1029±0,005	9,0714±0,006
Ba	2,175±0,002	1,786±0,005	1,450±0,004	1,725±0,004
Be	<0.00	<0.00	<0.00	<0.00
Ca	179,6±0,002	150,2±0,003	162,1±0,004	151,5±0,003
Mg	3758,4±0,005	3242,9±0,004	3345,6±0,006	3376,3±0,005

Так, у насінні рослин сорту Гляна вміст стронцію (Sr) у фазу біологічної стиглості при схемі висіву 45 см перевищував рівень акумуляції посіву із міжряддям 15 см на 10,1 %. Насіння сорту Глесія висіяне за схемою 45 см перевищувало концентрацію вмісту сполук стронцію (Sr) у насінні рядових посів на 12,0 %. Сорт Гляна за схемою 45 см на 23,3 % перевищував аналогічний варіант сорту Глесія. А от посіви різних сортів за схемою висіву 15 см різнилися лише на 4,6 % з перевагою сорту Гляна. Таким чином, необхідно

відмітити, що насіння рослин конопель посівних сорту Гляна акумулювало у своїх тканинах більше сполук стронцію (Sr) порівняно з показниками концентрації у насінні сорту Глесія.

Так, на величину показників акумуляції стронцію (Sr) рослинами конопель посівних суттєво впливали: концентрація сполук цього елемента в орному шарі ґрунту, рівень енергетичного (світлового) забезпечення рослин культури у процесі вегетації, сортові особливості, етапи органогенезу рослин культури і специфіка концентрації його сполук у надземних частинах: стеблах та насінні.

Отже, за результатами трирічних досліджень можна стверджувати, що за допомогою відповідної сортової агротехніки вирощування можна суттєво впливати на інтенсивність процесів накопичення такого хімічного елемента, як стронцій (Sr), рослинами конопель посівних.

Наступним хімічним елементом, який належить до лужноземельних металів є барій (Ba). Барій (Ba), що вивільняється в результаті вивітрювання, малорухомий, оскільки легко осідає у формі сульфатних і карбонатних солей, легко адсорбується глинами і концентрується в мінералах і конкреціях, що містять марганець і фосфор. Концентрації барію (Ba) у верхньому шарі ґрунтів і материнських породах мають подібні межі коливань. За наявними світовими даними, у ґрунтах загалом вміст барію (Ba) становить 19–2368 мг/кг (середнє за типами ґрунтів від 84 до 838 мг/кг), для ґрунтів США – від 10 до 3000 мг/кг (середнє від 265 до 835 мг/кг). Для умов України межі коливань вмісту барію (Ba) у поверхневому шарі ґрунтів: для підзолистих і піщаних – 180–260 мг/кг, для чорноземів – 475–620 мг/кг [70].

За результатами трирічних досліджень вміст барію (Ba) у ґрунті ділянок, де вирощували коноплі посівні, коливався від 84,005 мг/кг до 100,51 мг/кг, що значно менше порівняно із зазначеними величинами у спеціальній літературі.

До рослини конопель посівних його транслокація відбувалася в незначній кількості. Найменше барій (Ba) та його сполуки акумулювалися в насінні

конопель. За варіантами дослідів у фазу біологічної стиглості вміст хімічного елемента у рослинах, що вегетували в широкорядних (міжряддя 45 см) посівах сорту Гляна становив 2,3 % від загальної його кількості у ґрунті, а у рослин культури, що вегетували у рядкових (міжряддя 15 см) – 1,8 %. Насіння рослин сорту Глесія акумулювало порівняно з величиною вмісту у ґрунті, за варіантами дослідів, такий відсоток барію (Ba) та його сполук: 1,5 %; 1,8 %.

Тканини стебел рослин конопель посівних акумулювали більший відсоток сполук барію (Ba) порівняно з насінням. Так, тканини стебел рослин сорту Гляна за варіантами дослідів транслювали сполуки барію (Ba) з ґрунту в обсягах, розміщених у такій послідовності: 10,1 %; 11,6 %; 13,7 %; 7,9 % (технічна стиглість 45 см і 15 см; біологічна стиглість 45 см і 15 см), відповідно. Вміст барію (Ba) та його сполук у стеблах рослин сорту Глесія за варіантами дослідів становив: 9,2 %; 8,1 %; 5,9 %; 7,6 % порівняно до вмісту в ґрунті, відповідно.

Якщо різниця показників акумуляції сполук барію (Ba) у насінні конопель посівних між сортами була несуттєвою або взагалі відсутньою, то у тканинах стебел культури вона була досить значною – рослини сорту Гляна накопичували сполук такого хімічного елемента значно більше порівняно з величиною накопичення стеблами рослин сорту Глесія.

Така залежність свідчить про реальну можливість за допомогою сортової агротехніки контролювати інтенсивність надходження і величину концентрації сполук барію (Ba) у рослинах конопель посівних. Це дуже важливо для реального отримання необхідної екологічно чистої рослинної продукції, оскільки вміст сполук барію (Ba) перевищував у всіх варіантах дослідів гранично допустимий коефіцієнт, визначений і встановлений для біосировини, норма якого становить 0,7 мг/кг.

Аналіз характеру транслюкації двох елементів, які належать до однієї хімічної групи – лужноземельні, дає цікаві результати таких дослідів. Різниця вмісту сполук стронцію (Sr) і барію (Ba) у ґрунті в місцях закладки

дослідів була суттєвою, у середньому вона становила 49,2 мг/кг на користь барію (Ba). Проте акумуляція їх у частинах рослин конопель була пропорційно протилежною.

У середньому за роками дослідів саме стронцій (Sr) та його сполуки за схемою варіантів дослідів транслювалися до надземних частин рослин конопель в набагато більшій кількості порівняно з барієм (Ba). Так, насіння сорту Гляна за варіантами дослідів накопичувало стронцію (Sr) та його сполук більше за барій (Ba): схема 45 см у 8,4 раз; схема 15 см - 7,7 раз. У насінні сорту Глесія за варіантами дослідів рослини культури накопичували стронцію (Sr) та його сполук більше за барій (Ba): у 6,7 та 7,3 разів, відповідно. Щодо акумуляції цих елементів і їх сполук тканинами стебел, то рослини сорту Гляна в середньому за варіантами дослідів накопичували стронцію (Sr) та його сполук більше за барій (Ba) у 21,5 раз, тоді як рослини сорту Глесія – у 18,0 разів.

Отже, результати дослідів свідчать про те, що транслюкація таких представників лужноземельних металів, як стронцій (Sr) і барій (Ba) до частин рослин конопель не залежить від величини вмісту їх у ґрунті.

До лужноземельних металів відносять і такий хімічний елемент, як берилій (Be). Його вміст у ґрунті ділянок проведення дослідів був незначним. У середньому за роками дослідів на всіх варіантах дослідів його вміст був від 0,429 мг/кг до 0,51 мг/кг. Проте ця кількість значно завищена і перевищувала гранично допустимий коефіцієнт у рослинній продукції, який встановлений для берилію у кількості 0,0002 мг/кг. Такий низький чисельний коефіцієнт встановлений для берилію (Be) через високу його токсичність для тварин і людини. За літературними джерелами, він є сильним інгібітором деяких ферментів, а підвищені концентрації берилію (Be) у навколишньому середовищі можуть викликати ракові захворювання у людини [71].

Є наукові припущення, що розчинний берилій (Be), який міститься у ґрунтах, легко поглинається рослинами, в яких у природних умовах концентрація змінюється в широких межах – від 0,001 до 0,4 мг/кг або від 2 до

100 мг/кг. Особливо високий його вміст (до 250 мг/кг) встановлений для рослини-концентратора берилію (Be) – *Vaccinium myrtillus*. Серед інших накопичувачів цього елемента відзначаються деякі представники родин бобових і хрестоцвітих, особливо тканини їх коренів. Підвищені кількості берилію (Be) виявлені в листках салату (0,033 мг/кг) і плодах томатів (0,24 мг/кг). Берилій (Be) накопичується в лишайниках і мохах (0,04–0,9 мг/кг) [72, 73]. За даними А. Кабата-Пендіас [74], берилій (Be) токсичний для рослин. Його вміст 2–16 мг/кг у розчині отруйний для рослин. Він гальмує проростання насіння і засвоєння сполук кальцію (Ca), магнію (Mg) і фосфору (P) кореневою системою, руйнує протеїни та ензими.

Результати проведених досліджень показали, що рослини конопель посівних не акумулюють берилій (Be) у своїх тканинах. У насінні та стеблах рослин конопель посівних цей хімічний елемент був наближений до величини, яка менша від порогу чутливості аналітичних приладів [75].

У лабораторних дослідженнях були отримані результати з таких лужноземельних металів, як кальцій (Ca) і магній (Mg), що належать до макроелементів. Їх вміст у ґрунті та в рослинах суттєво залежить від внесення органічних і неорганічних добрив. Проте деякі закономірності акумуляції їх сполук у частинах рослин конопель посівних необхідно відмітити.

У середньому за роки досліджень вміст магнію (Mg) у ґрунті було зафіксовано 2403,3 мг/кг. Результати лабораторного аналізу показали, що рослини в насінні конопель акумулюють більшу кількість магнію (Mg) порівняно з ґрунтом у середньому за варіантами дослідів на 930,16 мг/кг, тоді як у тканинах стебел його значно менше, у середньому по досліді на 1745,2 мг/кг.

Проте показники накопичення у насінні конопель посівних сполук магнію (Mg), що було сформоване на рослинах різних сортів, не виявляло чітких закономірностей.

У насінні рослин культури сорту Гляна, що вегетували з шириною міжрядь 45 см, величина накопичення сполук магнію (Mg) була 3758,4 мг/кг

(100%) за повної стиглості. Насіння з рослин того ж сорту, що вегетували з шириною міжрядь 15 см, містили, відповідно, 3242,9 або 86,3 %. Тобто, рівень освітленості рослин впливав на величину накопичення сполук магнію (Mg) у насінні. Проте, у насінні рослин сорту Глесія вміст сполук магнію (Mg), що вегетували з шириною міжрядь 15 см, за біологічної стиглості досягав 3376,6 мг/кг або на 100,9 % перевищував аналогічні показники у насінні рослин культури, що вегетували у посівах з шириною міжрядь 45 см. Відповідно, провідним фактором впливу на процеси накопичення сполук магнію (Mg) був не рівень освітленості у процесі вегетації, а сортові особливості рослин конопель посівних.

Сполуки магнію (Mg) у стеблах рослин культури на час їх технічної стиглості не виявляли чіткої тенденції змін концентрації в тканинах залежно від рівня освітленості і сортових особливостей. Якщо у рослин сорту Гляна у посівах з міжряддями 45 см концентрація сполук магнію (Mg) була 750,335 мг/кг, то з міжряддями 15 см – 741,52 або 98,8 % від попередньої.

Показники концентрації сполук магнію (Mg) у рослин сорту Глесія з міжряддями 45 см були 756,746 мг/кг, а у рослин, що вегетували з шириною міжрядь 15 см – 764,14 або 101,0 %. Тобто, стійкої залежності змін концентрації зафіксовано не було. У рослин сорту Гляна, що вегетували з шириною міжрядь 15 см, накопичення сполук магнію (Mg) за біологічної стиглості досягало 659,09 мг/кг або порівняно з рослинами того ж сорту, що вегетували з шириною міжрядь 45 см і мали кращий рівень освітленості, така величина становила 106,4 %.

Реакція рослин конопель посівних сорту Глесія у фазу біологічної стиглості була іншою. Рослини, що вегетували з кращим рівнем освітлення (ширина міжрядь 45 см), накопичували сполук магнію (Mg) у тканинах стебел 509,961 мг/кг, а рослини з міжряддями 15 см лише 90,9 % від цієї величини. Тобто, величина і тенденції зміни величини накопичення залежали насамперед від специфіки реакції рослин відповідних сортів.

Що стосується кальцію (Ca) та його сполук, то в кількісному вираженні за роками досліджень у ґрунті його було набагато менше за магній (Mg). У середньому за роками досліджень цей коефіцієнт становив 374,66 мг/кг, що на 2028,59 мг/кг менше порівняно з магнієм (Mg). Проте характер акумуляції його в частинах рослин конопель посівних був протилежний магнію (Mg). Якщо порівняно з магнієм (Mg) насіння акумулювало кальцію (Ca) менше за вміст у ґрунті (у середньому в досліді на 178,74 мг/кг), то тканини стебел накопили його значно більшу кількість, яка була наявна в ґрунті, проте не на всіх варіантах досліді.

У досліді з накопиченням кальцію (Ca) у рослинах конопель посівних чітко простежується сортова залежність. Рослини сорту Гляна акумулювали у тканинах стебел кальцію (Ca) та його сполук за варіантами досліді на 82,66 мг/кг більше порівняно з наявністю у ґрунті за технічної стиглості в широкорядних посівах (варіант *а*, ширина міжряддя 45 см), за біологічної стиглості на цих самих посівах (варіант *в*) – 108,0, на рядкових (варіант *б*, *г* – ширина міжряддя 15 см) – 82,31 і 80,97 мг/кг, відповідно.

Рослини сорту Глесія акумулювали у тканинах стебел набагато менше сполук кальцію (Ca) за варіантами досліді порівняно з показниками рослин попереднього сорту, а саме: на варіантах *а* і *г* на 30,94 і 15,95 мг/кг більше за наявності у ґрунті і на варіантах *б* і *в* на 34,54 і 24,19 мг/кг менше за величину наявності у ґрунті. Отже, розробляючи елементи сучасної технології для вирощування конопель посівних, необхідно враховувати сортові особливості рослин культури у здатності поглинати та акумулювати відповідні хімічні елементи та їх сполуки.

За роками досліджень (вирощування рослин конопель на одному полі) найбільше представників лужноземельних металів у ґрунті було в перший рік проведення досліді – 2015 р., тому і величина їх концентрації в рослинах теж у цей період була найвищою. Результати лабораторних аналізів показали значне

зниження цієї концентрації, як у зразках ґрунту, так і надходження цього елементу до рослин культури в наступні роки досліджень.

Найменший вміст усіх представників лужноземельних металів, які були у досліді зафіксовано в останній рік досліджень – 2017, що беззаперечно засвідчує властивість рослин конопель посівних очищати ґрунт, транслюючи сполуки стронцію до органів рослин.

3.2. Особливості накопичення в рослинах конопель хімічних елементів лантаноїдної групи

Вміст хімічних елементів лантаноїдної групи у ґрунті дослідних ділянок наведено у таблиці 3.4.

Розглянемо детальніше властивості названих хімічних елементів, оскільки всі вони були наявні у ґрунті ділянок проведення досліджень і по-різному акумулювалися частинами рослини конопель посівних.

Вміст у насінні конопель посівних таких неорганічних елементів, як празеодим (Pr), самарій (Sm), гадоліній (Gd), диспрозій (Dy), гольмій (Ho), ербій (Er), тулій (Tm), ітербій (Yb), лютецій (Lu), торій (Th), уран (U), був наближений до величини, яка менша від порогу чутливості аналітичних приладів.

Щодо накопичення зазначених елементів у тканинах стебел, то за виключенням празеодиму (Pr), гадолінію (Gd) і торію (Th), їх рівень також був меншим від порогу чутливості. Також не визначили в стеблах наявність селену (Se), який накопичувався у насінні.

У цілому ж результати аналізу хімічних елементів і їх сполук, які за хімічними характеристиками належать до лантаноїдів, були досить відмінними від показників їх наявності у ґрунті проведення досліджень та акумуляції в тканинах рослин конопель посівних (табл. 3.5, 3.6).

Вміст празеодиму (Pr) і гадолінію (Gd) та їх сполук, які належать до однієї хімічної групи, у ґрунті ділянок проведення досліджень був суттєвий і майже однорідний за кількісною величиною.

Таблиця 3.4. – Вміст хімічних елементів лантаноїдної групи у ґрунті, мг/кг (середнє за 2015 – 2017 рр.)

Елемент	Сорт, стиглість, міжряддя			
	Гляна			
	технічна		біологічна	
	45 см	15 см	45 см	15 см
Pr	4,629±0,003	5,152±0,000	4,888±0,007	5,462±0,004
Gd	4,699±0,001	5,291±0,004	5,020±0,004	5,233±0,006
Sm	3,242±0,002	3,561±0,006	3,273±0,003	3,615±0,004
Dy	1,984±0,004	2,204±0,006	2,078±0,003	2,227±0,001
Nd	17,847±0,002	19,215±0,004	18,348±0,004	19,849±0,004
Eu	0,685±0,003	0,758±0,005	0,710±0,002	0,741±0,003
Ce	40,311±0,007	44,843±0,001	41,879±0,006	46,242±0,002
Er	0,967±0,001	1,044±0,004	1,008±0,003	1,101±0,003
Ho	0,347±0,002	0,377±0,002	0,363±0,003	0,396±0,001
Lu	0,113±0,002	0,116±0,002	0,113±0,001	0,120±0,001
Yb	0,787±0,003	0,820±0,008	0,804±0,004	0,840±0,002
Tm	0,123±0,001	0,125±0,006	0,123±0,005	0,132±0,005
	Глесія			
	технічна		біологічна	
	45 см	15 см	45 см	15 см
Pr	4,910±0,004	5,151±0,013	5,281±0,003	4,998±0,004
Gd	4,796±0,004	5,113±0,009	5,370±0,002	4,972±0,003
Sm	3,297±0,006	3,635±0,011	3,680±0,002	3,387±0,003
Dy	1,984±0,006	2,151±0,007	2,243±0,003	2,160±0,003
Nd	18,311±0,006	19,195±0,010	19,427±0,003	18,832±0,004
Eu	0,678±0,003	0,718±0,008	0,765±0,002	0,718±0,004
Ce	41,723±0,004	44,328±0,011	46,183±0,003	43,949±0,008
Er	0,927±0,006	1,046±0,010	1,128±0,004	1,079±0,007
Ho	0,335±0,006	0,377±0,008	0,393±0,003	0,384±0,004
Lu	0,099±0,009	0,115±0,006	0,121±0,003	0,123±0,009
Yb	0,705±0,006	0,767±0,009	0,870±0,003	0,840±0,003
Tm	0,110±0,008	0,126±0,009	0,135±0,001	0,131±0,008

Так, у середньому за трьома роками досліджень вміст обох елементів становив 5,06 мг/кг, проте у тканинах рослин конопель вони акумулювалися по-різному за варіантами досліду. У насінні рослин конопель посівних концентрації таких хімічних елементів були наближені до величини, яка менша від порогу чутливості аналітичних приладів. Щодо тканин стебел, то празеодим (Pr) і його сполуки акумулювалися на всіх варіантах досліду в рослинах сорту Гляна, тоді як у рослин сорту Глесія лише на варіанті у посівах з міжряддям 15 см за повної біологічної стиглості. Зазначимо, що і гадоліній (Gd) теж був наявний на цьому варіанті і в такій самій кількості. У тканинах рослин сорту Гляна гадоліній (Gd) і його сполуки були акумульовані на двох варіантах досліду з рослинами, що вегетували в посівах із різною шириною міжрядь і фазами стиглості, проте в однаковій кількості – 0,002 мг/кг.

Таблиця 3.5. – Акумуляції хімічних елементів лантаноїдної групи* в стеблах рослин конопель, мг/кг (середнє за 2015 – 2017 рр.)

