



УДК 504.064.3:58+504.53.054:665.7

МОЖЛИВОСТІ ВИКОРИСТАННЯ РОСЛИННИХ ТЕСТ-СИСТЕМ ДЛЯ БІОМОНІТОРИНГУ НАФТОЗАБРУДНЕНИХ ҐРУНТІВ

Н. М. Джура

*Львівський національний університет імені Івана Франка,
вул. Грушевського, 4, Львів 79005, Україна
e-mail: Gjurana@ukr.net*

У статті проаналізовано проблеми і перспективи техногенного забруднення ґрунтів. На основі літературних і власних даних оцінено можливості використання рослинних тест-систем для біомоніторингу нафтозабруднених ґрунтів. З'ясування цих питань є теоретичним підґрунтям для інтерпретації результатів еколого-токсикологічної діагностики нафтозабруднених територій.

Ключові слова: фітотоксичність, нафтозабрудненні ґрунти, рослинні тест-системи, біомоніторинг, біотестування.

ВСТУП

Деградація рослинного покриву та ґрунтів унаслідок техногенної діяльності людини є однією з найважливіших екологічних проблем сьогодення. Практично всі ґрунти забруднені важкими металами, пестицидами, отрутохімікатами, техногенними викидами тощо. Надзвичайно небезпечним джерелом забруднення ґрунтового покриву є підприємства нафтогазовидобувної та нафтопереробної промисловості. Забруднення Світового океану нафтою й нафтопродуктами досягло вже 1/5 площі його загальної поверхні. Нафтове забруднення таких розмірів може викликати істотні порушення газо- і водообміну між гідросферою й атмосферою [2, 41, 45, 60, 62, 65, 71, 72].

Нафтохімічне забруднення геологічного середовища має свої особливості. Виток нафтопродуктів із високим вмістом важких фракцій вуглеводнів утворюють на поверхні ґрунту щільну, в'язку бітумінозну кірку, яка утруднює газообмін між атмосферою і ґрунтовими екосистемами, порушуються їхні структурні та функціональні характеристики, змінюються фізико-хімічні властивості, окисно-відновний потенціал, вуглецево-азотний баланс, знижується продуктивність земель [28–31, 37, 45, 46, 55].

Ключовим етапом екологічних досліджень сьогодення є розвиток нових екологічно безпечних та економічно вигідних технологій ремедіації ґрунтів [28, 51, 62, 64, 65, 70, 71].

З метою реалізації законів України „Про охорону земель”, „Про державний контроль за використанням та охороною земель” і на виконання Постанови Кабінету Міністрів України „Про затвердження Положення про державну систему моніторингу довкілля” відповідно до наказу міністра аграрної політики України затверджено Положення про моніторинг ґрунтів на землях сільськогосподарського призначення. Одним із головних завдань цього Положення є проведення спостережень, збір, аналіз і опрацювання інформації щодо забруднення ґрунтів токсичними речовинами та розроблення і впровадження науково обґрунтованих рекомендацій щодо прийняття рішень про запобігання та ліквідацію наслідків негативних процесів і заходів для забезпечення відтворення родючості ґрунтів тощо [32, 43, 53].

Аналіз літератури дає підстави стверджувати, що розробка нових способів і підходів до діагностування й оцінки довкілля за впливу забруднення є актуальною та важливою як у теоретичному, так і у прикладному аспекті. Зокрема, діагностика й оцінка нафтозабрудненої системи „рослина-ґрунт” є важливими складовими в екологічному нормуванні, екоотоксикології, при проведенні екологічного моніторингу й аудиту, розробленні комплексу технологічних і біологічних заходів щодо санції нафтозабруднених територій [3, 16, 22, 35, 50, 53].

Колективом кафедри фізіології та екології рослин Львівського національного університету імені Івана Франка під керівництвом доктора біологічних наук, професора, завідувача кафедри фізіології та екології рослин, академіка АН ВШ України, Заслуженого працівника освіти України Терек Ольги Іштванівни, вивчаються екологічні проблеми деградації ґрунтів, техногенно забруднених нафтою і нафтопродуктами, досліджуються можливості фіторекультивацийних технологій як екологічнобезпечних і рентабельних заходів [20–22, 27, 34, 48, 49, 56–59, 64].

Тимчасом методика використання рослинних тест-систем для оцінки впливу різних факторів перебувають здебільшого на етапі наукової розробки. На основі аналізу літератури та результатів власних досліджень метою цієї статі було оцінити можливість використання рослинних тест-систем для біомоніторингу нафтозабруднених ґрунтів.

Проблеми і перспективи техногенного забруднення ґрунтів

Ґрунти є сполучною ланкою між атмосферою, гідросферою, літосферою і живими організмами. Вони відіграють важливу роль у процесах обміну речовин та енергії між компонентами біосфери. Постійний обмін речовин: *атмосфера* ↔ *рослина* ↔ *ґрунт* ↔ *атмосфера* визначає строго координовану в часі та просторі сукупність біохімічних реакцій [1, 23, 26, 61].

Ґрунти відіграють поліфункціональну роль у біогеоценозах і в біосфері. Вони є фоном взаємодій і середовищем життя рослин [61].

Екологічна багатозначність ґрунтів у біогеоценозах визначається як [23, 61]:

- 1) зосередження (депо) організмів, їхніх зачатків, вологи, енергії, хімічних елементів;
- 2) життєвий простір, притулок або тимчасове житло;
- 3) сорбент речовин;
- 4) стимулятор або гальмувач життєвих процесів;
- 5) дзеркало ландшафту, що відображає його екологічну сутність, історію;
- 6) субстрат і механічна опора для наземних організмів;
- 7) сигнальний фактор багатьох екологічних явищ і процесів.

Рослинність і ґрунти (едафотопи) – могутній біохімічний бар'єр, який концентрує на собі повітряні мігранти і забруднювачі різного походження. Забруднення ґрунтів як об'єкт спостережень має цілу низку важливих специфічних особливостей. По-перше, *ґрунт* – це найбільш малорухоме природне середовище порівняно з атмосферою або поверхневими водами. Міграція забруднювальних речовин у ґрунті відбувається відносно повільно. Завдяки цьому високі рівні забруднення ґрунтів деякими речовинами локалізуються в місцях їхнього викиду в зовнішнє середовище. Окрім того, можливими є поступова зміна хімічного складу ґрунтів, порушення єдності геохімічного середовища та живих організмів [1, 23, 26, 32, 61].

