

ФЕРМЕНТАТИВНА АКТИВНІСТЬ НАФТОЗАБРУДНЕНИХ ҐРУНТІВ У ПРОЦЕСІ ФІТОРЕКУЛЬТИВАЦІЇ РОСЛИНАМИ КУКУРУДЗИ (*ZEА MAYS L.*)

М. Мекіч*, Н. Джура, О. Терек

Львівський національний університет імені Івана Франка
вул. Грушевського, 4, Львів 79005, Україна
e-mail: Horon.Marta@gmail.com

У статті представлено результати дослідження ферментативної активності нафтозабруднених ґрунтів у процесі фіторекультивациї рослинами кукурудзи (*Zea mays L.*). Встановлено, що нафтове забруднення призводить до змін активності усіх досліджуваних ферментів ґрунту. При цьому виявлено зростання активності каталази, дегідрогенази, поліфенолоксидази та протеази за впливу рослин кукурудзи, проте не встановлено достовірного впливу на активність ліпази. Отже, рослини *Z. mays* сприяють відновленню ферментативної активності нафтозабруднених ґрунтів.

Ключові слова: нафтове забруднення ґрунту, фіторекультивация, ферментативна активність ґрунту.

На сьогоднішній день екологічною проблемою світового масштабу є забруднення ґрунтів нафтою і нафтопродуктами [15]. Негативний вплив нафти позначається на усіх компонентах ґрунту і має довготривалі наслідки до 10–20 років при високих рівнях забруднення [25]. Для ліквідації нафтових виливів застосовують різні технології, проте найбільшу перевагу мають фіторекультивацийні як безпечні для довкілля й економічно вигідні.

Для оцінки фіторекультивацийного потенціалу рослин і якості ґрунту найчастіше визначають ступінь деградації вуглеводнів нафти. Однак такий підхід часто недооцінює довготривалий ефект фіторекультивациї, яка сприяє цілісному відновленню ґрунтової екосистеми. Так, відомо, що основний рекультивацийний вплив рослин відбувається опосередковано через стимуляцію активності мікробіоти у прикореневій зоні. Тому для оцінки ефективності проведеної рекультивациї необхідно брати до уваги вплив рослин на біотичну складову ґрунту, використовуючи найбільш інформативні показники [26, 29].

Ферментативна активність (ФА) ґрунту розглядається як ранній чутливий індикатор для визначення ступеня деградації та якості ґрунту за впливу поліютанта [33, 34]. ФА ґрунту зумовлена сумарним запасом ферментів, виділених у процесі життєдіяльності рослин і мікроорганізмів, а також акумульованих ґрунтом після руйнування відмерлих клітин. Окрім того, ферментативна активність ґрунту тісно корелює із фізико-хімічними властивостями ґрунту і таким чином є похідною як біотичних, так і абіотичних факторів [10]. Ферменти відіграють ключову роль у біохімічних перетвореннях і визначають здатність ґрунту до деструкції забруднювальних речовин [23]. Тому метою нашого дослідження було оцінити ферментативну активність нафтозабруднених ґрунтів у процесі фіторекультивациї рослинами кукурудзи (*Zea mays L.*) сорту Закарпатська жовта зубоподібна. Відомо, що рослини кукурудзи є стійкими до нафтового забруднення і сприяють зменшенню концентрації нафтопродуктів у ґрунті [28, 32].

Матеріали та методи

Досліди закладали у мікропольових умовах на території міста Судова Вишня (квітень 2013). Дослідні ділянки розміром 1,2 м×0,6 м (0,72 м²) забруднювали сировою нафтою

(густина нафти 0,86 г/л), яку рівномірно розливали на поверхню ґрунту в кількості 10 л/м². Гранулометричний склад ґрунту: 61% пісок, 17% пил, 22% глина, вміст гумусу 2,3%. Через 1,5 місяця після внесення нафти ґрунт розрихлювали і висівали насіння рослин *Z. mays*. Варіанти: 1 – ґрунт без нафти і рослин (контроль); 2 – ґрунт без нафти з рослинами; 3 – нафтозабруднений ґрунт без рослин; 4 – нафтозабруднений ґрунт з рослинами. З кожної ділянки польового досліду брали одну змішану пробу, яку готували із 5 індивідуальних проб, відібраних методом конверта. Маса середньої проби 250–300 г ґрунту. Проби ґрунту відбирали на глибині 3–7 см із кореневої зони рослин і на відповідній глибині у варіантах без рослин, час відбору – перед висіванням насіння, а також через 1 і 2 місяці вегетації *Z. mays* [9, 19].