Елемент	Сорт, стиглість, міжряддя			
	Гляна			
	технічна		біологічна	
	45 см	15 см	45 см	15 см
Pr	0,002±0,028	0,001±0,084	0,003±0,017	0,001±0,029
Gd	<0.00	0,002±0,038	0,002±0,028	<0.00
Sm	<0.00	<0.00	0,002±0,037	<0.00
Nd	0,014±0,014	0,011±0,011	0,016±0,015	0,010±0,018
Eu	0,011±0,005	0,015±0,014	0,018±0,014	0,010±0,006
Ce	0,032±0,006	0,024±0,002	0,030±0,014	0,022±0,009
	Глесія			
	технічна		біологічна	
	45 см	15 см	45 см	15 см
Pr	<0.00	<0.00	<0.00	0,001±0,041
Gd	<0.00	<0.00	<0.00	0,001±0,063
Nd	0,003±0,072	0,005±0,013	0,003±0,017	0,011±0,012
Eu	0,009±0,017	0,009±0,021	0,006±0,011	0,009±0,017
Ce	0,012±0,010	0,017±0,007	0,011±0,007	0,031±0,009

* – зазначено елементи значення, яких більше від порогу чутливості аналітичних приладів

Таким чином, механізм накопичення празеодиму (Pr) і гадолінію (Gd) та їх сполук у надземних частинах рослин конопель посівних дуже подібний. За літературними джерелами їх сполуки необхідно розглядати як високотоксичні [76, 77].

Таблиця 3.6. – Транслокація хімічних елементів лантанної групи* до насіння рослин конопель (біологічна стиглість), середнє за 2015 – 2017 рр.

Елемент	Вміст, мг/кг			
	Гляна		Глесія	
	45 см	15 см	45 см	15 см
Nd	<0.00	<0.00	0,0022+0,019	<0.00
Eu	0,001+0,046	<0.00	<0.00	0,0002+0,280
Ce	0,003+0,014	0,0026+0,020	0,0122+0,004	0,0040+0,021

* – зазначено елементи значення, яких більше від порогу чутливості аналітичних приладів

Самарій (Sm) і диспрозій (Dy) та їх сполуки, які за хімічними характеристиками теж належать до лантанної групи, відрізнялися своєю наявністю в ґрунтах ділянок проведення досліджень від попередньо описаних меншою кількістю, а саме на 1,6 мг/кг і 2,93 мг/кг, відповідно. Вони майже рівномірно були розповсюджені на варіантах дослідів – в межах 3,5 мг/кг і 2,1 мг/кг, відповідно, і фактично не транслювалися у тканини рослин конопель посівних у процесі їх вегетації. Проте такий хімічний елемент з цієї ж групи лантанної групи, як неодим (Nd) і його сполуки за результатами лабораторних аналізів характеризувався здатністю надходити у рослини та акумулюватися у тканинах на всіх варіантах дослідів. Його наявність у ґрунті була вища на 13,82 мг/кг від празеодиму (Pr) і гадолінію (Gd), на 15,42 мг/кг від самарію (Sm), проте характер транслокації до рослин конопель відповідав цим хімічним речовинам. У насінні конопель наявність неодиму (Nd) майже не була зафіксована аналітичними приладами, а у тканинах стебел рослин культури в середньому по досліді його наявність становила 0,01 мг/кг. Проте тут необхідно відмітити сортову відмінність особливостей акумуляції неодиму (Nd) у стеблах рослин.

Якщо вміст неодиму (Nd) і його сполук у стеблах рослин сорту Гляна в середньому по досліді був на рівні 0,013 мг/кг, то у рослин сорту Глесія ця кількість становила 0,006 мг/кг, що у відсотковому відношенні на 42,31 % менше від показників у рослин сорту Гляна. Таку сортову особливість необхідно враховувати за інтродукції конопель посівних, адже неодим (Nd) та його сполуки належать до високотоксичних хімічних елементів, які відомі як подразники шкіри та слизових оболонок очей [78, 79].

Заслугує на увагу дослідження особливостей транслокації рослинами з ґрунту до тканин такого хімічного елемента, як європій (Eu) та його сполуки, який за хімічною характеристикою теж належать до лантанної групи. Європій (Eu) найактивніший серед рідкісноземельних елементів. Його реакційна здатність порівнюється з кальцієм (Ca). Європій (Eu) – один із найефективніших поглиначів нейтронів у ядерній техніці. За літературними джерелами, усі сполуки європію (Eu) необхідно розглядати як високотоксичні для людини [80].

Зазначимо, що кількість європію у ґрунті менша порівняно з попередньо описаними елементами, які належать до однієї хімічної групи. Проте механізм накопичення європію (Eu) та його сполук у рослинах конопель дещо відрізняється від неодиму (Nd), гадолінію (Gd), самарію (Sm), празеодиму (Pr) та їх сполук. Якщо названі хімічні елементи були наявні у ґрунті більшою чи меншою кількістю, то транслокація їх до тканин рослин конопель майже не відбувалась. Лише в поодиноких варіантах вони акумулювалися в тканинах стебел – це стосується в основному неодиму (Nd) та його сполук.

Щодо європію (Eu), то цей хімічний елемент у процесі вегетації накопичувався у насінні та стеблах рослин на більшості варіантів дослідів, крім двох – за біологічної стиглості насіння. Найбільше він акумулювався у стеблах – від 0,006 мг/кг (рослини сорту Глесія у ширококорядних посівах із міжряддями 45 см за біологічної стиглості) до 0,018 мг/кг (у тому самому варіанті дослідів рослин сорту Гляна).

Найвищим був вміст у ґрунті ділянок проведення досліджень із групи лантанодів такого хімічного елемента, як церій (Ce). Оскільки гранично допустимий коефіцієнт церію (Ce) 0,05 мг/кг, то середній його вміст по досліді у ґрунті 43,85 мг/кг є досить суттєвим. Серед хімічних елементів, що були в досліді і належать до групи лантанодів, його сполуки найбільше акумулювалися в тканинах рослин конопель: вміст церію у стеблах від 0,011 мг/кг (у рослин із широкорядними посівами сорту Глесія за біологічної стиглості) до 0,032 мг/кг (у рослин із широкорядними посівами сорту Гляна за технічної стиглості). Рослини конопель посівних акумулювали в насіння набагато менше церію та його сполук – від 0,0026 мг/кг (у варіанті досліді посіву сорту Гляна із міжряддям 15 см) до 0,0122 мг/кг (у варіанті досліді із широкорядними посівами сорту Глесія). Сортової різниці рослин культури у розподілі хімічного елемента у тканинах надземних частин за трьома роками досліджень відмічено не було.

Із групи лантанодів такі хімічні елементи та їх сполуки, як: ербій (Er), гольмій (Ho), лютецій (Lu), ітербій (Yb), тулій (Tm) хоч і були наявні в ґрунті на всіх варіантах досліді в незначних кількостях, проте у тканини рослин конопель посівних вони не надходили і не акумулювалися в усі роки досліджень.

Результати досліджень показують, що хімічні елементи за хімічною характеристикою хоча й належать до однієї групи, але по-різному надходять до рослин конопель, що необхідно враховувати при проведенні агротехнічних заходів.

3.3. Характер транслокації хімічних елементів актиноїдної групи у ґрунті та рослинах конопель

Із актиноїдної групи хімічних елементів досліджували торій (Th) та уран (U). Торій (Th) – порівняно малорухливий елемент; в основному він бере

участь у магматичних процесах, його сполуки накопичуються в гранітах, лужних породах і пегматитах. Здатність до концентрації у торію (Th) слабка. Біологічної ролі торій (Th) не має, у структурах біосфери не зустрічається. Якщо потрапляє до шлунку людини (у звичайному вигляді та у формі більшості сполук), то виводиться з організму. Небезпечним є потрапляння сполук торію (Th) до складу крові [81].

Щодо урану (U), то він має хімічну та радіаційну токсичність. Відомо, що уран (U) міститься в тканинах рослин і тварин. У тілі людини, за даними різних авторів, завжди міститься від 10 у мінус 4 степені урану (U) на кілограм ваги. Найбільша кількість урану (U) міститься в органах внутрішньої секреції, нирках і кістках. Постійна наявність урану (U) в рослинах і тваринах дозволила низці дослідників висловити припущення, що уран (U) у мікрокількостях необхідний для життя біоелементів. Проте фізіологічна роль урану (U) до цього часу ще не з'ясована. Гранично допустима концентрація природного урану (U) у воді – 0,6 мг/л, у повітрі робочих приміщень – 0,2 мг/м³, в атмосферному повітрі – 0,001 мг/м³. За рекомендаціями Міжнародної комісії з радіаційного захисту у тілі людини не повинно бути більше 0,3 мг урану (U), а в нирках – 0,003 мг [82].

За результатами лабораторних аналізів торій (Th) та уран (U) і їх сполуки були наявними в ґрунтах на ділянках проведення досліджень. Торію (Th) та його сполук на варіантах досліді було від 0,001 мг/кг до 5,46 мг/кг, тоді як урану (U) і його сполук від 0,00 до 0,62 мг/кг (табл. 3.7).

Якщо кількість урану (U) в ґрунті ділянок досліджень прирівнювати до допустимих норм у воді (за відсутності офіційних нормативів у ґрунті), то можна з упевненістю сказати, що ґрунти на ділянках проведення досліджень не забруднені ураном (U) та його сполуками, тим більше, що вони не були зафіксовані аналітичними приладами у тканинах стебел та насінні конопель посівних. Отже, наявність урану (U) та його сполук у допустимих нормативних кількостях у ґрунті не забезпечує можливість їх акумуляції тканинами рослин

конопель посівних, і вона є безпечною нормою для вирощування рослин конопель у регіоні.

Таблиця 3.7. – Вміст хімічних елементів актиноїдної групи у ґрунті та рослинах* конопель, середнє за 2015 – 2017 рр.

Елемент	Вміст, мг/кг			
	ґрунт			
	технічна		біологічна	
	45 см	15 см	45 см	15 см
Гляна				
Th	0,002+0,028	0,001+0,084	0,003+0,017	0,001+0,029
U	<0.00	0,002+0,038	0,002+0,028	<0.00
Глесія				
Th	3,884+0,003	4,656+0,004	5,357+0,005	5,462+0,009
U	0,483+0,003	0,572+0,005	0,578+0,004	0,620+0,008
	стебла			
	технічна		біологічна	
	45 см	15 см	45 см	15 см
Гляна				
Th	0,088+0,011	0,192+0,009	0,184+0,008	<0.00
U	<0.00	<0.00	<0.00	<0.00
Глесія				
Th	<0.00	<0.00	<0.00	0,001+0,057
U	<0.00	<0.00	<0.00	<0.00

* – насіння не накопичувало елементи на рівні значень, які більше від порогу чутливості аналітичних приладів

Гранично допустима концентрація торію (Th) у рослинах і ґрунті не відома. Проте необхідно відмітити, що його наявність у ґрунті проведення досліджень була набагато вищою за уран (U), але така кількість не має негативних наслідків для вирощування рослин конопель посівних, оскільки торій (To) та його сполуки акумулювалися до тканин стебел культури в малій кількості, тоді як у насінні були наближені до величини, яка менша від порогу чутливості аналітичних приладів у всі роки досліджень.

Необхідно відмітити, що результати аналітичних досліджень показали сортову залежність накопичення торію (Th) та його сполук рослинами у тканинах стебел. Найвища їх концентрація була у рослин сорту Гляна. Лише за повної біологічної стиглості у рядкових посівах (міжряддя 15 см) рослини конопель посівних не акумулювали торій (Th). Найвища його концентрація у тканинах стебел – 0,192 мг/кг була зафіксована у рослин цього сорту за повної технічної стиглості у посівах із міжряддям 15 см у 2015 році.

3.4. Накопичення хімічних елементів групи перехідних металів у ґрунті та акумуляція їх рослинами конопель

Результати лабораторних аналізів вмісту перехідних металів у ґрунті, де вирощували коноплі посівні та акумуляція їх рослинами культури показали наявність та різну здатність до засвоєння і транслокації таких хімічних елементів, як: скандій (Sc), хром (Cr), марганець (Mn), залізо (Fe), кобальт (Co), нікель (Ni), мідь (Cu), цинк (Zn), срібло (Ag), кадмій (Cd).

Описувати зазначені вище хімічні елементи та їх сполуки з погляду шкідливого впливу на живі організми та їх токсичності немає потреби, оскільки всі вони є в більшій чи меншій кількості бажаним компонентом як у ґрунті, так і рослинах (крім кадмію (Cd) та його сполук), результати аналізів яких будуть описані окремо і часто їх розглядають як елемент технології з підживлення посівів мікроелементами для підвищення продуктивності сільськогосподарських культур.

Водночас вивчення особливостей міграції їх у системі «ґрунт–рослина» є важливим і актуальним питанням.

Вміст перехідних металів та їх сполук у ґрунті під час проведення досліджень наведено у таблиці 3.8.

Таблиця 3.8. – Вміст перехідних металів (хімічна група) та їх сполук у ґрунті, мг/кг (середнє за 2015 – 2017 рр.)

Елемент	Сорт, стиглість, міжряддя			
	Гляна			
	технічна		біологічна	
	45 см	15 см	45 см	15 см
Cr	26,777±0,002	27,121±0,002	25,986±0,002	26,632±0,002
Mn	393,315±0,006	420,720±0,002	420,68±0,002	376,56±0,004
Fe	13696,7±0,006	13542,8±0,002	13725,0±0,00	13152,1±0,00
Co	5,535±0,004	6,092±0,002	5,907±0,004	5,548±0,002
Ni	14,083±0,002	15,155±0,002	14,882±0,003	14,246±0,002
Cu	10,572±0,005	10,941±0,001	10,903±0,005	10,347±0,002
Zn	28,005±0,004	29,069±0,002	28,984±0,004	27,349±0,003
Ag	0,087±0,003	0,095±0,006	0,080±0,003	0,114±0,006
Cd	0,138±0,003	0,143±0,004	0,130±0,001	0,155±0,001
	Глесія			
	технічна		біологічна	
	45 см	15 см	45 см	15 см
Cr	21,981±0,002	24,637±0,001	27,893±0,003	27,594±0,002
Mn	352,047±0,002	379,498±0,004	370,17±0,004	392,71±0,002
Fe	12071,25±0,002	12969,9±0,003	13688,8±0,00	13376,4±0,00
Co	5,465±0,001	5,750±0,002	5,727±0,004	5,704±0,005
Ni	13,892±0,004	15,192±0,003	15,196±0,006	15,042±0,005
Cu	9,754±0,002	11,001±0,002	11,021±0,004	10,931±0,003
Zn	26,620±0,002	27,738±0,000	29,436±0,004	28,090±0,003
Ag	0,056±0,006	0,064±0,009	0,105±0,009	0,108±0,008
Cd	0,110±0,004	0,122±0,008	0,150±0,005	0,154±0,007

З усіх названих перехідних металів за результатами лабораторних аналізів заліза (Fe) у ґрунті у середньому за три роки проведення досліджень було найбільше. Так, у середньому по досліді залізо (Fe) перевищувало вміст хрому (Cr) і його сполук на 13251,79 мг/кг; марганцю (Mn) і його сполук на 12889,66; кобальту (Co) – 13272,15; нікелю (Ni) – 13263,16; міді (Cu) – 13267,19; цинку (Zn) – 13249,71; срібла (Ag) і його сполук на 13277,78 мг/кг.

Найменше із названих елементів у ґрунті в середньому по досліді було срібла (Ag) – 0,09 мг/кг і кобальту (Co) та його сполук – 5,72 мг/кг.

Проте рослини засвоювали та акумулювали зазначені хімічні елементи та їх сполуки до тканин надземних частин рослин конопель по-різному. Якщо тканини стебел найменше акумулювали у середньому по досліді та однакову кількість срібла (Ag) і кобальту (Co) та їх сполук – 0,01 мг/кг, то насіння конопель – срібла (Ag) і хрому (Cr) – 0,01 мг/кг і 0,04 мг/кг, відповідно. Найбільше рослини культури у тканинах стебел накопичували марганцю (Mn) та його сполук – 33,13 мг/кг, що на 10,43 мг/кг перевищувало вміст заліза (Fe) (табл. 3.9).

Таблиця 3.9. – Вміст перехідних металів (хімічна група) та їх сполук у стеблах рослин конопель посівних, мг/кг (середнє за 2015 – 2017 рр.)

Елемент	Сорт, стиглість, міжряддя			
	Гляна			
	технічна		біологічна	
	45 см	15 см	45 см	15 см
Cr	0,234±0,004	0,258±0,003	0,219±0,009	0,219±0,018
Mn	41,653±0,001	40,567±0,002	49,004±0,005	31,718±0,013
Fe	26,091±0,000	31,888±0,004	26,142±0,004	18,750±0,020
Co	0,021±0,005	0,010±0,014	0,012±0,019	0,019±0,035
Ni	2,559±0,002	1,913±0,003	1,176±0,001	0,880±0,021
Cu	2,153±0,003	3,714±0,003	1,447±0,006	1,416±0,014
Zn	7,314±0,001	8,982±0,002	7,103±0,006	2,856±0,018
Ag	0,013±0,003	0,010±0,015	0,011±0,009	0,006±0,013
Cd	0,038±0,005	0,045±0,008	0,031±0,008	0,024±0,011
	Глесія			
	технічна		біологічна	
	45 см	15 см	45 см	15 см
Cr	0,222±0,006	0,242±0,006	0,090±0,003	0,167±0,013
Mn	21,589±0,002	25,237±0,005	29,230±0,003	26,003±0,002
Fe	18,587±0,005	23,471±0,008	14,685±0,003	21,946±0,007
Co	0,013±0,031	0,017±0,015	0,011±0,008	0,009±0,019
Ni	1,572±0,007	1,762±0,004	0,691±0,006	0,640±0,003
Cu	1,792±0,002	1,838±0,003	1,139±0,007	1,200±0,004
Zn	6,499±0,008	6,912±0,005	2,209±0,006	2,446±0,003
Ag	0,006±0,013	0,005±0,013	0,005±0,017	0,005±0,010
Cd	0,013±0,003	0,018±0,015	0,012±0,006	0,026±0,004

У насінні рослини акумулювали набагато більше перехідних металів порівняно з тканинами стебел, крім срібла (Ag) (однакова кількість) і хрому (Cr), кількість якого перевищувала його вміст у стеблах тканин на 0,017 мг/кг. У насінні конопель найвищий показник вмісту серед названих перехідних металів у середньому по досліді був у заліза (Fe) – 100,79 мг/кг, марганцю (Mn) – 87,85 і цинку (Zn) – 56,05 мг/кг, тоді як цинку (Zn) та його сполук у тканинах стебел акумулювалось усього 5,54 мг/кг у середньому по досліді. Вміст сполук міді (Cu) у насінні перевищував їх кількість у тканинах стебел майже в 11 разів (табл. 3. 10).

Таблиця 3. 10. – Вміст перехідних металів (хімічна група) та їх сполук у насінні рослин конопель посівних, середнє за 2015 – 2017 рр.

Елемент	Вміст, мг/кг			
	Гляна		Глесія	
	45 см	15 см	45 см	15 см
Cr	0,0264±0,003	0,0334±0,015	0,0991±0,006	0,0178±0,022
Mn	100,76±0,000	97,56±0,001	96,85±0,006	98,46±0,003
Fe	127,81±0,003	90,91±0,002	99,45±0,004	90,00±0,004
Co	0,067±0,004	0,043±0,014	0,082±0,006	0,076±0,0039
Ni	6,088±0,003	5,055±0,001	4,6425±0,005	4,775±0,002
Cu	13,658±0,004	10,913±0,002	10,972±0,003	10,441±0,001
Zn	65,383±0,002	52,519±0,002	55,419±0,001	62,312±0,005
Ag	0,011±0,012	0,0099±0,005	0,0104±0,009	0,0157±0,005
Cd	0,0763±0,006	0,0336±0,002	0,0360±0,001	0,0490±0,008

Це цікаві результати, оскільки із усіх проаналізованих у досліді неорганічних сполук, які рослини культури транслокували із ґрунту до тканин конопель, саме перехідні метали перевищували показники акумуляції у насінні порівняно з тканинами стебел. Якщо розглядати сортові особливості рослин, то їх частка в розподілі хімічних елементів, які належать до перехідних металів, була наступною.

