

Вплив нафтового забруднення на перебіг змін властивостей чорнозему та його фітотоксичність

Олексій Крайнюков¹,

д. геогр. н., професор, кафедра екологічної безпеки та екологічної освіти, навчально-науковий інститут екології, ¹Харківський національний університет імені В.Н. Каразіна, майдан Свободи, 6, м. Харків, 61022 Україна,
e-mail: alkraynukov@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-5264-3118>;

Інна Мірошніченко²,

аспірантка, ²Науково-дослідна установа «Український науково-дослідний інститут екологічних проблем», вул. Бакуліна, 6, м. Харків, 61166, Україна,
e-mail: zander3pike5@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-8914-8698>;

Олеся Сябрук³,

к. с.-г. н., ст. наук. співроб. відділу агрохімії
³ННЦ «Інститут ґрунтознавства та агрохімії імені О.Н. Соколовського», вул. Чайковська, 4, м. Харків, 61024, Україна,
e-mail: syabryk86@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0001-9521-4607>

Євгенія Гладкіх³,

к. с.-г. н., ст. наук. співроб. відділу агрохімії,
e-mail: ye.hladkikh@ukr.net, <https://orcid.org/0000-0002-4852-0502>

Загальновідомим фактом є те, що забруднення ґрунту нафтою дуже сильно впливає на його родючість, ріст та розвиток культурних рослин. Незважаючи на те, що ця проблема досить добре висвітлена у науковій літературі, на сьогодні вона повністю не вирішена. Метою роботи є дослідити зміну властивостей (фізико-хімічних, агрохімічних та біологічних) чорноземних ґрунтів та його фітотоксичність за різних рівнів нафтового забруднення. Дослідження проводили впродовж 2019-2021 рр. в умовах Лівобережного Лісостепу України у польовому дрібноділянковому досліді на чорноземі опідзоленому із періодичністю спостережень за діагностичними показниками у 1 місяць, 6, 12 та 24 місяці. Визначено динаміку біодеградації нафтопродуктів для різного рівня забруднення та виявлено, що протягом перших 6 місяців загальне зниження вмісту нафтопродуктів складало майже 42 %. Встановлено закономірності процесу самоочищення досліджуваного ґрунту від нафтових вуглеводнів протягом 24 місяців, які свідчать про істотну різницю у швидкості біодеградації нафтопродуктів для різного рівня забруднення. Визначено закономірності зміни вмісту водорозчинних калію та натрію, рухомих форм фосфору та калію у чорноземі опідзоленому, що зазнав нафтового забруднення. При цьому зафіксовано певну стабілізацію фосфатно-калійного стану нафтозабрудненого ґрунту і доведено неістотність даних вмісту рухомих форм фосфору та калію у якості індикаторів моніторингу на нафтозабруднених землях. Виявлено негативний вплив нафти на проростання насіння жита та гірчиці у польових умовах, що проявлявся у скороченні польової схожості насіння на 60-80 % за найвищого рівня забруднення. Визначено зв'язок рівня забруднення ґрунту нафтою із інтенсивністю виділення CO₂ забрудненим ґрунтом, який свідчить про істотне посилення емісії CO₂ з ґрунту через рік після його забруднення нафтою у діапазоні концентрацій 6,4-24,6 л/м², що є наслідком активної діяльності нафтоокислювальних мікроорганізмів та очевидно свідчить про інтенсифікацію процесів біодеградації нафти.

Ключові слова: забруднення нафтою, ґрунт, самоочищення ґрунту, фітотоксичність, біодеградація, система ґрунто-рослина, фізико-хімічні властивості ґрунту, агрохімічні властивості ґрунту, інтенсивність виділення CO₂ з ґрунту.

Як цитувати: Крайнюков Олексій. Вплив нафтового забруднення на перебіг змін властивостей чорнозему та його фітотоксичність / Олексій Крайнюков, Інна Мірошніченко, Олеся Сябрук, Євгенія Гладкіх // Вісник Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна, серія «Геологія. Географія. Екологія», 2022. – Вип. 57. – С. 296-306. <https://doi.org/10.26565/2410-7360-2022-57-22>

In cites: Krainiukov Oleksii, Miroshnychenko Inna, Siabruk Olesia, Hladkikh Yevheniia (2022). Effect of oil contamination on the course of changes in chernozem properties and phytotoxicity. Visnyk of V. N. Karazin Kharkiv National University, series "Geology. Geography. Ecology", (57), 296-306. <https://doi.org/10.26565/2410-7360-2022-57-22> [in Ukrainian]

Постановка проблеми. В Україні нараховується 410 родовищ нафти та газу, більша частина яких є комплексними. Нафтогазоносні родовища зосереджені у трьох регіонах (Східному, Західному та Південному), при цьому родовища Східного регіону, розташовані в межах Дніпровсько-Донецької нафтогазоносної області, є найбільшими за сучасними обсягами видобутку нафти і газу. Поряд з цим, уся інфраструктура нафтогазовидобування у межах Дніпровсько-Донецької за-

паднини розміщена на сільськогосподарських землях із найбільш родючими в Україні чорноземами, що обумовлює особливі вимоги щодо недопущення забруднення цих ґрунтів нафтою та нафтопродуктами, адже розробка та експлуатація нафтогазових родовищ є один із найнебезпечніших для навколишнього середовища видів виробничої діяльності [1-3]. Загалом, проблеми пов'язані із забрудненням вуглеводнями компонентів доквілля, зокрема ґрунтів, останнім часом набува-

ють усе більшої актуальності, що пов'язано з високою вартістю робіт під час застосування механічних, фізичних, хімічних та термічних способів очищення, а також із обмеженістю їх можливостей. Окрім того, щорічно збільшується кількість джерел надходження вуглеводнів у навколишнє середовище. В їх перелік входять практично всі автотранспортні підприємства, трубопровідний транспорт, підприємства нафтохімічної та нафтогазодобувної промисловості [4]. Недосконалість технологій видобутку, транспортування, переробки та зберігання нафти призводять до її аварійних розливів, що досягають 60-70 млн. тон на рік у світі, а це складає близько 2 % загального світового видобутку [5]. Забруднення, спричинене нафтою та її похідними, є однією із найбільших проблем для довкілля у всьому світі [6-9]. Зокрема, забруднення ґрунту нафтою та нафтопродуктами звертає на себе особливу увагу, адже ґрунт є ключовим елементом у трофічному ланцюзі надходження токсикантів до організму людини [10]. Наслідки нафтових забруднень можуть впливати на природні екосистеми впродовж десятиліть і навіть століть [11].

Аналіз останніх досліджень і публікацій.

Нафтові вуглеводні впливають на мінеральний, органічний та хімічний склад ґрунту, фізичні та біологічні властивості, а також на зміну рН ґрунтового розчину, якісні показники рослин, що вирощуються на забруднених ґрунтах та обсяг їх врожаю [12, 13]. За надходження нафти у ґрунт зменшується його водопроникність, через руйнування структурних агрегатів і закупорювання капілярів порушується аерація та окислювально-відновлювальний потенціал, створюються анаеробні умови [14-16]. В результаті ґрунт втрачає свою родючість, стає гідрофобним. За даними Мірошніченка М.М. [15], з плином часу водопроникність та вологоємність нафтозабрудненого ґрунту поступово відновлюються, а набуті гідрофобні властивості істотно зменшуються, хоча й залишаються вищими на два порядки від фонового рівня. Припускають, що стала складова набутої гідрофобності обмежує врожайність сільськогосподарських культур у несприятливі за вологозабезпеченням роки [17, 18]. Загалом, результати досліджень Sivkov Yu. [19] показують, що вміст нафтопродуктів суттєво знижує відсоток схожості насіння різних культур та кількість надземної біомаси рослин; а Wasen Abdul-Ameer Ali [20] та Marinescu M. [21] доводять, що вуглеводні знижують деякі параметри росту рослин. Низкою дослідників [21-23] виявлено у нафтозабруднених ґрунтах деяке зниження вмісту доступних поживних речовин, таких як вуглець, азот та фосфор. Окрім цього, забруднення ґрунту нафтою та нафтопродуктами порушує та пригнічує дихальну актив-

ність та мікробне самоочищення, змінює природне співвідношення чисельності мікроорганізмів [15, 17, 24].

