



original article | UDC 633.11:581.1 | doi: 10.31210/visnyk2019.04.12

## REACTION OF CROPS ON SOIL POLLUTION WITH OIL

**L. A. Kolesnikova,**

ORCID ID: [0000-0001-8394-7715](https://orcid.org/0000-0001-8394-7715), E-mail: [larisa.kolesnikova@ukr.net](mailto:larisa.kolesnikova@ukr.net),

**M. A. Galytska,**

ORCID ID: [0000-0003-2579-0515](https://orcid.org/0000-0003-2579-0515), E-mail: [maryna.galytska@pdaa.edu.ua](mailto:maryna.galytska@pdaa.edu.ua),

**M. A. Pischalenko,**

ORCID ID: [0000-0001-8954-8256](https://orcid.org/0000-0001-8954-8256), E-mail: [marina\\_pischalenko@ukr.net](mailto:marina_pischalenko@ukr.net),

**O. V. Barabolia,**

ORCID ID: [0000-0001-8954-8256](https://orcid.org/0000-0001-8954-8256), E-mail: [olga.barabolia@ukr.net](mailto:olga.barabolia@ukr.net),

**D. I. Chubuk,**

E-mail: [dariachubuk18@gmail.com](mailto:dariachubuk18@gmail.com),

**O. A. Litvishko,**

E-mail: [ksyushalitivishko96@gmail.com](mailto:ksyushalitivishko96@gmail.com)

Poltava State Agrarian Academy, 1/3, Skovorody str., Poltava, 36003, Ukraine

*The expediency of solving ecological problems concerning the pollution of farm lands with oil by determining the toxic effect of different oil contamination levels on the resistance of crops, which are most widely spread in the region ( on the example of winter and spring wheat) was substantiated in the article. Attention is focused on the connection of oil contamination with changing plant anatomical-morphological indices according to dose –effect type. Separate problem aspects of the reasons of oil polluted soil phyto-toxicity, the effect on winter and spring wheat germination, their growth characteristics, and morphological changes in stress conditions were substantiated. The stimulating effect of oil contamination at a level of  $\leq 5$  мл/kg of soil was shown. The effect was manifested in activating seed germination and developing sprouts' vegetative organs. Interrelation between crude oil content in the soil was revealed according to indices of environmental effect on test-crops. It has been established that winter wheat is more resistant to the influence of different levels of soil oil contamination concerning similarity and lamina parameters. Investigating the morphological manifestations of toxic properties of crude oil components on spring wheat sprouts was based on studying the dynamics of structural organization of functionally active green leaves; yellowing leaves; shrunken and dried-up leaves of perished plants. It has been revealed that a combined action of two similarly directed physical-chemical factors is the reason of phyto-toxicity in the conditions of considerable modeled soil oil contamination. These factors are: chemical – the toxicity of methane, oil aromatic hydrocarbons and physical – increasing the acquired soil hydrophobia (water-repellent property), which considerably retards and stops the processes of gas and water exchange between the soil and plants, resulting in low seed germination, sprouts' growth inhibition, decreasing the amount of structural- fibrous bundles and chlorenchyma in lamina, wheat destruction, drying-up, and mortality of wheat.*

**Key words:** spring wheat, lamina, soil, oil pollution, phyto-toxicity, micro-morphology.

## РЕАКЦІЯ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ РОСЛИН НА ЗАБРУДНЕННЯ ҐРУНТУ НАФТОЮ

**Л. А. Колєснікова, М. А. Галицька, М. А. Піщаленко, О. В. Бараболя, Д. І. Чубук, О. А. Литвишко,**  
Полтавська державна аграрна академія, м. Полтава, Україна

*У статті обґрунтовано доцільність розв'язання екологічних проблем з нафтовим забрудненням земель сільськогосподарського призначення шляхом визначення токсичного впливу різних рівнів наф-*

