

УДК 582.711.712+61+615.1

DOI <https://doi.org/10.32689/2663-0672-2025-2-29>

Марта МАНІЛІЧ

студентка першого курсу магістерського рівня здобуття освіти спеціальності 162 «Біотехнології та біоінженерія», Національний університет «Львівська політехніка», marta.manilich.mbtbtz.2024@lpnu.ua

ORCID: 0009-0002-0982-288X

Ірина ГНАТІВ

аспірант кафедри технології біологічно активних сполук, фармації та біотехнології, Національний університет «Львівська політехніка», iryna.y.hnativ@lpnu.ua

ORCID: 0009-0009-0519-5189

Роксолана КОНЕЧНА

кандидат фармацевтичних наук, доцент кафедри технології біологічно активних сполук, фармації та біотехнології, Національний університет «Львівська політехніка», roksolana.t.konechna@lpnu.ua

ORCID: 0000-0001-6420-9063

PINUS MUGO TURRA: АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ

У відповідь на зростаючий інтерес до природних біологічно активних речовин, сучасна фармація потребує розширення арсеналу лікарської рослинної сировини. Вивчення нових видів, здатних ефективно доповнити існуючі фармацевтичні засоби, є першочерговим завданням. Сосна гірська (*Pinus mugo Turra*), багата на терпени, флавоноїди та інші цінні сполуки, вирізняється значним потенціалом для фармакогностичних досліджень і є перспективним джерелом для створення інноваційних лікарських засобів природного походження.

Мета роботи. Аналіз та систематизація наявних наукових даних щодо хімічного складу та властивостей сосни гірської (*Pinus mugo Turra*), а також огляд лікарських засобів, які містять у своєму складі екстракт сосни гірської. Визначення перспективних напрямків використання рослини як джерела біологічно активних речовин для потреб фармації, косметології, харчової та сільськогосподарської промисловості.

Постановка проблеми. У сучасному світі все частіше виникає необхідність пошуку нових, ефективніших та безпечніших лікарських засобів. Зростання резистентності мікроорганізмів до існуючих препаратів, а також пошук екологічно чистих та відновлюваних ресурсів, підвищує інтерес до рослинної сировини. Особливу увагу варто приділити видам, які мають властивості адаптовуватись до екстремальних умов навколишнього середовища, оскільки з кожним роком це стає все актуальнішим через зміни клімату внаслідок людської діяльності. Одним із таких є сосна гірська (*Pinus mugo Turra*), що є перспективним джерелом біологічно активних речовин природного походження. Вид зростає у високогірних регіонах та характеризується стійкістю до екстремальних кліматичних умов, що зумовлює накопичення цінних вторинних метаболітів, зокрема ефірної олії з широким спектром фармакологічної дії.

Висновки. Проведене літературне дослідження підтверджує, що сосна гірська (*Pinus mugo Turra*) є цінним та водночас недооціненим джерелом біологічно активних речовин з широким спектром фармакологічної дії. Її унікальний хімічний склад, сформований у відповідь на суворі умови високогір'я, робить її перспективним об'єктом для подальших наукових досліджень та практичного застосування. Незважаючи на вже відомі властивості, існує гостра потреба у проведенні більш глибоких та систематичних досліджень, зокрема клінічних випробувань, для повного розкриття її терапевтичного потенціалу, визначення оптимальних дозувань та форм застосування, а також розробки стандартів якості сировини.

Ключові слова: *Pinus mugo Turra*, ефірна олія, біологічно активні речовини, лікарська сировина, фармація, природні компоненти.

Marta Manilich, Iryna Hnativ, Roksolana Konechna. PINUS MUGO TURRA: ANALYTICAL REVIEW OF LITERATURE

In response to the growing interest in natural biologically active compounds, modern pharmacy requires an expanded arsenal of medicinal plant raw materials. The study of new plant species capable of effectively complementing existing pharmaceutical products is a priority. Mountain pine (*Pinus mugo Turra*), rich in terpenes, flavonoids, and other valuable compounds, demonstrates significant potential for pharmacognostic research and serves as a promising source for the development of innovative natural-origin medicinal products.

Aim of the Study. To analyze and systematize the existing scientific data on the chemical composition and properties of mountain pine (*Pinus mugo Turra*), as well as to review medicinal products containing its extract. The study also aims to identify promising directions for utilizing the plant as a source of biologically active substances for the pharmaceutical, cosmetic, food, and agricultural industries.

Problem Statement. In today's world, there is an increasing need to discover new, more effective, and safer medicinal products. The growing resistance of microorganisms to existing drugs, along with the search for environmentally friendly and renewable

resources, has intensified interest in plant-based raw materials. Special attention should be paid to species that exhibit the ability to adapt to extreme environmental conditions—an increasingly relevant trait in the context of climate change driven by human activity. One such species is mountain pine (*Pinus mugo* Turra), which holds great promise as a natural source of biologically active compounds. This high-altitude plant species is highly resilient to extreme climatic conditions, which contributes to the accumulation of valuable secondary metabolites, including essential oil with a broad range of pharmacological activities.

Conclusion. The literature review confirms that mountain pine (*Pinus mugo* Turra) is a valuable yet underappreciated source of biologically active compounds with a broad spectrum of pharmacological effects. Its unique chemical composition, shaped by the harsh conditions of high-altitude environments, makes it a promising subject for further scientific exploration and practical application. Despite its already known properties, there is an urgent need for more in-depth and systematic studies, particularly clinical trials, to fully uncover its therapeutic potential, determine optimal dosages and forms of administration, and develop quality standards for raw materials.

Key words: *Pinus mugo* Turra, essential oil, biologically active substances, medicinal raw materials, pharmacy, natural components.