Ферментативну активність визначали у ґрунтах, висушених до повітряно-сухого стану. Каталазну активність визначали газометричним методом за кількістю виділеного O₂ при розкладанні H₂O₂, дегідрогеназну активність – фотоколориметрично за концентрацією утвореного формазону [20], поліфенолоксидазну активність – титруванням залишку аскорбінової кислоти йодометричним методом [5], протеазну активність – фотоколориметрично за утворенням амінного азоту при розкладанні желатину, ліпазну активність – лужним титруванням утворених жирних кислот [19], залишкову концентрацію нафти – гравіметричним методом [3]. Дані статистично опрацьовували за допомогою програмного пакету Microsoft Excel, достовірність різниці між варіантами оцінювали за критерієм Стьюдента, використовуючи 5% рівень значущості [12].

Результати і їхнє обговорення

Відомо, що унаслідок нафтового забруднення змінюються окисно-відновні властивості ґрунту, оскільки нафта і нафтопродукти заповнюють пори, обгортають часточки ґрунту, тим самим знижують повітропроникність, створюють анаеробні умови і зменшують окисно-відновний потенціал ґрунту. Показано, що більш чутливі до окисно-відновних умов оксидоредуктази, ніж гідролази [4]. Нами визначена активність оксидоредуктаз нафтозабруднених ґрунтів у процесі фіторекультиваци, отримані результати наведені в табл. 1. Каталазна активність розглядається як один із найінформативніших біологічних параметрів ґрунту при проведенні моніторингу у процесі біоремедіації [36]. Багатьма дослідниками запропоновано використовувати активність каталази як показник загальної біологічної активності ґрунту з різним рівнем забруднення нафтою та органічними речовинами [1, 15].

Висока каталазна активність (КА) є важливою з огляду на її антиоксидантну функцію. Кисень, який утворюється за участю каталази, може використовуватися ґрунтовими мікроорганізмами, що є важливим у забезпеченні відповідних умов для швидкого очищення нафтозабруднених ґрунтів.

Наші результати засвідчують, що нафтове забруднення спричинює зниження каталазної активності ґрунту перед висіванням насіння на 20% порівняно з контролем (табл. 1). Зниження КА свідчить про токсичний вплив нафти на ґрунтову біоту. Проте через місяць після вегетації *Z. mays* каталазна активність була удвічі вищою, ніж у забрудненому ґрунті без рослин (варіант 4 до варіанта 3), що є важливим показником забезпечення відповідних умов для швидкого очищення нафтозабруднених ґрунтів. Через 2 місяці вегетації рослин КА суттєво не відрізнялася в усіх варіантах, окрім варіанта 3 – цей показник був найнижчим на кожному етапі досліджень. Проте за участю рослин *Z. mays* КА ґрунту зростала (варіант 2 щодо варіанта 1, варіант 4 щодо варіанта 3).

Деякі дослідники виявляють зниження КА із зростанням концентрації нафти у ґрунті [11]. Проте при нижчих рівнях забруднення, зокрема при 1 і 5% для чорнозему та для сірого лісового ґрунту при 10 і 20 кг/м² показано зростання каталазної активності [1], що

може бути пов'язано з незначним токсичним ефектом нафти і стимулювальним впливом вуглеводнів на життєдіяльність мікроорганізмів [4].