тового забруднення на стійкість найбільш поширених у регіоні сільськогосподарських культур (на прикладі пшениці озимої та пшениці ярої). Акцентовано увагу на зв'язку дози забруднення нафтою зі зміною анатомо-морфологічних показників рослин за типом доза – ефект. Обґрунтовано окремі аспекти проблеми причин фітотоксичності нафтозабруднених ґрунтів, вплив на схожість пшениці озимої та пшениці ярої, їхні ростові характеристики, морфологічні зміни в стресових умовах. Показано стимулюючий ефект нафтового забруднення на рівні  $\leq 5$  мл/кг ґрунту, що проявляється в активації проростання насіння та розвитку вегетативних органів проростків. Виявлено взаємозв'язок між вмістом сирої нафти у ґрунті за показниками екологічного впливу на тест-культури. Встановлено, що пшениця озима порівняно з ярою є більш стійкою культурою до впливу різних рівнів нафтового забруднення ґрунту за показниками схожості та параметрами листкової пластинки. З'ясовано, що причинами фітотоксичності в умовах значного модельованого нафтового забруднення ґрунту є поєднана дія двох однонаправлено діючих фізико-хімічних факторів: хімічного – токсичністю метанових, ароматичних вуглеводнів нафти та фізичного – збільшенням набутої гідрофобності ґрунту, що значно гальмує й зупиняє процеси газо- та водообміну між ґрунтом і рослинами, призводячи до низької схожості насіння, затримки росту проростків, зменшення кількості структурно-волоконистих пучків і хлоренхіми в листковій пластинці, деструкції, висихання та загибелі пшениці.

**Ключові слова:** пшениця яра, листкова пластинка, ґрунт, нафтове забруднення, фітотоксичність, мікроморфологія.

### РЕАКЦИЯ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ РАСТЕНИЙ НА ЗАГРЯЗНЕНИЕ ПОЧВЫ НЕФТЬЮ

*Л. А. Колесникова, М. А. Галицкая, М. А. Пицаленко, О. В. Бараболя, Д. И. Чубук, А. А. Литвишко,*  
Полтавская государственная аграрная академия, г. Полтава, Украина

*В статье акцентируется внимание на связь дозы загрязнения нефтью с изменением анатомо-морфологических показателей по типу доза – эффект. Обоснованы отдельные аспекты проблемы причин фитотоксичности нефтезагрязненных почв, влияние на всхожесть, ростовые характеристики, морфологические изменения в стрессовых условиях. Показан стимулирующий эффект нефтяного загрязнения на уровне  $\leq 5$  мл / кг почвы, что проявляется в активации прорастания семян и развитии вегетативных органов проростков. Выявлена взаимосвязь между содержанием сырой нефти в почве по показателям экологического воздействия на тест-культуры. Установлено, что причинами фитотоксичности в условиях значительного моделируемого нефтяного загрязнения почвы является сочетанное действие двух однонаправленно действующих физико-химических факторов: химического – токсичностью метановых, ароматических углеводородов нефти и физического – увеличением приобретенной гидрофобности почвы.*

**Ключевые слова:** пшеница яровая, листовая пластинка, почва, нефтяное загрязнение, фитотоксичность, микроморфология.

#### Вступ

Нині на Полтавщині, та й загалом в Україні, одне з провідних місць з-поміж екологічних проблем займає нафтове забруднення навколишнього природного середовища, зокрема ґрунтів сільськогосподарського призначення.

Аналіз основних досліджень і публікацій свідчить про те, що екологічні наслідки забруднення нафтою залежать від трьох груп факторів: параметрів забруднення, властивостей ґрунту, характеристик зовнішнього середовища [2, 4, 7]. Варто зазначити, що натепер з'явилося чимало наукової інформації стосовно хімічного складу нафти та її впливу на об'єкти навколишнього середовища [15, 16]. Однак необхідно пам'ятати, що нафта кожного регіону має характерний склад і в кожній ґрунтово-кліматичній зоні виявляє свої властивості по-різному. Добре відомо, що ґрунт, забруднений сирою нафтою, не здатний повноцінно виконувати свої екологічні, зокрема загальнобіосферні та сільськогосподарські функції [8, 14, 18].

В Україні проводяться комплексні дослідження з розробки технологій використання нафтозабруднених земель для потреб сільського господарства [9, 6, 11]. З огляду на те, що на Полтавщині значна частина АПК знаходиться в нафтовидобувних районах, актуальним питанням залишається наукове

обґрунтування екологічної оцінки агрофітоценозів, що підпадають під техногенний вплив, міграції хімічних речовин та їх наслідків у системі «ґрунт – рослина» [13, 21, 22], небезпечності використання зеленої маси та зерна, отриманих на нафтозабруднених ґрунтах [17].