Вступ. *Pinus mugo* Turra – це представник хвойних рослин, що зростає переважно на високогірних територіях Альп, Карпат та інших гірських регіонів Європи [33]. Завдяки своїй стійкості до екстремальних кліматичних умов і насиченому хімічному складу, цей вид привертає увагу науковців як перспективне джерело біологічно активних сполук, зокрема ефірної олії з широким спектром фармакологічної дії. Компоненти, що містяться в ефірній олії сосни гірської, демонструють антисептичні, протизапальні, а також імуностимулювальні властивості, що дозволяє використовувати їх у складі лікарських засобів та профілактичних препаратів.

У сучасних умовах, коли фармація дедалі активніше звертається до природних джерел біологічно активних речовин, вивчення нових видів лікарської сировини є надзвичайно актуальним. Одним із пріоритетних напрямів є пошук рослин, які можуть бути не лише альтернативою, а й ефективним доповненням до видів, що вже використовуються в медичній практиці. Враховуючи високий вміст терпенів, флавоноїдів та інших цінних сполук, *Pinus mugo* Turra має значний потенціал як об'єкт фармакогностичних досліджень і джерело для створення нових лікарських засобів природного походження.

Ботанічний опис *Pinus mugo* Turra



Рис. 1. Форми росту *Pinus mugo* Turra

Pinus mugo Turra – вид хвойних, що пристосувався до зростання на відкритих субальпійських та альпійських ділянках, непридатних для інших деревних або чагарникових видів, наприклад, на схилах із частими сніговими лавинами. Форма росту сосни гірської варіює: вона може бути моноподіальною з прямостоячим стовбуром і вузькою пірамідальною кроною або кущоподібною з одним чи кількома нахиленими стовбурами, залежно від кліматичних умов росту. Бічні гілки здатні досягати довжини 9–10 м, утворюючи характерні куртини завдяки підняттю кінців похилих стебел.

На кам'янистих і бідних ґрунтах сосна гірська (*Pinus mugo*) утворює багатостовбурні або чагарникові форми (рис.1) [22]. Гілки рослин товсті та дуже еластичні, що забезпечує їм високу стійкість до буревіїв, снігового тиску, обмерзання та лавин [2; 12; 23]. Ріст сосни гірської дуже повільний: у перші роки приріст становить лише 2–3 см на рік, що робить її одним із дерев, що найповільніше зростають. Чагарникові форми досягають 3–5 м заввишки, тоді як прямостоячі дерева можуть виростати до 20–25 м з діаметром стовбура 50–60 см у віці 150–200 років. Максимальна тривалість життя сосни гірської сягає 250–300 років [3; 12].

Коренева система переважно горизонтальна, без центрального кореня, з товстими та розгалуженими бічними коренями довжиною до 8–9 м. Кора тонка, сіро-коричнева або темно-сіра, на старих деревах лущиться лусочками. Пагони гладенькі, від коричневих до сіро-чорних відтінків; бруньки конічні, червоно-коричневі, сильно смолисті [12; 23].

Хвоя розташована по дві в пучку, довжиною 2–8 см і шириною 1–2 мм, злегка звивиста, від світло- до темно-зеленого кольору, зберігається на рослині 4–12 років. *Pinus mugo* здебільшого є дводомною рослиною, але іноді проявляє однодомність. Чоловічі шишки завдовжки близько 10 мм, жовтого або червоного кольору, розсіюють пилок з травня до кінця червня. Жіночі шишки ростуть поодинокі або по 2–4 у вузлах: молоді – фіолетові, зрілі – темно-коричневі, завдовжки до 5–6 см і шириною до 3 см (рис.2 [22]). Їхнє повне дозрівання триває

15–17 місяців, зазвичай до жовтня наступного року. Апофізи шишок опуклі, обрамлені чорним кільцем. Насіння чорне, розміром 3–4 мм, має жовті крильця з темними прожилками і загальною довжиною близько 10 мм [11; 12; 23; 28].



Рис. 2. Шишки та насіння *Pinus mugo* Turra

Насіння *Pinus mugo* має обернено яйцевидну форму (рис. 2) і має прикріплене до халазального кінця насінини: півчасте, тонке, злегка прозоре крило [7; 22].

Ріст і розвиток вегетативних пагонів залежать від погодних умов сезону та проявляють ритмічність, притаманну гірським рослинам. *Pinus mugo* формує важливі компоненти субальпійських екосистем, стабілізує ґрунти на крутих схилах та сприяє збереженню біорізноманіття в умовах суворого гірського середовища [2].

Вченими із Національного лісотехнічного університету України [3] встановлено, що флористичний склад формації сосни гірської є доволі різноманітним. Наприклад, у Чивчино-Гринявських горах на 16 пробних площах було зареєстровано 71 вид рослин, серед яких 8 видів мохів та 2 види лишайників, що належать до гірського елемента флори. Серед типових представників гірської рослинності, які відіграють важливу роль у формуванні соснових ценозів і сприяють їхній біотичній стійкості, виявлено кунічник пухнастий (*Calamagrostis villosa*), безщитник альпійський (*Athyrium distentifolium*), щитник широколистий (*Dryopteris dilatata*), підбілик альпійський (*Homogyne alpina*), сольданеллу угорську (*Soldanella hungarica*), аденостилес сіролистий (*Adenostyles alliariae*), Також серед рослинного покриву відзначені ендемічні та субендемічні види: медунка Філярського (*Pulmonaria filarszkyana*), щавель альпійський (*Rumex alpinus*), рододендрон східнокарпатський (*Rhododendron*

myrtifolium), королиця круглолиста (*Leucanthemum rotundifolium*), порічки карпатські (*Ribes petraeum*) та верба сілезька (*Salix silesiaca*) [3].