У процесі життєдіяльності, ґрунтові організми формують елементарний склад ґрунту, особливості його газової та рідкої фази, синтезують ґрунтову органічну речовину. При оцінці забруднення ґрунтів за основний критерій беруть показник нормального функціонування ґрунтової системи, який визначають за кількістю і якістю біомаси, що є продуктом ґрунту [1, 26, 35, 61].

Виділяють **три групи ґрунтових біологічних процесів**:

- 1) діяльність ґрунтових мікроорганізмів, які здійснюють глибоке перетворення органічного та частково мінерального складу ґрунту;
- 2) діяльність рослин, що зумовлює кругообіг хімічних елементів у системі „ґрунт-рослини” та накопичення органічної речовини ґрунту;
- 3) діяльність ґрунтових тварин, яка має значний вплив на фізичні та хімічні властивості ґрунту [8, 23].

При деградації ґрунтів негативному впливові піддаються й інші вищезгадані компоненти екосистеми [1, 26, 61].

Техногенне забруднення ґрунтів – сума процесів, що спричинюють перерозподіл хімічних елементів на поверхні землі під впливом людської діяльності. Якщо воду і повітря можна, за певних зусиль, очистити від забруднення, то ґрунти – іноді взагалі неможливо. Рухомість токсикантів, а значить, і їхній вміст у рослинах залежать від фізико-хімічних властивостей ґрунтів, які, у свою чергу, зумовлюють його буферність і захисні якості. Потрапляючи у ґрунт, забрудники вступають у хімічні та біохімічні процеси і, здебільшого, негативно впливають на їхню спрямованість та інтенсивність [1, 26, 47, 61].

Наслідками техногенного забруднення ґрунтів є: підкислення ґрунтового розчину, погіршення фізико-хімічних і біохімічних показників, інтенсифікація мобілізаційних процесів, вимивання мінеральних елементів, деструкція ґрунтового профілю, утворення важкорозчинних сполук основних елементів живлення, зміна чисельності і співвідношення мікроорганізмів (зменшення кількості сапрофітних бактерій та зростання кількості грибів), інактивація ферментативної системи ґрунту і, як наслідок, – деградація ґрунтів і зниження їхньої родючості [23, 35, 47].

Відповідно до „Концепції екологічного нормування допустимого антропогенного навантаження на ґрунтовий покрив” [32] забруднення геологічного середовища небезпечними речовинами (важкими металами, пестицидами, радіонуклідами, нафтопродуктами тощо) становить значну частку екологічних проблем на території України. Ґрунти вважаються забрудненими, якщо:

- концентрація означених речовин досягає рівня, за якого відбувається пригнічення рослинного покриву; знижується продуктивність сільськогосподарських земель;
- порушується природна рівновага у ґрунті;

- відбувається латеральна і радіальна міграція забруднювальних речовин із ґрунту до підземних або поверхневих вод [37–39, 40].

Залежно від сорбційних властивостей ґрунту стосовно нафтопродуктів ґрунти виступають як геохімічні бар'єри [38].

Значне нафтове забруднення ґрунтів, що виникає при аварійних викидах, супроводжується гострою токсичною дією нафти на живі організми. У високих концентраціях нафта чинить сильний токсичний вплив на всю ґрунтову біоту, однак період токсичності є порівняно недовготривалим. З часом гострота токсичної дії нафти помітно знижується, а зниження біологічної продуктивності нафтозабруднених ґрунтів, пов'язане зі зміною важливих властивостей залишається довготривалим. Складність проблеми полягає не тільки в масштабах нафтового виливу, але й у розробці критеріїв оцінки і методів ліквідації наслідків цього не постійного за своїм складом забруднення. Різноманіття нафтопродуктів ускладнює процес їхнього моніторингу [19, 28–30, 46, 60].

Аналіз діючих на території України нормативних документів показав, що для оцінки рівня забрудненості ґрунтів нафтопродуктами використовується *орієнтовно-допустима концентрація* (ОДК) нафти у ґрунті, яка становить 4000 мг/кг [15]. На основі цього для чорноземної зони України пропонується встановити такі градації забруднення ґрунтів нафтою та нафтопродуктами [18]:

- незабруднені – менше 400 мг/кг;
- слабо забруднені – 3 000–6 000 мг/кг;
- середньо забруднені – 6 000–12 000 мг/кг;
- сильно забруднені – 12 000–25 000 мг/кг;
- дуже сильно забруднені – понад 25 000 мг/кг.

Відповідно до ГОСТ 17.1.4.01-80 [12] *нафтопродукти* – це сума неполярних і малополярних вуглеводнів (аліфатичних, ароматичних, ациклічних), що становлять головну та найбільш характерну їхню частину – 70–90% від суми всіх речовин, що наявні у нафтопродуктах. До складу нафтопродуктів, які забруднюють ґрунтовий покрив на обстеженій території, входять легколетючі та важкі фракції вуглеводнів.

Екологічна безпека ґрунтового покриття – це такий його стан, за якого забезпечується самовідновлення та стає функціонування ґрунтової екосистеми [23, 26, 32, 35, 36, 40, 43]. Наведені вище вимоги до якості ґрунтів, оцінки екологічної небезпеки їхнього забруднення здійснюються на основі результатів вимірювання концентрацій нафтопродуктів без урахування впливу забруднення на біоценоз ґрунтової екосистеми, від нормального функціонування якого значною мірою залежить інтенсивність процесів самовідновлення якості ґрунтового покриття.

Токсичність нафти визначається наявністю в ній летких ароматичних вуглеводнів (толуолу, ксилолу, бензолу), нафталінів і деяких інших розчинних у воді фракцій. Ці сполуки порівняно легко та швидко випаровуються із ґрунту або руйнуються. Тому період гострої токсичної дії нафти на ґрунтову біоту є відносно коротким. Проте відновлення біологічної продуктивності ґрунту більш довготривале і пов'язане зі змінами його важливих властивостей [19, 62].

