

# ЕКОЛОГІЧНА БЕЗПЕКА ТА РАЦІОНАЛЬНЕ ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ

УДК 502.175

## ПРОГНОЗУВАННЯ ХІМІЧНОГО ЗАБРУДНЕННЯ НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА У РАЙОНАХ РОЗРОБКИ НАФТОВИХ РОДОВИЩ

Я.М.Семчук, Е.Е.Абдурагімова

ІФНТУНГ, 76019, м. Івано-Франківськ, вул. Карпатська, 15, тел. (03422) 42196,  
e-mail: public@nung.edu.ua

*Шляхом дослідження впливу нафти та нафтопродуктів на довкілля виявлено особливості формування нафтового забруднення у просторі і в часі залежно від швидкості фільтраційного потоку, вологості, проникності та фільтрації пластів. Проникність ґрунтів у процесі фільтрації нафтопродуктів залежить, в основному, від ступеня водонасичення та вмісту глинистих частин. Для прогнозування масштабів нафтового забруднення, яке залежить від об'єму витіку нафти, проникності ґрунтів та їх потужності, рельєфу місцевості, а також глибини залягання ґрунтових вод, їх живлення та розвантаження, доцільно використовувати фізичне моделювання.*

Ключові слова: розвідка нафтових родовищ, коефіцієнти проникності та фільтрації, моделювання, прогнозування.

*Путем исследования влияния нефти и нефтепродуктов на окружающую среду выявлены особенности формирования нефтяного загрязнения в пространстве и во времени в зависимости от скорости фильтрационного потока, влажности, проницаемости и фильтрации пластов. Проницаемость почв в процессе фильтрации нефтепродуктов зависит, в основном, от степени водонасыщения и содержания глинистых частей. Для прогнозирования масштабов нефтяного загрязнения, которое зависит от объема утечки нефти, проницаемости почв и их мощности, рельефа местности, а также глубины залегания грунтовых вод, их питания и разгрузки, целесообразно использовать физическое моделирование.*

Ключевые слова: разведка нефтяных месторождений, коэффициент проницаемости и фильтрации, моделирование, прогнозирование.

*Through research on the impact of oil environment, peculiarities of formation of oil pollution in space and time depending on the speed flow filtration, moisture permeability and filtration layers. Permeability of soil in the process of filtering oil depends mainly on the degree of water saturation and clay content parts. To predict the extent of oil pollution, which depends on the amount of oil leakage, permeability, soil capacity, terrain, ground water, their power and discharge, appropriate use of physical modeling.*

Keywords: discovering oil, permeability coefficient and filtering, modeling, forecast.

Розробка нафтових родовищ супроводжується різноманітним впливом на довкілля: відбуваються зміни природного стану його компонентів – поверхневих та підземних вод, ґрунтів, атмосферного повітря. Ці зміни можуть призвести до значних, непередбачуваних наслідків. Запобігання можливому негативному впливові на довкілля при експлуатації нафтових родовищ та збереження життєво необхідних функцій природного середовища є однією із найважливіших і найактуальніших проблем сьогодення.

Розвиток нафтової і нафтопереробної галузей безпосередньо і нерозривно пов'язаний з виникненням проблем забруднення навколиш-

нього середовища. Вплив нафти та нафтопродуктів на довкілля досліджували та описували у своїх роботах багато науковців: Б.Ю.Депутат, М.Є.Журавель, Л.К.Дубровський, О.І.Ковалець, В.П.Мищенко, В.П.Углярєнко, Я.М.Семчук, Р.М.Говдяк та інші, однак проблема порушення екологічного балансу надр, ґрунтового покриву і повітря у процесі пошуків, розвідки і розробки нафтових родовищ досі залишається невирішеною.

