

І.М. Малиновська¹, Н.А. Зінов'єва²

¹Національний науковий центр «Інститут землеробства НААН»,
вул. Машинобудівників, 2Б, с.м.т. Чабани, Київська обл., 08162, Україна,
тел.: +38 (045) 526 13 28, e-mail: h.o.p.e@mail.ru

²Національний авіаційний університет

МІКРОБІОЛОГІЧНІ ПРОЦЕСИ В РИЗОСФЕРІ РОСЛИН У ЗАБРУДНЕНОМУ НАФТОПРОДУКТАМИ ҐРУНТІ

Досліджено мікробіологічні процеси у ризосфері рослин різних сільськогосподарських культур в умовах забруднення ґрунту 1% авіаційного палива. Встановлено, що у ризосфері рослин всіх досліджених культур в результаті забруднення нафтопродуктами уповільнюється мінералізація гумусу, максимально — в ризосфері кукурудзи — в 3 рази. Освоєння органічної речовини уповільнюється в ризосфері пшениці і соняшника, а у інших культур — інтенсифікується. Процеси опідзолення і мінералізації сполук азоту уповільнюються у ризосфері всіх досліджених культур, за виключенням кукурудзи, де спостерігається інтенсифікація цих процесів.

Ключові слова: мікробіоценоз, еколого-трофічні групи, мінералізація, гумус, фітотоксичність, сільськогосподарські культури, ризосфера, нафтопродукти.

Відомо, що вплив нафтового забруднення на рослинні організми відбувається двома шляхами: безпосередньо — внаслідок проникнення компонентів нафтопродуктів через кореневу систему або продири листків і включення їх до метаболізму, та опосередковано — через зміни фізико-хімічного складу ґрунту та порушення його біотичних властивостей [1]. Видовий склад стійких до нафтового забруднення рослин і різні стадії заростання забруднених ділянок суттєво впливають на розкладання нафтопродуктів у ґрунті [2]. Зокрема, довгокореневищні види відзначаються найбільшою стійкістю до несприятливих умов нафтозабруднених екотопів. За низьких рівнів забруднення (48 г/кг) рослини фізіологічно адаптуються, включають внутрішні механізми захисту і беруть активну участь у деградації нафтопродуктів у ґрунті.

Для кожного виду рослин є характерним свій склад і функціональні властивості мікробного ценозу ризосфери. Кореневі виділення рослин — це головний фактор, який стимулює розвиток мікроорганізмів у прикореневій зоні, визначаючи видовий склад ризосферної мікробіоти [3]. В складній системі ризосферного ґрунту розкладання нафтопродуктів відбувається, з одного боку, за рахунок життєдіяльності рослин, з іншого — мікроорганізмів.

Мета роботи — дослідити вплив нафтового забруднення на перебіг мікробіологічних процесів у ризосфері рослин різних сільськогосподарських культур.



Матеріали і методи

Дослідження були проведені з використанням темно-сірого опідзоленого ґрунту варіанту інтенсивного агрозему стаціонарного досліду лабораторії інтенсивних технологій зернових колосових культур і кукурудзи ННЦ «Інститут землеробства НААН» (дослідне господарство “Чабани”, Києво-Святошинський район Київської області): польова сівозмінна з насиченістю мінеральними добривами $N_{96}P_{108}K_{112,5}$ на тлі заорювання побічної продукції рослинництва. У 0–20 см шарі ґрунту 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 досліду відновлювали його біологічну активність шляхом зволоження та термостатування за температури 25 °С протягом 21 доби. Насіння висівалося у судини одночасно і на момент досліджень рослини знаходилися у фазі: просо, пшениця — кущіння, соняшник, кукурудза у фазі 3–4-х листків, люпин, кормові боби — у фазі другої пари листків, горох — інтенсивного росту. Нафтопродукти (авіаційне паливо марки ТС–1) вносили в концентрації 1% у вигляді водної емульсії за добу до проведення мікробіологічних досліджень.