У своїх дослідженнях на основі аналізу ми поставили за *мету* з'ясувати токсичний вплив різних рівнів нафтового забруднення на стійкість найбільш поширених у регіоні сільськогосподарських культур (на прикладі пшениці озимої та пшениці ярої).

*Завдання досліджень:* на підставі аналізу отриманих результатів схожості насіння і морфометричних параметрів проростків виявити взаємозв'язок між вмістом сирої нафти у ґрунті за показниками екологічного впливу на тест-культури.

### Матеріали і методи досліджень

На першому етапі проводили лабораторні досліди, використовуючи ґрунт з екологічно стабільної території. Повторність у дослідах – триразова, закладка – одночасна. У посудини з ґрунтом вносили сиру нафту, відповідно до наступних рівнів забруднення 0; 5; 10; 20; 30; 40; 50 мл/кг. На відкритому штучно забрудненому ґрунті через 18 днів (необхідно, щоб легкі сполуки нафти випарувалися) висіяли дослідні рослини, здійснюючи спостереження за показниками росту і розвитку на різних фазах вегетації. Контрольну групу склали проростки, вирощені на ґрунті, що не містив компонентів сирої нафти. Для вивчення впливу вуглеводневого забруднення на розвиток рослин ми використали такі сільськогосподарські культури: пшениця яра, пшениця озима. Реакція рослин на забруднення ґрунту нафтою оцінювалася візуально у процесі вегетації. Ростові процеси визначали вимірюванням окремих частин рослин за допомогою лінійки. Для мікроморфологічних досліджень були використані напівтонкі поперечні зрізи листової пластинки (далі буде – ЛП) експериментальної групи проростків на стадії формування четвертого листка, вирощені на ґрунті з модельованим забрудненням. Біозразки готували згідно з класичною методикою для електронної мікроскопії [3].

### Результати досліджень та їх обговорення

Відомо, що токсичність ароматичних вуглеводнів нафти, гідрофобність ґрунту та порушення мікродифузії елементів живлення до коренів через наявність нафтової плівки є лімітуючими фізико-хімічними факторами, що гальмують пророщення й обмежують життєдіяльність вищих рослин в умовах значного нафтового забруднення ґрунту.

Наведені значення (табл. 1) схожості та біометричних показників пшениці ярої у разі дії різних концентрацій нафти у ґрунті, дають підставу стверджувати, що за збільшення дози нафтового забруднення від 20 до 50 мл/кг спостерігається уповільнення, порівняно з контролем, процесів росту вегетативних органів проростків пшениці в усіх дослідних варіантах. У пшениці озимої аналогічні показники змінювалися у разі збільшення дози нафтового забруднення від 30 до 50 мл/кг.

У разі дози нафтового забруднення 5 мл/кг спостерігається стимуляція: процент схожості та біометричні характеристики перевищують контроль в усіх дослідних варіантах. Отримані результати збігаються з даними інших дослідників [1, 19, 20].

Як показали результати експерименту, при збільшенні концентрації поллютанту до 50 мл/кг спостерігається пряма залежність зменшення числових значень ростових характеристик тест-культур. Базуючись на даних експерименту, встановлено, що пшениця озима порівняно з ярою є більш стійкою культурою до впливу різних рівнів нафтового забруднення ґрунту за показниками схожості та параметрами листової пластинки. Це дає підставу вибрати як об'єкт мікроморфологічних досліджень вивчення фітотоксичності ґрунту пшеницю яру, що найбільш широко використовується в дослідному районі та є цінною страховою культурою для пересіву загиблих посівів пшениці озимої Полтавської області.

Для дослідження морфологічних проявів токсичних властивостей компонентів сирої нафти на проростки пшениці ярої вивчали динаміку структурної організації функціонально-активних зелених листків; жовтіючих листків; зморщених та висохлих листочків загиблих рослин.

Одним із проявів адаптації рослин до впливу екологічних стресів є зміна структури мезофілу і, як наслідок, – фотосинтетичного потенціалу рослин загалом. У попередньо проведених дослідженнях [5, 10, 12] з'ясовано, що для проростків пшениці на стадії третього-четвертого листка різко зростає їх роль як основного фотосинтезуючого органа зелених рослин, які й визначають майбутню продуктивність посівів.