Забруднювачами навколишнього середовища є промивальна рідина, буровий шлам і бурові стічні води, паливно-мастильні матеріали, а також флюїди, що надходять до нього під час

Таблиця 1 – Характеристика складу і властивості нафти (за Стокером і Сігером [1])

Фракції		Масова частка в сирій нафті, %	Діапазон температур кипіння, °C	Розчинність у дистильованій воді $\times 10^4$ , % (за масою)
Парафіни	C <sub>6</sub> – C <sub>12</sub>	0,1 – 20	69 – 230	9,5 – 0,1
	C <sub>13</sub> – C <sub>25</sub>	0 – 10	230 – 450	0,01 – 0,004
Циклопарафіни	C <sub>6</sub> – C <sub>12</sub>	5 – 30	70 – 230	55 – 1,0
	C <sub>13</sub> – C <sub>23</sub>	5 – 30	230 – 405	1,0 – 0
Ароматичні, вуглеводні, моно- і дициклічні, поліциклічні	C <sub>6</sub> – C <sub>11</sub>	0 – 5	80 – 240	1780 – 0
	C <sub>12</sub> – C <sub>18</sub>	0 – 5	240 – 400	12,5 – 0
Нафтово-ароматичні вуглеводні	C <sub>9</sub> – C <sub>25</sub>	5 – 30	180 – 400	1,0 – 0
Залишок		10 – 70	400	0

аварійного фонтанування і випробування свердловин та інтенсивних нафтогазопроїв, викликаних порушенням стану консервації покладів вуглеводів, герметичності свердловин і т. ін.

Авторами досліджувались особливості формування нафтового забруднення у просторі і в часі залежно від швидкості фільтраційного потоку, вологості, проникності та фільтрації пластів.

Зупинимося на аварійних викидах нафти, газу і води. Вони трапляються, як правило, в зонах розвитку аномально високих пластових тисків. За останні 30 років в Україні відбулося 86 аварійних викидів нафти, газу і води (у Дніпровсько-Донецькій западині – 43, у Передкарпатському регіоні – 28, а в Причорноморсько-Кримському – 15), що інколи супроводжувалися пожежами і людськими жертвами та стали причиною виселення людей з населених пунктів, втрати свердловин і природних ресурсів, виведення з ладу обширних площ родючих земель і, відповідно, величезних матеріальних витрат на їх ліквідацію. Більшість з цих викидів відбулися в розвідувальних свердловинах внаслідок порушення технології буріння і випробування, і лише 20% – з незалежних причин.

Аналіз вітчизняного і зарубіжного досвіду свідчить, що нафта і нафтопродукти є найбільш шкідливими речовинами для довкілля. Надходження нафтопродуктів у навколишнє середовище відбувається в процесі розробки нафтових родовищах, експлуатації свердловин, переробки сирової нафти, під час аварій танкерів, їх очищенні від старої нафти і нафтопродуктів, руйнування нафтопроводів тощо.

Нафта є складною сумішшю вуглеводнів і їх похідних; кожна з цих сполук може розглядатися як самостійний токсикант [1]. До складу нафти входять понад 1000 індивідуальних органічних речовин, що містять 83-87% вуглецю, 12-14% водню, 0,5-0,6% сірки, 0,02-1,7% азоту і 0,005-3,6% кисню і незначні домішки мінеральних сполук. Основні характеристики нафти зведені до таблиці 1.

Під час аварійних викидів пластові флюїди проникають в усі проникні пласти, що трапляються на шляху їх руху. Просочуючись та фільтруючись крізь ґрунти, нафта і нафтопродукти можуть проникати у ґрунтові води, з якими шляхом конвективного перенесення розповсюджуються на значні відстані, змінюючи якість питної води. В атмосферу викидається значна кількість отруйних речовин (CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>S, SO<sub>2</sub>, SO<sub>3</sub> та ін.), які, змішуючись з парами викинутої високомінералізованої води, розповсюджується в атмосфері на значні відстані, а потім, конденсуючись, в аерозольному вигляді, випадаєють на поверхню землі, забруднюючи її. З викинутої суміші на ґрунтовий покрив рясно випадають солі, нафтопродукти, буровий розчин з хімічними реагентами [2]. Негативний вплив зумовлений їх токсичними і подразнювальними властивостями.