Актуальною проблемою у всьому світі є пошук способів і методів ліквідації наслідків цього полікомпонентного забруднення. Доведено привабливість застосування методів фітореMediaції забруднених ґрунтів, які базуються на встановленій

здатності рослин поглинати вуглеводні нафти і безпосередньо брати участь у їхній деструкції [28, 51, 62, 64–66, 70–72].

На основі вивчення впливу абіотичних чинників на деградацію нафти у ґрунті концентрацією 10% (100 г/кг) у перші дні після забруднення, коли найбільш токсичні вуглеводні легкої фракції випаровуються, виявлено, що процес деструкції нафтопродуктів відбувається досить активно: через 2 доби кількість випарованої нафти становила 39,78%, через 3 доби – 45,9%, а на 11-ту добу – 53,5% [19]. Отже, провідна роль у деградації токсичних нафтопродуктів з ґрунту належить процесам випаровування. Подальша деструкція нафтопродуктів відбувається за участю живих організмів (мікроорганізмів і рослин), які можуть розкладати важкі фракції нафти й відновлювати фізико-хімічні властивості забруднених еко-топів [54, 66, 70–73].

У попередніх дослідженнях встановлено толерантність до нафтозабруднених ґрунтів рослин осоки шорстковолосої (*Carex hirta* L.). Експериментально показано, що ці рослини, розмножуючись кореневищами, захоплюють забруднені ділянки навіть за наявності сильного забруднення ґрунту (100 г/кг), позитивно впливають на фізико-хімічні та мікробіологічні властивості ґрунту, покращують повітряно-водний режим, стимулюють зростання чисельності й активності ґрунтової мікробіоти, що забезпечує біодеградацію нафти у ґрунті [21, 44, 48].

Негативний вплив нафти на хімічний склад ґрунту проявляється у нагромадженні вуглецю за рахунок вуглеводнів нафти. Це призводить до зміщення наявного у ґрунті відношення C/N. Для вирішення цієї проблеми можуть бути використані стійкі до нафтового забруднення представники родини Бобові (*Fabaceae*), оскільки вони здатні фіксувати атмосферний азот [20, 45, 46, 51, 59, 65].

Вивчено вплив бобових рослин *Vicia faba* L. var. *minor* на функціонування мікробних асоціацій метаболізму азоту в забрудненому нафтою ґрунті. Показано суттєве зниження кількості нітрифікаторів і денітрифікаторів у нафтозабрудненому ґрунті й відновлення їхньої чисельності за участі рослин *V. faba* [20].

Досліджено участь рослин *Faba bona* Medic. (*Vicia faba* L.) у відновленні нафтозабруднених ґрунтів. Встановлено пряму залежність токсичності ґрунту від вмісту нафти у ньому (10, 25, 50, 100 г нафти на 1 кг ґрунту). Показано, що рослини *V. faba* суттєво знижували фітотоксичність і вміст нафтопродуктів у забруднених ґрунтах, що дає підстави рекомендувати цей вид для фіторемедіації нафтозабруднених територій [49].

Таким чином, на основі аналізу проблем техногенного забруднення ґрунтів, зокрема, забруднення їх нафтою і нафтопродуктами, можна зробити висновок, що альтернативними є способи фіторемедіації, які допоможуть прискорити процеси відновлення деградованих ґрунтів. Технологія фітоочищення має багато переваг, якщо взяти до уваги нерозривність і природність взаємозв'язку ґрунту й рослин.

Перевагою фіторемедіації є те, що вона не шкідлива для навколишнього середовища, значно дешевша від фізико-хімічних методів ремедіації та має широку громадську підтримку. Під час фіторемедіації спостерігається менше вторинних забруднень (наприклад, забруднення вод), фізичний і механічний склад ґрунтів не пошкоджується, їхня біологічна активність не знижується, а продуктивність здебільшого залишається сталою. Фіторемедіація найбільш придатна для очищення помірно забруднених ґрунтів, де немає необхідності у повному видаленні забруднень. Достатньо лише зменшити їхню кількість до допустимих значень. Фіторемедіація

є екологічно безпечною, тому що не руйнує природну родючість ґрунту, а навпаки, редує ерозію ґрунту і збільшує його аерацію. Це стимулює ґрунтову мікрофлору до розкладання органічних забруднень і сприяє поглинанню рослиною шкідливих речовин (у тому числі нафти і нафтопродуктів) [2, 24, 36, 51, 70].

Узагальнюючи вищесказане, можна відзначити, що способи фітоочищення нафтозабруднених ґрунтів є екологічно безпечними та економічно вигідними [48, 49, 57], оскільки сприяють підвищенню ступеня очищення ґрунтів на середньо і сильно забруднених нафтою ділянках, знижують їхню фітотоксичність, забезпечують ріст і розвиток трав'яної рослинності лише за один вегетаційний період після посадки, без додаткового внесення мікробіологічних препаратів, органічних чи мінеральних добрив, а це допоможе здешевити і спростити процес та отримати передбачений технічний результат.

Біологічний моніторинг нафтозабруднених ґрунтів

За допомогою моніторингу виявляють критичні ситуації та фактори, що діють у середовищі, а також критичні (найчутливіші) елементи біосфери [3, 6, 10, 32, 35].

За Ю.А. Ізраїлем, моніторинг складається з трьох основних частин [25]:

- 1) спостережень за антропогенними факторами і довкіллям;
- 2) аналізу й оцінки стану довкілля;
- 3) прогнозування зміни стану довкілля.

І.М.Волошин вважає за необхідне додати ще одну частину, а саме управління природно-антропогенними процесами з метою їхньої оптимізації [6].

Для оцінки екологічної небезпеки забруднення нафтопродуктами навколишнього природного середовища необхідно характеризувати такі показники [37, 38]: 1) вміст нафтопродуктів в окремих компонентах (такі дані отримують у стандартному режимі при здійсненні моніторингових спостережень); 2) швидкість їхньої хімічної та біологічної деструкції (на основі проведення комплексу довгострокових і трудомістких за обсягом експериментів у польових і лабораторних умовах); 3) рівень токсичності нафтопродуктів щодо живих організмів [13].