Рослини сорту Гляна акумулювали хімічні елементи та їх сполуки значно більше порівняно з рослинами сорту Глесія. Тканини стебел сорту Гляна поступалися у показниках накопичення рослинам сорту Глесія лише в рівні акумулювання сполук кобальту (Co) і заліза (Fe) у рядкових (ширина міжрядь 15 см) посівах. На всіх інших варіантах досліді у тканинах стебел конопель посівних сорту Гляна вміст перехідних металів, які досліджували, був набагато вищим.

Рослини сорту Гляна акумулювали в насінні сполуки багатьох хімічних елементів, що за показниками концентрації перевищувало вміст металів порівняно з насінням рослин сорту Глесія, крім кобальту (Co), який на всіх варіантах досліді мав вищий коефіцієнт накопичення саме у насінні сорту Глесія.

Рівень освітлення надземних частин рослин мав значний вплив на величину акумулювання хімічних елементів та їх сполук як у насінні, так і в тканинах стебел рослин, проте не настільки чітко, як рівень частки сорту.

Так, у ширококорядних посівах із міжряддям 45 см конопель посівних у тканинах стебел у фазу технічної стиглості рослини сорту Глесія накопичували значно менший обсяг хімічних елементів порівняно з рослинами, які розвивалися у посівах із міжряддям 15 см, крім срібла (Ag). Проте рослини сорту Гляна на всіх варіантах досліді рядкових посівів акумулювали перехідних металів значно менше за біологічної стиглості порівняно з рослинами сорту Глесія, крім кобальту (Co) (у стеблах) і хрому (Cr) (у насінні).

Щодо сполук хрому (Cr), то величина концентрації у стеблах була зафіксована набагато менше у рослин сорту Глесія порівняно з сортом Гляна. У рослин, що вегетували з шириною міжрядь 15 см, величина накопичення була 0,242 мг/кг, або 109,0 % від показників у рослин із посівів 45 см ширини міжрядь сорту Глесія за технічної стиглості. У тканинах стебел сорту Гляна незалежно від рівня їх освітленості (ширина міжрядь 45 і 15 см) у процесі

вегетації накопичення сполук хрому (Cr) фактично було однаковим і становило 0,219 мг/кг за повної стиглості рослин.

У рослин сорту Глесія зниження рівня освітленості у процесі онтогенезу сприяло більшій концентрації сполук хрому (Cr) у тканинах стебел за повної стиглості. Величина накопичення була 0,167 мг/кг або перевищувала показники наявності сполук цього важкого металу у тканинах стебел рослин, що вегетували з різною шириною міжрядь, на 185,6%. Тобто сортова реакція рослин культури на здатність накопичувати сполуки хрому (Cr) була суттєвою.

Рослини конопель посівних проявляли чіткіші закономірності концентрації сполук важких металів у насінні різних сортів і залежно від умов вирощування.

Найбільше практичне значення для виробництва мають показники накопичення сполук важких металів у насінні конопель посівних на час настання біологічної стиглості рослин культури. Особливості накопичення у насінні конопель посівних сполук хрому (Cr) чіткої залежності від рівня освітленості рослин культури у процесі їх вегетації не проявляли. Насіння сорту Гляна у період біологічної стиглості рослин, що вегетували у посівах із шириною міжрядь 45 см, містило 0,0264 мг/кг сполук хрому (Cr) (100 %). Насіння рослин, що вегетували у посівах із шириною міжрядь 15 см, накопичувало, відповідно, 0,0334 мг/кг, або 126,5 %. Тобто, у рослин, що мали нижчий рівень світлового (енергетичного) забезпечення у процесі вегетації, вміст сполук хрому (Cr) був достовірно вищим. Проте така залежність була справедливою лише для рослин сорту Гляна.

Використання у дослідях насіння рослин культури сорту Глесія виявило інші залежності. Насіння рослин, що вегетували в посівах із шириною міжрядь 45 см, накопичувало у тканинах 0,099 мг/кг сполук хрому (Cr) (100%). Зменшення ширини міжрядь у посівах до 15 см (відповідне зниження рівня освітленості рослин культури) призводило до накопичення в насінні конопель посівних 0,0178 мг/кг сполук хрому (Cr), або 17,9% від величини накопичення у

рослин того ж сорту, що вегетували у широкорядних посівах (45 см). Тобто вплив рівня світлового (енергетичного) забезпечення був достатньо переконливим у здатності рослин і насіння конопель сорту Глесія накопичувати сполуки хрому (Cr).

Отже, як показали результати досліджень, проявлялись загальні закономірності накопичення сполук хрому (Cr) у насінні рослин сортів Гляна і Глесія. У рослин, що вегетували з шириною міжрядь 45 см і мали, відповідно, більш повне освітлення, накопичення сполук хрому (Cr) було вищим порівняно з величиною вмісту у насінні рослин, що розвивалися в посівах із шириною міжрядь 15 см.

Такі встановлені закономірності дозволяють стверджувати, що регулювання інтенсивності процесів акумуляції рослинами конопель посівних хімічних елементів, які належать до групи перехідних металів і їх сполук може бути досягнуте відповідними змінами елементів технології вирощування культури.

Розглянемо детальніше накопичення кадмію (Cd) та його сполук у ґрунті та рослинами конопель посівних, який теж відноситься до групи перехідних металів.

У середньому за трьома роками досліджень найменше сполук кадмію (Cd) акумулювалося в тканинах стебел рослин обох сортів. Різниця за схемами дослідів у рослин сорту Гляна становила: а) 0,114 мг/кг порівняно з ґрунтом і 0,014; б) 0,117; в) -0,054 та 0,045 із насінням рослин конопель; г) -0,121 і 0,01 мг/кг, відповідно.

У рослинах сорту Глесія така різниця становила: а) 0,083 мг/кг порівняно з ґрунтом ; б) 0,077; в) 0,114 і насінням - 0,024; г) 0,105 і -0,023 мг/кг, відповідно. Щодо тканин стебел, то тут чітко простежується сортова відмінність, яка впливає на здатність рослини конопель посівних накопичувати вміст кадмію (Cd) та його сполук. Тканини стебел рослин сорту Гляна значно менше засвоюють і акумулюють сполуки цього хімічного елемента у фазу

повної біологічної стиглості порівняно з технічною, тоді як у рослин сорту Глесія навпаки збільшують показник акумуляції на 69 % саме у фазу повної біологічної стиглості.

Ґрунт на ділянках вирощування рослин культури на всіх варіантах дослідів був досить однорідним за вмістом сполук кадмію (Cd). Найбільша різниця між крайніми показниками концентрації становила 0,045 мг/кг. Проте вміст сполук кадмію (Cd) у ґрунті перевищував гранично допустимий коефіцієнт, визначений Постановою МОЗ України (0,03 мг/кг). На ділянках, де вирощували коноплі посівні, перевищення концентрації сполук кадмію (Cd) у середньому за три роки у ґрунті було від 0,08 до 0,13 мг/кг.

Хоча такі показники на перший погляд є незначними, проте необхідно враховувати, що кадмій (Cd) – один із найбільш токсичних важких металів віднесений до 2-го класу безпеки – «високонебезпечні речовини». Як і багато інших важких металів, кадмій (Cd) має чітку тенденцію до накопичення в організмі людини – період виведення половини його кількості становить 10–35 років. До 50 років життя його загальний ваговий вміст в організмі людини може досягати 30–50 мг [83].

Цей елемент – один із небагатьох, що не виконує конструктивних функцій в людському організмі. Він, як і його сполуки, є надзвичайно токсичним, навіть у незначних концентраціях. Отруєння кадмієм (Cd) є причиною хвороби, що вперше була описана в Японії в 50-х роках XX століття і отримала назву «ітай-ітай» (що дослівно означає "боляче-боляче") [84]. Ураховуючи негативний вплив кадмію (Cd) на організм людини, необхідно відмітити важливість досліджень щодо визначення його вмісту у ґрунті, а також особливостей засвоєння рослинами та акумуляцією у відповідних частинах.

Результати досліджень показали, що за допомогою агротехнічних прийомів можна контролювати інтенсивність процесів поглинання з ґрунту рослинами конопель посівних кадмію (Cd) та його сполук, що забезпечує

акумуляцію в насінні і тканинах стебел незначної його кількості, яка не перевищує ГДК.

Такого результату можна досягти насамперед правильним підбором сортів для вирощування. Так, у дослідів рослини сорту Глесія акумулювали у тканинах стебел рослин на всіх варіантах таку кількість хімічного елемента, яка не перевищувала ГДК (0,013; 0,018; 0,012 та 0,026 мг/кг, відповідно, за варіантами дослідів), тоді як рослини сорту Гляна лише на варіанті за суцільної сівби (15 см) і зниженого рівня освітленості надземних частин у процесі вегетації, за досягнення повної біологічної стиглості мали позитивні результати – 0,024 мг/кг, що не перевищувало норму вмісту для рослинної сировини.

Рівень освітленості надземних частин рослин сорту Глесія мав значний вплив на величину акумулювання сполук кадмію (Cd) як у насінні, так і у тканинах стебел. Так, у широкорядних посівах із міжряддям 45 см рослини конопель в обох фазах стиглості накопичували значно менші обсяги сполук (Cd) порівняно з рослинами, які розвивалися у посівах із міжряддям 15 см – за технічної стиглості тканини стебел на 72 %, і повної біологічної стиглості – 46 %; насіння – 73 %.

Отже, правомірно стверджувати, що інтенсивність надходження у кореневі волоски рослин конопель посівних сполук кадмію (Cd) з ґрунтового розчину відбувається в результаті активного мембранного транспорту, тобто вимагає витрат енергії АТФ. Рівень освітленості (енергетичного забезпечення) рослин у процесі вегетації безпосередньо впливає на інтенсивність процесів фотосинтезу і синтезу молекул АТФ. Відповідно за певного дефіциту енергії в цитоплазмі клітин корневих волосків надходження сполук кадмію (Cd) було інше.

Так реагували на рівень освітлення з акумуляції кадмію (Cd) і рослини сорту Гляна, проте лише у фазу технічної стиглості, тоді як у фазу повної біологічної стиглості реакція рослин була зворотною: у рядкових посівах

рослини цього сорту накопичували значно менше сполук кадмію (Cd) порівняно з рослинами, що вегетували у широкорядних посівах.

Такі закономірності дозволяють зауважити, що регулювання інтенсивності процесів акумуляції рослинами конопель посівних сполук кадмію (Cd) може бути досягнуте відповідними змінами елементів технології вирощування культури.

Представники хімічних елементів групи перехідних металів за роками досліджень щодо вмісту у ґрунті та акумуляції до рослин мали подібну тенденцію, що і попередні групи – найбільше їх зафіксовано у досліді 2015 року з подальшим кількісним зменшенням у 2016 та 2017 роках.

3.5. Вміст хімічних елементів групи лужних металів у ґрунті та акумуляція їх рослинами конопель

Наступною досліджуваною групою були хімічні елементи, які належать до рідкісних металів – лужних. Серед лужних металів, які досліджували лабораторно були: рубідій (Rb), натрій (Na), калій (K). Хоча лужні метали значно поширені на Землі, у природі вони існують винятково у формі сполук завдяки високій хімічній відновлювальній активності.

Живі організми традиційно не містять сполук рубідію (Rb) у біологічних циклах, принаймні така потреба не відома. Однак, живі клітини засвоюють іони рубідію (Rb) аналогічно до іонів натрію (Na). Рубідій (Rb) у природі дещо радіоактивний завдяки значному вмісту слабо радіоактивного ізотопу ^{87}Rb [85, 86].

Рубідій (Rb) відносять до токсичних елементів 2-го класу небезпеки – речовини цього класу є високонебезпечними для людини: наприклад, до цього ж класу відносять сірчану кислоту і миш'як (As) [87].

За підвищеного вмісту сполук рубідію (Rb) спостерігається уповільнення росту і розвитку та скорочення терміну життя, однак для цього його потрібно

приймати дуже багато – близько 1 000 мг на добу. Радіоактивний ізотоп рубідію (Rb) є небезпечним для здоров'я [88]. Для рослин – лікарської сировини гранично допустимий коефіцієнт вмісту рубідію (Rb) не встановлений, проте, як було зазначено, живі організми не мають потреби в рубідії (Rb), а це означає, що його наявність в них може становити певну небезпеку. Відповідно, такий хімічний елемент і його наявність у рослинній сировині заслуговують на увагу не лише радіобіологів, а й науковців, причетних до агрофітосектора.

За результатами трирічних досліджень встановлено, що в ґрунті проведення досліджень наявність рубідію (Rb) досить значна: від 22,934 мг/кг до 29,384 мг/кг (табл. 3.11).

Таблиця 3. 11. – Концентрація лужних металів (хімічна група) та їх сполук у ґрунті при вирощуванні конопель посівних, мг/кг (середнє за 2015 – 2017 рр.)

Елемент	Сорт, стиглість, міжряддя			
	Гляна			
	технічна		біологічна	
	45 см	15 см	45 см	15 см
Rb	27,765 $\pm$ 0,002	29,384 $\pm$ 0,005	26,700 $\pm$ 0,002	28,626 $\pm$ 0,003
Na	101,964 $\pm$ 0,005	104,168 $\pm$ 0,003	99,860 $\pm$ 0,005	103,49 $\pm$ 0,002
K	3280,44 $\pm$ 0,004	3512,094 $\pm$ 0,00	3297,95 $\pm$ 0,00	3456,93 $\pm$ 0,00
	Глесія			
	технічна		біологічна	
	45 см	15 см	45 см	15 см
	45 см	15 см	45 см	15 см
Rb	22,934 $\pm$ 0,001	26,858 $\pm$ 0,012	29,114 $\pm$ 0,008	28,874 $\pm$ 0,006
Na	63,484 $\pm$ 0,004	82,614 $\pm$ 0,006	110,07 $\pm$ 0,004	103,13 $\pm$ 0,005
K	2670,816 $\pm$ 0,001	2886,69 $\pm$ 0,001	3639,8 $\pm$ 0,001	3546,2 $\pm$ 0,003

Серед лужних металів, крім рубідію (Rb), із вмісту яких проводили лабораторні аналізи, були: натрій (Na) та калій (K), які у природі існують у формі сполук завдяки високій хімічній відновлювальній активності.

У орному шарі ґрунту на ділянках, де проводили дослідження особливостей акумуляції рослинами конопель посівних мінеральних речовин, наявність сполук калію (K) була в межах від 2670,816 до 3639,8 мг/кг, а натрію (Na) від 63,484 до 110,07 мг/кг.

Як натрій (Na), так і калій (K) проявляють близькі, проте не ідентичні хімічні властивості. У біологічних тканинах сполуки та іони натрію (Na) і калію (K) виконують взаємно доповнювальні функції. Передусім співвідношення рівнів концентрації іонів калію (K) у цитоплазмі клітин та натрію (Na) в апопласті рослин (у людини і тварин у плазмі крові та лімфі) змінює проникність біологічних мембран клітин і активність транслокації через такі біологічні бар'єри сполук, як інших хімічних елементів, так і органічних речовин.

У рослинах у процесі їх вегетації сполуки та іони натрію (Na) та калію (K) відіграють важливу роль у формуванні відповідного осмотичного тиску, як у цитоплазмі клітин, так і в провідних системах рослин, і в засвоєнні води з ґрунту. Калій (K) належить до групи макроелементів ґрунту, які становлять основу продуктивності рослинних асоціацій і досягають рівня не менше 0,1 % відносно їх маси. Цей хімічний елемент бере активну участь в обмінних процесах, сприяє формуванню і транслокації вуглеводів і синтезу білків, а також прискорює процеси дозрівання, зміцнення механічних тканин у стеблових рослин. Рослини з нестачею калію (K) – низькорослі, з нерозвинутою кореневою системою, їх листки покриваються характерними плямами, скручені та сухі з країв. Урожайність у більшості видів рослин за нестачі калію (K) – низька [89].

Надзвичайно важливим є дослідження впливу забезпеченості ґрунту на засвоєння рослинами низки елементів, проте підвищене внесення калію (K) (на 50–60 % вище необхідного мінімуму) уповільнює засвоєння сполук хрому рослинами.

Калій (K), як відомо, є макроелементом, що проявляє значний вплив на процеси росту і розвитку всіх вищих рослин, зокрема, і рослин конопель посівних.

Фізіологічні дослідження рослин різних видів і особливості засвоєння ними сполук калію (K) доводять, що з усіх макроелементів (N; P та ін.) саме сполуки калію (K) найменше залежать від рівня енергетичного (світлового) забезпечення рослин у процесі вегетації. У процесі дослідження особливостей засвоєння та акумуляції сполук різних хімічних елементів у частинах рослин конопель посівних калій (K) не був винятком і теж був об'єктом вивчення.

Результати аналізу вмісту сполук натрію (Na) та сполук (K) в орному шарі ґрунту на ділянках, де проводили дослідження (посіви з міжряддями шириною 45 см), показують, що на час досягнення технічної стиглості рослин конопель посівних сорту Гляна наявність сполук натрію була в середньому 101,964 мг/кг, що у 32,2 рази менше порівняно з наявністю сполук калію (K). На ділянках посівів із шириною міжрядь 15 см у ґрунті наявність сполук натрію (Na) була 104,168 мг/кг, що на 33,7 рази менше порівняно з наявністю сполук калію (K). Тобто, вихідна концентрація в ґрунтовому поглинальному комплексі сполук натрію (Na) і калію (K) була різною. Необхідні для забезпечення життєдіяльності рослин конопель посівних обсяги цих сполук також є різними. Отже, і концентрація таких лужних металів у коноплепродукції була неоднаковою – потреба рослин у сполуках калію (K) (макроелемента) істотно перевищує обсяги сполук натрію (Na) (мікроелементу).

Господарськоважливими частинами рослин конопель посівних, як зазначалось вище, є луб'яні волокна їх стебел і насіння. Тому саме вони поряд із сортовими особливостями були головними об'єктами досліджень особливостей акумуляції хімічних елементів у тканинах рослин.

Вивчаючи особливості транслокації лужних металів безпосередньо до рослини, необхідно відмітити, що на відміну від стронцію (Sr) рубідій (Rb)

накопичувався в насінні конопель більше порівняно з тканинами стебел рослин. Різниця була досить суттєвою (табл. 3.12 та 3.13).

Так, у насінні рослин сорту Гляна інтенсивність акумулювання за схемою досліджень на: в) 5,032; г) 2,451 мг/кг рубідію (Rb) більше порівняно з накопиченням у тканинах стебел. У насінні сорту Глєсія інтенсивність акумулювання сполук рубідію (Rb) за варіантами досліджень була на: в) 4,364; г) 3,396 мг/кг більше порівняно з величиною концентрації у тканинах стебел рослин.

У рослинах обох сортів чітко простежується залежність величини накопичення сполук рубідію (Rb) від ширини міжрядь посівів рослин конопель посівних. За рядкових посівів (ширина міжрядь 15 см) накопичення хімічного елемента в середньому за роками досліджень в насінні та тканинах стебел було значно меншим порівняно з широкорядними посівами (ширина міжрядь 45 см). Тобто, умови вегетації рослин культури, насамперед, рівень світлового забезпечення та інтенсивність процесів фотосинтезу, проявляли свій вплив на інтенсивність процесів засвоєння сполук рубідію (Rb) рослинами конопель.

Таблиця 3. 12. – Концентрація лужних металів (хімічна група) та їх сполук в стеблах рослин конопель посівних, мг/кг(середнє за 2015 – 2017 рр.)

