

**МІНІСТЕРСТВО ОХОРОНИ ЗДОРОВ'Я УКРАЇНИ**  
**ДНІПРОВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ МЕДИЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**  
**Кафедра медичної біології, фармакогнозії, ботаніки та гістології**

**Кваліфікаційна робота**

**на здобуття ступеня вищої освіти «магістр»**

на тему: «Фармакогностичний аналіз лікарських рослин та лікарської рослинної сировини як джерел есенціальних макро- та мікроелементів для нутрицевтичної та фармацевтичної промисловості»

**Виконала:** студентка заочної форми навчання  
спеціальності 226 «Фармація, промислова фармація»

Сапицька Альона

**Керівник:** Колосова Ірина Іванівна

доцентка, к.біол.н

**Рецензент:** Шаторна Віра Федорівна

професорка, д.біол.н.

**Рекомендовано до захисту:**

протокол засідання кафедри

№ 11 від 26.05 2026 р.

Завідувач кафедри

Шаторна Віра Федорівна

**Захищено на засіданні ЕК**

протокол № 1 від « 11 » червня 2026 р.

Оцінка відмінно / В / 182

(за національною шкалою/ за шкалою

ECTS/ бал)

Голова ЕК Лєвих А. Е.

**Дніпро – 2026**

## ЗМІСТ

Вступ		5
Розділ 1	Теоретичні основи вивчення есенціальних макро- та мікроелементів (аналіз літературних даних)	8
1.1.	Біологічна роль макро- та мікроелементів в організмі людини	8
1.2.	Класифікація біогенних елементів	11
1.3.	Поширеність дефіцитних станів та їх медико-соціальне значення	12
1.4.	Огляд сучасного ринку мінераловмісних лікарських засобів та дієтичних добавок.	13
1.5.	Сучасні джерела надходження мінеральних елементів	13
1.6.	Переваги рослинних мінеральних комплексів перед синтетичними субстанціями.	13
Розділ 2.	Лікарські рослини як природне джерело есенціальних елементів	16
2.1.	Механізми акумуляції макро- та мікроелементів рослинами	16
2.2.	Фактори, що впливають на елементний склад ЛРС	20
2.3.	Особливості накопичення елементів у різних морфологічних групах ЛРС	21
2.4.	Порівняльна характеристика перспективних видів лікарських рослин	22
Розділ 3	Фармакогностичний аналіз ЛРС за елементним складом	23
3.1.	Методи визначення макро- та мікроелементів	23
3.1.1.	AAS- атомно-абсорбційна спектроскопія	24
3.1.2.	ICP-OES - індуктивно зв'язана плазмова оптична емісійна спектроскопія	24

3.1.3.	ICP-MS - мас-спектрометрія з індуктивно зв'язаною плазмою	24
3.1.4.	XRF -рентгенофлуоресцентний аналіз	24
3.2.	Стандартизація ЛРС за мінеральним профілем	25
3.3.	Контроль токсичних елементів у ЛРС	25
3.4.	Нормативна база контролю якості	25
Розділ 4	Перспективи використання ЛРС у нутрицевтичній та фармацевтичній промисловості	27
4.1.	Створення мінералвмісних фітопрепаратів	27
4.2.	Комбіновані фітонутрицевтики	28
4.3.	Переваги рослинних форм мінералів	29
4.4.	Безпечність та екологічні аспекти	29
Висновки		31
Список використаних джерел		34
Додатки		38

## ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ

AAS — атомно-абсорбційна спектроскопія

AES — атомно-емісійна спектроскопія

ICP-MS — мас-спектрометрія з індуктивно зв'язаною плазмою

ICP-OES — оптично-емісійна спектрометрія з індуктивно зв'язаною плазмою

XRF — рентгенофлуоресцентний аналіз

БАР — біологічно активні речовини

ЛР — лікарська рослина

ЛРС — лікарська рослинна сировина

ФЕ — Фармакопея Європейська

WHO — World Health Organization (Всесвітня організація охорони здоров'я)

Ca — кальцій

K — калій

Na — натрій

Mg — магній

P — фосфор

Fe — залізо

Zn — цинк

Cu — мідь

Mn — марганець

Mo — молібден

Co — кобальт

Se — селен

Cr — хром

Cl — хлор

I — йод

## ВСТУП

### **Актуальність теми**

Есенціальні макро- та мікроелементи (Ca, Mg, K, Fe, Zn, Cu, Mn, Se тощо) відіграють ключову роль у підтриманні гомеостазу, функціонуванні ферментних систем, антиоксидантному захисті та регуляції метаболічних процесів.

Дефіцит мікроелементів є глобальною проблемою громадського здоров'я та асоціюється з порушеннями імунітету, серцево-судинними, ендокринними та нейродегенеративними захворюваннями.

Лікарські рослини та лікарська рослинна сировина (ЛРС) є не лише джерелом біологічно активних органічних сполук, але й акумулюють біогенні елементи у біодоступних формах. У сучасних умовах розвитку нутрицевтичної та фармацевтичної промисловості зростає інтерес до створення мінералвмісних фітопрепаратів та комплексних засобів природного походження.

Фармакогностичний аналіз ЛРС із урахуванням елементного складу дозволяє науково обґрунтувати доцільність використання рослинної сировини як джерела есенціальних елементів, забезпечити стандартизацію, безпечність та якість продукції.

Таким чином, дослідження елементного профілю ЛРС є актуальним як з наукової, так і з практичної точки зору.

**Мета дослідження.** Теоретично обґрунтувати та узагальнити дані щодо фармакогностичного аналізу лікарських рослин і лікарської рослинної сировини як джерел есенціальних макро- та мікроелементів для подальшого використання у нутрицевтичній та фармацевтичній промисловості.

### **Основні завдання дослідження.**

1. Проаналізувати наукові джерела щодо ролі есенціальних макро- та мікроелементів у фізіології людини.
2. Узагальнити дані про здатність лікарських рослин акумулювати біогенні елементи.
3. Охарактеризувати особливості накопичення макро- та мікроелементів у різних морфологічних групах ЛРС.

4. Розглянути фактори, що впливають на елементний склад (грунт, клімат, фаза вегетації, технологія заготівлі).
5. Проаналізувати методи визначення елементного складу ЛРС (атомно-абсорбційна спектроскопія, ICP-MS, ICP-OES тощо).
6. Оцінити можливості стандартизації ЛРС за мінеральним профілем.
7. Обґрунтувати перспективи використання мінералвмісної ЛРС у виробництві нутрицевтиків та фітопрепаратів.
8. Проаналізувати питання безпеки (контроль токсичних елементів: Pb, Cd, Hg, As).

### **Об'єкт і предмет дослідження**

**Об'єкт дослідження:** лікарські рослини та лікарська рослинна сировина, що містять есенціальні макро- та мікроелементи.

**Предмет дослідження:** елементний склад ЛРС, закономірності накопичення есенціальних макро- та мікроелементів, методи фармакогностичного аналізу та перспективи їх використання у фармацевтичній і нутрицевтичній галузях.

### **Методи дослідження:**

**Бібліографічний та інформаційний пошук:** аналіз наукових баз даних (PubMed, Scopus, Google Scholar), Державної Фармакопеї України (ДФУ) та Європейської Фармакопеї.

**Системно-аналітичний метод:** опрацювання даних про зв'язок між вмістом флавоноїдів/вітамінів та накопиченням металів-кофакторів. Порівняльного фармакогностичного аналізу.

Методу узагальнення та класифікації.

Методу структурно-логічного аналізу.

**Методи хімічного аналізу (теоретичний огляд):** атомно-абсорбційна спектрометрія (AAC, AAS), мас-спектрометрія з індуктивно-зв'язаною плазмою (ІЗП-МС, ICP-MS), рентгенофлуоресцентний аналіз(XRF).

**Статистичний аналіз:** обробка літературних даних щодо середнього вмісту елементів у сировині.

## **Новизна та значення одержаних результатів.**

### **Наукова новизна:**

- ✓ систематизовано сучасні дані щодо елементного профілю лікарських рослин.
- ✓ узагальнено закономірності акумуляції есенціальних макро- та мікроелементів різними морфологічними групами ЛРС.
- ✓ обґрунтовано підхід до комплексної оцінки ЛРС як джерела як органічних БАР, так і біогенних елементів.
- ✓ визначено перспективні напрями стандартизації мінералвмісної рослинної сировини.

**Теоретичне значення.** Робота поглиблює фармакогностичні уявлення про роль мінерального складу ЛРС та розширює підходи до її оцінки як багатокомпонентного природного джерела біологічно активних речовин.

**Практичне значення.** Отримані узагальнення можуть бути використані:

- ✓ у розробці нутрицевтичних засобів,
- ✓ при створенні комбінованих фітопрепаратів,
- ✓ у стандартизації рослинної сировини,
- ✓ у навчальному процесі при викладанні фармакогнозії.

**Апробація результатів дослідження.** Апробація результатів наукової роботи представлені в якості статті Фармакогностичне обґрунтування використання лікарських рослин як джерел есенціальних елементів для нутрицевтичної галузі в збірнику Education and Scientific Progress : proceedings of the International scientific and practical conference (April 24-26, 2026). – Manchester, United Kingdom: naukainfo.com, 2026. - Pp. 156-63. - URL: <https://naukainfo.com/conference?id=117>

**Структура роботи.** Кваліфікаційна робота складається зі вступу, огляду літератури, 3-х розділів, загальних висновків, списку використаної літератури, який включає 39 джерел, у тому числі 33 латиницею та 2 додатків. Зміст роботи викладено на 26 сторінках основного тексту, ілюстровано 5 таблицями.

## РОЗДІЛ 1. ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ ВИВЧЕННЯ ЕСЕНЦІАЛЬНИХ МАКРО- ТА МІКРОЕЛЕМЕНТІВ (АНАЛІЗ ЛІТЕРАТУРНИХ ДАНИХ)

У цьому розділі розглянуто сучасні наукові підходи до вивчення есенціальних макро- та мікроелементів, їх біологічну роль у функціонуванні організму людини, класифікацію та фізіологічне значення [1]. Проаналізовано літературні джерела щодо поширеності дефіциту мікроелементів, його медико-соціального значення, а також сучасних джерел надходження мінеральних речовин до організму [2,3]. Особливу увагу приділено лікарським рослинам як перспективному природному джерелу біогенних елементів та можливостям їх використання у фармацевтичній і нутрицевтичній промисловості [4].

