

ВПЛИВ НАФТОВОГО ЗАБРУДНЕННЯ НА МІКРОБІОЛОГІЧНІ ПРОЦЕСИ У
ТЕМНО-СІРОМУ ОПІДЗОЛЕНОМУ ҐРУНТІ

І.М. МАЛИНОВСЬКА, доктор сільськогосподарських наук
Національний науковий центр «Інститут землеробства НААН»

Н.А. ЗІНОВ'ЄВА, аспірантка *
Національний авіаційний університет

За 30 діб інкубування темно-сірого опідзоленого ґрунту, забрудненого нафтопродуктами, підвищується чисельність мікроорганізмів всіх досліджених еколого-трофічних груп та фізіолого-біохімічна активність мікроорганізмів окремих груп, крім азотобактера і нітрифікаторів. У ґрунті без вегетуючого фітоценозу в результаті забруднення збільшується інтенсивність освоєння органічної речовини ґрунту, мінералізації сполук азоту, накопичення фітотоксинів і зменшується активність мінералізації гумусу. У ґрунті з фітоценозом зменшується інтенсивність освоєння органічної речовини ґрунту, мінералізації сполук азоту і збільшується активність мінералізації гумусу та накопичення фітотоксинів порівняно з незабрудненим ґрунтом.

Ключові слова: мікробіоценоз, еколого-трофічні групи, мінералізація, гумус, токсичність, темно-сірий опідзолений ґрунт, нафтопродукти

Забруднення ґрунтів нафтопродуктами негативно впливає на всі складові екосистем: ґрунтову мікрофлору, рослинний і тваринний світ. Природне відновлення забруднених нафтопродуктами ґрунтів є довготривалим і складним процесом [10]. Важливу роль у відновленні забруднених ґрунтів відіграють мікроорганізми різних еколого-трофічних груп, які здатні засвоювати вуглеводні нафти як джерело вуглецевого живлення [1]. Існують два способи прискорення очищення ґрунтів від нафтопродуктів: 1 – оброблення комерційними препаратами з вмістом біодеструкторів нафтопродуктів; 2 – активізація діяльності аборигенних мікробних угруповань забрудненого ґрунту.

* Науковий керівник – доктор сільськогосподарських наук І.М. Малиновська.

Метою дослідження було вивчення можливостей керування деструкцією нафтозабруднень резидентними мікробними угрупованнями за перебігом мікробіологічних процесів у темно-сірому опідзоленому ґрунті при культивуванні вегетуючого фітоценозу і за його відсутності.

Матеріали та методи досліджень. Модельний дослід проводили з використанням темно-сірого опідзоленого ґрунту стаціонарного дослідження лабораторії інтенсивних технологій зернових колосових культур і кукурудзи ННЦ «Інститут землеробства НААН» (дослідне господарство «Чабани», Києво-Святошинський район Київської області): екстенсивний агрозем – польова сівозміна без використання мінеральних і органічних добрив з 1987р.; інтенсивний агрозем – з добривами $N_{96}P_{108}K_{112,5}$ по фоні заорювання побічної продукції рослинництва. У шарі ґрунту 0–20 см екстенсивного варіанта містилося: гумусу – 1,31%, лужногідролізованого азоту – 6,44 мг, нітратного азоту – 0,45, амонійного азоту – 0,18, рухомого фосфору – 22,5 та обмінного калію – 5,90 мг на 100 г сухого ґрунту, ступінь рухомості фосфору – 0,21 мг $P_2O_5/100$ г ґрунту, $pH_{(KCl)}$ – 5,7. У шарі ґрунту 0–20 см інтенсивного варіанта містилося: гумусу – 1,75%, лужногідролізованого азоту – 6,86 мг, нітратного азоту – 6,46, амонійного азоту – 0,20, рухомого фосфору 60,0 та обмінного калію 25,4 мг на 100 г сухого ґрунту, ступінь рухомості фосфору – 0,66 мг $P_2O_5/100$ г ґрунту, $pH_{(KCl)}$ – 4,9. Ґрунт відбирали восени і перед проведенням дослідження відновлювали його біологічну активність шляхом 21-добової інкубації при температурі 25°C.

