

## ГІГІЄНА ҐРУНТУ ТА ТВЕРДИХ ВІДХОДІВ

УДК 614.77:504.5:543.275.2:614.78/.79.

### ОЦІНКА ФІТОТОКСИЧНОЇ ДІЇ НАФТОПРОДУКТІВ НА ЕТАПІ ЇХ ГІГІЄНИЧНОГО РЕГЛАМЕНТУВАННЯ У ҐРУНТІ

*Шевченко О.А. \*, Кулагін О.О. \*, Антомонов М.Ю. \*\**

*\* ДЗ «Дніпропетровська медична академія МОЗ України»,*

*\*\* ДУ «Інститут громадського здоров'я ім. О.М. Марзєєва НАМН України»*

**Вступ.** Однією з найважливіших екологічних проблем сьогодення є забруднення довкілля нафтою та нафтопродуктами (НП). Враховуючи подальший розвиток промисловості та стрімке збільшення глобальних транспортних потоків, світовий видобуток нафти кожного року в середньому зростає майже на 2%. Передбачається, що у 2020 році обсяг світового споживання нафти складе 110 млн. барелів на добу, що на 35 млн. барелів вище нинішнього рівня [1]. При цьому втрати нафти та НП при видобуванні, переробці, транспортуванні, використанні складають близько 45 млн. т на рік, майже 2-3% від усього видобутку нафти та НП. З них 22 млн. т потрапляють на суходіл, 7 млн. т в море, 16 млн. т в атмосферне повітря [2,3,4,5]. Важливо, що забруднення довкілля відбувається також далеко за межами регіонів видобування нафти, перш за все у містах, де з року в рік збільшується використання найбільш поширених видів автомобільного пального – бензину та дизельного палива (ДП). При цьому ДП значно довше зберігається у ґрунті, а період його повного розпаду (99%) складає більше 2-х років [6].

Ключовим заходом попередження забруднення НП об'єктів довкілля є перманентний моніторинг їх вмісту у ґрунті для визначення тенденцій накопичення та розповсюдження у інші середовища, а також для еколого-гігієнічної оцінки небезпеки такого забруднення. Остання не можлива без встановлення гігієнічних нормативів безпечного вмісту НП – граничнодопустимих концентрацій (ГДК). Натепер не існує єдиних гігієнічних регламентів вмісту НП у ґрунті, а ГДК, що існують у зарубіжних країнах є до-

волі різноманітними. В ряді випадків орієнтуються на фонові значення вмісту НП у ґрунті та орієнтовно-допустимі концентрації (ОДК). Так, наприклад, для деяких регіонів РФ встановлено регіональні ОДК нафтопродуктів: де ведеться видобуток нафти – на рівні 100 мг/кг, де не ведеться – 40 мг/кг [7]. За даними літературних джерел у багатьох закордонних країнах безпечні рівні вмісту НП у ґрунті значуще відрізняються в залежності від кліматичних умов та ґрунтових відмінностей районів досліджень, і коливаються в межах від 5000 до 75000 мг/кг. У Нідерландах для оцінки забруднення ґрунтів застосовують три рівні: фоновий з вмістом НП – 50 мг/кг, підвищеного забруднення – 1000-5000 мг/кг, високого забруднення – 5000 мг/кг. У Німеччині та деяких західних країнах вміст НП на рівні 2000 мг/кг вважається малим забрудненням [8]. У Росії, де не встановлено регіональних ОДК, забруднення ґрунту НП оцінюється за рівнями: допустимий – до 1000 мг/кг, низький – 1000-2000 мг/кг, середній – 2000-3000 мг/кг, високий – 3000-5000 мг/кг, дуже високий – понад 5000 мг/кг [9]. В Україні ГДК нафти і продуктів її переробки в ґрунті не визначені, а відповідні дослідження найчастіше посилаються на ОДК (200 мг/кг) [10].

Отже, в світлі теорії гігієнічного нормування екзогенних хімічних речовин у ґрунті академіка Гончарука Є.Г., яка передбачає необхідність визначення регіональних регламентів для умов конкретного ґрунтово-кліматичного регіону, актуальною є розробка гігієнічних регламентів НП, зокрема для доволі поширених в Україні чорноземів звичайних.

**Мета дослідження.** Визначення та оцінка фітотоксичних властивостей одного з найбільш поширених продуктів переробки нафти – дизельного палива для його подальшої гігієнічної регламентації у чорноземі звичайному.