4.4. Біологічна роль макро- та мікроелементів в організмі людини  
Мінеральні елементи є обов'язковими структурними та функціональними компонентами живих організмів, критично важливими для життєдіяльності, хоча й не виконують енергетичної функції [1].

Вони входять до складу ферментів, гормонів, клітинних структур і забезпечують регуляцію більшості біохімічних процесів організму [5]. Макроелементи (Na, K, Ca, Mg, S, Cl, P) становлять близько 9% маси тіла, тоді як мікроелементи (trace elements) присутні в мізерних дозах. Серед останніх виділяють 15 есенціальних (життєво необхідних) та низку умовно-есенціальних елементів, які виступають каталізаторами адаптаційних процесів організму [6].

Есенціальні елементи — це речовини, відсутність або дефіцит яких спричиняє специфічні порушення функцій організму, а їх введення усуває ці порушення [5]. Безперечно есенціальні: залізо (Fe), Йод (I), Мідь (Cu), Цинк (Zn), Кобальт (Co), Хром (Cr), Молібден (Mo), Селен (Se) та умовно есенціальні: Фтор (F), Марганець (Mn), Кремній (Si), Ванадій (V), Нікель (Ni), Бор (B), Літій (Li) (табл.1) [7,8].

Головні критерії есенціальності:

- при їх нестачі виникає конкретне захворювання або збій у розвитку.
- вони не можуть бути повністю замінені іншими елементами.

- введення елемента в організм усуває симптоми дефіциту.

Таблиця 1

Класифікація, що базується на біологічній ролі елементів

Життєво необхідні елементи		Ймовірно необхідні елементи	Елементи з маловивченою роллю	
Кальцій	Сірка	Фтор	Літій	Берилій
Калій	Манган	Кадмій	Бор	Скандій
Фосфор	Ферум	Кремній	Алюміній	Галій
Хлор	Купрум	Титан	Германій	Рубідій
Натрій	Літій	Ванадій	Цирконій	Аргентум
Цинк	Кобальт	Хром	Плюмбум	Станум (олово)
Марганець		Нікол (нікель)	Цезій	Сурма
Молібден		Бром	Гідраргірум (ртуть)	Барій
Йод		Арсен	Вісмут	Радій
Селен		Стронцій	Торій	Уран

За вмістом в організмі людини (кількісним показником) елементи традиційно поділяють на три основні групи:

1. Органогени (96–98% маси тіла): Оксиген (O), Карбон ©, Гідроген (H), Нітроген (N) – це основні «цеглинки» життя.

2. Макроелементи (від 0,01% до 1,5% маси тіла): метали: Кальцій (Ca), Калій (K), Натрій (Na), Магній (Mg) та неметали: Фосфор (P), Сульфур (S), Хлор (Cl) містяться в грамах на кілограм маси.

3. Мікроелементи (менше 0,01% маси тіла): їхня концентрація дуже низька (міліграми або мікрограми), наприклад: Ферум (Fe), Цинк (Zn), Купрум (Cu), Йод (I), Селен (Se) тощо.

Іноді окремо виділяють ультрамікроелементи (концентрація нижче  $10^{-15}$  %, як-от Золото (Au) чи Радій (Ra) [9].

Фізіологічна роль макроелементів [10].

Кальцій (Ca) є одним з основних мінеральних компонентів організму людини і виконує важливу структурну та регуляторну функцію [9]. Близько 99 % кальцію міститься у кістковій тканині у вигляді гідроксиapatиту, який забезпечує

міцність скелета [11]. Крім того, кальцій бере участь у процесах згортання крові, передачі нервових імпульсів, скороченні м'язів та регуляції ферментної активності [12].

Магній (Mg) є важливим кофактором ферментативних реакцій і бере участь у понад 280 біохімічних процесах організму [4]. Він забезпечує стабілізацію молекули АТФ, регулює синтез білків та нуклеїнових кислот, а також відіграє важливу роль у функціонуванні серцево-судинної системи [13].

Калій (K) — головний внутрішньоклітинний катіон: підтримує мембранний потенціал, регулює водно-електролітний баланс, впливає на скоротливість міокарда. Калій є основним внутрішньоклітинним катіоном і відіграє ключову роль у підтриманні мембранного потенціалу клітин [6]. Він бере участь у регуляції водно-електролітного балансу, функціонуванні нервової системи та скоротливості міокарда [13].

Фосфор (P) — входить до складу нуклеїнових кислот, фосфоліпідів клітинних мембран та макроергічних сполук, зокрема аденозинтрифосфату [14]. Він відіграє важливу роль у процесах енергетичного обміну та регуляції клітинного метаболізму [5].

Біологічна роль мікроелементів.

Мікроелементи виконують функцію активаторів ферментів та структурних компонентів біологічно активних молекул [1].

Ферум (Fe) — є складовою частиною гемоглобіну, міоглобіну та цитохромів, що забезпечують транспорт кисню та клітинне дихання. Дефіцит заліза є основною причиною розвитку залізодефіцитної анемії [15].

Цинк (Zn) — входить до складу понад 200 ферментів і відіграє важливу роль у регуляції імунної системи, процесах росту та регенерації тканин [16].

Купрум (Cu) — бере участь у процесах кровотворення, синтезі колагену та функціонуванні антиоксидантної системи організму (супероксиддисмутаза) [16].

Селен (Se) — є важливим компонентом ферменту глутатіонпероксидази, який забезпечує антиоксидантний захист клітин. Крім того, селен бере участь у регуляції функції щитоподібної залози та імунної відповіді організму [17].

## 1.2. Класифікація біогенних елементів

Біогенні елементи відіграють важливу роль у забезпеченні життєдіяльності організму людини та беруть участь у численних біохімічних процесах [1]. Для їх систематизації застосовують декілька підходів до класифікації, що базуються на біологічній значущості, фізіологічних функціях та участі у метаболічних процесах.

### 4. За біологічною значущістю

Біогенні елементи поділяють на такі групи :

- есенціальні — життєво необхідні елементи, без яких неможливе нормальне функціонування організму (Fe, Zn, Cu, I, Se, Mg);
- умовно есенціальні — елементи, роль яких повністю не встановлена, але вони можуть брати участь у регуляції метаболічних процесів;
- потенційно токсичні — елементи, що у невеликих концентраціях можуть бути біологічно активними, але при підвищенні їх вмісту проявляють токсичні властивості;
- токсичні — елементи, що не виконують фізіологічних функцій і здатні спричинити токсичну дію (Pb, Hg, Cd) [18].

### 2. За фізіологічною функцією

Залежно від виконуваних функцій елементи поділяють на:

- структурні (Ca, P), що входять до складу кісткової тканини та клітинних структур;
- електролітні (Na, K, Cl), які забезпечують підтримання осмотичного тиску та водно-електролітного балансу;
- ферментативні кофактори (Mg, Zn, Cu, Mn), які активують ферментні системи організму;
- гормонально активні (I, Se), що беруть участь у синтезі та регуляції гормонів [6].

### 3. За участю у метаболізмі

Залежно від участі у метаболічних процесах елементи поділяють на [5]:

- енергетичні, що забезпечують енергетичний обмін;

- антиоксидантні, які входять до складу ферментів антиоксидантної системи;
- кровотворні, що беруть участь у процесах гемопоезу;
- нейротропні, які впливають на функціонування нервової системи [5]

Крім того, відповідно до концентрації у тканинах організму елементи поділяють на **макроелементи (Ca, P, Mg, K, Na)**, **мікроелементи (Fe, Zn, Cu, I, Se)** та **ультрамікроелементи**, які присутні у надзвичайно малих кількостях [18].

З позиції фармакогнозії особливе значення мають **есенціальні елементи**, що входять до складу активних центрів металопротеїдів та ферментів і беруть участь у регуляції антиоксидантного захисту, імунної відповіді та процесів гемопоезу [1].

### 1.3. Поширеність дефіцитних станів та їх медико-соціальне значення

Порушення балансу мікроелементів в організмі людини може призводити до розвитку так званих **мікроелементозів**, які лежать в основі багатьох хронічних захворювань: залізодефіцитна анемія, остеопороз (дефіцит Ca та Mg), порушення роботи щитоподібної залози (I, Se), а також зниження антиоксидантного статусу організму (Zn, Cu) [5]. Рослини виступають як природні концентратори, що дозволяють м'яко корегувати ці стани.

За даними Всесвітньої організації охорони здоров'я, дефіцит мікроелементів є глобальною проблемою громадського здоров'я.

Найбільш поширені: залізодефіцитні стани, йододефіцит, дефіцит цинку, дефіцит селену [11].

Основними причинами виникнення мікроелементозів є незбалансоване харчування, виснаження ґрунтів, технологічна переробка продуктів харчування, а також хронічні захворювання шлунково-кишкового тракту, що порушують процеси всмоктування мінеральних речовин [6].

Наслідками дефіциту мікроелементів можуть бути анемії, імунодефіцитні стани, когнітивні порушення та ендокринні патології [5].

Лікарські рослини здатні накопичувати мінеральні елементи з ґрунту і виступати природними концентраторами біогенних елементів, що відкриває

можливості для їх використання у корекції мікроелементного балансу організму [1].

1.4. Огляд сучасного ринку мінераловмісних лікарських засобів та дієтичних добавок. Аналіз структури сучасного фармацевтичного ринку свідчить про стійку тенденцію до зростання попиту на мінераловмісні лікарські засоби та дієтичні добавки [12].

Особливий розвиток спостерігається у сегменті **нутрицевтиків**, який включає продукти, що поєднують харчову та фармакологічну цінність [13].

Споживачі все частіше надають перевагу препаратам природного походження, що містять біологічно активні речовини рослинного походження у поєднанні з мінеральними компонентами [1].

В Україні та країнах Європейського Союзу відзначається дефіцит спеціалізованих фітопрепаратів, які містять стандартизовані концентрації таких елементів, як **селен, цинк та магній**, у поєднанні з рослинними антиоксидантами, зокрема флавоноїдами [19].

#### 1.5. Сучасні джерела надходження мінеральних елементів

Мінеральні елементи можуть надходити до організму людини з різних джерел [6]:

- продуктів харчування;
- мінеральних вод;
- фармацевтичних препаратів;
- біологічно активних добавок;
- лікарських рослин.

Серед зазначених джерел особливу увагу привертають лікарські рослини, які здатні накопичувати біогенні елементи у природних органічних комплексах [1].

1.6. Переваги рослинних мінеральних комплексів перед синтетичними субстанціями.