З теоретичної точки зору формування нафтового забруднення відбувається за рахунок тримірної фільтраційної дисперсії в одномірному водному потоці, рух частинок, у якому під дією великої кількості випадкових величин описується відомим у теорії Венерівським процесом [3].

Позначимо через  $P(r_0, r, t)$  густину розподілу координат  $r$  частинки нафтопродуктів за час  $t$  після виходу із точки  $r_0$  і виведемо загальну формулу для розподілу концентрації частинок нафти-індикатора від довільного джерела.

Розглянемо у тривимірному просторі одномірний водяний потік, дійсну швидкість якого у кожній точці позначимо як  $U_g$ . Припустимо, що в деякій області простору  $U$ , в об'ємі водяного потоку, не спотворюючи його структури, надходять частинки речовини-індикатора. При цьому кількість частинок, що надходять за одиницю часу з одиниці об'єму джерела, позначимо через  $f(r, t)$ . Кількість частинок із достатньо малого об'єму  $\Delta U$  в околі точки  $r_0$  джерела за малий відтинок часу ( $t_0, t_0 + \Delta t$ ) становитиме  $f(r_0, t_0) \Delta U \Delta t$ . Ця кількість частинок розподілятиметься в об'ємі розсіювання, пропор-

ційному вірогідності влучання у відповідну точку. Тобто розподіл частинок описуватиметься формулою:

$$\Delta n(r, t) = K \cdot f(r_0, t_0) \cdot P(r_0, r, t - t_0) \Delta U \cdot \Delta t. \quad (1)$$

Шляхом інтегрування за об'ємом джерела  $U$  в часі від  $0$  до  $t$  є вираз для розподілу частинок у просторі в довільний момент часу

$$n(r, t) = K_1 \int \int_{u_0}^t P(r_0, r, t - t_0) \cdot f(r_0, t_0) dU dt_0, \quad (2)$$

де інтеграл за об'ємом береться за змінною  $r_0$ . Одержаний вираз для концентрації відрізняється від (1) коефіцієнтом пропорційності  $K_1$ . Загалом для залежності концентрації від координат і часу отримаємо:

$$C(r, t) = K_1 \int \int_{u_0}^t P(r_0, r, t - t_0) \cdot f(r_0, t_0) dU dt_0. \quad (3)$$

У цьому рівнянні відсутній параметр позовжньої дисперсії, що суттєво впливає на правильність визначення ареалу забруднення вод нафтою.

Припустимо, що в будь-який момент часу з початкового перерізу  $X = 0$  у потік входить тонкий шар, нескінчений у напрямку  $Y$  і  $Z$ . Під час руху шари не взаємодіють між собою, тому достатньо розглядати процес розсіювання в кожному шарі окремо. Розподіл координат частинки у момент  $t_0$  із точки джерела  $u = u_0$ ,  $z = z_0$ ,  $x_0 = 0$  у момент  $t$  становитиме:

$$P[\hat{y}(t) = \hat{y}, z(t) = z | y(t_0) = y_0, z(t_0) = z_0] = \frac{1}{4\pi D_T(t - t_0)} \exp \left[ -\frac{(y - y_0)^2 + (z - z_0)^2}{4D_T(t - t_0)} \right], \quad (4)$$

де  $D_T$  – параметр дисперсії.

Отже, одержано густину розподілу частинок індикатора у водному потоці за тривимірного розсіювання, де значну роль відіграє параметр дисперсії  $X$  [4].

Забруднення атмосфери при аварійних викидах нафтопродуктів відбувається внаслідок випаровування летких фракцій нафти і їх самозаймання, а також спалювання нафти і нафтопродуктів з метою ліквідації наслідків забруднення.

