

УДК 581.192:582.475.2:615.322

DOI <https://doi.org/10.32782/health-2025.1.9>

## ЛІТЕРАТУРНИЙ ОГЛЯД ДОСЛІДЖЕНЬ БЕЗПЕКИ ТА ЕФЕКТИВНОСТІ ЕФІРНОЇ ОЛІЇ ЯЛИЦІ СИБІРСЬКОЇ (*ABIES SIBIRICA*)

Дигдало Віра Богданівна,

студентка кафедри технології біологічно активних сполук, фармації та біотехнології  
Національного університету «Львівська політехніка»

ORCID: 0009-0004-3613-7823

Гнатів Ірина Ярославівна,

аспірантка кафедри технології біологічно активних сполук, фармації та біотехнології  
Національного університету «Львівська політехніка»

ORCID: 0009-0009-0519-5189

Конечна Роксолана Тарасівна,

доцент кафедри технології біологічно активних сполук, фармації та біотехнології  
Національного університету «Львівська політехніка»

ORCID: 0000-0001-6420-9063

У статті представлено всебічний літературний огляд сучасних досліджень, присвячених хімічному складу, фармакологічній активності та безпеці ефірної олії ялиці сибірської (*Abies sibirica*). Проаналізовано антибактеріальні, протигрибкові, антиоксидантні, антигіпоксичні, ларвіцидні та ад'ювантні властивості олії. Розглянуто вплив олії на широкий спектр бактеріальних та грибових патогенів, зокрема *Staphylococcus aureus*, *Pseudomonas aeruginosa*, *Candida albicans* та дерматофітів. Також обговорено перспективність ефірної олії сибірської ялиці в боротьбі з комарами (*Aedes aegypti*), які є переносниками захворювань. Ад'ювантна активність природних олій, таких як *Abies sibirica*, в наноемульсіях може стати важливим кроком для зменшення залежності від тварин для отримання активних компонентів, таких як сквален, і може бути ефективним для підсилення імунної відповіді у вакцинах. Це також відкриває шлях до більш екологічно сталих та етичних підходів у розробці медичних препаратів. Окремо висвітлено результати токсикологічних досліджень, які демонструють низьку гостру токсичність олії, проте вказують на можливі негативні ефекти у разі тривалого використання. Доведено, що ефірна олія може бути перспективним компонентом нових лікарських засобів. Результати наукових досліджень демонструють значний потенціал ефірної олії ялиці сибірської для використання як природного антимікробного та протизапального агента, проте для впровадження у клінічну практику необхідні подальші високоякісні дослідження.

**Ключові слова:** ялиця сибірська, *Abies sibirica*, ефірна олія, *Pinaceae*, фармакологічна активність, безпека, антибактеріальна активність, антиоксидантна активність, протигрибкова активність.

### Vira Dyhdalo, Iryna Hnativ, Roksolana Konechna. Literature review of research on the safety and effectiveness of Siberian fir essential oil (*Abies sibirica*)

The article presents a comprehensive literature review of current studies on the chemical composition, pharmacological activity and safety of Siberian fir (*Abies sibirica*) essential oil. The antibacterial, antifungal, antioxidant, antihypoxic, larvicidal and adjuvant properties of the oil are analyzed. The effect of the oil on a wide range of bacterial and fungal pathogens, including *Staphylococcus aureus*, *Pseudomonas aeruginosa*, *Candida albicans* and dermatophytes, is considered. The potential of Siberian fir essential oil in the control of mosquitoes (*Aedes aegypti*), which are vectors of diseases, is also discussed. The adjuvant activity of natural oils such as *Abies sibirica* in nanoemulsions may be an important step in reducing the dependence on animals for obtaining active components such as squalene, and may be effective in enhancing the immune response in vaccines. This also opens the way to more environmentally sustainable and ethical approaches in the development of medicinal products. The results of toxicological studies are separately highlighted, which demonstrate low acute toxicity of the oil, but indicate possible negative effects with prolonged use. It is proven that the essential oil can be a promising component of new medicines. The results of scientific research demonstrate the significant potential of Siberian fir essential oil for use as a natural antimicrobial and anti-inflammatory agent, however, further high-quality research is necessary for its implementation in clinical practice.

**Key words:** Siberian fir, *Abies sibirica*, essential oil, *Pinaceae*, pharmacological activity, safety, antibacterial activity, antioxidant activity, antifungal activity.

**Вступ.** *Abies* – рід рослин, вперше описаний Філіпом Міллером (1691–1771) у 1754 році. Другий за величиною рід родини *Pinaceae*, він вважа-

ється більш складним порівняно з іншими родами цієї родини, і всі його таксони природно поширені по всій Північній півкулі [1; 2]. Є припу-

щення, що назва *Abies* походить від латинського слова *abeo*, що означає відходити, і тлумачиться як натяк на його велику висоту. Рід *Abies*, за оцінками, складається з 52 видів із прийнятим статусом, до яких слід додати 58 інших видів, статус яких ще не встановлено [3].

