

**Особенности доплеровских спектров радиолокационных сигналов наземных объектов как информационный параметр для их распознавания станциями артиллерийской разведки**

В.В. Атаманюк

*Рассмотрена математическая модель радиолокационного сигнала от подвижного сложного объекта. Описана экспериментальная установка для исследования характеристик рассеивания наземных радиолокационных объектов. Приведены результаты экспериментальных исследований радиолокационных сигналов некоторых подвижных объектов. Выполненные исследования позволяют сделать вывод, что существуют характерные особенности доплеровских спектров радиолокационных сигналов, которые дают возможность идентифицировать как радиолокационные объекты, так и режимы их работы.*

**Ключевые слова:** подвижный радиолокационный объект, радиолокационный сигнал, спектр радиолокационного сигнала, эффект Доплера, доплеровская частота.

**Features of the Doppler spectra of the radio-location signals of ground objects as informative parameter for their recognition by the stations of artillery reconnaissance**

V. Atamanjuk

*The mathematical model of the radiolocation signals from moving complex objects is considered. The experimental set-up for the scattering characteristics of ground radiolocation objects investigations is described. The experimental results of the radiolocation signals studies for some moving objects is presented. The performed studies allow to conclude that there are some characteristic features of Doppler spectra of the radiolocation signals, which make possible to identify radiolocation signals and their functioning regimes as well.*

**Key words:** moving radiolocation object, radiolocation signal, radiolocation signal spectrum, Doppler effect, Doppler frequency.

УДК 502.7:36

С.Л. Данилюк, Ю.С. Туровець

*Центральний науково-дослідний інститут ЗС України, Київ***ОЦІНКА РОЗПОВСЮДЖЕННЯ ЗАБРУДНЕНЬ У ЗОНАХ ІНТЕНСИВНОГО ВОЄННО-ТЕХНОГЕННОГО НАВАНТАЖЕННЯ ВІЙСЬКОВИХ ПОЛІГОНІВ СУХОПУТНИХ ВІЙСЬК**

*Стаття присвячена комплексному підходу до оцінки розповсюдження забруднень у ґрунтах і ґрунтових водах у зонах інтенсивного воєнно-техногенного навантаження військових полігонів на основі ландшафтного профілювання та імітаційного моделювання.*

**Ключові слова:** воєнно-техногенне навантаження, розповсюдження забруднень у ґрунтах і ґрунтових водах, військова природно-техногенна геосистема, ландшафтне профілювання.

**Постановка проблеми, аналіз останніх досліджень і публікацій**

Інтенсивна бойова підготовка на військових полігонах Сухопутних військ Збройних Сил України в умовах проведення Антитерористичної операції на Сході України є одним із найважливіших чинників підтримки їх високої боєготовності. Наслідком воєнно-техногенного навантаження (ВТН) від заходів бойової підготовки є забруднення складових навколишнього природного середовища. Так на навчальних об'єктах військових полігонів (ВП), де

проводяться стрільби із широкого спектра систем тактичної зброї, спостерігається забруднення ґрунтів та ґрунтових вод як головного "депо" повітряних і наземних викидів важких металів, залишків вибухових речовин і пороху [1].

Питанню екологічної оцінки та моделювання розповсюдження забруднюючих речовин від джерел промислового та агротехнічного походження для прогнозування змін стану навколишнього природного середовища присвячено низку публікацій вітчизняних та зарубіжних авторів [3–8]. Проте застосування систем зброї і військової техніки на ВП Сухопутних

військ (СВ) Збройних Сил України в умовах, наближених до реальних, характеризується специфікою багатофакторного та циклічного воєнно-техногенного навантаження бойової підготовки (БП) на довір'я [5, 6].

Під час визначення екологічного стану ґрунтів користуються в основному якісно-оціночними ландшафтно-геохімічними методами, які спрямовані на встановлення фактичного забруднення і дають можливість провести ретроспективний аналіз наслідків техногенних впливів [9-12]. Але для прогнозування наслідків дії тих чи інших воєнно-техногенних джерел забруднень територій та визначення профілактичних заходів і заходів з рекультивациі забруднених територій вони не придатні з огляду на їх високу локальність, енергетичну потужність і хімічну градієнтність [13-15]. Принципово важливим є те, що система "ґрунти – зона ненасиченої фільтрації – ґрунтовий водоносний горизонт", яка депонує значну частину воєнно-техногенних забруднень, з часом впливає на екологічний стан біосфери, поверхневої гідросфери та приземної атмосфери.

