

УДК 631.46.631.445.41:631.84

## **ДЕГРАДАЦІЯ НАФТОПРОДУКТІВ АБОРИГЕННИМИ МІКРОБНИМИ УГРУПОВАННЯМИ СІРОГО ЛІСОВОГО ҐРУНТУ**

© 2011 р. **І. М. Малиновська<sup>1</sup>, Н. А. Зінов'єва<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>*Національний науковий центр*

*«Інститут землеробства Національної академії аграрних наук України»*

*(Чабани, Київська обл., Україна)*

<sup>2</sup>*Національний авіаційний університет*

*(Київ, Україна)*

Досліджували перебіг мікробіологічних процесів у сірому лісовому ґрунті, забрудненому нафтопродуктами у концентрації до 20%. Встановлено, що за 23 доби інкубування мікроорганізми більшості еколого-трофічних груп подолали стан стресу за всіх досліджених концентрацій нафтопродуктів за винятком 20%. Вирощування злакової травосуміші і внесення 1% глюкози в забруднений ґрунт створює умови для формування стабільного мікробіоценозу, який забезпечує активнішу деструкцію поллютантів порівняно з мікробіоценозом ґрунту без рослин і без внесення легкодоступного субстрату.

**Ключові слова:** *мікробіоценоз, еколого-трофічні групи, мінералізація, гумус, токсичність, ґрунт, забруднення нафтопродуктами*

Забруднення ґрунтів ксенобіотиками призводить до погіршення якості сільськогосподарської продукції, оскільки ґрунти є основними накопичувачами органічних поллютантів. Природне очищення забруднених нафтопродуктами ґрунтів відбувається протягом тривалого часу завдяки абіотичним (вода, сонячне випромінювання, вивітрювання тощо) та біотичним (мікроорганізми, рослини, тварини) факторам (Шилова, 1985; Маковский, 1989). Значну роль у самовідновленні забруднених нафтою ґрунтів серед мікроорганізмів відіграють бактерії, мікроміцети, водорості (Микроорганизмы ..., 1989; Стабникова, 1995; Klaus, 1996). Досліджений вплив нафтопродуктів на чисельність мікроорганізмів окремих еколого-трофічних груп: амоніфікаторів, нітрифікаторів, олігонітрофілів та азотфіксуючих мікроорганізмів (Исмаилов, 1983; Дульгеров, Нудьга, 1998). Водночас практично не вивчена роль основних еколого-трофічних і функціональних груп ґрунтових мікроорганізмів у процесах деградації нафтових забруднень в умовах ризосферного

ґрунту і внесення легкодоступного субстрату для росту аборигенних мікроорганізмів.

Наша робота присвячена дослідженню можливостей управління процесами біодеградації нафтопродуктів аборигенними мікробними угрупованнями сірого лісового ґрунту.

### **МЕТОДИКА**

Модельний дослід був проведений з використанням сірого лісового крупнопилувателем легкосуглинкового ґрунту моніторингового полігону лабораторії інтенсивних технологій зернових колосових культур і кукурудзи ННЦ «Інститут землеробства НААН» (дослідне господарство «Чабани», Києво-Святошинський район Київської області). У 0-20 см шарі ґрунту містилося: гумусу 2,74%, лужногідролізованого азоту 9,33 мг, рухомого фосфору 36,8 мг та обмінного калію 15,3 мг на 100 г сухого ґрунту, рН (KCl) – 5,6. Фітоценоз ділянок перелогу сформувався у результаті спонтанного заростання протягом 22 років і представлений переважно злаковими травами.

Ґрунт відбирали восени і перед проведенням дослідів відновлювали його біологічну активність шляхом зволоження та термостату-

---

*Адреса для кореспонденції:* Малиновська Ирина Михайлівна, ННЦ «Інститут землеробства НААНУ», вул. Машинобудівників 26, с.м.т. Чабани, Київська обл., Україна  
E-mail selectio@ukrpack.net

вання за 25°C протягом 21 доби. Нафтопродукти вносили в концентраціях від 0 до 20% у вигляді водної емульсії. Як нафтопродукти використовували авіаційне паливо марки ТС-1. За 8 діб до внесення нафтопродуктів у частину судин висівали насіння злакової травосуміші, а за добу додавали стерильний розчин глюкози (1%). Контролем слугував ґрунт без внесення нафтопродуктів.