Ефірна олія ялиці сибірської (*Abies sibirica*) є об'єктом наукових досліджень завдяки своєму унікальному хімічному складу та широкому спектру біологічної активності. Вона знаходить застосування в медицині, косметології, фармацевтиці та навіть у ветеринарії. Ефірна олія ялиці сибірської містить комплекс біологічно активних речовин, серед яких основними компонентами є: борнілацетат, камфен, 3-карен, трициклен, лімонен,  $\alpha$ -пінен, каріофіллен,  $\beta$ -фелландрен, борнеол і  $\alpha$ -терпінен. Ці речовини також входять до складу інших хвойних ефірних олій, проте саме співвідношення компонентів у сибірській ялиці є унікальним. Особливу увагу заслуговує борнілацетат – сполука з вираженими анальгетичними та протизапальними властивостями, вміст якої в ефірній олії сибірської ялиці у два рази вищий, ніж у ялиці білої [4]. Ефірні олії ялиць мають низьку токсичність, що дозволяє використовувати їх у медичній практиці. Згідно із системою оцінки Environmental Working Group (EWG), така олія має рівень C, що означає помірний рівень небезпеки. Це може свідчити про наявність деяких занепокоєнь, наприклад, потенційну алергенність або подразнюючий ефект, особливо у разі високих концентрацій або у чутливих людей [5].

Ринок ефірної олії ялиці демонструє стабільне зростання, зумовлене зростаючим попитом на натуральні та органічні продукти, розвитком нових методів екстракції та розширенням застосування в різних галузях. Ефірну олію ялиці сибірської можна придбати у таких виробників, як doTERRA [6], Living Libations [7], New Directions Aromatics [8], Nature In Bottle [9] та Eden Botanicals [10]. Ці компанії пропонують якісну продукцію, що широко використовується як у професійній ароматерапії, так і у фармацевтичних чи побутових цілях, з урахуванням сучасних вимог до безпеки та ефективності ефірних олій. Згідно з даними звіту Business Research Insights, глобальний ринок ефірної олії ялиці у 2022 році оцінювався в 46 мільйонів доларів США і за прогнозами досягне 95,8 мільйона доларів США до 2031 року, демонструючи середньорічний темп зростання 8,5% протягом прогнозованого періоду [11].

У зв'язку з усім вищесказаним дослідження ефірної олії ялиці сибірської є надзвичайно акту-

альним як з точки зору вивчення її фармакологічних властивостей, так і в контексті оцінки її безпечності для здоров'я людини та довкілля. Подальший аналіз хімічного складу та огляд проведених доклінічних та клінічних досліджень дозволить глибше зрозуміти можливості й обмеження використання цієї ефірної олії в медицині чи інших галузях.

**Мета.** Метою роботи є узагальнення наукових даних щодо безпеки та ефективності ефірної олії ялиці сибірської. Завдання включають аналіз стану сучасних наукових досліджень щодо хімічного складу, оцінки токсичності, дослідження антибактеріальної, протигрибкової та інших біологічних активностей ефірної олії ялиці сибірської та встановлення перспектив щодо подальших досліджень.

**Методи дослідження.** У роботі використано методи аналізу літературних джерел, порівняльний аналіз експериментальних даних, узагальнення інформації щодо фармакологічних активностей.

**Результати дослідження.**

**Хімічний склад**

Сировиною для ефірної олії (ЕО) є гілки ялиці сибірської (*хвойні гілки* – «лапки»). Вихід ЕО становить 0,8–3,95%, в її складі (у %) знайдено такі компоненти:

– н-гептан 0,73%, трициклен 0,3%, сантен до 2,8%,  $\alpha$ -пінен 1,6–6,9%,  $\beta$ -пінен 1,3–4,6%,  $\alpha$ -туйен 0,5%, камфен 13,2–22,2%,  $\Delta$ -карен 6,2–13,1%, мірцен 0,9%, лімонен 2,8–6,8%,  $\beta$ -фелландрен 0,5–7,7%,  $\alpha$ -терпінен 1,37%,  $\gamma$ -терпінен 0,2%, цис- $\beta$ -оцимен 0,3%, транс- $\beta$ -оцимен 0,2%, терпінолен 0,8–2,5%, сибілен, п-тимол сліди, лонгіфолен 0,2–0,37%, каріофіллен 1–3,29%,  $\alpha$ -мууролен 1,4%,  $\gamma$ -мууролен 0,2–0,5%, бізаболєн,  $\beta$ -бізаболєн 0,7–1,9%, гумулен,  $\beta$ -гумулен 0,5–1,78%, кадинени 1,7%, борнілацетат 31–41,1%, камфора 0,1–1,5%, 1,8-цинеол 4,68%, борнеол 0,3–2,3%,  $\alpha$ -терпінеол,  $\alpha$ -терпінілацетат 0,1–0,3%, фенхон 0,1–0,4%, ізофенхон 0,1–0,4%, фенхол сліди 0,3%,  $\gamma$ -терпінеол 0,2–0,6%, ізоборнеол 0,2–0,5%, лонгіфолєн 0,2–0,5%;

– феноли 0,15%: фенол, о-крезол, м-крезол, п-крезол, гваякол, 2,4-диметилфенол, 2,6-диметилфенол, 2,5-диметилфенол, етилфенол, 3,5-диметилфенол, 2,3-диметилфенол, пірокатехин, гідрохінон, трет-бутилфенол, 2,4,6-триметилфенол, резорцин, 2-метилрезорцин, диметилрезорцин, етилрезорцин,  $\alpha$ -нафтол,  $\beta$ -нафтол, пентаметилфенол;

– кислоти: глутарова, адипінова, пеларгонова, капринова, ундеканова, лауринова, себаци-

нова, тридеканова, миристинова, маргарінова, лінолева, олеїнова, ліноленова, стеаринова, ванілінова, бузкова, вератрова, кадова, пімарова, ізопімарова, абієтинова;

– дитерпеноїди: ізопімарова, абієтинова, дегідроабієтинова кислоти;

– тритерпеноїди: фірманова, абієсолідова кислоти;

– інші складники: каротиноїди; вітаміни: С, Е; вищі жирні кислоти: пальмітинова, олеїнова, лінолева, гексадекандіова-1,16; вищі аліфатичні спирти і їх похідні: складні ефіри бегенового та лігноцерилового спиртів та ферулової кислоти. [12]