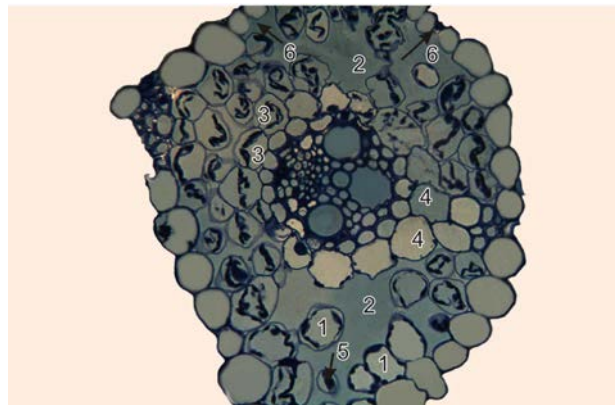
## СІЛЬСЬКЕ ГОСПОДАРСТВО. ЕКОЛОГІЯ

### 1. Порівняння впливу нафтового забруднення ґрунту на розміри та вагу листкових пластинок проростків

Доза нафти, мл/кг	Схожість, %	Параметри пластинки			
		довжина пластинки, см	ширина пластинки, мм	маса сирієї пластинки, мг	товщина пластинки, мк
Пшениця яра					
Контроль 0	91	16,8...17,3	3,3...3,5	2,7...3,2	110...130
5	94	18,5...18,9	4,0...4,2	3,4...3,8	150...170
10	91	16,5...16,8	3,2...3,4	2,7...2,9	110...130
20	88	15,6...16,1	3,0...3,2	2,1...2,4	100...120
30	32	10,6...10,9	2,6...2,8	1,3...1,7	90...100
40	2	5,7; 6,1	2,5; 2,7	0,6; 1,0	85; 95
50	2	5,5; 5,9	2,4; 2,6	0,5; 0,7	83; 90
Пшениця озима					
Контроль 0	92	21,6...22,1	3,3...3,5	2,7...3,2	110...130
5	94	23,8...24,4	4,0...4,2	3,4...3,8	150...170
10	92	21,6...22,1	3,2...3,4	2,7...2,9	110...130
20	91	20,6...21,1	3,0...3,2	2,1...2,4	100...120
30	65	15,6...15,9	2,6...2,8	1,3...1,7	90...100
40	34	10,7... 10,1	2,5; 2,7	0,6; 1,0	85; 95
50	28	9,5... 9,9	2,4; 2,6	0,5; 0,7	83; 90

Мезофіл четвертого листка проростків пшениці ярої в контролі займає центральну частину ЛП й утворений губчатою хлоренхімою. Вона складається з рихло розмішених хлоренхімних клітин, основна функція яких – забезпечення фотосинтетичних процесів. Крупні міжклітинники забезпечують відносно рівномірне постачання клітинам мезофілу повітря (рис. 1). Для мезофілу ЛП характерна виражена гетерогенність складників його паренхімних клітин. Ця гетерогенність корелює з функціональними особливостями паренхімних клітин. Дрібні, малодиференційовані клітини округлої форми містять велике ядро, поодинокі зерна хлорофілу та вільно розміщені на кінцях ЛП, а також подекуди виявляються у товщі гребенів. Це камбіальні клітини, які забезпечують проліферацію мезофілу й латеральний та інтеркалярний ріст ЛП. Асиміляційна паренхіма представлена значною кількістю паренхімних клітин випуклої форми, розмішених під епідермісом. Їх цитоплазма містить багато хлоропластів. Добра освітленість і наявність міжклітинників забезпечує цим клітинам оптимальні умови для газообміну і фотосинтезу. Потрібно зауважити, що в цитоплазмі хлоренхімних клітин, котрі розміщені вздовж бокової поверхні епідермісу, чимало хлоропластів локалізовано біля клітинної оболонки. У цитоплазмі хлоренхімних клітин, що розміщені в товщі ЛП, зерна хлорофілу виявляються, переважно, в центрі (рис. 1) і не виявляються біля клітинної оболонки. Це свідчить про те, що залежно від освітленості відбувається активне переміщення в цитоплазмі асиміляційних клітин гранул хлорофілу. Зовнішня піхва СВП сформована облягаючими клітинами, які є похідними паренхіми. Вони більші за своїми розмірами від клітин хлоренхіми, практично не містять хлоропластів і здійснюють транзит синтезованих органічних сполук від хлоренхіми до клітин флоєми СВП.