Відновленню нафтозабруднених ґрунтів присвячено багато наукових праць, однак на сьогодні ця проблема повністю не вирішена. На наш погляд, такий стан питання пов'язаний із суттєвими відмінностями у процесах самовідновлення різних типів ґрунтів, багатофункціональністю ґрунту, як складової частини різних систем (ландшафтно-геохімічної, виробничої та ін.), а це викликає необхідність використання відповідних оціночних параметрів, репрезентативних у кожному індивідуальному випадку. Зокрема, для чорноземів Лівобережного Лісостепу України оптимальний перелік індикаторів їхнього моніторингу у районах нафторазодобування досі не визначено. У зв'язку з вищевикладеним, **метою роботи** є дослідження зміни властивостей (фізико-хімічних, агрохімічних та біологічних) чорнозему та його фітотоксичності за різних рівнів нафтового забруднення для подальшого використання параметрів цих показників при проведенні моніторингу ґрунтів.

Об'єкти та методи досліджень. Дослідження проводили впродовж 2019-2021 рр. в умовах Лівобережного Лісостепу України у польовому дрібноділянковому досліді на чорноземі опідзоленому важкосуглинковому на лесі з такими характеристиками у орному (0-20 см) шарі: рН водної витяжки 6,3; вміст органічного карбону 2,4 %; легкогідролізованого азоту – 38 мг/кг; рухомого фосфору і калію (за методом Чирікова) – 65 і 95 мг/кг відповідно.

Дослід закладено у посудинах без дна 0,5×0,5 м висотою 0,35 м з щільної подвійної поліетиленової плівки. Повторність дослідів – чотириразова. Схема дослідів передбачала забруднення ґрунту нафтою у кількості 0,4 л/м², 1,6 л/м², 6,4 л/м², 25,6 л/м². Для забруднення використано нафту Бугроватівського родовища (Охтирський район Сумської обл.). За рівномірного розподілу у 30-сантиметровому шарі ґрунту рівень забруднення дорівнював таким градаціям згідно [25]:

- 0,4 л/м² = 1000 мг/кг ґрунту (верхня межа незначного забруднення);
- 1,6 л/м² = 4000 мг/кг ґрунту (орієнтовно-допустима концентрація);
- 6,4 л/м² = 16000 мг/кг ґрунту (середнє забруднення);
- 25,6 л/м² = 64000 мг/кг ґрунту (сильне забруднення).

Періодичність спостережень: 1 місяць, 6 місяців, 12 місяців та 24 місяці після забруднення ґрунту. У якості діагностичних показників використовували: вміст насичених вуглеводнів за методом газової хроматографії; вміст водорозчинних калію і натрію згідно ДСТУ 7944:2015; рН

грунту згідно ДСТУ 7862:2015; вміст рухомих форм фосфору та калію згідно ДСТУ 4115-2002; інтенсивність виділення CO_2 з поверхні ґрунту за методом нестационарних респіраційних камер за допомогою портативного газоаналізатора testo 535 [26]. Вимірювання CO_2 проводили п'ять разів впродовж світлового дня із подальшим усередненням результату.

Тестовими культурами, що пророщували у польових умовах на забруднених ділянках, були жито та гірчиця.

Статистичну обробку експериментальних даних виконано з використанням програми STATISTICA 13.5.0.17.

Виклад основного матеріалу дослідження.

Динаміка вмісту вуглеводнів у ґрунті протягом періоду спостережень (24 місяці) – це один із головних показників біодеградації нафтопродуктів у ґрунті, що зазнав нафтового забруднення. Загальна концентрація вуглеводнів на початку і наприкінці періоду дослідження наведена на рисунку 1. Інтенсивність біодеградації нафтопродуктів у ґрунті з різними рівнями забруднення відрізнялась. За середнього та сильного рівня загальна втрата вуглеводнів протягом 24 місяців складала 60-64 %, а за незначного та орієнтовано-допусти-

мого рівня забруднення самоочищення ґрунту від вуглеводнів відбувалось істотно швидше і їхні втрати через 24 місяці досягли 85-87 %. Темпи біодеградації у цьому дослідженні були близькими до тих, про які повідомляють Dadrasnia і Agamuthu [27], Makadia et al. [28] та Omotayo et al. [29]. При цьому, як вважають Gawdzik і Zygadlo [30], одним із найбільших абіотичних механізмів, що сприяють втраті вуглеводнів із поверхні ґрунту є вертикальне переміщення їх вниз по профілю.

Показник самоочищення ґрунту від вуглеводнів був високим на початку експерименту, за перші 6 місяців загальне зниження вмісту нафтопродуктів складало майже 42 %. Наступні 6 місяців характеризувались відносним уповільненням процесу біорозкладення забруднювачів, що очевидно пов'язано із холодним періодом року (листопад-квітень), під час якого біоактивність ґрунтових мікроорганізмів призупиняється. З 12-го по 24-й місяць уміст нафтопродуктів знизився ще наполовину. Така динаміка біодеградації нафтових вуглеводнів у чорноземі опідзоленому добре описується квадратичною моделлю наведеної на рисунку 2 і узгоджується із результатами досліджень Wasen Abdul-Ameer Ali [20].

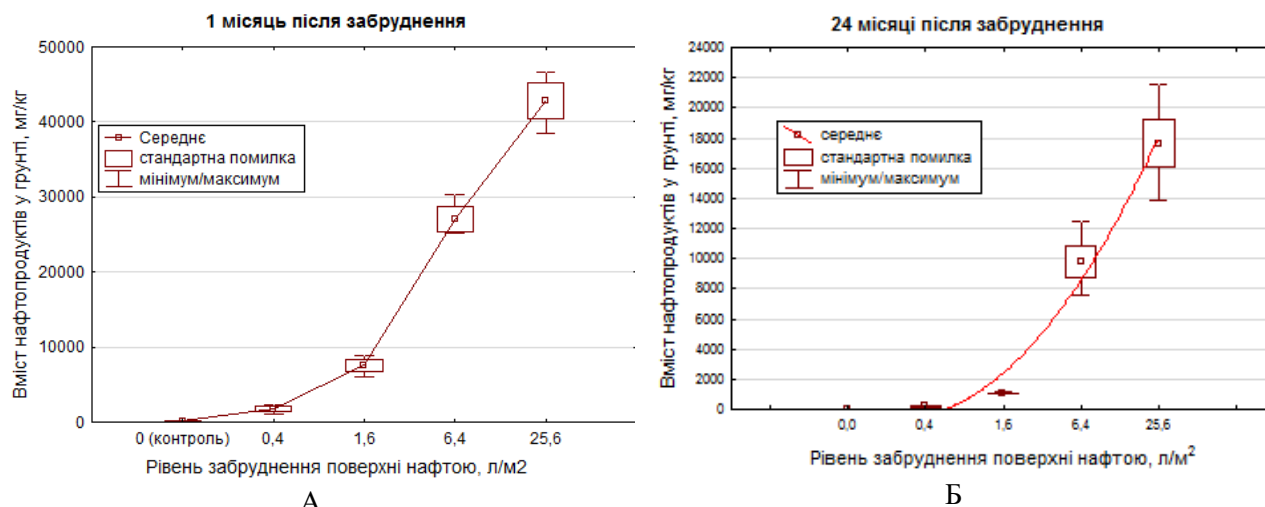


Рис. 1. Вміст вуглеводнів (нафтопродуктів) у 0-30 см шарі чорнозему опідзоленого за різних рівнів нафтового забруднення