**Матеріали та методи.** В лабораторному експерименті у якості тест-претендента за умови моделювання максимального впливу ДП використовували редис скоростиглий (родина Хрестоцвітів), що є значно поширеним на території України, має досить короткий вегетаційний період і є достатньо чутливим до дії ДП. Для контамінації ґрунту застосовували ДП згідно ДСТУ 4840:2007 [11]. Вивчення фітотоксичності ДП проводили згідно з «Методичними рекомендаціями» [12]. При оцінці фітотоксичної дії ДП враховували динаміку пророщення, схожість та довжину коренів рослин.

На дно чашки Петрі клали два шари фільтрувального паперу і вносили по 15 мл дистильованої води з додаванням дози речовини, яка розраховувалась на з 50 г на 1 кг сухого ґрунту. Рівномірно вносили по 25, 50, 75, 100, 200 та 300 мг ДП, що в перерахунку на 50 г сухого ґрунту становило 0,5, 1,0, 1,5, 2,0, 4,0 та 6,0 г/кг. Надалі висіювали в кожену чашку по 30 насінин редису скоростиглого торгової марки «Яскрава» та вкривали їх шаром (50 г) чорнозему звичайного малогумусного на лесі, доведеного до 60% від повної вологомісткості. В ході експерименту на 3, 4, 5, 6 та 7 добу після сходження насіння рахували відсоток пророщення паростків рослин. В кінці експерименту робили заміри довжини коренів (см) за допомогою лінійки вимірювальної металевої 150 мм згідно з ДСТУ ГОСТ 427:2009 «Лінійки вимірювальні металеві. Технічні умови».

Статистичну обробку та аналіз результатів дослідження проведено за допомогою методів варіаційної статистики з використанням пакетів програм Microsoft Excel-2007 [13] та STATISTICA 6.1. (StatSoftInc., серійний № AGAR909E415822FA). Основні статистичні характеристики включали число спостережень (n), середню арифметичну (M), стандартну похибку (m), медіану (Me), інтерквартильний розмах (IP) (25-75%). Серед абсолютних показників враховували кількість пророщених паростків редису, середню дов-

жину коренів, см. До відносних показників включали зміни кількості пророщених паростків порівняно до контролю, зміни середньої довжини коренів порівняно до контролю, зміни концентрації НП за період спостереження, %. Для оцінки достовірності розходжень між досліджуваними вибірками, зважаючи на їх відносно невеликий розмір, були використані 2 критерії: непараметричний U-критерій Мана-Уїтні та параметричний t-критерій Ст'юдента. За рівень статистичної значимості приймався  $p < 0,05$ ,  $p < 0,01$ .

**Результати дослідження та їх обговорення.** Фізико-хімічні характеристики ДП, зокрема його нерозчинність у воді (принаймні, без додавання емульгаторів), обумовлюють неможливість його засвоєння кореневою системою рослин та подальше накопичення у інших, в тому числі їстівних частинах сільгоспкультур. Таким чином, на відміну від водорозчинних ЕХР – засобів захисту рослин, мінеральних добрив, солей важких металів і т.п., транслокаційний показник шкідливості для ДП не є визначальним у взаємодії з рослиною. Пріоритетною та найбільш небезпечною для рослинності при забрудненні ґрунту ДП слід вважати його фітотоксичну дію, яка призводить до пригнічення розвитку рослин та їх загибелі.

Отриманні на першому етапі лабораторного експерименту дані свідчать про негативний вплив ДП на пророщення насіння впродовж всього часу спостереження. Починаючи з 3 доби у концентраціях 1,0; 1,5; 2,0; 4,0; 6,0 г/кг виявлено пригнічення схожості насіння редису (табл. 1). Відсоток пророщення складав 63,3%, 41,0%, 60,0%, 25,3%, 31,0%, відповідно (в контролі 85,4%). На 4 добу експерименту в усіх без винятку концентраціях спостерігається позитивна динаміка схожості насіння редису, яка становить 86,6%, 72,0%, 64,3%, 56,6%, 61,0%, 44,3%, 34,3% при концентраціях ДП у ґрунті 0,5; 1,0; 1,5; 2,0; 4,0 та 6,0 г/кг відповідно. На 5 та 6 добу кількість пророслих насінин становила відповідно: 88,6 і 90,0% у контролі; 72,0 і 74,3% при концентрації 0,5 г/кг; 65,3 і 70,0% при вмісті 1,0 г/кг; 63,3 і 66,6% при внесенні ДП у кількість 1,5 г/кг; 65,3 і 71,0% при концентрації 2,0 г/кг; 56,6 і 66,6% при вмісті 4,0 г/кг; 44,3 і 52,0% при внесенні ДП у кількість 6,0 мг/кг (табл. 2).

Таблиця 1. Схожість насіння редису під впливом різних концентрацій ДП.