Для здійснення процесів асиміляції, газообміну та транспірації кожна клітина хлоренхіми повинна безпосередньо контактувати з повітряним середовищем, чому сприяє губчата будова мезофілу. Структура міжклітинного простору має вирішальний вплив на дифузійну проникність, адсорбційну здатність і транспірацію мезофілу. Міжклітинний простір утворений множиною проміжків між паренхіматозними клітинами, які є складовими мезофілу ЛП.

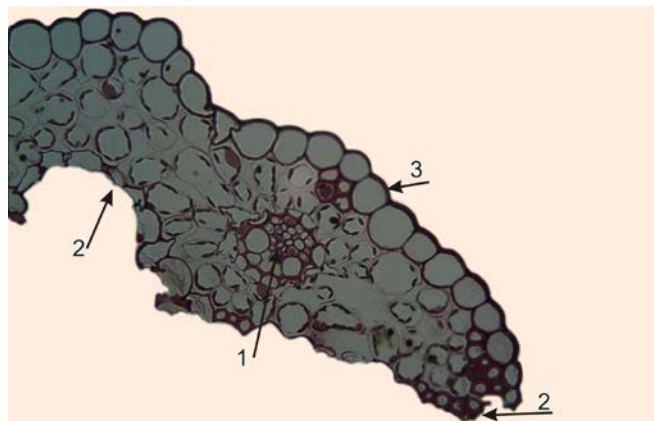


**Рис. 1. Мікроструктура листової пластинки четвертого листка проростка пшениці ярої в контролі (норма)**

*Примітки:* збільшення – 400\*, забарвлення – метиленовий блакитний; 1 – хлоренхімні клітини мезофілу ЛП; 2 – крупний міжклітинник (макропора) у центральному гребені ЛП; 3 – хлоропласти в центрі цитоплазми хлоренхімних клітин; 4 – облягаючі клітини центрального СВП; 5 – малодиференційована хлоренхімна клітина; 6 – продиhi.

Отже, безперервні процеси дифузії та масопереносу газоподібних речовин у паренхімі ЛП відбуваються у напрямку: «зовнішнє середовище ↔ продиhi ↔ макропора ↔ мезопора ↔ мікропора». У товщі ЛП у зоні розміщення гребенів (рис. 2) спостерігається безпосередній контакт облягаючих клітин СВП із макропорою. Це сприяє дифузії речовин і транспірації в напрямку: СВП ↔ облягаючі клітини ↔ макропора ↔ продиhi ↔ повітряне середовище. Із наведених даних маємо, що регуляція об'єму міжклітинного простору в губчатій паренхімі ЛП має важливе значення для здійснення процесів фотосинтезу, газообміну і транспірації клітинами мезофілу.

Зі збільшенням нафтового забруднення ґрунту від 10 мл/кг до 30 мл/кг співвідношення «відкриті – закриті» продиhi змінюється від 1:2 до 1:4. Досить рідко на гребенях ЛП виявляються волоскові клітини. Варто зауважити, що в тих місцях, де в нормі виявляються типові волоскові клітини і ті, що тільки-но формуються, в умовах нафтового забруднення ґрунту на поверхні гребенів листової пластинки волоскові клітини не спостерігаються. Мезенхіма ЛП «пронизана» впродовж розташованими провідними волокнистими пучками, відстань між якими менша, ніж в контрольних зразках. Привертає увагу і той факт, що у разі нафтового забруднення ґрунту в малих СВП, розміщених по краях ЛП, виявляються елементи ксилеми (рис. 2).

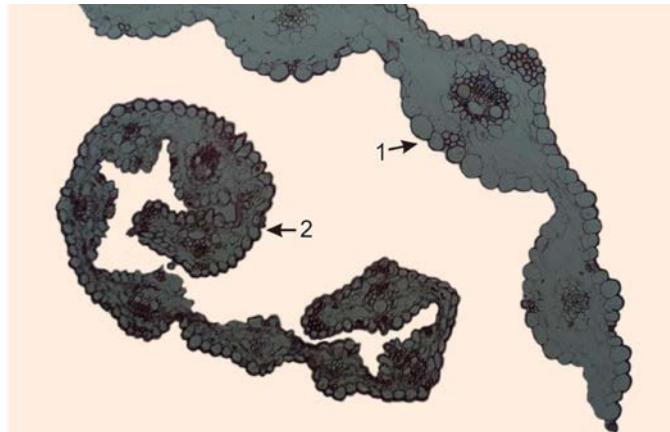


**Рис. 2. Мікроструктура крайової зони листової пластинки четвертого листка проростків пшениці ярої в експерименті за концентрації сирої нафти у ґрунті 30 мл/кг**