Важливим біотичним механізмом біодеградації нафти та різних її похідних є діяльність ґрунтового мікробіоценозу, індикатором якої може слугувати інтенсивність емісії CO_2 з ґрунту. Кількість виділеного CO_2 характеризує процес повної мінералізації і максимальної утилізації вуглеводнів ґрунтовими мікроорганізмами [31]. Відомо, що у початковий період забруднення нафтою у ґрунті відбувається масове відмирання мікроорганізмів через токсичну дію легких фракцій, але поступово відбувається збільшення їх чисельності [32, 33]. У нашому досліді встановлено, що емісія

на забруднених ділянках чорнозему через добу після забруднення нафтою була у середньому на 40 % нижче, ніж на контролі (рис. 3). На варіантах із середнім та сильним забрудненням зменшилася майже до показників холодного (зимового) періоду року. Через 12 місяців після забруднення спостерігається активізація ґрунтової мікробіоти. Інтенсивність дихання була максимальною за концентрації нафти 6,4 л/м² (на 60 % вище, ніж на контролі), а доза 24,6 л/м² підвищувала дихальну активність у порівнянні із незабрудненим ґрунтом лише на 30 %. Таке різке збільшення виділення

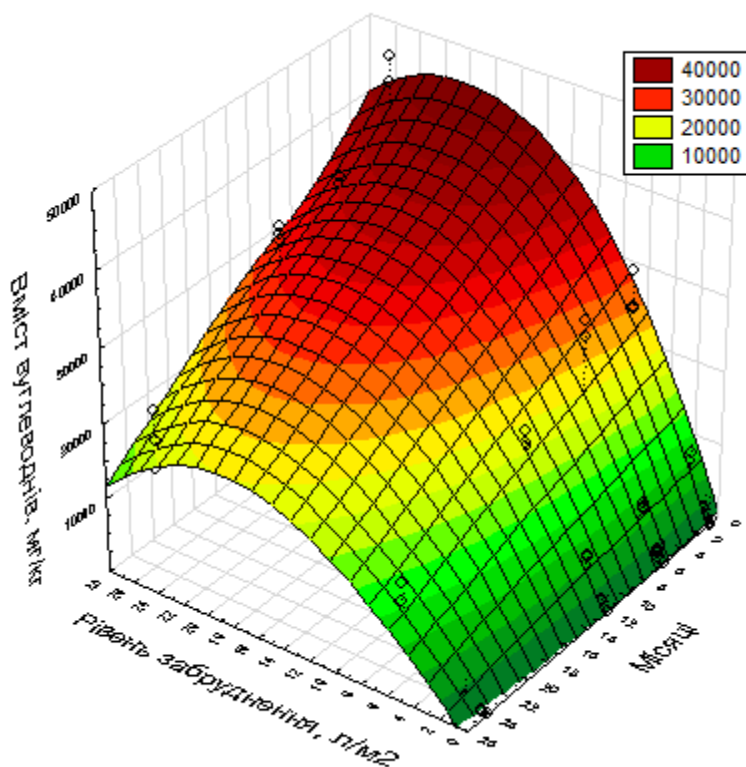


Рис. 2. Динаміка самоочищення чорнозему опідзоленого від вуглеводнів за 24 місяці

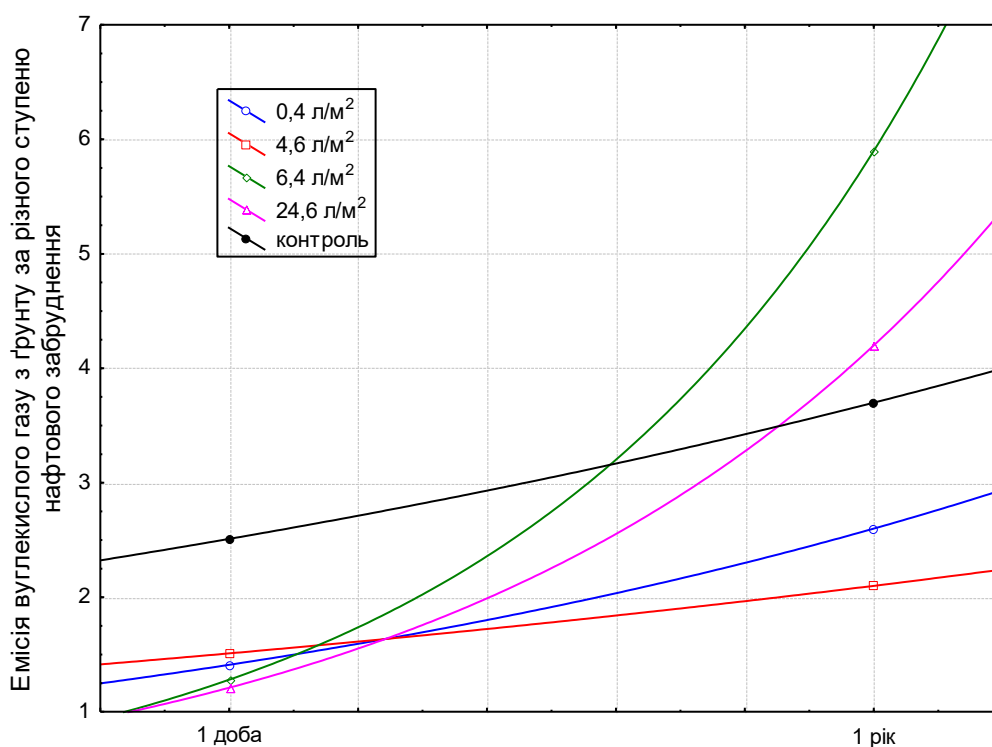


Рис. 3. Емісія вуглекислого газу з ґрунту за різного ступеню нафтового забруднення

CO₂ є прямим наслідком розвитку та активної діяльності у ґрунті нафтоокислювальних мікроорганізмів [32].

Непоодинокі дослідження вказують на зміни фізико-хімічних властивостей ґрунтів після заб-

руднення нафтою, зокрема підлужнення [34, 35]. Наші спостереження також показують, що на чорноземі у перший місяць спостерігалось підвищення рН від 6,10 до 6,27, проте такі зміни були в межах найменш істотної різниці. Подібні резуль-

тати зустрічаються і в інших дослідженнях [36]. Проте, через 6 та 12 місяців ґрунт на тих варіантах, де було змодельоване забруднення нафтою, рН водної витяжки коливався в межах 5,65-5,75, тобто спостерігалось вже підкислення. Втім, через 24 місяці рН ґрунту повернулася до вихідних показників. Максимальна різниця динаміки рН протягом періоду досліджень в порівнянні із контролем становила близько 0,3 одиниць рН. Динамічність змін рН ілюструє квадратична модель (рис. 4), яка показує, що забруднення нафтою є менш вагомим чинником змін рН чорнозему порівняно із впливом фактору часу.

Забруднення нафтою супроводжується надходженням до ґрунту певної кількості солей, які є складовою супутніх пластових вод. Засолення ґрунту уповільнює процеси біодеградації нафтових вуглеводнів, але його вплив поступово зменшується по мірі вилугування водорозчинних катіонів та аніонів з верхнього шару ґрунту. Динаміка водорозчинних солей, зокрема одновалентних катіонів калію і натрію, виявилася більш

складною, ніж нафтопродуктів. На нашу думку, це пов'язано із різним режимом опадів у роки спостережень. З цієї причини рівень концентрації калію на нафтозабруднених ділянках у 2021 р. був на порядок нижче ніж у 2020 р. і складав 0,11-0,04 ммоль/кг та 0,007-0,006 ммоль/кг, відповідно. За найбільших рівнів забруднення нафтою (26,6 л/м²) цей показник був на 40% нижче за контроль. Динаміка вмісту водорозчинного натрію від початку забруднення мала схожий із характер, знизившись за цей період від 0,20-0,34 ммоль/кг до 0,017-0,020 ммоль/кг залежно від рівня забруднення, що складало 91,5-94,2 % загалом за 24 місяці досліджень. Таким чином, за дворічний період відбулося істотне самоочищення верхнього шару ґрунту від водорозчинних солей, а інтенсивність цього процесу зменшувалася з підвищенням рівня забруднення. Квадратичні моделі (рис. 5А-5Б) змін концентрації водорозчинного калію і натрію показують, що фактор часу більш істотно впливає на цей показник, аніж фактор забруднення, як і у випадку із показником рН ґрунту.