Стан мікробіоценозу вивчали через одну і 23 доби після внесення нафтопродуктів. Чисельність мікроорганізмів основних еколого-трофічних груп оцінювали методом висіву ґрунтової суспензії на відповідні поживні середовища (Теппер і др., 2004). Показник інтенсивності процесів мінералізації сполук азоту розраховували за Мішустіним і Руновим (Мишустин, Рунов, 1957), індекс педотрофності – за Нікітіним та Нікітіною (Никитин, Никитина, 1978), активність процесу мінералізації гумусу – за Демкіною та Золотарьовою (Демкина, Золотарева, 1986). 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, який описано Кожевіним зі співавт. (Кожевин і др., 1987). Фітотоксичні властивості ґрунту визначали з використанням рослинних біотестів (пшениця озима сорту Подільська 90) за Красильниковим (Методы ..., 1966).

## **РЕЗУЛЬТАТИ ТА ОБГОВОРЕННЯ**

Інкубування ґрунту, забрудненого нафтопродуктами, протягом 23-х діб призводило до суттєвих змін у чисельності та фізіологічній активності ґрунтових мікроорганізмів (табл. 1, 2). Так, амоніфікатори через добу після внесення нафтопродуктів зазнавали інгібуючої дії нафтопродуктів в концентрації 5-20% (табл. 1), через 23 доби інгібуюча дія нафтопродуктів спостерігалася лише у варіанті з концентрацією 20% (табл. 2, 3). За концентрацій, нижчих від 20%, нафтопродукти призводили до підвищення чисельності та фізіолого-біохімічної активності амоніфікуючих мікроорганізмів: із збільшенням вмісту нафтопродуктів від 1 до 10% чисельність амоніфікаторів зростала у 3,26 раза, а їх фізіолого-біохімічна активність – в 1,82 раза (табл. 2, 3). При цьому за концентрації нафтопродуктів 1% амоніфікатори більш чисельні та активні, ніж у контрольному ґрунті. Отже, амоніфікуючі мікроорганізми протягом 23-добового культивування подолали стан стресу

практично за всіх вивчених концентрацій нафтопродуктів і використали їх як субстрат для росту. Отримані закономірності відрізняються від встановлених іншими авторами (Дульгеров, Нудьга, 1998), згідно з якими зниження загальної чисельності мікроорганізмів, чисельності азотобактера, нітрифікаторів і целюлозолітиків продовжується після внесення нафтопродуктів протягом трьох місяців, і навіть після 12 місяців чисельність мікроорганізмів у забрудненому ґрунті залишається нижчою, ніж у незабрудненому. Концентрація нафтопродуктів не перевищувала тієї, що відзначалася нами (600-1500 мг/кг ґрунту). Можливим поясненням розбіжностей отриманих нами даних з літературними є різниця хімічного складу і поверхневої активності досліджених нафтопродуктів: у нашому випадку – авіаційний гас, у досліді іншими авторів (Дульгеров, Нудьга, 1998) – нафта та газолін.

Одразу після внесення нафтопродуктів чисельність олігонітрофілів, нітрифікаторів, полісахаридсинтезуючих бактерій зменшувалася порівняно з контролем у кілька разів (табл. 1). Через 23 доби чисельність олігонітрофілів перевищувала контрольний показник у 2,80-5,26 раза, чисельність педотрофів – у 4,85-6,67 раза (табл. 1, 2). За 23 доби інкубування ґрунту збільшувалася також кількість іmobilізаторів мінерального азоту. Разом з тим, був ще помітним інгібуючий вплив високих концентрацій нафтопродуктів на їхню чисельність (табл. 1, 2). Кількість целюлозоруйнуючих бактерій збільшувалася за 23 доби культивування у варіантах з внесенням нафтопродуктів у 2,13-3,72 раза, однак, у контролі чисельність мікроорганізмів цієї групи також збільшувалася у 6,80 раза, що свідчить про перебіг процесів, пов'язаних із зволоженням ґрунту (табл. 1, 2).

