

УДК 504.53.054:665.7+504.064.3:581

## Методика екологічного оцінювання нафтозабруднених ґрунтів

О.І. Романюк<sup>1</sup>, Л.З. Шевчик<sup>1</sup>, І.В. Ощеповський<sup>2</sup>, Т.В. Жак<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Відділення фізико-хімії горючих копалин Інституту фізико-органічної хімії  
і вуглехімії імені Л. М. Литвиненка НАН України, Львів, Україна

<sup>2</sup>Львівський національний університет імені Івана Франка, Львів, Україна

Розроблено методику встановлення екологічного стану нафтозабруднених ґрунтів, придатну для використання у широкому діапазоні концентрації забруднювача, 0–20% нафти у ґрунті, що забезпечує цифрову оцінку фітотоксичності. Методика передбачає пророщування на досліджуваному ґрунті в закритих чашках Петрі, у темноті, за +24 °С, насіння тест-об'єктів (*Linum usitatissimum* L., *Helianthus annuus* L., *Fagopyrum vulgare* St.), яке висівається на гомогенізований ґрунт, доведений до стану 33,3% вологості. Для біотестування використовують початкові ростові параметри тест-об'єктів на п'яту добу росту, коли вже достатньо проявляється токсична дія нафти, але ще не встигають проявитись інші, генеровані нею пошкоджувальні фактори. Встановлено інтервали нафтового забруднення, для яких оптимальне використання того чи іншого тест-об'єкта. Доведено, що оптимально оцінити токсичність можна за величиною ефективної токсичності. Встановлено лінійний зв'язок між вмістом нафти у ґрунті та величиною ефективної токсичності. Ефективна токсичність обчислюється за будь-яким із запропонованих тест-об'єктів, а сумісне використання підвищує точність досліджень. Ефективна токсичність характеризує ефект сумарного впливу токсиканта на ростові параметри тест-об'єктів і є сумою коефіцієнтів пригнічення схожості, росту кореня та пагона, зменшену на кількість урахованих параметрів. Зведену оцінку токсичності отримують за величиною фітотоксичності, яка дорівнює ефективній токсичності по льону, соняшнику та вдвічі менша за ефективну токсичність по гречці. Запропоновано шкалу токсичності нафтозабруднених ґрунтів, у якій відображено зв'язок між фітотоксичністю, вмістом нафти у ґрунті, рівнем забруднення. Методику випробувано на промисловому майданчику – відвалах озокеритової шахти Бориславського рудоуправління та доведено її правомірність.

**Ключові слова:** нафтозабрудненні ґрунти; біотестування; фітотоксичність; екологічний моніторинг

## Method of ecological assessment of oil-contaminated soils

O.I. Romaniuk<sup>1</sup>, L.Z. Shevchyk<sup>1</sup>, I.V. Oshchapovsky<sup>2</sup>, T.V. Zhak<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Department of Physical Chemistry of Fossil Fuels InPOCC NAS of Ukraine, Lviv, Ukraine

<sup>2</sup>Ivan Franko National University of Lviv, Lviv, Ukraine

A method for determination of the ecological condition of oil-contaminated soils was developed. This method is suitable for use in a wide range of oil concentrations in soil, ranging from 0–20% and provides a quantitative assessment of phytotoxicity – effective toxicity. The method involves the germination on the investigated soil (moisture 33.3%) in closed Petri dishes in the dark at +24 °C of seeds of test objects: *Linum usitatissimum* L., *Helianthus annuus* L., *Fagopyrum vulgare* St. We used for biotesting initial growth parameters of test objects during 5 days of growth, when the toxic effect of oil is quite evident, but other damaging factors do not become apparent. For each test object, an optimal oil concentration range is suggested. At low concentrations of oil in the soil <1% it is appropriate to use *F. vulgare*, at higher concentrations 1.0–2.5% – *L. usitatissimum*, *H. annuus*; 10.0–15.0% – *L. usitatissimum*, *F. vulgare*; for intervals 2.5–10.0% 15.0–17.0% application of each of three plant species is possible: *L. usitatissimum*, *H. annuus*, *F. vulgare*. We proved that the best estimate of toxicity is possible on the basis of the value of effective toxicity ( $T_{ef}$ ). The linear relationship between concentration of oil in the soil and  $T_{ef}$  is established. Effective toxicity was calculated for any of the proposed test objects and joint use of them will increase the accuracy of

Відділення фізико-хімії горючих копалин Інституту фізико-органічної хімії і вуглехімії імені Л.М. Литвиненка НАН України,  
вул. Наукова, 3а, Львів, 79053, Україна

Department of Physical Chemistry of Fossil Fuels InPOCC NAS of Ukraine, Naukova Str., 3a, Lviv, 79053, Ukraine  
Tel.: +38-096-226-60-40. E-mail: romaniuk@ua.fm