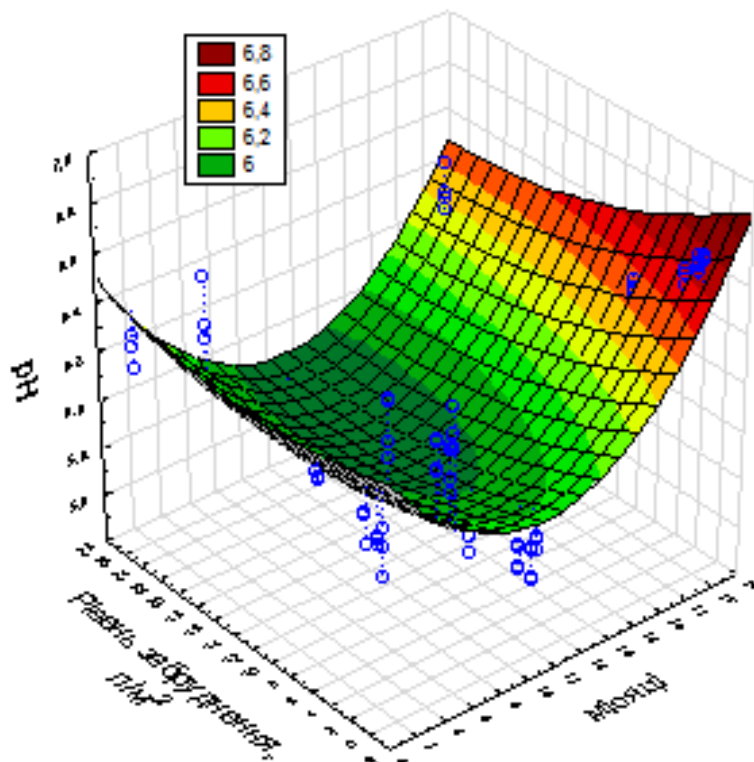


Рис. 4. Динаміка відновлення рН ґрунту за 24 місяці після нафтового забруднення

Загальною закономірністю динаміки вмісту рухомого фосфору та калію у чорноземі опідзоленому за різних рівнів забруднення нафтою було те, що в усіх варіантах із забрудненням спостерігався близький рівень вмісту цих показників, які порівняно із контрольним варіантом відрізнялись на 10-15 мг/кг у бік зниження. На нашу думку це

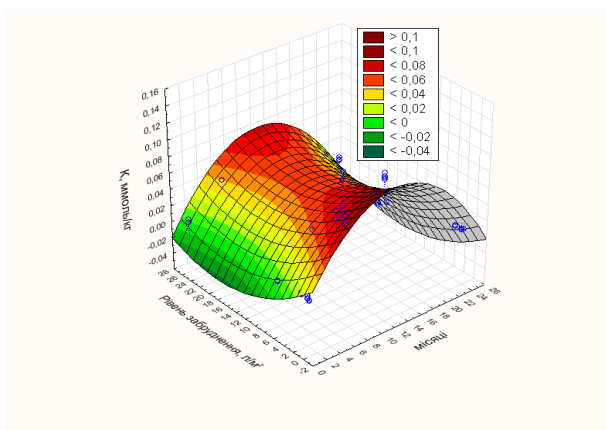
означає стабілізацію фосфатно-калійного стану нафтозабрудненого ґрунту, оскільки залишкові вуглеводні на поверхні часточок запечатали частину ґрунтових пор і це може бути достатньо стабільний ефект. Подібні результати отримав у своїх дослідженнях Wasen Abdul-Ameer Ali [20] із забрудненням ґрунту сировою нафтою, що викликало

зниження доступного фосфору та обмінного калію, однак не впливало на процес мікробної деградації вуглеводнів та ріст рослин.

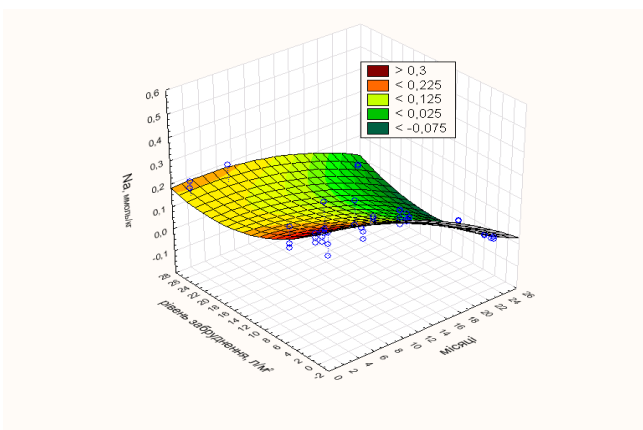
Таким чином, виявлене нами певне погіршення забезпечення ґрунту фосфором і калієм не має ключового значення для перебігу його самоочищення, і ці показники можна не включати до індикаторів моніторингу на нафтозабруднених землях. Квадратична модель змін вмісту рухомого калію має таку саме форму, як і водорозчинного

калію, але менш виражену динаміку в часі, що є цілком закономірним адже водорозчинні солі здатні мігрувати в ґрунті, а рухомі сполуки міцніше зв'язуються ґрунтовим поглинальним комплексом (рис. 6А). Згідно квадратичної моделі, зростання вмісту рухомого фосфору від початку до кінця періоду спостережень на сильно нафтозабрудненому ґрунті більш виражено, аніж за невеликого рівня забруднення (рис. 6Б).

Продуктивність фітоценозів є інтегруючим

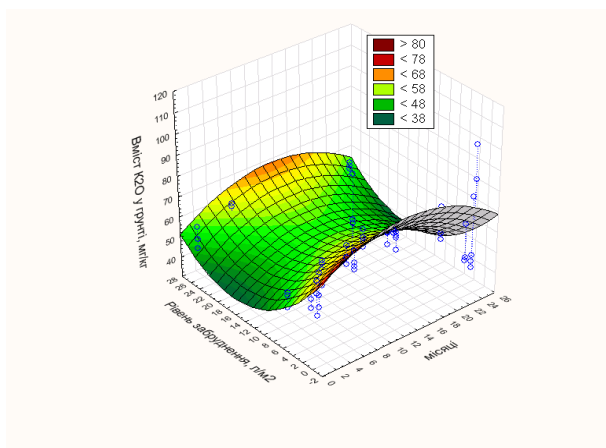


А

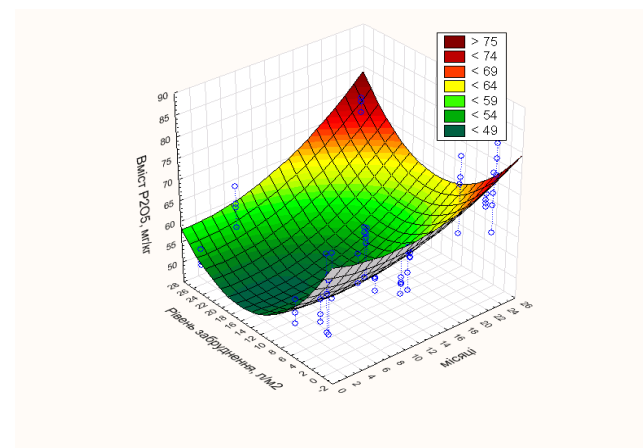


Б

Рис. 5. Динаміка вмісту водорозчинного калію (А) та натрію (Б) у ґрунті за 24 місяці після нафтового забруднення



