

# БІОЛОГІЧНІ НАУКИ

DOI: <https://doi.org/10.32839/2304-5809/2020-1-77-25>

УДК 504.4.06(477.54):665.66

Крайнюков О.М., Хоменко А.С., Крайнюков А.О.  
Харківський національний університет імені В.Н. Каразіна

## ЕКОЛОГО-ТОКСИКОЛОГІЧНА ОЦІНКА ЯКОСТІ ҐРУНТІВ В МЕЖАХ ВПЛИВУ НАФТОПЕРЕРОБНОГО ПІДПРИЄМСТВА

**Анотація.** В статті розглянуто проблему вуглеводневого забруднення компонентів довкілля, яке утворилося внаслідок виробничої діяльності Шебелинського відділення з переробки газового конденсату та нафти. В якості об'єкту досліджень було обрано територію, яка знаходиться під впливом виробничої діяльності Шебелинського ВПГКН. Для оцінки рівня екологічної небезпеки забруднення території нафтопродуктами та його негативного впливу на життєдіяльність організмів наземних і водних екосистем, використовували систему біотестування. Для визначення фітотоксичності ґрунтів було використано насіння вівсу. Проби ґрунтів відбирались навесні 2018 р. та 2019 р. і восени 2018 р. Всього було відібрано 15 проб ґрунту з 5 точок. Токсичні властивості ґрунтів було виявлено у точках 1 та 2 (ст. Андріївка, 150 м до південно-сходу та 180 м до півдню від Шебелинського ВПГКН, лісосмуга) упродовж всього періоду досліджень. Рівень забрудненості ґрунтів у точках 1 та 2, відповідно до класифікації, відповідав IV та V класу токсичності (ґрунти брудні та дуже брудні). Основною причиною такого стану ґрунтів в означених точках є «техногенний поклад» рідких вуглеводнів, який утворився в результаті виробничої діяльності Шебелинського ВПГКН. З метою усунення наслідків забруднення запропоновано комплекс біотехнологічних заходів: видалення забрудненого нафтопродуктами шару ґрунту; внесення мінеральних і органічних добрив та обробка осередку найбільшого забруднення бактеріальним препаратом. В результаті проведених досліджень встановлено, що проблема вуглеводневого забруднення підземних вод та ґрунтів в межах пгт. Андріївка залишається актуальною і на даний час.

**Ключові слова:** техногенний поклад, вуглеводневе забруднення, біотестування, токсичність.

Krainiukov Oleksii, Homenko Artem, Krainiukov Andrii  
V.N. Karazin Kharkiv National University

## ENVIRONMENTAL-TOXICOLOGICAL ASSESSMENT OF SOIL QUALITY IN THE LIMITS OF EFFECT OF OIL TREATMENT ENTERPRISE

**Summary.** In modern conditions, when the process of intensification of the extraction of fuel and energy resources in Ukraine has become one of the most important tasks of the state policy, the solution of the problem of ecological safety in the territories adjacent to the oil and gas production and processing enterprises becomes extremely relevant. The article deals with the problem of hydrocarbon contamination of environmental components, which was formed as a result of the production activity of Shebelinsky Department of Gas Condensate and Oil Processing. The area under the influence of the production activity of Shebelinsky State Agricultural Production Association was selected as the object of research. To assess the level of environmental risk of contamination of the area with petroleum products and its negative impact on the life of organisms of terrestrial and aquatic ecosystems, used a biotest system. Oat seeds were used to determine the phytotoxicity of soils. Soil samples were collected in spring 2018 and 2019 and Fall 2018. A total of 15 5-point soil samples were collected. The toxic properties of the soils were detected at points 1 and 2 (Andriyivka station, 150 m to the southeast and 180 m to the south of Shebelinsky VPGKN, forest belt) throughout the study period. Soil contamination levels at points 1 and 2, according to the classification, corresponded to Class IV and V toxicity (soils are dirty and very dirty). The main reason for this state of soils at these points is the "technogenic deposit" of liquid hydrocarbons, which was formed as a result of the production activity of Shebelin VPGKN. In order to eliminate the effects of pollution, a set of biotechnological measures was proposed: removal of the soil-contaminated layer of oil; application of mineral and organic fertilizers and treatment of the foci of the highest contamination by bacterial preparation. Studies have shown that the problem of hydrocarbon contamination of groundwater and soil within the pgt. Andriyivka remains relevant today. It should also be noted that the use of traditional eco-geochemical and hydrochemical surveys is ineffective due to the fact that petrochemical contamination is of a site nature due to the large number of sources of oil and gas production and processing enterprises' waste in the natural environment. In addition, such surveys on a regular network in large areas involve considerable expense and other hassle.