Ступінь і прогнозна оцінка забруднення навколишнього середовища визначається гранично допустимою концентрацією (ГДК) шкідливих речовин, що надходять до навколишнього середовища. У разі присутності в воді, ґрунтах та атмосфері одночасно декількох шкідливих речовин, їх безрозмірна сумарна концентрація не повинна перевищувати умовної одиниці

$$\frac{C_1}{C_{гдк1}} + \frac{C_2}{C_{гдк2}} + \dots + \frac{C_n}{C_{гдкn}} \leq 1, \quad (5)$$

де:  $C_1, C_2, \dots, C_n$  – концентрація шкідливих речовин у кожному компоненті навколишнього середовища (у ґрунті, воді та атмосфері);  $C_{гдк1}, C_{гдк2}, \dots, C_{гдкn}$  – максимальні допустимі концентрації шкідливих речовин у цих же компонентах [5].

Експериментальні лабораторні дані свідчать, що за рахунок фільтрації, нафтопродукти різної густини і в'язкості проходять крізь ґрунти різного складу, пластичності і вологості. При дослідженні фільтраційних процесів нафтопродуктів у пористому середовищі окремо враховувалися властивості ґрунту (через коефіцієнт проникності  $K_n$ ) і властивості фільтруючої рідини (за густиною  $\rho$ ,  $\text{кг/м}^3$  і в'язкістю  $\nu$ ,  $\text{м}^2/\text{с}$ ). Отже, загалом властивості пористого середовища і фільтруючої рідини визначили коефіцієнти фільтрації нафтопродуктів:

$$K_{\phi} = K_n \frac{\rho}{\nu}. \quad (6)$$

Коефіцієнт проникності, в основному, залежить від діаметра частинок пористого середовища, величини ефективної пористості ґрунту, структури порового простору, що визначаються формою частинок і звивистістю порових каналів. У ґрунтах з незмінною структурою пористого середовища значення  $K_n$  повинно бути постійним (умовно прийнято  $K_n=1$  дарсі ( $10^{-12} \text{м}^2$ )). Тоді зміна  $K_{\phi}$  при фільтрації нафтопродуктів залежатиме тільки від зміни їх густини й в'язкості внаслідок проходження в них фізико-хімічних процесів, що і враховувалося у ході проведення експериментальних досліджень.

Як фільтруюча рідина використовувалися сира нафта густиною  $865$  і  $875 \text{ кг/м}^3$  та світлі нафтопродукти густиною  $840$  і  $850 \text{ кг/м}^3$ . Кінематична в'язкість сирової нафти становила відповідно  $6 \cdot 10^{-6}$  і  $9 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$ ; світлих нафтопродуктів –  $4,0 \cdot 10^{-6}$  і  $4,5 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$ .

Лабораторні дослідження проникності глинистих ґрунтів (глин, суглинків та супісків) проводилися на зразках непорушеної структури за допомогою компресійно-фільтраційного приладу М.М. Маслова; фільтрування нафтопродуктів відбувалося зверху вниз. Об'єм взірця підтримувався незмінним. Гідралічний градієнт (відношення середнього напору до довжини шляху фільтрації) у дослідах становив  $10,7 - 60,3$ .

Результати дослідів свідчать, що швидкість фільтрації у глинистих ґрунтах загалом є функцією в'язкості нафтопродуктів та пластичності ґрунтів (табл. 2). Тож проникність глинистих ґрунтів після тривалої фільтрації зменшуватиметься зі збільшенням в'язкості як сирової нафти, так і світлих нафтопродуктів і навпаки – збільшуватиметься зі зменшенням їх пластичності. Наприклад, коефіцієнт фільтрації змінюється від  $(7,2 - 9,8) \cdot 10^{-6} \text{ м/добу}$  для сирової нафти алювіальних глин пластичністю  $17-18\%$  до  $(8,0 - 8,6) \cdot 10^{-3} \text{ м/добу}$  для супіску (пластичністю  $3-4\%$ ).

