

УДК 581.6+665.6

## ФІТОРЕМЕДІАЦІЯ НАФТОЗАБРУДНЕНИХ ГРУНТІВ ЗА ДОПОМОГОЮ РОСЛИН *CAREX HIRTA* L.

ЦВІЛИНЮК О.М., к.б.н., доцент<sup>1\*</sup>  
БУНЬО Л.В., асистент<sup>2</sup>  
КАРПИН О.Л., к.б.н. асистент<sup>3</sup>  
ПЕНЦАК А.Я., к.т.н., ст. викладач<sup>4</sup>

<sup>1\*</sup>-Кафедра екології, Львівський національний університет імені Івана Франка, вул.Грушевського, 4, м.Львів, Україна, тел. 098-497-04-46, [tsvilya@gmail.com](mailto:tsvilya@gmail.com), ORCID ID: 0000-0002-5179-5179;

<sup>2</sup>- Кафедра фізіології та екології рослин, Львівський національний університет імені Івана Франка, вул.Грушевського, 4, м.Львів, Україна, тел. 067-802-07-81, [bunio.lyubov@gmail.com](mailto:bunio.lyubov@gmail.com) ;

<sup>3</sup>- Кафедра фізіології та екології рослин, Львівський національний університет імені Івана Франка, вул.Грушевського, 4, м.Львів, Україна, тел. 067-145-08-99, [olgakarpyn@gmail.com](mailto:olgakarpyn@gmail.com);

<sup>4</sup>-Кафедра будівельного виробництва, Національний університет «Львівська політехніка», вул.Карпінського,6, м.Львів, Україна, тел. 0676714070, [apentsak1963@gmail.com](mailto:apentsak1963@gmail.com), ORCID ID: 0000-0001-7491-6730;

**Анотація:** Бориславське нафтове родовище, розташоване у Львівській області є одним з найстаріших в Європі. За 150-річну історію розвитку тут видобули 40 мільйонів тонн нафти і 15 млрд м<sup>3</sup> газу. Сьогодні родовище знаходиться на завершальній стадії розробки, тому що шари майже вичерпані. Експлуатація старих свердловин на низькому культурному рівні створює серйозні екологічні проблеми: хронічно забруднюються повітря, води і ґрунти. Водночас, в районах нафтовидобутку існують стійкі види рослин, які можна використати для фітореємедіації середовища. Фітореємедіація є перспективною технологією для очищення ґрунтів: дешева, не вимагає спеціального обладнання, сприяє збереженню та покращенню навколишнього середовища. Метою наших досліджень було встановити, чи придатні рослини *Carex hirta* L. придатні для цієї технології очищення нафтозабруднених ґрунтів. У досліджах використовували сиру Бориславську нафту. Рослини аналізували через 30 діб росту на нафтозабрудненому ґрунті. Для того, щоб встановити роль рослин у деградації нафти, їх вирощували у стерильних горщиках і з стерильним ґрунтом в лабораторних умовах. Чисті горщики обробляли хлорним вапном, потім промивали проточною водою і дистильованою водою. Повітряно-сухий дерново-підзолистий ґрунт стерилізували в автоклаві при 1,5 атмосфер протягом 2 годин. У стерильні горщики вносили стерильний нафтозабруднений ґрунт. У половину горщиків висаджували рослини *C.hirta* зі стерильними коренями. Чисті корені рослин поміщали на 5-7 секунд у 70 % етиловий спирт, потім промивали у хлорексидині, далі промивали дистильованою стерильною водою. Вміст нафтопродуктів у ґрунті визначали за модифікованою методикою шляхом екстракції нафтопродуктів з проб ґрунту тетраклоридом вуглецю. Для дослідження рослин осоки як можливих очищувачів нафтозабруднених ґрунтів від важких металів заклали польові досліді. Викопали чотири рови розміром 4 м × 1 м, глибиною 25 см та вистелили поліетиленовою плівкою. У плівці пробрили дірки, щоб не зупинявся природний рух вод у ґрунті. У два рови внесли по 1000 кг чистого ґрунту (контрольний ґрунт), а у два інші – таку ж кількість забрудненого ґрунту нафтою. У всі рови висаджували рослини осоки шорстковолосистої. Концентрацію металів у ґрунті та рослинному матеріалі вимірювали на рентгенофлуоресцентному спектрометрі Спектро Херос. Нагромадження калози в клітинних стінках оцінювали на живих поперечних зрізах через кореневище осоки, забарвлених аніліновим синім. Інтенсивність флуоресценції визначали на цитофлуориметрі, сконструйованому на базі люмінесцентного мікроскопу МЛ-2. Рослини *C. hirta* з стерильними кореневищами, що росли на нафтозабрудненому стерильному ґрунті, спричинили очищення ґрунту на 8,6 % порівняно з контролем. Досліджувані рослини накопичували важкі метали. Концентрація важких металів у надземній частині рослин перевищувала рівень контролю: Ni та Mn – у 9 разів; Cu, Co – у 5 разів; Hg – у 4,5 рази; Zn, Cr, V, Pb, As, Cd – у 4 рази; Mo – у 3 рази. Це можна пояснити відсутністю природного бар'єру із калози у клітинних стінках. Отже, рослини осоки шорстковолосистої придатні для фітореємедіації територій, які забруднені нафтою і супутніми важкими металами.