*Примітки:* збільшення – 400\*, забарвлення – метиленовий блакитний; 1 – елементи ксилеми в малому СВП, який розміщений на краю ЛП; 2 – локальні ділянки деструкції клітин епідермісу на зовнішній поверхні ЛП; 3 – потовщення кутикули на поверхні ЛП.

Збільшення кількості елементів ксилеми в ЛП, особливо в периферично розміщених малих СВП, свідчить про недостатнє надходження води й водорозчинних мінеральних сполук з кореневої системи рослин у вегетативні органи, передусім, до листків.

Результати вивчення схожості зерен пшениці у разі нафтового забруднення ґрунту (40–50 мл/кг) дали змогу встановити, що цей показник складає всього 2 %. За короткий проміжок часу після сходу проростки пшениці ярої на стадії розвитку «третього-четвертого прикореневого листків» жовтіють, листки зморщуються, висихають – і рослини гинуть, тому що нафтове забруднення ґрунту (30 мл/кг) значно впливає на розміри і мікроморфологію ЛП четвертого листка проростків пшениці ярої. Мікроморфологічні дослідження свідчать, що нафтове забруднення ґрунту (40 мл/кг) суттєво впливає на розміри й мікроморфологію ЛП четвертого листка. Прикореневі розгорнуті листки проростків пшениці знаходяться у відносно активному морфофункціональному стані, мають, переважно, блідо-зелене, рідше зелене забарвлення, чітко виражену рифлену поверхню (рис. 3).



**Рис. 3. Мікроструктура листкової пластинки четвертого листка проростків пшениці в експерименті за концентрації сирої нафти у ґрунті 40–50 мл/кг**

*Примітки:* збільшення – 100\*, забарвлення – метиленовий блакитний; 1 – зріз ЛП (доза нафти 40 мл/кг); 2 – зріз ЛП (доза нафти 50 мл/кг).

Товщина ЛП четвертого листка в 1,4 раза менше, ніж у нормі. Клітини епідермісу – переважно випуклої циліндричної форми, щільно прилягають боковою поверхнею одна до одної. Із зовнішнього боку вони вкриті товстим шаром кутикули. Окремі епідерміоцити містять велике ядро й чітко оконтуровану вакуоль. На відмінну від препаратів ЛП контрольної групи, в епідерміоцитах прикорневих листочків рослин, що проросли на забрудненому нафтою ґрунті, виявлені темні, оптично щільні, сферичної форми, нерозчинні у клітинному соку включення, які частіше фіксуються в цитоплазмі хлоренхімних клітин, розміщених поблизу СВП. Клітини хлоренхіми в окремих місцях ЛП мають переважно округлу форму, розміщені розпорошено, більш вільно, ніж у ЛП контрольних проростків, іноді містять окремі зерна хлорофілу. Розміри клітин візуально менші, ніж у контролі. Помітно зростає об'єм внутрішньоклітинного простору за рахунок повітряних порожнин. Спостерігається асиметричне розміщення провідних пучків відносно центральної жилки, зменшення їхньої кількості та ширини ЛП листків проростків пшениці, що проросли на ґрунтах зі значним забрудненням.

У зів'ялих листках проростків пшениці (нафтозабруднення становить 50 мл/кг) спостерігається процес тотальної деструкції клітин епідермісу та хлоренхіми. Пікноз клітин супроводжується зміною їх форми і зменшенням об'єму. Виявляються локальні ділянки клітинної оболонки, на яких відсутній кутикулярний шар. Ймовірно, у разі деформації епідерміоцитів відбувається «злуцвання» часточок кутикули. Клітинна оболонка деяких епідерміоцитів пошкоджена, фрагментована. У результаті дегідратації та пікнозу значна кількість епідерміоцитів зморщена. У багатьох випадках зовнішня клітинна оболонка під впливом внутрішніх сил поверхневого натягу води впинається й наближається до протилежної оболонки клітини. Спостерігаються морфологічні прояви апоптозу ядер і подальше їхнє руйнування.