Епіфітні обростання на корі сосни гірської, як і в інших хвойних, зустрічаються рідко. Проте біля основи стовбурів і на гілках, що ростуть майже горизонтально, часто можна спостерігати такі мохи та печіночники, як (*Lophocolea heterophylla*), дикран рудуватий (*Dicranum fuscescens*), косолистник яскравий (*Plagiothecium laetum*) і келишка Нееса (*Calypogeia neesiana*). Органічна підстилка, що складається переважно з опалого хвої та рослинних решток, густо заселена мохами: дикран мітлоподібний (*Dicranum scoparium*), червоностебловик Шребера (*Pleurozium schreberi*), ярусник блискучий (*Hylocomium splendens*), політрих стиснений (*Polytrichum strictum*), а також сфагновими мохами, які формують суцільне проективне покриття [3; 8].

Отже, основним компонентом рослинного покриву під наметом сосни гірської є мохоподібні рослини, які можуть утворювати суцільний зелений килим або складати 10–15% покриття. Значну частку також становлять лишайники. Ґрунти під такими асоціаціями представлені дерново-торф'янистими типами з тонким профілем і високою щербенистістю [8].

Дослідження [2] підтверджують помірну видову мінливість, описану на основі морфологічних та анатомічних характеристик хвої. Як приклад, особини *Pinus mugo* з абрузької популяції достовірно відрізнялися від судетських та карпатських зразків лише за вісьмома з тридцять однієї ознаки. Ознаки, які достовірно відрізнялися порівняно з іншими популяціями, були такими: максимальний діаметр шишки, кількість лусок шишки, діаметр верхівки шишки, проміжний діаметр шишки та відношення довжини шишки до кількості лусок. Інші три статистично значущі відмінності були виявлені за ознаками конуса та голки. Ці відмінності стосуються абрузької та карпатської популяцій *Pinus mugo*. Між абрузькою та судетською вибірками статистично значущих відмінностей не виявлено. Статистично значущі відмінності були зафіксовані лише між популяціями *Pinus mugo*, які знаходяться у значній географічній ізоляції. Попри очікування, віддалене розташування абрузької популяції не спричинило помітного зростання генетичних відмінностей порівняно з іншими. Імовірно, ізоляція між цими популяціями відбулася одночасно. Отримані результати досліджень свідчать про спільне походження абрузької, судетської та деяких популяцій із Західних Карпат, яке, ймовірно, пов'язане з одним плейстоценовим осередком, що охоплював значну частину Центральної та Південної Європи [16].

Гірська сосна під загрозою зникнення. Хоча гірська сосна зростає на значних висотах, вона все ж

піддається загрозам з боку певних патогенних грибів, зокрема тих, що спричиняють кореневу гниль і негативно впливають на живі дерева в навколишніх лісах. Інші ж види грибів здатні уражати хвою, кору та інші частини дерева. У той же час, шкідливі комахи не становлять істотної загрози для цього виду. Натомість основним фактором загрози для сосни звичайної залишається антропогенний вплив.

Починаючи ще з часів середньовічного розвитку гірського тваринництва, соснові зарості активно вирубувалися та спалювалися задля розширення пасовищ. Через невисокий зріст і високу щільність чагарників, габітус сосни карликової може сприяти поширенню вогню, тому часті пожежі, спричинені людиною, здатні призводити до її знищення [26]. Саме з цієї причини вона зникла на низці гірських вершин Центральної Європи та Балкан [15; 31]. Різні дослідження вже декілька років підкреслюють необхідність розроблення заходів щодо охорони *Pinus mugo* у контексті сучасних кліматичних змін, зокрема збереження природних умов для її стабільного відтворення [2; 13].

Водночас за останні десятиліття спостерігається зворотна тенденція – зміни в землекористуванні сприяють повторному поширенню сосни карликової на покинутих луках. Проте цього може виявитись недостатньо задля відновлення всієї популяції [15; 31].

Поширення. Сучасний ареал поширення *Pinus mugo* є сильно фрагментованим і, ймовірно, є залишком ширшого розповсюдження виду під час міжльодовикових періодів пізнього третинного та четвертинного періодів [28]. Географічний ареал

Pinus mugo Turra охоплює гори Балканського півострова, Карпати, Ерцгебірге (Рудні гори), Альпи, Вогези, Апенніни (аж до району Майєлла (регіон Аbruццо), де вид перебуває під охороною регіональних законів) та Піренеї (рис. 3), переважно в субальпійській частині, вище лінії дерев. Окремі популяції та поодинокі особини трапляються на висотах від 150–200 м над рівнем моря на півдні Польщі та південному сході Німеччини до 2500 м в Альпах і до 2700 м у горах Пірін і Рила (Болгарія). На Балканах даний вид поширений переважно в Далмації, Динарських Альпах, а також у горах Рила та Пірін. У Центральній Європі угруповання сосни гірської на низьких висотах зустрічаються на торфовищах на висотах від 1500 до 2700 метрів над рівнем моря [11; 12; 28].

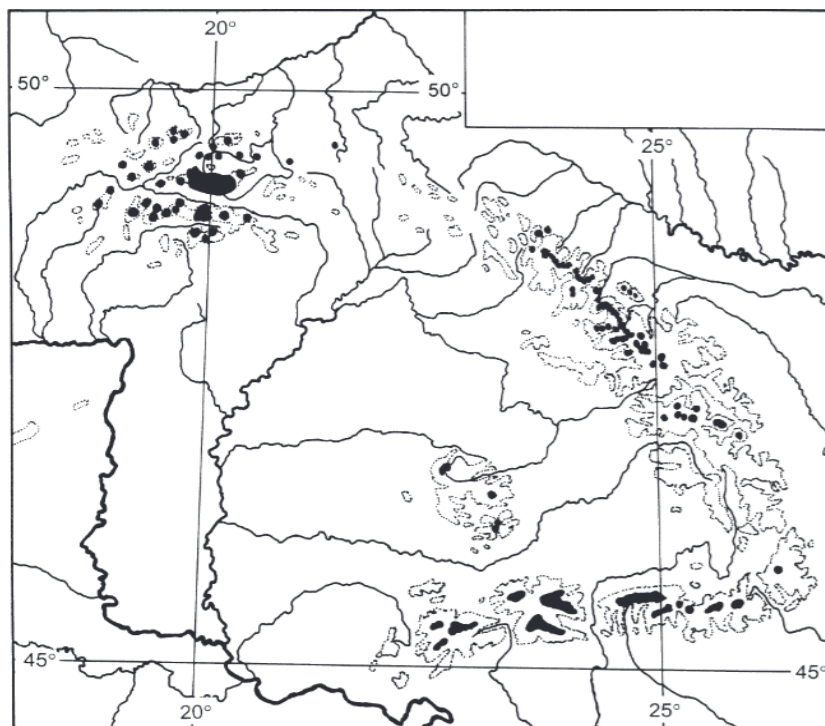
Крім того, вид натуралізований у Канаді та США [28].