Нафтопродукти в ґрунт вносили в концентрації 1%-вої у вигляді водної емульсії. Контролем слугував чистий ґрунт. За 8 діб до цього у частину посудин висівали насіння злакової травосуміші. Залишкову концентрацію нафтопродуктів визначали за модифікованою методикою шляхом екстракційного концентрування нафтопродуктів з ґрунту тетрахлоридом вуглецю, очищення екстракту на хроматографічній колонці оксидом алюмінію з наступним ІЧ-спектроскопіюванням за довжини хвилі 3,42 мкм на концентратометрі КМ-2 [3]

Стан мікробіоценозу вивчали через 30 діб після внесення нафтопродуктів. Чисельність мікроорганізмів основних еколого-трофічних груп оцінювали методом висіву ґрунтової суспензії на відповідні поживні середовища [14]. Показник інтенсивності процесів мінералізації сполук азоту розраховували за Є.Н. Мішустіним і Е.В. Руновим [11], індекс педотрофності – за Д.І. Нікітіним та В.С. Нікітіною [13], активність мінералізації гумусу – за Т.С. Демкіною та Б.Н. Золотарьовою [2]. Кількість колоній підраховували впродовж 21 доби залежно від швидкості росту і фізіологічних особливостей мікроорганізмів певної еколого-трофічної групи. Вірогідність формування бактеріальних колоній (ВФК) визначали за методом *S.Ishikuri and T.Hattori*, описаним П.А. Кожевіним та ін. [6], фітотоксичні властивості ґрунту – з використанням рослинних біотестів (пшениця озима) за Н.А. Красильниковим [9]. Стійкість ґрунту проти антропогенного навантаження вивчали за інтенсивністю респірації ґрунту [16].

Результати дослідження та їх обговорення. Інкубування ґрунту, забрудненого нафтопродуктами, протягом 30 діб призводить до суттєвих змін у чисельності та фізіологічній активності ґрунтових мікроорганізмів (табл. 1). Так, чисельність амоніфікаторів у екстенсивному агроземі за відсутності рослин зростає на 50,2%, у інтенсивному агроземі – на 57,0%, чисельність іммобілізаторів мінерального азоту відповідно у 4,34 і 4,42 рази порівняно з незабрудненим ґрунтом. Фізіолого-біохімічна активність амоніфікаторів суттєвіше збільшується у інтенсивному агроземі – на 100%, іммобілізаторів мінерального азоту – в екстенсивному та інтенсивному агроземах – на 30,8 і 33,0%, олігонітрофілів відповідно – на 23,4 і 40,4% (табл.2). Чисельність денітрифікаторів у забрудненому ґрунті несуттєво перевищує кількість цих мікроорганізмів у чистому ґрунті (контроль), однак фізіолого-біохімічна активність мікроорганізмів цієї групи зростає в умовах забруднення нафтопродуктами: в екстенсивному агроземі – на 50,0%, в інтенсивному агроземі – в 10,1 рази (див. табл.2). Отже, мікроорганізми циклу азоту (за винятком нітрифікаторів) протягом 30-добової інкубації у присутності нафтопродуктів використали їх як субстрат для росту, що підтверджується як збільшенням чисельності, так і зростанням їхньої фізіолого-
[Type text]

біохімічної активності. Одержані нами дані збігаються з результатами Н.М. Ісмаїлова [5], згідно з якими, забруднення ґрунту нафтою пригнічує діяльність нітрифікаторів і підвищує чисельність амоніфікаторів, денітрифікаторів і вільноіснуючих азотфіксаторів. Однак встановлені нами і Н.М. Ісмаїловим закономірності відрізняються від одержаних О.Н. Дульгеровим та ін. [4], відповідно до яких, зниження загальної чисельності мікроорганізмів, азотобактера, нітрифікаторів і целюлозолітиків триває після внесення нафтопродуктів протягом 3 місяців. Навіть і після 12 місяців їх кількість у забрудненому ґрунті залишається нижчою, ніж у чистому.