Елемент	Сорт, стиглість, міжряддя			
	Гляна			
	технічна		біологічна	
	45 см	15 см	45 см	15 см
Rb	4,021+0,004	3,484+0,007	3,664+0,009	2,656+0,007
Na	6,559+0,008	7,684+0,002	32,262+0,013	46,873+0,017
K	6192,48+0,002	6647,6+0,002	4593,0+0,004	4381,02+0,01
	Глєсія			
	технічна		біологічна	
	45 см	15 см	45 см	15 см
	45 см	15 см	45 см	15 см
Rb	3,553+0,002	3,491+0,007	2,662+0,008	2,578+0,004
Na	7,025+0,013	12,962+0,011	44,037+0,002	44,853+0,002
K	6324,91+0,001	6381,816+0,0	4109,64+0,001	4660,6+0,001

Так, стебла сорту Гляна за технічної стиглості накопичували сполук рубідію (Rb) на 86,6 % менше у посівах із шириною міжряддя 15 см порівняно з посівами з шириною міжряддя 45 см; за повної біологічної стиглості на 72,5 %, відповідно. У рослин сорту Глєсія стебла за технічної стиглості накопичували сполук хімічного елемента на 98,3 % менше у посівах із шириною міжряддя 15 см порівняно з рослинами у посівах із шириною міжряддя 45 см; за біологічної стиглості – на 96,8 %, відповідно.

Насіння рослин сорту Гляна акумулювало у посівах із шириною міжряддя 15 см на 70,0 % рубідію (Rb) менше порівняно з посівами з шириною міжряддя 45 см у період повної біологічної стиглості. По сорту Глєсія різниця була меншою і склала 17,5 %, відповідно.

Отже, фактор режиму освітленості посівів конопель посівних на їх здатність засвоювати сполуки рубідію (Rb) був суттєвим. Він перевищував частку сортової залежності процесів інтенсивності засвоєння рослинами культури цієї сполуки у досліді. Саме тому для вирощування конопель посівних із метою отримання екологічно безпечної продукції спосіб сівби і режим енергетичного забезпечення рослин є вагомим фактором, який необхідно враховувати.

Серед господарських характеристик найбільш цінною частиною рослин конопель посівних є їх стебла, насамперед, їх луб'яні волокна. Стебла у рослин конопель посівних типові для трав'янистих рослин. Саме луб'яні волокна (механічні тканини – склеренхіми) є своєрідним арматурним каркасом, що надає стеблам і рослинам необхідної міцності і жорсткості (ригідності) [90].

Щодо величини акумуляції сполук натрію (Na) у тканинах стебел конопель, то було встановлено таку закономірність. Вміст сполук натрію (Na) у стеблах рослин культури сорту Гляна за досягнення технічної стиглості у посівах із шириною міжрядь 45 см становив у середньому 6,559 мг/кг. Проте рослини, що вегетували з шириною міжрядь 15 см, тобто мали нижчий рівень освітленості листків, акумулювали у стеблах 7,684 мг/кг сполук (Na).

Різниця концентрації становила в середньому 17,2 %. Накопичення сполук натрію (Na) у стеблах рослин сорту Гляна було вищим за умов меншого рівня освітленості. Подібна тенденція простежується і по сорту Глесія, коли вміст сполук натрію (Na) у фазу технічної стиглості зростає зі зниженням рівню освітленості листків.

Таблиця 3. 13. – Концентрація лужних металів (хімічна група) та їх сполук у насінні рослин конопель посівних, середнє за 2015 – 2017 рр.

Елемент	Вміст, мг/кг			
	Гляна		Глесія	
	45 см	15 см	45 см	15 см
Rb	8,6915±0,007	5,1071±0,004	7,0262±0,005	5,9735±0,005
Na	5,69±0,011	3,51±0,008	4,82±0,006	2,98±0,013
K	8373,2±0,004	7269,8±0,003	7339,4±0,004	7112,4±0,002

Здатність рослин культури концентрувати сполуки натрію (Na) у стеблах на час біологічної стиглості була більшою. Але закономірність щодо підвищення вмісту у стеблах сполук натрію (Na) зі зниженням рівня освітленості рослин культури в посівах у процесі їх вегетації зберігалась. Так, наприкінці вегетації рослини сорту Гляна, що вегетували в посівах із шириною міжрядь 15 см, накопичували сполуки натрію (Na) на рівні 46,873 мг/кг, що склало 149,3 % від показників рослин культури, що вегетували з шириною міжрядь 45 см. У рослин сорту Глесія подібна тенденція зберігалась, проте різниця величин накопичення сполук натрію (Na) у стеблах була істотно меншою – 101,1%. Таким чином, досліджувані генотипи проявляли свою індивідуальну реакцію у здатності накопичувати сполуки Na у тканинах стебел залежно від енергетичних (світлових) умов вегетації, а саме завдяки вирощуванню з різною шириною міжрядь.

Величина акумуляції сполук натрію (Na) у стеблах рослин конопель залежала також і від фактору генотипу. Так, у період технічної стиглості у

посівах із шириною міжрядь 45 см накопичення сполук натрію (Na) у стеблах рослин сорту Гляна було 6,559 мг/кг, а сорту Глесія – 7,025 мг/кг, або 107,1%. Ще вища різниця акумуляції сполук натрію (Na) у стеблах рослин досліджуваних сортів у цю фазу спостерігалась у посівах із шириною міжрядь 15 см (7,684 мг/кг проти 12,962 мг/кг, відповідно або перевищувала у 1,69 рази). Рослини сорту Гляна в посівах із шириною міжрядь 15 см за досягнення повної біологічної стиглості акумулювали сполук натрію (Na) у тканинах стебел 46,873 мг/кг, а у стеблах сорту Глесія – 44,853 мг/кг або 95,6 %, а при міжрядді 45 см лише 32,262 мг/кг проти 44,037 мг/кг або 136,5 %.

Як показали дослідження найбільший вплив на акумуляцію сполук натрію (Na) у стеблах рослин конопель мала фаза збирання. Таким чином, під час біологічної стиглості рослин акумуляція у стеблах сполук натрію (Na) значно підвищувалась по обох сортах. Так, у рослин сортів Гляна та Глесія за ширини міжрядь 45 см вміст сполук натрію (Na) у стеблах зростає до 32,262 мг/кг та 44,037 мг/кг, тобто концентрація порівняно з попереднім аналізом підвищилась у 4,9 та 6,3 рази, відповідно. У посівах із шириною міжрядь 15 см акумуляція сполук натрію (Na) у стеблах рослин досліджуваних сортів культури була на рівні 46,873 та 44,853 мг/кг або зростала у 6,1 та 3,5 рази.

Аналіз особливостей акумуляції сполук натрію (Na) в насінні конопель посівних у період повної стиглості визначив вплив рівня освітленості рослин у процесі їх вегетації. Так, у насінні сортів Гляна та Глесія вміст сполук натрію (Na) за умов кращого рівня освітлення був 5,69 та 4,82 мг/кг (ширина міжрядь 45 см), а за умов слабшого освітлення (ширина міжрядь 15 см) складав 3,51 та 2,98 мг/кг, або лише 61,7 та 61,8 % від рівня попереднього показника, відповідно.

На величину накопичення в насінні сполук натрію (Na) впливали і сортові особливості рослин конопель посівних. Якщо порівняти концентрацію сполук натрію (Na) у насінні рослин культури, що вегетували в посівах із шириною

міжрядь 45 і 15 см, то у насінні сорту Глесія вона становила лише 84,7 та 84,9 % порівняно з показниками концентрації сорту Гляна, відповідно.

На відміну від лужного металу натрію (Na), що є мікроелементом, інший лужний метал – калій (K) є макроелементом і займає найбільшу частку серед усіх хімічних елементів, що виносить рослина конопель з урожаєм.

У рослин сорту Гляна, що вегетували в посівах із шириною міжрядь 45 см, на час досягнення технічної стиглості у тканинах стебел акумуляція сполук калію (K) становила в середньому 6192,48 мг/кг. На посівах з меншою шириною міжрядь (15 см) рослини конопель посівних накопичували у тканинах стебел дещо більше цього елементу – 6647,6 мг/кг. Тобто, зниження рівня освітленості листків рослин культури майже не перешкоджало засвоєнню рослинами сполук калію (K). Величина накопичення становила 107,4 % від показника попереднього варіанта.

У рослин конопель посівних сорту Глесія, що вегетували в посівах із шириною міжрядь 45 см, акумуляція сполук калію (K) у тканинах стебел у фазу технічної стиглості досягала 6324,19 мг/кг, а у рослин, що вегетували у посівах із шириною міжрядь 15 см – 6381,816 мг/кг. Така закономірність здатності засвоювати з ґрунту сполуки калію (K) незалежно від рівня інтенсивності освітлення рослин культури рослинами сорту Глесія є подібною до іншого сорту – Гляна.

До настання повної біологічної стиглості рослин конопель посівних величина показників акумуляції сполук калію (K) у тканинах стебел знижувалась на всіх варіантах дослідів. У рослин сорту Гляна, що вегетували в посівах із шириною міжрядь 45 см, показник акумуляції сполук калію (K) знижувався до 4593,0 мг/кг, або на 25,8% від попереднього показника.

Зменшення ширини міжрядь у посівах до 15 см призводило до зниження показника акумуляції сполук калію (K) у тканинах стебел і за повної біологічної стиглості рослин становило 34,1 % від попереднього рівня, або 4381,02 мг/кг.

Значних відмінностей у показниках акумуляції сполук калію (K) у стеблах рослин сортів, що були використані в досліді зафіксовано не було.

За настання повної біологічної стиглості у тканинах стебел рослин конопель посівних сорту Гляна накопичення сполук калію (K) було меншим порівняно з показниками попередніх аналізів і становило 4593,0 мг/кг (74,2 %). Стебла рослин, що вегетували з міжряддями шириною 15 см, накопичували в тканинах 4381,02 мг/кг сполук калію (K). Тобто, показник акумуляції таких речовин знизився порівняно з попередніми результатами аналізів до 65,9 %.

У рослин конопель посівних сорту Глесія закономірності змін концентрації сполук калію (K) у процесі повного біологічного досягання у тканинах стебел виявили певну специфіку. Вегетація рослин у посівах із міжряддями 15 см (за умов зниженої інтенсивності рівня освітленості) призводить до більш високих показників акумуляції сполук калію (K). Різниця між показниками у рослин, що вегетували з широкими (45 см) і вузькими (15 см) міжряддями в посівах становила 113,4 %.

Вплив ширини міжрядь у посівах конопель посівних і, відповідно, різні режими світлового (енергетичного) забезпечення рослин культури у процесі їх вегетації впливають по різному на акумуляцію калію (K) в насінні. Так, рослини сорту Гляна, що вегетували в посівах із шириною міжрядь 45 см у процесі досягання мало показники акумуляції сполук калію (K) – 8373,2 мг/кг. Насіння рослин, що вегетували у посівах із шириною міжрядь 15 см, знижувало вміст у своїх тканинах сполук калію (K) до 7268,8 мг/кг в порівнянні до широкорядних посівів або на 13,2 %. І навпаки, насіння сорту Глесія мало майже однакові показники акумуляції на рівні 7339,4 та 7112,4 мг/кг, відповідно, за різної ширини міжрядь.

Щодо впливу фактору сорту необхідно відмітити, що рослини сорту Глесія, які вегетували в посівах із шириною міжрядь 45 см накопичували в насінні 7339,4 мг/кг або 87,7 % порівняно з показниками у рослин сорту Гляна. Тканини насіння у посівах рослин сорту Глесія з шириною міжрядь 15 см

акумулювали сполук калію (K) 7112,4 мг/кг, що є на рівні відповідного показника сорту Гляна. У цілому ж, насіння сорту Гляна акумулює сполуки калію (K) більше, ніж насіння сорту Глесія на 12,4 %. Тобто, сортові особливості здатні суттєво впливати на величину накопичення сполук калію (K) в насінні конопель посівних.

Наступний представник неорганічних елементів – цезій, який належить до групи лужних металів, за результатами лабораторних аналізів сильно відрізнявся від попередньо описаних елементів акумуляцією його сполук у рослинах конопель. Загальна кількість стабільного цезію (Cs) була низькою, що не дозволило отримати доступні для порівняння результати його вмісту. Загалом, мінімальна кількість елемента в ґрунтах погоджується із даними інших дослідників [91]. Вміст цього елемента в довкіллі регламентується законодавством України [92].

3.6. Характер акумуляції рослинами конопель хімічних елементів групи напівметалів

З групи напівметалів (металоїди) у дослідях щодо визначення акумуляції неорганічних елементів рослинами конопель посівних вивчали два її представники – бор (B), миш'як (As) та їх сполуки.

Щодо бору (B), то він є важливим мікроелементом, який необхідний для нормальної життєдіяльності рослин. Бор (B) підвищує стійкість до бактеріальних і грибкових хвороб, відіграє важливу роль у формуванні генеративних органів і заплідненні квіток. В умовах достатньої забезпеченості бором збільшується відсоток зав'язування плодів, що є надзвичайно важливим при вирощуванні високоякісного насіння конопель посівних. Також бор (B) потрібен для розвитку меристеми, відіграє важливу роль у поділі клітин і синтезі білків, є необхідним компонентом клітинної оболонки, входить до складу фосфоглюконатів.

За участю сполук бору здійснюється метаболізм і транспортування вуглеводів, особливо сахарози, ростових речовин і аскорбінової кислоти з листків до плодів; синтез нуклеїнових кислот; утилізація фосфатів.

Разом з урожаєм культурних рослин гектар ґрунту щорічно збіднюється на 10 г бору. Особливо активно поглинають його коренеплоди, кормові трави та олійні культури.

Недостатня кількість бору у рослин зупиняє їх розвиток, спричиняє різні хвороби. Як наслідок, порушуються окислювальні та енергетичні процеси у тканинах, знижується біосинтез необхідних речовин. При дефіциті бору в ґрунті в сільському господарстві застосовують окремі мікродобрива (борна кислота, бура та ін.), що підвищує врожай, поліпшує якість продукції і запобігає захворюванням рослин [93]. Вміст бору в рослинах становить 0,001 % (за масою сировини). За надлишку бору в рослин проявляється низькорослість. Щодня з їжею людина отримує 1–3 мг бору, токсична доза – 4 г [94].

Отже, як свідчать наявні літературні дані, бор є важливим елементом у структурі росту й розвитку рослин. Проте, як і більшість хімічних елементів, за невідповідної його кількості має негативний вплив як на рослини, так і на здоров'я людини.

За результатами трирічних досліджень в орному шарі ґрунту при вирощуванні рослин конопель посівних бору та його сполук було в середньому за схемами варіантів дослідів 10,20 мг/кг (табл. 3.14).

Це істотна кількість, але менша порівняно з акумуляцією цього елемента рослинами конопель, на що необхідно звернути увагу при плануванні системи живлення конопель посівних.

На акумуляцію бору та його сполук в тканинах стебел впливали сортові особливості культури – у рослин сорту Гляна, у середньому, був вищий відсоток хімічного елемента порівняно з сортом Глесія (табл. 3.15).

Таблиця 3. 14. – Концентрація бору (В) й миш'яку (As) (напівметалів) та їх сполук у ґрунті, мг/кг (середнє за 2015 – 2017 рр.)

Елемент	Сорт, стиглість, міжряддя			
	Гляна			
	технічна		біологічна	
	45 см	15 см	45 см	15 см
В	12,774±0,004	10,409±0,004	10,170±0,002	10,085±0,004
As	4,337±0,003	4,564±0,001	4,860±0,004	4,211±0,005
	Глесія			
	технічна		біологічна	
	45 см	15 см	45 см	15 см
В	8,563±0,001	8,752±0,003	10,495±0,004	10,374±0,005
As	4,045±0,004	4,370±0,002	4,532±0,002	4,289±0,002

Зміни етапів органогенезу рослин конопель посівних суттєво впливали на специфіку накопичення сполук напівметалів у стеблах культури. Сполуки В (бору) у стеблах у фазу технічної стиглості сорту Гляна з міжряддями 45 см досягали 7,451, а з міжряддями 15 см, відповідно, 8,608 мг/кг, або на 116,0 % більше. Проте на посівах сорту Глесія концентрація сполук бору (В) у стеблах рослин проявляла протилежні показники. Стебла рослин, що вегетували з міжряддями 45 см, накопичували у фазу технічної стиглості 6,743 мг/кг, а в посівах із шириною міжрядь 15 см відповідно 6,376 мг/кг, або 94,6 %. Така різниця в концентраціях сполук бору (В) доводить, що рослини різних сортів здатні проявляти специфічну вибірковість у засвоєнні подібних сполук.

Чіткої тенденції змін концентрації сполук бору (В) у стеблах залежно від рівня освітленості рослин культури в період вегетації зафіксовано не було. На час повного досягання рослин (сенільний етап органогенезу) величини концентрації сполук В (бору) у стеблах рослин сорту Гляна змінились. У рослин, що вегетували з шириною міжрядь 45 см, величина накопичення сполук бору (В) підвищилась до 7,987 мг/кг, а у рослин, що вегетували з шириною міжрядь 15 см, вона зменшилась до 7,112 мг/кг. Тобто, величина накопичення сполук бору (В) у тканинах стебел за умов менш інтенсивного

освітлення рослин культури досягала 89,1 % величини, що була у стеблах рослин, які вегетували з шириною міжрядь 45 см.

Таблиця 3. 15. – Концентрація бору (В) та миш'яку (As) (напівметалів) та їх сполук у стеблах рослин конопель посівних, мг/кг (середнє за 2015 – 2017 рр.)

Елемент	Сорт, стиглість, міжряддя			
	Гляна			
	технічна		біологічна	
	45 см	15 см	45 см	15 см
В	7,451±0,002	8,608±0,003	7,987±0,009	7,112±0,009
As	0,012±0,019	0,010±0,069	0,009±0,066	0,004±0,034
	Глесія			
	технічна		біологічна	
	45 см	15 см	45 см	15 см
В	6,743±0,003	6,376±0,006	6,403±0,010	7,573±0,005
As	0,003±0,101	0,010±0,028	0,008±0,061	0,010±0,020

Водночас, у рослин сорту Глесія було зафіксовано протилежну закономірність змін величини накопичення сполук бору (В). У стеблах рослин, що вегетували з шириною міжрядь 15 см, величина накопичення була 7,573 мг/кг або перевищувала показники у стеблах рослин із посівів, що мали міжряддя 45 см на 118,3 %. Тобто, на величину накопичення сполук бору (В) у тканинах стебел у період повної стиглості конопель посівних суттєво впливали сортові особливості рослин культури.

Насіння рослин конопель акумулювало в середньому за роками досліджень бору та його сполук від 11,18 мг/кг до 13,84 мг/кг, тоді як у ґрунті на цих самих варіантах дослідів (за біологічної стиглості у широкорядних посівах рослин сортів Глесія і Гляна) його вміст становив від 10,495 мг/кг до 10,170 мг/кг, що склало 93,9 % та 73,5 % від вмісту в насінні. Таку особливість акумулювати вміст неорганічних елементів у тканинах рослин більше

порівняно з їх вмістом у ґрунті спостерігали не часто у дослідках, проте для бору та його сполук вона виявилася властивою (табл. 3.16).

Таблиця 3. 16. – Концентрація бору (В) та миш'яку (As) (напівметалів) та їх сполук у насінні конопель посівних, мг/кг (середнє за 2015 – 2017 рр.)

Елемент	Вміст, мг/кг			
	Гляна		Глесія	
	45 см	15 см	45 см	15 см
В	13,84±0,001	11,80±0,004	11,18±0,003	12,21±0,005
As	0,008±0,016	0,0064±0,034	0,0041±0,097	0,0064±0,027

На сенільному етапі органогенезу, коли рослини культури закінчують свою вегетацію, насіння конопель посівних сорту Гляна, що вегетували з шириною міжрядь 45 см, концентрували у своєму насінні 13,84 мг/кг сполук бору (В). Зменшення ширини міжрядь до 15 см забезпечувало зниження концентрації сполук в насінні до 11,8 мг/кг або склало 85,5 % від вмісту його у насінні культури у попередньому варіанті дослідів. Величина накопичення сполук В (бору) в насінні рослин сорту Глесія була близькою до показників у насінні сорту Гляна, проте вплив рівня освітленості рослин під час вегетації виявився протилежним. Рослини, що вегетували з ширшими міжряддями (45 см), накопичували в насінні сполук на 9,2 % менше порівняно з рядковими посівами з шириною міжрядь 15 см. Відповідно, зниження рівня освітленості рослин конопель посівних сорту Глесія сприяло підвищенню накопичення сполук бору у їх насінні.