У Карпатах ареал поширення *Pinus mugo* є переривчастим (рис 4). У Західній частині Карпат основна частина ареалу виду охоплює Татри, які є найбільшим осередком росту виду у всіх Карпатах. Не дуже численні локалітети розсіяні у найвищих горах, що оточують Татри. Пояс чагарникового типу гірської сосни в Татрах коливається між висотами 1500 і 1800 м, з найвищою точкою на висоті 2140 м, а найнижчою – близько 600 м.

Другий карпатський осередок поширення *Pinus mugo* охоплює Східні Карпати в Україні та Румунії. Локалітети виду розосереджені і охоплюють найвищі гірські хребти, які географічно ізольовані один від одного. Найбільші за площею угруповання *Pinus mugo* зафіксовані в масивах Чорногора та Родна. В інших регіонах поширення



Рис. 3. Карта поширення *Pinus mugo Turra*

Рис. 4. Поширення *Pinus mugo* Turra в Карпатах

чисельність цих угруповань є значно меншою. Висотної кліматичної межі вид досягає лише на найвищих гірських вершинах, тоді як нижня межа зростання становить приблизно 700 м на північних та 800–900 м на південних схилах, переважно на торфовищах.

Третій ареал поширення *Pinus mugo* охоплює Південні Карпати в межах Румунії. Зростання виду відмічене переважно на найвищих гірських хребтах, серед яких найбільші площі, вкриті заростями гірської сосни, спостерігаються у масивах Феґераш, Бучеджі, Ретезат та Паранґ. Основний діапазон висот, у межах якого поширені ці деревостани, становить 1600–2000 м над рівнем моря, переважно на північних схилах. Максимальні висотні межі зростання відмічені на висоті до 2300 м у масивах Бучеджі та Феґераш, а мінімальні – на рівні 1200–1300 м над рівнем моря [5; 36].

Четвертий регіон поширення *Pinus mugo*, розташований поблизу Карпат, включає найвищі гірські масиви Бігор та Апусені в Трансільванії. Тут місцезростання виду мають фрагментарний характер і трапляються рідко. Висотні межі зростання в цьому регіоні коливаються від 1200 до 1830 м над рівнем моря [36].

В Українських Карпатах загальна площа обстежених ділянок, на яких зосереджене криволісся *Pinus mugo*, становить 9319,2 га [5]. Вид поширений переважно у високогір'ї, від Чивчинських гір на південному сході до гори Кук на Боржавському хребті

та гори Канч у Західних Горганах на північному заході. Ізольовані, поодинокі місцезростання зафіксовані також у Буковинському та Кринявському масивах.

Найбільші площі, зайняті *Pinus mugo*, зосереджені в масиві Чорногора та в центральній і східній частинах хребта Горгани. Суцільні зарості гірської сосни переважно вкривають північні схили Чорногори на висотах 1400–1800 м над рівнем моря, тоді як на південних схилах вид трапляється рідше. За межами Чорногори ареал *Pinus mugo* є мозаїчним, представлений окремими ділянками з конгломератами популяцій у районах найвищих вершин, переважно в центральній частині Горган і на півдні Чивчинських гір. Зокрема, на території природного заповідника «Горгани» площа, зайнята *Pinus mugo* на південних схилах, становить лише 4,5 га, тоді як на північних – 327 га.

Гірська сосна потенційно здатна поширюватися до самих вершин гір у Горганах, і нерідко досягає цієї межі. Нижній рівень поширення виду визначається переважно локальною конкуренцією з *Picea abies*. У низці місць на межі поширення гірської сосни формуються перехідні зони, де деревостани *Pinus mugo* та ліси *Picea abies* взаємопроникають, залежно від мікроекологічних умов [36].

Вміст біологічно активних речовин. Фітохімічні речовини – це природні сполуки, що містяться в рослинах і мають потенційні корисні властивості для здоров'я.



Рис. 5. Схили гори Чорногірського хребту, вкриті *Pinus mugo* Turra

Pinus mugo багата на біологічно активні молекули, такі як флавоноїди, фенольні кислоти, проантоціанідини, терпени, таніни, лігнани, вищі спирти, вітаміни та мінерали, що обумовлюють її антиоксидантну, протизапальну, протиракову та кардіопротекторну активність.

Серед різних хімічно охарактеризованих частин рослини (кора, шишки, молоді пагони, гілки, смола та деревина) найбільше досліджень було проведено саме на хвої [14; 20; 21; 25; 28; 32].

Зокрема, дослідження свідчать, що ефірні олії, отримані методом парової або гідродистиляції зі свіжої чи висушеної хвої, гілок і шишок диких популяцій *Pinus mugo* у Косові та Північній Македонії, характеризуються високим вмістом монотерпенових вуглеводнів (до 79,5%). Основними компонентами серед них є δ -3-карен, α - та β -пінен, а також лімонен у поєднанні з β -феландреном. До складу олій також входять сесквітерпенові вуглеводні (до 47,8%), серед яких переважають (Е)-каріофілен і гермакрен D.

Такі ж моно- та сесквітерпенові вуглеводні були основними компонентами ефірної олії, отриманої з заморожених гілок із хвоєю різних популяцій *P. mugo* з Юлійських Альп (Словенія та Італія).