Ґрунт інтенсивного варіанта досліді протягом багатьох років характеризувався невисоким вмістом азотобактера, а екстенсивного – його максимально можливим вмістом – 100%-ве обростання грудочок ґрунту (див. табл.1), [8]. На нашу думку, це свідчить про неможливість використання азотобактера як індикатора родючості ґрунту [8]. Азотобактер також не може бути ефективним індикатором нафтового забруднення, зокрема, при забрудненні нафтопродуктами у концентрації 1% його чисельність знижується в екстенсивному агроземі лише на 4,0%, в інтенсивному – зростає на 2,0% порівняно з контролем (див. табл.1).

Чисельність мікроорганізмів циклу вуглецю також збільшується у забрудненому нафтопродуктами ґрунті: педотрофів – для екстенсивного і інтенсивного агрозему відповідно у 3,58 і 4,64 рази, целюлозолітиків – у 2,15 і 2,00, автохтонних – у 2,66 і 3,25 рази, стрептоміцетів – у 2,56 і 1,49, мікроміцетів – 1,44 і 3,85 рази.

Чисельність полісахаридсинтезуювальних мікроорганізмів через 30 діб після забруднення нафтопродуктами збільшилася порівняно з контролем у екстенсивному варіанті у 3,77 рази, в інтенсивному – у 8,61 рази (див. табл. 1). Аналогічну закономірність виявили на сірому лісовому ґрунті, забрудненому нафтопродуктами у концентрації 1–20%. Причиною цього може бути участь бактеріальних полісахаридів у деградації молекул нафтопродуктів. На прикладі вуглецьокиснювальної бактерії *Acinetobacter calcoaceticum* показаний синтез [Type text]

екзоглікану, який має поверхневу активність і емульгує нерозчинні у воді вуглеводні, роблячи їх доступними для поглинання і деградації клітинами [17]. Це припущення підтверджується існуванням кореляційної залежності між чисельністю полісахаридсинтезувальних бактерій і активністю розкладання нафтопродуктів у відповідних варіантах модельного досліду (табл.3). Зокрема, максимальною чисельністю полісахаридсинтезувальних бактерій характеризується інтенсивний агрозем з і без фітоценозу, в цих же варіантах досліду найінтенсивніше деградують нафтопродукти (див. табл.1,3).

Кількість мобілізаторів органофосфатів протягом інкубування ґрунту зростає: у екстенсивному варіанті – у 3,39 раз, а інтенсивному – у 3,25 раз (див. табл. 1). У інтенсивному агроземі збільшується також фізіолого-біохімічна активність мобілізаторів органофосфатів – на 48,6–9,65% (див. табл.2). Поясненням цього явища може бути зниження концентрації фосфору в нафтозабруднених ґрунтах [15], у результаті чого актуальною стає діяльність мікроорганізмів, які вивільняють фосфор з органічних сполук. Отже, внесення нафтопродуктів суттєво впливає на чисельність ґрунтових мікроорганізмів, особливо, циклу вуглецю.

При внесенні нафтопродуктів змінюється інтенсивність і спрямованість мікробіологічних процесів у ґрунті: індекс педотрофності збільшується в екстенсивному агроземі у 2,36 раз, у інтенсивному – у 2,96 раз, зростає інтенсивність мінералізації-імобілізації сполук азоту відповідно у 2,96 і 2,82 раз, активність респірації – на 13,0 і 21,6% (табл.3). Активність мінералізації гумусу, навпаки, знижується у забрудненому ґрунті: в екстенсивному варіанті – на 34,3%, в інтенсивному – на 42,9%. Можливою причиною сповільнення мінералізації гумусу може бути використання нафтопродуктів як альтернативного джерела вуглецю. Одержані нами результати підтверджуються даними Ф.Х. Хазієва з співав. [15], згідно з якими, при забрудненні нафтою у ґрунті зростає вміст гумусу, поглинутих основ, значення рН та інших показників.