Нітрифікатори, як через добу, так і через 23 доби після внесення нафтопродуктів зазнавали токсичної дії полютанту – їхня чисельність зменшувалася порівняно з контролем на 85,3-27,3% (табл. 2). Фізіологічна активність нітрифікаторів була нижчою від фізіологічної активності мікроорганізмів цієї групи у контрольному ґрунті на 20-120% (табл. 3). Стійка негативна дія нафтопродуктів щодо нітрифікаторів, можливо, пояснюється тим, що нафтопродукти створюють в ґрунті анаеробні умови (Патика та ін., 2007), а нітрифікатори належать до групи облигатних аеробів і зазнають впливу нестачі кисню. Причиною зниження чисельності та фізіолого-біохімічної активності нітрифікаторів може бути також їх висока чутливість

## ДЕГРАДАЦІЯ НАФТОПРОДУКТІВ

**Таблиця 1. Чисельність мікроорганізмів у сірому лісовому ґрунті через добу після внесення нафтопродуктів, млн. КУО\*/ г абсолютно сухого ґрунту, 2009 р.**

Варіант	Амоніфікатори	Імобілізатори мінерального азоту	Олігонітрофіли	Азотобактер, % обростання грудочок ґрунту	Денітрифікатори	Нітрифікатори	Педотрофи	Целюлозоруйнуючі бактерії	Полісахаридсинтезуючі	Автохтонні	Стрептоміцети	Мікроміцети	Мобілізатори мінеральних фосфатів	К <sub>r</sub>	Мобілізатори органічних фосфатів
Контроль, обробка водою	86,8	65,3	67,8	0,67	55,8	1,04	47,1	28,5	6,61	11,4	7,03	0,23	10,3	0,68	1,24
1% нафтопродуктів	186,9	125,2	25,2	0,00	176,4	0,81	76,4	70,6	5,46	10,0	18,1	0,22	34,9	1,20	2,10
5% нафтопродуктів	125,2	220,7	57,7	0,00	180,7	0,78	66,4	83,1	3,87	9,12	18,9	0,21	24,5	1,06	5,59
10% нафтопродуктів	69,5	86,0	49,5	0,00	182,4	0,77	62,1	77,3	4,34	12,4	17,4	0,20	21,7	0,78	0,87
20% нафтопродуктів	39,0	74,7	38,2	0,00	143,4	0,45	51,3	79,9	3,48	10,9	13,5	0,15	10,4	1,12	0,10
Фітоценоз (контроль)	237,6	713,6	288,1	0,00	182,0	0,64	803,7	522,1	210,6	56,7	5,63	0,20	26,4	0,95	40,3
Фітоценоз + нафтопродукти (5%)	546,8	516,4	170,0	3,33	190,9	1,50	600,0	600,0	67,7	17,5	53,2	0,51	190,5	2,33	30,0
Глюкоза (1%) + нафтопродукти (5%)	183,3	248,7	148,2	2,67	182,0	0,87	205,4	173,7	22,1	12,7	19,5	0,21	24,3	1,14	5,63
НІР <sub>05</sub>	12,0	10,5	9,84	0,06	10,9	0,05	9,65	9,52	1,58	0,91	0,84	0,04	3,02		0,84

Примітка. Тут і в табл. 2.: КУО\* – колонієутворююча одиниця

**Таблиця 2. Чисельність мікроорганізмів у сірому лісовому ґрунті через 23 доби після внесення нафтопродуктів, млн. КУО\*/ г абсолютно сухого ґрунту, 2009 р.**

Варіант	Амоніфікатори	Імобілізатори мінерального азоту	Олігонітрофіли	Азотобактер, % обростання грудочок ґрунту	Денітрифікатори	Нітрифікатори	Педотрофи	Целюлозоруйнуючі бактерії	Полісахаридсинтезуючі	Автохтонні	Стрептоміцети	Мікроміцети	Мобілізатори мінеральних фосфатів	К <sub>r</sub>	Мобілізатори органічних фосфатів
Контроль, обробка водою	93,6	164,9	74,4	0,00	136,4	1,26	396,5	194,3	5,44	44,9	29,4	0,19	38,4	1,35	5,79
1% нафтопродуктів	178,4	544,3	244,0	0,00	176,4	0,68	509,4	262,9	53,9	41,2	14,7	0,05	27,7	1,30	26,5
5% нафтопродуктів	270,9	493,5	143,3	0,00	180,7	0,99	321,9	178,1	45,5	49,5	12,9	0,15	52,5	1,12	18,9
10% нафтопродуктів	305,6	434,2	391,7	0,00	182,4	0,97	973,1	189,8	231,8	52,5	13,0	0,14	62,5	0,91	16,1
20% нафтопродуктів	208,9	345,8	208,1	0,00	182,5	0,99	262,8	207,6	75,7	64,6	12,2	0,21	22,6	0,96	13,5
Фітоценоз (контроль)	153,4	330,0	98,9	0,00	190,9	1,08	561,8	258,6	120,4	62,6	10,5	0,20	6,82	0,66	31,4
Фітоценоз + нафтопродукти (5%)	760,9	592,3	146,1	7,33	210,1	1,64	758,4	492,7	141,1	87,1	5,50	0,24	34,5	1,96	61,5
Глюкоза (1%) + нафтопродукти (5%)	205,3	628,8	79,2	0,00	138,2	1,09	496,0	342,3	66,2	54,8	14,2	0,24	31,8	1,06	21,8
НІР <sub>05</sub>	11,8	18,3	5,01	0,05	10,2	0,08	15,4	10,0		3,02	2,00	0,04	5,64		2,05