**Ключові слова:** ґрунт, нафта, важкі метали, фітореємедіація, калоза, *C. hirta*.

## ФІТОРЕМЕДІАЦІЯ НЕФТЕЗАГРЯЗНЕНИХ ПОЧВ С ПОМОЩЬЮ РАСТЕНИЙ *CAREX HIRTA* L.

ЦВИЛИНЮК О.Н., к.б.н., доцент<sup>1\*</sup>  
БУНЬО Л.В., асистент<sup>2</sup>  
КАРПИН О.Л., к.б.н. асистент<sup>3</sup>  
ПЕНЦАК А.Я., к.т.н., ст. преподаватель<sup>4</sup>

<sup>1\*</sup>-Кафедра екології, Львовский национальный университет имени Ивана Франко, ул.Грушевского, 4, г.Львов, Украина, тел. 098-497-04-46, [tsvilya@gmail.com](mailto:tsvilya@gmail.com), ORCID ID: 0000-0002-5179-5179;

<sup>2</sup>- Кафедра физиологии и экологии растений, Львовский национальный университет имени Ивана Франко, ул.Грушевского, 4, г.Львов, Украина, тел. 067-802-07-81, [bunio.lyubov@gmail.com](mailto:bunio.lyubov@gmail.com) ;

<sup>3</sup> - Кафедра физиологии и экологии растений, Львовский национальный университет имени Ивана Франко, ул.Грушевского, 4, г.Львов, Украина, тел. 067-145-08-99, [olgakarpyn@gmail.com](mailto:olgakarpyn@gmail.com) ;

<sup>4</sup> –Кафедра строительного производства, Национальный университет «Львовская политехника», ул..Карпинского,6, г.Львов, Украина, тел. 067-671-40-70, [apentsak1963@gmail.com](mailto:apentsak1963@gmail.com), ORCID ID: 0000-0001-7491-6730;

**Аннотация:** Бориславское нефтяное месторождение, расположенное в Львовской области, является одним из старейших в Европе. На протяжении 150-летней истории развития здесь добыли 40 млн тонн нефти и 15 млрд м<sup>3</sup> газа. Сегодня месторождение находится на завершающей стадии разработки, так как слои почти исчерпаны. Эксплуатация старых скважин на низком культурном уровне создает серьезные экологические проблемы: хронически загрязняются воздух, воды и почвы. В то же время, в районах нефтедобычи существуют устойчивые виды растений, которые можно использовать для фиторемедиации среды. Фиторемедиация является перспективной технологией для очистки почв: дешевая, не требует специального оборудования, способствует сохранению и улучшению окружающей среды. Целью наших исследований было установить, пригодны ли растения *Carex hirta* L. для этой технологии очистки нефтезагрязненных почв. В опытах использовали сырую Бориславскую нефть. Растения анализировали через 30 суток роста на нефтезагрязненных почве. Для того, чтобы установить роль растений в деградации нефти, их выращивали в стерильных горшках и с стерильным почвой в лабораторных условиях. Чистые горшки обрабатывали хлорной известью, затем промывали проточной водой и дистиллированной водой. Воздушно-сухую дерново-подзолистую почву стерилизовали в автоклаве при 1,5 атмосфер в течение 2 часов. В стерильные горшки вносили стерильную нефтезагрязненную почву. В половину горшков высаживали растения *C. hirta* со стерильными корнями. Чистые корни растений помещали на 5-7 секунд в 70% этиловый спирт, затем промывали в хлоргексидин, далее промывали дистиллированной стерильной водой. Содержание нефтепродуктов в почве определяли по модифицированной методике путем экстракции нефтепродуктов из проб почвы четыреххлористым углеродом. Для исследования растений осои как возможных очистителей нефтезагрязненных почв от тяжелых металлов заложили полевые опыты. Выкопали четыре траншеи размером 4 м × 1 м, глубиной 25 см и устелили полиэтиленовой пленкой. В пленке пробили дыры, чтобы не останавливался естественное движение вод в почве. В две траншеи внесли по 1000 кг чистого грунта (контроль), а в двух других - такое же количество загрязненного нефтью грунта. Во все траншеи высаживали растения осои. Концентрацию металлов в почве и растительном материале измеряли на рентгенофлуоресцентном спектрометре Spectro Xepos. Накопление каллозы в клеточных стенках оценивали на живых поперечных срезах корневища осои, окрашенных анилиновым синим. Интенсивность флуоресценции определяли на цитофлуориметре, сконструированном на базе люминесцентного микроскопа МЛ-2. Растения *C. hirta* со стерильными корневищами, растущие на нефтезагрязненной стерильной почве вызвали очищение почвы на 8,6% по сравнению с контролем. Исследуемые растения накапливали тяжелые металлы. Концентрация тяжелых металлов в надземной части растений превышала уровень контроля: Ni и Mn - в 9 раз; Cu, Co - в 5 раз; Hg - в 4,5 раза; Zn, Cr, V, Pb, As, Cd - в 4 раза; Mo - в 3 раза. Это можно объяснить отсутствием естественного барьера из каллозы в клеточных стенках. Итак, растения *C. hirta* пригодны для фиторемедиации территорий, загрязненных нефтью и сопутствующими тяжелыми металлами.

Ключевые слова: почва, нефть, тяжелые металлы, фиторемедиация, каллоза, *C. hirta*.