Огляд проведених доклінічних та клінічних досліджень ефірної олії ялиці сибірської

Токсичність (гостра, підгостра) та мутагенна активність

*Дослідження гострої токсичності у разі ентерального введення ефірної олії ялиці сибірської:* у дослідженні взяли участь 12 здорових мишей обох статей масою 18,00–22,00 г. Після 14-денного карантину у віварії Казахського національного медичного університету тварин було розподілено на дві групи. Перед та після введення ефірної олії тварини утримувалися без їжі протягом 2–3 годин. Група I отримувала ефірну олію *Abies sibirica* L., розведену у співвідношенні 1:10, в об'ємі до 0,8 мл залежно від маси тіла. Як розчинник використовувалася очищена вода. Група II (контрольна) отримувала дистильовану воду у тих самих об'ємах. Введення здійснювалося ентерально через спеціальний зонд зі шприцом.

**Результати:** у тварин не спостерігалось змін у загальній поведінці. Вони залишалися активними, не проявляли ознак порушення дихальної, серцево-судинної чи центральної нервової систем. Інтوكсикація та летальні випадки були відсутні. Шкіра та слизові оболонки залишалися без змін.

**Гістопатологія:** морфологічних змін внутрішніх органів не виявлено, всі органи мали правильну форму й анатомічне положення.

*Дослідження підгострої токсичності у разі ентерального введення ЕО ялиці сибірської:* у цьому дослідженні також взяли участь 12 мишей, поділених на дві групи. Введення ефірної олії здійснювалося щодня протягом 4 тижнів за аналогічною схемою, як і у разі дослідження гострої токсичності. Група I отримувала ефірну олію *Abies sibirica* L. (1:10) у дозі до 0,8 мл залежно від маси тіла. Група II (контрольна) отримувала дистильовану воду у відповідному об'ємі.

**Результати:** спостерігалися незначні симптоми токсичності: гіпоактивність, зниження апе-

титу та споживання води. Летальні випадки були відсутні.

**Гістопатологія:** внутрішні органи зберігали правильну форму та розташування, однак у черевній, плевральній порожнинах та середостінні було виявлено надлишок прозорої рідини. Судини були переповнені кров'ю. Також зафіксовано порушення кровообігу, зокрема зменшення притоку крові в легенях, підвищену проникність судин, поодинокі геморагічні вогнища, а також дистрофічні зміни гепатоцитів.

Однак *гістопатологічне дослідження внутрішніх органів* тварин після ентерального введення ефірної олії виявило помірні ознаки токсичної дії: порушення кровообігу внаслідок зменшення притоку крові в легенях, збільшення проникності судин, невеликі спорадичні геморагічні вогнища та дистрофію гепатоцитів.

### **Висновки:**

Ефірна олія *Abies sibirica* L. У разі ентерального введення не виявляє ознак гострої токсичності, однак тривале застосування (більше 2 тижнів) може спричинити помірні токсичні ефекти. У зв'язку з цим рекомендовано обмежити тривалість використання ефірної олії до 14 днів. Ефірна олія ялиці сибірської *не проявляє мутагенної активності* в межах тестованих бактеріальних систем [13].

### **Противгрибкова активність**

Дослідження свідчать, що властивості ефірної олії *Abies sibirica* L. залежать від способу, яким отримано олію. Так, ефірна олія *Abies sibirica* L., отримана методом мікрохвильового нагріву, виявила більш високу противгрибкову активність порівняно з ефірною олією *Abies sibirica* L., що отримана методом парової дистиляції [14].

Дослідження про оцінку потенційного ефекту ефірної олії ялиці сибірської як модулятора протеолітичної активності *Candida albicans*, виділеної з кількох біологічних матеріалів, свідчать, що ефірна олія ялиці сибірської знижує гідролітичну активність *Candida albicans* і може спричинити зниження вірулентності [15].

У дослідженні противгрибкової активності олії ялиці проти дерматофітів було випробувано 14 клінічно ізольованих штамів дерматофітів, а також еталонний штам *Trichophyton mentagrophytes* ATCC 18784. Противгрибкову активність ефірної олії ялиці сибірської оцінювали методом дискової дифузії (методом дифузії в агар за допомогою паперових дисків), що дозволяє візуально визначити чутливість мікроорганізмів до досліджуваної речовини.

Ефірна олія ялиці сибірської у концентрації 100% проявила виражену протигрибкову активність стосовно всіх протестованих штамів. Зони інгібування зростання дерматофітів становили від 27 до 60 мм. Навіть у разі подальшого розведення ефірна олія зберігала свою антимікотичну дію, що свідчить про наявність активних компонентів зі стійкою біологічною дією [16].

### Висновки.

Ефірна олія ялиці сибірської (*Abies sibirica* L.) демонструє перспективні антимікотичні властивості, що підтверджено низкою лабораторних досліджень. Встановлено, що її ефективність значною мірою залежить від методу отримання, зокрема, олія, екстрагована методом мікрохвильового нагріву, виявляє вищу протигрибкову активність порівняно з паровою дистиляцією. Олія ефективно інгібує ріст різних штамів дерматофітів і знижує вірулентність *Candida albicans*, впливаючи на її гідролітичну активність. Отримані результати свідчать про потенціал використання ефірної олії ялиці сибірської як природного протигрибкового засобу з широким спектром дії, що заслуговує подальших досліджень для впровадження в медичну та фармацевтичну практику.