Унаслідок немонофакторного характеру дії нафти і нафтопродуктів, токсичну активність ґрунту важко прогнозувати, оскільки окремі компоненти, взаємодіючи між собою та ґрунтовим середовищем, спроможні активуватись або інактивуватись різноманітними зовнішніми чинниками. Нормативи екологічної регламентації є комплексними і враховують дію нафти на ґрунтову біоту й фізико-хімічні властивості ґрунту [32].

Біотестування, біоіндикація та екотоксикологія, поряд із методами аналітичної хімії, дають змогу в цілому отримати повну картину деградації ґрунтів, забруднених нафтопродуктами. Принцип біоіндикації будується на тому, що кожен організм щодо діючого фактора володіє унікальним фізіологічним діапазоном реакції. У той же час на кожну конкретну групу організмів будуть впливати інші численні фактори, які не завжди можна врахувати. Тому комплексну оцінку екотоксичності нафтозабруднених ґрунтів доцільно здійснювати на основі біотестів різних трофічних рівнів, зокрема: ґрунтових екзоферментів, ґрунтової мікрофлори і фауни, рослин-індикаторів, рослин-ремедіантів тощо [17, 28-30, 38, 50, 63, 68, 69].

При відборі тест-організмів суттєвим є використання біотестів, найчутливіших до дії забруднювальних компонентів. Друга важлива вимога щодо тест-організму полягає в тому, що дія токсиканта на нього має обов'язково викликати зворотну реакцію організму [16, 50].

Рослинні тест-системи є досить надійними та зручними у встановленні ступеня токсичності певних забруднювачів, також вони дають змогу оцінити сумарний ефект дії різних видів забруднювачів, у тому числі для оцінки ступеня деградації ґрунтових екосистем, що зазнають різнопланово антропогенного впливу. Найбільш інформативними даними щодо екологічної небезпеки нафтопродуктів для ґрунтової екосистеми є визначення **фітотоксичності** – здатності ґрунту чинити пригнічувальний вплив на рослини, що призводить до порушення фізіологічних процесів, погіршення якості рослинної продукції [13, 28, 45, 57, 68].

Вплив нафтового забруднення на рослинні організми відбувається двома шляхами: безпосередньо (внаслідок проникнення компонентів нафти через кореневу систему або продиhi листків і включення їх у метаболізм) і опосередковано (через зміни фізико-хімічного складу ґрунту та порушення його біотичних властивостей) [60].

Безпосередній вплив нафти на рослинний покрив виявляється в тому, що сповільнюється ріст рослин, порушуються функції фотосинтезу і дихання, відзначаються різні морфологічні порушення, сильно страждають коренева система, листки, стебла та репродуктивні органи [7, 17, 21, 30, 34, 45, 57, 59].

Для діагностування й оцінки токсичності нафтозабруднених ґрунтів зазвичай враховуються такі показники, як висота рослин, кількість, довжина і ширина листків, довжина черешків, кількість і довжина пагонів, кількість квіток, розміри частин оцвітини, кількість плодів і насінин у плоді, загальна маса рослини і маса окремих її частин тощо. Фізіолого-біохімічні та цитогенетичні параметри рослинних тест-систем є придатними для кількісної оцінки дії факторів в умовах техногенного забруднення. Біоіндикацію нафтозабруднених ґрунтів у агроекосистемах проводять на основі реакцій сільськогосподарських рослин із різною чутливістю до даного фактора [9, 14, 17, 42, 45, 50, 56, 57].

Вивчено фізіологічні аспекти адаптації стійких до забруднення ґрунту нафтою видів рослин – *Carex hirta* та *Faba bona* [21, 27, 34]. Уперше виявлено вплив нафти на характер опушення верхньої частини листків *C. hirta*: на забруднених нафтою площах спостерігали форми з гладенькими неопушеними листками та блискучою поверхнею, а на контрольних ділянках – листки опушені, мали матову поверхню [21]; у дослідних рослин *C. hirta* спостерігали аномалії при утворенні продиhив (злиття двох-трьох продиhив). За дії нафтового забруднення ґрунту (50 г/кг) збільшувалася кількість продиhив на листовій поверхні дослідних рослин, зокрема у *V. faba* майже на 43%, у *C. hirta* – на 13% щодо контролю. Проте за дії сильного нафтового забруднення (100 г/кг ґрунту) спостерігали зменшення кількості продиhив на одиницю площі листка: у *V. faba* на 18%, у *C. hirta* – на 15% щодо контролю [33].

На основі літературних даних [10, 14, 17, 42, 67] і результатів власних досліджень [20–22, 33, 58, 59] можна зробити висновок, що досліджувані тест-реакції фіторемедіантів (табл. 1) є чутливими до дії нафти, тому їх доцільно використовувати як тест-системи при фітоіндикації нафтозабруднених територій, а рослини *C. hirta* і *V. faba* – для відновлення нафтозабруднених ґрунтів [48, 49].

Оперативну інформацію про фітотоксичність забрудненого ґрунту можна отримати, використовуючи як тест-об'єкти насіння та проростки рослин. Тест-функції, що використовують у біотестуванні, досить різноманітні: динаміка проростання насіння, відсоток схожості, довжина головного і бічних коренів, довжина пагона тощо. На їх основі визначають **фітотоксичний ефект** ґрунту [4, 9, 14, 16, 45, 67].

Для порівняння токсичності за ростовим тестом фітоіндикатора розроблена шкала рівнів токсичності ґрунтів (табл. 2) [9, 52].