## PHYTOREMEDIATION OIL CONTAMINATED SOILS USING PLANTS *CAREX HIRTA* L.

OLHA TSVILYNYUK, *PhD, Associate Professor*<sup>\*1</sup>

LYUBOV BUNIO, *Assistant*<sup>2</sup>

OLHA KARPYN, *PhD, Assistant*<sup>3</sup>

ANDRIY PENTSAK, *PhD, Associate Professor*<sup>4</sup>

<sup>1\*</sup>-Dept. of Ecology, 4, Hrushevsky str., 79005, Lviv, Ukraine, tel. +38(098)-497-04-46, [tsvilya@gmail.com](mailto:tsvilya@gmail.com), ORCID ID: 0000-0002-5179-5179;

<sup>2</sup> - Dept of Plant Physiology and Ecology, Ivan Franko National University of Lviv, Ukraine, Hrushevsky str. 4, tel. +38(067)-802-07-81, [bunio.lyubov@gmail.com](mailto:bunio.lyubov@gmail.com);

<sup>3</sup> - Dept of Plant Physiology and Ecology, Ivan Franko National University of Lviv, Ukraine, Hrushevsky str. 4, tel. +38(067)-145-08-99, [olgakarpyn@gmail.com](mailto:olgakarpyn@gmail.com);

<sup>4</sup> – Dept. of Construction technologies, Lviv Polytechnic National University, Lviv, Ukraine, Karpinsky str.,6, tel. +38(067)-71-40-70, [apentsak1963@gmail.com](mailto:apentsak1963@gmail.com), ORCID ID: 0000-0001-7491-6730;

**Abstract:** Boryslav oil region is situated in Lviv area and is one of the oldest in the Europe. For its 150-years history of development there were extracted 40 million tons of oil and 15 billion m<sup>3</sup> of gas. Today the deposit is being at a final stage of development because of it almost exhausted layers. An exploitation of the old wells is occurring at a low technological cultural level and creates a serious environmental problems: air, water and soil are chronically polluted. At the same time there are resistant plant species in the areas of oil production, which can be used for environmental phytoremediation. Phytoremediation is a promising technology for purification of the soils: it is cheap, doesn't require any special equipment and promotes a preservation and improvement of an environment. An aim of our researches was to investigate if *Carex hirta* L. plants are usable for this technology of contaminated soil purification. Crude Boryslav oil was used in the experiments. The vegetative individuals of *C. hirta* were planted into contaminated soil three weeks after adding of oil (50 g/kg). Plants were analyzed after 30 days of growth on oil-contaminated soil. In order to establish (assess) the role of plants in the oil degradation, they were grown in sterile pots with sterile soil in the laboratory. Clean pots were treated with bleach, then were rinsed with running and distilled water. Dry sodpodzolic soil was sterilized in an autoclave at 1.5

atmospheres for 2 hours. Sterile contaminated soil was put into sterile pots. Half of the pots were planted by *C. hirta* plant with sterile roots. Pure plant roots were placed for 5-7 seconds in 70% ethanol, then were rinsed with chlorhexidine and with sterile distilled water. Oil content in the soil was determined by a modified method of oil extraction from the soil samples by carbon tetrachloride. Laid field experiments were aimed to study the plants as possible purifiers of contaminated soil from heavy metals. There were arranged four trenches with size of 4 m × 1 m, depth of 25 cm, bottom of which was covered by plastic wrap. In order to preserve water movement in the soil the holes were punched in the film. Two trenches received 1,000 kg of pure ground (ground control) each, and two others - the same amount of oil-contaminated soil. All trenches were planted by plants *C. hirta*. The concentration of metals in soil and plant material was measured on X-ray fluorescent spectrometer Spectro Xepos. Callose accumulation in the cell walls was evaluated in living transverse cuts of sedge rhizome, stained with aniline blue. Fluorescence intensity was determined by cytometry, designed on fluorescent microscope ML-2 base. *C. hirta* plants with sterile rhizomes that grow on sterile oil-contaminated soil, caused soil purification by 8,6% compared with the control. Investigated plants accumulated heavy metals. The concentration of heavy metals in the plants elevated part exceeded the control level of: Ni and Mn - 9 times; Cu, Co - 5 times; Hg - 4.5 times; Zn, Cr, V, Pb, As, Cd - 4 times; Mo - 3 times. This can be explained by lack of natural barrier in the form of callose in the cell walls. Thus, the plant *C. hirta* is usable for phytoremediation of the areas contaminated by oil and associated heavy metals.

**Keywords:** soil, oil, heavy metals, phytoremediation, callose

Ідея сталого розвитку спонукає до змін у нашому баченні щодо розуміння взаємозв'язку між економічною діяльністю людей і природним світом, щодо переходу від економічного принципу кількісного збільшення (зростання) до якісно нового напрямку майбутнього прогресу – принципу якісного поліпшення (розвитку). Параметри, які характеризують сталий розвиток, повинні охоплювати як соціальний, економічний, так і екологічний вектори [6]. Якісного поліпшення у світлі ідей сталого розвитку потребують і видобувна, і переробна галузі промислового виробництва в Україні. Видобування корисних копалин супроводжується значним забрудненням середовища. Наприклад, у м.Борислав, що на Львівщині, є найстаріше в Європі нафтове родовище, яке із середини XIX століття активно експлуатувалося. За свою 150-річну історію розвитку тут видобули 40 мільйонів тонн нафти і 15 млрд. м<sup>3</sup> газу. Власники працювали за принципом зростання кількостей видобутої нафти і, відповідно, прибутків. Цей період тривав до 60-их років XX століття. Далі були згорнені бурові роботи у зв'язку з виснаженням Бориславського нафтового родовища, але продовжилася експлуатація старих свердловин на низькому культурному рівні. Тож довкілля й далі забруднювалося нафтою [5, 8, 10].