Переважаання 3-карену та α -пінену разом із мірценом, α -терпіноленом, β -каріофіленом і борнілацетатом було також підтверджено при дослідженні ефірних олій різних частин рослин польських і косовських популяцій *P. mugo*. Ці ж два монотерпени були найпоширенішими й у 80% метанольному екстракті хвої сосни гірської, за якими йшли гермакрен D, камфен і D-лімонен. Водночас δ -3-карен не виявили в деяких ефірних оліях із регіону

Тренто-Альто-Адідже (Італія), де основними компонентами були β -пінен або лімонен, як у рідкій, так і у паровій фазі, а також α -пінен, β -мірцен і γ -терпінен. Крім того, при гідродистиляції молоді хвої *P. mugo*, зібрані на крайньому півдні Італії (парк Майєлла, Абруццо), склад ефірної олії змінювався: основними були кисневмісні монотерпени (32,7%), серед яких переважав борнілацетат. Окрім моно- і сесквітерпенів, у деяких ефірних оліях *P. mugo* виявили також фракцію дитерпеноїдів, де кисневмісні дитерпени (часто похідні абієтану та манолоксиду) переважали (до співвідношення 12:1) над дитерпеновими вуглеводнями [28].

У різних дослідженнях було виявлено різну кількість тих чи інших сполук ефірної олії, що залежить від кліматичних умов росту, місця зростання, методу екстракції та ін. (таблиця 1). Проте, у кожному з досліджень вчені виявили сполуки від 58 до 62 сполук, які становили від 69 до 95% всього складу олій [14; 21; 27; 28; 32].

Вихід ефірної олії залежно від органу рослини та її походження становив:

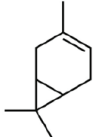
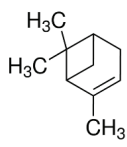
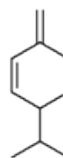
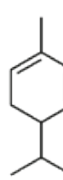
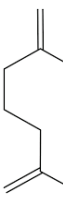
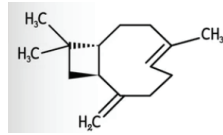
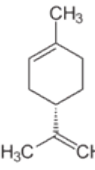
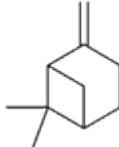
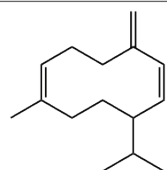
- у хвої – 0,3–0,8 % в/в,
- у гілках – 1,0–2,4 % в/в,
- у шишках – 0,1–0,5 % в/в [21; 33].

Отримані результати свідчать про те, що δ -3-карен та α -пінен є основними компонентами ефірних олій *Pinus mugo*, незалежно від використаної частини рослини. Інші сполуки демонструють варіативність у своєму вмісті, що зумовлено типом рослинної тканини, віком зразків та впливом умов середовища.

Проте, у сировині *Pinus mugo* були знайдені не лише молекули, похідні відліпідів. Інші дослідження

Таблиця 1

Вміст сполук ефірної олії відповідно до частини рослини

Компонент	Найвища виявлена концентрація	Структурна формула	Частини рослини	Посилання на дослідження
δ -3-карен	до 51,6 %	 δ -3-carene	гілки, пагони з голками, кора, деревина	[14, 21, 27]
α -пінен	до 24,5 %		голки, пагони, шишки	[14, 21, 27, 33]
β -феландрен	до 28,79 %		голки	[32, 33]
α -феландрен	до 23,76 %		голки	[32, 33]
мірцен	до 24,6 %		пагони, кора, деревина	[27]
(E)-каріофілен	до 26,9 %		шишки, голки, пагони	[14, 21, 27, 33]
лімонен	до 24,2 %		гілки, пагони	[21, 14]
β -пінен	до 15,4 %		гілки, пагони	[21, 14]
гермакрен D	до 12,4 %		шишки, голки	[21, 14]

Продовження таблиці 1

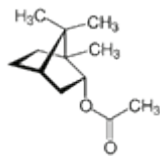
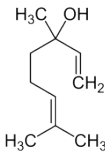
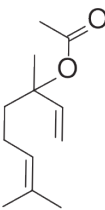
борнілацетат	до 8,3 %		голки	[27]
ліналоол	до 4,6%		шишки	[14]
Ліналоол ацетат	до 7,2 %		пагони	[14]



Рис. 6. Діаграма максимального кількісного вмісту сполук у ефірних оліях

показали наявність декількох поліфенольних сполук. Зокрема, Карапандзова та співавтори [24] ідентифікували 14 флавоноїдів та фенольних сполук (2 кислоти, 2 проантоціанідини, 7 глікозидів флавонолів та 3 ацильовані глікозиди флавонолів). Найпоширенішими компонентами були глікозиди кемпферолу, мірицетину, кверцетину, ларіцитрину та ізорамнетину [20; 28].

До біологічно важливих компонентів, на які заслуговує особлива увага, належать макро- та мікроелементи – незамінні речовини, необхідні для забезпечення нормального функціонування людського організму. Вони беруть участь у ключових біохімічних і фізіологічних процесах, що підтримують гомеостаз. Багато мікроелементів виконують

специфічні функції, будучи незамінними для перебігу певних метаболічних реакцій. Зокрема, важливу роль в обміні речовин відіграють такі елементи, як купрум (Cu), цинк (Zn), ферум (Fe), кадмій (Cd) і магній (Mg) [4].

Особливий інтерес становлять мінеральні сполуки, наявні в лікарській рослинній сировині, оскільки макро- та мікроелементи в ній, як правило, накопичуються у формі біодоступних комплексів із збалансованим співвідношенням складників. Прикладом є *Pinus mugo*, для якої середній вміст мінеральних елементів становить:

- **Cu:** 0,630 мг/кг
- **Zn:** 5,735 мг/кг
- **Fe:** 12,045 мг/кг

- **Cd:** 0,4025 мкг/кг
- **Mg:** 4,345 мг/кг

Причому, встановлено, що вміст макро- та мікроелементів у сосні гірській відповідає таким закономірностям: $Cu > Zn > Fe > Cd > Mg$ [4].