до водорозчинних органічних речовин, концентрація яких суттєво підвищується у результаті мікробної деградації нафтопродуктів.

Чисельність денітрифікаторів у забрудненому ґрунті перевищувала чисельність цих

мікроорганізмів у контрольному ґрунті в середньому на 32%. Отримані нами дані збігаються з результатами, згідно з якими, забруднення ґрунту нафтою пригнічувало діяльність нітрифікаторів і підвищувало чисельність амоніфікаторів і денітрифікаторів (Исмаилов, 1983).

Таблиця 3. Вірогідність формування колоній мікроорганізмів ( $\lambda 1, \text{год}^{-1} \cdot 10^{-2}$ ) у сірому лісовому ґрунті через 23 доби після внесення нафтопродуктів, 2009 р.

Варіант	Амоніфікатори	Імобілізатори мінерального азоту	Олігонітрофіли	Денітрифікатори	Педотрофи	Автохтонні	Целюлозоруйнучі	Мікроміцети	Мобілізатори органічних фосфатів	Мобілізатори мінеральних фосфатів	Полісахаридсинтезуючі	Нітрифікатори
Контроль, обробка водою	0,66	0,20	2,80	0,12	1,81	0,73	7,88	3,62	1,20	1,51	0,37	0,39
1% нафтопродуктів	2,49	0,47	5,86	0,11	2,04	0,96	5,11	4,09	0,25	3,94	0,35	0,21
5% нафтопродуктів	3,17	0,32	3,12	0,11	0,47	0,94	0,53	2,56	0,31	11,04	0,46	0,18
10% нафтопродуктів	4,51	2,10	2,08	0,02	0,84	1,13	3,96	1,96	2,03	0,57	0,45	0,28
20% нафтопродуктів	3,00	0,66	1,06	0,64	2,13	1,31	0,52	3,26	1,04	1,88	0,54	0,33
Фітоценоз (контроль)	6,35	0,52	2,47	0,64	3,74	1,17	8,03	12,9	2,75	3,97	0,40	0,26
Фітоценоз + нафтопродукти (5%)	6,07	1,55	0,97	0,11	2,05	0,55	5,71	13,2	3,07	1,64	0,60	0,28
Глюкоза (1%) + нафтопродукти (5%)	3,15	0,31	2,59	0,04	1,02	0,78	1,82	4,16	1,91	1,14	0,56	0,27

Зниження нітрифікаційної здатності забрудненого нафтою чорнозему вилугуваного наведено також в іншій роботі (Гилязов, 1980).

Чисельність полісахаридсинтезуючих мікроорганізмів через добу після внесення нафтопродуктів зменшувалася порівняно з контролем на 21,1-89,9% (табл. 1), але через 23 доби спостерігалася зворотна закономірність: чисельність полісахаридсинтезуючих бактерій збільшувалася порівняно з контролем за концентрації нафтопродуктів 1% – у 9,91, 5% – у 8,36, 10% – у 42,6 та 20% – у 13,9 раза (табл. 2). Враховуючи здатність бактеріальних екзополісахаридів емульгувати молекули гідрофобних поліантів і збільшувати їхню доступність для біодеградації (Rosenberg, Rosenberg, 1981; Pines, Gutnic, 1986; Rosenberg, Ron, 1999), можна зробити висновок про те, що збільшення чисельності полісахаридсинтезуючих мікроорганізмів є індикаторним показником інтенсифікації процесу деструкції нафтопродуктів.