Чисельність мікроорганізмів основних еколого-трофічних груп оцінювали методом висіву ґрунтової суспензії на відповідні поживні середовища [4]. Показник інтенсивності процесів мінералізації сполук азоту розраховували за Є.Н. Мішустіним і Е.В. Руновим [5], індекс педотрофності — за Д.І. Нікітіним та В.С. Нікітіною [6], активність мінералізації гумусу — за І.С. Демкіною та Б.Н. Золотарьовою [7]. Кількість колоній підраховували впродовж 21 доби в залежності від швидкості росту і фізіологічних особливостей мікроорганізмів певної еколого—трофічної групи. Вірогідність формування бактеріальних колоній (ВФК) визначали за методом S. Ishikuri and T. Hattori, який описано П.А. Кожевіним та ін. [8]. Фітотоксичні властивості ґрунту визначали з використанням рослинних біотестів (пшениця озима) за Н.А. Красильниковим [9].

Результати та їх обговорення

Раніше у модельних дослідженнях із злаковою сумішшю було показано, що через добу після внесення нафтопродуктів у ризосферному ґрунті збільшується чисельність мікроорганізмів усіх досліджених груп, за виключенням азотобактера [10, 11]. Вивчення мікробіологічних процесів у ризосфері різних сільськогосподарських культур показало, що чисельність та фізіолого-біохімічна активність мікроорганізмів основних еколого-трофічних груп суттєво залежить від виду сільськогосподарської культури. Так, у ризосфері проса і кукурудзи чисельність амоніфікаторів в результаті забруднення ґрунту зменшується на 55,3 і 94,0%, відповідно (табл. 1). Для інших культур спостерігається загальна закономірність: чисельність амоніфікаторів у забрудненому ґрунті збільшується у 1,73–6,47 рази при зростанні кількості цих мікроорганізмів у контролі у 3,23 разу. Максимально чисельність амоніфікаторів збільшується внаслідок забруднення ґрунту ризосфери зернобобової культури — люпину. Люпин є також єдиною культурою, у якій фізіолого-біохімічна активність амоніфікаторів зростає у забрудненому ґрунті у 2,12 разу, у всіх інших досліджених культур вона зменшується у 1,35–2,62



Таблиця 1
 Чисельність мікроорганізмів у ризосферному ґрунті сільськогосподарських культур через добу після внесення нафтопродуктів, млн. КУО*/ г абсолютно сухоґо ґрунту

Table 1
 The number of microorganisms in the soil of rhizosphere of crops in a day after the introduction of petroleum products, million CFU**/g of absolutely dry soil

Варіант	Амоніфікатори	Імобілізатори мінерального азоту	Олігонітрофіли	Азотобактер, % оборотання ґрунчочок ґрунту	Денітрифікатори	Нітрифікатори	Педрофи	Целюлозоруйні	Полисахарид-синтезувальні	Автохтонні	Стрептоміцети	Мікроміцети	Кт	Мобілізатори мінеральних фосфатів
Просо	407,8	174,6	90,7	100,0	192,4	4,67	79,0	190,1	23,8	34,4	6,41	0,18	1,47	8,71
Просо + НП***	262,6	80,6	44,7	100,0	193,5	2,86	70,0	92,1	2,30	21,4	14,3	0,25	1,37	24,2
Пшениця	259,0	119,7	58,0	100,0	187,5	8,93	112,1	97,3	6,70	46,6	25,5	0,31	1,31	10,7
Пшениця +НП	447,2	188,1	49,8	100,0	193,6	3,60	71,2	97,3	3,23	23,4	16,6	0,32	1,43	28,1
Соняшник	494,9	268,2	48,4	92,0	152,8	6,11	153,6	166,3	23,7	28,1	5,46	0,15	2,55	15,3
Соняшник + НП	1101,6	193,6	77,4	73,3	160,1	6,10	268,3	229,5	40,0	44,1	3,05	0,25	1,99	15,0
Кукурудза	408,2	135,6	50,1	100,0	161,8	6,74	96,3	105,9	16,2	30,2	11,9	0,32	0,66	10,4
Кукурудза + НП	210,4	139,3	104,1	100,0	152,3	2,58	180,6	115,3	25,4	18,7	3,63	0,48	1,08	11,4
Люпин	212,4	104,1	93,7	96,7	174,9	3,33	156,6	134,5	9,16	28,9	24,6	0,43	0,45	31,2
Люпин + НП	1372,4	561,1	184,5	94,7	175,7	3,56	494,6	305,4	71,5	73,1	22,2	0,14	Не визн.	66,9
Контроль: ґрунт	132,1	65,3	38,1	46,7	1,70	1,80	67,2	36,2	0,38	38,1	17,4	0,20	Не визн.	3,78
Контроль: ґрунт +НП	426,0	147,2	48,0	78,0	173,7	5,33	116,6	100,5	4,55	20,7	36,4	0,26	0,41	19,4
НР05	15,3	12,1	5,16	7,82	4,45	0,56	5,68	5,00	1,02	4,97	1,99	0,09		0,94