**Keywords:** technogenic deposit, hydrocarbon pollution, biotest, toxicity.

**Постановка проблеми.** Нафтогазовидобувна та переробна галузі є багатофункціональними зі складними взаємозв'язками технологічних процесів, на всіх стадіях яких може проявлятися небезпечний вплив на екологічний стан навколишнього природного середовища.

Нафтогазовий промисел являє собою комплекс виробничих споруд, розрізнених територіально, але взаємопов'язаних між собою системами трубопроводів та енергопередач. До основних споруд нафтогазопромислу відносяться свердловини (бурові, експлуатаційні, нагнітальні, спостережні), компресорно-насосні станції, нафтогазосховища,

установки з первинної підготовки нафти і природного газу, різні амбари, відстійники та ін. Території нафтогазопромислів займають площі в десятки і сотні квадратних кілометрів, причому більша частина з них не вилучена із сільськогосподарського землекористування. Кожне із перелічених виробництв і споруд є потенційним джерелом техногенних потоків нафтопродуктів, які можуть забруднювати навколишнє природне середовище, пересікаючись між собою у просторі та часі і виходячи за межі промислу [1].

#### **Аналіз останніх досліджень і публікацій.**

Аналізом та систематизацією концептуальних підходів з питань оцінки сучасного стану використання паливно-енергетичних ресурсів та екологічної безпеки техноприродних екосистем просторової структури ореолів нафтохімічного забруднення навколишнього природного середовища та процесів міграції вуглеводнів у різних компонентах ландшафту займаються (Ю.І. Піковський, 2018; В.Г. Суярко, 2109; О.Ф. Бабаджанова, 2014; М.М. Редіна, 2017; Р.К. Gupta, 2019).

Інтенсивність впливу вуглеводневого забруднення на екологічний стан території залежить не тільки від об'ємів видобування, перероблення та транспортування вуглеводневої сировини, а також від умов формування ореолів забруднення природного середовища нафтопродуктами, особливостями і закономірностями їх розповсюдження, розподілу і трансформації в геологічному і водному середовищах. Проблемам формування просторової (радіальної і латеральної) структури ореолів вуглеводневого забруднення ґрунтів присвячена велика кількість наукових праць. У роботі [2] висвітлюються закономірності розповсюдження нафтопродуктів у ґрунтових екосистемах, які представлені складно організованими мінеральними, органо-мінеральними й органогенними горизонтами з характерною морфоструктурою – системою тріщин, полостей, пор, капілярів, що формують канали міграції. Нафтоємність і проникність генетичних горизонтів, які змінюються на різних глибинах, безпосередньо пов'язані з особливостями кожного із каналів міграції – розмірами, формами пор, гранулометричним складом ґрунту та іншими характеристиками [3]. Міграційні процеси в різних горизонтах ґрунтового профілю неоднакові. У верхній, органогенній частині ґрунту із-за значного об'єму вільного порово-тріщинного простору відбувається, в основному, фронтальне просочування нафтопродуктів [4]. Внаслідок цього більш високий вміст нафтопродуктів у ґрунті, як правило, приурочений до органогенних горизонтів. При надходженні в мінеральні ґрунтові горизонти найбільший вміст нафтопродуктів виявляється у субстратах легкого механічного складу, які володіють великою порозністю і вміщують нафтопродукти в концентраціях до десятків г/кг ґрунту [5; 6]. Важкі суглинні та глинисті субстрати, незважаючи на потенційно високу сорбційну ємність, як правило, можуть приймати незначну кількість нафтопродуктів і є слабопроникливими. Акумуляційні можливості різних типів ґрунтових субстратів також неоднакові, що обумовлено не тільки різницею площі сорбційних поверхонь, але й неоднаковою ефективною пористістю окремих субстратів [7].