А



Б

Рис. 6. Динаміка відновлення калійного (А) та фосфатного (Б) стану ґрунту за 24 місяці після нафтового забруднення

показником процесів самоочищення ґрунту від нафтового забруднення і загалом залежить від ряду факторів: рівня навантаження та складу забруднюючої речовини, стійкості системи ґрунт-рослина до цього виду забруднення, структури та гранулометричного складу ґрунту, глибини деградаційних змін ґрунту [15, 37]. Дослідженнями G. Adam, H.J. Duncan [38], E.O. Ekundayo et al. [39] встановлено, що забруднення ґрунту нафтою та нафтопродуктами призводить до уповільнення росту та розвитку рослин та ґрунтових водоростей, зниження врожайності сільськогосподарсь-

ких культур. Нафтопродукти токсичні для рослин навіть у відносно низьких концентраціях, більш того навіть сублетальні концентрації забруднювача значною мірою гальмують їх ріст. У нашій роботі досліджувалась польова схожість насіння жита та гірчиці. Встановлено зменшення цього показника за найвищого рівня забруднення, що сягає 60% для середнього розміру насінин та до 80% для дрібного насіння (рис. 7). Отже, згідно результатів наших спостережень можна передбачити, що у Лівобережному Лісостепу України за відсутності заходів з деконтамінації чорноземних

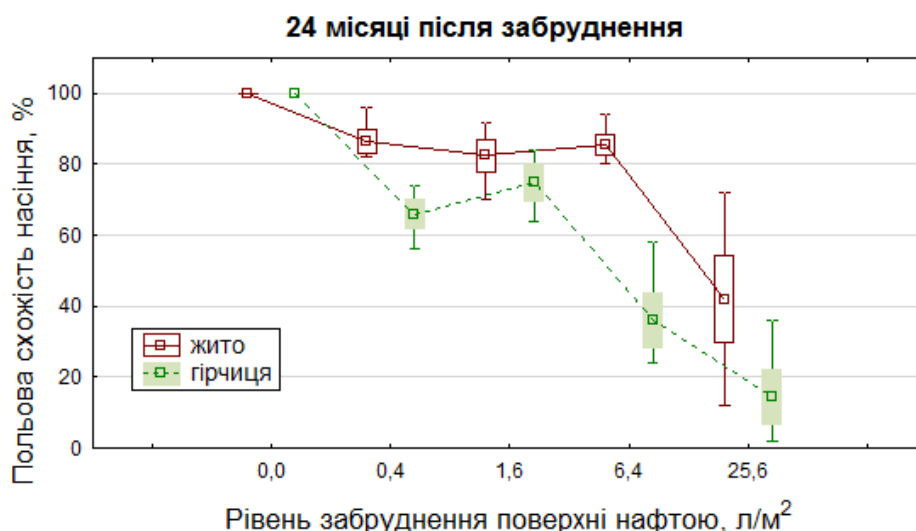


Рис. 7. Вплив забруднення ґрунту нафтою на проростання насіння рослин у польових умовах

ґрунтів, що зазнали забруднення нафтою понад 6,4 л/м², рослинний покрив буде значно розрідженим щонайменше два роки, тому проведення біологічної рекультивациі шляхом висівання травосумішей недоцільне. У випадку забруднення від 0,4 до 6,4 л/м² потрібно збільшувати норми висіву рослин для біологічної рекультивациі на 20-40%.

Висновки. Встановлено, що швидкість біодеградації нафтопродуктів для різного рівня забруднення ґрунтів має істотні відмінності. За незначного забруднення (0,4-1,6 л/м²) самоочищення ґрунту характеризується більш швидким протіканням, аніж за середнього та сильного (6,4-25,6 л/м²), протягом 24 місяців вміст вуглеводнів скоротився на 85-87 % та 60-64 % відповідно. Потужним механізмом втрати вуглеводнів із поверхні ґрунту є мікробіологічне її розкладання, невеликі дози нафти у пролонгованому відтермінованому ефекті стимулюють біологічну активність ґрунту, а при діапазоні концентрації нафти 6,4-24,6 л/м² відбувалось суттєве посилення інтенсивності виділення вуглекислого газу з ґрунту, що свідчить про бурхливий розвиток у ґрунті резистентних до нафти форм мікроорганізмів та про інтенсифікацію процесів її біорозкладання.

Зміна вмісту водорозчинного калію та натрію у чорноземі опідзоленому характеризувалась істотною строкатістю даних у різні терміни спостережень і від початку до кінця терміну досліджень параметри цих показників на нафтозабруднених ділянках зменшились на порядок. Разом з тим з підвищенням концентрації забруднювача спостерігалось призупинення швидкості зниження вмісту як калію, так і натрію. Дослідженнями доведено, що на динаміку таких діагностичних показників як рН ґрунту, вміст водорозчинних калію та натрію фактор часу має більш істотний вплив, аніж фактор забруднення.

Динаміка вмісту рухомих форм фосфору і калію у чорноземі опідзоленому характеризувалась близьким рівнем вмісту параметрів цих показників за різного рівня забруднення ґрунту нафтою, що відповідає певній стабілізації фосфатно-калійного стану нафтозабрудненого ґрунту.

Дослідження фітотоксичності нафтозабрудненого ґрунту показали негативний вплив нафти на проростання насіння у польових умовах, яке знизилось у 2,5 рази для жита та у 5 разів для гірчиці на найбільш забруднених ділянках порівняно із контрольним варіантом.

Список використаної літератури

1. Адаменко Я.О. Основні принципи організації системи екологічного моніторингу довкілля у межах території нафтогазових промислів Богородчанського району / Я.О. Адаменко, О.М. Мандрик, М.С. Знак, Я.І. Лопушняк, А.О. Коншина, З.Б. Горбачевський // *Екологічна безпека та збалансоване ресурсокористування*, 2010. – № 1. – С. 5-11.
2. Власова Н.В. Изменение геохимических показателей на техногенно-измененных территориях Средней Тайги при добыче нефти и газа / Н.В. Власова // *Вестник ТГУ*. - 2014. - Т. 19, вып. 5. - С. 1655-1658.
3. Якість земель як основа контролю землекористування / С.Ю. Булигін // *Агроекологічний журнал*, 2015. - № 1. - С. 36-47.
4. Vogt C. Bioremediation via in situ microbial degradation of organic pollutants / C.Vogt, H.H. Richnow // *Adv Biochem Eng Biotechnol*, 2014. - № 142. - С. 123-46. doi: https://doi.org/10.1007/10_2013_266
5. Xue J.L. Marine oil-degrading microorganisms and biodegradation process of petroleum hydrocarbon in marine environments: a review / J.L.Xue, Y.Yu, Y.Bai, L.P.Wang, Y.N.Wu // *Curr Microbiol*. – 2015. – № 71. – Pp.220-228. <https://doi.org/10.1007/s00284-015-0825-7>.