Результати досліджень вивчення ще одного представника з групи напівметалів – миш'яку (As) показали велику різницю з попереднім хімічним елементом – бором щодо акумуляції його у рослинах конопель.

Миш'як є одним із найдавніших елементів, які використовує людина, і одним із небезпечних, що зустрічаються у природі у вільному вигляді. Миш'як і всі його сполуки отруйні. ГДК у повітрі для миш'яку 0,5 мг/м³ [95].

Миш'як (As) – канцерогенний хімічний елемент по відношенню до рослин. Його відносять до групи елементів слабого накопичення і середнього захоплення. Його біохімічна роль практично не вивчена, тому повинна бути предметом спеціального дослідження. Оскільки рослини – це частина трофічного ланцюга, то і дослідження рівня накопичення у них миш'яку є актуальними. Рослинний кларк миш'яку (As) становить 0,2 мг/кг, ГДК миш'яку (As) у харчових продуктах – 0,2 мг/кг [96].

Критична концентрація в листках для сільськогосподарських культур миш'яку (As), що знижує продуктивність на 10 %, дорівнює 20 мг/кг [97]. Отже, дослідження з визначення вмісту цього хімічного елемента та характер акумуляції рослинами конопель посівних є важливим фактором.

За результатами трирічних досліджень в орному шарі ґрунту вирощування рослин конопель посівних наявність миш'яку було зафіксовано аналітичними приладами в середньому за схемами варіантів дослідів у кількості 4,40 мг/кг. Це на 5,802 мг/кг менше від показників іншого представника цієї хімічної групи – бору (В).

Особливістю накопичення миш'яку (As) у частинах рослин конопель є те, що на деяких варіантах дослідів саме насіння акумулювали його вищий відсоток порівняно з тканинами стебел. Так, стебла сорту Гляна при вирощуванні із шириною міжрядь 15 см у фазу біологічної стиглості містили 0,004 мг/кг цього елемента, а насіння у цьому ж варіанті дослідів, акумулювало вже 0,0064 мг/кг, що є на 0,0024 мг/кг більшим.

Зауважимо, що чітко проявилися за всіма роками досліджень сортові особливості з акумуляції даного хімічного елемента у тканинах рослин. Так, рослини сорту Гляна на варіантах з шириною міжрядь 45 см накопичували вищий відсоток миш'яку (As) у стеблах і насінні порівняно з рослинами сорту Глесія. Навпроти, насіння обох сортів у рядкових посівах (міжряддя 15 см) акумулювало однакову кількість хімічного елемента – 0,0064 мг/кг.

Сортову особливість мали і результати досліджень з реакції рослин на рівень освітлення надземних їх частин. У фазу біологічної стиглості насіння сорту Гляна містило сполук миш'яку (As) за умов кращого рівня освітлення на 0,0016 мг/кг більше порівняно до слабшого освітлення (ширина міжрядь 15 см). І, навпаки, у насінні сорту Глесія при зменшенні ширини міжрядь до 15 см спостерігалось підвищення акумуляції миш'яку (As) на 0,0023 мг/кг.

Такі результати досліджень свідчать про необхідність дотримання сортової агротехніки при вирощуванні рослин конопель посівних, особливо для отримання чистої органічної продукції.

За результатами досліджень накопичення у рослинах конопель посівних представників однієї хімічної групи напівметалів – бору (В) та миш'яку (As) – можна зробити висновок, що характер акумуляції цих елементів та їх сполук тканинами рослин має значні відмінності. Ці відмінності стосуються кількісного вмісту у ґрунті проведення досліджень і транслокації до рослин конопель посівних, умов вирощування рослин: площі живлення, фази досягання, сортові особливості. Тому вивчення закономірностей транслокації до рослин того чи іншого хімічного елемента може озброїти необхідними знаннями фахівців і виробників для отримання чистої рослинної продукції, яка так необхідна в умовах екологічної тривоги і небезпеки.

3.7. Концентрація неорганічних елементів у ґрунті та характер їх накопичення в частинах рослин

У сучасних умовах особливого значення набуває вивчення якісних показників рослинницької продукції, тому важливо досліджувати біологічну дію важких металів та інтенсивність їх міграції, а також акумуляції у тканинах та органах рослин.

Аналіз результатів досліджень з накопичення таких елементів у рослинах конопель посівних, як алюміній (Al), фосфор (P), галій (Ga), лантан (La), талій (Tl), свинець (Pb) дозволяє встановити певні закономірності.

Серед зазначених металів плумбум (Pb), або свинець, вважають найбільш токсичним. Враховуючи санітарні норми МОЗ на рослинну сировину, для свинцю (Pb) максимально допустимою нормою є 0,3 мг/кг [98].

Тому, дослідження міграції цього хімічного елемента до рослин конопель є важливим. За результатами проведених досліджень встановлено, що його вміст у ґрунті у середньому по досліді становив 7,314 мг/кг (табл. 3.17).

Таблиця 3. 17. – Концентрація неорганічних елементів і їх сполук у ґрунті, мг/кг (середнє за 2015 – 2017 рр).

Елемент	Сорт, стиглість, міжряддя			
	Гляна			
	технічна		біологічна	
	45 см	15 см	45 см	15 см
Al	18165,5±0,006	18565,72±0,00	18167,1±0,00	18181,7±0,00
P	607,714±0,006	688,980±0,003	704,36±0,008	632,31±0,001
Ga	7,915±0,003	8,215±0,003	7,541±0,004	7,687±0,006
La	20,550±0,004	22,208±0,002	20,818±0,005	23,468±0,003
Tl	0,139±0,003	0,146±0,005	0,140±0,003	0,150±0,001
Pb	6,949±0,003	7,781±0,008	7,246±0,003	6,984±0,002
Se	0,197±0,051	0,192±0,055	0,243±0,024	0,196±0,015
	Глесія			
	технічна		біологічна	
	45 см	15 см	45 см	15 см
Al	14813,14±0,003	16624,38±0,00	18601,0±0,00	17957,8±0,00
P	621,066±0,003	572,821±0,003	656,79±0,005	653,56±0,002
Ga	6,281±0,001	7,156±0,003	7,762±0,005	7,891±0,008
La	20,658±0,004	21,873±0,009	23,363±0,005	21,842±0,007
Tl	0,120±0,004	0,142±0,009	0,155±0,002	0,161±0,007
Pb	6,916±0,006	7,491±0,006	7,439±0,003	7,702±0,005
Se	0,174±0,038	0,270±0,034	0,210±0,030	0,203±0,025

Згідно до результатів лабораторних аналізів тканини стебел рослин конопель акумулювали цього хімічного елемента менше за порогову кількість. При цьому, рослини сорту Гляна у середньому по досліді мали показник умісту на рівні 0,19 мг/кг, а сорту Глесія – 0,14 мг/кг або на 0,05 мг/кг (26,3 %) менше (табл. 3.18).

Насіння конопель лише в одному із варіантів посівів – із міжряддям 15 см сорту Гляна, не відзначалось перевищенням ГДК (0,2878 мг/кг). На всіх інших варіантах уміст свинцю (Pb) та його сполук у насінні культури дещо перевищував допустимі норми. При цьому, у середньому, в насінні сорту Глесія вміст цього елемента склав 0,44 мг/кг, а по сорту Гляна – 0,3 мг/кг або на 0,14 мг/кг (31,8 %) менше (табл. 3.19).

Чіткої закономірності щодо впливу фази збирання та ширини міжрядь на накопичення плумбуму (Pb) у стеблах конопель встановлено не було. Отже, регулювання вмісту такого токсичного хімічного елемента, як свинець (Pb), у рослинах конопель можливе, у першу чергу, за рахунок відповідного підбору сортів.

Серед досліджуваних елементів фосфор (P) відносять до макроелементів. Тобто, він є життєво необхідним і виконує важливі біологічні функції, насамперед, у процесах енергетичного обміну. Алюміній (Al) є мікроелементом і його роль для живих організмів досліджена недостатньо. Хоча сама назва груп – макро- і мікроелементи є досить умовною систематикою, але визначає насамперед їх кількісний вміст в об'єктах вивчення.

Результати досліджень з наявності цих елементів у ґрунті закладки дослідів свідчать про протилежне. У середньому за трьома роками досліджень вміст алюмінію (Al) значно перевищував показники наявності сполук фосфору (P). Ця різниця за всіма варіантами дослідів становила 16992,34 мг/кг. Такий стан речей, враховуючи дещо підвищену кислотність ґрунту місця проведення досліджень, є логічним і закономірним. Але, якщо кількісний вміст фосфору (P) свідчить про рівень родючості ґрунту, то підвищена кількість

алюмінію (Al) може створити для рослин проблеми алюмінієвої токсичності [99]. Тому дослідження динаміки акумуляції рослинами конопель таких елементів із ґрунту є важливими.

Вміст алюмінію (Al) та його сполук у досліджуваних ґрунтах значно перевищував гранично допустимий коефіцієнт (ГДК). Оскільки за положенням Міністерства охорони здоров'я України допустима норма його у тканинах лікарських рослин 20 мг/кг, то їх наявність у насінні та тканинах стебел знаходилась у межах норми.

Таблиця 3. 18. – Концентрація* неорганічних елементів і їх сполук у стеблах рослин конопель, мг/кг (середнє за 2015 – 2017 рр.)

Елемент	Сорт, стиглість, міжряддя			
	Гляна			
	технічна		біологічна	
	45 см	15 см	45 см	15 см
Al	7,776+0,002	10,928+0,006	11,273+0,007	6,957+0,002
P	833,484+0,007	1164,77+0,00	221,689+0,015	216,47+0,016
Ga	0,225+0,006	0,280+0,006	0,319+0,011	0,195+0,002
La	0,033+0,006	0,027+0,010	0,037+0,010	0,025+0,009
Tl	0,016+0,009	0,014+0,007	0,014+0,018	0,012+0,004
Pb	0,149+0,008	0,223+0,007	0,263+0,009	0,119+0,008
	Глесія			
	технічна		біологічна	
	45 см	15 см	45 см	15 см
Al	5,097+0,021	8,695+0,005	5,891+0,016	14,838+0,008
P	983,969+0,004	779,61+0,004	175,124+0,009	194,16+0,009
Ga	0,187+0,003	0,184+0,003	0,155+0,010	0,202+0,003
La	0,008+0,009	0,012+0,005	0,008+0,006	0,020+0,007
Tl	0,008+0,009	0,009+0,008	0,003+0,013	0,004+0,013
Pb	0,082+0,011	0,184+0,008	0,088+0,011	0,192+0,009

* – зазначено елементи, значення яких більше від порогу чутливості аналітичних приладів

Цей метал (алюміній) є третім за вмістом і поширеністю хімічним елементом у земній корі після кисню (O) і кремнію (Si). Якщо концентрація

сполук алюмінію (Al) у ґрунтовому розчині досягає порогу фітотоксичності, настає помітне пригнічення фізіологічних процесів більшості рослин багатьох видів, а його відсутність або недостатня кількість призводить до прояву хлорозу [100].

Як показали результати досліджень, транслокація алюмінію (Al) та його сполук до рослин конопель є дуже незначною. Так, у середньому за всіма варіантами досліді рослини акумулювали у процесі вегетації в насінні цього хімічного елемента у 3 244 рази менше порівняно з величиною його наявності у ґрунті, тканини стебел – у 1 974 рази.

Саме можливості впливу агротехнологічних процесів на рівень транслокації алюмінію (Al) та його сполук до рослин конопель були метою аналізу досліджень за варіантами досліді.

Насіння з посівів конопель, що вегетували на ділянках усіх варіантів досліді, накопичувало алюмінію (Al) та його сполук відносно менше порівняно з тканинами стебел у середньому на 3,496 мг/кг.

Таблиця 3. 19. – Концентрація неорганічних елементів і їх сполук у насінні рослин конопель, мг/кг (середнє за 2015-2017 рр.)

Елемент	Вміст, мг/кг			
	Гляна		Глесія	
	45 см	15 см	45 см	15 см
Al	7,89 $\pm$ 0,014	4,47 $\pm$ 0,012	7,39 $\pm$ 0,003	3,45 $\pm$ 0,027
P	9355,1 $\pm$ 0,004	7409,6 $\pm$ 0,002	7783,5 $\pm$ 0,003	7984,8 $\pm$ 0,004
Ga	0,063 $\pm$ 0,011	0,0458 $\pm$ 0,014	0,0407 $\pm$ 0,011	0,0418 $\pm$ 0,010
La	0,001 $\pm$ 0,015	0,0007 $\pm$ 0,010	0,0048 $\pm$ 0,010	0,0008 $\pm$ 0,023
Tl	0,0369 $\pm$ 0,008	0,0180 $\pm$ 0,003	0,0236 $\pm$ 0,005	0,0173 $\pm$ 0,012
Pb	0,3175 $\pm$ 0,004	0,2878 $\pm$ 0,002	0,3897 $\pm$ 0,006	0,4971 $\pm$ 0,008
Se	0,252 $\pm$ 0,007	0,1892 $\pm$ 0,035	0,0468 $\pm$ 0,182	<0.00

Значний вплив на величину акумулювання цього хімічного елемента та його сполук у насінні мав саме рівень освітленості надземних частин рослин у

процесі їх вегетації. Так, на ділянках у варіантах широкорядних посівів (міжряддя 45 см) за повної стиглості рослин культури насіння конопель обох сортів акумулювало найбільшу кількість алюмінію (Al) та його сполук: у сорту Гляна – 7,89 мг/кг, у сорту Глесія – 7,39 мг/кг, тоді як найменші показники – 3,45 мг/кг були зафіксовані на варіанті посівів сорту Глесія з міжряддям 15 см.

Таке реагування рослин на рівень освітлення (рівень енергетичного живлення) було зафіксоване на всіх варіантах дослідів із оцінки рівня акумуляції алюмінію (Al) та його сполук, однак лише у насінні. Тканини стебел акумулювали сполуки цього хімічного елемента значно більше порівняно з насінням. Якщо розглядати показники величини акумуляції за варіантами досліді, то різниця в бік вищого накопичення стеблами рослин культури сполук алюмінію (Al) у фазу біологічної стиглості була такою: сорт Гляна – на 3,38 мг/кг при міжрядді 45 см та на 2,49 мг/кг при міжрядді 15 см; сорт Глесія – на 11,39 мг/кг при міжрядді 15 см. Лише на посівах ділянок варіанту широкорядних посівів сорту Глесія за біологічної стиглості насіння накопичило на 1,50 мг/кг вищу кількість даного хімічного елемента порівняно з тканинами стебел.

Отже, на величину накопичення алюмінію (Al) та його сполук у насінні та тканинах стебел рослин конопель суттєво впливали два чинники – це рівень освітлення (енергетичного забезпечення) посівів і сортовий. Етапи органогенезу процесів досягання чіткого впливу на показники акумуляції хімічних сполук алюмінію (Al) не мали.

Щодо фосфору (P), то його вміст у ґрунті ділянок проведення досліджень в середньому за всіма варіантами трирічних досліджень становив 642,20 мг/кг, тоді, як до насіння конопель посівних транслокувалось у процесі вегетації кількість, яка значно перевищує вміст сполук цього елемента у ґрунті – 8133,25 мг/кг або у 12,7 разів. Тобто, рослини культури здатні у великій кількості концентрувати у тканинах такий важливий для процесів нормальної життєдіяльності макроелемент, як фосфор (P) і його сполуки.

Спостерігається чітка залежність показників акумуляції сполук фосфору (P) у тканинах стебел рослин конопель, що вегетували у посівах із різною шириною міжрядь і, відповідно, мали різний режим освітленості листкового апарату. Так, у фазу технічної стиглості у стеблах рослин сорту Гляна концентрація сполук фосфору (P), що вегетували у посівах із шириною міжрядь 15 см становила 1164,77 мг/кг або перевищувала подібний показник у рослин того ж сорту, що вегетували в широкорядних посівах (міжряддя 45 см) на 331,286 мг/кг або на 28,4 %. І навпаки, концентрація сполук фосфору (P) у тканинах стебел сорту Глесія була більшою у широкорядних посівах на 204,4 мг/кг або на 20,8 %. Як бачимо, величини відхилень були істотними у дослідях, тому правомірно стверджувати, що на показники акумуляції сполук фосфору у фазу технічної стиглості рослин конопель посівних значний вплив мали саме сортові особливості культури.

До настання фази повної стиглості рослини культури забезпечували значну транслокацію такого важливого макроелемента, як фосфор (P), із стебел, що майже закінчили свої процеси формування, до інших важливих частин. Насамперед, транслокація відбувається до генеративних органів, де проходять енергетичні процеси наливу та досягання насіння. Саме там є необхідність у цінних енергетичних властивостях органічних сполук, що містять у собі фосфор (P). Водночас, у результаті процесів транслокації та реутилізації сполук фосфору між частинами рослин конопель посівних показники величини їх акумуляції у тканинах стебел до настання повної стиглості поступово знижуються.

Так, на час досягнення фази повної стиглості у стеблах рослин конопель посівних сорту Гляна, що вегетували в посівах із шириною міжрядь 15 см, концентрація сполук фосфору була 216,47 мг/кг. Тобто, знизилась порівняно з попередньою фазою у 5,4 рази. По усіх інших варіантах досліді спостерігається подібне зниження у рази.

Показники акумуляції сполук фосфору у стеблах рослин культури сорту Гляна на час досягнення повної стиглості у посівах із шириною міжрядь 45 та 15 см ставали схожими: 221,689 та 216,47 мг/кг, відповідно. Тобто, різниця між ними становила 2,4 %. По сорту Глесія простежується подібна тенденція, коли різниця склала 19,5 мг/кг або 10,0 %, але у напрямку збільшення вмісту при зменшенні ширини міжрядь.

Величина рівня акумуляції сполук фосфору у тканинах стебел на час настання фази повної стиглості у посівах із шириною міжрядь 15 см та 45 см між рослинами культури у сортів Гляна і Глесія була: 216,47 та 198,16 мг/кг або 8,5 %; 221,69 та 175, 12 мг/кг або 21,0 %, відповідно.

Узагальнюючи особливості засвоєння та акумуляції сполук фосфору в стеблах рослин конопель посівних, зазначимо, що фосфор (P) і його сполуки мають для всіх зелених рослин і для конкретної культури унікальне значення як макроелемент, що є незамінним у виконанні дуже важливих фізіологічних процесів і етапів органогенезу. Передусім це енергетичні процеси обміну речовин: синтез АДФ, АТФ, нуклеїнових кислот, а також безпосередній вплив на формування, ріст і розвиток кореневої системи і генеративних структур у рослин культури.

Засвоєння сполук фосфору з ґрунтового розчину кореневими волосками рослин відбувається із затратами енергії: шляхом активного мембранного транспорту, тому рівень освітленості рослин у посівах у процесі вегетації і можливості здійснювати інтенсивні процеси фотосинтезу безпосередньо впливають на активність і обсяги засвоєння цього макроелемента.

Рівень акумуляції сполук фосфору (P) у тканинах стебел упродовж етапів органогенезу рослин культури змінювався за всіма роками досліджень. Максимуму він досягав у фазу технічної стиглості, коли ще відбувались активні процеси формування механічних і запасуючих тканин. Проте, на наступному етапі органогенезу – повній стиглості, відбувалось істотне зниження показників

концентрації сполук фосфору (P) у тканин стебел і їх активної реутилізації та транслокації до інших органів (плоди, насіння) рослин культури.