Нафтопродукти завдяки високій адсорбуючій здатності ґрунту довгий час зберігаються в ньому, змінюючи його фізико-хімічні і біологічні властивості. Через забруднення ґрунтового покриву нафтопродуктами створюються анаеробні умови, змінюється окисно-відновний потенціал, порушується вуглецево-азотний баланс, змінюється вміст поглинутих основ кальцію і магнію, внаслідок цього ґрунт втрачає свою родючість, стає гідрофобним, підвищується ерозія, вивітрювання тощо. Це негативно впливає на всі живі організми [14, 15].

Водночас, в районах нафтовидобутку спостерігається пристосування компонентів екосистем до хронічного впливу нафти, тут існують стійкі види рослин, які домінують на фоні пригнічення решти видів і можуть слугувати для

очищення, тобто фіторемедіації, середовища [10]. Фіторемедіація має ряд переваг перед фізичними методами ремедіації: може використовуватися на великих площах, значно дешевша, не вимагає спеціального обладнання, сприяє збереженню та покращенню навколишнього середовища [2]. Один із таких видів, осоку шорстковолосисту (*Carex hirta* L.), ми спробували використати як фіторемедіант ґрунтів, забруднених нафтою.

У досліді використували сиру Бориславську нафту густиною 0,96 г/мл, хімічний склад якої був наступним: вміст сірки – 0,22%, насичених вуглеводнів – 49,48%, ненасичених/ароматичних вуглеводнів – 50,52%, кадмію – 2,7 мг/кг, свинцю – 5,2 мг/кг, ртуті – 4,2 мг/кг, нікелю – 6,8 мг/кг.

Вегетативні особини осоки шорстковолоистої висаджували у нафтозабруднений ґрунт через три тижні після внесення нафти (50 г/кг) – це необхідний термін для вивітрювання легких токсичних нафтопродуктів [18]. Рослини були однакові за віком і розмірами: висота надземної частини –  $27,4 \pm 0,53$  см, довжина підземних кореневищ –  $20,0 \pm 0,75$  см. Аналізували рослини *C. hirta* через 30 діб росту на нафтозабрудненому ґрунті.

Для встановлення участі осоки шорстко волоистої у деградації нафти рослини вирощували у стерильних горщиках і з стерильним ґрунтом в лабораторних умовах. Чисті горщики обробляли хлорним вапном, потім промивали під проточною водою до зникнення запаху хлорки, а далі промивали дистильованою водою. Повітряно-сухий чистий дерново-підзолистий ґрунт важили і розтирали, висипали у паперові ящики, які були вистелені воскованим папером, вносили активоване вугілля із розрахунку 2% вугілля від маси ґрунту. Стерилізація проходила в автоклаві при 1,5 атмосфери протягом 2 годин. У стерильні горщики вносили стерильний нафтозабруднений ґрунт. У половину горщиків висаджували рослини *C. hirta* зі стерильними коренями. Для цього коріння рослин добре відмивали від ґрунту, поміщали на 5-7 секунд у 70 % етиловий спирт, далі промивали у антисептичному засобі хлоргексидині. Після промивання коріння у спирті і антисептику – його

5-7 хв промивали дистильованою стерильною водою (дистильовану воду автоклаували). Вміст нафтопродуктів у ґрунті визначали за модифікованою методикою шляхом екстракції нафтопродуктів з проб ґрунту тетраклоридом вуглецю [4].

Для дослідження рослин як можливих очищувачів нафтозабруднених ґрунтів від важких металів заклали польові досліди. Для того, щоб умови були максимально наближеними до природних, викопали чотири рови розміром 4 м × 1 м, глибиною 25 см та вистелили поліетиленовою плівкою. У плівці пробили дірки, щоб не зупинявся природний рух вод у ґрунті. У два рови внесли по 1000 кг чистого ґрунту (контрольний ґрунт), а у два інші – таку ж кількість забрудненого ґрунту нафтою. У всі рови висаджували рослини осоки шорстковолосої. Концентрацію металів у ґрунті та рослинному матеріалі вимірювали на рентгенофлуоресцентному спектрометрі Spectro Xepos. Для аналізу використовували сухий ґрунт та рослинний матеріал, попередньо подрібнений та спресований з додаванням Licowax Micropowder [20].

Нагромадження калози в клітинних стінках оцінювали на живих поперечних зрізах кореневища осоки, забарвлених аніліновим синім. Інтенсивність флуоресценції визначали на цитофлуориметрі, сконструйованому на базі люмінесцентного мікроскопу МЛ-2 з використанням системи відбитого світла [3].

Попередні дослідження показали, що біодеградація нафти у ґрунті активно відбувається завдяки абіотичним і біотичним факторам. У модельних польових дослідах нафтозабруднений ґрунт очистився за участю рослин на 6,1% краще порівняно із нафтозабрудненим ґрунтом без рослин [16].