Внесення нафтопродуктів у систему, яка складається не тільки з ґрунту, а й вегетуючих рослин, супроводжується також зростанням чисельності [Type text]

мікроорганізмів, зокрема, в екстенсивному агроземі: амоніфікаторів – у 2,52 раза, іммобілізаторів мінерального азоту – 2,20, олігонітрофілів – 3,12, нітрифікаторів – 2,03, целюлозолітиків – 2,76, автохтонних – 1,61, полісахаридсинтезувальних – 2,75, мобілізаторів мінеральних фосфатів – у 2,45 раза (див. табл.1). Відомо, що в забруднених ґрунтах з вегетуючими рослинами закономірності формування мікробного ценозу інші, ніж у ґрунтах без рослин. Зокрема, чисельність полісахаридсинтезувальних мікроорганізмів підвищується в результаті забруднення не так суттєво – лише у 2,75–1,17 раза, тоді як за відсутності рослин – у 3,77–8,61 раза. Інтенсивність освоєння органічної речовини ґрунту з фітоценозом при забрудненні нафтопродуктами знижується, тоді як у ґрунті без рослин – збільшується (див. табл. 3). Коефіцієнт мінералізації азоту в ґрунті без фітоценозу збільшується за внесення нафтопродуктів, а в ґрунті з фітоценозом – зменшується: в екстенсивному агроземі – на 13,9%, в інтенсивному – на 58,6%. Закономірності протікання мінералізації гумусу в ґрунтах з вегетуючим фітоценозом і без нього також протилежні. Внесення нафтопродуктів у ґрунт без рослин призводить до зменшення активності розкладання гумусу: в екстенсивному агроземі – на 34,3%, в інтенсивному – на 42,9%. Можливо, молекули нафтопродуктів є доступнішим субстратом для автохтонних мікроорганізмів, ніж гумусові речовини, що знижує активність розкладання останніх. Забруднення нафтопродуктами ризосферного ґрунту призводить до збільшення активності розкладання гумусових речовин: в екстенсивному агроземі – на 48,2%, в інтенсивному – на 12,4%. Максимальною активністю мінералізації гумусу характеризується ґрунт екстенсивного варіанта (61,1%), мінімальною – ґрунт ризосфери фітоценозів. Продукування рослинами легкозасвоюваних речовин у складі корневих виділень сповільнює розкладання гумусу. Одержані закономірності збігаються з встановленими раніше для сірого лісового ґрунту багаторічного перелогу [7].

Мікробіоценоз, сформований за участю рослин, виявився активнішим щодо розкладання нафтопродуктів, за 30 діб інкубування в екстенсивному агроземі з

фітоценозом було деструктовано нафтопродуктів на 10,5% більше, ніж у варіанті без рослин, у інтенсивному агроземі – на 16,5% (див. табл.3).

У результаті забруднення нафтопродуктами фітотоксичність ґрунту зростає: екстенсивного агрозему за відсутності фітоценозу – на 46,1%, з фітоценозом – на 26,0%, інтенсивного агрозему відповідно – на 27,5% і на 26,4% (див. табл.3). Отже, вирощування рослин дозволяє знизити токсичний вплив нафтопродуктів: у екстенсивному агроземі – на 32,8%, у інтенсивному – на 7,29%. Рослини злакової травосумішки після внесення нафтопродуктів гинуть протягом 2-4 діб, однак, мікробний ценоз, який сформувався в ризосфері вегетуючих рослин залишається життєздатним впродовж тривалого часу.

Таким чином, внесення нафтопродуктів по-різному впливає на перебіг мікробіологічних процесів у ґрунтах без рослин і з вегетуючим фітоценозом. У ризосферному ґрунті, де легкодоступні субстрати для росту мікроорганізмів продукуються рослинами у вигляді корневих виділень, внесені нафтопродукти одразу включаються в метаболізм аборигенних мікроорганізмів. Можливо, має місце ефект «кометаболізму», коли легкодоступні субстрати використовуються для початкової деградації молекул нафтопродуктів.

