

Н. М. Джура, О. І. Романюк¹, Ян Гонсьор², О. М. Цвілинюк, О. І. Терек

ВИКОРИСТАННЯ РОСЛИН ДЛЯ РЕКУЛЬТИВАЦІЇ ҐРУНТІВ, ЗАБРУДНЕНИХ НАФТОЮ І НАФТОПРОДУКТАМИ

Львівський національний університет ім. Івана Франка

¹Відділення фізико-хімії горючих копалин Інституту фізико-органічної хімії і вуглекімії НАН України

²Жешівський університет, Відділення економії

Вивчали вплив вищих рослин на біодеградацію нафти в ґрунті. Актуальність досліджень пов'язана з великим забрудненням територій нафтою і необхідністю проведення ремедіації. Як об'єкт використовували *Carex hirta* L. – багаторічну, трав'янисту довгокореневищну рослину. Модельні досліди проводили в природних умовах. Рослини вирощували в судинах об'ємом 15 л. Нафту вносили з розрахунку 48 і 96 г/кг ґрунту. Через три тижні після внесення нафти на підготовлений ґрунт пересаджували рослини *Carex hirta*. Ґрунт без рослин з вищевказаними концентраціями нафти і ґрунт із рослинами без нафти були контрольними. Період деградації нафти в ґрунті тривав 88 днів, з них 65 днів – рекультиваційний період за участю рослин. Після зазначеного терміну визначали вміст нафтопродуктів у ґрунті і фізико-хімічні властивості ґрунтів. Установлено, що в присутності рослин у забрудненому нафтою (48 г/кг) ґрунті вміст нафтопродуктів знизився на 6,1 % у порівнянні з контрольним ґрунтом без рослин. У ґрунті з рослинами зростає кількість фосфору, калію і магнію, змінюється рН і сорбційні властивості, що підвищує його родючість. Таким чином, довгокореневищні види рослин можна рекомендувати для фіторекультивації територій, забруднених нафтою і нафтопродуктами.

Ключові слова: нафтопродукти, біодеградація нафти, довгокореневищні види, мікрофлора, властивості ґрунту, макроелементи, фіторемедіація.

N. M. Dzhura, O. I. Romanyuk¹, Jan Gonsyor,² O. M. Tsvilyuk, O. I. Terek

Ivan Franko' Lviv National University, Ukraine

¹Department of the Combustible Minerals' Physics-Chemistry, Lytvynenko L. M. Physical-Organic Chemistry and Coal Chemistry Institute, National Academy of Sciences of Ukraine

²Zheshiv University, Department of Economy, Chair of Agroekology, Zheshiv, Poland

USING PLANTS FOR RESTORATION OF THE OIL-CUT SOILS

The higher plants influence on the biodegradation of oil contained in soils was investigated in the present article. The object of this research was a *Carex hirta* L species – perennial, herbaceous plant with a quite long rhizomes. The whole experiment was performed under natural conditions. The oil with density equal to 0,96 g/m³ was putted into the 15 litres vases filled with soils. These oils were putted in according to the following concentrations: 48 g/kg and 96 g/kg. After 3 weeks *Carex hirta* plants were transplanted into the mentioned above experimental vases. Soils without plants growing on them but with above-cited oils' concentrations and soils with growing plants but with no oils containing in were taken as nontreated ones.

The period of oil's degradation in soils come to approximately 88 days, where 65 days formed period of restoration with the plants participation. After this period of time the amount of oil-products contained in soils and physicochemical properties of soils were determined. It was established that quantity of petrochemicals in oil-cut soils with plants has decreased, but the quantity of such an elements like potassium, magnesium and phosphorus quite the contrary increased, pH and sorption properties were changed also. In such a way it is possible to recommend to plant long-rhizomes species in soils for oil-cut soils restoration.

Keywords: petrochemical, oils biodegradation, long-rhizomes species, microflora, soil properties, major mineral elements.