Отже, рослини беруть активну участь у процесах біодеградації складових нафти. Проте така участь рослини може бути як пряма, так і опосередкована. Відомо, що ризосферна зона рослин *C. hirta* має позитивний вплив на багато груп мікроорганізмів ґрунту, що можуть брати участь у деструкції вуглеводнів нафти [1]. Для того, щоб з'ясувати участь власне рослин осоки шорстковолосої в процесах деградації нафти використовували стерильний ґрунт.

Рослини *C. hirta* зі стерильними кореневищами за 30 днів росту на нафтозабрудненому попередньо простерилізованому ґрунті спричинили очищення ґрунту від нафтопродуктів на 80,9 %. В той час як нафтозабруднений стерильний ґрунт без рослин очистився від нафтопродуктів за дії абіотичних чинників середовища на 72,3 % (табл. 1). Отже, за участю рослин осоки шорстковолосої вміст нафтопродуктів знизився на 8,6 % порівняно з контролем.

Таблиця 1.

**Очищення нафтозабрудненого ґрунту за участю рослин *C. hirta*  
Cleaning oil contaminated soils using plants *Carex hirta* L**

Назва дослідю	Внесено нафти	Залишилось нафти на 30 добу дослідю	Розклалось нафти на 30 добу дослідю	Відсоток деструкції нафти
Контроль: ґрунт стерильний + нафта	50г/кг	13,9 ± 1,7 г/кг	36,2 ± 1,6 г/кг	72,3 %
Дослід: ґрунт стерильний + нафта + осока (стерильне кореневище)	50г/кг	9,5 ± 1,8* г/кг	40,4 ± 1,8* г/кг	80,9 %

Примітка: \* - різниця між контрольним і дослідними варіантами достовірна при P<0,05

Окрім органічних компонентів, до складу нафти входять важкі метали, які можуть бути додатковим чинником негативного впливу на рослини. Відомо, що важкі метали швидко нагромаджуються у ґрунті і надзвичайно повільно з нього виводяться. Ще однією особливістю важких металів є те, що накопичуються вони, здебільшого, у верхньому родючому шарі ґрунту, де становлять пряму небезпеку для рослин і мікроорганізмів [13, 19].

Нами визначено вміст важких металів у ґрунті та в рослинах *C. hirta* після 30-добового їх вирощування на нафтозабрудненому ґрунті (табл. 2).

Результати наших досліджень показують, що в нафтозабрудненому ґрунті, на якому зростали рослини *C. hirta*, концентрація більшості важких металів достовірно не відрізнялась від значень у контролі. Імовірно, внесення нафти у ґрунт не

спричинило нагромадження у ньому важких металів. Проте у місцях нафтопромислу, де нафтові розливи відбуваються хронічно, спостерігається підвищений вміст важких металів у ґрунті, що можна пояснити їх нагромадженням та акумуляцією [8].

Відомо, що рослини можуть нагромаджувати великі кількості важких металів [17]. У рослин *C. hirta*, які зростали на ґрунті, забрудненому нафтою, вміст важких металів у надземній частині був значно вищий, ніж у контролі (табл. 2). Концентрація важких металів у надземній частині рослин осоки перевищувала значення контролю: Ni та Mn – у 9 разів; Cu, Co – у 5 разів; Hg – у 4,5 рази; Zn, Cr, V, Pb, As, Cd – у 4 рази; Mo – у 3 рази. Надлишковому накопиченню важких металів у рослинах можуть сприяти: зміна рН ґрунту, нестача

вологи, підвищена температура та низька буферна ємність ґрунту [7].

Усі перелічені показники властиві для ґрунту, забрудненого нафтою. Водночас, вміст важких

металів у кореневищах рослин осоки був істотно нижчим, ніж у надземній частині.

Таблиця 2.

**Вміст важких металів у нафтозабрудненому ґрунті та 30-добових рослинах *C. hirta*, які зростали на ньому, мг кг<sup>-1</sup> маси сухої речовини**

**The content of heavy metals in oil contaminated soil and 30-day-old plants *C. hirta*, which grew on him, mg kg<sup>-1</sup> dry matter weight**

	Ґрунт		Рослини <i>C. hirta</i>			
			Надземна частина		Кореневища	
	Контроль (без нафти)	Нафта, 50 г/кг ґрунту	Контроль (без нафти)	Нафта, 50 г/кг ґрунту	Контроль (без нафти)	Нафта, 50 г/кг ґрунту
Mn	370,3±9,8	366,3±9,6	98,9±3,8	912,0±5,1	39,1±6,7	104,2±8,8
Zn	28,9±0,8	29,7±0,9	74,4±0,8	295,4±1,2	19,6±1,2	25,0±1,9
Cr	113,4±9,8	92,6±9,9	8,7±0,2	34,0±2,1	5,0±0,2	17,1±5,1
V	66,6±10,0	57,4±9,5	4,7±0,1	24,0±0,1	2,3±0,4	3,5±0,3
Cu	9,8±1,0	9,4±1,2	18,3±0,6	96,3±0,6	6,2±0,4	9,8±0,8
Ni	8,9±0,1	8,8±1,0	1,4±0,6	12,2±0,6	0,9±0,1	2,0±0,1
Mo	7,8±0,1	7,2±0,1	3,8±0,1	12,0±0,1	2,8±0,1	2,8±0,2
Co	27±1,1	27±1,2	2,8±0,1	15,0±0,8	1,6±0,1	3,8±0,4
Cd	1,2±0,1	1,4±0,1	0,8±0,1	2,3±0,1	1,2±0,1	1,3±0,1
Sn	6,0±0,1	6,0±0,1	1,4±0,1	3,7±0,1	1,4±0,1	1,3±0,1
Hg	2,7±0,1	2,7±0,1	1,2±0,1	5,4±0,1	0,5±0,1	0,4±0,1
Pb	8,1±0,8	8,3±0,8	1,1±0,1	4,5±0,1	0,7±0,1	1,6±0,4
As	2,6±0,2	2,7±0,2	0,5±0,1	2,1±0,1	0,2±0,1	0,2±0,1

Відомо, що акумуляція рослинами важких металів у високих концентраціях відбувається, здебільшого, у коренях, бо на межі корінь-стебло існує фізіологічний бар'єр, який суттєво захищає надземну частину [9].