Фармакологічна активність та застосування

У світовій народній медицині *Pinus mugo* має тривалу традицію застосування, насамперед для лікування захворювань дихальних шляхів [28]. Але, наприклад, для гуцулів настій жерепу ще й засіб для лікування серцевих хвороб. У деяких країнах застосовують цінну смолисту й еластичну деревину [37]. Існує велика кількість сортів, що використовуються в садівництві, а також вирощується в садах для декоративного озеленення [31].

Проте промислове значення сосни гірської (*Pinus mugo*) є незначним. Як джерело деревини вона практично не використовується через повільний ріст і чагарникову форму. Частково її деревину застосовують як паливо, а також іноді для виготовлення токарських та різьбярських виробів.

Ефірна олія *Pinus mugo* включена до переліку лікарських засобів на основі ефірних олій у фармакопеях західноєвропейських країн, зокрема в Європейській фармакопеї під назвою *Pini pumilionis aetheroleum*, і має затверджене фармацевтичне застосування [28]. Ефірну олію (*Oleum pini pumilionis*) отримують із молодих пагонів, і вона широко використовується у фармацевтичній та парфумерній промисловості як популярний ароматизувальний засіб.

Дослідження ефірних олій, отриманих із гілок і шишок *Pinus mugo*, виявили їхню виражену протизапальну активність у LPS-стимульованих макрофагах, а також потужну цитотоксичну дію на клітинні лінії HeLa та CaCo-2. Ці результати вказують на перспективність ефірних олій представників роду *Pinus*, зокрема *Pinus mugo* Turra, як потенційних агентів для створення нових фітотерапевтичних протипухлинних препаратів [14; 35].

Високий вміст таких біофлавоноїдних сполук, як глікозиди кемпферолу, мірицетину, кверцетину, ларіцитрину та ізорафлетину, обумовлює антиоксидантні властивості ефірної олії та метанолових екстрактів, зокрема їх здатність до знешкодження вільних радикалів і пригнічення пероксидації ліпідів. У майбутньому є потенціал для проведення поглибленої оцінки хімічного складу та біологічної активності *Pinus mugo* з метою більш повного розкриття її медичного, фармацевтичного та комерційного потенціалу [24].

Есенціальні олії, отримані шляхом парової дистиляції голок та кори представників роду *Pinus*, а також інших рослин, широко застосовуються у складі мазей, ванн або інгаляційних засобів для лікування різноманітних захворювань дихальної

системи, шкіри та м'язів, зокрема інфекційного, ревматичного чи невралгічного походження [20]. Завдяки вираженим антиоксидантним та фотозахисним властивостям, ці олії становлять інтерес як перспективна сировина для створення інноваційних косметичних засобів [30].

Крім того, ефірні олії *Pinus mugo* демонструють значний потенціал у сільському господарстві як природні біопестициди. Дослідження інсектицидної активності ефірної олії, отриманої з молодих пагонів, показали її високу ефективність проти попелиць *Sitobion avenae* та *Rhopalosiphum padi* у лабораторних умовах. Уже через 24 години після обробки у всіх протестованих концентраціях (від 1 % до 5 %) спостерігалася 100% смертність обох видів попелиць.

Окрім інсектицидної дії, ефірні олії з усіх частин рослини проявили значну антимікробну активність, зокрема проти *Salmonella enterica subsp. enterica* та *Escherichia coli*. Отримані результати підтверджують доцільність використання ефірної олії *Pinus mugo* як багатофункціонального компоненту у розробці сучасних біопестицидних засобів [33].

Соснове криволісся виконує ключову екологічну функцію в умовах високогір'я Карпат, зокрема забезпечує захист ґрунтів від ерозії, регуляцію водного балансу, ґрунтотвірні процеси, а також сприяє затриманню снігу. Ареал висотного поширення сосни гірської є ширшим на північних схилах порівняно з південними. Взимку під вагою снігу стовбури та гілки стелюхів прилягають до землі, а навесні, після танення снігу, вони піднімаються, завдяки чому соснове криволісся є стійким до суворих умов карпатського високогір'я. Сосна гірська добре росте на кам'янистих розсипищах, а внаслідок природного відпаду виконує тут ґрунтотвірну функцію. У високогір'ї, де спостережено найбільшу кількість опадів, вона перетворює поверхневий водний стік у підземний, запобігаючи ерозії ґрунтів [5; 37].

Голки сосни гірської можуть виступати як біоіндикатор, здатний оцінювати широкий спектр забруднювачів (як органічних, так і неорганічних сполук) та оцінювати складну біологічну реакцію на наявність генотоксичних речовин (що спостерігаються в пилових зернах) у повітрі високогірних/альпійських територій [18].

Соснові екстракти мають ряд описаних біологічних властивостей, які можуть бути корисними для здоров'я людини. Як наслідок, хвойні екстракти мають високий потенціал як компоненти рецептур для харчової, косметологічної та фармацевтичної промисловості [19], а також для розробки сільськогосподарських препаратів.

Лікувально-профілактичні препарати та засоби на основі сосни гірської. На ринку України та світу

Таблиця 2

Лікарські та косметичні засоби на основі сосни гірської

Назва лікарського/косметичного засобу	Пакування	Форма випуску	Джерело
Долгіт® Гірська сосна		Розчин нашкірний	[1]
Сінумакс Фіто Solution Pharm		Спрей назальний	[10]
Септогал+лактоферин		Таблетки	[9]
Піносол		Спрей назальний	[6]
ALLGA SAN		Розчин	[17, 29]

представлено декілька лікарських та косметичних засобів, до складу яких як активна фармацевтична речовина входить ефірна олія або екстракт із сосни гірської.

