

ТЕХНОГЕННА ТА ЕКОЛОГІЧНА БЕЗПЕКА

УДК 504.53:665.7

*О.Ф. Бабаджанова, канд. техн. наук, доцент,
Ю.Е.Павлюк, канд. техн. наук, доцент, Ю.Г.Сукач
(Львівський державний університет безпеки життєдіяльності)*

ВЕРТИКАЛЬНА МІГРАЦІЯ НАФТОПРОДУКТІВ У ПОВЕРХНЕВИХ ШАРАХ ҐРУНТУ

Представлені результати дослідження вертикальної міграції нафтопродуктів у поверхневому шарі різних типів ґрунтів під час аварійних виливів. В умовах лабораторного дослідження вертикальну міграцію нафтопродуктів оцінювали за швидкістю проникнення рідини крізь 20 см шар ґрунту.

Досліджено залежність глибини проникнення нафтопродукту від часу та виду ґрунту. Встановлено, що чим більший вміст мулистої фракції та чим менший вміст піску в складі ґрунту, тим нижча швидкість міграції нафтопродуктів. Швидкість міграції газового конденсату в поверхневому шарі всіх ґрунтів найвища, а олива АМТ-300 має найнижчу швидкість міграції.

Ключові слова: міграція, нафтопродукти, ґрунт, склад ґрунту.

О.Ф.Бабаджанова, Ю.Э.Павлюк, Ю.Г.Сукач

ВЕРТИКАЛЬНАЯ МИГРАЦИЯ НЕФТЕПРОДУКТОВ В ПОВЕРХНОСТНЫХ СЛОЯХ ПОЧВЫ

Представлены результаты исследования вертикальной миграции нефтепродуктов в поверхностном слое разных типов почв во время аварийных разливов. В условиях лабораторного опыта вертикальную миграцию нефтепродуктов оценивали по скорости проникновения жидкости сквозь 20 см слой почвы.

Исследована зависимость глубины проникновения нефтепродукта от времени и вида почвы. Установлено, что чем больше содержание илистой фракции и чем меньше содержание песка в составе почвы, тем ниже скорость миграции нефтепродуктов. Скорость миграции газового конденсата в поверхностном слое всех почв самая высокая, а масло АМТ-300 имеет самую низкую скорость миграции.

Ключевые слова: миграция, нефтепродукты, почва, состав почвы.

O. Babadzhanova, U. Pavluk, U. Sukach

VERTICAL MIGRATION OF PETROLEUM PRODUCTS IN THE SURFACE LAYERS OF THE SOIL

The results of research of petroleum products vertical migration in the surface layer of different soil types during emergency are presented. In laboratory conditions the vertical migration of petroleum products was evaluated by permeation of a liquid through a 20 cm layer of soil.

The dependence of the penetration depth of a petroleum product from time and type of soil is researched. Found that more than the content of silt fraction and the low content of sand in the composition of the soil, the lower velocity of petroleum products migration. The velocity of migration of gas condensate in the surface layer of most soils is the highest, and the oil АМТ-300 has the lowest migration velocity.

Key words: migration, petroleum product, soil, composition of soil.

Постановка проблеми. Проблеми техногенної безпеки при видобутку, зберіганні та транспортуванні нафти і нафтопродуктів привертали і привертають увагу вчених різних країн через свою актуальність.

В даний час нафта і нафтопродукти є найбільш затребуваним і поширеним джерелом палива у світі, в той же час це небезпечні забруднювачі. Втрати при транспортуванні нафти, її переробці та зберіганні становлять 5 % від загального видобутку. Аварійні розливи нафтових вуглеводнів перетворюють ґрунт у техногенні пустелі [1]. Високі фільтраційні властивості деяких ґрунтів і мала в'язкість нафтопродукту (газовий конденсат, дизпаливо) дозволяють їм швидко проникати профілем ґрунту на значну глибину.

Інфільтрація нафти і нафтопродуктів під багатьма нафтосховищами, складами та підприємствами призводить до утворення гігантських нафтових «лінз». Нафтопродукти прекрасно вбираються ґрунтом. Практично під будь-яким об'єктом, пов'язаним з видобуванням, переробкою, транспортуванням, зберіганням та реалізацією нафти і нафтопродуктів, утворюється зона забруднення ґрунтів і підземних вод різноманітними вуглеводнями нафтового ряду [2].