Таблиця 1. Рослинні тест-системи *Carex hirta* L. та *Faba bona* Medic. (*Vicia faba* L.) в умовах забруднення ґрунту нафтою [20–22, 33, 58, 59]

Table 1. *Carex hirta* L. та *Faba bona* Medic. (*Vicia faba* L.) as plant test systems under soil contamination with oil [20–22, 33, 58, 59]

Тест-системи	Морфологічні та біометричні параметри
Насіння <i>V. faba</i>	Схожість насіння за дії різних концентрацій нафти і нафтопродуктів
Цілісна рослина <i>C. hirta</i> і <i>V. faba</i>	<ul style="list-style-type: none"> • біомаса рослин; • виживаність рослин у польових та лабораторних умовах
Вегетативні органи рослин	<ul style="list-style-type: none"> • довжина кореневищ <i>C. hirta</i>; • висота пагонів рослин <i>C. hirta</i> і <i>V. faba</i>
Листки рослин <i>C. hirta</i> і <i>V. faba</i>	<ul style="list-style-type: none"> • довжина і ширина листової пластинки; • кількість продихів на одиницю поверхні листка; • вміст фотосинтетичних пігментів; • наявність хлорозів, некрозів тощо; • характер опушення листової пластинки <i>C. hirta</i>

Таблиця 2. Шкала рівнів токсичності ґрунтів [9, 52]

Table 2. Scale of soil toxicity levels [9, 52]

Рівні пригнічення ростових процесів (фітотоксичний ефект), %	Рівень токсичності
0–20	Відсутність або слабкий рівень токсичності
20,1–40	Середній рівень
40,1–60	Вище середнього рівня
60,1–80	Високий рівень
80,1–100	Максимальний рівень

У біотестуванні основним параметром оцінки забруднення виступає не концентрація поліютанта, а реакція та відповідь живого організму. Перевагою біотестування токсичності забрудненого середовища є врахування впливу антагоністичних і синергічних взаємодій поліютантів, оцінка сумісної біологічної активності впливу фізико-хімічних факторів на біоту [9, 69, 73].

Проведено оцінку токсичності нафтозабруднених ґрунтів методами фітотестування [11]. Встановлено залежність „концентрація-ефект” між пригніченням росту коренів і пагонів досліджуваних фітотестів – льону звичайного (*Linum usitatissimum* L.) і соняшника однорічного (*Helianthus annuus* L.) та ступенем нафтового забруднення на проміжку 5–15% нафти (рис. 1). Виявлено специфічність і чутливість даних фітотестів [11], що вказує на можливість їх використання для біомоніторингу нафтозабруднених ґрунтів.

Отже, методи біотестування, які ґрунтуються на вивченні характеру зворотної реакції тест-організмів, мають низку переваг: оперативність, об’єктивність, доступність, простота проведення досліджень, повторюваність і достовірність отриманих результатів, економічність, низька собівартість тощо.

Усе сказане вище свідчить про те, що рослини є найбільш зручними і доступними об'єктами для біомоніторингу ґрунтів, оскільки вони є первинними ланками трофічних ланцюгів, виконують основну роль у поглинанні різноманітних забруднювачів і постійно зазнають їхнього впливу внаслідок закріплення на субстраті [10, 14, 42]. Рослини дуже пластичні та чутливо реагують на всі зміни екологічних умов. Тому індикаційні фітоекологічні спостереження можуть полегшити, прискорити, підвищити ефективність, а іноді й замінити більш трудомісткі інструментальні методи досліджень [5, 68].

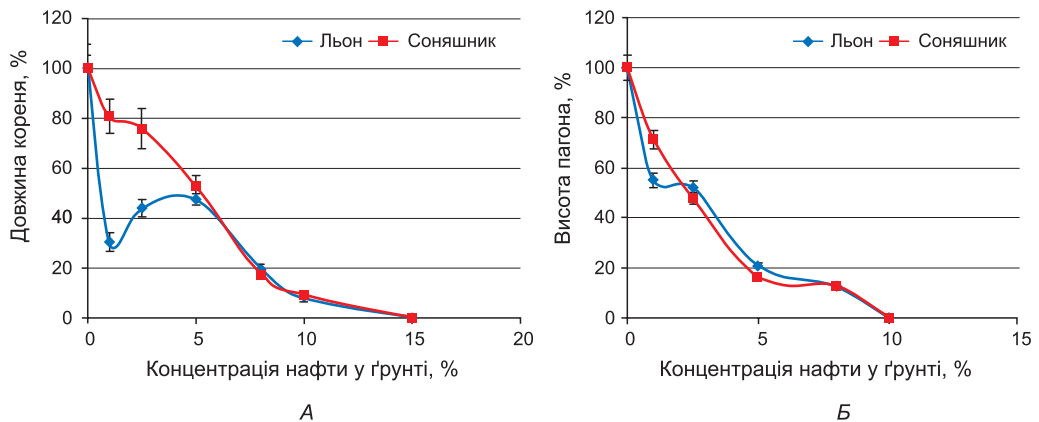


Рис. 1. Залежність довжини коренів (А) і висоти пагонів (Б) *Linum usitatissimum* L. та *Helianthus annuus* L. від концентрації нафти у ґрунті [11]

Fig. 1. Dependence of root length (A) and shoot height (B) of *Linum usitatissimum* L. and *Helianthus annuus* L. plants on oil concentration in soil [11]

Таким чином, сучасні підходи, засновані на застосуванні рослинних тест-систем, відкривають можливості екологічної оцінки токсичності середовища у різних регіонах України, особливо територій, забруднених нафтою і нафтопродуктами. Сумісне використання як хімічних, так і біологічних методів забезпечить одночасне визначення рівня нафтохімічного забруднення ґрунтового покриву та його здатність до самовідновлення.

Висловлюємо щирю вдячність завідувачеві кафедри фізіології та екології рослин Львівського національного університету імені Івана Франка, д.б.н., професору О.І. Терек, співробітникам кафедри – к.б.н., доценту О.М. Цвілинюк, к.б.н., ст. наук. співроб. О.І. Величко, к.б.н., асистенту О.Л. Карпин, к.б.н. Г.В. Коровецькій, магістру М.З. Горон, к.б.н., ст.наук.співроб. кафедри мікробіології О.М. Мороз, к.х.н., ст.наук.співроб. Відділення фізико-хімії горючих копалин Інституту фізико-органічної хімії і вуглехімії ім. Л. Литвиненка НАН України О.І. Романюк за співпрацю у проведенні науково-дослідної роботи.

1. **Агроєкологія:** Навчальний посібник /О.Ф.Смаглій, А.Т.Кардашов, П.В. Літвак та ін. Київ: Вища освіта, 2006. 671 с.
2. **Андресон Р.К., Мукатанов А.Х., Бойко Т.Ф.** Екологические последствия загрязнения почв нефтью. **Экология**, 1980; 6: 21–25.