Під час вирішення завдань воєнної екології тільки прецизійні методи можуть дати необхідні за точністю розрахунки забруднення ґрунтів і ґрунтових вод та прогнозувати його розвиток у локальних зонах у межах навчальних об'єктів (НО) та функціональних зон ВП [13]. Основу для таких методів можуть скласти математичні моделі, які з високим ступенем точності описують процеси утворення техногенних полів розподілу забруднення (атмогеохімічних, ландшафтно-геохімічних, гідрогоехімічних) унаслідок постійного чи періодичного впливу заходів БП на відповідну територію, визначають швидкість і напрями його розповсюдження.

На сьогодні для прогнозування екологічних наслідків воєнно-техногенного навантаження застосовують методи математичного моделювання (детерміновані; статистичні; змішані (детерміновано-ймовірнісні); імітаційні) [15]. Математичні моделі більш змістовні та потребують менше експериментальних даних, ніж статистичний прогноз. У випадку ж відсутності необхідної кількості початкових даних для моделі вони можуть бути замінені, як і в якісних методах, усередненою або експертною оцінкою [3, 17] і в такому випадку ми можемо говорити про експертно-моделюючу систему.

У свою чергу, зміни гідрогоехімічних умов горизонту ґрунтових вод в силу значної уповільненості їх руху (10–100 м/рік) і сорбційної здатності порід доцільно розглядати окремо на базі гідрогоеміграційних моделей.

### Формулювання мети статті

Мета цієї статті – розробити комплексний підхід до екологічного оцінювання забруднення територій

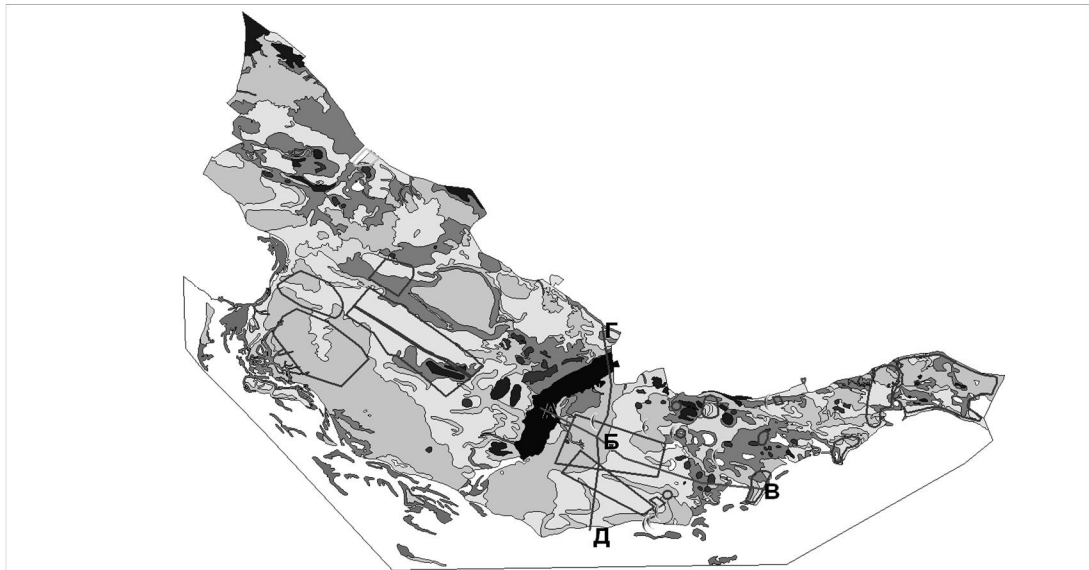
інтенсивного воєнно-техногенного навантаження із застосуванням ландшафтного профілювання та імітаційного моделювання із врахуванням геохімічних і гідрометеорологічних умов, беручи до уваги те, що атмогеохімічна система військового полігону "приземна атмосфера – ґрунт" є головною у перерозподілі воєнно-техногенних навантажень і формуванні екологічних умов.