Висновки

За 30 діб інкубування темно-сірого опідзоленого ґрунту, забрудненого нафтопродуктами, чисельність мікроорганізмів всіх досліджених еколого-трофічних груп підвищується, крім азотобактера та нітрифікаторів. Чисельність полісахаридсинтезувальних мікроорганізмів, які беруть участь у деструкції нафтопродуктів, збільшується порівняно з контролем в екстенсивному агроземі у 3,77, в інтенсивному – у 8,61 рази.

У екстенсивному та інтенсивному агроземах без фітоценозу в результаті забруднення нафтопродуктами збільшується інтенсивність освоєння органічної речовини ґрунту, мінералізація сполук азоту, накопичення фітотоксинів і зменшується активність мінералізації гумусу.

У екстенсивному та інтенсивному агроземах з фітоценозом у результаті забруднення нафтопродуктами зменшується інтенсивність освоєння органічної [Type text]

речовини ґрунту, мінералізації сполук азоту і збільшується активність мінералізації ґумусу і накопичення фітотоксинів.

У результаті забруднення нафтопродуктами фітотоксичність ґрунту в зростає: екстенсивного агрозему за відсутності фітоценозу – на 46,1%, з фітоценозом – на 26,0%, інтенсивного відповідно – на 27,5 %, і 26,4%. Вирощування рослин дозволяє знизити токсичний ефект нафтопродуктів: у екстенсивному агроземі – на 32,8%, у інтенсивному – на 7,29%.

Мікробіоценоз, сформований за участю рослин, швидко розкладає нафтопродукти: у екстенсивному агроземі з фітоценозом на 10,5% більше, в інтенсивному агроземі – на 16,5%, ніж у варіанті без рослин.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Выбор активного микроорганизма – деструктора углеводов для очистки нефтезагрязненных почв / [Е.В. Стабникова, М.В. Селезнева, О.Н. Рева, В.Н. Иванов] // Прикл. биохимия и микробиология. – 1995. – Т. 31, № 5. – С. 534–539.

2. Демкина Т.С. Микробиологические процессы в почвах при различных уровнях интенсификации земледелия / Т.С. Демкина, Б.Н. Золотарева // Материалы к республиканской конференции ["Микробиологические процессы в почвах и урожайность сельскохозяйственных культур "], (Вильнюс, 11-12 июня 1986 г.) . – Вильнюс, Ин-т ботаники: 1986. – С. 101–103.

3. Дмитриев М.Т. Санитарно-химический анализ веществ в окружающей среде / М.Т. Дмитриев, Н.И. Казнина, И.А. Пинигина. – М.: Химия, 1989. – 210 с.

4. Дульгеров А.Н. Углеаммонийные соли и бактериальный препарат «Десна» – важнейшие факторы рекультивации почв, загрязненных углеводородами нефти / А.Н. Дульгеров, А.Ю. Нудьга // Элементи регуляції в рослинництві : збірник наукових праць. – К.: ВВП «Компас», 1998. – С. 256–259.

5. Исмаилов Н.М. Влияние нефтезагрязнения на круговорот азота в почве / Н. М. Исмаилов // Микробиология. – 1983. – Т. 52, вып. 6. – С. 1003–1007.

6. Кожевин П.А. Определение состояния бактерий в почве / П.А. Кожевин, Л.С. Кожевина, И.Н. Болотина // Доклады АН СССР. – 1987. – Т. 297, № 5. – С. 183–214.