Львівський національний університет імені Івана Франка, вул. Кирила і Мефодія, 6, Львів, 79005, Україна  
Ivan Franko National University of Lviv, Kyrylo and Mefody Str., 6, Lviv, 79005, Ukraine

research. Effective toxicity characterizes the total impact of toxicants on the growth parameters of plant test-objects and is calculated as the sum of factors inhibiting germination, growth of root and shoot minus the number of recorded parameters. The total assessment of toxicity is based on phytotoxicity which is equal to effective toxicity on *L. usitatissimum*, *H. annuus*, and a half of effective toxicity on *F. vulgare*. A scale of toxicity of oil-contaminated soils is suggested, which shows the relationship between phytotoxicity, content of oil in soil and pollution level. It is established that for the soils polluted by oil with concentration <0.4%, phytotoxicity is <0.6, and the level of pollution is characterized as admissible. If the concentration of oil in the soil is 0.4–2.5%, phytotoxicity is 0.6–1.5; the level of pollution – threatening. If the oil concentration in the soil is 2.5–10.0%, phytotoxicity is 1.5–3.0; pollution level – pre-crisis. For soils polluted by oil at the level 10.0–15.0% phytotoxicity – 3.0–4.0; pollution level – crisis, and for soils with oil concentration >15.0% phytotoxicity is >4.0; the level of pollution – catastrophic. The method was tested on an industrial area – dumps of the Borislav Ozokerite Mine. Environmental maps of toxicity drawn up using different test objects: *L. usitatissimum*, *H. annuus*, *F. vulgare* were similar, which additionally confirms the correctness of the method. We recommend the application of the proposed method for identification of sites in a threatening, pre-crisis or crisis state, on which other physical-chemical studies can be further conducted.

**Keywords:** oil-contaminated soil; biological testing; phytotoxicity; ecological monitoring

## Вступ

Забруднення навколишнього природного середовища різноманітними поллютантами зумовлює необхідність розроблення та впровадження системи екологічного моніторингу. Сучасна тенденція в екологічному контролі – проведення біомоніторингу методами біоіндикації та біотестування, які дають інтегральну оцінку якості середовища проживання будь-якої біологічної популяції, включаючи людину.

Для біоіндикації та біотестування використовується широке коло організмів, що охоплює всі групи біологічного співтовариства, але жоден із тест-об'єктів не може служити універсальним, рівною мірою чутливим до всіх екологічних чинників, через видову вибірковість дії потенційних токсикантів. З уведенням кожного додаткового об'єкта надійність схеми випробувань підвищується, проте безмежне розширення асортименту обов'язкових об'єктів неможливе. У зв'язку з цим для кожного пропонованого методу біотестування має бути визначене цільове призначення, означена сфера застосування та очевидні переваги над рекомендованими раніше.

Вибір тест-організму здійснюється залежно від його середовища проживання. У системі екологічного моніторингу природних вод провідне положення займають методи біотестування на гіллястовусих ракоподібних, зокрема на дафніях *Daphnia magna* (Berglind and Dave, 1984; Knops et al., 2001). Біотестування ґрунтів із використанням гідробіотнів можливо проводити лише на водних витяжках для гідрофільних речовин, а для оцінювання токсичності гідрофобних забруднювачів, наприклад, нафтопродуктів, цей метод не ефективний. Крім того, постановка фітотесту на водних витяжках може давати занижені результати токсичності. Для біомоніторингу ґрунтових екосистем часто використовують великих безхребетних (Dorn and Salanitro, 2000; Domene et al., 2007, 2011; Cermak et al., 2010; Tang et al., 2011; Hentati et al., 2013; Malara and Oleszczuk, 2013). Інколи для оцінки токсичності забруднень як тест-об'єкти використовують мікроорганізми (Alkorta et al., 2006; Rathnayakea et al., 2013; Malara and Oleszczuk, 2013). Високі швидкості росту та розмноження мікроорганізмів дають можливість за порівняно короткий термін простежити за впливом несприятливого чинника. До недоліків мікробіологічних тестів слід віднести досить високу здатність мікроорганізмів до утворення стійких мутантних штамів, що може в деяких випадках давати недостовірні результати.