У системі геоекологічних досліджень ґрунти розглядаються як важливі буферні системи, що спроможні регулювати і в цілому знижувати техногенне забруднення в зоні аерації, рослинних коренів, поверхневих та підземних вод. Забруднення ґрунту нафтою і нафтопродуктами внаслідок господарської діяльності людини є значним фактором впливу на довкілля. Нафтопродукти, завдяки високій адсорбтивній здатності

© Джура Н. М., Романюк О. І., Гонсьор Ян, Цвілинюк О. М., Терек О. І., 2006

грунту, довгий час зберігаються в ньому, змінюючи його фізико-хімічні і біологічні властивості (Оборин, 1987; Baker, 1969). Склеювання структурних частин ґрунту нафтою призводить до зростання в'язкості і щільності ґрунтової маси, що погіршує його повітряно-водний режим. Ґрунти, просочені нафтопродуктами, втрачають здатність вбирати і затримувати вологу (Забруднення ..., 2000; Никифорова, 1987; Оборин, 1987). Через забруднення ґрунтового покриву нафтопродуктами створюються анаеробні умови, змінюється окисно-відновний потенціал, порушується вуглецево-азотний баланс, змінюється вміст поглинутих основ кальцію і магнію (Забруднення ..., 2000; Казенов, 1998), внаслідок цього ґрунт втрачає свою родючість, стає гідрофобним, підвищується ерозія, вивітрювання та ін. (Біотехнологічна ..., 2003). Природне відновлення ґрунтових екосистем, забруднених нафтою, – довготривалий і складний процес (Маковський, 1989). Самоочищення ґрунтів відбувається відносно повільно завдяки абіотичним (вода, сонячне випромінювання, вивітрювання тощо) та біотичним (мікроорганізми, рослини, тварини) факторам (Маковський, 1989; Шилова, 1985). Значну роль у відновленні нафтозабруднених ґрунтів відіграють мікроорганізми різних систематичних груп. До них належать усі види міксоміцетів, дріжджів і бактерій (Мікроорганізми ..., 1989; Выбор ..., 1995; Klaus, 1996). Відомо, що представники мікрофлори (водорості) і макрофауни ґрунтів (дошові черв'яки) також беруть участь у деградації нафти у ґрунті (Медведева, 2002; Kostecka, 1999). Водночас недостатньо вивчена участь вищих рослин у цьому процесі. Виявлено видовий склад стійких до нафтового забруднення рослин і різні стадії заростання забруднених нафтою ділянок (Джура, 2005; Цайтлер, 2001). З'ясовано, що довгокореневищні види відзначаються найбільшою стійкістю до несприятливих умов нафтозабруднених екоотопів (Киреева, 2001; Цайтлер, 2001). Один з таких видів – *Carex hirta* L. є об'єктом наших досліджень. Не вивченим на сьогодні є вплив цього стійкого виду на вміст нафтопродуктів у ґрунті та фізико-хімічні властивості нафтозабруднених ґрунтів, дослідження яких сприятиме розумінню адаптації рослин до цих стресових умов.

МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕНЬ

У природних умовах Ботанічного саду Львівського національного університету ім. Івана Франка закладено модельні досліди. У посудини з ґрунтом об'ємом 15 л вносили нафту густиною 0,96 г/мл у таких концентраціях: 50 мл нафти на 1 кг ґрунту, що відповідає 48 г/кг, і 100 мл нафти на 1 кг ґрунту, що відповідає 96 г/кг ґрунту. Через три тижні після внесення нафти у ґрунт (необхідний термін для вивітрювання легких нафтопродуктів) висаджували вегетативні особини *Carex hirta* L. першого року життя висотою надземної частини пагона $62,5 \pm 1,8$ см. Ґрунт без рослин з вищенаведеними концентраціями нафти і ґрунт з рослинами без нафти були контрольними. Період деградації нафти у ґрунті (вивітрювання, мікробіологічна деструкція, тощо) тривав 88 днів, з них 65 днів – рекультивацийний період за участю рослин. Після зазначеного терміну визначали вміст нафтопродуктів у ґрунтах за модифікованою методикою (Дмитриев, 1989) шляхом екстракційного концентрування нафтопродуктів з ґрунту тетрахлоридом вуглецю з наступним 14-спектроскопічним визначенням за калібрувальним графіком. Фізико-хімічні властивості ґрунтів, зокрема рН водної суспензії ґрунту, визначали за допомогою рН-метра, обмінну кислотність ґрунту – за методом Дайкухара, гідролітичну кислотність і сорбційні властивості ґрунту – за методом Каппена (Lityński, 1972). Уміст магнію – фотокolorиметрично при довжині хвилі 548 нм на приладі «*Marcel media elektrofotometer*», уміст фосфору – за методом Егнера в модифікації Ріхма колориметрично за калібрувальним графіком, уміст калію – за інтенсивністю забарвлення полум'я у полум'яному фотокolorиметрі «AAS 3» при довжині хвилі 766,5 нм (Lityński, 1972).

РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ ТА ЇХ ОБГОВОРЕННЯ

Аналіз ґрунтів показав, що біодеградація нафти у ґрунті активно відбувається завдяки абіотичним та біотичним факторам (табл. 1). Найбільш інтенсивно розкладання вуглеводнів нафти спостерігається у ґрунті, на якому зростали рослини *Carex*

hirta за умов забруднення 48 г/кг. У даному варіанті ґрунт очистився на 81,4 %, тоді як контрольний ґрунт без рослин – на 75,3 %. Отже, у ґрунті за участю рослин уміст нафтопродуктів знизився на 6,1 % порівняно з контролем.

Таблиця 1

Вплив рослин *Carex hirta* на біодеградацію нафти у ґрунті, %

Варіант	Концентрація нафти у ґрунті (вихідне забруднення), г/кг	Уміст нафтопродуктів у ґрунті після ремедіації (залишкове забруднення), г/кг	Сумарне очищення ґрунту, %
Ґрунт з нафтою без рослин	96,0	29,1±1,2	69,7±1,14
Ґрунт з нафтою без рослин	48,0	11,8±0,9	75,3±2,28
Ґрунт з нафтою з рослинами	96,0	36,8±2,2	61,7±1,38
Ґрунт з нафтою з рослинами	48,0	8,9±0,7	81,4±1,65

Як видно з табл. 1, активність окиснення нафтопродуктів у ґрунті з рослинами і без них є різною. Зокрема, при високому забрудненні (96 г/кг) ґрунт з рослинами очищується на 61,7 % порівняно з варіантом без рослин (69,7 %). Імовірно, при високих концентраціях нафти у ґрунті довгокореневищний вид *Carex hirta* знижує природну деградацію нафти, оскільки гальмується ріст і розвиток рослин, що зменшує їх участь у фіторемерації. Водночас при нижчому забрудненні (48 г/кг) рослини фізіологічно адаптовуються, включають внутрішні механізми захисту, протистоять даному стресу і беруть активну участь у деградації нафтопродуктів у ґрунті. Наші дослідження (Джура, 2005, 2005а) і літературні джерела (Гашева, 1990) підтверджують, що фітотоксичність ґрунту і ступінь інгібування росту і розвитку рослин прямо залежать від інтенсивності і довготривалості забруднення, що можна пояснити як токсичністю самої нафти, так і набутими гідрофобними властивостями ґрунту (Киреева, 2001). Активну деструкцію нафтопродуктів у ґрунті без участі рослин при великих дозах нафти автори (Алехин, 1998) пояснюють тим, що нафтоокислюючі мікроорганізми добре розвиваються, бо не мають конкурентів, оскільки інші представники мікрофлори гинуть від нафтового забруднення, тоді як у ділянці ризосфери осоки шершаволистої зростає конкуренція з боку епіфітної мікрофлори.

Обмінна здатність ґрунтів обумовлює направленість ґрунтових процесів і відіграє велику роль у кореновому живленні рослин, тому вміст обмінних катіонів у ґрунті, а також їх склад та загальна ємність поглинання вважаються важливими показниками хімічних та фізичних властивостей ґрунтів.