3. *Баріляк І.Р., Дуган О.М.* Еколого-генетичні дослідження в Україні. **Цитологія і генетика**, 2002; 36(5): 3–10.
4. *Буторина А.К., Калаев В.Н., Вострикова Т.В., Мяжкова О.Е.* Цитогенетическая характеристика семенного потомства некоторых видов древесных растений в условиях антропогенного загрязнения г. Воронежа. **Цитологія**, 2000; 42(2): 196–201.
5. *Викторов С.В., Ремезова Г.Л.* **Индикационная геоботаника**. Москва: Изд-во Моск. ун-та, 1988: 168 с.
6. *Волошин І.М.* **Ландшафтно-екологічні основи моніторингу**. Львів, 1998. 250 с.
7. *Гашева М.Н., Гашев С.Н., Соромотин А.В.* Состояние растительности как критерий нарушенности лесных биоценозов при нефтяном загрязнении. **Экологія**, 1990; 2: 77–78.
8. *Горбань В.А.* Співвідношення екологічних функцій ґрунтів та їх екологічних властивостей. **Ґрунтознавство**, 2008; 9(1–2): 124–127.
9. *Горова А., Кулина С.* Оцінка токсичності ґрунтів Червоноград-ського гірничопромислового району за допомогою ростового тесту. **Вісн. Львів. ун-ту. Сер. біол.**, 2008; 48: 189–194.
10. *Горова А.И., Бобырь Л.Ф., Дигурко В.М., Скворцова Т.В.* Методические аспекты определения мутагенного фона и генетического риска для человека и биоты от действия мутагенных экологических факторов. **Цитологія і генетика**, 1996; 6: 78–86.
11. *Горон М.З., Джура Н.М., Романюк О.І.* та ін. Фітотестування як експрес-метод оцінки токсичності нафтозабруднених ґрунтів. **Вісн. Львів. ун-ту. Сер. біол.**, 2012; 58:
12. **ГОСТ 17.1.4.01-80** Общие требования к методам определения нефтепродуктов в природных и сточных водах.
13. **ГОСТ 17.4.3.04-85** Охрана природы. Почвы. Общие требования к контролю и охране от загрязнения.
14. *Гродзинський Д.М., Шиліна Ю.В., Куцоконь Н.К.* та ін. **Застосування рослинних тест-систем для оцінки комбінованої дії факторів різної природи**. Київ: Фітосоціоцентр, 2006. 60 с.
15. **ГСТУ 41-00 032 626-00-007-97**. Галузевий стандарт України. Охорона довкілля. Спорудження розвідувальних і експлуатаційних свердловин на нафту та газ на суші.
16. *Губачов О. І.* Особливості використання рослин для біотестування ґрунтів з метою визначення рівня екологічної безпеки промислових територій. **Наук. вісник КУЕІТУ. Нові технології**, 2010; 3 (29): 164–171.
17. *Давыдова И.Ю., Пахненко-Дурынина Е.П.* Реакция сельскохозяйственных растений на загрязнение почвы нефтью. Моск. государс. ун-т им. М.В. Ломоносова / **conf.stavsu.ru/_WordDocs/76.doc**
18. *Демидиенко А. Я.* Пути восстановления плодородия нефтезагрязненных почв черноземной зоны Украины. **Восстановление нефтезагрязненных почвенных экосистем**. Москва: Наука, 1988: 197–205.
19. *Джура Н., Шевчик Л., Романюк О., Терек О.* Екотоксикологічний моніторинг нафтозабруднених ґрунтів. VII Міжнар. конф. студентів та аспірантів „**Молодь і поступ біології**”: зб. тез, 5–8 квітня 2011. Львів, 2011: 318–319.
20. *Джура Н.М., Мороз О.М., Русин І.Б.* та ін. Вплив рослин бобу кормового (*Vicia faba* var. *tipogr*) на функціонування мікробних асоціацій метаболізму азоту у забрудненому нафтою ґрунті. **Ґрунтознавство**, 2010; 11(3–4): 105–112.
21. *Джура Н.М.* **Фізіологічні аспекти адаптації рослин *Carex hirta* L. до нафтового забруднення**: автореф. дис. ... канд. біол. наук: 03.00.12. Київ. 2007. 21 с.
22. *Джура Н.М., Терек О.І.* Перспективи застосування рослинних тест-систем для екологічної оцінки нафтозабруднених ґрунтів. **Наукові, прикладні та освітні аспекти фізіології, генетики, біотехнології рослин і мікроорганізмів**: Матер. XI конф. молодих вчених. Київ, 2010: 50–51.

