

ОЦІНКА ЕФЕКТИВНОСТІ ТЕХНОЛОГІЙ ДЛЯ ОПТИМІЗАЦІЇ ВИРОЩУВАННЯ *MELILOtus OFFICIALIS* (L.) PALL. НА НАФТОЗАБРУДНеноМУ ҐруНТІ

Долецька А.С.^{1,2}, Борецька І.Ю.², Романюк О.І.¹, Шевчик-Костюк Л.З.¹, Джура Н.М.²

¹Відділення фізико-хімії горючих копалин Інституту фізико-органічної хімії і вуглехімії імені Л.М. Литвиненка Національної академії наук України
вул. Наукова, 3А, 79022, м. Львів

²Львівський національний університет імені Івана Франка
вул. Грушевського, 4, 79005, м. Львів
romaniuk@ua.fm, ira.boretska2017@gmail.com

Вирощування енергетичних культур на забруднених та деградованих ґрунтах – перспективний шлях біоенергетичного землекористування. Однак, рекультивация нафтозабруднених територій за використання енергетичних культур та отримання селективної біомаси є непростим завданням, що потребує специфічного підходу як до типу забруднювача так і до можливостей адаптації потенційних енергетичних культур. Буркун лікарський (*Melilotus officinalis* (L.) Pall.) розглянуто, як нову важливу енергетичну культуру з родини Бобових. Буркун лікарський – дворічна трав'яниста рослина заввишки 60–150 см, володіє великою посухостійкістю і азотофіксуючою здатністю. Для кореневої системи *M. officinalis* характерний симбіоз із бульбочковими бактеріями, які здатні засвоювати атмосферний Азот і забезпечувати себе та ґрунт азотовмісними сполуками, баланс яких порушено в нафтозабрудненому ґрунті.

Мета роботи – оцінити ефективність технологій для оптимізації вирощування *Melilotus officinalis* (L.) Pall. з подальшим використанням у фіторе mediaційних заходах з відновлення нафтозабруднених ґрунтів.

Досліджено вплив сорбентів-меліорантів (тирси, сухих трав'яних решток/сіна, лушпиння соняшника), добрив (мінеральних $(\text{NH}_2)_2\text{CO} + \text{K}_2\text{HPO}_4$, органічних – Агробелум) і гуматів (гуміфілд форте) на ріст рослин *Melilotus officinalis* в умовах нафтового забруднення ґрунту (вміст нафти 5%). Показано, що лушпиння соняшника є найбільш перспективним і доступним агентом пришвидшення фіторе mediaції. Досліджено окремий і сумісний вплив мінеральних добрив, гуматів, сорбентів на ріст рослин буркуну лікарського. Найкращі результати отримано за сумісного використання комплексу (лушпиння соняшника + мінеральні добрива + гуміфілд форте), що позитивно впливає на ростові показники буркуну лікарського: збільшення висоти пагона та сумарного вмісту хлорофілів ($a+b$). *Ключові слова:* нафтозабруднені ґрунти, фіторе mediaція, буркун лікарський, енергетичні рослини.

Assessment of the efficiency of technologies for optimizing the cultivation of *Melilotus officinalis* (L.) Pall. on oil-contaminated soil. Doletska A., Boretska I., Romanyuk O., Shevchyk-Kostiuk L., Dzhura N.

Growing energetic crops on polluted and degraded soils is a promising way of usage of soils for bioenergetics. However, the recultivation of oil-contaminated territories by energetic crops and obtaining selective biomass is not an easy task, which needs special approach to both the type of pollutant and adaptation abilities of the energetic crops. *Melilotus officinalis* plants are considered as a new important energetic crops. *Melilotus officinalis* species belongs to the *Fabaceae* family. Its root system with root nodules is symbiotic with nitrogen fixation bacteriae, which are able to supply plant and soil with nitrogen compounds, the balance of which in oil polluted soil is disturbed.

The plant has high draught resistance and nitrogen fixation abilities, has large branched above-ground part reaching height 60–150 cm for 2-year plant.

The aim of work is an investigation of effectiveness of usage of *Melilotus officinalis* plants for the remediation of oil polluted soils and optimization of the technology of its growing.