Як бачимо із (табл. 2), є небагато препаратів на основі *Pinus mugo*, що може свідчити про недостатню вивченість цієї рослини. Проте, засоби на

основі *Pinus mugo* вже зараз застосовуються для профілактики різних захворювань, зокрема респіраторних інфекцій та захворювань шкіри. Використання екстрактів *Pinus mugo* у складі косметичних продуктів допомагає покращити стан шкіри, зменшити запалення та забезпечити її глибоке зволоження.

Завдяки своєму природному походженню, такі препарати є доволі безпечними й ефективними продуктами для підтримки загального здоров'я, запобігання захворюванням і поліпшення якості життя.

Висновки. Сосна гірська (*Pinus mugo Turra*) є перспективним об'єктом для подальших наукових досліджень завдяки своєму багатому біологічно активному складу та здатності адаптуватися до суворих умов високогірного середовища. Вона демонструє значний потенціал як джерело ефірних олій і вторинних метаболітів, що можуть бути

використані у фармацевтичній, косметичній та харчовій промисловості.

Попри це, вид залишається недостатньо вивченим: його хімічний склад, фармакологічна активність та можливості клінічного застосування потребують глибшого аналізу й наукового обґрунтування. Подальші дослідження сосни гірської можуть сприяти відкриттю нових лікарських речовин природного походження та розширенню сировинної бази для виготовлення ефективних та безпечних препаратів.

Література:

1. Долгіт гірська сосна. Долгіт гірська сосна розчин н/ш по 100 мл у пляш. поліет. URL: <https://tabletki.ua/uk/Долгит-горная-сосна/35637/>.
2. Коляджин І. І., Кондратюк Л. М. Особливості сезонного розвитку сосни гірської *Pinus mugo Turra* в умовах Чивчино-Гринявських гір (Українські Карпати). *Scientific Bulletin of UNFU*. 2023. Т. 33, № 5. С. 14–20. <https://doi.org/10.36930/40330502>.
3. Коляджин І. І., Осадчук Л. С. Біотична зумовленість стійкості біогеоценозів *Pinus mugo Turra* в Чивчино-Гринявських горах Українських Карпат. *Scientific Bulletin of UNFU*. 2024. Т. 34, № 3. С. 21–29. <https://doi.org/10.36930/40340303>.
4. Мандзій Т. П. Дослідження макро- та мікроелементного складу листків *Pinus sylvestris L.* та *Pinus mugo Turra*. *Medical and Clinical Chemistry*. 2020. № 1. С. 112–117. <https://doi.org/10.11603/mcch.2410-681x.2020.vi1.10689>.
5. Осадчук Л., Коляджин І., Кондратюк Л. Сучасний стан і поширення *Pinus mugo Turra* в Українських Карпатах. *Наукові праці Лісівничої академії наук України*. 2021. № 22. С. 68–76. <https://doi.org/10.15421/412105>.
6. Піносол. Піносол спрей наз., р-н по 10 мл у флак. з насос.-дозат. з розпил. URL: <https://tabletki.ua/uk/Пиносол/23435/>.
7. Пономаренко Г. Якість насіння *Pinus mugo ssp. mugo* у культурі і в природному ареалі. *Journal of native and alien plant studies*. 2016. Т. 12. С. 185–191. URL: http://www.irbis-nbuv.gov.ua/cgi-bin/irbis_nbuv/cgiirbis_64.exe?I21DBN=LINK&P21DBN=UJRN&Z21ID=&S21REF=10&S21CNR=20&S21STN=1&S21FMT=ASP_meta&C21COM=S&2_S21P03=FILA=&2_S21STR=atiru_2016_12_34.
8. Савицька А. Мохоподібні криволісся сосни гірської (*Pinus Mugo Turra*) та вільхи зеленої (*Alnus Viridis DC.*) в Горгінах (Українські Карпати). *Чорноморськ. бот. ж.* 2012. Т. 8, № 2. С. 178–182. URL: <https://cbj.kspu.edu/index.php/cbj/article/view/454/406>.
9. Септогал. Септогал+лактоферин таблетки №27 (9x3). URL: <https://tabletki.ua/uk/Септогал-plus-лактоферин/1015850/>.
10. Сінумакс Фіто. Сінумакс Фіто Solution Pharm спрей назальний по 25 мл у флак. URL: <https://tabletki.ua/uk/Синумакс-Фито/1067210/>.
11. Alexandrov A. H., Wühlisch G. v., Vendramin G. G. Mountain pine *Pinus mugo*. Technical guidelines for genetic conservation and use. 2023, URL: https://www.euforgen.org/fileadmin/templates/euforgen.org/upload/Publications/Technical_guidelines/Technical_guidelines_Pinus_mugo.pdf#page=3.17.
12. Alexandrov A., Wuehlisch G., Vendramin G. Conserving the genetic diversity of *Pinus mugo Turra*. *Silva Balcanica*. 2011. Т. 12. С. 5–11. URL: https://www.researchgate.net/publication/285996304_Conserving_the_genetic_diversity_of_Pinus_mugo_Turra.
13. Balkans Herbal Development Initiative. Phase 1 Final Summary Report – Bosnia and Herzegovina. URL: <https://boletines.exportemos.pe/recursos/boletin/25767.pdf>.
14. Basholli-Salihi M., others. Phytochemical composition, anti-inflammatory activity and cytotoxic effects of essential oils from three *Pinus* spp. *Pharmaceutical Biology*. 2017. Т. 55, № 1. С. 1553–1560. URL: <https://doi.org/10.1080/13880209.2017.1309555>.
15. Bendel M., others. Impact of root-rot pathogens on forest succession in unmanaged *Pinus mugo* stands in the Central Alps. *Canadian Journal of Forest Research*. 2006. Т. 36, № 10. С. 2666–2674. <https://doi.org/10.1139/x06-147>.
16. BORATYŃSKA K., MARCYSIAK K., BORATYŃSKI A. *Pinus mugo* (Pinaceae) in the Abruzzi Mountains: high morphological variation in isolated populations. *Botanical Journal of the Linnean Society*. 2005. Т. 147, № 3. С. 309–316. <https://doi.org/10.1111/j.1095-8339.2005.00374.x>.
17. ČERNICKÝ M., BAŇÁROVÁ P. Possibilities of application of the oil extract from mountain pine (*Pinus mugo*). *University Review*. 2013. Т. 7, № 2. С. 40–46. URL: https://ur.tnuni.sk/fileadmin/dokumenty/UR_V7_ISS2_40to46.pdf.
18. Chropeňová M., others. Pine needles and pollen grains of *Pinus mugo Turra* – A biomonitoring tool in high mountain habitats identifying environmental contamination. *Ecological Indicators*. 2016. Т. 66. С. 132–142. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2016.01.004>.
19. Ferreira-Santos P., others. Green and Sustainable Valorization of Bioactive Phenolic Compounds from *Pinus By-Products*. *Molecules*. 2020. Т. 25, № 12. С. 2931. <https://doi.org/10.3390/molecules25122931>.
20. Grassmann J., others. Antioxidative Properties of the Essential Oil from *Pinus mugo*. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 2003. Т. 51, № 26. С. 7576–7582. <https://doi.org/10.1021/jf030496e>.