Кількість мобілізаторів органічних фосфатів протягом інкубування ґрунту зростала: за концентрації нафтопродуктів 1% – у 12,6, 5% – у 3,38, 10% – у 18,5 та 20% – у 135 рази (табл. 2). Причиною цього може бути той факт, що у забруднених нафтою ґрунтах знижується концентрація фосфору (Хазиев и др., 1988), тому активізація діяльності мікроорганізмів, які вивільнюють фосфор з органічних сполук, стає актуальною. Таким чином, внесення нафтопродуктів суттєво впливає на чисельність ґрунтових мік-

роорганізмів, особливо, мікроорганізмів циклу вуглецю.

Протягом 23 діб інкубування ґрунту, забрудненого нафтопродуктами, змінювалася спрямованість мікробіологічних процесів. Якщо через добу після внесення нафтопродуктів коефіцієнт мінералізації азоту збільшувався зі зростанням вмісту нафтопродуктів (Малиновська, Зінов'єва, 2010), то через 23 доби він зменшувався з 3,05 (1% нафтопродуктів) до 1,66 (20% нафтопродуктів) (табл. 4). Ті ж тенденції спостерігалися щодо індексу перотрофності і коефіцієнта опідзоленості ґрунту: через добу після внесення нафтопродуктів вони збільшувалися зі зростанням вмісту нафтопродуктів у ґрунті, а через 23 доби, навпаки, зменшувалися з 2,86 до 1,26 (індекс педотрофності) і з 1,37 до 1,00 (коефіцієнт опідзоленості). Тенденції щодо зміни активності мінералізації гумусу в ґрунті виявилися однаковими через добу і 23 доби після внесення нафтопродуктів: активність зростала на 63,8 і 204% відповідно зі зростанням вмісту нафтопродуктів (табл. 4). Причиною активізації розкладання гумусу може бути нестача сполук азоту в ґрунті, забрудненому вуглеводнями; надлишок вуглецю призводить до збільшення співвідношення C:N і деградація гумусу відбувається з вивільненням азоту. Зміна співвідношення C:N призводить також до збільшення чисельності вільноіснуючих азотфіксаторів, діяльність яких дозволяє підвищити вміст азоту у ґрунті (Исмаилов, 1983).

## ДЕГРАДАЦІЯ НАФТОПРОДУКТІВ

**Таблиця 4. Показники інтенсивності мінералізаційних процесів і фітотоксичні властивості сірого лісового ґрунту через 23 доби після внесення нафтопродуктів, 2009 р.**

Варіант	Індекс педотрофності	Коефіцієнт опідзоленості	Коефіцієнт мінералізації азоту	Активність мінералізації гумусу, %	Маса 100 рослин тест-культури – пшениці озимої, г		
					стебло	коріння	загальна маса
Контроль, обробка водою	4,243	0,80	1,76	11,3	9,33	5,14	14,5
1% нафтопродуктів	2,86	1,37	3,05	8,09	7,92	5,33	13,3
5% нафтопродуктів	1,19	0,53	1,82	15,4	1,74	1,52	3,26
10% нафтопродуктів	3,18	1,28	1,42	5,40	Внаслідок великої токсичності ґрунту насіння пшениці озимої не проросло		
20% нафтопродуктів	1,26	1,00	1,66	24,6	сло		
Фітоценоз (контроль)	3,66	0,64	2,15	11,1	7,62	4,28	11,9
Фітоценоз + нафтопродукти (5%)	1,00	0,19	0,78	11,5	6,75	2,50	9,25
Глюкоза (1%) + нафтопродукти (5%)	2,42	0,39	3,06	11,1	2,60	1,55	4,15
НІР <sub>05</sub>					0,52	0,45	1,02

**Таблиця 5. Деградація нафтопродуктів за їх різних початкових концентрацій у сірому лісовому ґрунті**

Варіант	Вміст нафтопродуктів у ґрунті за часом культивування, мг/г ґрунту	
	0 діб	23 доби
Контроль: обробка водою	0	0
1% нафтопродуктів	3,9±0,51	3,6±0,45
5% нафтопродуктів	19,5±2,8	17,9±2,3
10% нафтопродуктів	39,0±4,8	35,6±4,7
20% нафтопродуктів	78,0±6,3	71,2±9,2
Фітоценоз + нафтопродукти (5%)	19,5±2,4	17,7±2,3
Глюкоза (1%) + нафтопродукти (5%)	19,5±2,3	17,8±2,2

За 23 доби культивування зменшувалася фітотоксичність ґрунту: за концентрації нафтопродуктів 1% – у 2,64 раза, за концентрації 5% спостерігався ріст тест-рослин, тоді як через добу після внесення нафтопродуктів насіння пшениці озимої у цьому варіанті досліду не проростало (Малиновська, Зінов'єва, 2010) (табл. 4). За двох інших концентрацій нафтопродуктів (10 і 20%) фітотоксичність ґрунту залишалася настільки високою, що призводила до інгібування проростання насіння тест-культури.