Вихідна концентрація ДП, г/кг	Кількість пророслих насінин (%), в термін спостереження (доба)				
	3	4	5	6	7
0 (Контроль)	85,4	86,6	88,6	90,0	90,0
0,5	70,0	72,0	72,0	74,3	77,6
1,0	63,3	64,3	65,3	70,0	72,0
1,5	41,0	56,6	63,3	66,6	68,3
2,0	60,0	61,0	65,3	71,0	71,0
4,0	25,3	44,3	56,6	66,6	66,6
6,0	31,0	34,3	44,3	52,0	52,0

Таблиця 2. Вплив ДП на середню довжину коренів редису на 7 добу експерименту.

Статистичні показники	Середня довжина коренів (см) при концентрації дизельного палива (г/кг)						
	контроль	0,5	1,0	1,5	2,0	4,0	6,0
M±m	5,88±0,32	5,17±0,27	5,30±0,25	5,05±0,30	4,67±0,18	4,46±0,22	4,17±0,22
n	67	60	57	34	54	50	34
t		1,67	1,43	1,84	3,11	3,58	4,29
p		>0,05	>0,05	>0,05	<0,01	<0,01	<0,01

На 7 добу виявлено, що концентрації ДП 0,5 та 1,0 г/кг не завдали негативного впливу на схожість насіння редису, яка складала 82,6% та 80,0% відповідно до контролю. Концентрації ДП 1,5; 2,0; 4,0 та 6,0 г/кг спричиняли більш вагомий негативний вплив відносно контролю, внаслідок якого схожість становила 75,8%, 78,8%, 74,0% та 57,7% від контролю відповідно.

На 7 добу експерименту було також оцінено вплив ДП на розвиток коренів редису та встановлено, що їх середня довжина порівняно з контролем (5,88±0,32) см становила: при вмісті ДП 500 мг/кг – (5,17±0,27) см ( $p>0,05$ ); при вмісті 1,0 г/кг – (5,30±0,25) см ( $p>0,05$ ); при вмісті ДП 1,5 г/кг – (5,05±0,30) см ( $p>0,05$ ); при концентрації

2,0 г/кг – (4,67±0,18) см ( $p<0,01$ ); при концентрації 4,0 г/кг – (4,46±0,22) см ( $p<0,01$ ); при вмісті 6,0 г/кг – (4,17±0,22) см ( $p<0,01$ ) (табл. 3).

В кінці експерименту оцінено фітотоксичну дію ДП на схожість насіння та розвиток коренів редису. Встановлено, що на 7 добу схожість насіння редису відносно контролю була нижче на 24,2%, 21,2%, 26,0%, 42,3% у концентраціях 1,5; 2,0; 4,0; 6,0 г/кг відповідно.

При оцінці довжини коренів редису було встановлено, що обрані для дослідження робочі концентрації ДП 0,5; 1,0 і 1,5 г/кг не спричиняють пригнічення росту кореневої системи (табл. 3).

Таблиця 3. Фітотоксична дія ДП на схожість насіння та довжину коренів редису на 7 добу експерименту.

Показник	Зміни порівняно з контролем (%) при вихідній концентрації ДП (г/кг)					
	0,5	1,0	1,5	2,0	4,0	6,0
Пригнічення схожості насіння	13,8	20,0	24,2	21,2	26,0	42,3
Пригнічення розвитку коренів	12,1	9,9	14,1	20,6	24,2	29,1

Всі більші концентрації були дієвими: на 7 добу спостереження відбувалось пригнічення росту кореневої системи редису на 20,6% порівняно до показників контролю

при концентрації ДП 2,0 г/кг; на 24,2% відносно величини контролю при концентрації ДП 4,0 г/кг; на 29,1% при вмісті ДП 6 г/кг.

Таким чином, при вивченні впливу ДП на розвиток насіння редису виявлено фітотоксичну дію при певному збільшенні його вмісту у ґрунті. Пороговими концентраціями при цьому визначені: по пригніченню схожості насіння редису – 1,0 г/кг; по гальмуванню росту кореневої системи – 2,0 г/кг.

Для подальшого практичного використання отриманої інформації були також побудовані моделі з елементами математичного прогнозування протікання процесів пригнічення росту рослин в залежності від концентрації ДП та часу його дії. При цьому використовували метод Левенберга-Маркварата та експоненційну функцію (табл. 4).

Таблиця 4. Результати розрахунку статистичних параметрів математичної моделі.