На відміну від неорганічних солей металів, мінеральні речовини у лікарській рослинній сировині знаходяться у вигляді органічних комплексів з

амінокислотами, білками, органічними кислотами та поліфенольними сполуками [20,21].

Це забезпечує:

- **вищу біодоступність**, тобто краще всмоктування у шлунково-кишковому тракті;
- **менший ризик передозування та побічних ефектів**;
- **синергізм дії з іншими біологічно активними речовинами** [1].

Наприклад, аскорбінова кислота здатна підвищувати біодоступність заліза з рослинної сировини, а флавоноїди посилюють антиоксидантні властивості мікроелементів [5].

Лікарські рослини можуть накопичувати мінеральні елементи у формі:

- органічних хелатів;
- комплексів з амінокислотами;
- фітатів;
- флавоноїдних комплексів [4].

Такі форми характеризуються високою біологічною доступністю, фізіологічною збалансованістю та безпечністю для організму людини.

Сучасні аналітичні методи, зокрема атомно-абсорбційна спектроскопія та індуктивно зв'язана плазмова мас-спектрометрія, дозволяють проводити високочутливий аналіз елементного складу лікарської рослинної сировини та забезпечують можливість створення стандартизованих мінераловмісних фітопрепаратів [19,20].

Отже, виходячи з наведеного:

✓ встановлено, що есенціальні макро- та мікроелементи є критично важливими структурними та функціональними компонентами організму людини, які беруть участь у ключових фізіологічних процесах: метаболізмі, ферментативних реакціях, регуляції гомеостазу, кровотворенні, антиоксидантному захисті та функціонуванні нервової й ендокринної систем.

✓ показано, що за вмістом в організмі елементи поділяються на макро-, мікро- та ультрамікроелементи, а за біологічною роллю — на есенціальні,

умовно есенціальні та токсичні. Така класифікація має важливе значення для фармакогностичного аналізу та обґрунтування використання лікарської рослинної сировини як джерела біогенних елементів.

✓ узагальнено, що макроелементи (Ca, Mg, K, P) забезпечують структурну організацію тканин і регуляцію фізіологічних процесів, тоді як мікроелементи (Fe, Zn, Cu, Se, I) входять до складу ферментів, гормонів і біологічно активних сполук, визначаючи інтенсивність обмінних реакцій і адаптаційні можливості організму.

✓ встановлено, що дефіцит есенціальних елементів (мікроелементози) є поширеною глобальною проблемою та асоціюється з розвитком численних патологічних станів, зокрема анемії, остеопорозу, ендокринних порушень та імунодефіцитів, що підкреслює актуальність пошуку ефективних і безпечних джерел їх надходження.

✓ проаналізовано сучасний фармацевтичний ринок і встановлено тенденцію до зростання попиту на мінераловмісні препарати, особливо природного походження (нутрицевтики), що обумовлено їх кращою переносимістю та високою біологічною цінністю.

✓ визначено, що основними джерелами надходження мінеральних елементів є харчові продукти, вода, лікарські засоби, біологічно активні добавки та лікарські рослини, причому останні відіграють особливу роль як природні концентратори біогенних елементів.

✓ обґрунтовано переваги лікарської рослинної сировини як джерела мінеральних речовин, оскільки елементи в ній знаходяться у біодоступних формах (хелатні комплекси з органічними сполуками), що забезпечує їх краще засвоєння, фізіологічну збалансованість і нижчий ризик побічних ефектів.

✓ показано, що сучасні аналітичні методи (атомно-абсорбційна спектроскопія, ICP-MS тощо) дозволяють здійснювати високоточний контроль елементного складу лікарської рослинної сировини, що є необхідною умовою її стандартизації та використання у фармацевтичній інутрицевтичній промисловості.

## РОЗДІЛ 2. ЛІКАРСЬКІ РОСЛИНИ ЯК ПРИРОДНЕ ДЖЕРЕЛО ЕСЕНЦІАЛЬНИХ ЕЛЕМЕНТІВ

### 2.1. Механізми акумуляції макро- та мікроелементів рослинами

Лікарські рослини є важливим природним джерелом есенціальних макро- та мікроелементів, які відіграють ключову роль у метаболічних процесах організму людини. Мінеральні речовини, що містяться у лікарській рослинній сировині (ЛРС), представлені макроелементами (K, Ca, Mg, Na, P), та мікроелементами (Fe, Zn, Cu, Mn, Co, Se та ін.) та інші біогенні елементи, що входять до складу ферментів і коферментів та беруть участь у регуляції біохімічних процесів [22-24].

Вони беруть участь у ферментативних реакціях, регуляції водно-сольового балансу, формуванні кісткової тканини, кровотворенні та антиоксидантному захисті організму.

Накопичення мінеральних елементів у рослинах є складним фізіолого-біохімічним процесом, що здійснюється за участю кореневої системи, клітинних мембран і транспортних білків. Основним шляхом надходження елементів у рослину є їх поглинання з ґрунтового розчину кореневою системою. Цей процес відбувається за допомогою двох основних механізмів: пасивного та активного транспорту [25].

Пасивний транспорт здійснюється відповідно до градієнта концентрації і не потребує витрат енергії. Він реалізується через дифузію та осмос, а також за участю іонних каналів клітинної мембрани. Такий механізм характерний переважно для іонів, концентрація яких у ґрунтовому розчині є відносно високою.

Активний транспорт відбувається проти градієнта концентрації та потребує витрат енергії у формі аденозинтрифосфату (АТФ). У цьому процесі беруть участь спеціалізовані мембранні переносники — транспортні білки та протонні насоси. Завдяки активному транспорту рослини здатні акумулювати необхідні елементи навіть за їх низької концентрації у ґрунті.

Після проникнення у кореневу систему іони мінеральних елементів транспортуються до надземних органів рослини двома основними шляхами: апопластичним і симпластичним. Апопластичний транспорт відбувається через міжклітинний простір і клітинні стінки, тоді як симпластичний здійснюється через цитоплазму клітин, з'єднаних плазмодесмами. Подальший рух елементів відбувається провідними тканинами рослини — ксилемою та флоемою. Ксилема забезпечує висхідний транспорт води та розчинених мінеральних речовин, тоді як флоема відповідає за перерозподіл елементів між різними органами рослини залежно від їх метаболічних потреб [26].

У рослинних тканинах мінеральні елементи можуть утворювати комплекси з органічними сполуками, такими як органічні кислоти, білки, амінокислоти та фенольні сполуки. Завдяки цьому підвищується їх біодоступність і стабільність у клітинному середовищі [27].

Важливу роль у процесі акумуляції елементів відіграє здатність рослин утворювати комплекси з органічними речовинами. Багато мікроелементів зв'язуються з органічними кислотами, амінокислотами, фенольними сполуками або білками, що забезпечує їх стабільність і біодоступність. Наприклад, залізо часто входить до складу ферментів або хелатних комплексів з органічними кислотами, а магній є центральним атомом молекули хлорофілу. Деякі рослини характеризуються здатністю до селективної акумуляції окремих елементів, що зумовлено генетичними та фізіологічними особливостями виду. Такі рослини називають акумуляторами або гіперакумуляторами (табл 2). Типовими прикладами гіперакумуляторів є:

1. **Кропива дводомна (*Urtica dioica*)** – дводомна багаторічна трав'яниста рослина, вкрита жалкими волосками один із лідерів за вмістом мікроелементів. Накопичує велику кількість заліза, міді, марганцю, бору, титану та нікелю. Такий склад робить її незамінною при анеміях та для відновлення складу крові [1-2, 26].

2. **Хвощ польовий (*Equisetum arvense*)** – багаторічна спорова рослина з повзучим, розгалуженим кореневищем, яке кожного року розвиває надземні

пагони є унікальною рослиною завдяки рекордному вмісту **кремнію** (кремнієвої кислоти). Також містить багато **кальцію, калію та магнію**. Кремній з хвоща необхідний для синтезу колагену, міцності кісток, волосся та еластичності судин, а також здавна застосовується в народній медицині різних країн при захворюваннях нирок як сечогінна та літолітична речовина. Хвощ польовий чинить дезінтоксикаційну дію при гострих та хронічних отруєннях свинцем, виводячи його з організму; знижує рівень цукру у крові при алоксановому діабеті. [1-2, 26].

3. **Кульбаба лікарська (*Taraxacum officinale*)**— це багаторічна трав'яниста рослина родини айстрових з яскраво-жовтими суцвіттями-кошиками, яка широко використовується для підвищення апетиту і покращання травлення. Її коріння та листя є потужним джерелом **калію** (за що рослина має сечогінну дію без вимивання цього елемента з організму). Також накопичує **кальцій, фосфор, залізо та марганець** [1-2, 26].

4. **Череда трироздільна (*Bidens tripartita*)**, **причепа** – однорічна лікарська рослина відома своїми протизапальними та антиалергічними властивостями, яку найчастіше використовують у вигляді відварів для лікування шкірних захворювань та купання немовлят, Має поодинокі, прямостоячі, супротивно-галузисті зелені, часто з фіолетовим відтінком стебла, супротивними (іноді верхівковими черговими), короткочерешкові, трироздільні або розсічені листки, з більшою, часто трироздільною верхівковою частиною і ланцетними великопильчастими частинами. Кошики з двошаровою обгорткою поодинокі або зібрані по два-три на кінцях пагонів. Квітки дрібні, жовто-коричневі, лише трубчасті. Сім'янки мають дві, рідше між ними є коротка третя, зазубрені ості , Відома своєю здатністю концентрувати **марганець**, який входить до складу ферментних систем, що впливають на обмін речовин та функцію залоз внутрішньої секреції. Також містить значну кількість **цинку** [1-2, 26].

5. **Ламінарія (Морська капуста, *Laminaria*)** – бура водорість , яка є абсолютним чемпіоном за вмістом **йоду**. Крім того, вона накопичує **магній, натрій, бром, кобальт**, калій, кальцій, мідь, залізо, цинк та інші безпосередньо

з морської води. Ламінарію використовують для профілактики проти ендемічного зобу та при атеросклерозі, вона діє як проносний засіб при хронічних атонічних запорах, гострих і хронічних ентероколітах, проктитах, а також для профілактики та лікування гіпертиреозу, легких форм базедової хвороби, в харчуванні (особливо людей літнього віку) [1-2, 26].