Таблиця 1

Активність оксидоредуктаз нафтозабруднених ґрунтів у процесі фіторекультиваци

Варіант *	Активність каталази, мл O ₂ /хв×г ґрунту			Активність дегідрогенази, одиниці оптичної густини розчину формаону			Активність поліфенолоксидази, мл 0,01 КJО ₃ на 100 г ґрунту	
	Перед висіванням насіння	1 місяць після вегетації	2 місяці після вегетації	Перед висіванням насіння	1 місяць після вегетації	2 місяці після вегетації	Перед висіванням насіння	2 місяці після вегетації
1	0,43±0,02	0,35±0,05	0,33±0,02	0,254±0,01	0,106±0,02	0,077±0,001	5,5±0,5	11±1
2		0,40±0,01	0,41±0,02		0,102±0,01	0,129±0,01		4,7±0,7
3	0,34±0,02	0,17±0,03	0,28±0,02	0,112±0,02	0,225±0,02	0,136±0,004	6,7±0,7	5±1
4		0,32±0,03	0,32±0,02		0,358±0,02	0,113±0,03		9,3±1,3

Примітка. * Варіанти як у тексті.

Біологічне окиснення органічних сполук відбувається за участю *дегідрогеназ*. Активність ґрунтових дегідрогеназ часто використовують для оцінки мікробіологічного стану ґрунтів. Ці ферменти локалізовані лише в інтактних клітинах. Виявлено негативний зв'язок між активністю дегідрогеназ і наявністю деяких токсичних сполук, наприклад фенолів, і позитивний зв'язок – із дихальною активністю мікроорганізмів [31].

Встановлено, що за дії нафти перед висіванням насіння дегідрогеназна активність (ДА) нафтозабрудненого ґрунту була удвічі меншою (варіант 3 щодо варіанта 1), проте через місяць, навпаки, – удвічі вищою порівняно із контролем. У цей час найвищу ДА спостерігали у нафтозабрудненому ґрунті з рослинами (варіант 4) – удвічі вища, ніж у контролі, та в 1,5 рази – ніж у забрудненому ґрунті без рослин (відповідно варіанти 1, 3). Через 2 місяці ДА залишалася вищою у нафтозабрудненому ґрунті, проте була однаковою у нафтозабруднених ґрунтах як із рослинами, так і без них. Отже, дегідрогеназна активність нафтозабруднених ґрунтів також зростала у процесі фіторекультиваци через 1 місяць після вегетації, тоді як через 2 місяці після вегетації сягала варіанта «нафтозабруднений ґрунт без рослин».

Встановлено, що сира нафта, н-гексадекан і л-гексадеканол стимулювали активність дегідрогенази, а органічні кислоти (бензойна, пальмітинова, саліцилова кислоти) й ароматичні вуглеводні в концентрації 1% – пригнічували її [7]. Відомо про стимулювальний вплив дизельного пального на ДА ґрунту: найвищу активність спостерігали у початковий період забруднення [30] та її зростання зі збільшенням рівня забруднень [35]. Тоді як за дії нафти на початку забруднення ДА була знижена, але відновлювалася через 1–2 роки [8, 10] і була трохи вищою через кілька років [13]. Зростання ДА на нафтозабруднених ґрунтах пов'язують із адаптацією та розмноженням деструкторів [23, 27, 30].

Поліфенолоксидази (ПФО) беруть участь у перетворенні органічних сполук ароматичного ряду в компоненти гумусу. Вони каталізують окиснення фенолів до хінонів за наявності кисню повітря [19].

За результатами нашого дослідження активність ПФО в умовах нафтового забруднення перед висіванням насіння залишалася на рівні контролю (варіант 3 щодо варіанта 1). Однак через 2 місяці ПФО активність була вдвічі нижчою за дії нафти порівняно з контролем (варіант 4 щодо варіанта 1), тоді як після проведення фіторекультиваци

активність ПФО була в межах контролю (варіант 4 щодо варіанта 1). Таким чином рослини кукурудзи сприяли збереженню ПФО активності нафтозабрудненого ґрунту. У ґрунті без нафти з рослинами (варіант 2) активність даного ферменту знижувалася. Можливо, це пов'язано зі зниженням процесів розкладу органічної речовини [18].

Встановлено позитивну кореляцію між концентрацією гідроксибензену та поліфенолоксидазною активністю [36]. Подібна залежність у часі «пригнічення-стимулювання» була відзначена і для ґрунтів, забруднених нафтою у кількості 5, 10 і 15%. Це може свідчити про трансформацію продуктів розкладу нафти в компоненти гумусу [18].