6. Wang X. B. Degradation of petroleum hydrocarbons (C6–C40) and crude oil by a novel *Dietzia* strain / X.B.Wang, C.Q.Chi, Y.Nie, Y.Q.Tang, Y.Tan, G.Wu, et al. // *Bioresour. Technol.* - 2011. - № 102. Pp. 7755–7761. doi: <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2011.06.009>
7. Iqbal M.Z. Effects of motor oil pollution on soil and seedling growth of *Parkinsonia aculeata* L. / M.Z. Iqbal, S. Khursheed, M. Shafiq // *In Scientia Agriculturae*, 2016. - Vol. 13, no. 3. – Pp. 130-136. DOI: <https://doi.org/10.15192/PSCP.SA.2016.13.3.130136>
8. Guarino C. Assessment of three approaches of bioremediation (Natural Attenuation, Landfarming and Bioaugmentation e Assisted Landfarming) for a petroleum hydrocarbons contaminated soil / C. Guarino, V. Spada, R. Sciarrillo // *In Chemosphere*, 2017. - Vol. 170. - Pp. 10 – 16. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2016.11.165>
9. Panchenko L. Dynamics of natural revegetation of hydrocarbon-contaminated soil and remediation potential of indigenous plant species in the steppe zone of the southern Volga Uplands / L.Panchenko, A.Muratova, E.Dubrovskaya, S.Golubev, O. Turkovskaya // *In Environmental Science and Pollution Research*, 2017. - Vol. 25, no. 4. - Pp. 3260-3274. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11356-017-0710-y>
10. Errington I. The influence of vegetation and soil properties on springtail communities in a diesel-contaminated soil / I. Errington, C.K. King, S. Houlihan, S.C. George, A. Michie, G.C. Hose // *In Science of the Total Environment.* - 2018. - Vol. 1. - Pp. 1098-1104. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.11.186>
11. Tevvors J.T. The Legacy Of Oil Spills / J.T. Tevvors, M.H.Jr. Saier // *Water, Air and Soil Pollution.* – 2010. -Vol. 211, No. 1. - Pp. 1-3. doi: <https://doi.org/10.1007/s11270-010-0527-5>
12. Cruz J.M. Phytotoxicity of soil contaminated with petroleum derivatives and biodiesel / J.M. Cruz, P.M. Lopes, N. Montagnolli, I.S. Tamada, N.M. Gsilva, E.D. Bidoia // *In Ecotoxicology and Environmental Contamination.* - 2013. - Vol. 8, no. 1. - Pp. 49 – 54. DOI: <https://doi.org/10.5132/eec.2013.01.007>
13. Petrov A.M. Dynamics of ecological and biological characteristics of soddy-podzolic soils under long-term oil pollution / A.M. Petrov, A.A. Versioning, L.K. Karimullin, D.V. Akaikin, O.Yu. Tarasov // *In Eurasian Soil Science.* - 2016. - Vol. 49, no. 7. - Pp. 784-791. DOI: <https://doi.org/10.1134/S1064229316050124>
14. Фесенко І.М. Оцінка та контроль впливу відходів буріння нафтогазових свердловин на ґрунти / І.М. Фесенко, І.А. Решетов, М.М. Фесенко // *Екологія довкілля та безпека життєдіяльності.* - 2003. - №3. - С. 36-40.
15. Мирошниченко Н.Н. Принципи регламентації углеводородного забруднення ґрунту України / Н.Н. Мирошниченко // *Почвоведение.* - 2008. - № 5. - С. 614-622.
16. Akinwumi I.I. Effects of crude oil contamination on the index properties, strength and permeability of lateritic clay / I.I. Akinwumi, D. Diwa, N. Obianigwe // *In Journal of Applied Sciences and Engineering Research.* - 2014. - Vol. 3, no. 4. - Pp. 816 – 824. DOI: <https://doi.org/10.6088/ijaser.030400007>
17. Фатеев А.И. Изменение агрохимических и микробиологических свойств нефтезагрязненного чернозема в рекультивационный период / А.И. Фатеев, Н.Н. Мирошниченко, Е.В. Панасенко, С.И. Христенко // *Агрохимия.* - 2004. - № 10. С. 53-60.
18. Balliana A.G. Development of *Canavalia ensiformis* in soil contaminated with diesel oil / A.G. Balliana, B.B. Moura, R.C. Inckot, C. Bona // *In Environmental Science and Pollution Research International.* - 2017. - Vol. 24, no. 1. - Pp. 979-986. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11356-016-7674-1>
19. Sivkov Yu. Study of Oil-Contaminated Soils Phytotoxicity During Bioremediation Activities / Yu. Sivkov, A. Nikiforov // *Journal of Ecological Engineering.* – 2021. – Vol. 22(3). – Pp. 67–72. <https://doi.org/10.12911/22998993/132435>.
20. Wasen Abdul-Ameer Ali Biodegradation and phytotoxicity of crude oil hydrocarbons in an agricultural soil / Wasen Abdul-Ameer Ali // *Chilean journal of agricultural research.* - 2019. Vol. 79(2). - Pp. 266-277. doi: <https://doi.org/10.4067/S0718-5839201900020266>
21. Marinescu M. An assessment of the effects of crude oil pollution on soil properties / M. Marinescu, M. Toti, T. Veronica, V. Carabulea, P. Georgiana, I. Calciu // *Annals: Food Science and Technology.* - 2010. - Vol. 11, Issue 1. - Pp. 94-99.
22. Lawson I.Yd. Microbial degradation potential of some Ghanaian soils contaminated with diesel oil / I.Yd. Lawson, E.K. Nartey, D.A. Darko, V.A. Okrah, D. Tsatsu // *In Agriculture and Biology Journal of North America.* - 2012. - Vol. 3, no. 1. - Pp. 1-5. DOI: <https://doi.org/10.5251/abjna.2012.3.1.1.5>
23. Wang Y. Effects of crude oil contamination on soil physical and chemical properties in Momoge wetland of China / Y. Wang, F. Jiang, L. Qianxin, X. Lyu, X. Wang, G. Wang // *In Chinese Geographical Science.* - 2013. - Vol. 23, no. 6. - Pp. 708-715. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11769-013-0641-6>
24. Davydova S.L. The conversion of the oil in the biosphere / S.L. Davydova // *Energy.* - 2006. - № 5. - Pp. 53-58.
25. Ліквідування забруднень ґрунтів і водних об'єктів нафтою і нафтопродуктами. Правила. СОУ 74.200777720-034:2018 Затв. Наказом ПАТ «Укрнафта» від 06.03.2019 № 34
26. Трофименко П.І. Способ визначення інтенсивності емісії газів з ґрунту(на прикладі CO₂) / П.І. Трофименко, О.П. Сябрук, Ф.І. Борисов, М.М. Мирошниченко, Ю.Л. Цапко, Н.В. Трофимено (науково-методичне видання). Харків: Бровін, 2019. - 29 с.
27. Dadrasnia A. Dynamics of diesel fuel degradation in contaminated soil using organic wastes / A. Dadrasnia, P. Agamuthu // *International Journal of Environmental Science and Technology.* - 2013. – Vol. 10. – Pp. 769-778. doi: <https://doi.org/10.1007/s13762-013-0224-1>
28. Makadia T.H. Re-use of remediated soils for the bioremediation of waste oil sludge / T.H. Makadia, E.M. Adetutu, K.L. Simons, D. Jardine, P.J. Sheppard, A.S. Ball // *Journal of Environmental Management.* - 2011. – Vol. 92. – Pp. 866-871. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2010.10.059>