Експериментальні дослідження з визначення коефіцієнта фільтрації піщаних ґрунтів проводилися на фільтраційному приладі (трубка Знаменського). Дослідження проводилися за постійного гідралічного градієнта з урахуванням температурної поправки. Коефіцієнт фільтрації ( $K_{\phi}$ ) обчислюється за формулою

Таблиця 2 – Результати досліджень проникності глинистих ґрунтів після тривалої фільтрації (15÷200 діб) крізь них сирової нафти та світлих нафтопродуктів

Ґрунт	№ лаб. проби	Коефіцієнт фільтрації, м/добу			
		сирової нафти		світлих нафтопродуктів	
		$6 \cdot 10^{-6}$	$9 \cdot 10^{-6}$	$4.0 \cdot 10^{-6}$	$4.5 \cdot 10^{-6}$
Алювіальна глина	1 г	$3,7 \cdot 10^{-4}$	$1,8 \cdot 10^{-3}$	$3,2 \cdot 10^{-2}$	$7,5 \cdot 10^{-3}$
	2 г	$2,7 \cdot 10^{-4}$	$7,9 \cdot 10^{-4}$	$3,6 \cdot 10^{-2}$	$6,0 \cdot 10^{-3}$
	3 г	$3,1 \cdot 10^{-4}$	$2,3 \cdot 10^{-3}$	$2,5 \cdot 10^{-2}$	$4,1 \cdot 10^{-3}$
	4 г	$3,5 \cdot 10^{-4}$	$4,1 \cdot 10^{-4}$	$2,7 \cdot 10^{-2}$	$1,05 \cdot 10^{-2}$
	5 г	$3,2 \cdot 10^{-4}$	$3,0 \cdot 10^{-3}$	$2,9 \cdot 10^{-2}$	$2,6 \cdot 10^{-2}$
Алювіальний суглинок	1с	$1,5 \cdot 10^{-2}$	$3,7 \cdot 10^{-2}$	$1,95 \cdot 10^{-1}$	$1,2 \cdot 10^{-1}$
	2с	$1,7 \cdot 10^{-2}$	$2,96 \cdot 10^{-2}$	$2,4 \cdot 10^{-1}$	$1,6 \cdot 10^{-1}$
	3с	$3,8 \cdot 10^{-3}$	$3,1 \cdot 10^{-2}$	$1,1 \cdot 10^{-1}$	$1,0 \cdot 10^{-1}$
	4с	$7,1 \cdot 10^{-3}$	$3,2 \cdot 10^{-2}$	$1,8 \cdot 10^{-1}$	$1,7 \cdot 10^{-1}$
	5с	$6,4 \cdot 10^{-3}$	$2,9 \cdot 10^{-2}$	$2,9 \cdot 10^{-1}$	$2,5 \cdot 10^{-1}$
Супісок	1 п	$4,3 \cdot 10^{-2}$	$2,7 \cdot 10^{-2}$	$6,0 \cdot 10^{-2}$	$8,0 \cdot 10^{-2}$
	2 п	$4,9 \cdot 10^{-2}$	$5,0 \cdot 10^{-4}$	$7,0 \cdot 10^{-2}$	$9,0 \cdot 10^{-2}$
	3 п	$4,7 \cdot 10^{-2}$	$2,6 \cdot 10^{-2}$	$5,5 \cdot 10^{-2}$	$8,5 \cdot 10^{-2}$
	4 п	$4,1 \cdot 10^{-2}$	$5,5 \cdot 10^{-4}$	$6,5 \cdot 10^{-2}$	$9,0 \cdot 10^{-2}$
	5 п	$4,0 \cdot 10^{-2}$	$3,5 \cdot 10^{-2}$	$7,5 \cdot 10^{-2}$	$9,5 \cdot 10^{-2}$

$$K_{\phi} = \frac{Q}{t \cdot F \cdot I}, \quad (7)$$

де: Q – витрата профільтованого нафтопродукту, м<sup>3</sup>/с; F – площа поперечного перерізу металічної трубки, м<sup>2</sup>; t – температурна поправка; I – гідравлічний градієнт.

У процесі дослідження вивчався також вплив вологості ґрунтів на процес фільтрації. Вологість піщаних ґрунтів характеризується коефіцієнтом водонасичення (ступенем водонасичення), який розраховувався за формулою [6]

$$G = \frac{W \cdot \rho \cdot (1 - \Pi)}{\Pi}, \quad (8)$$

де: ρ – густина ґрунту; W – природна вологість; Π – пористість ґрунту.