### Викладення основного матеріалу

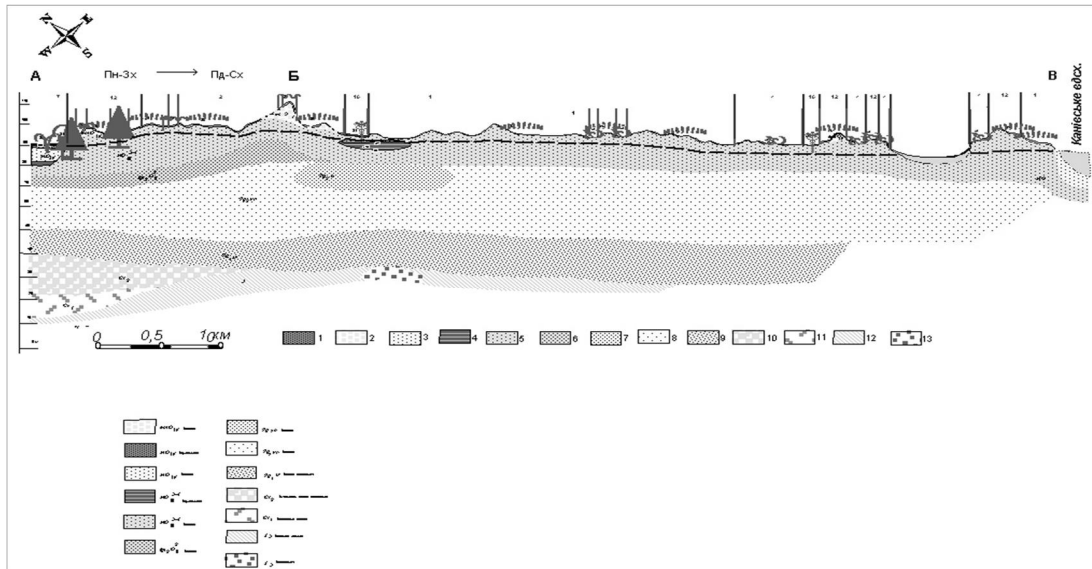
**Дослідження розповсюдження забруднюючих речовин.** Більшість речовин, які утворюються внаслідок застосування систем зброї і військової техніки, являють собою тверді, розчинні чи дрібнодисперсні речовини, які або одразу потрапляють на поверхню землі або осідають на неї з атмосфери. Таким чином, основним об'єктом забруднення для НО ВП виступає верхня зона літосфери у складі ґрунту та підстильних порід. Завдяки дифузійно-дисперсійним та конвективним процесам (фільтрації, інфільтрації), а також процесам розчинення, сорбції-десорбції поверхневе забруднення ґрунтів переноситься з верхніх шарів у підстильні породи зони ненасиченої фільтрації та ґрунтові води, де може або накопичуватись у вигляді геохімічних аномалій за наявності геохімічних бар'єрів, або розповсюджуватись на значні відстані з ґрунтовими водами. Тому, хоча забруднення ґрунтів НО від заходів БП унаслідок проведення військових навчань має локальний характер, однак практичні прояви цього забруднення можуть впливати на екологічний стан прилеглих територій регіону дислокації ВП СВ.

Для проведення оцінювання і прогнозування впливу забруднення воєнно-техногенного походження на екологічний стан складної військової природно-техногенної геосистеми [12] доцільно застосувати процедуру ландшафтного профілювання, яка дозволяє створити математичні моделі ландшафтних профілів завдяки процедурам інтерполяції поверхонь і шарів профілів, визначити їх відповідність формам рельєфу, літологічній основі та рівню залягання ґрунтових вод.