Значний вплив на характер радіального розповсюдження нафтопродуктів у ґрунтах чинять ґрунтові води, рівень яких змінюється у часі. Природна вологість не тільки здійснює механічне розповсюдження забруднення нафтопродуктами земельно-ґрунтового простору, але й сприяє міграційним процесам переносу нафтопродуктів на великі відстані від джерел забруднення. У роботі [8] наведено результати дослідження масообміну нафтопродукти-підземна вода, швидкість і інтенсивність яких залежить від площі контакту нафтопродуктів з водним середовищем та швидкості руху води в ґрунті.

Після перевищення граничної нафтоємності нафтопродукти скидаються в нижче розташовані горизонти ґрунтів. Особливості радіальної міграції або накопичення нафтопродуктів залежать також від літологічних характеристик субстрата (їх щільності, складу та ін.), варіювання яких, поряд з вищенаведеними, визначає радіальний профіль розповсюдження нафтопродуктів [9].

Сумісна дія гравітаційних, сорбційних, порово-капілярних та дифузних процесів визначає не тільки радіальну, але й латеральну міграцію нафтопродуктів. Можливість, або утруднення вільного гравітаційного розповсюдження нафтопродуктів у відповідності до рельєфу визначається зміною властивостей ґрунтів на шляху руху міграційних потоків, тобто структурою ґрунтового покриву. У випадку відносно однорідного ґрунтового простору максимальна кількість нафтопродуктів зосереджується поблизу джерела (осередку) забруднення при поступовому зменшенні до границь осередку. Формування структури ореолів забруднення припиняються, коли настає рівновага порово-капілярних і гравітаційних сил [1].

У залежності від сорбційних властивостей порово-тріщинного простору ґрунтові горизонти по відношенню до нафтопродуктів виступають як геохімічні бар'єри. Взагалі, склад і напрям геохімічних потоків забруднюючих речовин контролюється ландшафтно-геохімічними бар'єрами.

**Мета статті** – еколого-токсикологічні дослідження якості ґрунтів у межах впливу нафтоперобного підприємства.

**Виклад основного матеріалу.** В процесі урбанізації міст, постійно відбувається забруднення ґрунтів та рослин нафтопродуктами. Вуглеводневе забруднення території призводить в першу чергу до зменшення продуктивності земель, оскільки основну частку техногенного навантаження внаслідок такого забруднення приймають на себе ґрунтовий і рослинний покрив. Для земель і ґрунтів, які зазнали значного забруднення нафтопродуктами, характерні змінені структурні і фізико-хімічні властивості, що не дозволяє їх використовувати у господарських цілях. Крім того, віддаючи сорбовані на ґрунтах вуглеводні у вигляді розчинених та емульгованих сполук, забруднені ґрунти служать постійним вторинними джерелом забруднення інших компонентів природних ландшафтів – рослинного покриву, поверхневих і підземних вод.

Дослідження проводилось в навчально-дослідній лабораторії еколого-токсикологічних досліджень, екологічного факультету Харківського Національного університету імені В.Н. Каразіна, стан системи вимірювань якої за результатами

аудиту ДП «Харківстандартметрологія» відповідає вимогам ДСТУ ISO 10012:2005 на проведення вимірювань токсичності методом біотестування у сфері поширення державного метрологічного нагляду (свідоцтво № 01-0132/2016 від 15 грудня 2016 р., чинно до 14 грудня 2019 року).

Для досліду в якості тест – об'єкту було використано насіння вівса посівного. Овес посівний (*Avena sativa* L) – однорічна культивована трав'яниста рослина родини злакових. Стебло (соломина) прямостояче, заввишки 60–150 см, смугасте, гладеньке, з порожнистими меживузлями, галузиться в нижній частині – вузлі кущіння. Листки чергові, дворядні, з паралельним жилкуванням лінійної пластинки. Квітки дрібні, двостатеві, зібрані по 2–3 у пониклі колоски, що утворюють на верхівці стебла розлогу волоть. Плід – зернівка завдовжки до 8 мм.

Обраний тест – об'єкт має ранню схожість, найменший період вегетації та чітко виражену реакцію щодо присутності поллютанта.

На території Харківської області одним із основних джерел вуглеводневого забруднення є Шебелинське відділення з переробки газового конденсату та нафти (ВПГКН), яке підпорядковано ДК «Укргаздобича» і розташовано в Балакліївському районі поблизу с. Андріївка. Продукцією Шебелинського ВПГКН є бензин, мазут і бітум. За своїми функціональними особливостями це підприємство можна віднести до точкового джерела забруднення нафтопродуктами прилеглої до нього території.