Примітка: КУО* – колонієутворювальна одиниця, CFU** – colony forming unit, НП** – 1% нафтопродуктів

рази (табл. 2). Менш активними амоніфікатори стають не тільки у ризосферному ґрунті, а й у ґрунті без рослин — на 62,0%.

У ризосфері проса в результаті забруднення нафтопродуктами зменшується чисельність мікроорганізмів більшості досліджених груп: іммобілізаторів мінерального азоту — у 2,17 разу, олігонітрофілів — 2,03, нітрифікувальних — 1,63, целюлозоруйнівних — 2,06, полісахаридсинтезувальних — 10,3, автохтонних — у 1,6 разу (табл. 1). Збільшується чисельність КУО тільки міцеліальних форм і мобілізаторів мінеральних фосфатів. Ризосфера пшениці в умовах забруднення ґрунту нафтопродуктами характеризується зменшенням чисельності олігонітрофілів, нітрифікаторів, педотрофів, автохтонних мікроорганізмів і стрептоміцетів. В ризосфері люпину при забрудненні ґрунту збільшується чисельність мікроорганізмів усіх досліджених еколого-трофічних і функціональних груп, за виключенням мікроміцетів. Отже, закономірності встановлені нами при вивченні мікробного угруповання кореневої зони злакової суміші [10,11] не є загальними і перебіг мікробіологічних процесів у ризосфері рослин суттєво залежить від їхньої видової приналежності і особливостей складу корневих виділень.

Чисельність денітрифікаторів максимально збільшується у ґрунті без рослин — у 102,2 разу (табл. 1). Причиною стрімкого росту кількості денітрифікаторів може бути створення частково анаеробних умов при обволіканні часточок ґрунту гідрофобними молекулами нафтопродуктів. В ризосферному ж ґрунті спостерігається лише тенденція до збільшення кількості денітрифікаторів, можливо, через те, що внаслідок невисокого рівня забруднення нафтопродуктами (1%) рослини не гинуть і продовжують постачати кисень у ґрунт.

Нітрифікатори відчують токсичну дію нафтопродуктів у ризосфері рослин всіх досліджених культур, що співпадає з отриманими раніше даними [10]. Це проявляється як у зменшенні чисельності нітрифікаторів, так і їхньої фізіолого-біохімічної активності (табл. 1, 2). Можливою причиною цьому може бути створення нафтопродуктами в ґрунті анаеробних умов, а нітрифікатори відносяться до групи облігатних аеробів і відчують нестачу кисню. Причиною зниження чисельності та фізіолого-біохімічної активності нітрифікаторів може бути також їхня висока чутливість до водорозчинних органічних речовин, концентрація яких суттєво підвищується у результаті мікробної деградації нафтопродуктів.

Вивчення закономірностей зміни чисельності полісахаридсинтезувальних мікроорганізмів в забруднених ґрунтах є дуже важливим, тому що полісахариди утворюють з бактеріальними білками сурфуктантні комплекси, які емульгують гідрофобні молекули нафти і роблять їх більш доступними для деградації [12]. Раніше на прикладі сірого лісового ґрунту багаторічного перелогу було показано [10], що внесення 5% нафтопродуктів протягом доби призводить до зниження чисельності полісахаридсинтезувальних мікроорганізмів як в ґрунті без рослин, так і в ризосферному ґрунті злакової травосуміші в 1,7–3,1 рази. Протягом наступного інкубування забрудненого ґрунту чисельність полісахаридсинтезувальних мікроорганізмів росла і через 23 доби перевищила показники незабрудненого ґрунту в 9,0–34,3 рази. В представлених дослідженнях внесення нафтопродуктів призводить до збільшення чисельності полісахаридсинтезувальних мікроорганізмів вже через добу у ризосфері соняшника — в 1,69 разу, кукурудзи — 1,57, люпину — у 7,81 разу (табл. 1). Чисельність полісахаридсинтезувальних мікроорганізмів зменшується тільки у ризосфері проса і пшениці. Отже, перебіг мікробіологічних процесів у ризосферному ґрунті, зокрема, деградація