Слід зауважити, що за коефіцієнта водонасичення, близького до 1, піщаний ґрунт є двофазною системою, що складається з мінеральної частини, води та повітря. Залежно від величини водонасичення піщані ґрунти згідно з [6] поділяють на сухі ( $G \leq 0,5$ ), дуже вологі ( $0,5 \leq G \leq 0,8$ ) та насичені водою ( $G > 0,8$ ).

Як видно з таблиці 3, швидкість фільтрації світлих нафтопродуктів зменшується з збільшенням коефіцієнта водонасичення піску, що може пояснено різною густиною нафтопродукту 800 кг/м<sup>3</sup> та води 1000 кг/м<sup>3</sup>. Протилежна тенденція спостерігається у випадку фільтрації сирової нафти. Тут швидкість фільтрації збільшується із збільшенням вологості піщаних ґрунтів.

Дана закономірність, вірогідно, ґрунтується, по-перше, на тому, що шар води, який обминає частини піску, зменшує абсорбційні процеси сирової нафти на їх поверхні. По-друге, при просочуванні нафти крізь пісок відбувається її часткове розчинення з “використанням” вільної і, певною мірою, зв’язаної води піщаного ґрунту,

Таблиця 3 – Залежність середніх значень коефіцієнта фільтрації (K<sub>ф</sub>) сирової нафти та світлих нафтопродуктів у дрібнозернистому піску від коефіцієнта водонасичення (G)

G	K <sub>ф</sub> , м/добу	
	сирі нафта	світлі нафтопродукти
0,06	0,85	0,3
0,2	0,8	0,4
0,4	0,75	0,6
0,6	0,68	0,75
0,8	0,5	0,8
0,97	0,1	0,82

що призводить до збільшення ефективної пористості піску і закономірно до збільшення проникності сирової нафти.

На проникність нафтопродуктів істотно впливає вміст глинистих частин у піщаних ґрунтах (табл. 4).

Таблиця 4 – Характер зміни коефіцієнта фільтрації (K<sub>ф</sub>) в дрібнозернистому піску залежно від вмісту глинистих частин ξ, (%) в процесі фільтрації сирової нафти та світлих нафтопродуктів

ξ, %	K <sub>ф</sub> , м/добу	
	сирі нафта	світлі нафтопродукти
2	0,92	0,58
4	0,93	0,5
6	0,9	0,4
8	0,75	0,25
10	0,6	0,15
12	0,4	0,1
14	0,2	0,05

Встановлено, що із збільшенням глинизації піску коефіцієнт фільтрації ( $K_f$ ) різко зменшується і за 15-16% вмісту глини наближається до нуля.

Таким чином, експериментальними лабораторними дослідженнями з фільтрації нафтопродуктів крізь ґрунти різного гранулометричного складу, пластичності та вологості встановлено: алювіальні глини і суглинки володіють низькими фільтраційними властивостями, коефіцієнт фільтрації ґрунтів в процесі фільтрації крізь них сирої нафти та світлих нафтопродуктів становить  $7,2 \cdot 10^{-6} - 1,4 \cdot 10^{-4}$  м/добу. Звідси випливає, що досліджувані ґрунти є ефективним екраном, що захищає підземні води від забруднення у випадку аварійних викидів нафтопродуктів. Супісок займає проміжне становище. Коефіцієнт фільтрації сирої нафти змінюється від  $1,1 \cdot 10^{-4}$  до  $9,7 \cdot 10^{-3}$  м/добу, а світлих нафтопродуктів –  $1,1 \cdot 10^{-2} - 1,8 \cdot 10^{-2}$  м/добу.

Проникність піщаних ґрунтів у процесі фільтрації нафтопродуктів залежить, в основному, від ступеня водонасичення та вмісту глинистих частин. Отже, розробка нафтових родовищ на ділянках залягання пісків вимагає профілактичних, захисних заходів і засобів для попередження викидів нафтопродуктів, оскільки піщані ґрунти володіють високими фільтраційними властивостями.