Шебелинський ГПЗ (Шебелинське ВПГКН) – основний нафтопереробний актив АТ «Укргазвидобування» та одне з двох нині діючих в Україні нафтопереробних підприємств.

Загальний обсяг переробки, що виконав Шебелинський завод у 2018 році, склав 481,1 тис. тонн сировини. Світлих нафтопродуктів вироблено 388,2 тис. тонн, у тому числі 130,6 тис. тонн бен-

зинів, 85 тис. тонн дизельного пального. Обсяг виробництва скрапленого газу у 2018 році склав 164,8 тис. тонн.

За рівнем вуглеводневого навантаження найбільш небезпечною є територія, в межах якої розташоване Шебелинське ВПГКН.

В результаті виробничої діяльності підприємства утворився «техногенний поклад» рідких вуглеводнів на площі 32 га. Лізна рідких вуглеводнів знаходиться практично в межах с. Андріївка на глибині від 2 до 5 метрів.

Відбір проб ґрунту було проведено навесні 2018 р. та 2019 р. та восени 2018 р. у 5 точках. Загалом було відібрано 15 зразків ґрунту (рис. 1).

Після відбору зразків ґрунтів нами було проведено їх біотестування в лабораторії еколого-токсикологічних досліджень екологічного факультету.

В результаті проведених досліджень навесні 2018р. отримані наступні результати: у перших двох точках спостерігався високий рівень забрудненості ґрунтів, який відповідав класу якості – ґрунти брудні. Зразки з 3, 4 та 5 точки відбору не чинили токсичного ефекту (табл. 1 та рис. 2).

Результати еколого-токсикологічної оцінки якості ґрунтів восени 2018р. наступні: в першій точці якість ґрунтів за токсикологічним показником відповідала 4 класу (ґрунти брудні). У другій точці ґрунти відповідали 5 класу якості (ґрунти дуже брудні). Зразки з 3, 4 та 5 точки відбору не чинили токсичного ефекту (табл. 2 та рис. 3).

В результаті проведених досліджень навесні 2019р. отримані наступні результати:

У перших двох точках спостерігався високий рівень забрудненості ґрунтів, який відповідав класу якості – ґрунти брудні. Зразки з 3, 4 та 5 точки відбору не чинили токсичного ефекту (табл. 3 та рис. 4).

Узагальнюючи всі дослідження слід зазначити, що за токсикологічним показником лише



Рис. 1. Місця відбору зразків ґрунту в межах впливу нафтопереробного підприємства

Джерело: розроблено авторами

Таблиця 1

Результати визначення фітотоксичних властивостей ґрунтів, відібраних на території, прилеглої до Шебелинського ВПГКН у квітні 2018 р.

№ з/п	Місце розташування пунктів спостереження	Фітотоксичний ефект	Рівень забрудненості ґрунтів	Ступінь забрудненості ґрунтів, КЗГ
1.	ст. Андріївка, 150 м до південно-сходу від Шебелинського ВПГКН, лісосмуга	77	Брудні	1,4
2.	ст. Андріївка, 180 м до півдню від Шебелинського ВПГКН, лісосмуга	68	Брудні	1,4
3.	200 м до південно-заходу від Шебелинського ВПГКН	19	Незабруднені	1,1
4.	100 м до північного-заходу від Шебелинського ВПГКН	18	Незабруднені	1,1
5.	150 м до північно-сходу від Шебелинського ВПГКН	18	Незабруднені	1,1

Джерело: розроблено авторами

Таблиця 2

Результати визначення фітотоксичних властивостей ґрунтів, відібраних на території, прилеглої до Шебелинського ВПГКН у листопаді 2018 р.