### Антибактеріальна активність

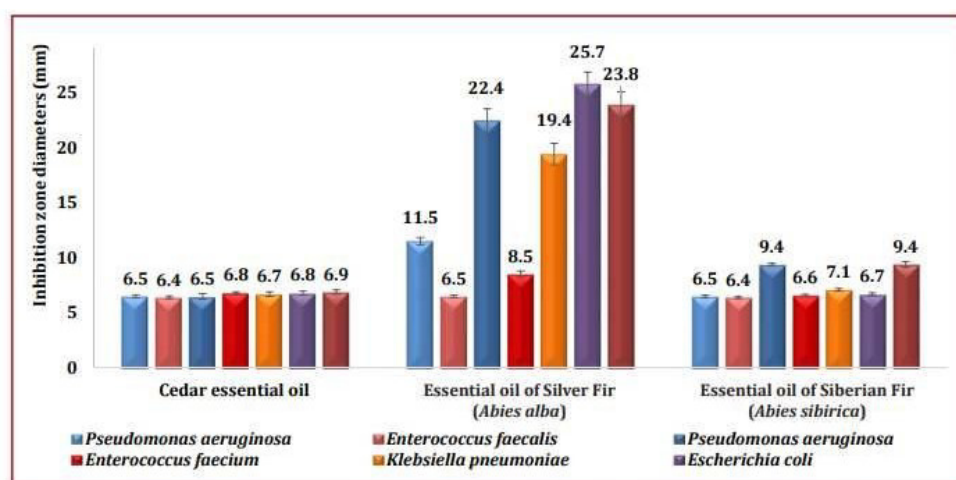
Були проведені дослідження з порівняння антибактеріальної активності ефірних олій, отриманих з рослин, що належать до сімейства *Pinaceae*, підродини *Abietoideae* (олія кедрової, олія з ялиці білої та ялиці сибірської відповідно) проти деяких грампозитивних та грамотрибувальних бактерій. Використовували дифузійний тест Кірбі-Бауера для вимірювання діаметрів зон інгібування росту бактерій. Ефірна олія, що отримана з ялиці

білої, виявилась значно активнішою, ніж кедрова і олія з ялиці сибірської. Максимальну антибактеріальну активність ефірна олія ялиці білої показала проти *Escherichia coli*, *methicillin-sensitive Staphylococcus aureus* (MSSA) та *Pseudomonas aeruginosa*.

Встановлено, що ефірна олія ялиці білої діє проти *K. pneumoniae*, тоді як ефірна олія ялиці сибірської демонструє помірну активність щодо інгібування *P. aeruginosa* та *methicillin-sensitive Staphylococcus aureus*. Ефірна олія ялиці білої має найвищий антибактеріальний потенціал серед випробуваних ефірних олій [17].

Дослідження визначення чутливості анаеробних бактерій (49 штамів), що виділені від пацієнтів, до олій ялиці сибірської показало, що серед грамотрибувальних бактерій більш сприйнятливими до олій ялиці сибірської були *Tannerella forsythia*, *Bacteroides fragilis* та *Bacteroides uniformis*. Грампозитивні анаеробні коки були більш сприйнятливими, ніж грампозитивні палички. Олія ялиці сибірської була більш активною щодо грампозитивних бактерій, ніж щодо грамотрибувальних анаеробних паличок [18].

Дослідження про вивчення протимікробної дії ефірних олій стосовно збудників інфекцій верхніх дихальних шляхів (ВДШ) у досліді *in vitro* було проведено на клінічних штамів мікроорганізмів, виділених із носоглотки хворих на гострі захворювання ВДШ. Як тест-культури використовували стандартні штами мікроорганізмів: *Staphylococcus aureus* ATCC 25923, *Staphylococcus epidermidis* ATCC 14990, *Klebsiella pneumoniae* ATCC 5505. Визначення чутливості мікроорганізмів до ефірних олій проводили методом дифузії



Діаграма 1. Антибактеріальна активність досліджуваних ефірних олій (кедрова олія, ялицеві олії, отримані з *Abies alba* та *Abies sibirica*) проти грампозитивних та грамотрибувальних патогенних бактерій. Дані представлені як середні значення

в агар. Висновком дослідження є те, що ефірні олії чайного дерева, змієголовника, м'яти перцевої, чебрецю повзучого, ялиці сибірської і сандалу вест-індського високоактивні щодо стандартних штамів стафілококів і клебсієл. Ефірна олія чайного дерева як найбільш ефективна щодо стандартних і клінічних штамів бактерій може бути рекомендована для подальшого вивчення як компонент лікарських форм для лікування інфекцій верхніх дихальних шляхів [19].

### Висновок.

Ефірна олія ялиці сибірської проявляє помірну антибактеріальну активність, зокрема щодо *Staphylococcus aureus* (MSSA) та *Pseudomonas aeruginosa*, а також виявляє ефективність проти окремих грамнегативних анаеробних бактерій, таких як *Tannerella forsythia*, *Bacteroides fragilis* та *Bacteroides uniformis*. Її дія сильніша проти грампозитивних коків, ніж паличок. Попри те, що ефірна олія ялиці білої показала вищу антибактеріальну активність у порівняльних дослідженнях, ялиця сибірська все ж демонструє потенціал як природний антисептик, особливо у складі багатокомпонентних фітозасобів для лікування інфекцій верхніх дихальних шляхів.

### Жовчогінна активність

В експериментах на 5 дорослих собаках вагою 15–20 кг вивчено жовчогінну дію ефірної олії ялиці 0,007 мл/кг (раніше виявлена терапевтична доза для собак). Отримані дані виявили, що ця олія сприяла вивільненню жовчі на 16% активніше порівняно з контрольним зразком.