Таблиця 2
 Вірогідність формування колоній мікроорганізмів (λ_1 , год⁻¹ · 10⁻²) у ризосферному ґрунті сільськогосподарських культур через добу після внесення нафтопродуктів

Table 2
 The probability of forming microorganisms colonies (λ_1 , h⁻¹ · 10⁻²) in soil of rhizosphere of crops in a day after the introduction of petroleum products

Варіант	Амоніфікатори	Імобілізатори мінерального азоту	Олігонітрофіли	Нітрифікатори	Денітрифікатори	Педрофи	Автохтонні	Целюлозо-руйнівні бактерії	Мікроміцети	Мобілізатори мінеральних фосфатів
Просо	4,17	1,44	0,90	1,31	0,47	2,13	4,73	3,09	2,89	3,35
Просо + НП*	1,59	1,49	2,78	1,23	6,42	3,87	4,97	5,08	1,93	3,33
Пшениця	3,82	1,79	1,91	1,20	1,62	3,11	4,52	6,65	1,57	2,77
Пшениця +НП	2,84	2,33	1,45	0,97	0,47	3,73	3,67	5,37	1,26	5,22
Соняшник	5,60	2,55	2,07	1,35	0,29	2,14	4,38	4,65	2,79	3,32
Соняшник + НП	3,64	3,94	2,47	0,70	1,62	4,04	3,87	4,13	3,66	5,47
Кукурудза	5,78	1,47	2,02	1,65	0,04	2,98	4,17	4,35	2,03	5,33
Кукурудза + НП	2,66	1,97	2,18	1,85	1,62	0,94	4,37	2,38	2,50	2,65
Люпин	3,59	1,60	1,44	1,60	1,62	2,69	5,44	4,51	2,11	3,21
Люпин + НП	7,62	1,30	1,09	0,26	1,62	5,84	2,05	5,10	4,34	5,11
Контроль: ґрунт	4,58	3,02	2,72	0,78	0,01	4,83	3,67	1,62	2,02	1,78
Контроль: ґрунт +НП	2,83	0,63	2,62	1,83	1,62	2,59	4,41	4,96	2,00	4,71

Примітка: НП* – 1% нафтопродуктів

Table 3
Indicators of intensity of mineralization processes and phytotoxic properties of soil crops in a day after the introduction of petroleum products

Варіант	Індекс педогрофності	Коефіцієнт опідзоленості	Коефіцієнт мінералізації азоту	Активність мінералізації гумуса, %	Маса 100 рослин пшениці озимої, г		
					стебло	коріння	
Просо	0,19	0,22	0,43	43,5	7,73	4,98	12,7
Просо + НП*	0,27	0,17	0,31	30,5	4,86	3,12	7,98
Пшениця	0,43	0,22	0,46	41,6	7,52	4,88	12,4
Пшениця +НП	0,16	0,11	0,42	32,9	3,74	2,29	6,03
Соняшник	0,31	0,10	0,54	18,3	6,40	4,00	10,4
Соняшник + НП	0,24	0,07	0,18	16,4	2,75	1,94	4,69
Кукурудза	0,24	0,12	0,33	31,4	5,80	3,10	8,90
Кукурудза + НП	0,86	0,49	0,66	10,3	2,69	1,58	4,27
Люпин	0,74	0,44	0,49	18,5	7,22	5,36	12,6
Люпин + НП	0,36	0,13	0,41	14,8	4,67	2,81	7,48
Контроль: ґрунт	0,51	0,29	0,49	56,7	7,28	5,30	12,6
Контроль: ґрунт +НП	0,27	0,11	0,35	17,7	3,19	2,10	5,29
НП05					0,50	0,12	0,42

Примітка: НП* — 1% нафтопродуктів

нафтопродуктів за участю полісахаридсинтезувальних бактерій залежить від виду сільськогосподарської культури.