21. Hajdari A., others. Essential oil composition variability among natural populations of *Pinus mugo* Turra in Kosovo. *SpringerPlus*. 2015. T. 4, № 1. <https://doi.org/10.1186/s40064-015-1611-5>.
22. Hamernik J., Musil I. The *Pinus mugo* complex – its structuring and general overview of the used nomenclature. *Journal of Forest Science*. 2008. T. 53, № 6. C. 253–266. <https://doi.org/10.17221/2020-jfs>.
23. Herbs A to Z. *Pinus Mugo Turra / Mountain Pine*. URL: <https://www.planetayurveda.com/library/pinus-mugo-turra-mountain-pine/>.
24. Karapandzova M., others. Chemical Characterization and Antioxidant Activity of Mountain Pine (*Pinus mugo* Turra, Pinaceae) from Republic of Macedonia. *Records of Natural Products*. 2018. T. 13, № 1. C. 50–63. <https://doi.org/10.25135/rnp.73.18.02.233>.
25. Karapandzova M., others. Flavonoids and Other Phenolic Compounds in Needles of *Pinus peuce* and Other Pine Species from the Macedonian Flora. *Natural Product Communications*. 2015. T. 10, № 6. C. 1934578X1501000. <https://doi.org/10.1177/1934578x1501000647>.
26. Leys B., others. Resistance of mixed subalpine forest to fire frequency changes: the ecological function of dwarf pine (*Pinus mugo* ssp. *mugo*). *Quaternary Science Reviews*. 2014. T. 90. C. 60–68. <https://doi.org/10.1016/j.quascirev.2014.02.023>.
27. Lis A., Lukas M., Mellor K. Comparison of Chemical Composition of the Essential Oils from Different Botanical Organs of *Pinus mugo* Growing in Poland. *Chemistry & Biodiversity*. 2019. T. 16, № 10. <https://doi.org/10.1002/cbdv.201900397>.
28. Manzione M. G., others. *Pinus mugo* Turra and its Therapeutic Potential: A Narrative Review. *Natural Product Communications*. 2024. T. 19, № 9. <https://doi.org/10.1177/1934578x241265934>.
29. MOPHARM. ALLGA SAN MOBIL KREMA 50 ML. URL: <https://kidsapo.com/product/allga-san-mobil-cream-50ml-allga-san-mobil-krem-50ml/>
30. Oshetkova D., Klimowicz A. Antioxidative and Photoprotective Activity of *Pinus nigra*, *Pinus strobus* and *Pinus mugo*. *Applied Sciences*. 2024. T. 15, № 1. C. 209. <https://doi.org/10.3390/app15010209>.
31. *Pinus mugo* in Europe: distribution, habitat, usage and threats / D. Ballian ra in. European Atlas of Forest Tree Species, 2016. URL: https://www.researchgate.net/publication/299344410_Pinus_mugo_in_Europe_distribution_habitat_usage_and_threats
32. Semerdjieva I. B., others. Essential oil composition of *Pinus heldreichii* Christ., *P. peuce* Griseb., and *P. mugo* Turra as a function of hydrodistillation time and evaluation of its antimicrobial activity. *Industrial Crops and Products*. 2022. T. 187. C. 115484. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2022.115484>.
33. Semerdjieva I., others. Phytochemical composition and biopesticidal potential of *Pinus mugo* Turra essential oil. *Industrial Crops and Products*. 2024. T. 209. C. 118019. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2023.118019>.
34. Stadnytska N. Y., others. Analysis of the range of preparations with raw materials *Pinus* Sp. and products of its processing. *Chemistry, Technology and Applications*. 2024.
35. Thalappil M. A., others. *Pinus mugo* Essential Oil Impairs STAT3 Activation through Oxidative Stress and Induces Apoptosis in Prostate Cancer Cells. *Molecules*. 2022. T. 27, № 15. C. 4834. <https://doi.org/10.3390/molecules27154834>.
36. Tsaryk I., Didukh Y. *Pinus mugo* Turra (Pinaceae) in the Ukrainian Carpathians. *Dendrobiology*. 2006. T. 55. C. 39–49. URL: https://www.researchgate.net/publication/285992507_Pinus_mugo_Turra_Pinaceae_in_the_Ukrainian_Carpathians
37. Zeidler M. Vegetation shift after a clear-cut of non-native dwarf pine (*Pinus mugo*). *Biologia*. 2018. T. 73, № 2. C. 113–119. <https://doi.org/10.2478/s11756-017-0002-5>.

Дата надходження статті: 12.07.2025

Дата прийняття статті: 15.08.2025

Опубліковано: 14.11.2025