Ліпаза, яка розщеплює ліпіди до гліцерину та жирних кислот, продукується великим видовим різноманіттям мікроорганізмів, тварин і рослин [27]. Під час проведення моніторингу ґрунтів, забруднених вуглеводнями, ліпаза показала великий індикаційний потенціал серед протестованих ферментів [30, 31].

Нами показано, що ліпазна активність (ЛА) у нафтозабрудненому ґрунті перед посівом насіння була знижена приблизно у 2,5 разу, через місяць – удвічі (варіант 3 щодо варіанта 1) (табл. 2). Очевидно, початковий інгібуючий ефект пов'язаний із дією найбільш токсичних летких фракцій нафти. Однак через два місяці ЛА була майже удвічі вищою порівняно з контролем (варіант 1, 2 щодо варіантів 3, 4). Слід відмітити, що проведена фіторекультивация не мала помітного впливу на активність даного ферменту в нафтозабрудненому ґрунті. ЛА знижувалася на незабруднених ділянках протягом досліджуваного періоду, що, очевидно, пов'язано зі сезонними коливаннями.

Слід відмітити, що основним компонентом нафти є вуглеводні, деградація яких відбувається із накопиченням кислих продуктів. Окиснення вуглеводнів відбувається послідовно з утворенням спирту, альдегіду та кінцевих продуктів – кислот і оксикислот [16]. Деякі з продуктів трансформації нафти можуть реагувати між собою, утворюючи складніші сполуки. Встановлено, що в міру зростання давності нафтового забруднення утворення ліпідів зростало [2, 17]. Також підвищення інтенсивності процесів ліполізу пов'язане з тим, що в деградації ліпідів беруть участь ферментні системи, дуже подібні до системи біодеградації нафти [30].

Деякими дослідженнями показано сильний негативний зв'язок між органічним забрудненням і ліпазною активністю у ґрунті [31]. Високі дози нафти (100г/кг) тривалий час інгібували ліпази сірого лісового ґрунту, і лише через рік цей показник наближався до контрольних значень, а через 2 роки – перевищував рівень контролю [15]. Показано, що при низьких концентраціях нафти у ґрунті (2%) активність ліпази суттєво знижувалася [21]. Однак активність ферменту відновлювалася при зменшенні вмісту вуглеводнів, причому зростала значно повільніше на неудобрених ґрунтах, ніж на удобрених [30]. Проте інші дослідники виявили зростання ліпазної активності на фоні збільшення концентрації дизельного пального у ґрунті від 2 до 50 г/кг ґрунту [36].

Таблиця 2

Активність гідролаз нафтозабрудненого ґрунту у процесі фіторекультивации

Варіант *	Активність ліпази, мл 0,1 КОН×г ґрунту			Активність протеази, одиниці оптичної густини розчину амінного азоту	
	Перед висіванням насіння	1 місяць після вегетації	2 місяці після вегетації	Перед висіванням насіння	2 місяці після вегетації
1	0,28±0,01	0,12±0,005	0,08±0,01	0,276±0,055	0,249±0,013
2		0,07±0,003	0,09±0,01		0,270±0,04
3	0,11±0,01	0,06±0,001	0,15±0,01	0,290±0,047	0,285±0,057
4		0,05±0,005	0,17±0,02		0,306±0,042

Примітка. * Варіанти як у тексті.

Відомо, що кругообіг нітрогену у ґрунті тісно пов'язаний з активністю протеолітичних ферментів. Зокрема, **активність протеази** відображає інтенсивність процесів амоніфікації. Нами виявлено, що нафта стимулювала протеазну активність (ПА) нафтозабрудненого ґрунту протягом усього досліджуваного періоду (варіант 3 щодо варіанта 1). Рослини кукурудзи також підвищували активність даного ферменту як у незабрудненому, так і в нафтозабрудненому ґрунтах (варіанти 2, 4 щодо варіантів 1, 3 відповідно).