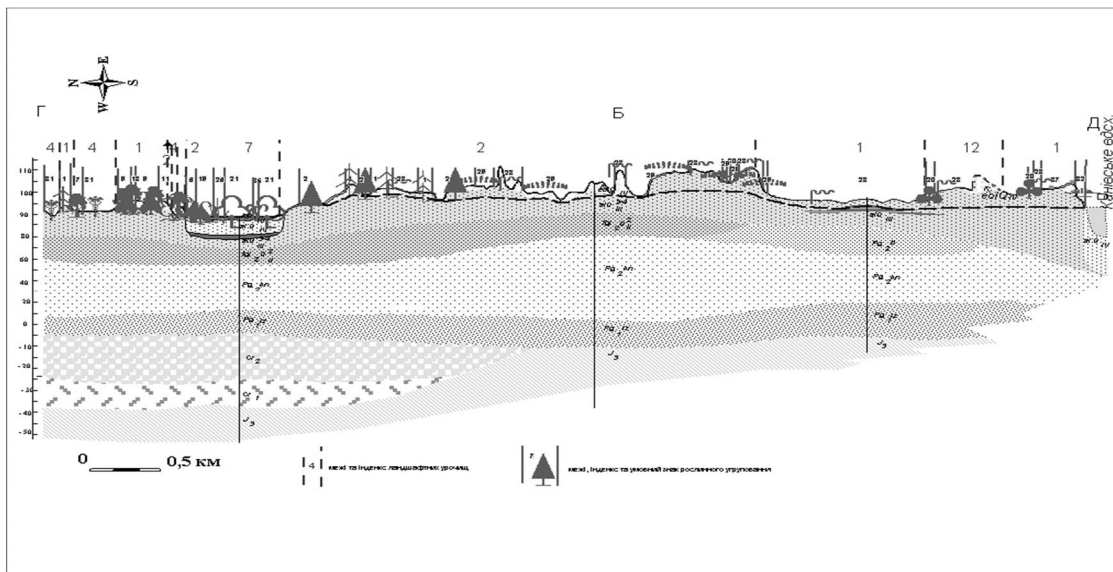
Розглянемо приклад математичного моделювання та експертної екологічної оцінки забруднення від ВТН із проведенням ландшафтного профілювання території для ВП ракетних військ і артилерії "Дівички". Спільні комплексні дослідження проводились з відділом ландшафтознавства Інституту географії НАНУ [17, 18]. Полігон займає фронтальну та центральну частину Київського ландшафту першої надзаплавної тераси Дніпра. З півдня полігон обмежений урізом Канівського водосховища. Надзаплавна тераса складена головним чином пісками потужністю від 0,8 до 2 м з дерново-підзолистими піщаними ґрунтами, що підстиляються безкарбонатними суглинками. На рис. 1 наведено ландшафтну карту та зображення типових ландшафтних профілів, які перетинають



а



б



в

Рис. 1. Ландшафтні профілі: а – загальна схема; б – профіль А-Б-В; в – профіль Г-Б-Д

котел артилерії та мішеневе поле директриси для стрільби прямою наводкою (зони інтенсивного ВТН) та найбільш характерні для цієї території форми рельєфу.

На профілях відображено геологічну будову і сучасний рослинний покрив [18]. Проведений аналіз забруднення ґрунтів речовинами військово-техногенного походження в місцях розташування зон мішеневих полів НО засвідчив, що на них значення концентрацій деяких забруднюючих речовин перевищує встановлені норми у 5–20 разів [18, 19].

Перед пробовідбором було проведено аналіз факторів військово-техногенного навантаження та складу забруднюючих речовин, які утворюються у результаті проведення заходів бойової підготовки у функціональних зонах та підзонах ВП.

Польові дослідження на полігоні показали, що забруднення на його території має зональний характер і групується навколо НО, що залучаються до проведення та забезпечення заходів бойової підготовки з використанням озброєння та військової техніки, а також є головними джерелами ВТН.

Під час вибору ландшафтних профілів ми керувалися проведенням їх через місцевий вододіл, який представлений Вовчими буграми (котел артилерії та мішеневе поле директриси для стрільби

прямою наводкою), до водоприймачів (Канівське водосховище та заплава і болото Шкенделі).

При цьому бралось до уваги, що вододіли та урізи водотоків (боліт тощо) є міграційними межами територій, де відбувається перебудова техногенних геохімічних ландшафтів. Для відпрацювання комп'ютерної технології з метою побудови математичних моделей профілів було застосовано регулярний крок обстеження високої частоти за лінією профілів. На першому етапі гіпсометрична крива ландшафтних профілів була складена за топографічною картою з подальшим польовим уточненням шляхом інструментальної зйомки в червні 2005 року під час проведення польових досліджень на полігоні «Дівички» [18].

Кількісні характеристики визначених концентрацій забруднюючих речовин-індикаторів за результатами хімічних аналізів проб, відібраних на лінії профільного розрізу ВП «Дівички», наведено у табл. 1.

Кількісні характеристики визначених пошарово (10 см глибина шару ґрунту або зона найбільш активного добового вологопереносу) концентрацій забруднюючих речовин-індикаторів за результатами хімічних аналізів проб, відібраних у котлі артилерії біля підшви одного з Вовчих бугрів на лінії профільного розрізу ВП «Дівички», наведено в таблиці 2.