Масштаби забруднення зони аерації при викидах нафтопродуктів залежать, здебільшого, від об'єму витоку нафти, проникності ґрунтів, їх потужності, рельєфу місцевості, глибини залягання ґрунтових вод, їх живлення та розвантаження.

За даними роботи [7] процес забруднення зони аерації при витоках нафти на земній поверхні можна поділити на три стадії.

Перша стадія характеризується утворенням поверхневого ареалу через заповнення нафтою заглибин на поверхні землі. На другій стадії відбувається, здебільшого, вертикальна інфільтрація нафти. Третя стадія характеризується боковою міграцією нафти у ґрунтах, причому у більш проникних ґрунтах цей процес проявляється сильніше.

Вивчення забруднення ґрунтів, що захищають ґрунтові води, має теоретичне і практичне значення, оскільки у більшості випадків вони є своєрідним екраном для захисту підземних вод від забруднення.

Інфільтраційні процеси нафти можна записати рівнянням балансу рідини, що наведено у роботі [8]:

$$h \frac{ds}{dt} = Q(t) - g(t), \quad (9)$$

де:  $h$  і  $s$  – відповідна товщина і площа шару нафти, що вилілася на поверхню;  $Q$  – кількість нафти, що вилілася внаслідок відмови трубопроводу;  $g$  – кількість нафти, що інфільтрується в ґрунт;  $t$  – час фільтрації.

Інфільтрація починається з досягнення максимального змочування пор ґрунтів нафтою під дією сил гравітації і поверхневого натягу. З часом гравітаційні процеси проявляються мало.

Згідно з капілярною моделлю просочування нафти у ґрунт за незначної величини  $h$  справедливе рівняння (10)

$$2 \pi r_k \sigma \cos \Theta = 8 \pi \mu x \frac{dx}{dt}, \quad (10)$$

де:  $r_k$  – радіус капіляра;  $\sigma$  – коефіцієнт поверхневого натягу нафти;  $\Theta$  – кут змочування ґрунту;  $\mu$  – в'язкість нафти.

Розв'язуючи рівняння (10), одержимо глибину  $x = \beta_0 \sqrt{t}$  та швидкість просочування:

$$v = \frac{\beta_0}{2} 2\sqrt{t}; \quad \beta_0 = \sqrt{r_k \sigma \cos \Theta / 2\mu}. \quad (11)$$

Відтак, по завершенні другої та третьої стадії формування ареалів нафтового забруднення у верхній частині зони аерації нафта або нафтопродукти можуть надходити у ґрунтові (підземні води), забруднюючи їх.

Викид нафтопродуктів у водне середовище є найбільш шкідливим, оскільки їх концентрація від 0,1 мг/л робить воду непридатною для вживання [9]. Крім цього, на поверхні води нафта розливається тонким шаром, утворюючи нафтову пляму, і захоплює, залежно від масштабів викидів, простір у десятки квадратних кілометрів, що впливає на живі організми, які, перебуваючи під плівкою, поступово задихаються.

Зауважимо: якщо процес формування нафтового забруднення на відкритих водних об'єктах достатньо вивчений, то у підземних водах – недостатньо, а саме вони є основним джерелом для питного і господарського водопостачання. Тут на процес формування ареалів нафтового забруднення впливають такі параметри, як фізичні властивості водомістких ґрунтів, конвективне перенесення, сорбція, дифузія, поперечна та поздовжня дисперсія, захищеність водоносних горизонтів тощо.

Враховуючи багатофракційність сирої нафти і складність відображення вказаних вище чинників для аналітичних розрахунків, з метою прогнозування формування ареалів нафтового забруднення доцільно використовувати фізичне моделювання. Принципи фізичного моделювання процесів забруднення ґрунтових вод соляними розчинами різної концентрації наведені у роботах [10-12].