Вплив нафти на активність ферментів багатофакторний: прямий (інгібування, руйнування або активація ферментів) і опосередкований (зміна ферментного пулу ґрунту в результаті інгібування росту ґрунтової біоти). Так, показано, що нафта спричиняла зниження активності акумуляованих у ґрунті протеази та нітратредуктази, проте це пригнічення було компенсоване ростом відповідно амоніфікаторів і денітрифікаторів, які продукували нові ферменти [7]. Очевидно, отримані нами результати про підвищену активність протеази за участю фіторемедіантів свідчать про стимуляцію активності амоніфікаторів.

За літературними даними, нафта пригнічувала ПА [6]. Ступінь пригнічення зростав із рівнем забруднення та часом [10]. При забрудненні ґрунту нафтою 20 кг/м² протеазна активність відновлювалася тільки через 2 роки [8]. Відомо також про негативний вплив нафти на активність інших ферментів циклу нітрогену: глутаміназу, нітрат- і нітритредуктазу. Зміни у ферментативній активності були пов'язані зі зниженням вмісту у ґрунті NO₃ і вільних амінокислот паралельно до рівня забруднення та зі зростанням вмісту NH₄-N [10]. Проте є дані про стимулювальну дію нафти на активність цього ферменту на пізніших етапах забруднення [11].

Для підтвердження фіторекультивацийного впливу *Z. mays* на якість ґрунту ми визначали залишкову концентрацію нафтопродуктів. За результатами досліджень встановлено, що після двох місяців вегетації рослин вміст нафти у ґрунті зменшився від 7,5±0,1 до 2,1±0,2%, тоді як у нафтозабрудненому ґрунті без фіторекультивантів – до 2,7±0,2%.

Фіторекультивацийний вплив, на нашу думку, матиме також віддалені наслідки, оскільки стимульовано низку біологічних процесів і змінено умови деструкції нафти. Тому кінцевий результат може бути оцінений лише у тривалій часовій перспективі.

Отже, рослини *Z. mays* сприяли швидшому відновленню активності оксидоредуктаз у нафтозабрудненому ґрунті (каталази та дегідрогенази – через місяць, поліфенолоксидази – через два місяці рекультивациї), а також стимулювали протеазну активність порівняно з нафтозабрудненим ґрунтом без рослин. Проте не виявили достовірного впливу рослин кукурудзи на ліпазну активність ґрунту у процесі фіторекультивациї, однак спостерігали зростання ЛА нафтозабрудненого ґрунту з часом.

Таким чином, нами показано, що рослини *Z. mays* як фіторекультиванти не лише сприяють зменшенню концентрації нафти у ґрунті, а й позитивно впливають на ферментативну активність.

СПИСОК ВИКОРИСАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Алиев С. А., Гаджиев Д. А. Влияние загрязнения нефтяным органическим веществом на активность биологических процессов почв // Известия АН АзССР. Сер. Биол. науки. 1977. № 2. С. 46–49.
2. Амосова Я. М., Бочарникова Е. А. Методы контроля нефтезагрязненных почв // Физические и химические методы исследования почв: сб. науч. тр. / под ред. А.Д. Воронина и Д. С. Орлова. М.: Изд-во МГУ, 1994. С. 69–86.