Рослини – найзручніші та найдешевші об'єкти в плані проведення досліджень. Вони достатньо інформативні для біомоніторингу ґрунтів, оскільки слугують первинними ланками трофічних ланцюгів, виконують основну роль у поглинанні різноманітних забруднювачів, постійно зазнають їх впливу завдяки закріпленню на субстраті. Але опубліковані методики біотестування та біоіндикації ґрунтів із допомогою рослин розроблені переважно для забруднення важкими металами (Berestec'kij, 1971; Shunel'ko and Fedorova, 2000; Franchuk et al., 2006; Di Salvatore et al., 2008; Gorova and Kulyna, 2008; Valerko, 2013; Bobyliov et al., 2014). Питання екологічного оцінювання ґрунтів, забруднених нафтою, залишається не вирішеним. Нечисленні публікації (Ekundayo et al., 2001; Maila and Cloete, 2002; Nazarov and Ylaryonov, 2005; Banks and Schultz, 2005; Grynchyshyn et al., 2014; Issayeva et al., 2015) із цього питання важко співставити через різну техніку виконання досліджень і відмінні параметри, що використовуються для екоотоксикологічної оцінки. У праці Gorsuch et al. (1995) оцінюється довжина коренів і довжина проростків молодих рослин; деякі дослідники аналізують схожість і довжину коренів проростків (Wang et al., 2000). У низці праць оцінюється тільки довжина коренів проростків (Michaud et al., 2008) або тільки схожість насіння (Cruz et al., 2013).

Не з'ясованим залишається питання рослинних тест-об'єктів, селективно чутливих до нафтового забруднення, не встановлено, на якій стадії проростання рослин доцільно вимірювати ростові параметри, яка чутливість тест-об'єктів за різних рівнів забруднення, а головне, як провести цифрове оцінювання токсичності.

Таким чином, мета дослідження – розроблення методики екологічного оцінювання нафтозабруднених ґрунтів за допомогою рослинних тест-об'єктів.

## Матеріал і методи дослідження

Для досліджень використовували ґрунт, штучно забруднений сировою нафтою (густиною 0,86 г/мл) так, що її вміст у ньому становив: 0,4, 1,0, 2,5, 5,0, 8,0, 10,0, 15,0, 17,0 та 20,0%. Контролем слугував ґрунт без нафти. Для досліджень використовували насіння льону звичайного (*Linum usitatissimum* L.), соняшника однорічного (*Helianthus annuus* L.), гречки посівної (*Fagopyrum vulgare* St.), однорідних за масою для кожного виду. Серії дослідів проводили не менше ніж у триразовій повторності, за кількості об'єктів вимірювання не менше

ніж 60 для кожної концентрації. Визначали кількість пророслого насіння, вимірювали довжину коренів, висоту пагонів. Величина інструментальної похибки  $\pm 0,5$  мм. Визначали середнє арифметичне, довірчий інтервал і середньоквадратичну похибку середнього арифметичного (Shevchuk and Romaniuk, 2014). Для порівняння вибірок застосовували  $t$ -критерій Стьюдента з попередньою перевіркою розподілу на нормальність і однофакторний дисперсійний аналіз. Розбіжності між значеннями вважали достовірними за  $P < 0,05$ . Отримані дані використовували для обрахунку ефективної токсичності за формулою (Romaniuk, 2016):

$$T_J^{ef} = \sum_{i=1}^n K_i - n = (K_N + K_I + K_h) - n, \quad (1)$$

де  $T_J^{ef}$  – ефективна токсичність відповідно по льону, соняшнику чи гречці;  $K_N$  – коефіцієнт пригнічення схожості;  $K_I$  – коефіцієнт пригнічення росту кореня;  $K_h$  – коефіцієнт пригнічення росту пагона.

На рисунку 1 наведено значення ефективної токсичності для кожної концентрації нафти та квадратичне відхилення. Прогнозування залежності між показниками ефективної токсичності та концентраціями нафти у ґрунті здійснювали за допомогою регресійного аналізу.

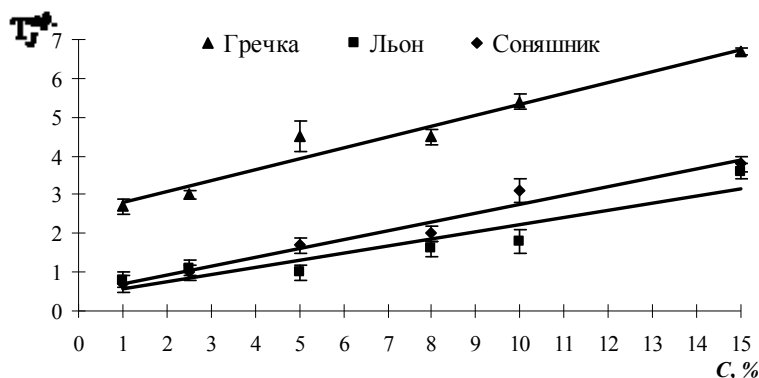


Рис. 1. Залежність ефективної токсичності ( $T_J^{ef}$ ) від концентрації нафти у ґрунті (C) для гречки, льону, соняшника

Методику випробовували на промисловому майданчику – відвалах озокеритової шахти Бориславського рудоправління. У ході моніторингових досліджень відібрано 50 проб ґрунту. Середня щільність контрольних точок відбору  $25 \times 25$  м. Для кожної точки визначено точні координати системою GPS. Проби відбирали за ГОСТом 17.4.4.02.84 методом квадрата, на глибині 0–10 см. Екологічні карти будували, застосовуючи програму Surfer компанії Golden Software.