**Таблиця 2**

**Рослини-концентратори есенціальних мікроелементів**

Елемент	Рослина-концентратор (ЛРС)	Фармакологічна дія
Zn (Цинк)	Трава фіалки, насіння гарбуза	Репаративна, андрогенна
Se (Селен)	Види роду Астрагал, часник	Антиоксидантна, імуномодулююча
Cu (Мідь)	Трава череди, квіти арніки, листя кропиви	Антисептична, метаболічна
Si (Кремній)	Трава хвоща польового, споришу	Ремінералізуюча, дерматотропна
Mn (марганець)	Листя чорниці, корені оману	Гіпоглікемічна, ферментативна

Вони можуть накопичувати значні концентрації мікроелементів у своїх тканинах без прояву токсичного ефекту. Ця властивість широко використовується у фармакогнозії при оцінюванні якості лікарської рослинної сировини та при пошуку перспективних джерел біологічно активних речовин [28.].

Отже, механізми акумуляції макро- та мікроелементів у рослинах є складною системою фізіолого-біохімічних процесів, що забезпечують поглинання, транспорт, розподіл і депонування мінеральних речовин у тканинах рослини (табл. 3).

**Вміст окремих мікроелементів у лікарських рослинах (за даними сучасних фармакогностичних та фітохімічних досліджень)**

Лікарська рослина	Частина рослини	Fe (мг/кг)	Zn (мг/кг)	Cu (мг/кг)	Mn (мг/кг)
<i>Urtica dioica</i>	листя	200–450	28–60	8–15	40–90
<i>Matricaria chamomilla</i>	квітки	120–250	20–45	5–12	25–60
<i>Hypericum perforatum</i>	трава	150–280	25–50	6–14	28–70
<i>Taraxacum officinale</i>	корені	180–350	20–40	5–10	20–55
<i>Plantago major</i>	листя	140–280	18–42	5–11	22–60

2.2. Фактори, що впливають на елементний склад лікарської рослинної сировини

Елементний склад лікарської рослинної сировини формується під впливом комплексу природних та антропогенних факторів. Одним із найважливіших є хімічний склад ґрунту, оскільки концентрація мінеральних елементів у рослинах безпосередньо залежить від їх доступності у ґрунтового розчині [28].

Важливими характеристиками ґрунту є кислотність, гранулометричний склад, вміст органічної речовини та катіонний обмінний потенціал. Зміни цих параметрів можуть істотно впливати на мобільність та біодоступність елементів для рослин [28].

Кліматичні фактори, такі як температура, освітленість, кількість опадів і вологість повітря, також впливають на процеси мінерального живлення рослин. Вони визначають інтенсивність фотосинтезу, транспірації та активність кореневої системи [25].

На елементний склад рослинної сировини значною мірою впливають біологічні особливості виду рослини. Різні види мають різну здатність до накопичення макро- та мікроелементів, що пов'язано з особливостями їх фізіології та метаболізму [27 ].

Важливим чинником є також фаза розвитку рослини. У різні періоди вегетації змінюється інтенсивність поглинання елементів та їх розподіл у рослинних органах [28 ].

Антропогенний вплив, зокрема забруднення навколишнього середовища промисловими викидами, транспортом і використанням агрохімікатів, може призводити до накопичення токсичних елементів у лікарській рослинній сировині. Саме тому контроль елементного складу рослин є важливим аспектом оцінювання їх безпечності [29].

2.3. Особливості накопичення елементів у різних морфологічних групах лікарської рослинної сировини

Розподіл мінеральних елементів у рослинах є нерівномірним і залежить від морфологічних та функціональних особливостей органів рослини.

Листя, як основний орган фотосинтезу, характеризується високим вмістом магнію, який входить до складу хлорофілу, а також калію, кальцію та заліза [26 ].

Корені та кореневища є основними органами поглинання мінеральних речовин із ґрунту. У них часто накопичуються такі елементи, як залізо, марганець, мідь та цинк [27].

Квітки та суцвіття можуть містити підвищені концентрації мікроелементів, що беруть участь у процесах утворення пилку та синтезу біологічно активних речовин [27].

Плоди та насіння характеризуються значним вмістом фосфору, калію та магнію, які необхідні для процесів росту та розвитку нового рослинного організму [28].

Таким чином, морфологічна диференціація органів рослини зумовлює специфічні закономірності накопичення макро- та мікроелементів у лікарській рослинній сировині [22 ].

## 2.4. Порівняльна характеристика перспективних видів лікарських рослин

Сучасні дослідження підтверджують, що багато лікарських рослин є важливим джерелом есенціальних мінеральних елементів. Аналіз елементного складу рослин проводиться за допомогою сучасних аналітичних методів, зокрема ICP-MS, ICP-OES та нейтронно-активаційного аналізу [27].

Результати досліджень свідчать, що деякі види лікарських рослин характеризуються підвищеним вмістом окремих мікроелементів. Наприклад, листя кропиви, подорожника та шавлії містить значні концентрації заліза, марганцю та цинку [22].

Дослідження елементного складу лікарських рослин показали, що ромашка лікарська, м'ята перцева, ехінацея пурпурова та хвощ польовий можуть бути джерелами важливих макро- і мікроелементів, зокрема заліза, магнію, йоду та селену [28].

Порівняльний аналіз лікарських рослин різних регіонів показав значні відмінності у їх мінеральному складі, що зумовлено географічними та екологічними умовами вирощування [28].

Таким чином, лікарські рослини можуть розглядатися як перспективне природне джерело есенціальних елементів, що мають важливе значення для створення фітопрепаратів, дієтичних добавок та функціональних продуктів харчування [28].

### РОЗДІЛ 3. ФАРМАКОГНОСТИЧНИЙ АНАЛІЗ ЛІКАРСЬКОЇ РОСЛИННОЇ СИРОВИНИ ЗА ЕЛЕМЕНТНИМ СКЛАДОМ

Елементний склад лікарської рослинної сировини є важливим показником її якості, безпечності та потенційної фармакологічної активності. Макро- та мікроелементи виконують численні біологічні функції в організмі людини, зокрема беруть участь у ферментативних реакціях, регуляції метаболічних процесів, формуванні кісткової тканини та підтриманні гомеостазу [6, 8, 29].

Сучасні фармакогностичні дослідження передбачають визначення елементного складу рослинної сировини з метою оцінювання її якості, ідентифікації та контролю безпечності [28, 30]. Для цього використовуються високочутливі аналітичні методи, що дозволяють визначати широкий спектр макро- та мікроелементів.

#### 3.1. Методи визначення макро- та мікроелементів

У сучасній фармацевтичній аналітиці для визначення елементного складу лікарської рослинної сировини використовуються інструментальні методи, які забезпечують високу точність та чутливість аналізу (табл. 4) [31-32].

**Таблиця 4**

#### Порівняльна характеристика методів визначення елементного складу лікарської рослинної сировини

Метод	Принцип	Межа виявлення	Переваги	Недоліки
AAS	Поглинання атомами випромінювання певної довжини хвилі	µг/л (мкг/л)	висока точність, простота	визначення одного елемента за аналіз
ICP-OES	Емісія світла атомами у плазмі	µг/л (мкг/л)	багатокомпонентний аналіз	висока вартість обладнання
ICP-MS	мас-спектрометрія іонів у плазмі	ng/л (нг/л)	дуже висока чутливість	складність експлуатації
XRF	Реєстрація рентгенівської флуоресценції	mg/кг (мг/кг)	швидкий аналіз без руйнування зразка	нижча чутливість для деяких елементів

**3.1.1. Атомно-абсорбційна спектроскопія (AAS)** є одним із найбільш поширених методів визначення металів у лікарських рослинах. Метод ґрунтується на вимірюванні поглинання атомами певного елемента електромагнітного випромінювання характерної довжини хвилі [31-32].

Під час аналізу зразок попередньо піддається мінералізації, після чого розчин вводиться у полум'я або графітову піч. У процесі атомізації елементи переходять у вільний атомний стан та поглинають випромінювання від джерела світла [32].

Метод AAS широко застосовується для визначення таких елементів, як Fe, Zn, Cu, Mn, Ca, Mg, а також для контролю токсичних металів, зокрема Pb та Cd [31-32].

**3.1.2. Індуктивно зв'язана плазмова оптична емісійна спектроскопія (ICP-OES)** є сучасним методом багатокомпонентного аналізу, що дозволяє одночасно визначати десятки елементів у досліджуваному зразку [33].

Метод базується на використанні високотемпературної плазми аргону, у якій відбувається збудження атомів елементів. У результаті цього процесу атоми випромінюють світло характерної довжини хвилі, інтенсивність якого пропорційна концентрації відповідного елемента [33].

ICP-OES характеризується високою швидкістю аналізу, широким діапазоном концентрацій та можливістю одночасного визначення великої кількості елементів [33].

**3.1.3. Мас-спектрометрія з індуктивно зв'язаною плазмою (ICP-MS)** є одним із найчутливіших методів визначення елементного складу. У цьому методі атоми досліджуваного зразка іонізуються у плазмі, після чого їх мас-зарядове співвідношення визначається мас-спектрометром [27, 34].

ICP-MS дозволяє визначати елементи у наднизьких концентраціях, що робить цей метод особливо ефективним для аналізу токсичних металів у лікарській рослинній сировині [34].

**3.1.4. Рентгенофлуоресцентний аналіз (XRF)** є не руйнівним методом дослідження елементного складу твердих матеріалів. Під час опромінення зразка

рентгенівським випромінюванням відбувається збудження атомів, що супроводжується випромінюванням характеристичних рентгенівських квантів [33].

Метод XRF широко застосовується для експрес-аналізу елементного складу рослинної сировини, оскільки не потребує складної підготовки зразків [35].

### 3.2. Стандартизація ЛРС за мінеральним профілем

Стандартизація лікарської рослинної сировини є важливою складовою забезпечення якості лікарських засобів рослинного походження. Одним із напрямів стандартизації є визначення мінерального профілю рослинної сировини [22].

Мінеральний склад рослин може використовуватися як додатковий критерій ідентифікації лікарської рослинної сировини, оскільки співвідношення макро- та мікроелементів часто є специфічним для певних видів рослин [22].

Застосування багатокomпонентного аналізу у поєднанні з методами статистичної обробки даних дозволяє встановлювати характерні елементні профілі рослинної сировини та виявляти можливі фальсифікації [22].

### 3.3. Контроль токсичних елементів у лікарській рослинній сировині

Одним із ключових аспектів оцінювання якості лікарської рослинної сировини є контроль вмісту токсичних елементів. Найбільш небезпечними є свинець, кадмій, миш'як та ртуть [29].