### Висновки

Отримані результати проведеного дослідження дали змогу встановити стимулюючий ефект нафтового забруднення на рівні  $\leq 5$  мл/кг ґрунту, що проявляється в активації проростання насіння та розвитку вегетативних органів проростків. Доведено, що збільшення кількості елементів ксилеми в ЛП, особливо в периферично розміщених малих СВП, є наслідком недостатнього надходження води й водорозчинних мінеральних сполук з кореневої системи рослин у вегетативні органи, і передусім, до листків. Визначено, що токсичність ароматичних вуглеводнів нафти, гідрофобність ґрунту та порушення мікродифузії елементів живлення до коренів є лімітуючими фізико-хімічними факторами, що гальмують пророщення й обмежують життєдіяльність вищих рослин в умовах значного модельованого нафтового забруднення ґрунту (30–50 мл/кг). Загибель рослин проявляється при забрудненні ґрунту нафтопродуктами на рівні  $\geq 40$  мл/кг ґрунту.

Морфологічні спостереження у разі нафтового забруднення ґрунту (40–50 мл/кг) виявлено в епідерміоцитах включення, що мають в'язку консистенцію і є вуглеводневими компонентами нафти.

*Перспективи подальших досліджень* – проведення комплексних транслокацій нафтових вуглеводнів з ґрунту в сільськогосподарські рослини.

### References

1. Adam, G. & Duncan, H. (1999). Effect of diesel fuel on growth of selected plant species. *Environmental Geochemistry and Health*, 21, 353–357. doi: 10.1023/A:1006744603461.
2. Baek, K.-H., Kim, H.-S., Oh, H.-M., Yoon, B.-D., Kim, J., & Lee, I.-S. (2004). Effects of Crude Oil, Oil Components, and Bioremediation on Plant Growth. *Journal of Environmental Science and Health, Part A*, 39 (9), 2465–2472. doi: 10.1081/ese-200026309.
3. Barykina, R. P., Veselova, T. D., & Devyatov, A. G. (2000). *Osnovy mikrotehnicheskikh issledovanij v botanike*. Moskva: MGU [In Russian].
4. Brandão, M., Milà i Canals, L., & Clift, R. (2011). Soil organic carbon changes in the cultivation of energy crops: Implications for GHG balances and soil quality for use in LCA. *Biomass and Bioenergy*, 35 (6), 2323–2336. doi: 10.1016/j.biombioe.2009.10.019.
5. Dudkina, O. & Kaplun, A. (2010). Urozhaj formuye listya. *Propoziciya*, 6, 20–22 [In Ukrainian].
6. Galitskaya, P. (2016). Biochar carrying hydrocarbon decomposers promotes degradation during the early stage of bioremediation. *Biogeosciences*, doi: 10.5194/bg-2016-292-ac4.
7. J. M., C., P. R. M., L., R. N., M., I. S., T., N. M. M. G., S., & E. D., B. (2013). Phytotoxicity of Soil Contaminated with Petroleum Derivatives and Biodiesel. *Journal of the Brazilian Society of Ecotoxicology*, 8 (1), 49–54. doi: 10.5132/eec.2013.01.007.
8. Kusic, I., Mesic, S., Basic, F., Brkic, V., Mesic, M., Durn, G., Zgorele, Z., & Bertovic, L. (2009). The effect of drilling fluids and crude oil on some chemical characteristics of soil and crops. *Geoderma*, 149 (3–4), 209–216. doi: 10.1016/j.geoderma.2008.11.041.
9. Kolyesnikova, L. A. (2011). Agroekosistema v umovah tehnogenного navantazhennya Reshetnyakivskogo rodovisha Poltavskoyi oblasti. *Visnik Poltavskoyi Derzhavnoyi Agrarnoyi Akademiyi*, 2, 162–169 [In Ukrainian].
10. Konoplova, Ye. L. (2013). Osoblivosti rostu ta rozvitku roslin pshenici ozimoyi protyagom vesnyano-litnoyi vegetaciyi v pivnichnomu Stepu Ukrayini. *Byuletен DU ISG SZ NAANU*, 4, 116–120 [In Ukrainian].
11. Muratova, A. Y., Dmitrieva, T. V., Panchenko, L. V., & Turkovskaya, O. V. (2008). Phytoremediation of Oil-Sludge-Contaminated Soil. *International Journal of Phytoremediation*, 10 (6), 486–502. doi: 10.1080/15226510802114920.
12. Lebedev, S. I. (1972). *Fiziologiya rastenij*: Izd. 2. Kiev: Visha shkola [In Russian].
13. Pysarenko, P. V., Samojlik, M. S., Plaksienko, I. L., & Kolesnikova, L. A. (2019). Conceptual framework for ensuring resource and environmental safety in the region. *Theoretical and Applied Ecology*, 2, 137–142. doi: 10.25750/1995-4301-2019-2-137-142.
14. Ramamurthy, A. S., & Memarian, R. (2011). Phytoremediation of Mixed Soil Contaminants. *Water, Air, & Soil Pollution*, 223 (2), 511–518. doi: 10.1007/s11270-011-0878-6.
15. Raymond, R. L., Hudson, J. O., & Jamison, V. W. (1976). Oil degradation in soil. *Applied and Environmental Microbiology*, 31 (4), 522–535.
16. Roy, A. S., Baruah, R., Borah, M., Singh, A. K., Deka Boruah, H. P., Saikia, N., Deka, M., Dutta, N.,