Внесення нафтопродуктів у посудини з вегетуючою злаковою травосумішшю показало, що всі використані концентрації нафтопродуктів виявилися токсичними для рослин і вони загинули протягом перших двох-п'яти діб. Разом з тим, мікробіоценоз, який сформувався у ризосфері рослин, через 23 доби після загибелі рослин залишався більш потужним і міцним, ніж мікробіоценоз ґрунту без рослин. Так, за концентрації нафтопродуктів 5% чисельність мік-

роорганізмів у варіанті з загиблим фітоценозом перевищувала чисельність мікроорганізмів ґрунту без рослин: амоніфікаторів – у 2,80, азотобактера – у 7,30, нітрифікаторів – у 1,66, педотрофів – у 2,36, целюлозолітиків – у 2,77, полісахаридсинтезуючих – у 2,42, мобілізаторів органічних речовин – у 3,25 раза (табл. 2). У ризосферному ґрунті суттєво уповільнені процеси мінералізації органічної речовини ґрунту – на 19%, опідзолення – 179,0, мінералізації азоту і гумусу – на 133,0 і 33,9% відповідно (табл. 4). Фітотоксичність ризосферного ґрунту, забрудненого паливом, набагато (у 2,84 раза) менша від фітотоксичності ґрунту без рослин (табл. 4). Можливою причиною зниженої фітотоксичності ризосферного ґрунту є вища швидкість деструкції нафтопродуктів потужнішим мікробним угрупованням ризосфери рослин. Висока концентрація легкодоступних органічних речовин у ризосфері в результаті прижиттєвого виділення кореневих ексудатів і гниття залишків кореневої системи загиблих рослин є пулом ре-

човин, які можуть виступати у ролі кометаболітів при деградації нафтопродуктів та інших токсичних речовин.

Мікробіоценоз, сформований за участю рослин, виявився більш активним щодо розкладання нафтопродуктів, за 23 доби інкубування у цьому варіанті досліду було деструктовано нафтопродуктів на 14% більше, ніж у варіанті без рослин (табл. 5). Отже, деструкція нафтопродуктів у ґрунтах зі сформованим фітоценозом відбувається інтенсивніше, ніж у ґрунтах без фітоценозу. Ці результати підтверджуються літературними даними щодо використання рослин для рекультивації ґрунтів забруднених нафтою (Джура та ін., 2006).

Необхідно підкреслити, що у даному разі розглядаються закономірності функціонування ризосферного мікробіоценозу загиблого фітоценозу, які суттєво відрізняються від закономірностей функціонування вегетуючого фітоценозу (Малиновська, 2007). Так, у ризосфері вегетуючого фітоценозу міститься набагато менше амоніфікаторів, імобілізаторів мінерального азоту, олігонітрофілів, нітрифікаторів, педотрофів, целюлозолітиків, полісахаридсинтезуючих, автохтонних мікроорганізмів, мобілізаторів мінеральних і органічних фосфатів (табл. 2). Разом з тим мікроорганізми ризосфери вегетуючих рослин є більш фізіологічно активними, ніж мікроорганізми ризосфери загиблих рослин (табл. 3). У ризосферному ґрунті вегетуючого фітоценозу спостерігався більш інтенсивний перебіг мікробіологічних процесів порівняно з загиблим фітоценозом, зокрема, індекс педотрофності перевищував відповідний показник варіанта загиблого фітоценозу у 3,66, коефіцієнт опідзоленості – у 3,37, коефіцієнт мінералізації азоту – у 2,76 рази (табл. 4).