Надходження токсичних елементів у рослини може бути пов'язане із забрудненням ґрунтів, атмосферними викидами промислових підприємств або використанням агрохімікатів [29].

Контроль вмісту токсичних елементів здійснюється із використанням високочутливих аналітичних методів, зокрема ICP-MS та атомно-абсорбційної спектроскопії [29, 31-33].

### 3.4. Нормативна база контролю якості

Контроль елементного складу лікарської рослинної сировини регламентується міжнародними та національними нормативними документами.

До основних нормативних джерел належать фармакопейні стандарти та рекомендації міжнародних організацій [2, 3, 9, 19, 20].

Одним із основних документів є Європейська фармакопея, яка встановлює вимоги до якості лікарських засобів та методів їх аналізу [2, 19, 20].

Крім того, контроль елементних домішок у лікарських засобах регламентується керівництвом ICH Q3D Elemental Impurities, що встановлює допустимі рівні токсичних елементів [9].

В Україні контроль якості лікарської рослинної сировини регламентується Державною фармакопеєю України, яка містить методи визначення важких металів та інших домішок у лікарських засобах рослинного походження [2].

## РОЗДІЛ 4. ПЕРСПЕКТИВИ ВИКОРИСТАННЯ ЛІКАРСЬКОЇ РОСЛИННОЇ СИРОВИНИ У НУТРИЦЕВТИЧНІЙ ТА ФАРМАЦЕВТИЧНІЙ ПРОМИСЛОВОСТІ

### 4.1. Створення мінералвмісних фітопрепаратів

Лікарські рослини є перспективним природним джерелом макро- та мікроелементів, які можуть використовуватися для створення фітопрепаратів із мінеральною активністю. Завдяки здатності рослин акумулювати біогенні елементи у вигляді органічних комплексів із біологічно активними речовинами, рослинна сировина може слугувати основою для розроблення ефективних лікарських засобів та дієтичних добавок [22, 23].

У сучасній фармацевтичній практиці активно досліджується можливість використання лікарських рослин як природного джерела заліза, магнію, кальцію, цинку та інших елементів. Ці елементи відіграють важливу роль у регуляції ферментативних реакцій, процесах кровотворення, функціонуванні нервової та імунної систем (табл.5) [36].

Таблиця 5

#### Перспективні лікарські рослини – джерела есенціальних мінеральних елементів

Рослина	Основні елементи	Фармакологічне значення
<i>Urtica dioica</i>	Fe, Ca, Mg	протианемічна дія
<i>Equisetum arvense</i>	Si, Ca	зміцнення сполучної тканини
<i>Plantago major</i>	Zn, Fe	протизапальна дія
<i>Taraxacum officinale</i>	K, Fe	жовчогінна дія
<i>Medicago sativa</i>	Ca, Mg, Fe	загальнотонізуюча дія

Фітопрепарати, що містять природні комплекси мінеральних елементів, можуть мати більш м'яку фармакологічну дію порівняно із синтетичними препаратами мінералів. Це пов'язано з тим, що у рослинній сировині мінеральні речовини знаходяться у комплексі з органічними компонентами, такими як

флавоноїди, органічні кислоти та амінокислоти, які сприяють їх кращому засвоєнню [37].

У фармацевтичній промисловості вже застосовуються препарати на основі лікарських рослин, що містять значну кількість мінеральних елементів. Наприклад, кропива дводомна, хвощ польовий та люцерна є джерелами кремнію, кальцію та заліза, що робить їх перспективними компонентами мінеральних фітопрепаратів [28].

Таким чином, лікарська рослинна сировина може розглядатися як перспективна основа для створення нових фітопрепаратів із мінеральною активністю, які поєднують фармакологічну ефективність із високим рівнем безпеки.

#### 4.2. Комбіновані фітонутрицевтики

Нутрицевтики на основі лікарських рослин займають важливе місце у профілактичній медицині та сучасній фармації. Одним із перспективних напрямів є створення комбінованих фітонутрицевтиків, які містять комплекс біологічно активних речовин та мінеральних елементів [39].

Поєднання мінералів із фітокомпонентами може забезпечувати синергічний ефект. Наприклад, флавоноїди та поліфеноли можуть підвищувати біодоступність мінеральних елементів, тоді як мінерали можуть потенціювати біологічну активність рослинних метаболітів [21].

Комбіновані фітонутрицевтики можуть застосовуватися для профілактики різних функціональних порушень організму, зокрема дефіциту мікроелементів, порушень обміну речовин та зниження імунної реактивності [30].

В останні роки спостерігається зростання інтересу до розроблення комплексних продуктів, що поєднують лікарські рослини з високим вмістом мікроелементів та антиоксидантних сполук. Такі продукти можуть використовуватися як функціональні харчові добавки або як допоміжні засоби у фармакотерапії [37,38].

### 4.3. Переваги рослинних форм мінералів

Мінеральні елементи, що містяться у лікарських рослинах, характеризуються високою біологічною доступністю. Це пояснюється тим, що у рослинній сировині вони знаходяться у вигляді природних органічних комплексів із біомолекулами [4-7, 11, 37].

Однією з важливих переваг рослинних форм мінералів є їх краща засвоюваність організмом людини. У порівнянні із синтетичними мінеральними солями рослинні комплекси можуть ефективніше включатися у метаболічні процеси [4-7,12,16,31].

Крім того, лікарські рослини часто містять додаткові біологічно активні сполуки — антиоксиданти, флавоноїди, сапоніни та органічні кислоти, які можуть посилювати терапевтичний ефект мінеральних елементів [6, 8, 24,38].

Важливою перевагою є також більш низький ризик передозування. Завдяки природному походженню та збалансованому складу рослинні мінеральні комплекси зазвичай характеризуються кращою переносимістю [1,7,8,11,39].

Таким чином, використання лікарських рослин як джерела мінеральних елементів може мати значні переваги порівняно з традиційними мінеральними препаратами.

### 4.4. Безпечність та екологічні аспекти

Незважаючи на значні перспективи використання лікарських рослин як джерела мінеральних елементів, важливим аспектом є забезпечення їх безпечності. Рослини можуть накопичувати не лише есенціальні, але й токсичні елементи, зокрема свинець, кадмій, миш'як та ртуть [1,7,11,18,21,23,32].

Джерелами забруднення рослинної сировини можуть бути промислові викиди, транспортні викиди, використання мінеральних добрив та пестицидів. Тому під час заготівлі лікарської рослинної сировини необхідно враховувати екологічний стан територій її зростання [27,30,30,38, 39].

Контроль вмісту токсичних елементів у лікарській рослинній сировині регламентується міжнародними та національними нормативними документами,

зокрема фармакопейними стандартами та рекомендаціями міжнародних організацій [3].

Важливим напрямом сучасних досліджень є розроблення екологічно безпечних технологій культивування лікарських рослин, які дозволяють отримувати сировину з оптимальним мінеральним складом та мінімальним вмістом токсичних домішок [9].

Таким чином, раціональне використання лікарських рослин як джерела мінеральних елементів потребує комплексного підходу, що включає контроль якості сировини, дотримання екологічних вимог та використання сучасних методів аналітичного контролю.

## ВИСНОВКИ

Проведений аналіз наукової літератури показав, що лікарські рослини є важливим природним джерелом есенціальних макро- та мікроелементів (Ca, Mg, K, Fe, Zn, Cu, Mn, Se), які відіграють ключову роль у підтриманні метаболічних процесів організму людини та можуть використовуватися у складі фітопрепаратів і нутрицевтиків.

Встановлено, що мінеральні елементи є невід'ємними компонентами біологічних систем, які забезпечують структурну цілісність клітин, регуляцію ферментативних процесів, функціонування нервової, серцево-судинної та імунної систем. Дефіцит есенціальних елементів (Fe, Zn, Se, I, Mg, Ca) призводить до розвитку численних патологічних станів, що підкреслює їх значущість для підтримання гомеостазу організму. Акумуляція мінеральних елементів рослинами відбувається через складну систему фізіолого-біохімічних механізмів, зокрема активний та пасивний транспорт іонів, хелатування органічними кислотами та білками, а також внутрішньоклітинний розподіл елементів у вакуолях, клітинних стінках та органелах.

Доведено, що елементний склад лікарської рослинної сировини значною мірою залежить від екологічних факторів, включаючи ґрунтово-кліматичні умови, геохімічні особливості місцевості, антропогенне навантаження, а також фази вегетації та морфологічної частини рослини, яка використовується як лікарська сировина.

Проаналізовано класифікаційні підходи до біогенних елементів за біологічною значущістю, фізіологічною функцією та вмістом в організмі. Особливу увагу приділено есенціальним мікроелементам як ключовим компонентам ферментних систем і металопротеїнів.

Показано, що різні морфологічні групи лікарської рослинної сировини (листя, корені, плоди, квітки, трава) характеризуються специфічними закономірностями накопичення мінеральних елементів: листя зазвичай містить підвищені концентрації Mg і Mn, корені – Fe та Zn, плоди – K і Ca.

Проаналізовано сучасні методи визначення елементного складу ЛРС (атомно-абсорбційна спектроскопія (AAS), індуктивно-зв'язана плазмова оптична емісійна спектрометрія (ICP-OES), мас-спектрометрія з індуктивно-зв'язаною плазмою (ICP-MS) та рентгенофлуоресцентний аналіз (XRF, які забезпечують високу точність і чутливість аналізу та є основою стандартизації рослинної сировини.

Встановлено, що рослинні мінеральні комплекси мають переваги над синтетичними формами завдяки вищій біодоступності, фізіологічній збалансованості та наявності синергічних взаємодій із біологічно активними речовинами (зокрема флавоноїдами).

Наголошено на необхідності контролю токсичних елементів (Pb, Cd, Hg, As) у лікарській рослинній сировині відповідно до вимог фармакопей та міжнародних нормативних документів, зокрема Європейської фармакопеї, рекомендацій ВООЗ та стандартів контролю якості рослинних лікарських засобів.

Визначено перспективи використання лікарських рослин як джерел мінеральних речовин у створенні нутрицевтиків і фітопрепаратів, що відповідають сучасним вимогам безпечності, ефективності та якості.

## ABSTRACT

This qualification work presents a comprehensive analysis of modern scientific approaches to the pharmacognostic study of medicinal plants and herbal raw materials as sources of essential macro- and microelements.

The biological role of mineral elements, their classification, and their importance for human health are highlighted. Particular attention is given to the ability of medicinal plants to accumulate minerals in bioavailable forms, mainly as organic complexes (chelates), which enhances their absorption in the human body.