The influence of the following agents on growth of *Melilotus officinalis* plants under oil pollution of the soil (oil content 5%) was studied: sorbent-meliorants: sawdust, dry grassy leftovers/hay, sunflower husk; mineral fertilizers: $(\text{NH}_2)_2\text{CO} + \text{K}_2\text{HPO}_4$, organic fertilizer– Agrobellum; humates.

It was shown that sunflower husk is the most promising and easily available agent, accelerating phytoremediation. An individual and combined influence of mineral fertilizers, humates and sorbents on growth of *Melilotus officinalis* plants was studied. The best results were obtained under combined use of complex (sunflower husks + mineral fertilizers + Humifield forte), which has positive effect on *Melilotus officinalis* plants – growth parameters of shoot increases in 104,5% as well as total content of chlorophylls $a+b$. *Key words:* oil polluted soils, phytoremediation, *Melilotus officinalis* plants energetic plants.

Постановка проблеми. Розвиток біоенергетичного сектору в Україні з часом сприятиме частковому заміщенню традиційного пального альтернативним. Вважається, що біопаливо в найближчі роки буде максимально вигідним для української економіки і дозволить зменшити енергетичну залежність кра-

їни. Вирощування енергетичних культур на забруднених та деградованих ґрунтах – перспективний шлях біоенергетичного землекористування.

У світі систематично працюють над пошуком нових потенційних енергетичних культур для виробництва, як рідкого, так і твердого біопалива, а також

розглядають їх фітореMediaційні можливості на забруднених землях.

Олійні культури, такі як озимий ріпак (*Brassica napus* L.), ріжій посівний (*Camelina sativa* L.) застосовують для виробництва біодизеля [1]. Світчграс або лозоподібне просо (*Switchgrass – Panicum virgatum* L.) має складові, типові для палива і найчастіше застосовується, як тверде паливо для котлів [2]. Тоді як рослини, що містять цукор і крохмаль, наприклад, цукрові буряки [3], сорго цукрове (*Sorghum saccharatum* L.) [4] використовують для отримання біоетанолу.

Однак, рекультивация забруднених територій за використання енергетичних культур та отримання селективної біомаси є непростим завданням, що потребує специфічного підходу як до типу забруднювача так і до можливостей адаптації потенційних енергетичних культур до несприятливих умов зростання на забруднених землях.

Найбільш складним забрудненням вважається нафтове через гідрофобність і високу токсичність нафти, значне порушення водоповітряного балансу та співвідношення основних мікроелементів Вуглецю та Азоту в ґрунті, що унеможливує вирощування більшості рослин [5]. Перспективним є використання у фітореMediaційних технологіях різноманітних агентів ремедіації: мінеральних добрив, гуматів, а також сорбентів – речовин, здатних вбирати у великих кількостях нафтопродукти, тим самим запобігаючи їх подальшій міграції. Крім того, більшість сорбентів виконують роль меліорантів – покращують властивості ґрунту, розпушують його, оптимізують газообмін, виступають джерелом важливих мікроелементів, матрицею для зростання мікроорганізмів-деструкторів нафти тощо [5].

Як показують дослідження, одними з найкращих фітореMediaнтів нафтозабруднених ґрунтів є Бобові [6], оскільки мають здатність максимально самостійно забезпечувати себе елементами мінерального живлення, зокрема Азотом, баланс якого порушено в нафтозабрудненому ґрунті. Однак, більшість бобових в процесі свого росту дають невелику біомасу, що обмежує доцільність їх використання, як енергетичних культур. Здійснений попередній відбір потенційних енергетичних культур стійких до нафтового забруднення і придатних для виробництва як газоподібного, так і твердого біопалива показав перспективність використання буркуну лікарського (*Melilotus officinalis* (L.) Pall.) для цих цілей [7, 8].

Буркун лікарський належить до родини Бобових, а отже для його кореневої системи характерний симбіоз із бульбочковими бактеріями. Рослина володіє великою посухо- і азотофіксуючою здатністю, має міцну розгалужену, найбільшу серед бобових сидератів по масі, кореневу систему, яка проникає на глибину до 1–1,2 м. Висота надземної частини у дворічних рослин від 60 до 150 см [7]. Це дає підстави

розглядати *M. officinalis*, як важливу енергетичну культуру з фітореMediaційними можливостями.