### Результати та їх обговорення

Для розроблення методики екологічного оцінювання нафтозабруднених ґрунтів використано підхід, описаний у міжнародних стандартах контролю забруднення ґрунту з використанням параметрів росту та розвитку рослин – ISO 11269-1:1993 та ISO 11269-2:1995, згідно з якими якість ґрунту визначається за результатами впливу хімічних речовин на проростання та ріст вищих рослин. Перелічені стандарти передбачають використання великої кількості ґрунту для аналізу – 500 г, довготривалі у виконанні – 14–21 доба, працюють у вузькому діапазоні концентрацій забруднювача – 1–1 000 мг/кг і не призначені для застосування на нафтозабруднених ґрунтах.

Ми поставили завдання розробити методику оцінювання саме нафтозабруднених ґрунтів, при цьому оптимізувати час проведення дослідження, зменшити кількість ґрунту, необхідну для проведення аналізу, підібрати рослинні тест-об'єкти, чутливі до нафтового забруднення, розширити діапазон концентрації поллютанта, за якої можливе застосування біотестування.

На першому етапі проведено пошук рослинних об'єктів, чутливих до нафтового забруднення, та таких, що мають достовірний вплив на зміну концентрації нафти у ґрунті в широкому діапазоні. Встановлено, що найбільш придатні для біотестування льон звичайний (*Linum usitatissimum* L.), соняшник однорічний (*Helianthus annuus* L.) та гречка посівна (*Fagopyrum vulgare* St.), здатні працювати у діапазоні концентрації поллютанта 0–20% (табл. 1) (Shevchuk and Romaniuk, 2014).

Доведено, що для фітотоксикологічної оцінки оптимально використовувати початкові ростові параметри цих тест-об'єктів на п'яту добу росту (Shevchuk and Romaniuk, 2014), коли вже достатньо проявляється токсична дія нафти, але ще не встигають проявитись інші, генеровані нею, пошкоджувальні фактори. Це забезпечує високу надійність методу, робить його швидшим і більш економічним.

На основі аналізу літературних даних і проведених експериментальних досліджень ми розробили технологію виконання аналізу (Romaniuk, 2016), яка дозволяє оптимально оцінити фітотоксичність. Із метою максимального врахування токсичної дії нафтового забруднення насіння без попереднього замочування чи набухання висаджують безпосередньо на гомогенізований досліджуваний ґрунт, доведений до стану 33,3% вологості, поміщений у закриті чашки Петрі, у режимі термостатування за  $+24$  °C у темряві. Для одного аналізу достатньо 20 г ґрунту. Вимірювання ростових параметрів (довжини кореня, висоти пагона та схожості), як уже зазначалося, проводять на п'яту добу росту. Запропонована технологія забезпечує 100% повторюваність,

технічний результат перевірено на штучно забруднених ґрунтах – 0,4, 1,0, 2,5, 5,0, 8,0, 10,0, 15,0, 17,0, 20,0% нафти у ґрунті.

Залежність початкових ростових параметрів льону звичайного (*Linum usitatissimum* L.), соняшника однорічного (*Helianthus annuus* L.), гречки посівної (*Fagopyrum vulgare* St.) від концентрації нафти у ґрунті близька до лінійної. Гречка чутливіша до вмісту нафти та індикує її присут-

ність навіть на рівні ТДК (0,4%) (Shevchuk and Romaniuk, 2014; Pat. 103601 Ukraine). Аналіз достовірно значущої різниці ( $P < 0,05$ ) для ростових параметрів експеримента та контролю та між експериментальними даними всередині інтервалів: 0–0,4, 0,4–1,0, 1,0–2,5, 2,5–5,0, 5,0–8,0, 8,0–10,0, 10,0–15,0, 15,0–17,0% указав на інтервали нафтового забруднення, для яких оптимальне використання того чи іншого тест-об'єкта (табл. 1).

Таблиця 1

Рекомендовані тест-об'єкти до використання за різного вмісту нафти у ґрунті

Тест-об'єкти	Вміст нафти у ґрунті, %					
	0–0,4	0,4–1,0	1,0–2,5	2,5–10,0	10,0–15,0	15,0–17,0
Льон звичайний ( <i>Linum usitatissimum</i> L.)	–	–	+	+	+	+
Соняшник однорічний ( <i>Helianthus annuus</i> L.)	–	–	+	+	–	+
Гречка посівна ( <i>Fagopyrum vulgare</i> St.)	+	+	–	+	+	+

За низьких концентрацій нафти у ґрунті (<1%) доцільно використовувати *F. vulgare*, за вищих концентрацій (2,5–10,0%; 15,0–17,0%) можливе використання будь-якої із трьох запропонованих рослин. Показники ростових параметрів тест-об'єктів, отриманих на п'яту добу, застосовують для оцінювання токсичності. Токсичність визначають за величиною ефективної токсичності  $T_{\text{еф}}$ , що характеризує ефект сумарного впливу токсиканта на ростові параметри тест-об'єктів (Romaniuk, 2016).