29. Omotayo A.E. Crude oil degradation by microorganisms in soil composts / A.E. Omotayo, O.Y. Ojo, O.O. Amund // *Research Journal of Microbiology*. - 2012. - № 7. - Pp. 209-218. doi: <https://doi.org/10.3923/jm.2012.209.218>
30. Gawdzik J. Modelling transport of hydrocarbons in soil-water environment / J. Gawdzik, M. Zygadlo // *Ecological Chemistry and Engineering*. - 2010. - Vol. 17. Pp. 331-343.
31. Bruns K. Marine petroleum hydrocarbon degrading bacteris: distribution and activity in the North See and Baltic See / K. Bruns, J. Dahlmann, W. Zunkel. *Kieler Meeres-forsch.*: Kiel., 1991. - P. 46-54.
32. Звягинцев Д.Г. Диагностические признаки различных уровней загрязнения почвы нефтью / Д.Г. Звягинцев, В.С. Гузев, С.В. Левин, Г.И. Селецкий, А.А. Оборина // *Почвоведение*. - 1989. - № 1. - С. 72-78.
33. SylvaTraci Y. Bioremediation of petroleum-impacted soils from investigation-derived wastes / Y. SylvaTraci, Charles M. Kinoyita, Rowena T. Romano et al // *Remediation*. - 2003. - V. 13., № 4. - P. 79-90.
34. Лапина Г.П. Физико-химические характеристики загрязнения окружающей среды при техногенных катастрофах (разлив нефти) / Г.П. Лапина, Н.М. Чернавская, М.Е. Литвиновский, С.В. Сазанова // *Химическая и биологическая безопасность*. - 2007. - № 1 (31). - С. 24-32.
35. Shaw L.J. Biodegradation of organic pollutants in the rhizosphere / L.J. Shaw, R.G. Burns // *Advances in applied microbiology*. - 2003. - Vol. 53. - Pp. 1-47.
36. Панасенко С. В. Вплив агроеліоративних заходів на відновлення властивостей та родючості нафтозабрудненого чорнозему: автореф. дис. канд. с.-г. наук: спец. 06.01.03. «Агрофізика» / Панасенко Євгеній Володимирович; Національний науковий центр «Інститут ґрунтознавства та агрохімії ім. О.Н.Соколовського». - Х., 2007. - 24 с.
37. Мірошниченко М.М. Вплив забруднення нафтою на властивості ґрунів різного гранулометричного складу / М.М. Мірошниченко // *Агрохімія і ґрунтознавство*. - 2000. - Вип. 60. - С. 91-96.
38. Adam G. Effect of diesel fuel on growth of selected plant species // G. Adam, H.J. Duncan // *Environmental Geochemistry and Health*. - 1999. - Vol. 21, iss. 4. - Pp. 353-357. doi: <https://doi.org/10.1023/A:1006744603461>
39. Ekundayo E.O. Effects of crude oil spillage on growth and yield of maize (*Zea mays L.*) in soils of Midwestern Nigeria / E.O. Ekundayo, T.O. Emede, D.I. Osayande // *Plant Foods for Human Nutrition*. - 2001. - Vol. 56, iss. 4. - Pp. 313-324.

Внесок авторів: всі автори зробили рівний внесок у цю роботу

Effect of oil contamination on the course of changes in chernozem properties and phytotoxicity

Oleksii Krainiukov¹,

DSc (Geography), Professor, Department of Environmental Safety and Environmental Education, Educational and Scientific Institute of Ecology, ¹V.N. Karazin Kharkiv National University, 4 Svobody Sq., Kharkiv, 61022, Ukraine;

Inna Miroshnychenko²,

PhD student, ²Research Institution «Ukrainian Research Institute of Environmental Problems», 6 Bakulina St., Kharkiv, 61166, Ukraine;

Olesia Siabruk³,

PhD (Agriculture), Senior Research of Agrochemistry Department, ³National Scientific Center «Institute for Soil Science and Agrochemistry Research named after O.N. Sokolovsky», Kharkiv, 61024 Ukraine;

Yevheniia Hladkikh³,

PhD (Agriculture), Senior Research of Agrochemistry Department

Introduction. The consumption of hydrocarbons in the world is steadily growing with the response to the progress of civilization. It is accompanied by the continuous flow of hydrocarbon pollutants into the environment. Soil pollution with oil attracts special attention, because the soil is a key element in the trophic chain of toxicants in the human body.

Purpose. Investigate changes in the properties (physicochemical, agrochemical and biological) of chernozem soils and its phytotoxicity at different levels of oil pollution for further use of the parameters of these indicators during soil monitoring.

Research methods. The research was conducted during 2019-2021 in the conditions of the Left-Bank Forest-Steppe of Ukraine in a field small-plot experiment on Chernozem Luvic with the frequency of observations on diagnostic indicators at 1 month, 6, 12 and 24 months. The scheme of the experiment provided for soil contamination with oil in the amount of 0.4 l/m², 1.6 l/m², 6.4 l/m², 25.6 l/m².

Results. The rate of biodegradation of oil products for different levels of pollution of Chernozem Luvic was determined - with insignificant pollution, self-purification of the soil is characterized by a faster course than with medium and strong, within 24 months the content of hydrocarbons decreased by 85-87% and 60-64%, respectively. One of the important mechanisms for the loss of hydrocarbons from the soil surface is microbiological decomposition, studies have shown that in the oil concentration range of 6.4-24.6 l/m², there was a significant increase in the intensity of carbon

dioxide release from the soil, which is 60% higher than in the control option, this indicates the intensification of the processes of its biodegradation. Studies of changes in such diagnostic indicators as soil pH, the content of water-soluble potassium and sodium show a less significant influence of the factor of soil pollution with oil compared to the influence of the time factor. However, these indicators are of great diagnostic value in the process of monitoring oil-contaminated soils and remediation, since the most optimal parameters of these indicators determine the suitability of soils for plant growth and microbial life. Studies of phytotoxicity of oil-contaminated soil have shown the negative impact of oil on seed germination in the field condition.

Conclusions. The research results indicate a gradual self-purification of the soil from petroleum hydrocarbons during the observation period. The obtained regularities of the dynamics of changes in the studied parameters will be used to improve the scientific and methodological support for monitoring soils affected by oil pollution.

Keywords: oil pollution, soil, soil self-purification, phytotoxicity, biodegradation, soil-plant system, physical and chemical properties of soil, agrochemical properties of soil, intensity of CO₂ release from soil.