Factors influencing the accumulation of elements in plants, including environmental conditions, plant species, vegetation phase, and anthropogenic impact, are analyzed. Modern analytical methods for determining elemental composition, such as atomic absorption spectrometry and ICP-based techniques, are also reviewed.

The advantages of plant-derived mineral complexes over synthetic forms are substantiated, particularly in terms of bioavailability, safety, and synergistic interactions with biologically active compounds.

The results confirm the перспективність of medicinal plants as valuable sources of essential minerals for the development of nutraceuticals and pharmaceutical products.

Keywords: medicinal plants, herbal raw materials, macroelements, microelements, pharmacognosy, nutraceuticals, bioavailability.

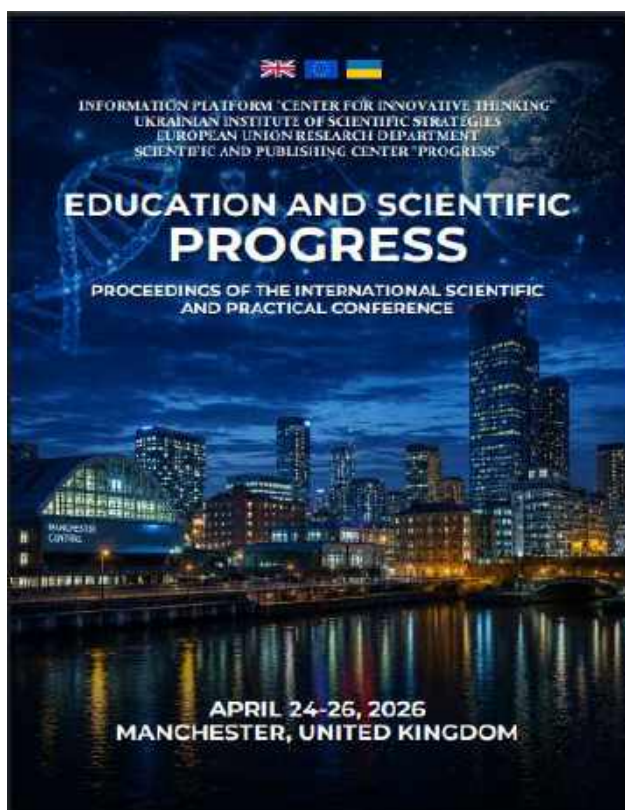
## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Heinrich M., Barnes J., Gibbons S., Williamson E. Fundamentals of Pharmacognosy and Phytotherapy. 3rd ed. London: Elsevier, 2018. 381 p.
2. Державна фармакопея України: у 3 т. / ДП «Український науковий фармакопейний центр якості лікарських засобів». 2-ге вид. Харків, 2015.
3. European Pharmacopoeia. 11th ed. Strasbourg: Council of Europe, 2022.
4. Du L., Cuss C.W., Dyck M., Noernberg T., Shotyck W. Size-resolved distribution of trace elements in lysimeter soil solutions under contrasting long-term agricultural management to assess their bioavailability. Science of the Total Environment. 2024. Vol. 924. 171590. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2024.171590>
5. Ali A.A.H. Overview of the vital roles of macro minerals in the human body. Journal of Trace Elements and Minerals. 2023. Vol. 4. 100076. <https://doi.org/10.1016/j.jtemin.2023.100076>
6. Martiniakova M., Babikova M., Mondockova V., Vlahova J., Kovacova V., Omelka R. The role of macronutrients, micronutrients and flavonoid polyphenols in the prevention and treatment of osteoporosis. Nutrients. 2022. Vol. 14, № 3. 523. <https://doi.org/10.3390/nu14030523>
7. Погорелов М.В., Бумейстер В.І., Ткач Г.Ф. та ін. Макро- та мікроелементи (обмін, патологія та методи визначення): монографія. Суми: Вид-во СумДУ, 2010. 147 с.
8. Бабієнко В.В., Шанигін А.В. Основи дієтології та клінічного харчування: науково обґрунтовані підходи до раціонального харчування, нутритивної підтримки та дієтотерапії. Одеса: Прес-кур'єр, 2025. 460 с.
9. WHO. Blood lead levels in children. Copenhagen: World Health Organization Regional Office for Europe, 2007. URL: [http://www.cnhis.org/object\\_document/o4738n27387.htm](http://www.cnhis.org/object_document/o4738n27387.htm)
10. Наказ МОЗ України № 1073 від 03.09.2017 «Про затвердження норм фізіологічних потреб населення України в основних харчових речовинах і енергії».

11. Amirli F., Aghayeva T., Mammadova A. Nutrition biochemistry. Biorole of macro- and microelements. In: Proceedings of MacroFrontiers 2025: 3rd International Conference on Macromolecular Compounds. 2025.
12. Andrusyshyna I. Elemental state of the organism of workers and population as manifestation of adaptation to technogenic effects of metals: new methodological approaches. Медичні перспективи. 2021. Т. 26, № 4. С. 174–180. URL: <https://journals.uran.ua/index.php/2307-0404/article/view/248220>
13. Ene A., Moraru S.S., Moraru D.I., Pantelica A., Gosav S., Ceoromila A.M. Major and trace element accumulation in soils and crops around steel industry in the Lower Danube Basin and associated ecological and health risks. Applied Sciences. 2024. Vol. 14. 5616. <https://doi.org/10.3390/app14135616>
14. Khan F., Siddique A.B., Shabala S., Zhou M., Zhao C. Phosphorus plays key roles in regulating plants' physiological responses to abiotic stresses. Plants. 2023. Vol. 12, № 15. 2861. <https://doi.org/10.3390/plants12152861>
15. Cronin S.J.F., Woolf C.J., Weiss G., Penninger J.M. The role of iron regulation in immunometabolism and immune-related disease. Frontiers in Molecular Biosciences. 2019. Vol. 6. 116. <https://doi.org/10.3389/fmolb.2019.00116>
16. Molnár J., Pal M. Macroelements and microelements: the role of minerals in human nutrition. Ingredients & Additives. 2024. Vol. 10, № 1.
17. Zhou Y., Nie K., Geng L., Wang Y., Li L., Cheng H. Selenium's role in plant secondary metabolism: regulation and mechanistic insights. Agronomy. 2025. Vol. 15, № 1. 54. <https://doi.org/10.3390/agronomy15010054>
18. Remick K.A., Helmann J.D. The elements of life: a biocentric tour of the periodic table. Advances in Microbial Physiology. 2023. Vol. 82. P. 1–127. <https://doi.org/10.1016/bs.ampbs.2022.11.001>
19. European Pharmacopoeia. 8th ed. Strasbourg: Council of Europe, 2015. 6111 p.
20. The United States Pharmacopoeia 37 – National Formulary 32. New York, 2014. 2569 p.

21. Radha, Kumar M., Puri S., Pundir A., Bangar S.P., Changan S., Choudhary P. Et al. Evaluation of nutritional, phytochemical, and mineral composition of selected medicinal plants from Western Himalaya. *Plants*. 2021. Vol. 10, № 7. 1429. <https://doi.org/10.3390/plants10071429>
22. Brima E.I. Levels of essential elements in different medicinal plants determined by using ICP-MS. *Journal of Analytical Methods in Chemistry*. 2018. 7264892. <https://doi.org/10.1155/2018/7264892>
23. Chen W., Yang Y., Fu K., Zhang D., Wang Z. Progress in ICP-MS analysis of minerals and heavy metals in traditional medicine. *Frontiers in Pharmacology*. 2022. Vol. 13. 891273. <https://doi.org/10.3389/fphar.2022.891273>
24. Zirari M., Aouji M., Imtara H., Hmouni D. Nutritional composition, phytochemicals, and antioxidant activities of *Abies marocana* needles. *Frontiers in Sustainable Food Systems*. 2024. Vol. 8. 1348141. <https://doi.org/10.3389/fsufs.2024.1348141>
25. Lokshin A., Palchan D., Golan E., Erel R., Andronico D., Gross A. Foliar nutrient uptake from dust sustains plant nutrition. *Biogeosciences*. 2025. Vol. 22. P. 2653–2666. <https://doi.org/10.5194/bg-22-2653-2025>
26. Черних В.П. (гол. Ред.) Фармацевтична енциклопедія. 3-тє вид. Київ: Моріон. 2016. 1632 с <https://www.pharmencyclopedia.com.ua/>
27. Naozuka J., de Oliveira A.P., Lima L.O., Nomura C.S. Determination of essential and toxic elements in herbal medicines by ICP-MS. *ACS Omega*. 2025. Vol. 10, № 43. P. 50695–50708. <https://doi.org/10.1021/acsomega.5c05971>
28. Anjum S., Bazai Z.A., Rizwan S. Elemental characterization of medicinal plants and soils. *Journal of Oleo Science*. 2019. Vol. 68, № 5. P. 443–461. <https://doi.org/10.5650/jos.ess19004>
29. Chavda V.P., Patel A.B., Vihol D. Herbal remedies and nutraceuticals for COVID-19 management. *Clinical Complementary Medicine and Pharmacology*. 2022. Vol. 2. 100021. <https://doi.org/10.1016/j.ccmp.2022.100021>
30. Khan M.S.A., Ahmad I. Herbal medicine: current trends and future prospects. In: *New Look to Phytomedicine*. Academic Press, 2019. P. 3–13.