Дослідження фізико-хімічних властивостей нафтозабруднених ґрунтів виявили результати, які представлені у табл. 2.

З даних табл. 2 видно, що *pH* ґрунтового розчину при нафтовому забрудненні підлягає зміні. Показано, що нафтозабруднені ґрунти з великим умістом високомінеральних попутних вод містять високі концентрації солей натрію (Забруднення ..., 2000). Натрій, включаючись у ґрунтовий поглинальний комплекс, витісняє катіони, які визначають ґрунтову кислотність, викликаючи тим самим підлужнення ґрунтів (*pH* водної суспензії ґрунту може підніматися від 5,0 до 8,3). Як видно з табл. 2, обмінні властивості нафтозабруднених ґрунтів дуже низькі, оскільки нафта надає гідрофобних властивостей ґрунту і катіони *H*⁺ не можуть обмінюватися з іншими йонами, порівняно з контролем.

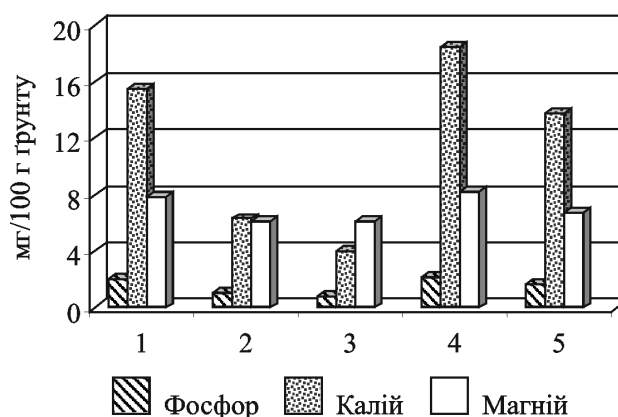
Таблиця 2

Вплив *Carex hirta* на фізичні властивості ґрунту забрудненого нафтою

Варіант	Концентрація нафти, г/кг	рН	мг/100 г ґрунту		
			S [OH ⁻]	[H ⁺] обм.	[H ⁺] гідр.
Ґрунт з рослинами без нафти	0	5,96	8,4±0,43	0,43±0,03	2,8±0,30
Ґрунт з нафтою без рослин	48	6,17	9,2±0,24	0,17±0,02	2,4±0,35
Ґрунт з нафтою без рослин	96	6,13	2,4±0,26	0,09±0,01	1,3±0,21
Ґрунт з нафтою з рослинами	48	6,73	10,4±0,52	0,17±0,02	2,7±0,36
Ґрунт з нафтою з рослинами	96	6,30	7,2±0,31	0,09±0,01	1,2±0,25

[H⁺] обм. – обмінна кислотність ґрунту; [H⁺] гідр. – гідролітична кислотність ґрунту; S – основність ґрунту.

Наші дослідження показують, що осока істотно впливає на вміст основних елементів мінерального живлення (фосфору, калію, магнію) у нафтозабрудненому ґрунті (рисунок).



1 – ґрунт з рослинами без нафти; 2 – ґрунт з нафтою (48 г/кг) без рослин; 3 – ґрунт з нафтою (96 г/кг) без рослин; 4 – ґрунт з нафтою (48 г/кг) з рослинами; 5 – ґрунт з нафтою (96 г/кг) з рослинами

Вплив *Carex hirta* на вміст макроелементів у забрудненому нафтопродуктами ґрунті