Відомостей щодо використання буркуну лікарського для фіторекультивации нафтозабруднених ґрунтів і подальшого використання для енергетичних цілей в літературних джерелах не виявлено.

Тому метою роботи було оцінити ефективність технологій для оптимізації вирощування *Melilotus officinalis* (L.) Pall. з подальшим використанням у фітореMediaційних заходах з відновлення нафтозабруднених ґрунтів.

Матеріали та методи досліджень. Мікропольові дослідження проводили на території Відділення фізико-хімії горючих копалин Інституту фізико-органічної хімії і вуглехімії ім. Л. М. Литвиненка НАН України.

Глинистий ґрунт штучно забруднювали нафтою у кількості 5%. Контролем слугував ґрунт без нафти. Для оптимізації вирощування *Melilotus officinalis* (L.) Pall. використовували такі агенти ремедіації: 1) сорбенти – відходи агропромислового виробництва (тирса, сухі трав'яні рештки/сіно, лушпиння соняшника); 2) добрива: мінеральне $(\text{NH}_2)_2\text{CO} + \text{K}_2\text{HPO}_4$ (добриво) і органічне – Агробелум (відходи дріжджового виробництва ПАТ «Компанія Ензим»); 3) гумати – водний розчин гуміфілд форте 0,1 г/л, яким обробляли насіння буркуну перед посівом.

Мікропольовий дослід включав такі варіанти:

1. Контроль (ґрунт без нафти) + *M. officinalis*;
2. Контроль (ґрунт без нафти) + сіно + *M. officinalis*;
3. Контроль (ґрунт без нафти) + лушпиння соняшника + *M. officinalis*;
4. Контроль (ґрунт без нафти) + тирса + *M. officinalis*;
5. Контроль (ґрунт без нафти) + гумати + *M. officinalis*;
6. Контроль (ґрунт без нафти) + гумати + агробелум + *M. officinalis*;
7. Контроль (ґрунт без нафти) + гумати + добриво + *M. officinalis*;
8. ґрунт + 5% нафти + *M. officinalis*;
9. ґрунт + 5% нафти + тирса + *M. officinalis*;
10. ґрунт + 5% нафти + сіно + *M. officinalis*;
11. ґрунт + 5% нафти + лушпиння соняшника + *M. officinalis*;
12. ґрунт + 5% нафти + гумати + тирса + *M. officinalis*;
13. ґрунт + 5% нафти + гумати + сіно + *M. officinalis*;
14. ґрунт + 5% нафти + гумати + лушпиння + *M. officinalis*;
15. ґрунт + 5% нафти + добриво + *M. officinalis*;
16. ґрунт + 5% нафти + агробелум + *M. officinalis*;
17. ґрунт + 5% нафти + гумати + добриво + *M. officinalis*;
18. ґрунт + 5% нафти + гумати + добриво + тирса + *M. officinalis*;
19. ґрунт + 5% нафти + гумати + добриво + сіно + *M. officinalis*;

20. Ґрунт + 5% нафти + гумати+ добриво + лушпиння соняшника + *M. officinalis*;

Морфометричні параметри рослин вимірювали за загальноприйнятими методиками [9]. Відносну довжину кореня (ВДК) та відносну висоту пагона (ВВП) буркуну лікарського визначали, як відношення довжини у досліді до довжини у контролі, тобто:

- ВДК = (Довжина кореня в досліді / Довжина кореня в контролі) × 100%;

- ВВП = (Висота пагона в досліді / Висота пагона в контролі) × 100%;

Вміст пігментів фотосинтезу у листках рослин досліджували спектрофотометрично [10]. Результати досліджень обробляли статистично з використанням Microsoft Excel.

Виклад основного матеріалу. Морфометричні параметри є одними з найбільш інформативних і визначальних в умовах росту на забруднених нафтою ґрунтах.