№ з/п	Місце розташування пунктів спостереження	Фітотоксичний ефект	Рівень забрудненості ґрунтів	Ступінь забрудненості ґрунтів, КЗГ
1.	ст. Андріївка, 150 м до південно-сходу від Шебелинського ВПГКН, лісосмуга	79	Брудні	1,4
2.	ст. Андріївка, 180 м до півдню від Шебелинського ВПГКН, лісосмуга	82	Дуже брудні	1,5
3.	200 м до південно-заходу від Шебелинського ВПГКН	17	Незабруднені	1,1
4.	100 м до північного-заходу від Шебелинського ВПГКН	10	Незабруднені	1,1
5.	150 м до північно-сходу від Шебелинського ВПГКН	11	Незабруднені	1,1

Джерело: розроблено авторами

точки 1 та 2 не відповідають встановленим нормативам за токсикологічним показником. Це перш за все може бути результатом негативного впливу «техногенного» покладу з легких вуглеводнів, який знаходиться на півдні – південно-сході від Шебелинського ВПГКН та кустарного видобутку вуглеводнів із лісосмуги біля станції Андріївка (рис. 5, 6).

**Висновки.** Енергетична безпека країни визначається наявністю власних ресурсів різних видів мінеральних енергоносіїв, рівнем їх ефективного і раціонального використання. В якості об'єкту досліджень було обрано територію, яка знаходиться під впливом виробничої діяльності Шебелинського ВПГКН. Для визначення фітотоксичності ґрунтів було використано на-

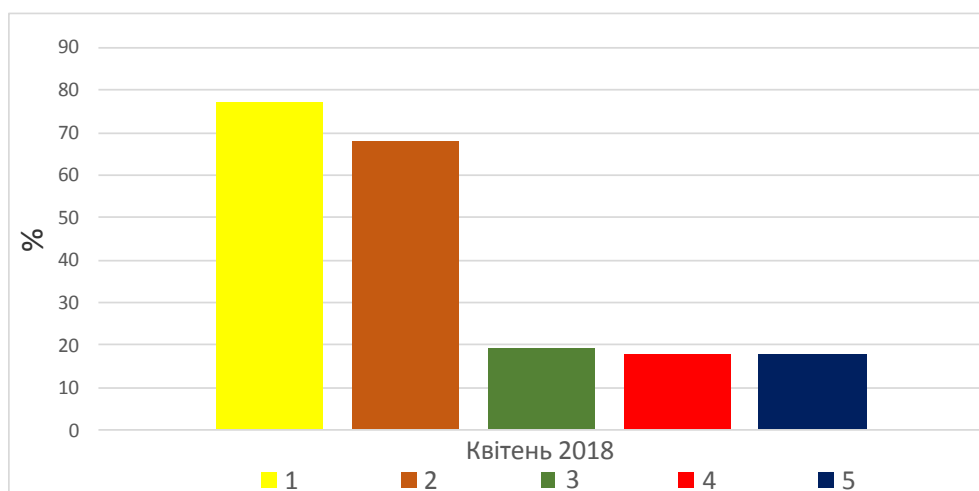
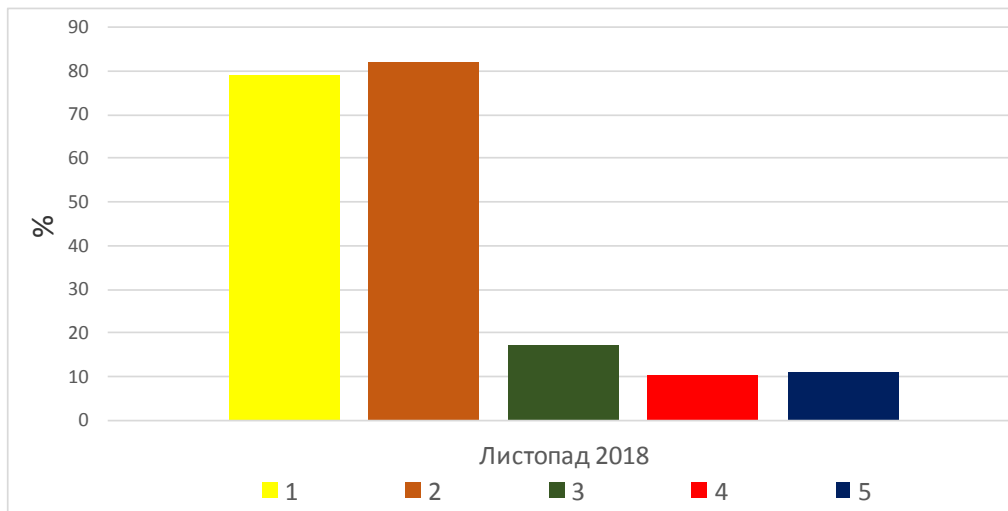