Ґрунт, на якому росте осока, містить калію майже у три рази більше, ніж ґрунт без рослин. Показано, що вміст калію у клітинах рослин у 100–1000 разів перевищує його рівень у зовнішньому середовищі (Полевой, 1989). Збільшення калію у ґрунті можна пояснити тим, що відбувається його інтенсивний вихід з клітин кореневища, адже стресові чинники збільшують проникненість мембран клітин коренів і йони калію інтенсивно виходять у зовнішнє середовище, що є своєрідною неспецифічною стресовою реакцією рослин (Колупаєв, 2001). Відомо, що фосфор у ґрунті міститься в органічній і мінеральній формах (Войнова-Райкова, 1986; Полевой, 1989). Бактерії беруть участь у мінералізації органічних фосфорних сполук і переводять їх у розчинні форми, доступні для рослин. У ділянці ризосфери підвищується також розчинність залізовмісних і магнієвих сполук. Ці дані свідчать про здатність мікроорганізмів ризосфери змінювати інтенсивність процесів, що ведуть до переходу важкодоступних форм елементів мінерального живлення у доступні форми для рослин (Полевой, 1989). Дані рисунку, засвідчують, що ґрунт, на якому росли рослини, містить достатню кількість магнію, калію і фосфору (варіанти 4 і 5 щодо контролю 1, та варіантів 2, 3). Тому ймовірно є припущення, що ріст осоки шершаволистої на нафтозабрудненому ґрунті відбувається за рахунок взаємовигідних біотичних зв'язків і відсутності мінерального голодування.

ВИСНОВКИ

1. Наявність рослин прискорює біодеградацію нафти у ґрунті при забрудненні 48 г/кг.
2. Для ремедіації ґрунтів при нафтовому забрудненні 96 г/кг необхідний довший період природної деградації нафти у ґрунті з наступною фіторекультивацією.
3. Підземні кореневища та корені *Carex hirta* створюють канали аерації і водопроникнення, покращуючи структуру ґрунту, його водно-повітряні і сорбційні властивості, кислотність та збагачують ґрунт мінеральними речовинами разом з епіфітною мікрофлорою.
4. Довгокореневищні види рослин можна рекомендувати для фіторекультивації територій, забруднених нафтою і нафтопродуктами.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

- Алехин В. Г.** Биологическая активность и микробиологическая рекультивация почв, загрязненных нефтепродуктами / В. Г. Алехин, В. Т. Емцев, Е. А. Рогозина, А. И. Фахрутдинов // Биологические ресурсы и природопользование. – Нижневартовск: Изд-во Нижневарт. пед. ин-та, 1998. – Вып. 2. – С. 95-105.
- Войнова-Райкова Ж.** Микроорганизмы и плодородие / Под ред. И. В. Плотниковой. – М.: Агропромиздат, 1986. – 120 с.
- Гашева М. Н.** Состояние растительности как критерий нарушенности лесных биоценозов при нефтяном загрязнении / М. Н. Гашева, С. Н. Гашев, А. В. Соромотин // Экология. – 1990. – № 2. – С. 77-78.
- Джура Н. М.** Адаптація рослин, стійких до нафтового забруднення середовища / Н. М. Джура, О. М. Цвілинюк, О. І. Терек // Биоразнообразие. Экология. Эволюция. Адаптация: Материалы 2 Междунар. науч. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых, посвященной 140-летию Одесск. нац. ун-та им. И. И. Мечникова (Одесса, 28 марта–1 апреля 2005 г.). – О., 2005. – С. 27.
- Джура Н. М.** Особливості росту осоки шершаволистої (*Carex hirta*) за дії нафтового забруднення / Н. М. Джура, О. М. Цвілинюк, О. І. Терек // Актуальні проблеми фізіології, генетики та біотехнології рослин і ґрунтових мікроорганізмів. Тези доп. 9 конф. молодих дослідників (24–25 лютого 2005 р. м. Київ). – К., 2005. – С. 12.
- Дмитриев М. Т.** Санитарно-химический анализ веществ в окружающей среде / М. Т. Дмитриев, Н. И. Казнина, И. А. Пинигина. – М.: Химия, 1989. – 210 с.
- Дульгеров О. М.** Біотехнологічна рекультивація ґрунтів, забруднених нафтопродуктами при аварійних розливах / О. М. Дульгеров, Т. Л. Качур, А. Ю. Нудьга, М. М. Мовчан // Екологічні проблеми нафтогазового комплексу: Матеріали наук.-прак. конф. (Яремче, Івано-Франківська обл., 23–27 лютого 2004 р.). – К.: Тов-во «Знання України», 2003. – С. 136-138.
- Забруднення** підземного середовища легкими нафтопродуктами та визначення захисних властивостей зони аерації / М. С. Огняник, Н. К. Парамонова, А. Л. Брикс та ін. – К.: Знання, 2000. – 68 с.
- Казенов С. М.** Воздействие объектов нефтепродуктообеспечения на геоэкологическую среду / С. М. Казенов, А. И. Арбузов, Ю. В. Ковалевский // Геоэкология. – 1998. – № 4. – С. 54-74.
- Киреева Н. А.** Рост и развитие сорных растений в условиях техногенного загрязнения почвы / Н. А. Киреева, А. М. Мифтахова, Г. Г. Кузяхметов // Вестник Башкирского университета. – 2001. – № 1. – С. 32-34.
- Колупасв Ю. Є.** Стресові реакції рослин (молекулярно-клітинний рівень). – Х.: Харк. держ. агр. ун-т, 2001. – 173 с.
- 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.
- Медведева Е. И.** Динамика восстановления нефтезагрязненных почв в условиях Среднего Поволжья // Биология – наука XXI века: 6 Пушкинская школа-конференция молодых ученых (Пушино, 20–24 мая 2002 г.): Сб. тезисов. – Тула, 2002. – Т. 3. – С. 131-132.
- Микроорганизмы** и охрана почв / Под ред. Д. Г. Звягинцева – М.: Изд-во МГУ, 1989. – 206 с.
- Никифорова Е. М.** Геохимическая трансформация дерново-подзолистых почв под воздействием нефти / Е. М. Никифорова, Н. П. Солнцева, Н. В. Кабанова // Влияние промышленных предприятий на окружающую среду. – М.: Наука, 1987. – С. 241-253.