Концентрація (г/кг) ДП (С)	Статистичні параметри						
	параметр	середнє	S	t	p	НГ	ВГ
0	$y_{\infty} \times 10^{-2}$	0,897	0,006	147,457	0,000	0,878	0,916
	a	0,968	0,079	12,324	0,001	0,718	1,217
	$t_0$	0	-	-	-	-	-
0,5	$y_{\infty} \times 10^{-2}$	0,754	0,015	51,163	0,000	0,707	0,801
	a	0,826	0,138	5,964	0,009	0,385	1,266
	$t_0$	0	-	-	-	-	-
1	$y_{\infty} \times 10^{-2}$	0,705	0,021	33,061	0,000	0,637	0,773
	a	0,685	0,128	5,369	0,013	0,279	1,091
	$t_0$	0	-	-	-	-	-
1,5	$y_{\infty} \times 10^{-2}$	0,694	0,003	259,487	0,000	0,682	0,706
	a	0,783	0,023	34,136	0,001	0,684	0,882
	$t_0$	1,857	0,032	57,656	0,000	1,719	1,996
2	$y_{\infty} \times 10^{-2}$	0,747	0,080	9,355	0,068	-0,268	1,761
	a	0,504	0,561	0,899	0,534	-6,626	7,635
	$t_0$	0,669	2,931	0,228	0,857	-36,575	37,913
4	$y_{\infty} \times 10^{-2}$	0,741	0,051	14,405	0,005	0,520	0,963
	a	0,528	0,131	4,037	0,056	-0,035	1,090
	$t_0$	2,222	0,188	11,821	0,007	1,413	3,030
6	$y_{\infty} \times 10^{-2}$	0,549	0,044	12,407	0,051	-0,013	1,112
	a	0,765	0,411	1,862	0,314	-4,457	5,988
	$t_0$	2,731	0,583	4,688	0,134	-4,671	10,133

Примітки:  $Y$  – відсоток пророслих насінин,  $y_{\infty}$  – їх граничне значення,  $a$  – параметр швидкості процесу,  $t$  – час спостереження,  $t_0$  – імовірне зрушення відносно часу перед початком.

Показано, що найбільш прийнятною динаміки, є експоненційна функція з обмеженою формою опису такого виду обмеженням росту:

$$Y = y_{\infty}(1 - \exp(-a \cdot t - t_0)).$$

На підставі отриманих даних за допомогою запропонованого алгоритму була побудована багатофакторна нелінійна регресійна модель, яка достатньо точно описувала результати експериментального досліджен-

ня. Із застосуванням цієї моделі була розрахована порогова концентрація ДТ, яка була проміжним значенням між експериментально отриманими мінімально діючою і недіючою концентраціями (рис.).

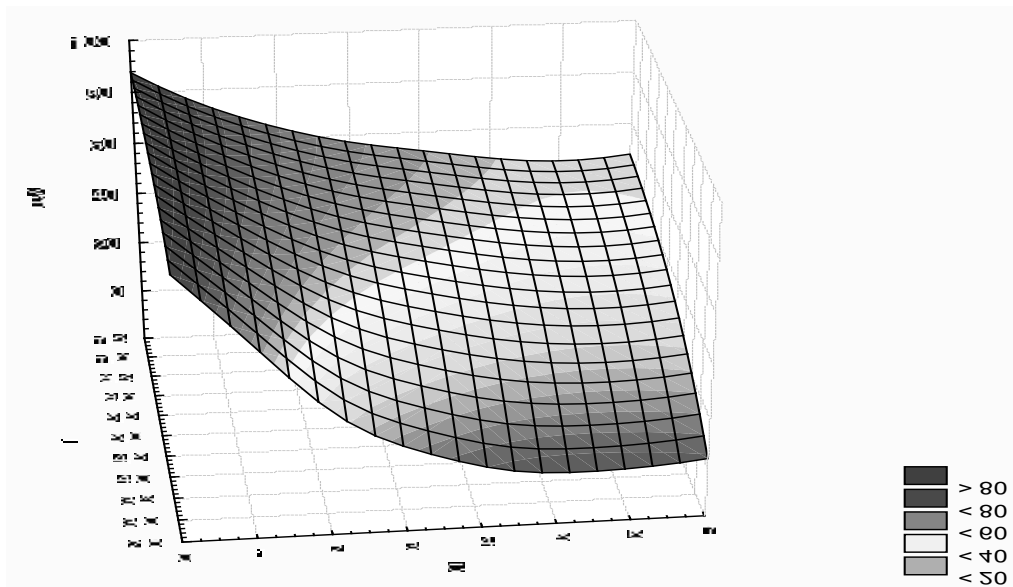


Рисунок. Графік залежності «концентрація (с) – доба (t) – ефект (y)» схожості насіння редису під впливом різних концентрацій ДП.