References

1. Adamenko, YA.O., Mandryk, O.M., Znak, M.S., Lopushnyak, YA.I., Konshyna, A.O., & Horbachevs'kyi, Z.B. (2010). Basic principles of organization of the system of ecological monitoring of the environment within the territory of oil and gas fields of Bohorodchany district. *Ekolohichna bezpeka ta zbalansovane resursokorystuvannya*, № 1, 5-11.
2. Vlasova, N.V. (2014). Changes in geochemical parameters in the technogenically altered territories of the Middle Taiga during oil and gas production. *Vestnik TGU*, № 19(5), 1655-1658.
3. Bulyhin, S.YU. (2015). Land quality as a basis for land use control. *Ahroekolohichnyy zhurnal*, № 1, 36-47.
4. Vogt, C., & Richnow, H.H. (2014). Bioremediation via in situ microbial degradation of organic pollutants. *Adv Biochem Eng Biotechnol*, № 142, 123-46. DOI: https://doi.org/10.1007/10_2013_266
5. Xue, J.L. Yu, Y., Bai, Y., Wang, L.P., & Wu Y.N. (2015). Marine oil-degrading microorganisms and biodegradation process of petroleum hydrocarbon in marine environments: a review. *Curr Microbiol*, № 71, 220-228. Retrieved from <https://doi.org/10.1007/s00284-015-0825-7>.
6. Wang, X. B., Chi, C.Q., Nie, Y., Tang, Y.Q., Tan, Y.,...Wu, G. (2011). Degradation of petroleum hydrocarbons (C6–C40) and crude oil by a novel *Dietzia* strain. *Bioresour. Technol*, № 102, 7755–7761. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2011.06.009>
7. Iqbal, M.Z. Khursheed, S., & Shafiq, M. (2016). Effects of motor oil pollution on soil and seedling growth of *Parkinsonia aculeata* L. In *Scientia Agriculturae*, 13(3), 130-136. DOI: <https://doi.org/10.15192/PSCP.SA.2016.13.3.130136>
8. Guarino, C. Spada, V., & Sciarrillo, R. (2017). Assessment of three approaches of bioremediation (Natural Attenuation, Landfarming and Bioaugmentation e Assisted Landfarming) for a petroleum hydrocarbons contaminated soil. In *Chemosphere*, 170, 10-16. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2016.11.165>
9. Panchenko, L., Muratova, A., Dubrovskaya, E., Golubev, S., & Turkovskaya, O. (2017). Dynamics of natural revegetation of hydrocarbon-contaminated soil and remediation potential of indigenous plant species in the steppe zone of the southern Volga Uplands. In *Environmental Science and Pollution Research*, 25(4), 3260-3274. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11356-017-0710-y>
10. Errington, I., King, C.K., Houlihan, S., George, S.C., Michie, A., & Hose, G.C. (2018). The influence of vegetation and soil properties on springtail communities in a diesel-contaminated soil. In *Science of the Total Environment*, 1, 1098-1104. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.11.186>
11. Tevvors, J.T., & Saier, M.H.Jr. (2010). The Legacy Of Oil Spills. *Water, Air and Soil Pollution*, 211, 1, 1-3. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11270-010-0527-5>
12. Cruz, J.M. Lopes, P.M., Montagnoli, N., Tamada, I.S., Gsilva, N.M., & Bidoia, E.D. (2013). Phytotoxicity of soil contaminated with petroleum derivatives and biodiesel. In *Ecotoxicology and Environmental Contamination*, 8(1), 49-54. DOI: <https://doi.org/10.5132/eec.2013.01.007>
13. Petrov, A.M. Vershinin, A.A., Karimullin, L.K., Akaikin, D.V., & Tarasov, O.Yu. (2016). Dynamics of ecological and biological characteristics of soddy-podzolic soils under long-term oil pollution. In *Eurasian Soil Science*, 49, 7. 784-791. DOI: <https://doi.org/10.1134/S1064229316050124>
14. Fesenko, I.M., Reshetov, I.A., & Fesenko, M.M. (2003). Assessment and control of the impact of oil and gas drilling waste on soils. *Ekolohiya dovkilliya ta bezpeka zhyttyediyal'nosti*, 3, 36-40.
15. Miroshnichenko, N.N. (2008). Principles of regulation of hydrocarbon pollution of Ukrainian soils. *Pochvovedeniye*, 5, 614-622.
16. Akinwumi, I.I., Diwa, D., & Obianigwe, N. (2014). Effects of crude oil contamination on the index properties, strength and permeability of lateritic clay. In *Journal of Applied Sciences and Engineering Research*, 3, 4, 816 – 824. DOI: <https://doi.org/10.6088/ijaser.030400007>
17. Fateyev, A.I., Miroshnichenko, N.N., Panasenko, Ye.V., & Khristenko, S.I. (2004). Changes in agrochemical and microbiological properties of oil-contaminated chernozem during the reclamation period. *Agroximiya*, 10, 53-60.
18. Balliana, A.G., Moura, B.B., Inckot, R.C., & Bona, C. (2017). Development of *Canavalia ensiformis* in soil contaminated with diesel oil. In *Environmental Science and Pollution Research International*, 24, 1, 979-986. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11356-016-7674-1>
19. Sivkov, Yu., & Nikiforov, A. (2021). Study of Oil-Contaminated Soils Phytotoxicity During Bioremediation Activities. *Journal of Ecological Engineering*, 22(3), 67–72. Retrieved from <https://doi.org/10.12911/22998993/132435>

20. Wasen, Abdul-Ameer Ali (2019). Biodegradation and phytotoxicity of crude oil hydrocarbons in an agricultural soil. *Chilean journal of agricultural research*, 79(2), 266-277. DOI: <https://doi.org/10.4067/S0718-5839201900020266>
21. Marinescu, M., Toti, M., Veronica, T., Carabulea, V., Georgiana, P., & Calciu, I. (2010). An assessment of the effects of crude oil pollution on soil properties. *Annals: Food Science and Technology*, 11, 1, 94-99.
22. Lawson, I.Yd., Nartey, E.K., Darko, D.A., Okrah, V.A., & Tsatsu, D. (2012). Microbial degradation potential of some Ghanaian soils contaminated with diesel oil. In *Agriculture and Biology Journal of North America*, 3, 1, 1-5. DOI: <https://doi.org/10.5251/abjna.2012.3.1.1.5>
23. Wang, Y., Jiang, F., Qianxin, L., Lyu, X., Wang, X., & Wang, G. (2013). Effects of crude oil contamination on soil physical and chemical properties in Momoge wetland of China. In *Chinese Geographical Science*, 23, 6, 708-715. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11769-013-0641-6>
24. Davydova, S.L. (2006). The conversion of the oil in the biosphere. *Energy*, 5, 53-58.
25. Elimination of pollution of soils and water bodies with oil and oil products. Rules. SOU 74.200777720-034:2018. Approved By the order of PJSC "Ukrnafia" dated March 6, 2019, 34
26. Trofymenko, P.I., Siabruk, O.P., Borysov, F.I., Miroshnychenko, M.M., Tsapko, & YU.L., Trofymeno, N.V. (2019). The method of determining the intensity of emissions of gases from the soil (on the example of CO₂). Kharkiv, Brovin.
27. Dadrasnia, A., & Agamuthu, P. (2013). Dynamics of diesel fuel degradation in contaminated soil using organic wastes. *International Journal of Environmental Science and Technology*, 10, 769-778. DOI: <https://doi.org/10.1007/s13762-013-0224-1>
28. Makadia, T.H., Adetutu, E.M., Simons, K.L., Jardine, D., Sheppard, P.J., & Ball, A.S. (2011). Re-use of remediated soils for the bioremediation of waste oil sludge. *Journal of Environmental Management*, 92, 866-871. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2010.10.059>
29. Omotayo, A.E., Ojo, O.Y., & Amund, O.O. (2012). Crude oil degradation by microorganisms in soil composts. *Research Journal of Microbiology*, 7, 209-218. DOI: <https://doi.org/10.3923/jm.2012.209.218>
30. Gawdzik, J., & Zygadlo, M. (2010). Modelling transport of hydrocarbons in soil-water environment. *Ecological Chemistry and Engineering*, 17, 331-343.
31. Bruns, K., Dahlmann, J., & Zunkel, W. (1991). Marine petroleum hydrokarbon degrading bacteris: distribution and activity in the North Sea and Baltic Sea. *Kieler Meeres- forsch*, Kiel.
32. Zvyagintsev, D.G., Guzev, B.C., Levin, SV., Seletskiy, G.I., & Oborina A.A. (1989). Diagnostic signs of various levels of soil pollution with oil. *Pochvovedeniye*, 1, 72-78.
33. SylvaTraci, Y., Charles, M.,...Rowena, T. (2003). Bioremediation of petroleum-impacted soils from investigation-derived wastes. *Remediation*, 13, 4, 79-90.
34. Lapina, G.P., Chernavskaya, N.M., Litvinovskiy, M.Ye., & Sazanova, S.V. (2007). Physical and chemical characteristics of environmental pollution during man-made disasters (oil spill). *Khimicheskaya i biologicheskaya bezopasnost'*, 1(31), 24-32.
35. Shaw, L.J., & Burns, R.G. (2003). Biodegradation of organic pollutants in the rhizosphere. *Advances in applied microbiology*, 53, 1-47.
36. Panasenko, Ye.V. (2007). Influence of agro-ameliorative measures on restoration of properties and fertility of oil-contaminated chernozem. (Unpublished Doctoral dissertation.) National Scientific Center «Institute for Soil Science and Agrochemistry Research named after O.N. Sokolovsky», Kharkiv, 27.
37. Miroshnychenko, M.M. (2000). Influence of oil pollution on soil properties of different particle size distribution. *Ahrokhimiya i gruntoznavstvo*, 60, 91-96.
38. Adam, G., & Duncan, H.J. (1999). Effect of diesel fuel on growth of selected plant species. *Environmental Geochemistry and Health*, 21, 4, 353-357. DOI: <https://doi.org/10.1023/A:1006744603461>
39. 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. *Plant Foods for Human Nutrition*, 56, 4, 313-324.

Authors Contribution: All authors have contributed equally to this work

Received 21 June 2022
Accepted 5 November 2022