\* З огляду на рік виконання дослідження, методика та не вказані дані про статистичну обробку даних отримані результати не викликають довіри та не дають змогу порівняти їх з результатами досліджень інших ЛРС, що володіють жовчогінною активністю [20].

### Антигіпоксична активність

Компонентний склад ефірної олії ялиці сибірської змінюється залежно від часу екстракції. Перша фракція олії після парової дистиляції містить більшу кількість монотерпенових сполук, які мають активні антигіпоксичні властивості. Згодом у наступних фракціях збільшується вміст сесквітерпеноїдів, що також може сприяти зниженню гіпоксії, але меншою мірою. Для створення лікарських засобів з антигіпоксичними властивостями рекомендовано використовувати першу та другу фракції ефірної олії, що забезпечує максимальну ефективність [21].

Дослідження ефективності екстрактів чи виділених компонентів з ялиці сибірської

Дослідження **Abisilin®** – стандартизований комплекс терпеноїдів, що отриманий з екстракту *Abies sibirica* (EP2275112 A1). Протипухлинні властивості різних концентрацій Abisilin® були випробувані на клітинних лініях гепатоми миші Нера 1-6. Аналіз проліферації та апоптозу проводили за допомогою імунофлуоресцентної мікроскопії, FACS та qPCR. Як підхід *in vivo* тестували Abisilin® (400 мг/кг/день 14 днів перорально) на моделях раку печінки мишей з ксенотрансплантатом та досліджували ріст пухлини, проліферацію, апоптоз та ангіогенез за допомогою вестерн-блотингу, імунофлуоресцентної мікроскопії та qPCR.

Застосування Abisilin® протягом 24 годин у дозах від 0,03 до 0,045 мг значно зменшило кількість життєздатних клітин Нера 1-6 та викликало апоптотичну загибель клітин з мікроскопічними ознаками змін морфології клітин та позитивним TUNEL, розщепленою каспазою 3 та фарбування йодидом пропідію. Крім того, введення Abisilin® пригнічувало проліферацію, порушувало мітоз та стимулювало зупинку клітинного циклу шляхом зниження регуляції рівнів експресії цикліну D1, E1 та A2. У моделі Нера 1-6 *in vivo* Abisilin® значно зменшив розмір ксенотрансплантату пухлини та об'єм пухлини. Послідовно з *in vitro* введення Abisilin® викликало апоптоз та інгібувало проліферацію в ксенотрансплантату пухлини. Автори також виявили, що Abisilin® помітно зменшує щільність мікросудин, зменшує ангіогенез пухлини та зменшує експресію ICAM-1.

Отже, антипроліферативна, проапоптотична активність та антиангіогенний потенціал природних терпеноїдів хвойних рослин є перспективними у розгляді таких сполук як кандидатів для комбінованої терапії раку печінки [22].

З етанольного екстракту ялиці сибірської було виділено одну нову сполуку та 16 відомих. Їх структури були визначені за допомогою ЯМР та мас-спектрометрії. У біологічному аналізі на антипроліферативну активність проти чотирьох пухлинних клітин людини сполука 7 виявляла селективну антипроліферативну активність проти пухлинних клітин COLO-205 зі значенням IC50 0,9 мг/мл [23].

Досліджено антиоксидантні властивості ефірних олій, отриманих з різних видів родини Pinaceae, включаючи *Abies sibirica* (ялиця сибірська). Дослідження показало, що ефірна олія *Abies sibirica* має антиоксидантну активність, яка може бути корисною для нейтралізації вільних радикалів та запобігання окислювальному стресу. Це робить їх перспективними для використання

в медицині, косметології та харчовій промисловості. Серед досліджених видів родини Pinaceae найбільшу антиоксидантну активність демонстрували олії роду *Pinus*, після чого йдуть зразу представники роду *Abies* [24].

Метанольний екстракт *Abies sibirica* мав інгібуючий вплив на активність ліпази в плазмі мишей та на антиоксидантну активність ЛПНЩ (основна транспортна форма холестерину з печінки до інших органів), що є профілактичними факторами для атеросклерозу. Екстракт фракціонували на хроматографічний колонці із силкагелем. З розчинних у ліпідах фракцій було виділено 20 терпеноїдів, включаючи сім досі невідомих тритерпени [25].

Згідно з European Food Safety Authority, бруньки та шишки ялиці сибірської включено до списку ботанічних рослин, що підлягають обмеженому використанню принаймні в одній країні ЄС, але для яких Науковий комітет, аналізуючи знайдені дані, не зміг ідентифікувати речовини, що викликають занепокоєння.

#### **Ларвіцидна та яйцекладна активність проти *Aedes aegypti***

У дослідженні ефективності ефірної олії ялиці сибірської, пачулі та ялівцю звичайного проти личинок та яйцекладки комара *Aedes aegypti* – основного переносника денге та інших арбовірусів ефірна олія сибірської ялиці проявила значну токсичність проти личинок *Aedes aegypti* у концентрації 67,53 ppm, викликаючи смертність на рівні понад 90%. Комбінації олії сибірської ялиці та пачулі продемонстрували синергічний ефект, концентрація *A. sibirica* + *P. cablin* зменшилася на 15,89 ppm (23,53%) для отримання того самого ефекту смертності. Ефірна олія ялиці інгібувала кладку яєць *Aedes aegypti*, знижуючи кількість відкладених яєць за мінімальної концентрації.

#### **Висновок.**

Ефірні олії *Abies sibirica*, *Pogostemon cablin* та *Juniperus communis*, особливо у комбінаціях, можуть бути перспективними природними засобами для біоконтролю *Aedes aegypti*, забезпечуючи екологічно безпечну альтернативу хімічним інсектицидам [26].