Підземна частина осоки шорстковолосистої – це могутні кореневища пагонового походження з довгими коренями (рис. 1).

Більшість рослин поглинають воду і мінеральні елементи за допомогою корневих волосків. У рослин *C. hirta* «поглинальний» пристрій є значно потужніший, бо крім корневих волосків сюди належить екстратрикаральний міцелій грибів, що колонізували рослинне кореневище.



Рис. 1. Підземна частина рослини *C. hirta*  
The underground part of the plant *C. hirta*

Причому міцелій за умов росту на нафтозабрудненому ґрунті є значно густішим у порівнянні з контролем, збільшує адсорбційну поверхню і, відповідно, рівень кореневого живлення рослин [12].

У багатьох рослин на шляху проникнення екзогенних токсичних сполук у рослинну клітину виникають природні «барикади» на рівні клітинної стінки. Відомо, що у стресових ситуаціях у клітинах зростає вміст калози – нерозчинного структурного полісахариду клітинної стінки [11].

Внаслідок нагромадження калози утруднюється взаємозв'язок між клітинами і, відповідно, поширення полютанта. У кореневищі осоки шорстковолосистої в умовах росту на нафтозабрудненому ґрунті нагромадження калози у стінках клітин різних тканин практично знаходиться на рівні контролю (табл. 3).

Таким чином у рослин *C. hirta* не виявлено природного бар'єру на шляху поступання мінеральних елементів з ґрунту, що може бути видоспецифічною ознакою. А це, можливо, пояснює вищий рівень нагромадження деяких важких металів у надземній частині рослини у порівнянні із підземною.

Отже, рослини осоки шорстковолосистої придатні для фітореMediaції територій, які забруднені нафтою і супутніми важкими металами.

Таблиця 3.

**Нагромадження калози в тканинах кореневища *C. hirta***  
**Callose accumulation in the tissues of rhizome *C. hirta***

Варіанти	Нагромадження калози в тканинах кореневища <i>C. hirta</i> (умовні одиниці)			
	Епідерма	Первинна кора	Ендодерма	Ксилема
Контроль (грунт без нафти)	8,7 ± 1,2	5,3 ± 0,7	14,7 ± 0,7	17,3 ± 1,3
Дослід (грунт + нафта 50 г/кг)	7,4 ± 0,4	3,3 ± 0,4	10,6 ± 0,4*	13,4 ± 1,2*

Примітка: \* - різниця між контрольним і дослідним варіантами достовірна при  $P < 0,05$

Для очищення ґрунтів від надлишкової кількості металів необхідно весною висаджувати на нафтозабруднені ґрунти молоді рослини *C. hirta*, а в кінці вегетативного сезону косити надземну частину і вивозити на спеціально призначене місце для вилучення важких металів або їх знешкодження. Поглинені нафтопродукти рослина метаболізує в процесі життєдіяльності. Оскільки рослини *C. hirta* багаторічні і вегетативно добре

розмножуються, то їх одноразове висаджування забезпечить фіторе mediaційний ефект на тривалий час. Такий підхід щодо очищення середовища важливий найперше для м. Борислава із населенням 37,4 тисячі мешканців, що живе і функціонує на нафтозабруднених ґрунтах, важливий в контексті перспектив містобудування.

#### СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Буньо Л.В., Цвілинюк О.М., Терек О.І., Величко О.І., Микієвич І.М. Активність мікрофлори нафтозабрудненого ґрунту у ризосферній зоні рослин *Carex hirta* // Біологічні студії. – Т.4. – № 3. – 2010. – С.55 – 62.
2. Галиулін Р.В., Галиуліна Р.А., Возняк В.М. Фитоекстракция Си и Ni из загрязненного выщелоченного чернозема. Агрехимия, 2004; 12: С.36–40.
3. Демків О.Т., Федьк Я.Д., Солук А.Р. Люминисцентно-микроскопические исследования внутриклеточной упорядочности органелл и микрофибрилл целлюлозы в нитчатых и пластинчатых органах гаметофита листовных мхов // Цитология. – 1982. – 24, №8 – С. 924-930.
4. Дмитриев М.Т., Казнина Н.И., Пинигина И.А. Санитарно-химический анализ загрязняющих веществ в окружающей среде: Справ. изд. – М.: Химия, 1989. – 368 с.
5. Іваницький Є.А., Михалевич В.Й. Історія Бориславського нафтопромислового району в датах, подіях і фактах. – Дрогобич: Добре серце, 1995. – 127 с.
6. Єгоричева С.Б. Роль банків у забезпеченні сталого розвитку// «Сталий розвиток 2030: економічна, соціальна, екологічна та політична складові» матеріали доповідей міжнародної міждисциплінарної конференції (Грузія, Тбілісі, 2017). – Тбілісі – Львів, 2017. – С.40-43.
7. Ринькис Г.Я. Сбалансированное питание растений макро- и микроэлементами / Г.Я. Ринькис, В.Ф. Ноллендорф. – Рига: Зинатне, 1982. – 276 с
8. Романюк О.І. Вплив довготривалої експлуатації Бориславського нафтового родовища на стан ґрунтів м. Борислава / О.І. Романюк, І.В. Дудок, І.В. Ощеповський, Н. Кучманіч // Матеріали міжнародної конференції “Технології підземного видобутку корисних копалин. Рудникова аерологія та безпека праці. Геологія”. – Дніпропетровськ : Національний гірничий університет, 2006. – С. 240–247.
9. Тарабрин В. П. Механизмы устойчивости растений к загрязнению среды тяжелыми металлами : сб. науч. трудов / В. П. Тарабрин. – К. : Наук. думка, 1984. – С. 34–36.
10. Цайтлер М.Й. Екологічні наслідки довготривалого нафтовидобутку на Бориславському нафтовому родовищі / Цайтлер М. Й. // Праці НТШ. (Екологічні проблеми Львівщини). – Львів, 2000. – № 7. – С. 84–90.
11. Цвілинюк О.М. Морфогенез коренів кукурудзи під впливом 6-БАП та  $\alpha$ -НОК Автореферат на здобуття наукового ступеня к.б.н.-Київ, 1998.-19 с.
12. Цвілинюк О. Мікориза у *Carex hirta* L. як одна із умов виживання в нафтозабрудненому ґрунті / О.М. Цвілинюк, Л.В. Буньо, О.Л. Карпін, О.І. Терек // Вісник Львівського ун-ту. Серія біологічна. 2012. Вип. 60. С. 320-326.
13. Amadi A. Chronic effects of oil spill on soil properties and microflora of a rainforest ecosystem in Nigeria / A Amadi, S. Abbey, A. Nma // Water, Air Soil Pollut. – 1996. – Vol. 86. – P. 1–11.
14. Anderson I. Role of carotenoids in protecting chlorophyll from photodestruction / I. Anderson, D. Robertson // Plant Physiology. – 1960. – Vol. 35. – P. 531–534.
15. Baker J. The effects of oils on plants / J. Baker // Environ. Pollut. – 1970. – Vol. 1. – P. 27–44.
16. Dzhura N. Using plants for reclamation of oil polluted soils / N.Dzhura, O.Romanyuk, I.Oshchapovsky, O.Tsvilynyuk, O.Terek, A.Turovsky, G.Zaikov // In: Handbook of Polymer Research: Monomers, Oligomers, Polymers and Composites. – New York: Nova Science Publishers, Inc. - 2007. - P. 125-129
17. Freedman B. Environmental ecology (The impacts of pollution and other stresses on ecosystem structure and function) / B.Freedman. – New York : Academic Press, 1996. – P. 54–62.
18. Frick C. M. Assessment of Phytoremediation as an In-Situ Technique for Cleaning Oil-Contaminated Sites / C. M. Frick, R. E. Farrell, J. J. Germida // Petroleum Technology Alliance of Canada, Calgary. – 1999. – S7. N 5A8. – P. 23–25.

19. Kelly J. Effects of heavy metals contamination and remediation on soil microbial communities in the vicinity of a Zn smelter / J. Kelly, R. Tate // J. Environ. Qual. – 1998. – Vol. 27. – P. 609–617.
20. Yalcin M.-G. Heavy metal sources in Sultan Marsh and its neighborhood, Kayseri, Turkey / M.-G. Yalcin, R. Battaloglu, I. Semih // Environmental geology. – 2007. – Vol. 53, №2. – P. 399–415.