При нафтовому забрудненні, в першу чергу, змінюються морфологічні властивості ґрунтів. Для забруднених ґрунтів характерний темніший колір в порівнянні з незабрудненими аналогами, велика щільність, наявність маслянистих і веселкових плівок по гранях структурних елементів в ілювіальному горизонті, поява стовбурної структури в нижній частині профілю ґрунтів [3]. В умовах тундрових ґрунтів компоненти нафти зберігаються десятками років на поверхні, а їх проникнення відбувається на велику глибину в сухих ґрунтах. Сірі лісові ґрунти, насичені нафтопродуктами, втрачають здатність вбирати і утримувати вологу, для них характерні нижчі значення вологості всіх категорій, водопроникності, вологоємності в органогенних горизонтах в порівнянні з фоновими аналогами [3]. На ділянках, забруднених сирою нафтою, зменшується всмоктування і рух вологи ґрунтовими капілярами. Гідрофобний підґрунтовий шар з суміші сирої нафти і ґрунту знижує капілярну вологоємність, але збільшує здатність до накопичення вологи у верхніх шарах.

Ю. І. Піковський [1] відзначає, що при нафтовому забрудненні взаємодіють три екологічних фактори: складність, унікальна полікомпонентність складу нафти, що знаходиться в стані постійної зміни; складність, гетерогенність складу і структури будь-якої екосистеми, що перебуває в процесі постійного розвитку і зміни; різноманіття і мінливість зовнішніх чинників, під впливом яких знаходиться екосистема: температура, тиск, вологість, стан атмосфери, гідросфери тощо. Виходячи з цього, оцінювати наслідки нафтового забруднення необхідно з урахуванням конкретного поєднання цих трьох груп факторів.

Вуглеводневе забруднення ґрунтів характеризується якісною і кількісною динамікою, відображенням якої є вертикальна міграція вуглеводнів по ґрунтовому профілю і певна їх деградація. Забруднення ґрунтів нафтою, в основному, відбувається у верхніх горизонтах. Вертикальне просування нафтопродуктів вздовж ґрунтового профілю створює хроматографічний ефект, що призводить до їх диференціації: в гумусо-аккумулятивних горизонтах сорбуються високомолекулярні компоненти, що містять смолисто-асфальтенові та циклічні сполуки; легкі вуглеводні проникають в нижні мінеральні горизонти, де в анаеробній атмосфері вони можуть зберігатися тривалий час [4].

Вертикальна міграція нафтових вуглеводнів залежить від трьох основних факторів: властивостей забруднюючої речовини, умов середовища і властивостей ґрунту. Визначальне значення серед властивостей ґрунту мають вологість, щільність і гранулометричний склад. Ступінь забруднення ґрунту визначається його нафтонасиченістю, яка залежить від нафтємності ґрунту. Найвищу нафтємність мають торф'яні ґрунти та легкий суглинок, найнижчу – глинистий та піщаний ґрунти. [5].

Постановка завдання. Такі вчені як Піковський Ю.І., Глазовська М.А., Солнцева Н.П., Хазієв Ф.Х., Hubbard E. внесли значний вклад у розробку різних напрямків, пов'язаних з нафтозабрудненням різних середовищ. Але досі недостатньо висвітлені закономірності фільтрації нафтопродуктів та їх подальшої міграції з потоком підземних вод, відсутні оцінки швидкості поширення забруднень і можливостей самоочищення забруднених ґрунтів.

У верхніх горизонтах ґрунтів відбувається в основному просочування (проникаюча фільтрація) легких фракцій нафтопродуктів, які насичують поровий простір зони аерації. Одночасно з фільтрацією в зоні аерації діють такі процеси як випаровування і окислення компонентів нафтозабруднення, а також сорбція вуглеводнів органічною і мінеральною матрицею ґрунту. Найбільш інтенсивно накопичення нафтозабруднень відбувається на геохімічних бар'єрах, в ролі яких виступають гумусовий шар ґрунту, пилюваті і глинисті фракції мінеральної матриці ґрунтів [1, 4].