#### **Ад'ювантна активність**

Дослідження можливості використання емульгованих олій хвойних дерев, зокрема *Abies sibirica* (сибірської ялиці), як ад'ювантів у вакцинах, оцінило їхню здатність підсилювати імунну відповідь. Олії, отримані з видів сімейства *Pinaceae*, були сформульовані у вигляді наноемульсій з або без синтетичного ліганду Toll-подібного рецептора 4 (TLR4) і охарактеризовані щодо фізико-

хімічних і біологічних властивостей активності порівняно з наноемульсіями сквалену. Екстрагували олії з представників родини *Pinaceae*, що використали для створення наноемульсій типу «масло у воді» за допомогою мікрофлюїдизації.

Дослідження оцінювало ад'ювантні властивості емульсій на основі олій *Pinaceae*, зокрема *Abies sibirica*, шляхом тестування на клітинах людини та тваринах (мишах, свинях, тхорах). Аналіз крові *in vitro* показав, що емульсії стимулювали продукцію цитокінів. Випробування на мишах, свинях і тхорах продемонстрували посилену імунну відповідь на грипозний антиген H5N1, особливо у разі додавання TLR4-агоніста.

#### **Висновок.**

Можливість використання ізопреноїдних речовин рослинного походження в наноемульсійних ад'ювантах може покращити стійкість шляхом зменшення залежності від тварин для отримання сквалену у фармацевтичних препаратах. Наноемульсії, що складаються з поліпренолових олій, отриманих із *Pinaceae*, продемонстрували порівнянну фізичну стабільність і біологічну активність у різних доклінічних моделях порівняно з емульсіями, виготовленими зі сквалену, отриманого з акул, особливо у складі з лігандом TLR4 глюкопіранозилліпідним ад'ювантом (GLA). У сукупності ці результати вказують на те, що наноемульсії на основі поліпренолу можуть бути прийнятною альтернативою наноемульсіям на основі сквалену для застосування ад'ювантів вакцини проти грипу [27].

#### **Загальні висновки.**

Аналіз наукових досліджень підтверджує значний фармакологічний потенціал ефірної олії ялиці сибірської, зокрема її антибактеріальну, протигрибкову, антигіпоксичну, ларвіцидну та ад'ювантну активність. Вона демонструє перспективність у боротьбі з патогенними мікроорганізмами, а також має можливе застосування у розробці вакцин та лікуванні запальних процесів. Крім того, її екологічно безпечні властивості роблять її цікавою альтернативою синтетичним антисептикам.

Однак, незважаючи на обнадійливі результати доклінічних досліджень, відсутність масштабних рандомізованих клінічних випробувань обмежує можливість її широкого впровадження у медичну практику. Деякі результати токсикологічних досліджень вказують на потенційні ризики у разі довготривалого використання, що потребує подальшого вивчення. Таким чином, необхідні подальші фундаментальні та клінічні дослідження для повного розкриття терапевтичного потенціалу цієї природної сполуки.