Сортові особливості рослин конопель посівних у їх здатності акумулювати у тканинах стебел сполуки фосфору (P) найбільш повно проявлялись у процесі вегетації до настання фази технічної стиглості. У наступні етапи органогенезу сортова специфіка акумуляції сполук фосфору у тканинах стебел рослин різних сортів поступово втрачала свою роль.

Генотип також мав істотний вплив і на акумуляцію фосфору (P) у насінні. Так, рослини сорту Гляна накопичували у насінні фосфору (P) і його сполук, у цілому, дещо більше порівняно з насінням сорту Глесья. Кількісна величина акумуляції цього хімічного елемента у насінні сорту Гляна за роками досліджень залежала від впливу умов вирощування, тоді як у насінні сорту Глесья не так чітко простежувалася залежність від ширини міжрядь. У фазу повного досягання насіння сорту Гляна накопичувало сполуки фосфору (P) у варіанті з широкорядним посівом на 1945,5 мг/кг більше порівняно з рослинами рядкових посівів (ширина міжрядь 15 см). У сорту Глесья ця різниця становила 201,3 мг/кг з перевагою рядкових посівів (15 см). Отримані результати мають значення для корегування норм внесення добрив у залежності від сортових особливостей та схем висіву конопель.

Такі хімічні елементи, як галій (Ga), лантан (La), талій (Tl) та їх сполуки хоч і були наявні у тканинах рослин конопель посівних, але в дуже незначних кількостях. Ураховуючи те, що гранично допустимий коефіцієнт для рослинної продукції цих елементів не встановлений і у спеціальній літературі не повідомляється про їх негативний вплив на живі організми, за допомогою результатів досліджень досягнуто поставленої мети – визначена їх кількість у ґрунті і величина транслокації до рослин конопель у регіоні проведення досліджень.

Селен (Se), незважаючи на його незначний вміст в продуктах харчування є важливим фактором при профілактиці деяких захворювань. До таких

захворювань насамперед можна віднести онкологічні хвороби різної етіології, серцево-судинні, а також і цукровий діабет. У цукрового діабету однією з причин підвищеної захворюваності є неоптимальне споживання і вміст Se в організмі. Селен (Se) знаходиться в ядрі клітини. Добова потреба людини в селені (Se) становить 70–100 мкг [101].

Щодо розподілу селену (Se) в ґрунті, то встановлена його територіальна варіабельність. За даними науковців розподіл селену (Se) у ґрунтово-рослинних комплексах різних ландшафтів є дискретним. Так, у посушливих біогеоценозах міграція селену (Se) у рослину з ґрунту більш виражена, ніж у інших природних комплексах Полісся та перехідної зони. Слід розуміти, що у межах регіонів та субрегіонів існують ділянки з відносно нормальним та зниженим вмістом селену (Se) у ґрунтах та рослинах. У ряді випадків це обумовлено типом материнських порід та характером процесів формування ґрунтів. Найменші концентрації селену (Se) виявлені в кристалічних вивітрених гранітах, метаморфічних пісковиках, піщаних відкладеннях, моренних супісках. У межах Полісся та перехідної зони спостерігається дефіцит селену (Se), незважаючи на нормальний його вміст у породах та ґрунтах. Це віднесено до слабкої асиміляції його рослинами, що ростуть на підзолистих і торф'яних ґрунтах.

Коефіцієнт біологічного поглинання селену в системі рослина - ґрунт для цього регіону часто не перевищує 0,2. Акумулятивна здатність рослин у Лісостепу досить висока (0,6 – 0,8). Утім сполуки селену (Se) часто отруйні. ГДК для його парів – 0,1 мг/м³. Згідно з даними епідеміологічних досліджень більш, ніж 80 % населення України страждає на дефіцит селену (Se) [102].

У ґрунті місця проведення досліджень кількість селену (Se) і його сполук була незначною: від 0,174 до 0,243 мг/кг. Як уже зазначалось, у тканинах стебел конопель посівних вміст селену (Se) та його сполук був наближений до величини, яка менша від порогу чутливості аналітичних приладів, тоді як насіння акумулювало різні величини залежно від варіантів дослідів.

Рослини сорту Гляна транслокували сполуки селену (Se) у насіння конопель посівних значно вищий відсоток порівняно із рослинами сорту Глесія. Так, у варіанті з широкорядними посівами (ширина міжрядь 45 см) ця різниця становила 0,205 мг/кг, а у посівах із міжряддям 15 см у сорту Глесія величина акумуляції сполук селену (Se) була меншою від порогу чутливості аналітичних приладів, тоді як рослини сорту Гляна акумулювали в насіння 0,189 мг/кг селену (Se) та його сполук.

Отже, сортова залежність інтенсивності накопичення селену (Se) та його сполук у насінні конопель посівних очевидна. Це підтверджує можливість селекції цієї культури на акумуляцію неорганічних елементів та їх сполук і у тому числі – селену (Se).

РОЗДІЛ 4 РЕМЕДІАЦІЙНИЙ ПОТЕНЦІАЛ КУЛЬТУРИ КОНОПЕЛЬ

Вивчення питання щодо надходження важких металів до рослин має кілька практичних моментів. По-перше, рослини є проміжним резервуаром, через який метали переходять із води, повітря і, головним чином, із ґрунту в організми людини і тварин, у зв'язку з чим необхідна розробка методів захисту харчових ланцюгів від проникнення токсинів у небезпечних концентраціях. По-друге, доведена токсичність тяжких металів для самих рослин, що ставить ряд питань щодо реакції рослин на їх надлишок у середовищі. І третій аспект – це з'ясування можливості використання рослин як біоремедіаторів забрудненого важкими металами середовища.

Слід враховувати, що, як уміст у ґрунті важких металів, так і пов'язана з цим транслокація їх у рослини, є складним процесом, на який впливає багато факторів: ґрунтово-кліматичні умови, властивості забруднюючих речовин, вид та вік рослин. Для оцінки забруднення рослинного покриву ґрунту використовують декілька коефіцієнтів, що вказують на спрямованість біологічного круговороту важких металів та радіонуклідів. Першим для оцінки здатності живих організмів поглинати та накопичувати хімічні елементи був запропонований біогеохімічний показник – інтенсивність поглинання хімічного елемента (Ах), який у подальшому став називатися коефіцієнтом біологічного поглинання (КБ, КБП) [103]. Зазначений коефіцієнт чисельно дорівнює відношенню концентрації хімічного елемента в золі рослинності суші до його середньої концентрації у літосфері.

Для оцінки забруднення рослинного покриву ґрунту використовують коефіцієнт біологічного накопичення (КБН), який дорівнює відношенню концентрації важких металів у рослині до їх концентрації у ґрунті.

Залежно від величини коефіцієнта біологічного поглинання хімічні елементи об'єднані в ряди: елементи біологічного накопичення ($A_x > 1$) та

біологічного захоплення ($A_x < 1$). Хімічні елементи кожного ряду поділяються на дві групи: елементи першого ряду - на групи енергійного ($1/(10 - 100)$) та сильного ($1/(1 - 10)$) накопичення; елементи другого ряду - групи середнього ($1/(0,1 - 1)$) і слабого, і навіть дуже слабого ($1/(0,001 - 0,1)$) захоплення. Місце, яке займає той чи інший хімічний елемент залежно від величини A_x у ряді біологічного поглинання, залежить від місцеперебування культурних рослин.

Запропоновано інші коефіцієнти для оцінки біогенної міграції та концентрації хімічних елементів. Рекомендується використовувати для аналізу даних РГК - рослинно-грунтовий коефіцієнт (те ж, що і A_x), РВК - рослинно-водний кореневий коефіцієнт (відношення вмісту елемента в золі рослини до вмісту його у водному розчині); РГК - рослинно-газовий некореневий коефіцієнт (відношення вмісту хімічного елемента в золі рослини до його вмісту в ґрунтовому або приземному повітрі) та ін. Залежно від мети досліджень можна розрахувати також коефіцієнти, що показують відносне накопичення елементів в окремих органах рослин (листя, насіння, надземна частина та підземна частина рослини) [104].

До основних потенційних забруднювачів земель у зоні дослідження належать радіонукліди ^{137}Cs та ^{90}Sr та важкі метали. Стосовно останніх, то на сьогодні немає чіткого розуміння, як меж, так і ознак групування цих елементів. Основною причиною цього є зростаюче домінування екологічної та природоохоронної парадигми, відповідно до якої групу формують елементи, що мають токсичні та кумулятивні характеристики [105]. На противагу цьому традиційна "хімічна" номенклатура передбачає виокремлення групи виключно за показниками щільності атомного числа та атомної маси без урахування рівня їх токсичності та здатності до міграції по трофічному ланцюгу. У наших дослідженнях та розрахунках керувалися положеннями щодо виділення групи високотоксичних важких металів, середньо токсичних важких металів та малотоксичних важких металів [106, 107].

Визначимося, що на сьогодні найбільш узагальнюючим показником здатності рослин до накопичення окремих елементів (що є потенційними забруднювачами середовища) є коефіцієнт біологічного накопичення – КБН.

Тому, одним із завдань досліджень було визначення фактичних значень показника КБН у розрізі: елементів стабільних аналогів радіонуклідів цезію (^{137}Cs) і стронцію (^{90}Sr); елементів групи високотоксичних важких металів та елементів, що формують групу середньотоксичних важких металів.

Найбільш перспективним для України є розробка та впровадження технологій ремедіації земель, які забруднені радіонуклідами насамперед цезієм (^{137}Cs) і стронцієм (^{90}Sr).

Стронцій (Sr) за хімічними характеристиками є лужноземельним металом. У природі він зустрічається в основному у формі сульфатів і карбонатів. Роль сполук стронцію в життєдіяльності тварин і рослин незначна. Однак, цей хімічний елемент завжди наявний в організмі як постійний супутник кальцію, частково його заміщаючи у біологічних структурах. Підвищений вміст сполук стронцію (Sr) в організмі людини призводить до ураження кісткової тканини, викликає підвищення крихкості кісток і зумовлює швидке руйнування зубів. Проявляється ураження печінки і крові. Гранично допустимий коефіцієнт наявності стронцію (Sr) у рослинній сировині 1,0 мг/кг [108, 109].

Згідно до результатів ґрунти Глухівського району (місце проведення досліджень) мають високу концентрацію стабільного стронцію, що дозволяє провести оцінювання рівнів накопичення його радіоактивного ізотопу. Це твердження базується на дослідженнях, якими доведено ідентичність міграцій у рослину та далі по трофічному ланцюгу стабільної форми стронцію та його радіоактивного ізотопу стронцію (^{90}Sr) [109].

Середнє значення коефіцієнта біологічного накопичення (КБН) цього елемента було одним із найбільш високих у досліді, а саме 0,58. У розрізі сортів вищі середні значення КБН мав сорт Гляна – 0,64, проти 0,52 у сорту Глесья.

Різниця у показниках пояснюється позиціонуванням сорту Гляна як більш інтенсивного, з високим рівнем засвоєння мінеральних елементів ґрунту (табл. 4.1).

Таблиця 4.1. – Коефіцієнт біологічного накопичення основних токсичних елементів рослинами конопель, залежно від сорту, фази збирання та ширини міжрядь, 2015 – 2017 рр.

Елементи	Сорт, стиглість, міжряддя								Середнє
	Гляна				Глесія				
	технічна		біологічна		технічна		біологічна		
	45 см	15 см	45 см	15 см	45 см	15 см	45 см	15 см	
Стабільні аналоги радіонуклідів*									
Sr	0,711	0,688	0,602	0,542	0,609	0,524	0,475	0,487	0,58
Середнє	0,60	0,56							
	0,63		0,53						
	0,64				0,52				
Група високотоксичних важких металів									
As	0,003	0,002	0,002	0,001	0,001	0,002	0,002	0,002	0
Cd	0,275	0,315	0,318	0,163	0,118	0,148	0,115	0,187	0,21
Pb	0,021	0,029	0,038	0,02	0,012	0,025	0,021	0,03	0,02
Se	0	0	0,237	0,132	0	0	0,049	0,115	0,07
Zn	0,261	0,309	0,705	0,354	0,244	0,249	0,472	0,35	0,37
Середнє	0,56	0,655	1,3	0,67	0,375	0,424	0,659	0,684	0,66
	0,72	0,61							
	0,50		0,83						
	0,80				0,54				
Група середньотоксичних важких металів									
Cr	0,009	0,01	0,007	0,007	0,01	0,01	0,003	0,005	0,01
Co	0,004	0,002	0,004	0,004	0,002	0,003	0,005	0,003	0
Ni	0,182	0,126	0,154	0,102	0,113	0,116	0,103	0,077	0,12
Cu	0,204	0,339	0,389	0,263	0,184	0,167	0,299	0,214	0,26
Середнє	0,40	0,48	0,55	0,38	0,31	0,30	0,41	0,30	0,39
	0,42	0,36							
	0,37		0,41						
	0,45				0,33				

* – стабільні аналоги радіонуклідів ^{90}Sr та ^{137}Cs .

На користь цього положення також вказують вищі показники при збиранні посівів у фазі технічної стиглості, а саме – 0,63 проти 0,53 для урожаю, зібраного у фазі біологічної стиглості.

З нашої точки зору феномен високої концентрації стронцію (Sr) у молодих рослинах пояснюється суттєвим зростанням їх маси (у перед генеративні фази) за рахунок накопичення продуктів фотосинтезу та зменшення частки елементів, отриманих внаслідок мінерального живлення пізніше.

Актуальність ремедіації земель забруднених важкими металами в Україні розглядається переважно для територій з активним веденням гірничодобувних робіт, діяльністю збагачувальних комбінатів та металургійних підприємств. Забруднення важкими металами за цих умов має комплексний характер. У свою чергу це передбачає оцінювання посівів за груповими характеристиками.

Сумарне середнє значення показника КБН для групи високотоксичних важких металів склало 0,67. У порядку зменшення значень елементи ранжувались: цинк – 0,37; кадмій – 0,21; селен, свинець та миш'як менше 0,1. Максимальне сумарне значення для групи, яке складало 1,3, забезпечував варіант із широкорядним посівом сорту Гляна при збиранні у фазу біологічної стиглості.

З нашої точки зору зростання концентрації важких металів у насінні може пояснюватися їх фізіологічним значенням, як мікроелементів, так і здатністю окремих елементів, наприклад, кадмію заміщати цинк у процесах синтезу окремих органічних сполук. Хоча, наразі, можливість такої заміни підтверджена в експериментальних дослідженнях лише із культурними злаковими видами та арабідопсисом [111].

До ремедіаційного потенціалу культури також слід віднести акумуляцію важких металів у рослині, тобто показник виносу їх із ґрунту. Процес акумуляції важких металів рослинами в умовах техногенно-хімічного забруднення визначається вибірковою здатністю рослин поглинати певні

метали, рівнем забруднення, впливом супутніх викидів, які підкислюють чи підлужнюють ґрунтовий розчин та вегетативною масою, що сформували рослини на забрудненому ґрунті. При надмірному надходженні забруднювачів спрацьовують захисні механізми рослин, які обмежують проникнення полютантів у надземні органи та включення їх у метаболічні процеси. По відношенню до різних забруднювачів захисні можливості рослин проявляються неоднаково: свинець, наприклад, затримується вже в корінні, кадмій легко проникає в надземні органи [112].

Для визначення величини виносу елемента, що вивчається з гектара, необхідно знати його концентрацію в кожній фракції врожаю і масу цієї фракції в перерахунку на 1 га [113]. Таким чином, урожайність є основним фактором виносу та акумуляції потенційних забруднювачів ґрунту. Відомо, що у формуванні врожайності тієї чи іншої культури провідна роль належить сорту. В історичному аспекті основним формуючим параметром культури був відбір рослин за показниками їх вегетативного розвитку. В свою чергу, ця ознака тісно корелювала з високою початковою інтенсивністю росту кореневої системи та здатністю рослин до формування ефективного листкового апарату. Тому, слід проводити відбір конопель посівних за фітомеліоративним потенціалом на основі розвитку концепції селекції та впровадження сортів, які здатні ефективно використовувати агроєкологічні умови їх росту й розвитку, мати широку адаптивну здатність і стійкість до стресогенних факторів, придатності їх до біоремедіації. Ця здатність залежить, своєю чергою, від норми реакції генотипу сорту на різні чинники довкілля (кліматичні, едафічні, біотичні). Слід зазначити, що у виробничих умовах ці сорти реалізують свій генетичний потенціал спираючись на систему прийомів їх вирощування. Це зумовлює необхідність розглядати системи управління формуванням врожаю з урахуванням взаємодії технологічних агроприйомів, процесів росту та розвитку рослин, агроєкологічних особливостей зон вирощування культури.

Тому розробка сортової агротехніки сортів-біоремдіаторів повинна включати вдосконалені елементи їх вирощування, які, в першу чергу, сприяють одержанню високих урожаїв насіння та соломи, як основних акумуляторів полютантів ґрунту. До основних прийомів технології вирощування конопель відносяться норми висіву та способи посіву, попередники, терміни виконання агротехнічних заходів. Слід враховувати, що культура конопель в Україні вирощується як на двостороннє використання, а також на насіннєві цілі та зеленець. На врожай вирішальним чином впливає густота стебел, яка визначається нормою висіву насіння та строками збирання.

Наразі саме ці ознаки є визначальними при виборі видів претендентів для фітомеліоративних посівів. Додатковими параметрами є дрібнонасінність та здатність насіння до проростання й формування життєздатних сходів в малосприятливих умовах довкілля.

У таблиці 4.2 наведено дані врожайності конопель у досліді із оцінювання фітомеліоративного потенціалу культури. В таблиці наведена врожайність у вигляді структури, яка складається з врожайності зерна та соломи. Така подача матеріалу пояснюється тим, що акумуляція потенційних засмічувачів ґрунту по-різному відбувається у вегетативних та генеративних органах, що доведено в процесі дослідження транслокації полютантів за вегетаційний період вирощування конопель.

Врожайність конопель у досліді коливалась в залежності від фактора сорту, строків збирання, технологічної схеми висіву. При розгляді врожайності, яка формувалася на час технічної стиглості, вивчали лише показники врожайності соломи, в той час, при біологічній стиглості порівнювали врожайність соломи та зерна.

Всі значення врожайності незалежно від факторів впливу мали значну розбіжність через погодно-кліматичні умови років вирощування. Діапазон урожайності коноплепродукції у фазу технічної стиглості складав

3,76 – 5,8 т/га, у фазу біологічної стиглості 6,51 – 9,93 т/га. Частка насіння в урожаї конопель в середньому для дослідів варіювала в межах 11,2 – 24,1 %.

Таблиця 4.2. – Врожайність конопель на фітомеліоративних ділянках залежно від сорту, фази збирання та ширини міжрядь, т/га

Фактори		Середнє за 2015–2017 рр.		
В	Б			
строки збирання	технологічна схема висіву	солома, т/га	зерно, т/га	всього, т/га
Фактор А – сорт				
Гляна				
Технічна стиглість	45 см	3,91	0	3,91
	15 см	5,8	0	5,8
Біологічна стиглість	45 см	5,4	1,38	6,78
	15 см	8,83	1,1	9,93
Глесія				
Технічна стиглість	45 см	3,76	0	3,76
	15 см	5,42	0	5,42
Біологічна стиглість	45 см	4,9	1,61	6,51
	15 см	7,8	1,4	9,2
НІР _{0,05} АБВ		0,89	0,23	-

Середні показники врожаю коноплепродукції за роки досліджень вказують на перевагу сорту Гляна, як при збиранні конопель у фазу технічної стиглості, так і біологічної. Зазначений сорт формував більшу врожайність за всіма варіантами. Максимальний збір соломи (8,83 т/га) забезпечував сорт Гляна при збиранні у фазу біологічної стиглості при ширині міжрядь 15 см, а найбільшу врожайність насіння (1,38 т/га) отримано при посіві рослин з міжряддям 45 см. У сорту Глесія максимальні показники відзначені в аналогічних варіантах, але урожай соломи був нижчим на 11,7 %, а насіння навпаки вищим на 26,1 % порівняно із сортом Гляна.