Додавання глюкози у ґрунт також дозволило сформувати мікробіоценоз, який відрізнявся від контрольного ґрунту за чисельністю мікроорганізмів; зокрема, він містив більше імобілізаторів мінерального азоту, нітрифікаторів, педотрофів, целюлозолітиків, полісахаридсинтезуючих бактерій, мікроміцетів, стрептоміцетів, мобілізаторів органофосфатів (табл. 2). Отже, внесення глюкози призводило до підвищення чисельності мікроорганізмів як циклу вуглецю, так і циклу азоту, а також до суттєвого зростання фізіолого-біохімічної активності мікроорганізмів, в основному, циклу вуглецю: педотрофів, мікроміцетів, мобілізаторів органофосфатів, целюлозоруйнівних і полісахаридсинтезуючих бактерій (табл. 3). Внесення глюкози інтенсифікувало освоєння органічної ре-

човини ґрунту на 103%, мінералізацію азоту – на 68%, зменшувало активність мінералізації гумусу на 38,7% (табл. 4). Фітотоксичність ґрунту зменшувалася у варіанті з внесенням екзогенного субстрату на 27,3%. У результаті активності мікробіологічних процесів у ґрунті з внесенням глюкози спостерігалось підвищення процесів розкладання нафтопродуктів на 10,8% порівняно з ґрунтом без внесення глюкози (табл. 5).

Таким чином, вирощування рослин і внесення легкодоступних субстратів у забруднені нафтопродуктами ґрунти створює умови для формування потужного і міцного мікробіоценозу, який забезпечує активнішу деструкцію поллютантів порівняно з мікробіоценозами ґрунтів без рослин і без внесення екзогенних субстратів. Рослини, продукуючи кореневі екsudати, формують у власній ризосфері потужний мікробіоценоз, який має високу біохімічну активність і знешкоджує молекули забруднювачів інтенсивніше, ніж мікробіоценоз ґрунту без фітоценозу.

## ЛІТЕРАТУРА

- Гильзов М.Ю. Изменение некоторых агрохимических свойств выщелоченного чернозема при загрязнении нефтью // Агрохимия. – 1980. – № 12. – С. 72-75.
- 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.
- Джура Н.М., Романюк О.І., Гонсьор Я. та ін. Використання рослин для рекультивації ґрунтів, забруднених нафтою і нафтопродуктами // Екологія та ноосфера. – 2006. – Т. 17, № 1-2. – С. 55-60.
- Дульгеров А.Н., Нудьга А.Ю. Углеаммонийные соли и бактериальный препарат «Десна» – важнейшие факторы рекультивации почв, загрязненных углеводородами нефти // Элементы регуляции в растениеводстве. Зб. наук. праць. – К.: Компас, 1998. – С. 256-259.
- Исмаилов Н.М. Влияние нефтезагрязнения на круговорот азота в почве // Микробиология. – 1983. – Т. 52. – Вып. 6. – С. 1003-1007.
- Кожевин П.А., Кожевина Л.С., Болотина И.Н. Определение состояния бактерий в почве // Докл. АН СССР. – 1987. – Т. 297, № 5. – С. 183-214.