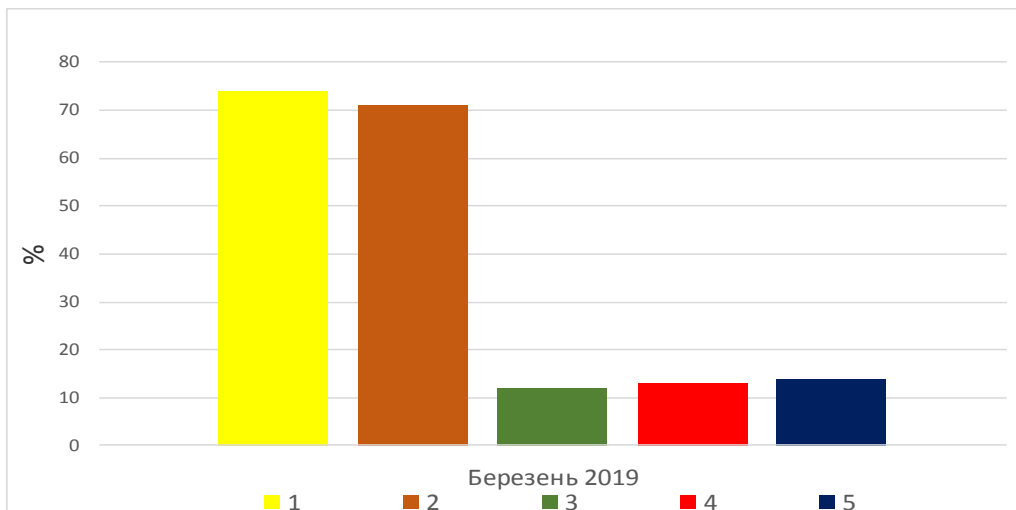
Рис. 2. Результати визначення фітотоксичного ефекту зразків ґрунту, які було відібрано у квітні 2018 р.

Джерело: розроблено авторами



**Рис. 3. Результати визначення фітотоксичного ефекту зразків ґрунту, які було відібрано у листопаді 2018 р.**

*Джерело: розроблено авторами*



**Рис. 4. Результати визначення фітотоксичного ефекту зразків ґрунту, які було відібрано у березні 2019 р.**

*Джерело: розроблено авторами*

Таблиця 3

**Результати визначення фітотоксичних властивостей ґрунтів, відібраних на території, прилеглої до Шебелинського ВПГКН у березні 2019 р.**

№ з/п	Місце розташування пунктів спостереження	Фітотоксичний ефект	Рівень забрудненості ґрунтів	Ступінь забрудненості ґрунтів, КЗГ
1.	ст. Андріївка, 150 м до південно-сходу від Шебелинського ВПГКН, лісосмуга	74	Брудні	1,4
2.	ст. Андріївка, 180 м до півдню від Шебелинського ВПГКН, лісосмуга	71	Брудні	1,4
3.	200 м до південно-заходу від Шебелинського ВПГКН	12	Незабруднені	1,1
4.	100 м до північного-заходу від Шебелинського ВПГКН	13	Незабруднені	1,1
5.	150 м до північно-сходу від Шебелинського ВПГКН	14	Незабруднені	1,1