Важливим з точки зору оцінювання перебігу мікробіологічних процесів у забрудненому ґрунті є факт активізації розчинення мінеральних фосфатів в ризосфері всіх досліджених культур (табл. 1). Отримані дані співпадають з результатами модельних дослідів з вирощуванням злакової травосуміші [10]. Поясненням цьому може бути той факт, що у нафтозабруднених ґрунтах знижується концентрація рухомого фосфору [13].

Раніше було показано, що за внесення 1% нафтопродуктів мікробіологічні процеси у ґрунті уповільнюються: мінералізація азотовмісних сполук, загальної органічної речовини і гумусу [10,11]. Ця закономірність підтверджена на прикладі ґрунту без рослин (контроль), де за внесення нафтопродуктів індекс педотрофності зменшується у 1,89 разу, коефіцієнт опідзоленості — 2,64, коефіцієнт мінералізації азоту — 1,4, активність мінералізації гумусу — в 3,2 разу (табл. 3). У ризосфері всіх досліджених сільськогосподарських культур в результаті забруднення уповільнюється мінералізація гумусу, максимально — в ризосфері кукурудзи — в 3,05 разу. Освоєння органічної речовини уповільнюється в ризосфері пшениці і соняшника, а у інших культур — інтенсифікується. Процеси опідзолення і мінералізації сполук азоту уповільнюються у ризосфері всіх досліджених культур, за виключенням кукурудзи, де спостерігається інтенсифікація цих процесів.

Внесення нафтопродуктів сприяє суттєвому збільшенню фітотоксичності ґрунту, у ризосфері проса вона зростає в 1,59 разу, у ризосфері пшениці — 2,06, соняшнику — 2,22, кукурудзи — 2,08, люпину — 1,68, у ґрунті без рослин — у 2,38 разу (табл. 3). Отже, максимально знижують фітотоксичність забрудненого ґрунту кореневі виділення проса і люпину. Можливо також, що рослини (особливо бобові) знижують токсичні властивості нафтопродуктів, поглинаючи їхні компоненти.

Оцінка фітотоксичності ризосферного ґрунту за відсутності нафтового забруднення показала, що найбільш токсичними є кореневі екsudати кукурудзи і соняшнику, токсичність ризосферного ґрунту яких перевищує контрольний показник на 41,6 і 21,2%, відповідно. Токсичність ризосферного ґрунту проса, пшениці і люпину практично не відрізняється від контролю, можливо тому, що у першу третину вегетаційного періоду синтез токсичних речовин у цих культур відбувається неактивно.

Необхідно зауважити, що вище наведені закономірності стосуються лише первинної реакції мікробного угруповання на забруднення ґрунту нафтопродуктами. Метою подальших досліджень повинно стати вивчення перебігу мікробіологічних процесів у динаміці деградації нафтового забруднення і динаміці росту рослин впродовж вегетаційного періоду.

ЛІТЕРАТУРА

1. Джюра Н., Цвілинюк О., Терек О. Вплив нафтового забруднення ґрунту на морфофізіологічні особливості рослин // Вісник Львів. ун-ту. Серія біологічна. —2005. — Вип. 40. — С. 51–58.
2. Цайтлер М.Й. Відновлення рослинного покриву і зміни структури ценопопуляцій трав'яних рослин на нафтозабруднених територіях Бориславського