Прогнозування залежності між показниками ефективної токсичності та концентраціями нафти у ґрунті здійснювали за допомогою регресійного аналізу. Встановлений лінійний зв'язок між вмістом нафти у ґрунті та ефективною токсичністю (рис. 1) дає змогу оцінити рівень нафтового забруднення у широкому діапазоні концентрації полутанта 0–20%.

Ефективна токсичність визначається за будь-яким із запропонованих тест-об'єктів, а сумісне використання підвищує точність досліджень. Ефективна токсичність по гречці вдвічі більша, ніж по соняшнику та льону. Для зручності зведену оцінку токсичності проводимо за величиною фітотоксичності ( $T_{\text{фит}}$ ):

$$T_{\text{фит}} = T_{\text{Льон}}^{\text{еф}} = T_{\text{Соняшник}}^{\text{еф}} = \frac{1}{2} T_{\text{гречка}}^{\text{еф}} \quad (2)$$

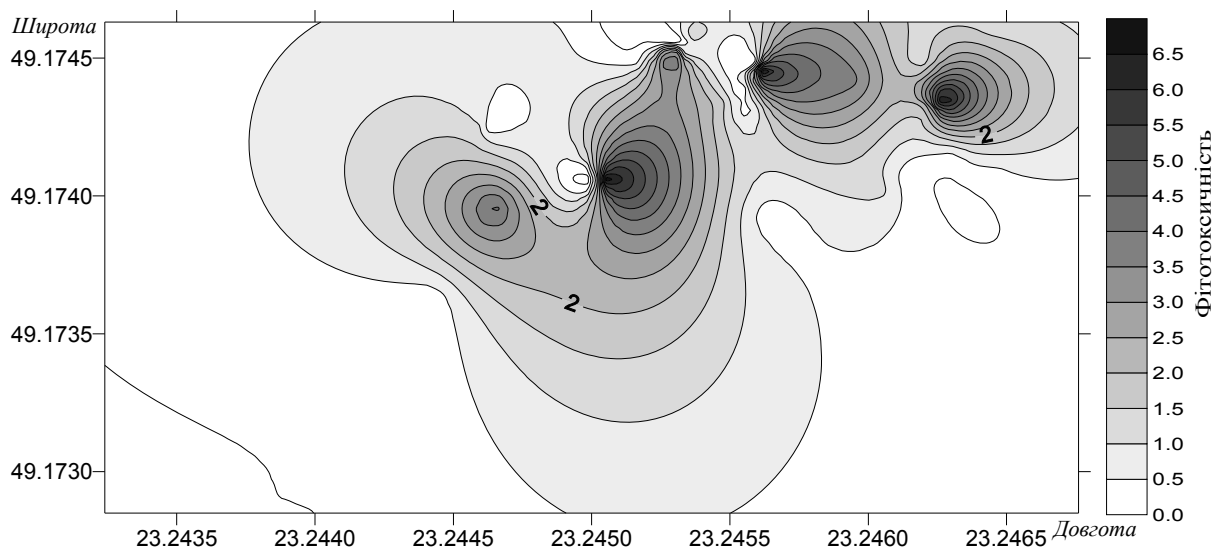


Рис. 2. Екологічна карта фітотоксичності нафтозабруднених ґрунтів озокеритової шахти Бориславського рудоуправління (тест-об'єкт – льон звичайний)

На основі розробленої методики та нагромадженого досвіду щодо оцінювання токсичності пропонуємо шкалу для нафтозабруднених ґрунтів (табл. 2).

Таблиця 2

Шкала токсичності нафтозабруднених ґрунтів

Фітотоксичність	Вміст нафти у ґрунті, %	Рівень забруднення
<0,6	<0,4	допустимий
0,6–1,5	0,4–2,5	загрозливий
1,5–3,0	2,5–10,0	передкризовий
3,0–4,0	10,0–15,0	кризовий
>4,0	>15,0	катастрофічний

Запропоновану методику екологічного оцінювання нафтозабруднених ґрунтів випробувано на промисловому майданчику – відвалах озокеритової шахти Бориславського рудоуправління. Побудовано екологічні карти токсичності ґрунтів (рис. 2–4) з використанням тест-об'єктів – *L. usitatissimum*, *H. annuus*, *F. vulgare*. Ізолініями показано ділянки з однаковим рівнем забруднення. Співставлення контурів ізоліній фітотоксичності на всіх трьох картах показує однаковий характер розподілу нафтового забруднення.