## Висновки та рекомендації

Аналіз вітчизняного і зарубіжного досвіду свідчить, що нафта і нафтопродукти є найбільш шкідливими речовинами для навколишнього середовища, причому їх негативний вплив охоплює всі його компоненти. Шляхом дослідження впливу нафти та нафтопродуктів на довкілля виявлено особливості формування нафтового забруднення у просторі і в часі залежно від швидкості фільтраційного потоку, вологості, проникності та фільтрації пластів. Результати спостережень за зміною концентрації нафти у водному потоці, свідчать, що ареал забруднення формується вже з надходженням перших порцій сирої нафти.

Масштаби забруднення зони аерації при викидах нафтопродуктів залежать, здебільшого, від: об'єму витоку нафти; проникності ґрунтів та їх потужності; рельєфу місцевості; глибини залягання ґрунтових вод, їх живлення та розвантаження. Для прогнозування масштабів нафтового забруднення доцільно використовувати фізичне моделювання.

### **Література**

1 Лозоновская И.Н. Экология и охрана биосферы при химическом загрязнении: учеб. пособие для хим., химико-технол. биол. спец. вузов / И.Н.Лозоновская, Д.С.Орлов, Л.К.Садовникова. – М.: Высш. школа, 1998. – 287 с.

2 Грудз В.Я. Математичне моделювання процесу нестационарної фільтрації рідин у водоносному горизонті / В.Я. Грудз, Б.Ю. Депутат // Розвідка та розробка нафтових і газових родовищ. – 2005. – № 4(17). – С.57-59.

3 Ogata A. Two – dimensional steady dispersion in a saturated porous medium / J. Rese U. S. Geol. – Sur. – 1976. – Vol. 4. – № 3. – P. 277 – 284.

4 Семчук Я.М. Дослідження особливості формування нафтового забруднення зони аерації на фізичній моделі / Я.М. Семчук, Р.М. Говдяк // Розвідка і розробка нафтових і газових родовищ. – 2001. – Вип.38. – С. 151-157.

5 Семчук Я.М. Дослідження проникності ґрунтів зони аерації при аварійних викидах нафтопродуктів / Я.М. Семчук, Р.М. Говдяк // Розвідка і розробка нафтових і газових свердловин. – 1997. – Вип. 34. – С. 219 – 223.

6 Ломтадзе В.Д. Методы лабораторных исследований физико-механических свойств горных пород / В.Д. Ломтадзе. – Л: Недра, 1972. – 308 с.

7 Телегин Л.Г. Охрана окружающей среды при сооружении и эксплуатации газонефтепроводов: учеб. пособие для вузов / Л.Г. Телегин, Б.Н. Ким, В.И. Зоненко. – М.: Недра, 1988. – 188 с.

8 Мазур И. Катастрофу еще можно предотвратить / И. Мазур // Нефть России. – 1995. – №36. – С.4-9.

9 Семчук Я.М. Прогнозні оцінки забруднення компонентів навколишнього середовища нафтогазопродуктами за допомогою показників екологічної безпеки / Я.М.Семчук, Р.М. Говдяк // Розвідка і розробка нафтових і газових родовищ. – 2000. – Вип. 37. – С. 146 – 151.

10 Атрошенко Ф.Г. Изучение миграции высокоминерализованных рассолов на физической модели: в кн.: Записки ЛГИ / Ф.Г. Атрошенко, Н.С. Петров, А.Н. Шарый. – 1982. – С. 107 – 117.

11 Семчук Я.М. Изучение миграции высокоминерализованных рассолов в районе хвостохранилища Калушского производственного объединения “Ориана”: в сб. Совершенствование технологий добычи и переработки калийных руд Прикарпатья. – Черкасы.: ОНИИТэ-ХИМ, 1984. – 115 с.

12 Семчук Я.М. Результаты исследования засоления грунтовых вод на калийных предприятиях // Калийная промышленность.- 1983. Вип. 1. – С. 9-13.

*Стаття поступила в редакційну колегію*

*06.04.10*

*Рекомендована до друку професором*

*О.М.Адаменком*