23. Добровольский Г.В., Никитин Е.Д. **Экология почв**. Москва: Изд-во Моск. ун-та; Наука, 2006. 364 с.
24. **Забруднювачі та їх впливи на екологічно вразливі екосистеми Верхнього Потисся** / Н. Бойко, Ш. Балажі, Ю. Голас, І. Коваль, Н. Ковальчук, В. Козловський, А. Колесник, О. Колесник, О. Легань, Н. Романюк, С. Сухарев, М. Тот, І. Чонка, С. Чундак, Л.Шимон / Під ред. Н. Бойко, Ш. Балажі. Ужгород; Ніредьгаза, 2008. 380 с.
25. Израэль Ю.А., Цыбань А.В. **Проблемы мониторинга экологических последствий загрязнения океана**. Ленинград: Гидрометеиздат, 1981. 60 с.
26. **Канівець В.І. Життя ґрунту**. Київ: Аграрна наука, 2001. 131 с.
27. Карпин О.Л. **Реакція антиоксидантної системи рослин *Carex hirta* та *Faba bona Medic. (Vicia faba L.)* в умовах нафтового забруднення**: автореф. дис. ... канд. біол. наук: 03.00.12. Київ, 2010. 20 с.
28. Киреева Н.А., Бакаева М.Д., Тарасенко Е.М., Галимзянова Н.Ф. Снижение фитотоксичности нефтезагрязненной серой лесной почвы при биорекультивации. **Агрехимия**, 2003; 2: 50–55.
29. Киреева Н.А., Кабиров Т.Р., Дубовик И.Е. Комплексное биотестирование нефтезагрязненных почв. **Теоретическая и прикладная экология**, 2007; 1: 65–69.
30. Киреева Н.А., Мифтахова А.М., Кузьяметов Г.Г. Рост и развитие сорных растений в условиях техногенного загрязнения почвы. **Вестн. Башкир. ун-та**, 2001; 1: 32–34.
31. Кодина Л.А. Геохимическая диагностика нефтяного загрязнения почвы. **Восстановление нефтезагрязненных почвенных экосистем** / Под ред. М. А. Глазовской. Москва: Наука, 1988. С. 112–122.
32. **Концепція екологічного нормування допустимого антропогенного навантаження на ґрунтовий покрив** / За ред. С. А. Балюка, М. І. Ромашенка. Київ: Аграрна наука, 2004. 34 с.
33. Коровецька Г., Соханьчак Р., Джура Н. та ін. Стан продигового апарату листків рослин *Carex hirta* L. за впливу нафтового забруднення ґрунту. **Вісн. Львів. нац. ун-ту. Сер. Біол.**, 2008; 47: 166–171.
34. Коровецька Г.В. **Адаптація рослин *Faba Vona Medic. (Vicia faba L.)* та *Carex hirta L.* до дефіциту вологи в умовах нафтового забруднення ґрунту**: автореф. дис. ... канд. біол. наук: 03.00.12. Київ, 2010. 20 с.
35. Костишин С.С., Руденко С.С., Морозова Т.В. **Біомоніторинг Чернівецької області**. Чернівці: Рута, 2008. 238 с.
36. Кравець О.П. Сучасний стан та проблеми фітоочищення ґрунтів від радіонуклідів і важких металів. **Физиология и биохимия культ. растений**, 2002; 34(5): 377–386.
37. Крайнюков О.М. Особливості розповсюдження вуглеводного забруднення та оцінка його впливу на геоекологічний стан басейну р. Сіверський Донець у межах Харківської області: **Автореф. дис. ... канд. геогр. наук**. Харків: 2007. 20 с.
38. Крайнюков О.М. Оцінка екологічної небезпеки забруднення нафтопродуктами ґрунтового покриву // **Екологічний атлас Кременчука**. Збірник 2007 /www.eko-kremen.mvк.pl.ua/material/2007.zip.
39. Крайнюков О.М. Оцінка екологічної небезпеки нафтохімічного забруднення підземних вод // **Вісн. Харків. нац. ун-ту ім. В.Н. Каразіна. Сер. Екологія**, 2008; 801: 52–57.
40. Матвеев Ю. М. Проблемы нормирования содержания химических соединений в почвах. **Агрехимия**, 2001; 12: 54–60.
41. Митропольський О.Ю., Байсарович І.М. Нафтохімічне забруднення та проблеми екології Карпатського регіону. **Екологія довкілля та безпека життєдіяльності**. Київ: Знання, 2002. С. 62–65.
42. Міхеев О.М., Гуца М.І., Шиліна Ю.В., Овсяннікова Л.Г. Застосування рослинних тест-систем для оцінки комбінованої дії стресорів різної природи на екосистеми. **Наук. праці. Екологія**, 2006; 53(40): 56–64.

43. Моклячук Л.І. Науково-методичні основи екотоксикологічного моніторингу і ремедіації забруднених органічними ксенобіотиками ґрунтів: **Автореф. дис. ... д-ра с.-г. наук: 03.00.16**; Інститут агроєкології УААН. Київ, 2008. 40 с.
44. Мороз О.М., Джура Н.М., Безноско Г.Я. та ін. Вплив рослин *Carex hirta* на мікрофлору нафтозабруднених ґрунтів. **Наук. Вісн. Ужгород. ун-ту. Сер. Біологія**, 2006; 19: 149–154.
45. Назаров А.В., Иларионов С.А. Изучение причин фитотоксичности нефтезагрязненных почв. **Письма в междунар. науч. журн. „Альтернативная энергетика и экология”**. 2005; 1: 60–66.
46. Оборин А.А., Калачникова И. Г., Масливец Т.А. и др. Нефтяное загрязнение почв и способы рекультивации. **Влияние промышленных предприятий на окружающую среду**. Москва: Наука, 1987: 284–290.
47. Ольхович О.П., Мусієнко М.М. **Фітоіндикація та фітомоніторинг**. Київ: Фітосоціоцентр, 2005. 64 с.
48. Патент **16345 Україна**, МПК (2006) A01B 79/00 A01B 79/02 (2006.01) A01C 21/00. Спосіб очищення ґрунтів, забруднених нафтою / Н.М. Джура, О.І. Терек, О.М. Цвілинюк. №U200511816; Заявл. 12.12.05; Опубл. 15.08.06; Бюл. 8: 7 с.
49. Патент на корисну модель **60481 Україна**, МПК (2011.01) A01B 79/02 (2006.01) B09C 1/00. Спосіб фітоочищення нафтозабруднених ґрунтів / Н.М. Джура, О.І. Романюк, О.М. Цвілинюк, О.І. Терек – №u2010 12943; Заявл. 01.11.2010; Опубл. 25.06.2011; Бюл.12, 2011.
50. Петросян А.Г., Дятлов С.Є., Тарасенко А.О., Дятлова О.С. Біотестування як метод експрес-оцінки токсичності ґрунтів. **Вісн. ОНУ**, 2002; 7(1): 139–145.
51. Прасад Н.М. Практическое использование растений для восстановления экосистем загрязненных металлами. **Физиология растений**, 2003; 50(5): 764–780.
52. Руденко С.С., Костишин С.С., Морозова Т.В. **Загальна екологія: практичний курс**: Навч. посібник. Част. 1, 2. Чернівці: Рута, 2003. 320 с.
53. Самохвалова В.Л., Фатєєв А.І., Якушко В.І., Журавльова І.М. Спосіб індикації та оцінки екологічного стану забрудненої важкими металами системи ґрунт – рослина за біохімічними показниками. **Наук. вісн. Ужгород. ун-ту. Сер. Біологія**, 2008; 24: 83–90.
54. Стабникова Е. В., Селезнева М. В., Рева О. Н. и др. Выбор активного микроорганизма-деструктора углеводов для очистки нефтезагрязненных почв. **Прикл. биохимия и микробиология**, 1995; 31(5): 534–539.
55. Стом Д.И., Потапов Д.С., Балаян А.Э., Матвеева О.Н. Трансформация нефти в почве микробиологическим препаратом и дождевыми червями. **Почвоведение**, 2003; 3: 359–361.
56. Терек О.І. Механізми адаптації та стійкості рослин до несприятливих факторів довкілля. **Журн. агробіологія та екологія**, 2004; 1: 41-56.
57. Терек О.І. **Ріст рослин**: навч. посібник. Львів: Вид. центр ЛНУ ім. І. Франка, 2007. 247 с.
58. Терек О.І., Джура Н.М., Цвілинюк О.М. Фотосинтетичні пігменти рослин *Carex hirta* L. за умов нафтового забруднення ґрунту. **Фізіологія і біохімія культ. рослин**, 2008; 40(3): 238–244.
59. Терек О.І., Величко О.І., Джура Н.М. Фізіологічні аспекти адаптації рослин до нафтозабрудненого ґрунту. **Фізіологія рослин: проблеми та перспективи розвитку**: зб. наук. пр. Київ: Логос, 2009; 1: 217–225.
60. Цайтлер М.Й. **Відновлення рослинного покриву і зміни структури ценопопуляцій трав'яних рослин на нафтозабруднених територіях Бориславського нафтового родовища**: автореф. дис.... канд. біол. наук: 03.00.16. Дніпропетровськ, 2001. 16 с.
61. Шанда В.І., Шанда Л.В. Ґрунт як середовище взаємовідносин рослин. **Ґрунтознавство**, 2009; 10(1–2):14–22.