[Type text]

7. Малиновська І. М. Вплив забруднення сірого лісового ґрунту нафтопродуктами на його фітотоксичні властивості та стан мікробіоценозу / І. М. Малиновська, Н. А. Зінов'єва // Збірник наукових праць Інституту землеробства. – К.: Ексмо, 2010. – Вип. 1–2. – С. 61–69.
8. Малиновська І. М. Особливості мікробних комплексів сірого лісового ґрунту перелогів та агроценозів / І. М. Малиновська, О. О. Черниш, О. П. Романчук // Збірник наукових праць Інституту землеробства. – К.: Нора Прінт, 2007. – Вип. 2. – С. 29–34.
9. Методы изучения почвенных микроорганизмов и их метаболитов : под ред. Н. А. Красильникова. – М.: МГУ, 1966. – 162 с.
10. Микроорганизмы и охрана почв : под ред. Д. Г. Звягинцева. – М.: Изд-во Москов. ун-та., 1989. – 206 с.
11. Мишустин Е. Н. Микроорганизмы и плодородие почвы / Е. Н. Мишустин. – М.: Изд-во АН СССР. – 1956. – 247 с.
12. Мишустин Е. Н. Успехи разработки принципов микробиологического диагностирования состояния почв / Е. Н. Мишустин, Е. В. Рунов // Успехи современной биологии. – М.: АН СССР, 1957. – Т. 44. – С. 256–267.
13. Никитин Д. И. Процессы самоочищения окружающей среды и паразиты растений / Д. И. Никитин, В. С. Никитина. – М.: Наука. – 1978. – 205 с.
14. Теппер Е. З. Практикум по микробиологии / Е. З. Теппер, В. К. Шильникова, Г. И. Переверзева. – М.: Дрофа, 2004. – 256 с.
15. Хазиев Ф. Х. Влияние нефтяного загрязнения на некоторые компоненты агроэкосистемы / Ф. Х. Хазиев, Е. И. Тишкина, Н. А. Киреева [и др.] // Агрехимия. – 1988. – № 2. – 89 с.
16. Штатнов В. И. К методике определения биологической активности почвы / В. И. Штатнов // Докл. ВАСХНИЛ. – 1952. – Вып. 6. – С. 27–33.
17. Goldman S. Emulsan in *Acinetobacter calcoaceticum* RAG-1 distribution of cell-free and cell-associated crossreactoin material / S. Goldman, Y. Shabtai, C. Rubinovitz // Appl. and Environ. Microbiol. – 1982. – 44, № 1. – P. 168–175.

**ВЛИЯНИЕ ЗАГРЯЗНЕНИЯ НЕФТЕПРОДУКТАМИ НА
МИКРОБИОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ В ТЕМНО-СЕРОЙ ОПОДЗОЛЕННОЙ
ПОЧВЕ**

И.М.Малиновская, Н.А. Зиновьева

За 30 суток инкубирования загрязненной нефтепродуктами темно-серой оподзоленной почвы повышается численность микроорганизмов всех изученных эколого-трофических групп и физиолого-биохимическая активность микроорганизмов отдельных групп, за исключением азотобактера и нитрифицирующих бактерий. В почве без вегетирующего фитоценоза в результате загрязнения интенсифицируется освоение органического вещества почвы, минерализация соединений азота, накопление фитотоксинов и уменьшается активность минерализации гумуса. В почве с фитоценозом уменьшается интенсивность освоения органического вещества почвы, минерализации соединений азота и увеличивается активность минерализации гумуса и накопления фитотоксинов.

***Ключевые слова:* микробиоценоз, эколого-трофические группы, минерализация, гумус, токсичность, темно-серая оподзоленная почва, нефтепродукты.**

***EFFECT OF PETROLEUM POLLUTION ON MICROBIOLOGICAL PROCESSES IN
DARK GRAY PODZOLIC SOIL***

I.M.Malinovska, N.A.Zinovieva

After 30 days of incubation, dark-gray podzolic soil contaminated by petroleum products, all number of microorganisms of ecologo-trophic groups, physiological and biochemical activity increased, except for Azotobacter and nitrifying bacteria. Development of soil organic matter, mineralization of nitrogen compounds accumulate in the intensified phytotoxic agrozem without phytocoenosis, and the activity of humus mineralization decreases. Intensity of development of organic matter, mineralization of nitrogen compounds in the soil decreases in agrozem phytocenosis and activity of humus mineralization and accumulation of phytotoxic increases.