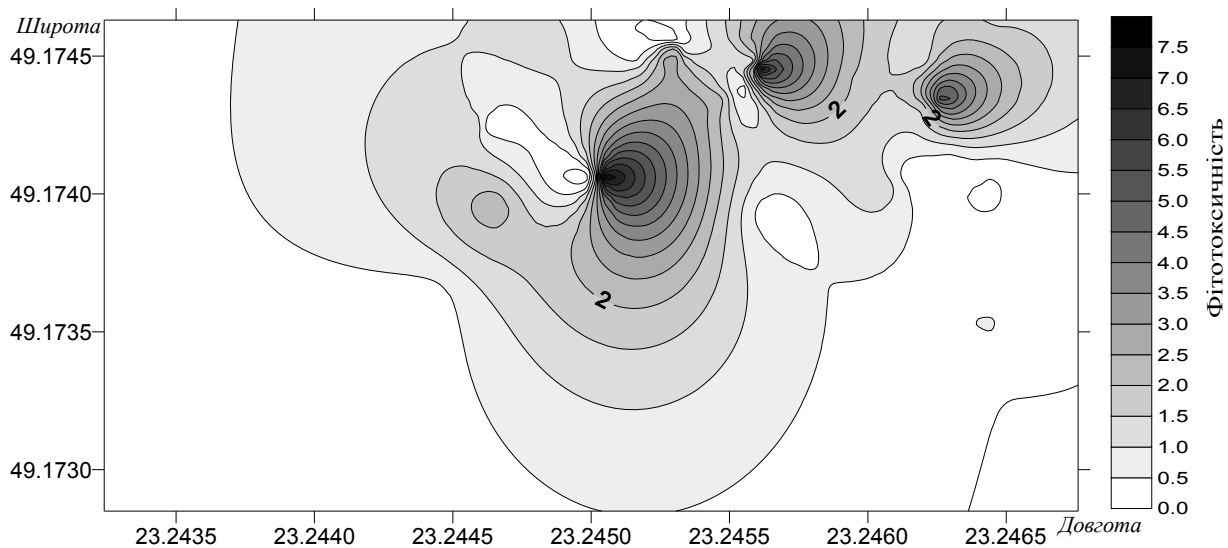


Рис. 3. Екологічна карта фітотоксичності нафтозабруднених ґрунтів озокеритової шахти Бориславського рудоуправління (тест-об'єкт – соняшник звичайний)

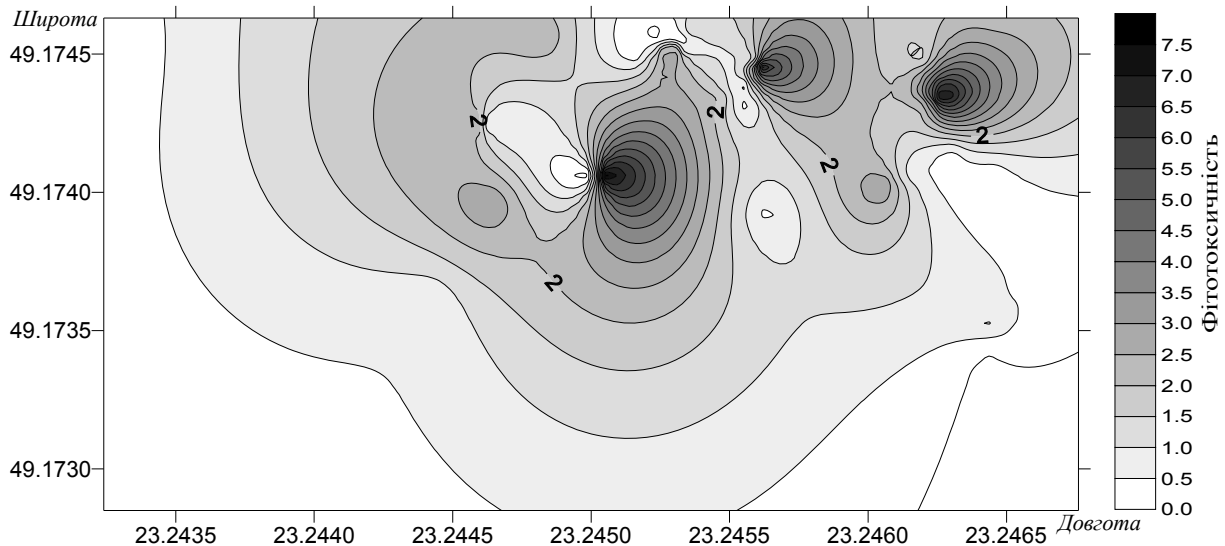


Рис. 4. Екологічна карта фітотоксичності нафтозабруднених ґрунтів озокеритової шахти Бориславського рудоуправління (тест-об'єкт – гречка звичайна)

Застосування методики біотестування дозволяє оконтурити ділянки із загрозованим, передкризовим чи кризовим станом, на яких у подальшому можуть проводитись більш прецизійні фізико-хімічні дослідження. Такий підхід забезпечує екологічну оцінку досліджуваної території та зменшує собівартість моніторингових досліджень.