### Висновки

1. При вивченні фітотоксичної дії дизельного палива на тест-рослини в експерименті встановлено, що гальмування росту кореневої системи редису на 20,6% і більше відбувається при концентраціях ДП  $\geq 2,0$  г/кг ( $p < 0,01$ ); пригнічення пророщення паростків на 20% і більше відбувається при вмісті ДП  $\geq 1,0$  г/кг. Максимально недіючими концентраціями при цьому визначені: по пригніченню схожості насіння редису – 0,5 г/кг (зміна по відношенню до контролю становить 13,8%); по гальмуванню росту кореневої системи – 1,5 г/кг (зміна по відношенню до контролю становить 14,1%). Пороговою концентрацією ДП за фітотоксичною дією на редис визнана концентрація 1 г/кг, яка пригнічує пророщення паростків на 7 добу на 20%.
2. Показано, що традиційні методики для обґрунтуванні порогових рівнів забруднювачів ґрунту, зокрема, дизельного пального, можуть знайти розвиток за допомогою математичного моделювання результатів експериментального дослідження. Відповідно до запропонованого алгоритму побудована математична модель для опису результатів експериментального дослідження впливу ДП на схожість тест-рослин та розрахована критична (гранична) концентрація ДП, що не викликає фітотоксичного ефекту.

### ЛІТЕРАТУРА

1. Надиров Н.К. Нефть и газ Казахстана. Алматы/ АО Научно-произ. центр "Мунай", (Ч.1). 1995. 320 с.
2. Рогозина Е.А. Актуальные вопросы проблемы очистки нефтезагрязнённых почв. // Нефтегазовая геология. Теория и практика. 2006. №1 С. 1-10.
3. Fatumbi V.A. Oil Pollution in Nigeria. // A Case Study of the Niger Delta. The Environscope Journal 1. 2003. №1. С. 68-74.
4. Agarwal Tripti Concentration level, pattern and toxic potential of PAHs in traffic soil of Delhi // J. hazardous mater. 2009. Vol.171, N1/3, P. 894-900.
5. Ahel M., Tepic N. Distribution of polycyclic aromatic hydrocarbons in a municipal solid waste landfill and underlying soil. // Bull. environ. contam. a toxicol. 2000. Vol.65, N2. P. 236-243.

6. Шевченко О.А., Кулагін О.О. Вивчення стабільності нафтопродуктів у чорноземі типовому. // Матеріали науково-практичної конференції з міжнародною участю [«Профілактична медицина: здобутки сьогодення та погляд у майбутнє»], (Дніпропетровськ, 19-20 травня 2016 р.). Дніпропетровськ. 2016. С. 189-190.
7. Герасимов М.И., Строганова М.Н., Можарова Н.В. и др. Антропогенные почвы: генезис, география, рекультивация. Учебное пособие. Смоленск: Ойкумена, 2003. 268 с.
8. McGill W.W. Soil restoration following oil spills – a review. // J. Canad. Petrol. Technol. 1977. V.16, №2. P.60-67.
9. Порядок определения размеров ущерба от загрязнения земель химическими веществами (утв. Роскомземом 10 ноября 1993 г. и Минприроды РФ 18 ноября 1993 г.). [Електронний ресурс] Режим доступу: [http://www.ohranatruda.ru/ot\\_biblio/normativ/data\\_normativ/10/10804/](http://www.ohranatruda.ru/ot_biblio/normativ/data_normativ/10/10804/).
10. Методика визначення збитку, обумовленого забрудненням і засміченням земельних ресурсів в результаті порушення природоохоронного законодавства / Міністерство охорони навколишнього природного середовища і ядерної безпеки. Київ. 1998. 22 с.
11. ДСТУ 4840:2007 «Паливо дизельне підвищеної якості. Технічні умови». Затверджений наказом Держспоживстандарту України №244 від 03 жовтня 2007. [Електронний ресурс] Режим доступу: [http://document.ua/palivo-dizelne-pidvishenoyi-jakosti\\_-tehnichni-umovi-nor16038.html](http://document.ua/palivo-dizelne-pidvishenoyi-jakosti_-tehnichni-umovi-nor16038.html)
12. Методические рекомендации по гигиеническому обоснованию ПДК химических веществ в почве, №2609-82. (Действующие от 05.08.1982). М., МЗ СССР, 1982. 57 с.
13. Лапач С.Н., Чубенко А.В., Бабич П.Н. Статистические методы в медико-биологических исследованиях с использованием Excel. К., Морион, 2001. 408 с.

Куратор розділу – д. мед. наук, проф. Прокопов В.А.