Дослідження впливу фактору технологічної схеми висіву вказує на перевагу міжряддя 15 см. Так, приріст урожайності коноплепродукції за посіву із зазначеною схемою сорту Гляна складала у фазу технічної стиглості – 48,3 %, а за біологічної – 46,5 %, у сорту Глесія – 44,1 та 41,3 %, відповідно. В структурному розрізі врожайність соломи у сорту Гляна за схемою 15 см при технічній стиглості перевищувала схему 45 см на 48,3 %, при біологічній – на 63,5 %, по сорту Глесія зростання цих показників складало відповідно 44,1 та 59,2 %. Більшу врожайність зерна у досліді рослини формували у посівах з міжряддям 45 см. Так, у сорту Гляна перевищення складало 25,5 %, у сорту Глесія – 15,0 %.

Таким чином, максимальні показники формування коноплепродукції 9,93 т/га було відмічено на варіанті суцільного посіву (міжряддя 15 см) сорту Гляна при збиранні урожаю в фазу біологічної стиглості. Середнє значення частки насіння в загальному урожаї складало – 11,1 %. У варіанті з ширококільними посівами загальна урожайність складала 6,78 т/га. При цьому, частка насіння зростає до 20,4 %. У сорту Глесія врожай коноплепродукції, що формувався на одиниці площі при повному досягненні рослин були меншими. (9,20 т/га). У той же час, максимальна врожайність зерна відмічалась у сорту Глесія (1,61 т/га) при ширококільному способу посіву на 45 см.

У таблиці 4.3 наведено дані, щодо кількості основних токсичних елементів, які виносяться з одиниці площі залежно від сорту, способів сівби та строків збирання. Ці дані дозволяють зробити пряму оцінку фітомеліоративної потенційної здатності конопель. Це загальноприйнята практика для програм ремедіації земель, яку проводять на підставі даних щодо фактичної кількості токсичних елементів що виносяться з ґрунту протягом вегетації [114].

Особливо це важливо в програмах відновлення земель, які забруднені внаслідок техногенних катастроф або активної промислової діяльності. За цих умов основні токсичні елементи сконцентровані у верхньому шарі ґрунту.

Зниження їх концентрації нижче порогового рівня (за 2-3 вегетаційних періоди) дозволяє використання земель у програмах цивільного будівництва [115].

Таблиця 4.3. – Кількість основних токсичних елементів, що виноситься з ґрунту посівами конопель залежно від сорту, фази збирання та ширини міжрядь, г/га (середнє за 2015 – 2017 рр.)

Елементи	Гляна				Глесія				Середнє
	технічна		біологічна		технічна		біологічна		
	45 см	15 см	45 см	15 см	45 см	15 см	45 см	15 см	
Стабільні аналоги радіонуклідів*									
Sr	123,33	199,77	199,07	262,38	98,82	123,35	147,75	196,92	168,93
Середнє	142,24	195,61							
	136,32	201,53							
	196,14				141,71				
Група високотоксичних важких металів									
As	0,05	0,06	0,06	0,04	0,01	0,05	0,04	0,09	0,05
Cd	0,15	0,26	0,29	0,26	0,05	0,1	0,11	0,26	0,18
Pb	0,58	1,29	1,93	1,45	0,31	0,99	0,97	2,04	1,2
Se	0	0	0,4	0,26	0	0	0,06	0,21	0,12
Zn	28,52	52,1	142,97	98,66	24,44	37,32	87,3	87,62	69,87
Середнє	29,3	53,71	145,65	100,67	24,81	38,46	88,48	90,22	71,42
	72,06	70,77							
	36,57	106,26							
	82,33				60,49				
Група середньотоксичних важких металів									
Cr	0,91	1,5	1,22	1,97	0,83	1,31	0,58	1,32	1,21
Co	0,08	0,06	0,17	0,23	0,05	0,09	0,17	0,15	0,13
Ni	9,98	11,1	16,09	14,82	5,91	9,51	9,79	10,24	10,93
Cu	8,4	21,54	29,67	27,74	6,74	9,93	20,72	20,85	18,2
Середнє	19,37	34,2	47,15	44,76	13,53	20,84	31,26	32,56	30,47
	27,83	33,09							
	21,99	38,93							
	36,37				24,55				

* – стабільні аналоги радіонуклідів ⁹⁰Sr та ¹³⁷Cs

Дані досліджень вказують на те, що суттєва різниця у показниках концентрації токсичних елементів у стеблах і насінні конопель й відмінності у співвідношеннях між цими частинами урожаю, залежно від технології вирощування посівів, зумовили перевагу окремих варіантів у досліді за показником кількості винесених із ґрунту токсичних елементів. Для стронцію, що накопичувався переважно у стеблах, максимальну ефективність 262,38 г/га забезпечувала технологія суцільних посівів сорту Гляна при збиранні у фазі біологічної стиглості.

Найбільшу сумарну кількість високотоксичних важких металів – 145,65 г/га виносили з ґрунту рослини широкорядного посіву цього ж сорту, які були зібрані у фазі біологічної стиглості.

Підвищена концентрація високотоксичних важких металів саме у насінні конопель зумовили значно менші показники виносу при збиранні посівів у фазі технічної стиглості, а саме 36,57 проти 106,26 г/га при біологічному дозріванні. Особливо це стосується таких важких металів, як кадмій та цинк, які можуть перемішатися по стеблу разом із переміщенням продуктів фотосинтезу або пластичних речовин, що вивільняються в процесі відмирання нижніх і середніх ярусів листків.

ВИСНОВКИ

Враховуючи значну кількість земель в Україні, які забруднені важкими металами та радіонуклідами, нарізло нагальне питання їх відродження, і, у тому числі, за допомогою заходів фітомеліорації. Одним із напрямків є використання біоремедіаційного потенціалу сільськогосподарськи культур, що наразі є мало дослідженим.

Коноплі посівні надзвичайно цінна технічна культура, вирощування якої має давні, сформовані традиції в Україні. Рослина є джерелом продуктів харчування та високоякісного, міцного й екологічного волокна. До останнього часу залишалася поза увагою ще одна важлива властивість рослин конопель посівних – їх здатність до фітомеліорації. Для більш повного розуміння процесів накопичення рослинами радіонуклідів, важких металів та їх сполук уточнено ботанічні, біологічні та технологічні особливості конопель, що дозволило визначити ряд переваг рослини, як фітомеліоративної культури:

- по-перше, на відміну від основних рослин для ремедіації, які є багаторічними, коноплі – однорічна рослина, що дозволяє щорічно майже повністю видаляти з рекультивованої площі накопичену біомасу, яка містить важкі метали та їх сполуки;
- по-друге, коноплі витримують повторні посіви, а це вказує на можливість вирощувати культуру у вигляді фітомеліоранта декілька років поспіль, не змінюючи технологію та технічне забезпечення ремедіації;
- по-третє, розроблені технології, які гарантують бездефіцитний баланс гумусу при беззмінному вирощуванні конопель, що дозволяє відновлювати землі сільськогосподарського призначення без зниження їх родючості;
- по-четверте, можливість двоцільового вирощування, як на соломі, так і на насінні. Це дозволяє зібрати врожай на конкретному етапі розвитку рослин у визначену фазу максимального виносу небажаних елементів з подальшою утилізацією сировини.

В монографії надано аналіз вмісту лужноземельних металів, хімічних елементів лантаноїдної групи, актиноїдної групи, групи перехідних металів, хімічних елементів групи напівметалів, неорганічних елементів у ґрунті та особливості їх накопичення й виносу структурними елементами врожаю конопель посівних.

Встановлено, що хімічні елементи, які є різного ступеня токсичними для людини і відносяться за хімічною характеристикою до однієї групи, по різному можуть надходити до рослин конопель. Досліджено, що на величину показників акумуляції більшості хімічних елементів проявляли істотний вплив: вміст сполук цих елементів в орному шарі ґрунту, рівень енергетичного (світлового) забезпечення рослин культури у процесі вегетації (ширина міжрядь 15 та 45 см), сортові особливості, фаза збирання та рівень врожайності коноплепродукції.

Визначено фактичні значення показника коефіцієнту біологічного накопичення (КБН), як базового показника ремедіаційного потенціалу культури конопель у розрізі: елементів стабільних аналогів радіонуклідів цезію (^{137}Cs) і стронцію (^{90}Sr); елементів групи високотоксичних важких металів та елементів, що формують групу середньотоксичних важких металів.

Середнє значення коефіцієнта біологічного накопичення (КБН) стронцію (^{90}Sr) було одним із найбільш високих у досліді, а саме 0,58. У розрізі сортів вищі середні значення КБН мав сорт Гляна – 0,64, проти 0,52 у сорту Глесія. Різниця у показниках пояснюється позиціонуванням сорту Гляна, як більш інтенсивного, з високим рівнем засвоєння мінеральних елементів з ґрунту. На користь цього положення також вказують вищі показники при збиранні посівів у фазі технічної стиглості, а саме – 0,63 проти 0,53 для урожаю, зібраного у фазі біологічної стиглості.

Сумарне середнє значення показника КБН для групи високотоксичних важких металів склало 0,67. У порядку зменшення значень елементи ранжувались: цинк (Zn) – 0,37; кадмій (Cd) – 0,21; селен (Se), свинець (Pb) та

миш'як (As) менше 0,1. Максимальне сумарне значення для групи, яке складало 1,3, забезпечував варіант із широкорядним посівом сорту Гляна при збиранні у фазу біологічної стиглості.

Встановлено, що урожайність конопель в досліді коливалась у залежності від фактора сорту, строків збирання, технологічної схеми висіву. Так, діапазон урожайності коноплепродукції у фазу технічної стиглості складав 3,76 – 5,8 т/га, у фазу біологічної стиглості 6,51 – 9,93 т/га. Частка насіння в урожаї конопель в середньому варіювала в межах 11,1 – 24,1 %.

Максимальний збір солом (8,83 т/га) забезпечував сорт Гляна при збиранні у фазу біологічної стиглості при ширині міжрядь 15 см, а найбільшу врожайність насіння (1,38 т/га) отримано при посіві рослин з міжряддям 45 см. У сорту Глесія максимальні показники відзначені в аналогічних варіантах, але урожай солом був нижчим на 11,7 %, а насіння навпаки вищим на 26,1 % порівняно із сортом Гляна.

Дослідження впливу фактору технологічної схеми висіву вказує на перевагу міжряддя 15 см. Так, приріст врожаю коноплепродукції за посіву із зазначеною схемою сорту Гляна склав у фазу технічної стиглості – 48,3 %, а за біологічної – 46,5 %, у сорту Глесія – 44,1 та 41,3 %, відповідно. У структурному розрізі врожайність солом у сорту Гляна за схемою 15 см при технічній стиглості перевищувала схему 45 см на 48,3 %, при біологічній – на 63,5 %. По сорту Глесія зростання цих показників склало, відповідно, 44,1 та 59,2 %. Більшу врожайність зерна у досліді рослини формували у посівах з міжряддям 45 см. Так, у сорту Гляна перевищення склало 25,5 %, у сорту Глесія – 15,0 %.

Максимальні показники врожаю коноплепродукції – 9,93 т/га відмічено на варіанті суцільного посіву (міжряддя 15 см) сорту Гляна при збиранні урожаю в фазу біологічної стиглості. Середнє значення частки насіння в загальному урожаї склало – 11,1 %. У варіанті з широкорядними посівами загальна урожайність склала 6,78 т/га. При цьому частка насіння зросла

до 20,4 %. У сорту Глесія врожай коноплепродукції, що формувався на одиниці площі при повному достиганні рослин був меншим (9,20 т/га). У той же час, максимальна врожайність зерна у досліді відмічалась у сорту Глесія (1,61 т/га) при широкорядному способу посіву на 45 см.

Встановлено переважання окремих варіантів за показником кількості виносених із ґрунту токсичних елементів за рахунок: суттєвої різниці у показниках концентрації токсичних елементів у стеблах і насінні конопель; відмінностях у співвідношенні між цими частинами в урожаї, залежно від технології вирощування посівів. Для стронцію (Sr), що накопичувався переважно у стеблах, максимальну ефективність (262,38 г/га) забезпечувала технологія суцільних посівів сорту Гляна при збиранні у фазі біологічної стиглості.

Найбільшу сумарну кількість високотоксичних важких металів – 145,65 г/га виносили з ґрунту рослини широкорядного посіву сорту Гляна, які були зібрані у фазі біологічної стиглості.

Підвищена концентрація високотоксичних важких металів саме у насінні конопель зумовили значно менші показники виносу при збиранні посівів у фазі технічної стиглості, а саме 36,57 проти 106,26 г/га при біологічному дозріванні. Особливо це стосується таких важких металів, як кадмій (Cd) та цинк (Zn), які можуть мігрувати по стеблу разом із переміщенням продуктів фотосинтезу або пластичних речовин, що вивільняються в процесі відмирання нижніх і середніх ярусів листків.

Отже, коноплі посівні поряд із вже відомими напрямками всебічного застосування можуть використовуватись і, як фітомеліоративна культура. Для підвищення ефективності ремедіації забруднених територій за допомогою культури конопель необхідно враховувати особливості конкретних ґрунтово-кліматичних умов, хімічний склад і ступінь забруднення та напрямки подальшого використання земель.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Мигаль М. Д., Кабанець В. М. Сучасні селекційно-генетичні дослідження конопель. *Вісник аграрної науки*. 2009. № 8. . С. 50–53.
2. Примаков О. А., Маринченко І. О., Головій О. В. Технічні коноплі в Україні – погляд в майбутнє. *Сучасні технології*. 2013. № 5. С. 36–40.
3. Самойленко І. Возрождение лубяной культуры. *Зерно*. 2013. № 8. С. 72–74.
4. Кабанець В. М., Рудник-Іващенко О. І. Коноплі посівні – фітомеліоративна культура. *Агробіологія* : збірник наукових праць (Білоцерківський державний аграрний університет). 2017. № 2 (135) С. 142–149.
5. Самохвалова В. Л. Применение антидотов при загрязнении системы почва–растение тяжелыми металлами. *Грунтознавство*. 2006. №. 7, № 3-4. С 50-66.
6. Кабанець В. М. Вплив мікроелементів та вапнування на окупність добрив при вирощуванні конопель посівних в монокультурі. *Луб'яні та технічні культури* : збірник наукових праць. Суми : ФОП Щербина І. В., 2017. № 5(10). С. 163–168.
7. Кабанець В. М., Бердін С. І. Вплив беззмінних посівів конопель посівних на агрохімічні показники орного шару ґрунту. *Аграрні інновації*. 2020. №. 3. С. 33–38.
8. Кабанець В. М., В. В. Кабанець. Сучасні сорти конопель посівних для різних напрямків використання. *Гончарівські читання* : матеріали Міжнар. наук.-практ. конф., 26–27 травня 2016 р. Суми, 2016. С. 42–44.
9. Конституція України. Верховна Рада України. *Відомості Верховної Ради України*. 1996. № 30. ст. 141.
10. Стефанків О. М., Максимович О. М. Рационалізація природокористування в АПК та формування екологічної свідомості населення. Івано-Франківськ: Сімик, 2012. – 180 с.
11. Погурельський С. П., Мартин А. Г. Формування оптимальних співвідношень земельних угідь як основа сталого природокористування ре/ *Збірник наукових статей „III-го Всеукраїнського з'їзду екологів з міжнародною участю”*. Вінниця, 2011. – Т. 2. – С. 503–505.
12. Сопов Д. С. Деградовані та порушені землі: до визначення понять. *Екологія – шляхи гармонізації відносин природи та суспільства*. Умань, 2018. – С. 72–74.
13. Лісова Т. В. Щодо питання про відновлення земель як виду земельних відносин. *Науковий вісник Ужгородського національного університету. Серія: Право*. 2016. №. 36 (1). С. 200–203.
14. Єременко Н. С. Рудеральна рослинність України: стан дослідження, проблеми та перспективи. *Чорноморський ботанічний журнал*. 2017. №. 13, № 2. С. 134–151.
15. Кучерявий В.П., Генік Я.В., Дида А.П. Рекультивация та фітомеліорація. Львів НЛТУ, 2006. – 116 с.
16. Колесников Б. П., Пикалова Г. М. К вопросу о классификации промышленных отвалов как компонентов техногенных ландшафтов *Растения и промышленная среда*. 1974. Сб. 3. С. 3–28.
17. Попович В. В. Фітомеліорація як засіб виведення сміттєзвалищ із експлуатації. *Вісник ЛДУ БЖД*. 2015. №11. С. 126–130.
18. ДБН В.2.4-2-2005. Полігони твердих побутових відходів. Основні положення проектування від 17.06.2005 р. за № 101.
19. Піндер В. Ф. Фітомеліорація та рекультивация териконів Львівсько-Волинського вугільного басейну. *New Horizons: Achievements of Various Branches of Science. Proceedings of 1st International Scientific Conference. Morrisville*. Lulu Press. 2016. P. 148–151.

20. Гуцуляк Ю. Г. Еколого-економічна типологія земель на базі їх біоіндикаційної та ґрунтово-індикаційної оцінок. *Агроекологія*. 2009. №. 7. С. 9–14.

21. Андрієнко, О.Д. Еколого-біологічні особливості видів роду *Amelanchier* Medik. в умовах інтродукції у Правобережному Лісостепу України: автореф. дис. ... канд. біол. наук : 03.00.05 «Ботаніка». Київ, 2016. –23 с.

22. Opalko A.I. Andrienko, O.D. Opalko O.A. Taxonomic composition and changes in system of *Amelanchier* Medik. genus // *Studia Biologica*, 2015. - Т. 9. - № 2. С. 181–190.

23. Котовська Ю. С. Внесок академіка П. С. Погребняка у наукове забезпечення степового лісорозведення в Україні. *Зрошуване землеробство*. 2012. №. 57. С. 307–311.

24. Філіпова Л. М., Стадник А. П., Мацкевич В. В., Карпук Л. М., Василенко І. Д. Урбоекологія та фітомеліорація. – Біла Церква, 2018. – 214 с.

25. Власенко М. В. Восстановление деградированных пастбищ полупустынно-степной зоны юга России методом фитомелиорации. *Защитное лесоразведение, мелиорация земель, проблемы агроэкологии и земледелия*. 2016. С. 69–73.

26. Калин Б. М., Буцяк Г. А., Фоміна М. В., Дашковський О. О. Ґрунт як початкова ланка міграції важких металів у екосистемах *Науковий вісник Львівського національного університету ветеринарної медицини та біотехнологій ім. Гжицького*. 2013. №. 15, № 1 (4). С. 56–61.

27. Снітинський В. В., Сміль О. В. Вміст важких металів у ґрунтах насаджень різного функціонального значення зеленої зони м. Львова *Передгір'я та гірське землеробство і тваринництво*. 2016. №. 60. С. 131–138.

28. Калин Б. М., Буцяк Г. А., Фоміна М. В., Дашковський О. О. Ґрунт як початкова ланка міграції важких металів у екосистемах. *Науковий вісник Львівського національного університету ветеринарної медицини та біотехнологій ім. Гжицького*. 2013. №. 15, № 1 (4). С. 56–61.

29. Дмитрук Ю. М. Ґрунтосфера: пріоритет в контексті глобальних проблем та аспекти екологічної безпеки // *Ecological Safety and Balanced Use of Resources*. 2010. №. 1 (1). С. 53–59.