## ЛІТЕРАТУРА

1. Duquesnoy E., Castola V., Casanova J. Склад і хімічна мінливість олії гілочки *Abies alba* Miller з Корсики. *Flavour Fragr. J.* 2007;22:293–299. DOI: 10.1002/ffj.1796.
2. Nikolić J.S. et al. Летючі речовини голки як хемофенетичні маркери в диференціації природних популяцій *Abies alba*, *A. x borisii-regis* та *A. cephalonica*. *Phytochemistry*. 2021;183:112612. DOI: 10.1016/j.phytochem.2020.112612.
3. WFO World Flora Online. 2023. URL: <http://www.worldfloraonline.org> (дата звернення: 11.04.2025).
4. Ефірна олія сибірської ялиці: її користь, використання та походження. *Innerfyre*. URL: <https://innerfyre.co/blogs/essential-oils/fir-essential-oil>.
5. ABIES SIBIRICA (СИБІРСЬКА ОЛІЯ). Екологічна робоча група. URL: <https://www.ewg.org/cleaners/substances/55ABIESSIBIRICASIBERIANFIROIL/>.
6. TARA WAGNER. URL: <https://theorganicsister.com/siberian-fir-essential-oil/>.
7. Living Libations. Dutch Health Store. URL: <https://dutchhealthstore.com/product/fir-siberian-essential-oil/>.
8. New Directions Aromatics. URL: <https://www.newdirectionsaromatics.com/products/fir-needle-siberian-essential-oil>.
9. Nature In Bottle. URL: [https://www.natureinbottle.com/product/siberian\\_fir\\_essential\\_oil](https://www.natureinbottle.com/product/siberian_fir_essential_oil).
10. Eden Botanicals. URL: <https://www.edenbotanicals.com/fir-siberian-wild.html>.
11. Розмір ринку хвойної олії, частка, зростання та аналіз галузі за типом (*Abies sibirica* Ledeb., *A. balsamea* L Mill та інші), за застосуванням (споживчі товари, продукти харчування та напої та інші), регіональні відомості та прогноз до 2031 року. *Статті бізнес-досліджень*. URL: <https://www.businessresearchinsights.com/market-reports/fir-needle-oil-market-106996>.
12. Лікарські рослини: Енциклопедичний довідник / Л-56 Відп. ред. А.М. Гродзінський. Київ : Видавництво «Українська Енциклопедія» ім. М.П. Бажана, Український виробничо-комерційний центр «Олімп», 1992. 544 с.
13. Нореїкайте А. та ін. Загальна токсичність та протигрибкова активність нового зубного гелю з ефірною олією *Abies sibirica* L. *Medical Science Monitor*. 2017. Т. 23. С. 521–527. DOI: 10.12659/msm.898630.
14. Європейське хімічне агентство (ЕЧА). Офіційний сайт Європейського хімічного агентства [Електронний ресурс]. URL: [https://european-union.europa.eu/institutions-law-budget/institutions-and-bodies/search-all-eu-institutions-and-bodies/european-chemicals-agency-echa\\_en](https://european-union.europa.eu/institutions-law-budget/institutions-and-bodies/search-all-eu-institutions-and-bodies/european-chemicals-agency-echa_en) (дата звернення: 30.01.2025).
15. Гловацька А. та ін. Оцінка потенційного впливу ефірної олії сибірської ялиці як модулятора протеолітичної активності *Candida albicans*, ізольованої з різних біологічних матеріалів. *Annales Academiae Medicae Silesiensis*. 2009. Т. 63, № 1. С. 1–7.
16. Трояновська Д. та ін. Оцінка *in vitro* протигрибкової активності *Oleum Pichtae* проти дерматофітів. *Мікологія Лекарьска*. 2010. Т. 17, № 4. С. 229–232.
17. Тручан М. та ін. Антимікробна активність трьох комерційних ефірних олій, отриманих з рослин родини *Pinaceae*. *Agrobiodiversity for Improving Nutrition, Health and Life Quality*. 2019. № 3. С. 111–126. DOI: 10.15414/agrobiodiversity.2019.2585-8246.111-126.
18. Кендзя А.В. Активність ялицевої олії (*Oleum Pichtae*) проти анаеробних бактерій. *Postępy Fitoterapii*. 2019. Т. 20, № 1. С. 30–34. DOI: 10.25121/PF.2019.20.1.30.
19. Мінухін В.В. та ін. Вивчення дії ефірних олій на умовно-патогенні мікроорганізми – збудники інфекцій верхніх дихальних шляхів у дослідях *in vitro*. *Проблеми військової охорони здоров'я*. 2015. Вип. 44(2). С. 246–250. URL: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/prvoz\\_2015\\_44\(2\)\\_41](http://nbuv.gov.ua/UJRN/prvoz_2015_44(2)_41).
20. Мамчур Ф.І., Нейко Є.М., Дзюбак С.Т. Вплив речовин із ялини, ялиці та плодів дикої моркви на жовчоутворення печінкою. *Науковий журнал*. 1968.
21. Льюїс К.С., Доннеллі К. USSR Space Life Sciences Digest. Т. 2, № 4 (No. NAS 1.26:168691). 1981.
22. Невзорова Ю.А., Гроссманн Й., Траутвейн Ч. Антитуморогенні та антиангіогенні ефекти природних терпенів *Abies sibirica* in vivo та in vitro: *Biomedicine & Pharmacotherapy*. 2017. Т. 89. С. 386–395. DOI: 10.1016/j.biopha.2017.02.035.
23. Li H.-L. та ін. Антиоксидантна активність ефірної олії з хвої *Abies sibirica* Ledeb. *Chinese Journal of Natural Medicines*. 2012. Т. 10, № 5. С. 385–389. DOI: 10.1016/S1001-8417(12)60060-2.
24. Анкучану Р. та ін. Антиоксидантна активність ефірних олій видів родини *Pinaceae*. *Antioxidants*. 2024. Т. 13, № 3. С. 286. DOI: 10.3390/antiox13030286.
25. Ханда М. та ін. Ліпазоінгібуючі та антиоксидантні тритерпени з *Abies sibirica*. *Фітохімія*. 2013. Т. 86. С. 168–175. DOI: 10.1016/j.phytochem.2012.11.017.
26. Агіар Дж. К.Р.Ф. де О.Ф. та ін. Ларвіцидна та яйцекладна активність комерційних ефірних олій *Abies sibirica* Ledeb., *Pogostemon cablin* (Blanco) Benth., *Juniperus communis* L. та їх комбінацій проти *Aedes aegypti*. *Molecules*. 2024. Т. 29, № 24. С. 5921. DOI: 10.3390/molecules29245921.
27. Фокс К.Б. та ін. Вакцинна ад'ювантна активність емульгованих олій видів родини *Pinaceae*. *Фітотерапія*. 2019. Т. 64. С. 152927. DOI: 10.1016/j.phymed.2019.152927.

## REFERENCES

1. Duquesnoy, E., Castola, V., Casanova, J. (2007). Composition and Chemical Variability of the Twig Oil of *Abies alba* Miller from Corsica. *Flavour Fragr. J.* 22:293–299. DOI: 10.1002/ffj.1796.
2. Nikolić, J.S. et al. (2021). Needle Volatiles as Chemophenetic Markers in Differentiation of Natural Populations of *Abies alba*, *A. x borisii-regis*, and *A. cephalonica*. *Phytochemistry*. 183:112612. DOI: 10.1016/j.phytochem.2020.112612.
3. WFO World Flora Online. 2023. Retrieved from: <http://www.worldfloraonline.org> (accessed on 11 April 2025).