У ґрунт нафта і нафтопродукти проникають, в основному, під дією сил тяжіння і поверхнево-активних явищ. Їх міграція залежить від будови підґрунтового шару, гідрологічних умов, складу і властивостей нафтопродуктів. До останніх, в першу чергу, належить густина, в'язкість, змочувальна спроможність. В'язкість забруднюючої речовини, щільність і гранулометричний склад ґрунту визначають швидкість просочування нафти, а внаслідок цього – і співвідношення процесів випаровування та радіальної міграції, ймовірність латеральної міграції, можливість застосування технічних засобів для оперативного видалення вуглеводнів з поверхні [6].

Резерв часу для локалізації нафтового розливу без істотного збитку навколишньому середовищу, залежно від погодних умов, звичайно не повинен перевищувати 24-72 годин з моменту аварії [7]. А тому зниження рівня ризиків надзвичайних ситуацій, пов'язаних із виливами нафти і нафтопродуктів на поверхню ґрунту, полягає у виконанні комплексу заходів ефективною системи реагування на надзвичайні ситуації та методів ліквідації цих наслідків. Вирішення цих завдань вимагає проведення досліджень із вивчення міграційних процесів нафтопродуктів у ґрунтах.

Виклад основного матеріалу. Для дослідження було обрано ґрунти різних регіонів України (табл. 1).

Таблиця 1

Проби ґрунтів

Номер ґрунту	Область
1	Дніпропетровська
2	Волинська
3	Львівська
4	Львівська (Карпати)

Відбирання проб ґрунту здійснювали із кореневмісного шару на глибині до 20 см, з подальшим підсушуванням до повітряно-сухого стану і очищенням від коренів та інших органічних решток.

Досліджувані ґрунти характеризуються таким механічним складом (табл. 2).

Таблиця 2

Механічний склад ґрунтів

№ ґрунту	Вид ґрунту	За гранулометричним складом	Вміст піску		Вміст мулистої фракції
			крупний, 0-0,25 мм	дрібний, 0,25-0,05 мм	< 0,001 мм
1	Дерновий глибокий	піщано-глинистий	37,21	17,40	6,46
2	Темно-сірий опідзолений	суглинок важкий мулуватопилюватий	0,06	4,29	25,23
3	Сірий лісовий	суглинок середній піщано-глинуватий	18,45	12,26	16,98
4	Бурий лісовий	суглинок важкий пилюватопіщаний	1,44	30,81	15,75

В дослідженнях використовували нафтопродукти, характеристика яких наведена в таблиці 3.

Таблиця 3

Характеристика нафтопродуктів [9]

Вид нафтопродукту	Властивості			
	Фракційний склад	Густина, кг/м ³	Температура початку кипіння, °С	Кінетична в'язкість при 20 °С, сст
Дизпаливо коксування	Малов'язка фракція	865	165	6
Газовий конденсат Перещепинського родовища	З підвищеним вмістом нафтових і ароматичних вуглеводнів	750	44	5
Ароматизована олива-теплоносій АМТ-300	Суміш нафтових, парафінових та ароматичних вуглеводнів	960	330	51

Вертикальну міграцію нафтопродуктів у поверхневий шар ґрунтів в лабораторних умовах досліджували методом капілярного проникнення рідини. Ґрунтовий профіль моделювали в насипних колонках. Випробування проводили таким чином. Трубка з ґрунтом закріплювалася в лабораторному штативі і нижнім торцем з сіткою упиралася в дно чашки Петрі. В скляну трубку засипали сухий ґрунт висотою 20 см, а на його поверхню одноразово виливали нафтопродукт товщиною шару понад 5 см. Секундоміром фіксували час проникнення нафтопродукту в кожний наступний сантиметр шару ґрунту.

Швидкість проникнення нафтопродукту в ґрунт визначали за формулою:

$$v = h / \tau,$$

де h – глибина проникнення нафтопродукту, см; τ – час проникнення, хв.

Проведені дослідження залежності глибини проникнення нафтопродукту від часу і виду ґрунту. На основі отриманих результатів побудовано графічні залежності глибини проникнення нафтопродуктів (рис. 1-2) в поверхневий шар різних типів ґрунтів від часу. Лінії Тренда з максимальною величиною достовірності апроксимації характеризують криві ґрунтів як поліном 2-го степеня.

Результати розрахунку швидкості вертикальної міграції нафтопродуктів крізь товщу 20 см шару ґрунтів наведено в таблиці 4.