*Джерело: розроблено авторами*



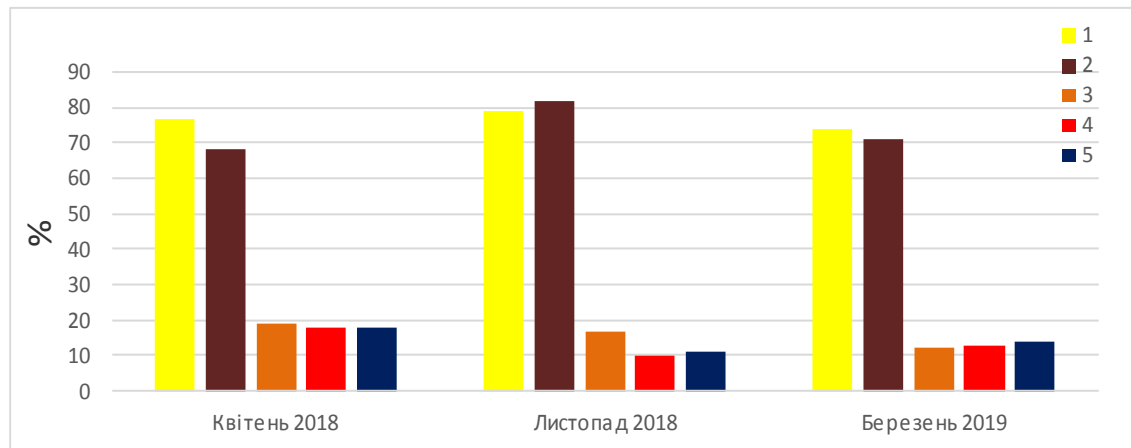


Рис. 5. Результати визначення фітотоксичного ефекту зразків ґрунту

Джерело: розроблено авторами

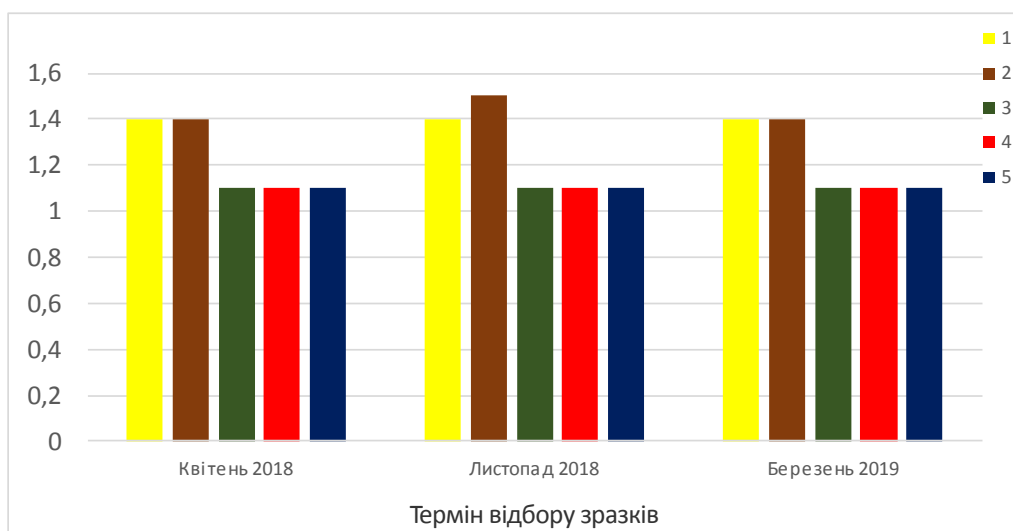


Рис. 6. Результати визначення фітотоксичного ефекту

Джерело: розроблено авторами

січня вівсу. Проби ґрунтів відбирались навесні 2018 р. та 2019 р. і восени 2018 р. Всього було відібрано 15 проб ґрунту з 5 точок. Токсичні властивості ґрунтів було виявлено у точках 1 та 2 (ст. Андріївка, 150 м до південно-сходу та 180 м до півдня від Шебелинського ВПГКН, лісосмуга) упродовж всього періоду досліджень. Рівень забрудненості ґрунтів у точках 1 та 2, відповідно до класифікації, відповідав IV та V класу токсичності (ґрунти брудні та дуже брудні). Основною причиною такого стану ґрунтів в означених точ-

ках є «техногенний поклад» рідких вуглеводнів, який утворився в результаті виробничої діяльності Шебелинського ВПГКН. З метою усунення наслідків забруднення запропоновано комплекс біотехнологічних заходів: видалення забрудненого нафтопродуктами шару ґрунту; внесення мінеральних і органічних добрив та обробка осередку найбільшого забруднення бактеріальним препаратом. Здійснення заходів створює оптимальні умови для розкладу вуглеводнів нафтопродуктів.