Оборин А. А. Нефтяное загрязнение почв и способы рекультивации / А. А. Оборин, И. Г. Калачникова, Т. А. Масливец // Влияние промышленных предприятий на окружающую среду. – М.: Наука, 1987. – С. 284-290.

Полевой В. В. Физиология растений. – М.: Высш. шк., 1989. – 464 с.

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

Цайтлер М. Й. Відновлення рослинного покриву і зміни структури ценопопуляцій трав'яних рослин на нафтозабруднених територіях Бориславського нафтового родовища: Автореф. дис. ... канд. біол. наук. – Д., 2001. – 16 с.

Шилова И. И. Культурфитоценозы на нефтезагрязненных землях таежной зоны (в поле-вом эксперименте) / И. И. Шилова, Н. М. Макаров // Растения и промышленная среда. – Свердловск: УРГУ, 1985. – С. 32-42.

Baker J. M. The effects of oil pollution and cleaning of salt marsh ecology // Field Stud. Counc. Oil Pollut. Res. Unit Orielt. – L.: Field. Centre, 1969. – P. 3-26.

Klaus W. Editor. Nonconventional yeast in biotechnology. A handbook. – Springer-Verlag Berlin Heidelberg NewYork, 1996. – 619 p.

Kosteska J. Mozliwosci wykorzystania populacji dziedzownic *Eisenia fetida* (Sav.) przy biodegradacji zanieczyszczen ropopochodnych // Biologiczne skutki stosowania srodkow chemicznych w srodowisku przyrodniczym i mozliwosci ich ograniczenia. Zeszyty problemowe postepow nauk rolnicznych. – Warszawa, 1999. zeszyty 467. – P. 617-620.

Lityński T., Jurkowska H., Borlach E. Analiza Chemiczno Rolnicza Gleba i nawozy Przewodnik metodyczny doćwiczeń Chemiczno Rolniczych. Wydania czwarte. – Warszawa: Krakowa Państwowe wydawnictwo Naukowe, 1972. – 196 s.

Надійшла до редколегії 11.07.05