***Keywords:* microbiocoenosis, ecologo-trophic groups, mineralization, humus, toxicity, phytotoxicity, soil, petroleum products.**

[Type text]

**1. Чисельність мікроорганізмів у темно-сірому опідзоленому ґрунті через 30 діб після внесення нафтопродуктів,
млн. КУО/г абсолютно сухого ґрунту**

| Варіант | Мікроорганізми | | | | | | | | | | | | | |
|-----------------------------|----------------|----------------------------------|----------------|---|-----------------|---------------|-----------|------------------|--------------------------|------------|---------------|-------------|----------------------------------|-----------------------------------|
| | Амоніфікатори | Імобілізатори мінерального азоту | Олігонітрофіли | Азотобактер, % обростання грудочок ґрунту | Денітрифікатори | Нітрифікатори | Педотрофи | Целюлозоруйнівні | Полісахаридсинтезувальні | Автохтонні | Стрептоміцети | Мікроміцети | Мобілізатори органічних фосфатів | Мобілізатори мінеральних фосфатів |
| Екстенсивний агрозем | | | | | | | | | | | | | | |
| Контроль: оброблення водою | 101,1 | 105,5 | 56,4 | 98,0 | 167,9 | 6,24 | 85,5 | 100,7 | 6,79 | 52,3 | 10,0 | 0,16 | 28,4 | 3,60 |
| 1% нафтопродуктів | 151,9 | 467,5 | 100,3 | 94,0 | 176,3 | 3,96 | 305,9 | 216,5 | 25,6 | 139,3 | 25,6 | 0,23 | 28,5 | 12,2 |
| Фітоценоз (контроль) | 246,4 | 344,0 | 160,1 | 96,0 | 160,9 | 5,56 | 584,5 | 368,8 | 13,8 | 98,0 | 22,2 | 0,27 | 15,3 | 17,6 |
| Фітоценоз+1% нафтопродуктів | 620,3 | 757,3 | 498,8 | 97,0 | 174,9 | 11,3 | 632,8 | 1017,5 | 37,9 | 157,9 | 20,8 | 0,30 | 60,0 | 35,0 |
| Контроль: оброблення водою | 152,2 | 119,0 | 78,9 | 0,00 | 170,0 | 7,15 | 123,4 | 143,7 | 6,47 | 37,4 | 17,4 | 0,26 | 29,1 | 8,50 |
| Інтенсивний агрозем | | | | | | | | | | | | | | |
| 1% нафтопродуктів | 238,9 | 525,4 | 290,1 | 2,00 | 170,7 | 5,08 | 572,9 | 287,3 | 55,7 | 121,6 | 26,0 | 0,27 | 99,1 | 27,6 |
| Фітоценоз (контроль) | 433,5 | 961,6 | 426,3 | 0,00 | 168,3 | 11,8 | 1237,3 | 1139,5 | 43,7 | 150,0 | 24,0 | 0,30 | 97,4 | 35,7 |
| Фітоценоз+1% нафтопродуктів | 816,5 | 1143,9 | 1007,8 | 2,00 | 180,9 | 16,8 | 1664,1 | 1331,6 | 61,2 | 226,0 | 33,2 | 0,40 | 0,00 | 39,6 |
| НІР ₀₅ | 9,85 | 10,2 | 13,0 | 1,42 | 7,51 | 1,05 | 14,6 | 15,9 | 2,02 | 10,3 | | | | |

[Type text]

2. Вірогідність формування колоній мікроорганізмів (λ_1 , год⁻¹ · 10⁻²) у темно-сірому опідзоленому ґрунті через 30 діб після внесення нафтопродуктів у зростаючих концентраціях