31. Атакулова Н.Б., Аскарров І.Р., Анварова М.М. Визначення макро- та мікроелементів методом ICP-MS. *Journal of Chemistry of Goods and Traditional Medicine*. 2022. № 5. С. 105–113. <https://doi.org/10.55475/jcgtm/vol1.iss5.2022.107>
32. To N.D., Tran T.P.A., Nguyen T.T. Optimization of heavy metals determination in herbal medicines by AAS. *Natural Product Communications*. 2025. Vol. 20, № 6. <https://doi.org/10.1177/1934578X251349924>
33. Fisher A. *Atomic spectrometric methods of analysis*. Royal Society of Chemistry, 2025. 206 p.
34. Wilschefski S.C., Baxter M.R. Inductively coupled plasma mass spectrometry: analytical aspects. *Clinical Biochemistry Reviews*. 2019. Vol. 40, № 3. P. 115–133. <https://doi.org/10.33176/AACB-19-00024>
35. Marguí E., Queralt I., de Almeida E. X-ray fluorescence spectrometry for environmental analysis. *Chemosphere*. 2022. Vol. 303. 135006. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2022.135006>
36. Savych A., Marchyshyn S., Mosula L. Analysis of amino acids in antidiabetic herbal mixture by GC-MS. *Pharmacia*. 2022. Vol. 69, № 1. P. 69–76.
37. Kumawat J., Kumari A., Hase S. Use of herbal medicine: a growing trend. *International Journal of Pharmaceutical Research and Applications*. 2023. Vol. 8, № 3. P. 2007–2011.
38. Lourenço S.C., Moldão-Martins M., Alves V.D. Antioxidants of natural plant origins. *Molecules*. 2019. Vol. 24, № 22. 4132. <https://doi.org/10.3390/molecules24224132>
39. Durazzo A., Lucarini M., Santini A. Nutraceuticals in human health. *Foods*. 2020. Vol. 9, № 3. 370. <https://doi.org/10.3390/foods9030370>



INFORMATION PLATFORM "CENTER FOR INNOVATIVE THINKING"  
UKRAINIAN INSTITUTE OF SCIENTIFIC STRATEGIES  
EUROPEAN UNION RESEARCH DEPARTMENT  
SCIENTIFIC AND PUBLISHING CENTER "PROGRESS"

## EDUCATION AND SCIENTIFIC PROGRESS

PROCEEDINGS OF THE INTERNATIONAL SCIENTIFIC AND PRACTICAL CONFERENCE

April 24-26, 2026  
Manchester, United Kingdom

This edition was approved for publication on May 8, 2026.  
Published in A4 format online on website:  
<https://iuknainfo.com/crpf/online/?id=117>

Publisher: Sole proprietor Salovkov O. V. Certificate of registration in the State Register of Publishers, Manufacturers, and Distributors of Publishing Products series DK № 8227, dated April 23, 2025.

Manchester, United Kingdom  
2026

17. *Кліцко Тетяна Іванівна, Іванова Вікторія Олександрівна, Кісільник Діана Андріївна* 114  
ІНТЕГРАЦІЯ ЕКОЛОГІЧНОЇ СКЛАДОВОЇ В ОСВІТНІЙ ПРОЦЕС ПОЧАТКОВОЇ ШКОЛИ: ВІД ТЕОРІЇ ДО ПРАКТИКИ
18. *Корієва Анастасія Русланівна* 123  
МЕТОДИЧНІ АСПЕКТИ ВИКОРИСТАННЯ ІКТ ПРИ ВИВЧЕННІ ТРИГОНОМЕТРИЧНИХ РІВНЯНЬ ТА НЕРІВНОСТЕЙ У СТАРШІЙ ПРОФІЛЬНІЙ ШКОЛІ
- PHILOLOGY AND JOURNALISM**
19. *Морозова Ірина Борисівна, Середьківська Катерина Сергіївна* 129  
ОБ'ЄКТИВАЦІЯ ВЕРБАЛЬНОЇ МІМІКРІЇ В МОВЛЕННІСЬКІЙ ПАРТІЇ ГОЛОВНОГО ГЕРОЯ У ФІЛЬМІ «THE TALENTED MR. RIPLEY» (ТАЛАНОВИТИЙ МІСТЕР РІПЛІ)
- PHYSICAL AND MATHEMATICAL SCIENCES**
20. *Volodymyr Viskoboinich, Oleksandr Viskoboinyk, Anatolii Kharchenko, Pavlo Romanenko, Sofiia Viskoboinik* 133  
PHYSICAL MODELING OF THE INTERACTION OF THE GULF STREAM WITH THE ATLANTIS II SEAMOUNT
- PHYSICAL EDUCATION, SPORTS AND PHYSICAL THERAPY**
21. *Дачко Данило Владиславович, Дичко Олена Анатоліївна, Дичко Владислав Вікторович* 148  
ОСОБЛИВОСТІ ФОРМУВАННЯ БАЗОВИХ ФІЗИЧНИХ ЯКОСТЕЙ У ЮНИХ ФУТБАЛІСТІВ 13-16 РОКІВ З УРАХУВАННЯМ СТАТЕВИХ ВІДМІННОСТЕЙ
- PHARMACY AND PHARMACOTHERAPY**
22. *Колосова Ірина Іванівна, Сашинська Альона Вікторівна* 156  
ФАРМАКОЛОГІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ ВИКОРИСТАННЯ ЛІКАРСЬКИХ РОСЛИН ЯК ДЖЕРЕЛ ЕСЕНЦІАЛЬНИХ ЕЛЕМЕНТІВ ДЛЯ НУТРИЦЕВТИЧНОЇ ГАЛУЗІ
- PSYCHOLOGY AND PSYCHIATRY**
23. *Злобіна Олена Вікторівна, Костюк Ганна Володимирівна* 164  
МЕТОДИ САМОРЕГУЛЯЦІЇ ЯК ЗАСІБ ПОДІЯЛАННЯ СТРЕСУ У ВІЙСЬКОВІЙ ДІЯЛЬНОСТІ
24. *Кириченко Андрій Володимирович, Ремець Володимир Володимирович* 169  
ПСИХОЛОГІЧНІ ЗДІБНОСТІ ВІЙСЬКОВОГО КЕРІВНИКА В БОЙОВИХ УМОВАХ
25. *Степан Наталія Володимирівна, Пісний Євген Вікторович* 176  
ОСОБЛИВОСТІ СТАНОВЛЕННЯ ЦІННІСНИХ ОРІЄНТАЦІЙ У ПІДШКІВ

4

## PHARMACY AND PHARMACOTHERAPY

УДК 615.322:581.19:612.392

**Колосова Ірина Іванівна**

к.б.н., доцентка

**Сашинська Альона Вікторівна**

студентка

Дніпровський державний медичний університет

м. Дніпро, Україна

### ФАРМАКОЛОГІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ ВИКОРИСТАННЯ ЛІКАРСЬКИХ РОСЛИН ЯК ДЖЕРЕЛ ЕСЕНЦІАЛЬНИХ ЕЛЕМЕНТІВ ДЛЯ НУТРИЦЕВТИЧНОЇ ГАЛУЗІ

**Анотація.** У статті проведено ґрунтовний аналіз лікарських рослин як стратегічного ресурсу для отримання есенціальних мінеральних сполук. Досліджено біологічну роль макро- та мікроелементів у забезпеченні гомеостазу людини. Обґрунтовано доцільність переходу від неорганічних солей металів до органічно зв'язаних рослинних форми (хелатів) у нутрицевтичній практиці. Розглянуто сучасні методи інструментального аналізу мінерального складу сировини, закономірності біокумуляції елементів різними ботанічними родинами та питання екологічної безпеки. Обґрунтовано переваги використання рослинних джерел мінералів у порівнянні з синтетичними сполуками для нутрицевтичної галузі. Розглянуто механізми формування хелатних комплексів та їх вплив на фармакокінетику мікроелементів.

156

**Ключові слова:** мікроелементи, лікарська рослина сировина, нутрицевіки, біодоступність, хелатні комплекси, стандартизація, атомно-абсорбційна спектроскопія.

На сучасному етапі розвитку превентивної медицини проблема мікроелементозів набуває особливої гостроти. Порушення мінерального обміну, відомі як мікроелементози, спричинені незбалансованим харчуванням та екологічними чинниками, є фундаментом для розвитку хронічних неінфекційних захворювань, а саме імунодепресивних станів, ендокринних розладів та патологій серцево-судинної системи. Традиційна фармацевтична промисловість тривалий час орієнтувалася на використання неорганічних солей металів, проте їхня низька біодоступність (часто не перевищує 5–10%) та подrażнювальна дія на слизову оболонку ШКТ змушують шукати альтернативні рішення. Лікарські рослини (ЛР) виступають унікальними біомодуляторами, що здатні акумулювати мінеральні речовини у формі органічних сполук, які легко інтегруються в метаболічні цикли організму. На відміну від синтетичних вітамінно-мінеральних комплексів, лікарські рослини (ЛР) пропонують мінеральні речовини у формі природних хелатів — сполук, де іон металу зв'язаний з амінокислотами, пептидами або органічними кислотами, що забезпечує їх високу біодоступність та мінімальну токсичність [1, с. 34].

Життєдіяльність організму неможлива без участі есенціальних елементів. Макроелементи, такі як калій (K) та натрій (Na), забезпечують підтримання мембранного потенціалу, тоді як кальцій (Ca) та фосфор (P) формують мінеральний матрикс кісткової тканини. Проте особливий інтерес для фармакогнозії становлять мікроелементи. Есенціальні мікро- та макроелементи виконують роль кофакторів у тисячах ферментативних реакцій. Зокрема, селен (Se) є незамінним компонентом селенопротеїнів, а саме глутатіонпероксидази, що забезпечують антиоксидантний захист клітин. Цинк (Zn) бере участь у роботі понад 300 ферментів, включаючи ДНК-полімеразу, що робить його критично важливим для процесів регенерації та імунної відповіді. Дефіцит цих

157

3. **Кульбаба лікарська (*Taraxacum officinale*)**— це багаторічна трав'яниста рослина родини айстрових з яскраво-жовтими суцвіттими-кошиками, яка широко використовується для підвищення апетиту і покращання травлення. Її корінь та листя є потужним джерелом **кальцію** (за що рослина має сечогінну дію без вивільнення цього елемента з організму). Також накопичує **кальцій, фосфор, залізо та марганець** [4, с.142; 5,с.368].

4. **Черета трироздільна (*Bidens tripartita*), причена** - одніорічна лікарська рослина відома своїми протикальцями та ангіоалергічними властивостями, яку найчастіше використовують у вигляді відварів для лікування шкірних захворювань та кунаши немовлят. Має поодинокі, привісткові, супротивно-галузисті зелені, часто з фіолетовим відтінком стебла, супротивними (іноді верхівковими черговими), короткочерешкові, трироздільні або розсічені листки, з біловою, часто трироздільною верхівковою частиною і ланцетними великопильчастими частинками. Кошики з двошаровою обгорткою поодинокі або зібрані по два-три на кінцях пагонів. Квітки дрібні, жовто-коричневі, лише трубчасті. Сім'янки мають дві, рідше між ними є коротка третя, захурбрені ості. Відома своєю здатністю концентрувати **марганець**, який входить до складу ферментативних систем, що впливають на обмін речовин та функцію залоз внутрішньої секреції. Також містить значну кількість **цинку** [4, с.532; 5,с.894].