Результати дослідження на умовно чистому і нафтозабрудненому ґрунті свідчать про виражену реакцію пагона *M. officinalis* на вміст нафти у ґрунті – відносна висота пагона зменшується на 75% відносно контролю, в той час як відносна довжина кореня – на 45% (табл. 1).

Таблиця 1

Ростові показники *Melilotus officinalis* за впливу нафтового забруднення

Варіанти дослідів	Довжина кореня, (см)	ВДК, %	Висота пагона, (см)	ВВП, %
Контроль 1 (Ґрунт без нафти)	14,83±0,05	100	63,23±0,05	100
Ґрунт + 5% нафти	8,15±0,05	54,96	15,90±0,05	25,15

Зрозуміло, що вирощування *Melilotus officinalis* на забрудненому нафтою ґрунті є утрудненим і вимагає застосування агентів ремедіації для покращення адаптації та нагромадження біомаси у таких умовах.

Досліджено вплив сорбентів-меліорантів: тирса, трав'яні рештки/сіно, лушпиння соняшника на ріст рослин *M. officinalis*. Встановлено, що додавання сорбентів до нафтозабрудненого ґрунту сприяє збільшенню висоти пагона на 17–85% у порівнянні з ростовими показниками на нафтозабрудненому ґрунті без додавання сорбентів (Контроль 2) (табл. 2).

Найбільші ростові показники рослин спостерігали у нафтозабрудненому ґрунті з додаванням тирси: висота пагона збільшувалася на 85,54%, а довжина кореня – на 10,43%. Очевидно, що концентрація нафти у ґрунті зменшувалася, завдяки високій сорбуючій здатності тирси, яка фізично зв'язує деяку частину нафти в ґрунті.

Таблиця 2

Ростові показники *Melilotus officinalis* за впливу нафтового забруднення і сорбентів

Варіанти дослідів	Довжина кореня, (см)	ВДК, %	Висота пагона, (см)	ВВП, %
Контроль 2 (Ґрунт + нафта 5%)	8,15±0.05	100,0	15,90±0.05	100,0
Ґрунт + нафта 5% + тирса	9,00±0.05	110,4	29,50±0.05	185,5
Ґрунт + нафта 5% + сіно	6,05±0,05	74,2	20,50±0.05	128,9
Ґрунт + нафта 5% + лушпиння	7,05±0.05	86.5	18,60±0.05	116,9

Встановлено, що додавання добрив до нафтозабрудненого ґрунту стимулює ростові показники *Melilotus officinalis* (табл. 3), особливо пагона, висота якого збільшувалася на 104–156% у порівнянні з рослинами, які росли на ґрунті забрудненому нафтою (Контроль 2). Довжина кореня у варіанті використання мінеральних добрив у 4 рази більша, ніж за використання органічного добрива агробелум.

Таблиця 3

Ростові показники *Melilotus officinalis* за впливу нафтового забруднення і добрив

Варіанти дослідів	Довжина кореня, (см)	ВДК, %	Висота пагона, (см)	ВВП, %
Ґрунт + нафта 5% (Контроль 2)	8,15±0,05	100,0	15,90±0,05	100,0
Ґрунт + нафта 5% + мінеральне добриво	7,45±0,05	91,4	32,50±0,05	204,4
Ґрунт + нафта 5% + агробелум	1,80±0,05	22,1	40,85±0,05	256,9

Як відомо, гумати забезпечують активний ріст і розвиток культур, формування високого і якісного врожаю, підвищують стресостійкість рослин до несприятливих умов довкілля [11, 12]. Для підвищення стресостійкості рослин буркуну лікарського до несприятливих умов нафтового заруднення апробували гумати: гуміфілд форте та фульвітал плюс. У попередніх дослідженнях встановили ефективність передпосівної обробки насіння *Melilotus officinalis* стимулятором росту гуміфілд форте у концентрації 0,1 г/л [8].

Проаналізувавши отримані результати, з'ясували, що лушпиння соняшника з гуматами стимулює ріст пагона, а гумати з сіном – кореневу систему рослин *M. officinalis* (табл. 4).