3. Бетелев Н. П. Методы определения загрязнения грунтов углеводородами // Геозкология. Инженерная геология. Гидрогеология. Геокриология. 1998. № 1. 121 с.
4. Бородулина Т. С. Влияние нефтезагрязнения окружающей среды на ростовые и физиологические характеристики опытных живых организмов // Проблемы современной аграрной науки: материалы междунар. заочной науч. конф. (Красноярск, 2010). С. 39–41.
5. Грицаєнко З. М., Грицаєнко А. О., Карпенко В. П. Методи біологічних та агрохімічних досліджень рослин і ґрунтів. К.: ЗАТ «Нічлава», 2003. 320 с.
6. Демиденко А. Я., Демурджан В. М. Пути восстановления плодородия нефтезагрязненных почв черноземной зоны Украины // Восстановление нефтезагрязненных почвенных экосистем. М.: Наука, 1988. С. 197–206.
7. Исмаилов Н. М., Армедов А. Г., Ахмедов В. А. Рекультивация нефтезагрязненных земель сухих субтропиков Азербайджана // Восстановление нефтезагрязненных почвенных экосистем. М.: Наука, 1988. С. 206–221.
8. Исмаилов Н. М. Нефтяное загрязнение и биологическая активность почв // Добыча полезных ископаемых и геохимия природных экосистем. М.: Наука, 1982. С. 227–235.
9. Казеев К. Ш., Колесников С. И., Вальков В. Ф. Биологическая диагностика и индикация почв: методология и методы исследований. Ростов н/Д: Изд-во Ростов. ун-та, 2003. 204 с.
10. Казиев Ф. К., Тишкина Е. И., Киреева Н. А. Влияние нефтепродуктов на биологическую активность почвы // Биологические науки. Т. 10. 1988. С. 93–99.
11. Киреева Н. А., Водолятов В. В., Мифтахова А. М. Биологическая активность нефтезагрязненных почв. Уфа: Гилем, 2001. 376 с.
12. Кучеренко М. С., Бабенюк Ю. Д., Войціцький В. М. Сучасні методи біохімічних досліджень. К.: Укрсоціоцентр, 2001. 424 с.
13. Микатанов А. Х., Ривкин П. Р. Влияние нефти на свойства почв // Нефтяное хозяйство. 1980. Т. 4. С. 53–54.
14. Назаров А. В. Влияние нефтяного загрязнения почвы на растения // Вестн. Пермск. ун-та. Сер. биол. 2007. № 5. С. 134–140.
15. Новоселова Е. И. Экологические аспекты трансформации ферментного пула почвы при нефтяном загрязнении и рекультивации: автореф. дис. ... д-ра биол. наук. Воронеж, 2008. 43 с.
16. Пиковский Ю. И. Трансформация техногенных потоков нефти в почвенных экосистемах // Восстановление нефтезагрязненных почвенных экосистем. М.: Наука, 1988. С. 7–22.
17. Пиковский Ю. И. Природные и техногенные потоки углеводородов в окружающей среде. М.: Изд-во МГУ, 1993. 280 с.
18. Русанов А. М., Мисетов И. А., Шорина Т. С. К вопросу диагностики и оценки загрязненных нефтью черноземов // Вестн. Томск. ун-та. 2012. № 364. С. 219–224.
19. Хазиев Ф. Х. Методы почвенной энзимологии. М.: Наука, 2005. 252 с.
20. Федорц Н. Г., Медведев М. В. Методика исследования почв урбанизованных территорий. Петрозаводск, 2009. 84 с.
21. Bahrampour T., Moghanlo V. Evaluation of soil biological activity after soil contaminating by crude oil // Int. J. Agriculture: Res. Rev. 2012. Vol. 2. N 6. P. 671–679.
22. Frankenberger W. T., Johanson J. B. Influence of crude oil and petroleum products on soil dehydrogenase activity // J. Environ. Qual. 1982. Vol. 11. P. 602–607.
23. Frankenberger W. T., Dick W. T. Relationships between enzyme activities and microbial growth and activity indices in soil // Soil Sci. Soc. Am. J. 1983. Vol. 47. P. 945–951.