& Chandra Bora, T. (2014). Bioremediation potential of native hydrocarbon degrading bacterial strains in crude oil contaminated soil under microcosm study. *International Biodeterioration & Biodegradation*, 94, 79–89. doi: 10.1016/j.ibiod.2014.03.024.

17. Salanitro, J. P., Dorn, P. B., Huesemann, M. H., Moore, K. O., Rhodes, I. A., Rice Jackson, L. M., Vipond, T. E., Western, M. M., & Wisniewski, H. L. (1997). Crude Oil Hydrocarbon Bioremediation and Soil Ecotoxicity Assessment. *Environmental Science & Technology*, 31 (6), 1769–1776. doi: 10.1021/es960793i.

18. Shankar, S., Kansrajh, C., Dinesh, M. G., Satyan, R. S., Kiruthika, S., & Tharanipriya, A. (2013). Application of indigenous microbial consortia in bioremediation of oil-contaminated soils. *International Journal of Environmental Science and Technology*, 11 (2), 367–376. doi: 10.1007/s13762-013-0366-1.

19. Shen, W., Zhu, N., Cui, J., Wang, H., Dang, Z., Wu, P., Luo, Y., & Shi, C. (2016). Ecotoxicity monitoring and bioindicator screening of oil-contaminated soil during bioremediation. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 124, 120–128. doi: 10.1016/j.ecoenv.2015.10.005.

20. Tang, J., Wang, M., Wang, F., Sun, Q., & Zhou, Q. (2011). Eco-toxicity of petroleum hydrocarbon contaminated soil. *Journal of Environmental Sciences*, 23 (5), 845–851. doi: 10.1016/s1001-0742(10)60517-721.

21. Taranenko, A., Kulyk, M., Galytska, M., & Taranenko, S. (2019). Effect of cultivation technology on switchgrass (*Panicum virgatum* L.) productivity in marginal lands in Ukraine. *Acta Agrobotanica*, 72 (3). doi: 10.5586/aa.1786.

22. Pisarenko, P. V., Samojlik, M. S., Kolesnikova, L. A., & Plaksiyenko, I. L. (2018). The dynamics and diagnosis of the toxic effects of contaminated soil on the stability of seedlings wheat furious. *Agrology*, 1 (3), 240–245. doi: 10.32819/2617-6106.2018.13002.

Стаття надійшла до редакції 28.11.2019 р.

**Бібліографічний опис для цитування:**

Колеснікова Л. А., Галицька М. А., Піщаленко М. А., Бараболя О. В., Чубук Д. І., Литвишко О. А. Реакція сільськогосподарських рослин на забруднення ґрунту нафтою. *Вісник ПДАА*. 2019. № 4. С. 100–107.

© Колеснікова Лариса Анатоліївна, Галицька Марина Анатоліївна,  
Піщаленко Марина Анатоліївна, Бараболя Ольга Валеріївна,  
Чубук Дарина Іванівна, Литвишко Оксана Анатоліївна, 2019