### Висновки

Розроблено методику оцінювання екологічного стану нафтозабруднених ґрунтів, придатну для застосування у широкому діапазоні концентрації забруднювача 0–20%. Установлено інтервали нафтового забруднення для оптимального вибору тест-об'єкта з *Linum usitatissimum* L., *Helianthus annuus* L., *Fagopyrum vulgare* St. З'ясовано зв'язок між фітотоксичністю, вмістом нафти у ґрунті, рівнем забруднення та запропоновано шкалу токсичності. Застосування методики забезпечує оптимальну екологічну оцінку ґрунту – кількісне визначення токсичності, вмісту поллютанта у ґрунті, рівня забруд-

нення та дозволяє виділити небезпечні ділянки, що зменшує матеріальні та часові затрати на дослідження.

### Бібліографічні посилання

- Alkorta, I., Epelde, L., Mijangos, I., Amezaga, I., Garbisu, C., 2006. Bioluminescent bacterial biosensors for the assessment of metal toxicity and bioavailability in soils. *Rev. Environ. Heal.* 21, 139–152.
- Banks, M.K., Schultz, K.E., 2005. Comparison of plants for germination toxicity tests in petroleum contaminated soil. *Water Air Soil Poll.* 167, 211–219.
- Berestec'kij, O.A., 1971. *Metody opredelenija toksichnosti pochv* [Methods of determination of soil toxicity]. Urozhaj, Kyiv (in Russian).
- Berglind, R., Dave, G., 1984. Acute toxicity of chromate, DDT, PCP, TPBS, and zinc to *Daphnia magna* cultured in hard and soft water. *B. Environ. Contam. Tox.* 33, 63–68.
- Bobyliov, Y.P., Brygadyrenko, V.V., Bulakhov, V.L., Gaichenko, V.A., Gasso, V.Y., Didukh, Y.P., Ivashov, A.V., Kucheriavyy, V.P., Maliovanyi, M.S., Mytsyk, L.P., Pakhomov, O.Y.,