62. Штина Э.А., Шилова И.И., Неганова Л.Б., Ельшина Т.А. Влияние способов биологической рекультивации земель, загрязненных нефтью, на почвенную альгофлору в условиях таежной зоны. **Экология**, 1986; 2: 23–30.
63. Banks M., Schultz K. Comparison of plants for germination toxicity tests in petroleum contaminated soil. **Water, air, and soil pollution**, 2005; 167: 211–219.
64. Dzhura N., Romanyuk O., Oshchapovsky I. et al. Using plants for recultivation of oil polluted soils. In: **Handbook of Polymer Research: Monomers, Oligomers, Polymers and Composites**. New York: Nova Science Publishers, 2007: 125–129.
65. Frick C., Farrell R., Germida J. Assessment of Phytoremediation as an In-Situ Technique for Cleaning Oil-Contaminated Sites. **Department of Soil Science University of Saskatchewan Saskatoon**, SK Canada S7N 5A8. 1999: 23–25.
66. Glick B.R. Phytoremediation: synergistic use of plants and bacteria to clean up the environment. **Biotechnological Advances**, 2003; 21: 383–393.
67. Grant W. Higher plant assays for the detection of the chromosomal aberration and gene mutation – a brief historical background on their use for screening and monitoring environmental chemicals. **Mutat. Res**, 1999; 426: 107–112.
68. Henner P., Schiavon M., Druelle V. et al. Phytotoxicity of ancient gaswork soils. Effects of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) on plant germination. **Org. Geochem**, 1999; 30: 963–966.
69. Keddy C., Greene J., Bonnell M. Review of whole organism bioassays: Soil, freshwater sediment and freshwater assessment in Canada. **Ecotoxicol Environ. Saf**, 1995; 30: 251 p.
70. Kucharski R., Sas-Nowoselska A. Phytoremediation – a novel method of soil reclamation. **International conference Biodiversity and ecotoxicology of the industrial areas in reference to their bio-reclamation**. Katowice, 2003; June 5–6: 15.
71. Merkl N., Schultze-Kraft R., Infante C. Phytoremediation in the tropics – influence of heavy crude oil on root morphological characteristics of graminoids. **Environmental Pollution**, 2005; 138(1): 86–91.
72. Włodkovic D., Tomaszewska B. Podstawy technologii fitoremediacji zanieczyszczeń ropopochodnych. Mat. Konf. Nauk. nt. **Zanieczyszczenia środowiska produktami naftowymi, ich monitoring i usuwanie w aspekcie procesu integracji z Unią Europejską Ustronie Morskie**, 2003: 43–51.
73. Ziółkowska A., Wyszowski M. Toxicity of petroleum substances to microorganisms and plants. **Ecological chemistry and engineering**, 2010; 17(1): 73–82.

POTENTIALS OF USING PLANT TEST SYSTEMS FOR BIOMONITORING OIL POLLUTED SOILS

N. M. Dzhura

*Ivan Franko National University of Lviv, 4, Hrushevskiyi St., Lviv 79005, Ukraine
e-mail: Gjurana@ukr.net*

Problems and perspectives of technogenic soils pollution have been analyzed. The potentials of using plant test systems for biomonitoring oil polluted soils based on literature and authors data are evaluated. Clarification of these issues is a theoretical basis for interpreting the results of ecological and toxicological monitoring of oil polluted areas.

Keywords: phytotoxicity, oil polluted soils, plants test systems, biomonitoring, biotesting.

ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ РАСТИТЕЛЬНЫХ ТЕСТ-СИСТЕМ ДЛЯ БИОМОНИТОРИНГА НЕФТЕЗАГРЯЗНЕННЫХ ПОЧВ

Н. М. Джура

*Львовский национальный университет имени Ивана Франко
ул. Грушевского, 4, Львов 79005, Украина
e-mail: Gjurana@ukr.net*

В статье проанализированы проблемы и перспективы техногенного загрязнения почв. На основе литературных и собственных данных оценены возможности использования растительных тест-систем для биомониторинга нефтезагрязненных почв. Выяснение этих вопросов является теоретическим основанием для интерпретации результатов эколого-токсикологической диагностики нефтезагрязненных территорий.

Ключевые слова: фитотоксичность, нефтезагрязненные почвы, растительные тест-системы, биомониторинг, биотестирование.

Одержано: 12.12.2011