| Варіант | Мікроорганізми | | | | | | | | | | |
|-----------------------------|----------------|----------------------------------|----------------|---------------|-----------------|-----------|------------|------------------|-------------|----------------------------------|-----------------------------------|
| | Амоніфікатори | Імобілізатори мінерального азоту | Олігонітрофіли | Нітрифікатори | Денітрифікатори | Педотрофи | Автохтонні | Целюлозоруйнівні | Мікриміцети | Мобілізатори органічних фосфатів | Мобілізатори мінеральних фосфатів |
| Екстенсивний агрозем | | | | | | | | | | | |
| Контроль: оброблення водою | 0,91 | 0,91 | 1,45 | 3,48 | 0,06 | 1,37 | 3,16 | 0,60 | 4,37 | 1,20 | 2,76 |
| 1% нафтопродуктів | 0,93 | 1,19 | 1,79 | 2,65 | 0,09 | 0,98 | 3,70 | 0,66 | 4,65 | 0,51 | 2,03 |
| Фітоценоз (контроль) | 1,75 | 1,05 | 2,41 | 3,15 | 0,47 | 1,03 | 3,02 | 2,23 | 4,29 | 1,24 | 2,91 |
| Фітоценоз+1% нафтопродуктів | 1,43 | 1,11 | 0,92 | 2,60 | 6,42 | 1,78 | 2,55 | 1,35 | 4,19 | 0,75 | 1,30 |
| Інтенсивний агрозем | | | | | | | | | | | |
| Контроль: оброблення водою | 1,14 | 0,91 | 1,83 | 3,43 | 0,16 | 1,14 | 5,59 | 1,67 | 5,12 | 1,09 | 1,86 |
| 1% нафтопродуктів | 2,28 | 1,21 | 2,57 | 3,88 | 1,62 | 0,92 | 4,77 | 1,61 | 5,65 | 1,62 | 4,62 |
| Фітоценоз (контроль) | 2,63 | 0,96 | 3,62 | 3,14 | 6,42 | 1,13 | 3,87 | 0,60 | 4,98 | 1,14 | 5,17 |
| Фітоценоз+1% нафтопродуктів | 2,64 | 1,37 | 2,15 | 2,84 | 6,42 | 1,21 | 4,25 | 0,93 | 3,77 | 1,25 | 3,79 |

[Type text]

3. Інтенсивність мінералізаційних процесів і фітотоксичні властивості темно-сірого опідзоленого ґрунту через 30 діб після внесення нафтопродуктів у зростаючих концентраціях

| Варіант | Індекс педотрофності | Коефіцієнт опідзоленості | Коефіцієнт мінералізації азоту | Активність мінералізації гумуса, % | Інтенсивність респірації ґрунту | Концентрація деградованих нафтопродуктів, % | Маса 100 рослин тест-культури – пшениці озимої, г | | |
|-----------------------------|----------------------|--------------------------|--------------------------------|------------------------------------|---------------------------------|---|---|---------|---------------|
| | | | | | | | стебло | коріння | загальна маса |
| Екстенсивний агрозем | | | | | | | | | |
| Контроль: оброблення водою | 0,85 | 0,56 | 1,04 | 19,3 | 19,3 | – | 6,96 | 4,04 | 11,0 |
| 1% нафтопродуктів | 2,01 | 0,66 | 3,08 | 21,8 | 21,8 | 9,50 | 4,23 | 3,30 | 7,53 |
| Фітоценоз (контроль) | 2,37 | 0,65 | 1,39 | 27,8 | 27,8 | – | 6,13 | 6,45 | 12,6 |
| Фітоценоз+1% нафтопродуктів | 1,02 | 0,80 | 1,22 | 56,4 | 56,4 | 10,5 | 5,29 | 4,71 | 10,0 |
| Інтенсивний агрозем | | | | | | | | | |
| Контроль: оброблення водою | 0,81 | 0,52 | 0,78 | 20,8 | 20,8 | – | 6,73 | 5,88 | 12,6 |
| 1% нафтопродуктів | 2,40 | 1,21 | 2,20 | 25,3 | 25,3 | 9,70 | 4,92 | 4,96 | 9,88 |
| Фітоценоз (контроль) | 2,85 | 0,98 | 2,22 | 43,9 | 43,9 | – | 6,74 | 6,63 | 13,4 |
| Фітоценоз+1% нафтопродуктів | 2,04 | 1,23 | 1,40 | 61,3 | 61,3 | 11,3 | 5,82 | 4,82 | 10,6 |

[Type text]