- Tsaryk, I.V., Shabanov, D.A., 2014. Ekologija [Ecology]. Folio, Kharkiv (in Ukrainian).
- Cermak, J.H., Stephenson, G.L., Birkholz, D., Wang, Z., Dixon, D.G., 2010. Toxicity of petroleum hydrocarbon distillates to soil organisms. *Environ. Toxicol. Chem.* 29(12), 2685–2694.
- Cruz, J.M., Lopes, P.R.M., Montagnoli, R.N., Tamada, I.S., Silva, N.M., Bidoia, E.D., 2013. Toxicity assessment of contaminated soil using seeds as bioindicators. *J. Chem. Technol. Biotechnol.* 1, 1–10.
- Di Salvatore, M., Carafa, A.M., Carrat, G., 2008. Assessment of heavy metals phytotoxicity using seed germination and root elongation tests: A comparison of two growth substrates. *Chemosphere* 73(9), 1461–1464.
- Domene, X., Alcañiz, J.M., Andrés, P., 2007. Ecotoxicological assessment of organic wastes using the soil collembolan *Folsomia candida*. *Appl. Soil Ecol.* 35, 461–472.
- Domene, X., Chelinho, S., Campana, P., Natal-da-Luz, T., Alcañiz, J.M., Andrés, P., Römbke, J., Sousa, P., 2011. Influence of soil properties on the performance of *Folsomia candida*: Implications for its use in soil ecotoxicology testing. *Environ. Toxicol. Chem.* 30, 1497–1505.
- Dorn, P.B., Salanitro, J.P., 2000. Temporal ecological assessment of oil contaminated soils before and after bioremediation. *Chemosphere* 40, 419–426.
- Ekundayo, E.O., Emede, T.O., Osayande, D.I., 2001. Effects of crude oil spillage on growth and yield of maize (*Zea mays* L.) in soils of Midwestern Nigeria. *Int. J. Food Sci. Nutr.* 56(4), 313–324.
- Franchuk, G.M., Kipnis, L.S., Madzhd, S.M., Zagoruj, J.V., 2006. Ekologichna ocinka stanu dovkil'ja v zoni aeroportu metodamy biotestuvannja [Environmental assessment of the environment in area of the airport by a biotesting method]. *Visnyk Nacional'nogo Aviacijnogo Universytetu* 2, 114–117 (in Ukrainian).
- Gorova, A., Kulina, S., 2008. Ocinka toksychnosti gruntiv Chervonograds'kogo girnychopromyslovogo rajonu za dopomogou rostovogo testu [Estimation of toxic of soils in the Chervonograd mining region with the use bioindication method]. *Visnyk Lvivskoho universytetu Serii Bioloheia* 48, 189–194 (in Ukrainian).
- Gorsuch, J., Merrilee, R., Anderson, E., 1995. Comparative toxicities of six heavy metals using root elongation and shoot growth in three plant species. *Environmental Toxicology and Risk Assessment* 3, 377–391.
- Grynchyshyn, N., Babadzhanova, O., Sosedko, K., 2014. Fito-toksychnist' naftozabrudnenyh g'runtiv na prykladi kressalatu (*Lepidium sativum* L.) [Phytotoxicity of oil polluted soil on the example of cress-salad *Lepidium sativum* L.]. *Naukovyj Visnyk Nacional'nogo Lisotehnichnogo Universytetu Ukrai'ny* 24, 81–86 (in Ukrainian).
- Hentati, O., Lachhab, R., Ayadi, M., Ksibi, M., 2013. Toxicity assessment for petroleum-contaminated soil using terrestrial invertebrates and plant bioassays. *Environ. Monit. Assess.* 185, 2989–2998.
- Issayeva, A.U., Bishimbayev, K.V., Bishimbayev, V.K., Eshibaev, A.A., Issayev, E.B., 2015. Phytoindication: Reaction of plants to the oil light fractions. *Brit. J. Environ. Sci.* 3(4), 14–19.
- Knops, M., Altenburger, R., Segner, H., 2001. Alterations of physiological energetics, growth and reproduction of *Daphnia magna* under toxicant stress. *Aquat. Toxicol.* 53, 79–90.
- Maila, M.P., Cloete, T.E., 2002. Germination of *Lepidium sativum* as a method to evaluate polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) removal from contaminated soil. *Int. Biodeterior. Biodegradation* 50, 107–113.
- Malara, A., Oleszczuk, P., 2013. Application of a battery of biotests for the determination of leachate toxicity to bacteria and invertebrates from sewage sludge-amended soil. *Environ. Sci. Pollut. R.* 20, 3435–3446.
- Michaud, A., Chappelaz, C., Hinsinger, P., 2008. Copper phytotoxicity affects root elongation and iron nutrition in durum wheat (*Triticum turgidum durum* L.). *Plant Soil* 310, 151–165.
- Nazarov, A.V., Ylaryonov, S.A., 2005. Yzuchenye prychny fitotoksychnosti neftezagrjzennyyh pochv [Studying the causes of phytotoxicity of oil-contaminated soils]. *Al'ternatyvnaja Jenergetika i Jekologija* 1, 60–65 (in Russian).
- Oleszczuk, P., 2010. Testing of different plants to determine influence of physico-chemical properties and contaminants content on municipal sewage sludges phytotoxicity. *Environ. Toxicol.* 25, 38–47.
- Rathnayake, I.V., Megharaj, M., Krishnamurti, G.S., Bolan, N.S., Naidu, R., 2013. Heavy metal toxicity to bacteria – Are the existing growth media accurate enough to determine heavy metal toxicity? *Chemosphere* 90(3), 1195–1200.
- Romaniuk, O., 2016. Rozrobka metodu ocinky toksychnosti naftozabrudnenyh gruntiv [Development of method for toxicity evaluation of oil-contaminated soils]. *Visnyk Lvivskoho Universytetu Serii Bioloheia* 72(2), 93–100 (in Ukrainian).
- Shevchuk, L.Z., Romaniuk, O.I., 2014. Doslidzhennja dejakyh zakonomirnostej vplyvu nafty na pochatkovi rostovi parametry roslynnyh test-ob'ektiv [Researching regularities of influence of oil on the initial growth parameters of test-objects plants]. *Visnyk Lvivskoho universytetu Serii Bioloheia* 67, 129–137 (in Ukrainian).
- Shunel'ko, E.V., Fedorova, A.I., 2000. Jekologicheskaja ocenka gorodskih pochv i vyjavlenie urovnja toksychnosti tjazhelyh metallov metodom biotestirovanija [Environmental assessment of urban soils and identification of level of heavy metal toxicity by a biotesting method]. *Vestnik Voronezhskogo Gosudarstvennogo Universiteta Serija Geografija Geoeekologija* 4, 77–83 (in Russian).
- Tang, J.C., Wang, M., Wang, F., Sun, Q., Zhou, Q.X., 2011. Eco-toxicity of petroleum hydrocarbon contaminated soil. *J. Environ. Sci.* 23(5), 845–851.
- Valerko, R.A., 2013. Osoblivosti biotestuvannja antropogennyh zabrudnenih rruntyv z metoju jih ekotoksychnoji ocinki [The use of the biotesting method for anthropically polluted soils to their estimates ecotoxicological]. *Visnik Harkivs'kogo Nacional'nogo Agramogo Universytetu* 2, 262–266 (in Russian).
- Wang, X., Sun, C., Gao, S., Wang, L., Shuokui, H., 2001. Validation of germination rate and root elongation as indicator to assess phytotoxicity with *Cucumis sativus*. *Chemosphere* 44(8), 1711–1721.

Надійшла до редколегії 02.06.2016