### Список літератури:

1. Abdel-Shafy H., Mansour M. A review on polycyclic aromatic hydrocarbons: source, environmental impact, effect on human health and remediation. *Egypt. J. Petrol.* 2016. 25, pp. 107–123. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ejpe.2015.03.011>
2. Krainiukov O. Features of spatial distribution of hydrocarbon pollution in environmental components in the Kharkiv region. *Environmental protection from anthropogenic loading.* 2005. Issue 11(13), pp. 88–97.
3. Tavenas F., Jean P. Leblond, P., Lerouel S. The Permeability of Natural Soft Clas. Part II: Permeability Characteristics. *Canadian Geotechnical Journal.* 1984. V. 20. Iss. 4, pp. 645–660.
4. Guseva O.A., Solntseva N.P. Modelling of oil bearing and oil yielding capacities tundra landscape soils at the European part of Russia (EPR). *Fourth International symposium on the Geochemistry of the Earths surface.* 1996, pp. 417–420.
5. Солнцева Н.П. Добыча нефти и геохимия природных ландшафтов. Москва : Изд-во МГУ, 1998. 376 с.
6. Солнцева Н.П., Садов Л.П. Влияние сточных минерализованных вод на геохимические свойства почв севера Западной Сибири (на примере Уренгойского нефтегазоконденсатного месторождения). *Почвоведение.* 1997. № 3. С. 322–329.

7. Гусева О.А. Закономерности миграции нефти и нефтепродуктов в почвах тундровых ландшафтов (на примере Большеземельской тундры) : автореф. дисс. канд. геогр. наук. Москва : МГУ, 1998. 24 с.
8. Miller C.T., Poirier-McNeill M.M., Mayer A.S. Dissolution of trapped non-aqueous phase liquids: mass transfer characteristics. *Water Resour. Res.*, 1990. Vol. 26, pp. 2783–2796.
9. Кадочникова И.Г., Масливец Т.А., Оборин А.А., Оглоблина А.И., Пиковский Ю.И. Трансформация нефти в подзолистых почвах Среднего Приобья. *Миграция загрязняющих веществ в почвах и сопредельных средах. Тр. IV Всесоюз. совещ.* Ленинград : Гидрометеиздат, 1985. С. 74–80.

## References:

1. Abdel-Shafy, H., & Mansour, M. (2016). A review on polycyclic aromatic hydrocarbons: source, environmental impact, effect on human health and remediation. *Egypt. J. Petrol.*, 25, pp. 107–123. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ejpe.2015.03.011>
2. Krainiukov, O. (2005). Features of spatial distribution of hydrocarbon pollution in environmental components in the Kharkiv region. *Environmental protection from anthropogenic loading*. Issue 11(13), pp. 88–97.
3. Tavenas, F., Jean P., Leblond, P., & Lerouel, S. (1984). The Permeability of Natural Soft Clas. Part II: Permeability Characteristics. *Canadian Geotechnical Journal*. V. 20. Iss. 4, pp. 645–660.
4. Guseva, O.A., & Solntseva, N.P. (1996). Modelling of oil bearing and oil yielding capacities tundra landscape soils at the European part of Russia (EPR). *Fourth International symposium on the Geochemistry of the Earths surface*, pp. 417–420.
5. Solntseva, N. (1998). *Dobycha nefiti i geokhimiya prirodnykh landshaftov* [Oil production and geochemistry of natural landscapes]. Moscow: Moscow State University Publishing House, 376 p. (in Russian)
6. Solntseva, N., & Sadov L. (1997). Vliyaniye stochnykh mineralizovannykh vod na geokhimicheskiye svoystva pochv severa Zapadnoy Sibiri (na primere Urengoyskogo neftegazokondensatnogo mestorozhdeniya) [Influence of wastewater on the geochemical properties of soils in the north of Western Siberia (by the example of the Urengoy oil and gas condensate field)]. *Soil Science*. No. 3, pp. 322–329. (in Russian)
7. Guseva, O. (1998). *Zakonomernosti migratsii nefiti i nefteproduktov v pochvakh tundrovyykh landshaftov (na primere Bol'shezemel'skoy tundry)* [Patterns of migration of oil and oil products in the soils of tundra landscapes (on the example of the Bolshezemelskaya tundra)]: abstract. diss. cand. geo sciences. Moscow: Moscow State University, 24 p. (in Russian)
8. Miller, C., Poirier-McNeill, M., & Mayer, A. (1990). Dissolution of trapped non-aqueous phase liquids: mass transfer characteristics. *Water Resour. Res.*, Vol. 26, pp. 2783–2796.
9. Kadochnikova, I., Maslivets, T., Oborin, A., Ogloblin, A., & Pиковский, Yu. (1985). Transformatsiya nefiti v podzolistykh pochvakh Srednego Priob'ya [Oil transformation in podzolic soils of the Middle Ob region]. *Migration of pollutants in soils and adjacent environments. Tr. IV All-Union. conference L. Gidrometeizdat*, pp. 74–80. (in Russian)