24. *Howard P. J.* Problems in the estimation of biological activity in soil // *Oikos*. 1972. Vol. 23. P. 230–240.
25. *Hunt P. G., Ricard W. F., Drnece F. J.* Terrestrial oil spills in Alaska: Environmental effects and recovery // *Pros. of Joint conf. on precentation and control of oil spills*. Washington. 1973. P. 733–740.
26. *Hutchinson S., Schwab A., Banks M.* Biodegradation of petroleum hydrocarbons in the rhizosphere / In: *Phytoremediation: Transformation and Control of Contaminants*. NJ: John Wiley, 2003. Ch. 11. P. 355–386.
27. *Jaeger K. E., Randac S., Dijkstra B. W.* et al. Bacterial Lipases // *Microbiological Letters*. 1994. Vol. 15. P. 29–63.
28. *Josiah M., Reginald B., Kogbara N.* Determining the tolerance level of *Zea mays* (maize) to a crude oil polluted agricultural soil // *African J. Biotechnol.* 2007. Vol. 6 (11). P. 1332–1337.
29. *Mackova M., Dowling D., Macek T.* *Phytoremediation and Rhizoremediation*. Springer, 2006. P. 1–2.
30. *Margesin R., Zimmerbauer A., Schinner F.* Monitoring of bioremediation by soil biological activities // *Chemosphere*. 2000. Vol. 40. P. 339–346.
31. *Riffaldi R., Leviminzi R., Cardelli R.* et al. Soil biological activities in monitoring the bioremediation of diesel oil-contaminated soil // *Water, air, and soil pollution*. 2006. Vol. 170. P. 3–15.
32. *Telysheva G., Jashina L., Lebedeva G.* et al. Use of plants to remediate soil polluted with oil // *Environment. Technology. Resources. Proceedings of the 8th Int. Scientific and Practical Conf. Volume 1*, 2011. P. 38-45.
33. *Trasar-Cepeda C., Leiro's M., Seoane S, Gil-Sotres F.* Limitation of soil enzymes as indicators of soil pollution // *Soil Biol Biochem*. 2000. Vol. 32. P. 455–499.
34. *van Beelen P. V., Doelman P.* Significance and application of microbial toxicity tests in assessing ecotoxicological risks of contaminants in soil and sediment // *Chemosphere*. 1997. Vol. 34. P. 455–499.
35. *Wyszkowska J., Kucharski J., Waldowska E.* The influence of diesel oil contamination on soil enzymes activity // *Rostlinná Výroba*. 2002. Vol. 48. P. 58–62.
36. *Xin Lin, Xiao Jun, Sun Peiju* et al. Changes in microbial populations and enzyme activities during the bioremediation of oil-contaminated soil // *Bull. Environ. Contam. Toxicol.* 2009. Vol. 83. P. 542–547.

Стаття: надійшла до редакції 16.04.14

доопрацьована 25.02.15

прийнята до друку 16.03.15

**ENZYME ACTIVITY OF OIL CONTAMINATED SOILS IN THE
PHYTOREMEDIATION PROCESS BY MAIZE PLANTS (*ZEA MAYS* L.)**

M. Mekich, N. Gjura, O. Terek

*Ivan Franko National University of Lviv
4, Hrushevskiy St., Lviv 79005, Ukraine
e-mail: Horon.Marta@gmail.com*

The enzyme activity of oil polluted soils during remediation by maize plants (*Zea mays* L.) was investigated. Results showed that the activities of all studied soil enzymes were effected by oil. The activity of catalase, dehydrogenase, polyphenol oxidase and protease of oil polluted soil increased by impact of corn plants, whereas lipase activity was not significantly effected. Thus plants *Z. mays* promoted the restoration of enzymes activity in oil polluted soils.

Keywords: soil pollution with oil, phytoremediation, soil enzyme activity.

**ФЕРМЕНТАТИВНАЯ АКТИВНОСТЬ НЕФТЕЗАГРЯЗНЕННЫХ ПОЧВ
В ПРОЦЕССЕ ФИТОРЕКУЛЬТИВАЦИИ РАСТЕНИЯМИ КУКУРУЗЫ
(*ZEA MAYS* L.)**

М. Мекіч, Н. Джура, О. Терек

*Львовский национальный университет имени Ивана Франко
ул. Грушевского, 4, Львов 79005, Украина
e-mail: Horon.Marta@gmail.com*

В статье представлены результаты исследования ферментативной активности нефтезагрязненных почв в процессе фиторекультивации растениями кукурузы (*Zea mays* L.). Установлено, что нефтяное загрязнение повлекло изменения активности всех исследуемых ферментов почвы. При этом отмечен рост активности каталазы, дегидрогеназы, полифенолоксидазы и протеазы под влиянием растений кукурузы, однако не установлено достоверного влияния на активность липазы. Итак, растения *Z. mays* способствуют восстановлению ферментативной активности в нефтезагрязненных почвах.

Ключевые слова: нефтяное загрязнение почвы, фиторекультивация, ферментативная активность почвы.