Таблиця 4

Ростові показники *Melilotus officinalis* за впливу нафтового забруднення й агентів ремедіації (сорбенти + гумати)

Варіанти дослідів	Довжина кореня, (см)	ВДК, %	Висота пагона, (см)	ВВП, %
Контроль 2 (Грунт + нафта 5%)	8,15±0,05	100,0	15,90±0,05	100,0
Грунт + нафта 5% + гумати + тирса	2,25±0,05	27,6	19,20±0,05	120,7
Грунт + нафта 5% + гумати + сіно	6,05±0,05	74,2	23,60±0,05	148,4
Грунт + нафта 5% + гумати + лушпиння	3,90±0,05	47,9	30,60±0,05	192,5

Таким чином гуміфілд форте підвищує стійкість *Melilotus officinalis* до умов нафтозабрудненого ґрунту, а його сумісне використання з лушпинням соняшника стимулює ріст надземної частини на 92,5% у порівнянні з контролем 2.

Отже, з отриманих результатів видно, що за використання комплексу «мінеральні добрива + гумати +

лушпиння соняшника» (табл. 5) висота пагона рослин збільшувалася відповідно на 104,5%.

Для оцінки ефективності технологій для оптимізації вирощування *Melilotus officinalis* з використанням різних агентів ремедіації аналізували біохімічні параметри рослин – вміст пігментів фотосинтезу.

Таблиця 5

Ростові показники *Melilotus officinalis* за впливу нафтового забруднення й агентів ремедіації (сорбенти, мінеральні добрива, гумати)

Варіанти дослідів	Довжина кореня, (см)	ВДК, %	Висота пагона, (см)	ВВП, %
Грунт + нафта 5%	8,15±0,05	100,0	15,90±0,05	100,0
Грунт + нафта 5% + добриво	7,45±0,05	91,4	32,50±0,05	204,4
Грунт + нафта 5% + гумати + добриво + сіно	8,45±0,05	103,7	28,35±0,05	178,3
Грунт + нафта 5% + гумати + добриво + тирса	2,60±0,05	31,9	20,35±0,05	127,9
Грунт + нафта 5% + добрива + гумати + лушпиння	7,90±0,05	96,9	32,55±0,05	204,5

Таблиця 6

Вміст фотосинтезуючих пігментів у листках рослин *Melilotus officinalis* за впливу нафтового забруднення й агентів ремедіації (сорбенти, добрива, гумати)

Варіанти дослідів	Вміст пігментів, мг/г сирової речовини		
	Хлорофіл <i>a</i>	Хлорофіл <i>b</i>	Хлорофіл <i>a+b</i>
Умовно чистий ґрунт			
Контроль (ґрунт без нафти) + лушпиння соняшника	3,41	1,29	4,70
Контроль (ґрунт без нафти) + тирса	3,02	1,30	4,32
Контроль (ґрунт без нафти) + Агробелум	3,41	1,32	4,73
Контроль (ґрунт без нафти) + гумати	3,4	1,16	4,56
Контроль (ґрунт без нафти) + гумати + добриво	3,91	1,46	5,37
Нафтозабруднений ґрунт			
Грунт + 5% нафти	1,22	0,76	1,98
Грунт + 5% нафти + тирса	1,71	0,95	2,66
Грунт + 5% нафти + лушпиння соняшника	1,79	0,84	2,63
Грунт + 5% нафти + гумати + тирса	2,09	1,02	3,11
Грунт + 5% нафти + гумати + сіно	2,07	1,02	3,09
Грунт + 5% нафти + гумати + лушпиння соняшника	2,11	1,01	3,12
Грунт + 5% нафти + добриво	2,23	0,98	3,15
Грунт + 5% нафти + Агробелум	2,25	1,10	3,35
Грунт + 5% нафти + гумати + добриво + сіно	2,19	1,08	3,27
Грунт + 5% нафти + гумати + добриво + тирса	2,21	1,05	3,26
Грунт + 5% нафти + гумати + добриво + лушпиння соняшника	2,32	1,11	3,43

У варіантах із комплексним використанням гуматів, лушпинням соняшника та мінеральних добрив виявлено підвищення вмісту суми хлорофілів ($a+b$) у рослин до значень 3,43 мг/г у порівнянні зі значенням для рослин на нафтозабрудненому ґрунті 1,98 мг/г.