30. Копій М. Л., Гончар В. М., Копій С. Л., Клименко О. М., Копій Л. І., Крупський В. Р. Фітомеліоративна роль рослинного покриву у відтворенні дегазованих земель в межах сірчаних розробок Західного Лісостепу.: монографія. Рівне : НУВГП, 2019. – 230 с.

31. Штика О. С. Оценка эффективности современных технологий ремедиации почв, загрязненных тяжелыми металлами. *Техногенно-екологічна безпека та цивільний захист*. 2013. №. 5. С. 47–60.

32. Xu P., Wang Z. A comparison study in cadmium tolerance and accumulation in two cool-season turfgrasses and *Solanum nigrum* L. *Water, Air, & Soil Pollution*. 2014. Т. 225. – №. 5. С. 1–9.

33. Reeves R. D. et al. A global database for plants that hyperaccumulate metal and metalloids trace elements. *New Phytologist*. 2018. Т. 218. №. 2. С. 407–411.

34. Wang H. B. et al. Arsenic uptake and accumulation in fern species growing at arsenic-contaminated sites of southern China: field surveys *International Journal of Phytoremediation*. – 2006. Т. 8. №. 1. С. 1–11.

35. Zhao F. J., Dunham S. J., McGrath S. P. Arsenic hyperaccumulation by different fern species. *New phytologist*. 2002. Т. 156. №. 1. С. 27–31.

36. Жумабеков Э. Ж. и др. Засоленные почвы кыргыстана и пути их мелиорации. *Вестник Кыргызского национального аграрного университета им. К.И. Скрябина*. 2018. №. 2. С. 114–121.

37. Самохвалова В. Л. Біологічні методи ремедіації ґрунтів, забруднених важкими металами. *Біологічні студії*. 2014. №. 8, № 1. С. 217–236.

38. Popovych V. B. Phytomelioration as a factor decommissioning landfills *Вісник Львівського державного університету безпеки життєдіяльності*. 2015. Т. 11. С. 126–130.

39. Бахвалов А. В., Лаврентьева Г. В., Сынзыныс Б. И. Биогеохимическое поведение ^{90}Sr в наземных и водных экосистемах. *Биосфера*. 2012. Т. 4. № 2. С. 206–216.

40. Кабанец В. М. Таксономія видів роду *Cannabis* та історія її систематики. *Сучасний стан та гармонізація назв культурних рослин у системі UPOV*: матеріали Міжн. наук.-практ. конфер., 13 жовтня 2017 р. Київ, 2017. С. 20–22.

41. Salentijn E. M. J., Zhang Q., Amaducci S. et al. New developments in fiber hemp (*Cannabis sativa* L.) breeding. *Industrial Crops and Products*. 2015. Vol. 68. P. 2–41.

42. Кабанец В. М., Кабанец В. В. Сучасні сорти конопель посівних для різних напрямків використання. *Гончарівські читання* : матеріали Міжнар. наук.-практ. конф., 26–27 травня 2016 р. Суми, 2016. С. 42–44.

43. Мигаль М. Д., Кабанец В. М., Конопля К. В. Вплив внутрішніх факторів рослин конопель на насінневу продуктивність. *Луб'яні та технічні культури*. 2011. Вип. 1 (6). С. 21–40

44. Конопля. М. А. Тимонин и др.; под ред. : Г. И. Сенченко, М. А. Тимонина. Москва: Колос, 1978. – 287 с.

45. Вировець В. Г., Лайко І. М., Кабанец В. М. Досягнення і перспективи селекції конопель на підвищення насінневої продуктивності. *Луб'яні та технічні культури* : збірник наукових праць. Суми : ВБ «Еллада», 2012. Вип. 2 (7). С. 13–27.

46. Прянишников Д. Н. Частное земледелие (растения полевой культуры). Избранные сочинения. Москва : Колос, 1965. Том II. С. 708.

47. Гришко Н. Н. Биология конопли. Харьков–Киев: Гос. изд-во колх. и совх. литературы УССР, 1935. – 268 с.

48. Коноплі / В. Г. Вировець та ін.; за ред. : М. Д. Мигалю, В. М. Кабанця. Суми : Видавничий будинок «Еллада», 2011. – 384 с.

49. Коренев Г. В., Подгорный П. И., Щербак С. Н. Растениеводство с основами селекции и семеноводства. Москва: Агропромиздат, 1990. – 575 с.

50. Вавилов П.П., Гриценко В.В., Кузнецов В.С. Растениеводство. Москва: Агропромиздат, 1986. – 512 с.

51. Amaducci S., Scordia D., Liu F. H., Zhang Q., Guo H., Testa G., Cosentino S. L. Amaducci S. et al. Key cultivation techniques for hemp in Europe and China. *Industrial Crops and Products*. 2015. Т. 68. С. 2–16.

52. Żuk-Golaszewska K., Golaszewski J.(2017). *Cannabis sativa* L. – cultivation and quality of raw material. *Journal of Elementology*. Т. 23. № 3. С. 971–984.

53. Zhang S. D., Soltis D. E., Yang Y., Li, D. Z., Yi T. S. Multi-gene analysis provides a well-supported phylogeny of Rosales. *Molecular Phylogenetics and Evolution*. – 2011. Т. 60. №. 1. С. 21–28.

54. Кабанец В. М., Кабанец В. В. Особливості вирощування конопель посівних на зерно в умовах північно-східного Лісостепу України : методичні рекомендації. Сад, 2018. – 32 с.

55. Голобородько П. А., Дышлева Г. В. Нормы высева и продуктивность конопли. *Технол. воздел., уборки и перв. обраб. луб. культур* (ред. Г. И. Сенченко) : сб. тр. Глухов, 1985. С. 31–35.

56. Бедак Г. Р. Эффективность внесения минеральных удобрений под коноплю на обыкновенных черноземах юга Украины. *Биология, возделывания и первичная обработка конопли и кенафа* : сб. науч. трудов ВНИИ лубяных культур: (ред. Тимонин М. А.). Глухов, 1971. Вып. 34. С. 109–112.

57. Шатун Б. И. Влияние удобрений на урожайность и водопотребление культур специализированного севооборота с коноплёй. *Организация, технология возделывания, уборки и первичной обработки конопли*: сб. научн. тр. Глухов: ВНИИЛК, 1987. С. 30–39.

58. Сова Н. А., Луценко М. В., Андрусевич Е. В., Корчмарёва А. В. Исследование показателей качества и безопасности семян органической и конверсионной промышленной конопли сорта «Гляна». *Вестник Херсонского национального технического университета*. 2018. № 2. С.155–159.

59. Кабанец В. М., Михальська Л. М., Швартау В. В., Матус В. М. Фітомеліоративні властивості рослин *Cannabis sativa* L. залежно від сортових

особливостей культури. *Plant Varieties Studying and Protection*. 2017. Т. 13. № 4. С. 423–428.

60. Доспехов Б. А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований). Москва: Агропромиздат, 1985. 351 с.

61. Довідник для радіологічних служб Мінсільгосппроду України / Б. С. Прістер та ін. Київ : УНДІСГР, 1997. – 176 с.

62. Яковлев С. О., Мельник І. В., Дубицький А. І. Еколого-геохімічна оцінка забруднення ґрунтів, донних відкладів, ґрунтових вод : методичні рекомендації. Київ : Геоінформ, 1998. – 33 с.

63. Перельман А. И., Касимов Н. С. Геохимия ландшафта. Москва, 1999. – 610 с.

64. Методика государственного сортоиспытания сельскохозяйственных культур. Масличные, эфирномасличные и технические культуры, шелковица, тутовый шелкопряд. Выпуск 3 / подгот. К. С. Назаренко и П. Е. Маринич. Москва, 1972. – 240 с.

65. Методика проведення експертизи сортів конопель (*Cannabis sativa* L.) на відмінність, однорідність і стабільність / М. Д. Мигаль та ін. *Охорона прав на сорти рослин*. 2007. Вип. 1, Ч. 3. С. 51–63.

66. Современные методы биофизических исследований : практикум по биофизике / А. А. Булычев и др.; под ред. А. Б. Рубина. Москва: Высшая школа, 1988. – 359 с.

67. Биотестовый анализ – интегральный метод оценки качества объектов окружающей среды : уч.-метод. пособие / А. Г. Бубнов и др.; под общ. ред. В. И. Гриневича. Иваново : Иван. гос. хим.-технол. ун-т., 2007. – 112 с.

68. Івашенко О. О. Екологічні принципи регулювання агрофітоценозів. *Карантин і захист рослин*. 2005. № 8. С. 6–8.

69. ДСТУ ISO 11269-2:2002. Вплив хімічних речовин на проростання та ріст вищих рослин (ISO 11269-2:1995, IDT). [Чинний від 2004-07-01]. Київ : Держспоживстандарт України, 2004. 14 с. (Національний стандарт України).

70. Rudnyk-Ivashchenko O. I., Mykhalska L. M., Schwartau V. V. Peculiarities of the Heavy Metal Accumulation in the Medicinal Plants under the Lisosteppe Conditions. *Journal of Nature Science and Sustainable Technology*. 2016. Т. 10. №. 2. С. 171–184.

71. Валерко Р. А. Использование биотестирования для оценки антропогенного загрязнения почвенного покрова. *Агроэкологические аспекты устойчивого развития АПК* : материалы VIII междунар. науч. конф., 14–18 марта 2011 г. Брянск, 2011. С. 74–78.

72. Губачов О. І. Особливості використання рослин для біотестування ґрунтів з метою визначення рівня екологічної безпеки промислових територій. *Нові технології* : наук. вісник КУЕІТУ, 2010. № 3 (29). С. 164–171.

73. Екологічна енциклопедія : у 3 т. / редколегія: А. В. Толстоухов та ін. Київ : Центр екологічної освіти та інформації, 2007. Т. 1. 432 с.; Київ, 2007. Т. 2. 416 с.; Київ, 2008. Т. 3. – 472 с.

74. Кабата-Пендиас А., Пендиас Х. Микроэлементы в почвах и растениях. Москва: Мир, 1989. С. 83–93.

75. Кабанець В. М., Швартау В. В., Матус В. М., Михальська Л. М. Фітомеліоративні властивості рослин *Cannabis sativa* L. залежно від сортових особливостей культури *Plant Varieties Studying and Protection (Сортовичення та охорона прав на сорти рослин)*: наук.-практ. журнал. Київ : Український інститут експертизи сортів рослин, 2017. Т. 13, № 4. С. 423–428.

76. Grant D. M., Harris R. K. Encyclopedia of Nuclear Magnetic Resonance, Volume 9, *Advances in NMR Spectroscopy*. 1996. Т. 5. С. 13–24.

77. Савицкий Е. М., Терехова В. Ф. Металловедение редкоземельных металлов. Москва: Мир, 1975. – 145 с.

78. Тейлор К., Дарби М. Физика редкоземельных соединений. Москва: Мир, 1974. – 376 с.

79. Білецький В. С., Ященко Ю. П., Загнітко А. П., Манець І. Г. Українська гірничо-термінологія: становлення, удосконалення і вживання. *Уголь України*. 2003. № 12. С. 48–50.

80. Chatterje A., Singh A. K., Jayaraman A. Pressure-induced electronic collapse and structural changes in rare-earth monochalcogenides. *Physical Review B*. – 1972. – Т. 6. – №. 6. – С. 2285–2291.

81. Любич О. Й., Пчелінцев В. О. Фізичні основи металургії кольорових і рідкоземельних металів : навч. пос. Суми : Вид-во СумДУ, 2009. С. 209–212.

82. Барановская Н. С., Игнатова Т. Н., Рихвано Л. П. Уран (U) и торий (Th) в органах и тканях человека. *Вестник Томского государственного университета*. 2010. № 65. С. 25–28.

83. Мельничук Ю. П. Влияние ионов кадмия на клеточное деление и рост растений. Киев. : Наук. думка, 1990. – 148 с.

84. Лидин Р. А., Молочко В. А., Андреева Л. Л. Химические свойства неорганических веществ : учеб. пос. для вузов. Москва: Химия, 2000. – 480 с.

85. Housecroft C. E., Sharpe A. G. *Inorganic Chemistry. England: Pearson*. 2005. С. 673–700.

86. Scott A. D., Smith S. J. Sources, amounts, and forms of alkali elements in soils. *Advances in soil science*. Springer, New York, NY, 1987. С. 101–147.

87. Рейтер А. Г., Степаненко О. М. Теоретичні розділи загальної хімії. Київ: Каравела, 2003. – 351 с.

88. Турова Н.Я. Таблицы-схемы по неорганической химии Москва: МЦНМО, 2018. – 48 с.

89. Ковальский В. В. Геохимическая экология. Москва: Наука, 1974. – 300 с.

90. Кабанец В. М., Рудник-Іващенко О. І. Коноплі посівні – фітомеліоративна культура. *Агробіологія: збірник наукових праць (Білоцерківський державний аграрний університет)*. 2017. № 2 (135). С. 142–149.

91. Роман Б. В., Десенко В. Г., Жадан Б. І. Динаміка забруднення орних земель та сільськогосподарських рослин радіонуклідами цезію-137 в Харківській області впродовж 2001-2011 років. *Вісник Центру наукового забезпечення АПВ Харківської області*. 2014. №. 16. С. 197–203.

92. Гігієнічні нормативи ГН 6.6.1.1-130-2006 «Допустимі рівні вмісту

радіонуклідів ¹³⁷Cs та ⁹⁰Sr у продуктах харчування та питній воді» (ДР 2006). Київ.: МОЗ України. 1997. № 255. – 45 с.

93. Венгліньський М. О. Глушенко М. К., Годинчук Н. В., Хмара Т. І. Роль мікроелементів у живленні рослин та покращенні родючості ґрунтів. *Вісник Національного університету водного господарства та природокористування*. 2014. №. 1 (65). С. 73-79.

94. Макро- та мікроелементи (обмін, патологія та методи визначення): монографія / М.В. Погорелов, В.І. Бумейстер, Г.Ф. Ткач, С.Д. Бончев, В.З. Сікора, Л.Ф. Сухолуб, С.М. Данильченко, Суми: Вид-во СумДУ, 2010. С. 25-27.

95. Баимова С. Р. Тяжёлые металлы в системе «почва – растения – животные» в условиях Башкирского Зауралья : дис. ... канд. биол. наук. Уфа, 2009. – 151 с.

96. Настанова СТ-Н МОЗУ 42-4.0:2008 «Лікарські засоби. Належна виробнича практика», додаток 7. Київ, МОЗ України. 2009. С. 202–207.

97. Габович Р. Д., Присухина Л. С. Гигиенические основы охраны продуктов питания от вредных химических веществ. Киев : Здоровье, 1987. – 248 с.

98. Горбатов В. С. Устойчивость и трансформация оксидов тяжелых металлов (Zn, Pb, Cd) в почвах. *Почвоведение*. 1988. № 1. С. 35–43.

99. Пухальская Н. В. Проблемные вопросы алюминиевой токсичности. *Агрохимия*. 2005. № 8. С. 70–81.

100. Трахтенберг И. М. Тяжелые металлы во внешней среде: современные гигиенические и токсикологические аспекты. Минск : Наука и техника, 1994. – 286 с.

101. Arthur J. R., Beckett G. J., Mitchell J. H. The interactions between selenium and iodine deficiencies in man and animals. *Nutrition research reviews*. 1999. Т. 12. №. 1. С. 55–73.

102. Котвіцька А. А., Лобова І. О. Дослідження соціально-епідеміологічних показників населення України внаслідок хвороб системи

кровообігу на державному та регіональному рівнях. *Вісник фармації*. 2012. № 4. С. 62–65.

103. Завальцева О. А. Основы биогеохимии. - Ульяновск: УлГУ, 2012. – 71 с.

104. Чертко Н. К., Ковальчик Н. В., Хомич В. С., Карпиченко А. А., Жумарь П. В., Тимофеева Т. А. Геохимия ландшафта. Минск: БГУ, 2011. – 303 с.

105. Казнина Н. М., Титов А. Ф., Лайдинен Г. Ф., Батова Ю. В. Влияние кадмия на водный обмен растений ячменя. *Труды Карельского научного центра Российской академии наук*. 2011. №. 3. С. 57–61.

106. Титов А. Ф., Таланова В. В., Казнина Н. М., Лайдинен Г. Ф. Устойчивость растений к тяжелым металлам. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2007. – 170 с.

107. Титов А. Ф., Лайдинен Г. Ф., Казнина Н. М. Влияние ионов свинца на рост и морфофизиологические показатели растений ячменя и овса. *Физиология и биохимия культ. растений*. 2001. Т. 33, № 5. С. 387–393.

108. Кабанец В. М. Особливості накопичення стронцію (Sr) рослинами конопель посівних. *Наукове забезпечення інноваційного розвитку агропромислового комплексу в умовах змін клімату* : матеріали Міжнародної науково-практичної конференції молодих вчених і спеціалістів, 25–26 травня 2017 р. Вінниця : ТОВ «Нілан-ЛТД», 2017. С. 102–104.

109. Кулич Н.В., Липская А.И. и др. Новые методические подходы к одновременному измерению активности ^{90}Sr и ^{137}Cs в объектах окружающей среды. *Ядерная физика та енергетика*. 2012. Т. 13. № 4. С. 403–408

110. Mills R. F., Peaston K. A., Runions J., Williams L. E. HvHMA2, a P1BATPase from barley, is highly conserved among cereals and functions in Zn and Cd transport. *PLOS ONE*. 2012. Т. 7: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0042640>.

111. Axelsen K. B., Palmgren M. G. Inventory of the superfamily of P-type ion pumps in Arabidopsis. *Plant physiology*. 2001. Т. 126– №. 2. С. 696–706.

112. Ivashchenko, T. H., Pushkarova, I. D. Otsinka ekolohichnoho stanu gruntiv terytorii Saksokho derzhavnoho khimichnoho zavodu. *Ekolohichna bezpeka*. 2014. № 1(17). С. 64–68.

113. Бурдуковский М. Л., Голов В. И. Накопление и вынос элементов питания и тяжелых металлов растением сои на почвах юга Дальнего Востока *Масличные культуры*. 2011. №. 1. С. 146–147.

114. Клаус А. А., Лысенко Е. А., Холодова В. П. Рост растений кукурузы и накопление фотосинтетических пигментов при кратко- и долгосрочном воздействии кадмия. *Физиология растений*. 2013. Т. 60, № 2. С. 246–256.

115. Ci D., Jiang D., Wollenweber B., Dai T., Jing Q., Cao W. Cadmium stress in wheat seedlings: growth, cadmium accumulation and photosynthesis. *Acta Physiologiae Plantarum*. 2010. Т. 32. №. 2. С. 365–373.

НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ АГРАРНИХ НАУК УКРАЇНИ
ІНСТИТУТ СІЛЬСЬКОГО ГОСПОДАРСТВА ПІВНІЧНОГО СХОДУ

КАБАНЕЦЬ Віктор Михайлович
РУДНИК-ІВАЩЕНКО Ольга Іванівна
ШВАРТАУ Віктор Валентинович
МИХАЛЬСЬКА Людмила Миколаївна
КАБАНЕЦЬ Віталій Вікторович
БЕРДІН Сергій Іванович

ФІТОМЕЛІОРАТИВНИЙ ПОТЕНЦІАЛ КУЛЬТУРИ КОНОПЕЛЬ

Наукове видання

Формат __х__ / ____. Гарнітура Times New Roman.
Друк офсетний. Папір офсетний. Ум. друк. арк. – _____. Наклад 100 прим.

Підготовлено до друку та друк – ФОП Щербина І.В.

Свідоцтво ДК №5211 від 16.09.2016 р.

м. Суми, вул. Г. Кондратьєва, 25/1, оф. 1. Тел. (0542) 78-18-25.
Моб.: (095)313-10-35, (096)250-82-70. Сайт: <http://www.ellada-sumy.com/>