4. Siberian Fir Essential Oil: Its Benefits, Uses, and Origins. *Innerfyre*. Retrieved from: <https://innerfyre.co/blogs/essential-oils/fir-essential-oil>.
5. ABIES SIBIRICA (SIBERIAN FIR) OIL. Environmental Working Group. Retrieved from: <https://www.ewg.org/cleaners/substances/55ABIESSIBIRICASIBERIANFIROIL/>.
6. TARA WAGNER. URL: <https://theorganicsister.com/siberian-fir-essential-oil/>.
7. Living Libations. *Dutch Health Store*. Retrieved from: <https://dutchhealthstore.com/product/fir-siberian-essential-oil/>.
8. *New Directions Aromatics*. Retrieved from: <https://www.newdirectionsaromatics.com/products/fir-needle-siberian-essential-oil>.
9. *Nature In Bottle*. Retrieved from: [https://www.natureinbottle.com/product/siberian\\_fir\\_essential\\_oil](https://www.natureinbottle.com/product/siberian_fir_essential_oil).
10. *Eden Botanicals*. Retrieved from: <https://www.edenbotanicals.com/fir-siberian-wild.html>.
11. Fir Needle Oil Market Size, Share, Growth, and Industry Analysis, By Type (*Abies sibirica* Ledeb, *A balsamea* L Mill and Others), By Application (Consumer Goods, Food & Beverage and Others), Regional Insights, and Forecast To 2031. *Business Research Insights*. Retrieved from: <https://www.businessresearchinsights.com/market-reports/fir-needle-oil-market-106996>.
12. Medicinal plants: Encyclopedic reference book / L-56 Deputy editor A.M. Grodzinsky. Kyiv: Publishing house "Ukrainian Encyclopedia" named after M.P. Bazhan, Ukrainian production and commercial center "Olympus", 1992. 544p.
13. Noreikaitė, A. et al. (2017). General toxicity and antifungal activity of a new dental gel with essential oil from *Abies sibirica* L. *Medical Science Monitor*. 2017. Vol. 23. P. 521–527. DOI: 10.12659/msm.898630.
14. European Chemicals Agency (ECHA). (n.d.). *Official website of the European Chemicals Agency*. Retrieved 30.01.2025 from: [https://european-union.europa.eu/institutions-law-budget/institutions-and-bodies/search-all-eu-institutions-and-bodies/european-chemicals-agency-echa\\_en](https://european-union.europa.eu/institutions-law-budget/institutions-and-bodies/search-all-eu-institutions-and-bodies/european-chemicals-agency-echa_en).
15. Głowacka, A. et al. (2009). Evaluation of the potential effect of the Siberian fir essential oil as a modulator of proteolytic activity of *Candida albicans* isolated from various biological materials. *Annales Academiae Medicae Silesiensis*. Vol. 63, No. 1. P. 1–7.
16. Trojanowska, D. et al. (2010). *In vitro* evaluation of antifungal activity of *Oleum Pichtae* against dermatophytes. *Mikologia Lekarska*. Vol. 17, No. 4. P. 229–232.
17. Truchan, M. et al. (2019). Antimicrobial activity of three commercial essential oils derived from plants belonging to the *Pinaceae* family. *Agrobiodiversity for Improving Nutrition, Health and Life Quality*. No. 3. P. 111–126. DOI: 10.15414/agrobiodiversity.2019.2585-8246.111-126.
18. Kędzia, A. (2019). Activity of fir oil (*Oleum Pichtae*) against anaerobic bacteria. *Postępy Fitoterapii*. Vol. 20, No. 1. P. 30–34. DOI: 10.25121/PF.2019.20.1.30.
19. Minukhin, V.V. et al. (2015). Study of the effect of essential oils on opportunistic microorganisms – pathogens of upper respiratory tract infections in *in vitro* experiments. *Problemy Viiskovoi Okhorony Zdorovia*. Issue 44(2). P. 246–250. Retrieved from: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/prvoz\\_2015\\_44\(2\)\\_41](http://nbuv.gov.ua/UJRN/prvoz_2015_44(2)_41).
20. Mamchur, F.I., Neiko, E.M., Dzyubak, S.T. (1968). The effect of substances from spruce, fir, and wild carrot fruits on bile formation in the liver. *Scientific Journal*.
21. Lewis, C.S., Donnelly, K. (1981). *USSR Space Life Sciences Digest*. Vol. 2, No. 4 (No. NAS 1.26:168691).
22. Nevzorova, Y.A., Grossmann, J., Trautwein, C. (2017). Antitumor and antiangiogenic effects of natural *Abies sibirica* terpenoids *in vivo* and *in vitro*. *Biomedicine & Pharmacotherapy*. Vol. 89. P. 386–395. DOI: 10.1016/j.biopha.2017.02.035.
23. Li, H.-L. et al. (2012). Antioxidant activity of essential oil from needles of *Abies sibirica* Ledeb. *Chinese Journal of Natural Medicines*. Vol. 10, No. 5. P. 385–389. DOI: 10.1016/S1001-8417(12)60060-2.
24. Ancuceanu, R. et al. (2024). Antioxidant activity of essential oils from *Pinaceae* species. *Antioxidants*. Vol. 13, No. 3. P. 286. DOI: 10.3390/antiox13030286.
25. Handa, M. et al. (2013). Lipase inhibitory and antioxidant triterpenes from *Abies sibirica*. *Phytochemistry*. Vol. 86. P. 168–175. DOI: 10.1016/j.phytochem.2012.11.017.
26. Aguiar, J.C.R.F. de O.F. et al. (2024). Larvicidal and oviposition activity of commercial essential oils of *Abies sibirica* Ledeb., *Pogostemon cablin* (Blanco) Benth., *Juniperus communis* L., and their combinations against *Aedes aegypti*. *Molecules*. Vol. 29, No. 24. P. 5921. DOI: 10.3390/molecules29245921.
27. Fox, C.B. et al. (2019). Vaccine adjuvant activity of emulsified oils from species of the *Pinaceae* family. *Phytomedicine*. Vol. 64. P. 152927. DOI: 10.1016/j.phymed.2019.152927.