**Ламінарія (Морська капуста, *Laminaria*) – буре водорість**, яка є абсолютним чемпіоном за вмістом йоду. Крім того, вона накопичує **магній, натрій, бром, кобальт, калій, кальцій, мідь, залізо, цинк та інші** безпосередньо з морської води. Ламінарії використовують для профілактики проти ендемічного зобу та при атеросклерозі, вона діє як протисонний засіб при хронічних атонічних запорах, гострих і хронічних ентеровіалітах, проктитах, а також для профілактики та лікування гіпертиреозу, легких форм базедової хвороби, в харчуванні (особливо людей літнього віку) [4, с.456; 5,с.524].

159

елементів неможливо скорегувати лише шляхом дієти, що обумовлює необхідність створення високоякісних нутрицевіків на основі лікарської рослинної сировини (ЛРС), яка пройшла ретельний фармакологічний аналіз [2, с. 142].

Закономірності накопичення елементів у рослинній сировині. Здатність рослини до кумуляції елементів визначається геохімічними особливостями ґрунту та генетично детермінованими механізмами селективного поглинання. У фармакогностичному аналізі важливо розрізнити рослини-концентратори, які називають акумуляторами або гіперакумуляторами (табл.1). Наприклад, види роду *Astragalus* здатні накопичувати селен у концентраціях, що в сотні разів перевищують його вміст у ґрунті. Родина *Asteraceae* (зокрема *Inula helenium L.*) демонструє високу спорідненість до марганцю (Mn) та міді (Cu), які виступають кофакторами синтезу інсуліну та інших полісахаридів [3, с. 76]. Типовими прикладами гіперакумуляторів є:

1. **Кропива дводомна (*Urtica dioica*)** - дводомна багаторічна трав'яниста рослина, верта жалюзи волосками один із лідерів за вмістом мікроелементів. Накопичує велику кількість **заліза, міді, марганцю, бору, титану та нікелю**. Такий склад робить її незамінною при анеміях та для відновлення складу крові [4, с.120; 5,с.327].

2. **Хвощ польовий (*Equisetum arvense*)** - багаторічна спорова рослина з потужним, розгалуженим коренем, яке кожного року розвиває надземні пагони є унікальною рослинною зв'язкою рекордному вмісту **кремнію** (кремнієвої кислоти). Також містить багато **кальцію, заліза та магнію**. Кремій з хвоща необхідний для синтезу колагену, міцності кісток, волосся та еластичності судин, а також здатна застосовується в народній медицині різних країн при захворюваннях широк як сечогінна та літальна речовина. Хвощ польовий чинить детоксикаційну дію при гострих та хронічних отруєннях свинцем, виводить його з організму, знижує рівень цукру у крові при аноксаномому діабеті [4, с.321; 5,с.854].

158

Таблиця 1.

Рослини-концентратори есенціальних мікроелементів

Елемент	Рослина-концентратор (ЛРС)	Основна фармакологічна дія
Zn (Цинк)	Трава фалси, насіння гарбуза	Репаративна, андрогенна
Se (Селен)	Види роду Астрagal, часник	Антиоксидантна, імуномодулююча
Cu (Мідь)	Трава череди, світлі арники	Антипептична, метаболічна
Si (Кремій)	Трава хвоща польового, споршу	Резинералізуюча, дерматотропна
Mn (Марганець)	Листя чорниці, корінь омату	Гіполіпемічна, ферментативна

Для нутрицевічної промисловості ЛРС виступає як безпечна база для створення дієтичних добавок, спрямованих на корекцію мікроелементозів. Наприклад, сировина кропиви дводомної та видів роду *Hypericum* є перспективним джерелом заліза та магнію, що дозволяє використовувати їх у комплексній терапії анемії та стресових станів [3, с. 88]. Окрім того, елементний склад безпосередньо впливає на стабільність та активність основних груп біологічно активних речовин рослин, таких як флавоноїди та алкалоїди, що необхідно враховувати при розробці технологій екстрагування [4, с. 210].

Сучасна фармакогнозія використовує широкий арсенал методів для ідентифікації елементного складу ЛРС. Фармакогностичне вивчення елементного складу починається з деградації органічної матриці сировини. Найбільш сучасним методом є мікрохвильова мінералізація в закритих системах, що запобігає втратам летких компонентів (As, Hg). Основним методом кількісного визначення залишається атомно-абсорбційна спектроскопія (ААС). Для визначення ультрамікроконцентрацій (наприклад, Со або Мо) застосовують атомно-емісійну спектроскопію з індуктивно-зв'язаною плазмою (ICP-OES). Ці методи дозволяють проводити стандартизацію ЛРС не лише за основними групами БАР, а й за «мінеральним профілем», що є критичним для нутрицевічної промисловості при розрахунку добового

160

споживання (RDA) [4, с. 198]. Найвищу точність забезпечують методи атомно-абсорбційної спектроскопії (ААС) та атомно-емісійної спектроскопії з індуктивно-зв'язаною плазмою (ICP-OES). Останній метод дозволяє проводити одночасне визначення широкого спектра елементів, включаючи ультрамікроконцентрації кобальту, молібдену та ванадію. Важливою умовою отримання достовірних результатів є використання мікроживильної системи мінералізації, яка забезпечує повне розкладання органічної матриці без втрат легких компонентів [6, с. 42].

Головна перевага рослинних джерел мінералів — це їхнє знаходження у формі хелатів. Хелат — це циклічна сполука, де іон металу затиснутий між «клішнями» органічного ліганду (амінокислоти, пептиду або органічної кислоти). У такому ставі метал захищений від агресивної дії шлункового соку і не вступає в небажані реакції осадження. Хелатна форма запобігає взаємодії іонів металів із компонентами їжі (фітатами, танінами) у просвіті кишечника, які зазвичай блокують всмоктування мінералів. Хелатні комплекси розпізнаються транспортними системами організму як органічні молекули (наприклад, амінокислоти), що забезпечує їх ефективне транспортування до клітин-мішеней. Це відкриває значні перспективи для створення засобів із високою терапевтичною активністю [7, с. 11].

Наприклад, магній у листі кропиви зв'язаний із порфіриновим кільцем хлорофілу, що забезпечує його майже 100% засвоєння порівняно з оксидом магнію [8, с. 110].

Використання ЛРС як джерела мінералів дозволяє створювати препарати з «м'якою» дією. У нутрицевтиці це відкриває шлях до розробки функціональних продуктів для корекції специфічних станів (наприклад, йододефіциту за допомогою ламинарії). У фармацевтичному секторі мінеральний склад ЛРС враховується при розробці екстрактів: іони  $\text{Ca}^{2+}$  та  $\text{Mg}^{2+}$  можуть впливати на стабільність автолізів та флавонолідів, підсилюючи їхню венотонізуючу та капілярнозміцнюючу дію [9, с. 175].

Виробдження ЛРС у нутрицевтичне виробництво вимагає жорсткого контролю за вмістом токсичних елементів. Згідно з вимогами Державної Фармакології України, кожна партія сировини повинна проходити перевірку на вміст свинцю (Pb), кадмію (Cd), ртуті (Hg) та миш'яку (As). Важливо враховувати, що деякі рослини-концентратори корисних мікроелементів можуть одночасно накопичувати і важкі метали. Тому екологічний моніторинг мисць заготівлі та використання стандартизованих методів контролю є критичним для забезпечення якості кінцевого продукту [11, с. 105; 4, с. 204]. Важливо розуміти феномен антагонізму: достатній вміст у рослині есенціального цинку (Zn) блокує накопичення токсичного кадмію (Cd), що є важливим показником якості сировини, зібраної в екологічно чистих регіонах [10, с. 94, 11, с. 198].

Висновки. Таким чином, фармакогностичне обґрунтування використання лікарських рослин як джерел есенціальних елементів базується на їхній здатності накопичувати мінерали у найбільш фізіологічно прийнятній формі. Рослинні мінеральні комплекси у формі хелатів демонструють вищу біодоступність та безпеку, ніж синтетичні аналоги. Створення нутрицевтиків на основі стандартизованої ЛРС дозволяє вирішити проблему низької біодоступності мінеральних речовин та забезпечити безпечну корекцію мікроелементозів. Стандартизація ЛРС за показниками елементного гомеостазу дозволить суттєво підвищити якість фітопрепаратів та забезпечити ефективну профілактику елементозів. Подальші дослідження мають бути спрямовані на вивчення синергізму мінералів та основних БАР рослин (флавонолідів, вітамінів) для оптимізації їхньої фармакологічної дії.

#### СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ:

1. Фармакогнозія : базовий підручник для студ. вищ. фармац. навч. закл. (фармацевтів) IV рівня акредитації / В.С. Кисличенко та ін.; за ред. В.С. Кисличенко. Харків: НФУ : Золоті сторінки, 2015. 736 с.

2. Елементози людини: сучасні аспекти діагностики та фітотокорекції / за ред. О. М. Білозір. Київ : Книга-плюс, 2022. 312 с.
3. Ali A.A.H. Overview of the vital roles of macro minerals in the human body. *Journal of Trace Elements and Minerals*. 2023. Vol. 4. 100076. <https://doi.org/10.1016/j.jtemin.2023.100076>
4. Державна Фармакологія України. 2-е вид. Харків : РІРЕГ, 2015. Т. 1. 1128 с.
5. Черних В.П. (гол. ред.) Фармацевтична енциклопедія. 3-тє вид. Київ: Моріон. 2016. 1632 с. <https://www.pharmacencyclopedia.com.ua/>
6. Нутрицевтика та дієтологія : навч. посібник / за ред. проф. Т. В. Капінової. Львів : Новий Світ-2000, 2021. 420 с.
7. Andrusyshyna I. Elemental state of the organism of workers and population as manifestation of adaptation to technogenic effects of metals: new methodological approaches. *Медицинські перспективи*. 2021. Т. 26, № 4. С. 174–180. URL: <https://journals.urau.ua/index.php/2307-0404/article/view/248220>
8. To N.D., Tran T.P.A., Nguyen T.T. Optimization of heavy metals determination in herbal medicines by AAS. *Natural Product Communications*. 2025. Vol. 20, № 6. <https://doi.org/10.1177/1934578X251349924>
9. Trace elements in medicine and biology: a plant-based approach / ed. by G. Russo. New York : Springer, 2023. 285 p.
10. Khan M.S.A., Ahmad I. Herbal medicine: current trends and future prospects. In: *New Look to Phytomedicine*. Academic Press, 2019. P. 3–13.
11. Fisher A. Atomic spectrometric methods of analysis. *Royal Society of Chemistry*, 2025. 206 p.