## ДЕГРАДАЦІЯ НАФТОПРОДУКТІВ

- Маковский В.И. Влияние нефтезагрязнений на растительный покров и торфяную залежь олиготрофных болот // Растительность в условиях техногенных ландшафтов Урала. – Свердловск: УрО АН СССР, 1989. – С. 96.
- Малиновська І.М. Стан мікробіоценозу ризосфери сої за комплексного оброблення насіння фосфатомобілізуючими мікроорганізмами і *Bradyrhizobium japonicum* 71T // Агроекол. журн. – 2007. – № 3. – С. 79-83.
- Малиновська І.М., Зінов'єва Н.А. Вплив забруднення сірого лісового ґрунту нафтопродуктами на його фітотоксичні властивості та стан мікробіоценозу // Збірник наук. праць Інституту землеробства. – К.: Ексмо. – 2010. – Вип. 1-2. – С. 61-69.
- Методы изучения почвенных микроорганизмов и их метаболитов / Ред. Н.А. Красильникова. – М.: Изд-во МГУ, 1966. – 162 с.
- Микроорганизмы и охрана почв / Под ред. Д. Г. Звягинцева. – М.: Изд-во МГУ, 1989. – 206 с.
- Мишустин Е.Н., Рунов Е.В. Успехи разработки принципов микробиологического диагностирования состояния почв // Успехи соврем. биологии. – 1957. – Т. 44. – С. 256-267.
- Никитин Д.И., Никитина В.С. Процессы самоочищения окружающей среды и паразиты растений. – М.: Наука. – 1978. – 205 с.
- Патика В.П., Омелянец Т.Г., Гриник І.В., Петриченко В.Ф. Екологія мікроорганізмів. – К.: Основа, 2007. – 192 с.
- Стабникова Е.В., Селезнева М.В., Рева О.Н., Иванов В.Н. Выбор активного микроорганизма-деструктора углеводов для очистки нефтезагрязненных почв // Прикл. биохимия и микробиология. – 1995. – Т. 31, № 5. – С. 534-539.
- Теннер Е.З., Шильникова В.К., Переверзева Г.И. Практикум по микробиологии. – М.: Дрофа, 2004. – 256 с.
- Хазиев Ф.Х., Тишкина Е.И., Куреева Н.А. Влияние нефтяного загрязнения на некоторые компоненты агроэкосистемы // Агрехимия. – 1988. – № 2.
- Klaus W. Nonconventional yeast in biotechnology. A handbook. – Berlin, Heidelberg, New York: Springer-Verlag 1996. – 619 p.
- Pines O., Gutnic D.L. Role of emulsan in growth of *Acinetobacter calcoaceticus* RAG-1 // FEMS Microbiol. Lett. – 1986. – V. 22, № 1. – P. 307-311.
- Rosenberg E., Ron E.Z. High- and low-molecular mass microbial surfactants // Appl. Microbiol. Biotechnol. – 1999. – V. 52, № 2. – P. 154-162.
- Rosenberg M., Rosenberg E. Role of adherence in growth of *Acinetobacter calcoaceticus* RAG-1 on hexadecane // J. Bacteriol. – 1981. – V. 148, № 1. – P. 51-57.

Надійшла до редакції  
14.07.2010 р.

## DEGRADATION OF PETROLEUM PRODUCTS BY AUTOCHTHONIC MICROBIAL COMMUNITIES OF GRAY FOREST SOIL

I. M. Malinovska<sup>1</sup>, N. A. Zinovieva<sup>2</sup>

<sup>1</sup>National Research Center  
«Institute of Agriculture of National Academy of Agrarian Sciences of Ukraine»  
(Chabany, Kyiv region, Ukraine)

<sup>2</sup>National Aviation University  
(Kyiv, Ukraine)

The flow of microbial processes in gray forest soil contaminated by petroleum products in concentration to 20% have been investigated. It was found that during 23 days of incubation the microorganisms of most ecological-trophic groups overcame the state of stress at all concentrations of petroleum products, except for 20%. The cultivation of cereal grass mixture and addition of 1% glucose in the contaminated soil create the conditions for the formation of stable microbial cenosis, which provides the more active at 14,0 and 10,8% degradation of pollutants in comparison with microbial cenosis soil without plants and without addition of available substrate.

**Key words:** *microbial cenosis, ecological-trophic groups, mineralization, humus, toxicity, soil, oil pollution*

**МАЛИНОВСЬКА, ЗІНОВ'ЄВА**

**ДЕГРАДАЦІЯ НЕФТЕПРОДУКТОВ АБОРИГЕННИМИ  
МИКРОБНИМИ СООБЩЕСТВАМИ СЕРОЙ ЛЕСНОЇ ПОЧВИ**

И. М. Малиновская<sup>1</sup>, Н. А. Зиновьева<sup>2</sup>

<sup>1</sup>*Национальный научный центр  
«Институт земледелия Национальной академии аграрных наук Украины»  
(Чабаны, Киевская обл., Украина)*

<sup>2</sup>*Национальный авиационный университет  
(Киев, Украина)*

Исследовали протекание микробиологических процессов в серой лесной почве, загрязненной нефтепродуктами в концентрации до 20%. Установлено, что в течение 23 суток инкубирования микроорганизмы большинства эколого-трофических групп преодолели состояние стресса при всех исследованных концентрациях нефтепродуктов, за исключением 20%. Выращивание злаковой травосмеси и внесение 1% глюкозы в загрязненную почву создает условия для формирования стабильного микробиоценоза, который обеспечивает более активную деструкцию поллютантов по сравнению с микробиоценозами почвы без растений и без внесения легкодоступного субстрата.

**Ключевые слова:** *микробиоценоз, эколого-трофические группы, минерализация, гумус, токсичность, почва, загрязнение нефтепродуктами*