- нафтового родовища. Автореф. дис. ... канд. біол. наук: 03.00.16. — Дніпропетровськ, 2001. — 16 с.
3. Головка Э.А. Микробиологические аспекты агрофитоценологии // Круговорот аллелопатически активных веществ в биогеоценозах. — К.: Наукова думка, 1992. — С. 9—21.
 4. Теппер Е.З., Шильникова В.К., Переверзева Г.И. Практикум по микробиологии. — М.: Дрофа, 2004. — 256 с.
 5. Мишустин Е.Н., Рунов Е.В. Успехи разработки принципов микробиологического диагностирования состояния почв // Успехи современной биологии. — М.: АН СССР, 1957. — Т. 44. — С. 256—267.
 6. Никитин Д.И., Никитина В.С. Процессы самоочищения окружающей среды и паразиты растений. — М.: Наука. — 1978. — 205 с.
 7. Демкина Т.С., Золотарева Б.Н. Микробиологические процессы в почвах при различных уровнях интенсификации земледелия // Микробиологические процессы в почвах и урожайность сельскохозяйственных культур. — Вильнюс. — 1986. — С. 101—103.
 8. Кожевин П.А., Кожевина Л.С., Болотина И.Н. Определение состояния бактерий в почве // Доклады АН СССР. — 1987. — Т. 297., № 5. — С. 183—214.
 9. Методы изучения почвенных микроорганизмов и их метаболитов / Под ред. Н.А. Красильникова. — М.: МГУ, 1966. — 162 с.
 10. Малиновська І.М., Зінов'єва Н.А. Вплив забруднення сірого лісового ґрунту нафтопродуктами на його фітотоксичні властивості та стан мікробіоценозу // Збірник наукових праць Інституту землеробства. — К.: Ексмо, 2010. — Вип.1—2. — С. 61—69.
 11. Малиновська І.М., Зінов'єва Н.А. Спрямованість та інтенсивність мікробіологічних процесів у забрудненому нафтопродуктами темно-сірому опідзоленому ґрунті // Вісник Полтавської державної аграрної академії. — 2010. — № 4. — С. 17—23.
 12. Rosenberg M., Ron E.Z. High- and low molecular mass microbial surfactants // Appl. Microbiol. Biotechnol. — 1999. — 52, N 2. — P. 154—162.
 13. Хазиев Ф.Х., Тишкина Е.И., Киреева Н.А. Влияние нефтяного загрязнения на некоторые компоненты агроэкосистемы // Агрехимия. — 1988. — № 2. — 89 с.

І.М. Малиновская¹, Н.А. Зиновьева²

¹Национальный научный центр «Институт земледелия НААН»,
ул. Машиностроителей, 2Б, п.г.т. Чабаны, Киевская обл., Украина,
тел.: +38 (045) 526 13 28, e-mail: h.o.p.e@mail.ru

²Национальный авиационный университет

МИКРОБИОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ В РИЗОСФЕРЕ РАСТЕНИЙ В ЗАГРЯЗНЕННОЙ НЕФТЕПРОДУКТАМИ ПОЧВЕ

Реферат

Исследованы микробиологические процессы в ризосфере растений различных сельскохозяйственных культур в условиях загрязнения почвы 1% авиационного



керосина. Установлено, що в ризосфері рослин всіх досліджуваних культур в результаті забруднення нафтопродуктами замедляється мінералізація гумуса, максимально — в ризосфері кукурузи — в 3 рази. Освоєння загального органічного речовини ґрунту замедляється в ризосфері пшениці і підсонячника, у решти культур — інтенсифікується. Процеси оподзаливання і мінералізації сполучень азоту замедляються в ризосфері всіх досліджуваних сільськогосподарських культур, за винятком кукурузи, у якій спостерігається інтенсифікація цих процесів.

Ключевые слова: мікробіоценоз, еколого-трофічні групи, мінералізація, гумус, фітотоксичність, сільськогосподарські культури, ризосфера, забруднення нафтопродуктами.

I.M. Malynovska¹, N.A. Zinovieva²

¹NRC "Institute of Agriculture of the UAAS", 26, Mashynobudivnykiv Str., township Chabany, Kyiv region, Ukraine, tel.: +38 (045) 526 13 28, e-mail: h.o.p.e@mail.ru

²National Aviation University

MICROBIOLOGICAL PROCESSES IN THE RHIZOSPHERE OF THE PLANTS IN THE CONTAMINATED SOIL WITH OIL PRODUCTS

Summary

We have investigated the flow of microbial processes in the rhizosphere of various crops in the soil contamination with 1% oil products. There were established that in rhizosphere of all the investigated crops consequently pollution by petroleum humus mineralization, maximally in rhizosphere of corn in 3 times. Assimilation of organic matter slowed in rhizosphere of wheat and sunflowers, while in other cultures enhanced. The process of nitrogen compounds mineralization became slower in rhizosphere of all the investigated cultures, except maize, where all the processes observed intensification.

Key words: microbiocenosis, ecological and trophic groups, phytotoxicity, mineralization, humus, rhizosphere, petroleum products pollution, crops.