Висновки. Буркун лікарський (*Melilotus officinalis* (L.) Pall.) є перспективною енергетичною культурою для вирощування на ґрунтах забруднених нафтою. Встановлено ефективність використання агентів ремедіації (сорбентів-меліорантів, гуматів, добрив) для підвищення його стійкості в умовах нафтозабрудненого ґрунту. Виявлено, що саме мінеральні добрива $(\text{NH}_2)_2\text{CO} + \text{K}_2\text{HPO}_4$ стимулювали ріст рослин за впливу нафтового забруднення ґрунту

(5% нафти). Гуміфілд форте підвищував стійкість *Melilotus officinalis* до умов нафтового стресу, а його сумісне використання з лушпинням соняшника забезпечувало збільшення висоти пагона на 92,5%. Оптимальні результати отримано за сумісного використання комплексу «лушпиння соняшника + мінеральні добрива + гуміфілд форте»: висота пагона збільшувалася на 104,5%, а сумарний вміст хлорофілів ($a+b$) – у 1,7 рази.

Отже, отримані результати вказують на ефективність цієї технології для оптимізації вирощування *Melilotus officinalis* (L.) Pall. з подальшим її використанням у фіторемедіаційних заходах з відновлення нафтозабруднених ґрунтів.

Література

1. Інтенсивна технологія вирощування озимого ріпака : метод. рек. / Ін-т сіл. госп-ва Західного Полісся НААН України. ГО «Рівнен. обл. с.-г. дорадча служба «Наука». Рівне, 2005. С. 11.
2. Роїк М. В., Курило В. Л., Гументик М. Я., Ганженко О. М. Роль і місце фітоенергетики в паливно-енергетичному комплексі України. Цукрові буряки. 2011. № 1. С. 6–7.
3. Романюк О. І., Ощатовський І. В., Шевчик Л. З. Рослинна біомаса – перспективна сировина для отримання синтетичних рідких палив. Вісник Вінницького політехнічного інституту. Екологія, екологічна кібернетика та хімічні технології. 2015. № 1. С. 22–28.
4. Сторожик Л. І. Перспективи вирощування сорго цукрового, як альтернативного джерела енергії. Цукрові буряки. 2011. № 2. С. 20 – 21.
5. Шевчик-Костюк Л. З., Романюк О. І., Бая А. Р. Підвищення ефективності фіторемедіаційних технологій нафтозабруднених ґрунтів за участі природних сорбентів-меліорантів. Scientific Horizons, 2020, Vol. 23, No. 10. С. 7–16.
6. Шевчик Л. З., Романюк О. І. Аналіз біологічних способів відновлення нафтозабруднених ґрунтів. Scientific Journal «ScienceRise: Biological Science». 2017. № 1(4). С. 31–39.
7. Борецька І. Ю., Джура Н. М., Романюк О. І. Фіторемедіація техногенно забруднених ґрунтів з використанням енергетичних культур. Екологічні науки. Сер. Екологія – 2021. Вип. 39. С. 72–77.
8. Борецька І. Ю., Романюк О. І. Підвищення стійкості *M. Ofsicinalis* до нафтового забруднення ґрунтів. «Хімічні проблеми сьогодення»: зб. Тез. V Міжнародної (XV Української) наукової конференції студентів, аспірантів і молодих учених. Вінниця: Донецький національний університет імені Василя Стуса. С. 13.
9. Грицаєнко З. М., Грицаєнко А. О., Карпенко В. П. Методи біологічних та агрохімічних досліджень рослин і ґрунтів. «Нічлава», 2003. С. 316.
10. Мусієнко М.М., Паршикова Т.В., Славний П.С. Спектрофотометричні методи в практиці фізіології, біохімії та екології рослин. К.: Фітосоціоцентр, 2001. С. 200.
11. Козаренко Д. О. Застосування гуматів – перспективний метод зменшення хімічного навантаження на агроценози. Карантин і захист рослин. 2013. № 8. С. 14–16.
12. Подан І. І., Джура Н. М. Вплив нафтового забруднення і гуматів на ріст рослин міскантусу. Екологічні науки. Сер. Екологія. 2019. № 2 (25). С. 182–186.