## REFEENCES

1. Buno L.V., Tsvilyniuk O.M., Terek O.I., Velychko O.I., Mykiiyevych I.M. Aktyvnist mikroflory naftozabrudnenoho gruntu u ryzosferinii zoni roslyn Carex hirta [The activity of microorganisms in soil of contaminated zone ryzospheric *Carex hirta* plant] // *Biologichni studii*. – Vol.4. – # 3. – 2010. – pp.55 – 62. (in Ukrainian).
2. Galiulin R.V., Galiulina R.A., Voznyak V.M. Fitoekstraksiya Cu i Ni iz zagryaznennogo vyshchelochennogo chernozema [Phytoextraction of Cu and Ni from contaminated leached top soil] // *Agrokhimiya*, 2004; #12: pp.36–40. (in Russian).
3. Demkiv O.T., Fedyk Ya.D., Soluk A.R. Lyuminiscentno-mikroskopicheskie issledovaniya vnutrikletочноy uporyadochnosti organell i mikrofibrill tsellyulozy v nitchastykh i plastinchatykh organakh gametofita listvennykh mkhov [Luminescence-microscopic studies of intracellular orderliness of organelles and microfibrils of cellulose in filamentous and lamellar organs of gametophyte of deciduous mosses] // *Tsitologiya*. – 1982. – 24, №8 – pp. 924-930. (in Russian).
4. Dmitriev M.T., Kaznina N.I., Pinigina I.A. Sanitarno-khimicheskii analiz zagryaznyayushchikh veshchestv v okruzhayushchey srede [Sanitary and chemical analysis of pollutants in the environment]: *Sprav. izd.* – M.: Khimiya, 1989. – 368 p. (in Russian).
5. Ivanytskyi Ye.A., Mykhalevych V.Y. Istoriia Boryslavskoho naftopromysloвого raionu v datakh, podiiakh i faktakh [History Borislav oil area in dates, events and facts] – Drohobych: Dobre sertse, 1995. – 127 p. (in Ukrainian)
6. Yehorycheva S. B. Rol bankiv u zabezpechenni staloho rozvytku [The role of banks in sustainable development] - «*Stalyi rozvytok 2030: ekonomichna, sotsialna, ekolohichna ta politychna skladovi*» materialy dopovidei mizhnarodnoi mizhdystyplinarnoi konferentsii (Hruzii, Tbilisi, 2017). – Tbilisi – Lviv, 2017. – pp.40-43. (in Ukrainian).
7. Rinkis G.Ya., Nollendorf V.F. Sbalansirovannoe pitanie rasteniy makro- i mikroelementami [Balanced nutrition of plants with macro- and microelements]. – Riga : Zinatne, 1982. – 276 p. (in Russian).
8. Romaniuk O.I., Dudok I.V., Oshchapovskiy I.V., Kuchmanyh N. Vplyv dovhotryvaloi ekspluatatsii Boryslavskoho naftovoho rodovyscha na stan gruntiv m. Boryslava [Effect of long-term operation Borislav oil field on the condition of Borislav soil] // *Materialy mizhnarodnoi konferentsii "Tekhnologii pidzemnogo vydobutku korysnykh kopalyn. Rudnykova aerolohiia ta bezpeka pratsi. Heolohiia"*. – Dnipropetrovsk : Natsionalnyi hirnychi universytet, 2006. – pp. 240–247. (in Ukrainian).
9. Tarabrin V. P. Mekhanizmy ustoychivosti rasteniy k zagryazneniyu srede tyazhelymi metallami [Mechanisms of plant resistance to heavy metal pollution]: *sb. nauch. trudov*. – K. : Nauk. dumka, 1984. – pp. 34–36. (in Russian).
10. Tsaitler M. Y. Ekolohichni naslidky dovhotryvaloho naftovydobutku na Boryslavskomu naftovomu rodovyschi [The environmental impact of oil production on the oil field Borislav] // *Pratsi NTSh. (Ekolohichni problemy Lvivshchyny)*. – Lviv, 2000. – # 7. – pp. 84–90. (in Ukrainian).
11. Tsvilyniuk O.M. Morfohenez koreniv kukurudzy pid vplyvom 6-BAP ta  $\alpha$ -NOK [Morphogenesis maize roots under the influence of 6-BAP and  $\alpha$ -NOC] // *Avtoreferat na zdobuttia naukovoho stupenia PhD.* – Kyiv, 1998. – 19 p.
12. Tsvilyniuk O.M., Buno L.V., Karpyn O.L., Terek O.I. Mikoryza u *Carex hirta* L. yak odna iz umov vyzyvannya v naftozabrudnenomu gruntu [Mycorrhiza in *Carex hirta* L. as one of survival in conditions of contaminated soil] // *Visnyk Lvivskoho un-tu. Seriya biologichna*. – 2012. – Vol. 60. – pp. 320-326. (in Ukrainian).
13. Amadi A. Chronic effects of oil spill on soil properties and microflora of a rainforest ecosystem in Nigeria / A Amadi, S. Abbey, A. Nma // *Water, Air Soil Pollut.* – 1996. – Vol. 86. – P. 1–11.
14. Anderson I. Role of carotenoids in protecting chlorophyll from photodestruction / I. Anderson, D. Robertson // *Plant Physiology*. – 1960. – Vol. 35. – P. 531–534.
15. Baker J. The effects of oils on plants / J. Baker // *Environ. Pollut.* – 1970. – Vol. 1. – pp. 27–44.
16. Dzhura N., Romanyuk O., Oshchapovsky I., Tsvilynyuk O., Terek O., Turovsky A., Zaikov G. Using plants for recultivation of oil polluted soils // In: *Handbook of Polymer Research: Monomers, Oligomers, Polymers and Composites*. – New York: Nova Science Publishers, Inc. - 2007. - pp. 125-129
17. Freedman B. Environmental ecology (The impacts of pollution and other stresses on ecosystem structure and function) / B.Freedman. – New York : Academic Press, 1996. – pp. 54–62.
18. Frick C. M. Assessment of Phytoremediation as an In-Situ Technique for Cleaning Oil-Contaminated Sites / C. M. Frick, R. E. Farrell, J. J. Germida // *Petroleum Technology Alliance of Canada, Calgary*. – 1999. – S7. N 5A8. – pp. 23–25.
19. Kelly J. Effects of heavy metals contamination and remediation on soil microbial communities in the vicinity of a Zn smelter / J. Kelly, R. Tate // J. Environ. Qual. – 1998. – Vol. 27. – pp. 609–617.
20. Yalcin M.-G. Heavy metal sources in Sultan Marsh and its neighborhood, Kayseri, Turkey / M.-G. Yalcin, R. Battaloglu, I. Semih // *Environmental geology*. – 2007. – Vol. 53, №2. – pp. 399–415.

Стаття рекомендована до публікації: д.т.н., професор Лучко Й.Й.; к.б.н., ст.н.с. Мороз О.М.

Стаття надійшла до редколегії 27.04.2017 р.