Таблиця 4.

Швидкість вертикальної міграції нафтопродуктів у ґрунтах

Ґрунт	Нафто-продукт	Час проникнення на глибину			Швидкість міграції на глибині, см/хв		
		5 см	10 см	20 см	5 см	10 см	20 см
№1	ГК	8 с	32 с	2,25 хв	37,5	18,8	9,2
	ДП	20 с	2 хв	9 хв	15,0	5,2	2,2
	АМТ-300	9 хв	42 хв	151 хв	0,6	0,24	0,13
№2	ГК	37 с	3 хв	10 хв	8,1	3,8	2,0
	ДП	3,4 хв	16 хв	53 хв	1,5	0,6	0,4
	АМТ-300	210 хв	-	-	0,02	-	-
№3	ГК	25 с	1,5 хв	6 хв	12,0	6,7	3,3
	ДП	41 с	2,8 хв	12 хв	7,3	3,6	1,7
	АМТ-300	31 хв	120 хв	422 хв	0,16	0,08	0,05
№4	ГК	25 с	1,6 хв	6 хв	12,0	6,4	3,3
	ДП	2,3 хв	9 хв	36 хв	2,1	1,1	0,6
	АМТ-300	76 хв	326 хв	-	0,07	0,03	-

Найменший час вертикальної міграції нафтопродуктів крізь товщу 20 см шару зафіксовано для ґрунту №1 (дернового глибокого піщано-глинистого) (табл. 2). Відповідно і значення швидкості міграції на рівнях 5, 10 і 20 см для цього ґрунту вище, ніж у інших.

Відомо [1], що міграцію нафтопродуктів обмежуватимуть глини та мули, які є природним геохімічним бар'єром для вуглеводнів. Але процес міграції залежить і від інших чинників, зокрема від пористості ґрунтів, яка визначається фракцією піску. Тому найвищу швидкість вертикальної міграції нафтопродуктів у ґрунті №1 можна пояснити низьким вмістом мулистої фракції (6,46) та значним вмістом крупного піску в складі ґрунту (37,21).

Швидкість міграції нафтопродуктів до глибини 5 см у всіх досліджуваних ґрунтах найвища (табл. 4). В подальшому вона плавно знижується (рис. 1-2).

Найбільший час проникнення та найнижча швидкість міграції нафтопродуктів характерні для ґрунту №2 (суглинок важкий мулувато-пилуватий), склад якого містить найменше фракції піску (0,06+4,29) та найбільше мулистої фракції (25,23) (табл. 2).

Швидкість міграції нафтопродуктів у лісових ґрунтах №3 і №4 займає проміжне становище і також визначається вмістом і співвідношенням мулистої фракції та фракцій піску. Якщо час вертикальної міграції ГК в сірому (№3) і бурому (№4) лісових ґрунтах однаковий (табл.4) на всіх рівнях, то час міграції ДП і АМТ-300 в бурому лісовому ґрунті майже в 3 рази перевищує час міграції в сірому ґрунті. Це може свідчити про те, що більш в'язкі нафтопродукти важче проникають каналами міграції ґрунту зі щільнішою структурою.

Серед нафтопродуктів найменшу швидкість міграції у всіх типах ґрунту має олива-теплоносія АМТ-300 (табл.4), а міграція газового конденсату проходить з найвищою швидкістю (рис. 1-2). Це пояснюється їх різним фракційним складом та кінетичною в'язкістю, яка для АМТ-300 значно вища, ніж для газового конденсату та дизельного палива (табл. 3).

Швидкість міграції оливи АМТ-300 в ґрунті №2 була настільки низькою, що на рівні 5 см час проникнення склав 210 хв і в подальшому олива не рухалась. Очевидно набухання мулистої фракції цього ґрунту настільки зменшило канали міграції, що в'язка олива не змогла рухатись далі.

Висновки. Досліджено вертикальну міграцію нафтопродуктів у 0-20 см поверхневому шарі ґрунтів під час аварійних виливів.

Встановлено, що чим більший вміст мулистої фракції та чим менший вміст піску в фракційному складі ґрунту, тим нижча швидкість міграції нафтопродуктів. Це свідчить про те, що значний вплив на міграцію нафтопродуктів профілем ґрунту має його міжзернова пористість, яка залежить від гранулометричного складу ґрунту.

Швидкість вертикальної міграції нафтопродуктів також залежить від їх в'язкості, яка визначається їх фракційним складом. Тому швидкість міграції газового конденсату в поверхневому шарі всіх ґрунтів найвища, а олива АМТ-300 має найнижчу швидкість міграції.

Ці результати, відповідно, свідчать, що час реагування аварійно-рятувальних підрозділів на аварійні виливи (щоб запобігти проникненню нафтопродукту в глибинні шари ґрунту) залежатиме від виду нафтопродукту та складу ґрунту.

Література

1. Пиковский Ю.И. Природные и техногенные потоки углеводородов в окружающей среде/ Ю.И. Пиковский. – М: МГУ, 1993. – 280 с.
2. Воробьев Ю.Л. Предупреждение и ликвидация аварийных разливов нефти и нефтепродуктов./Ю.Л.Воробьев, В.А.Акимов, Ю.И.Соколов. – М.: Ин-октаво, 2005. – 368 с.
3. Ситдииков Р.Н. Изменение свойств чернозема выщелоченного при загрязнении товарной нефтью / Р.Н.Ситдииков, Р.Ш.Минигазимов, А.Н.Поскряко // Нефтепереработка и нефтехимия – 2002. Материалы научно-практической конференции, Уфа–2002. – С.209–210.
4. Глазовская М.А. Скорость самоочищения почв от нефти в различных природных зонах / М.А.Глазовская, Ю.И.Пиковский // Известия Российской академии наук. Серия географическая. – 1980. – №3. – С. 39-48.

5. Коршак А.А. Ресурсосберегающие методы и технологии при транспортировке и хранении нефти и нефтепродуктов / А.А.Коршак. – Уфа: Дизайн Полиграф Сервис, 2006. – 192 с.
6. Солнцева Н.П. Добыча нефти и геохимия природных ландшафтов / Н.П.Солнцева. – М.: МГУ, 1998. – 376 с.
7. Новые углеродные материалы для ликвидации разливов нефти / Б.А.Темирханов, З.Х.Султыгова, А.Х.Саламов, А.М.Нальгиева // Фундаментальные исследования. – 2012, № 6 (часть 2). – С. 471-475.
8. Топлива, смазочные материалы, технические жидкости. Ассортимент и применение. Справочник / И.Г.Ашкимов, К.М.Бадыштова, С.А.Бнатов и др.; Под ред. В.М.Школьникова. – М: Изд.центр «Техинформ», 1999. – 596 с.

References

1. Pikovsky U.I. Natural and man-made streams of hydrocarbons in the environment / U.I. Pikovsky. – Moscow: Moscow State University, 1993. – 280 p.
2. Vorobiev U.L. Prevention and liquidation of emergency oil spills. / U.L.Vorobev, V.A.Akimov, U.I.Sokolov. – М.: Octavo, 2005. – 368 p.
3. Sitdikov R.N. Changing the properties of leached chernozem at pollution commercial oil / R.N.Sitdikov, R.Sh.Minigazimov, A.N.Poskryako // Refining and Petrochemicals – 2002 Proceedings of the Conference, Ufa-2002. – P. 209-210.
4. Glazovskaya M.A. Speed of self-purification of soil from oil in different natural zones / M.A.Glazovskaya, U.I.Pikovsky // Bulletin of the Russian Academy of Sciences. Geographical Series. – 1980. – №3. – P. 39-48.
5. A.A. Korshak Resource-saving methods and technologies for transport and storage of crude oil and petroleum products / A.A.Korshak. – Ufa: Design Printing Services, 2006. – 192 p.
6. Solntseva N.P. Oil and geochemistry of natural landscapes / N.P.Solntseva. – М.: MGU, 1998. – 376 p.
7. New carbon materials for oil spill response / U.A.Temirhanov, Z.H.Sultygova, A.H.Salamov, A.M.Nalgieva // Basic Research. – 2012, № 6 (part 2). – P. 471-475.
8. Fuel, lubricants, technical liquids. Range and application. Directory / I.G.Ashkimov, K.M.Badyshtova, S.A.Bnatov etc.; Ed. V.M.Shkolnikova. – М: "Techinform", 1999. – 596 p.