Таблиця 1

**Кількісні характеристики визначених концентрацій забруднюючих речовин-індикаторів за результатами хімічних аналізів проб, відібраних на лінії профільного розрізу ВП «Дівички»**

Точки пробовідбору	Функціональна зона чи підзона	Нітратний азот, мг/кг	Нітрати, мг/кг	Нітратний азот, мг/кг	Аміак, мг/кг	Свинець, мг/кг	Кадмій, мг/кг
№ 6	Вогневі позиції	< 2,80	<12,4	-	-	29,6	0,13
№ 7	Мішеневе поле	-	-	12,7	56,3	8,0	0,05
№ 15	Придорожня смуга	-	-	-	-	3,2	0,05
№ 16	Селітебна зона	3,50	15,5	-	-	9,5	0,02
№ 2	Буферна зона	< 2,80	<12,4	-	-	3,9	0,03
№ 4	Буферна зона	7,20	31,9	-	-	5,8	0,08
№ 13	Буферна зона	< 2,80	<12,4	-	-	2,0	0,03

Таблиця 2

**Кількісні характеристики визначених пошарово концентрацій забруднюючих речовин-індикаторів, відібраних у котлі артилерії біля підшви одного з Вовчих бугрів на лінії профільного розрізу ВП «Дівички»**

№, з/п	Шар ґрунту, см	Pb, мг/см <sup>3</sup>	Cd, мг/см <sup>3</sup>	Mn, мг/см <sup>3</sup>	Zn, мг/см <sup>3</sup>	Cu, мг/см <sup>3</sup>	Cr, мг/см <sup>3</sup>	W, мг/см <sup>3</sup>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> , мг/см <sup>3</sup>	NO <sub>3</sub> , мг/см <sup>3</sup>
1	0-10	3	0,1	2,6	5,9	2,84	15	60	140	21
2	10-20	3,4	0,1	2,6	3,6	1,48	18	35	120	26
3	20-30	2,3	0,1	1,8	2,29	1,34	17	14	120	23
4	30-40	2,2	0,1	2,1	2,09	1,34	22	<10	130	19
5	40-50	2,4	0,1	2,8	3,13	1,4	27	<10	120	14
6	50-60	2,2	0,1	2,2	2,91	1,34	12	<10	100	6
7	60-70	3,8	0,1	4,6	3,56	2,3	18	<10	110	9
8	70-80	2,7	0,1	1,8	2,5	1,5	14	<10	180	6

На профілях А-Б-В і Г-Б-Д (рис. 1) схематично нанесено дані про геологічну будову [23], ґрунти, ґрунтоутворюючі породи, дані буріння, рослинність, ґрунтові води, а також межі природних територіальних комплексів (ПТК).

Інтенсивність міграції забруднюючих речовин у ґрунтах та ґрунтових водах визначається гідротермічними та геохімічними умовами. До останніх, зокрема, належать кислотність ґрунтів, вміст гумусу та характер окислювально-відновлювальних і сорбційно-десорбційних умов у товщі ґрунтового профілю, яке відображається через глибину залягання глейового горизонту ґрунту.

Зокрема, кислотність ґрунтів впливає на розчинність та рухомість забруднювачів, на їхню здатність проникати через ґрунт до ґрунтових та поверхневих вод, на кореневе надходження забруднювачів до рослин. Водночас вміст гумусу та глинистих мінералів є показниками його здатності до фіксації та акумуляції забруднювачів у ґрунті, отже виступають факторами його самоочищення. Значення деяких геохімічних показників для типових різновидів ґрунтів полігону «Дівички» наведені у таблиці 3 [23].

Таблиця 3

**Значення деяких геохімічних показників для типових різновидів ґрунтів полігону «Дівички» [23]**

Різновиди ґрунтів	pH	Вміст гумусу або органіки	Глибина глей. горизонту, м
1. Дернові слабо розвинені піщані на незакріплених алювіальних або еолових пісках	>4,5	< 0,2 %	1,5–2,5
2. Дерново-підзолисті піщані на алювіальних пісках	>4,5	0,2–1,0 %	1,5–2,5
3. Дерново-підзолисті піщано-піщані на алювіальних пісках	4,5–5,0	1,0–2,0 %	1,5–2,5
4. Заплавні дернові глейові піщані на алювіальних пісках	5,0–5,5	1,0–2,0 %	0,7–1,5
5. Дерново-підзолисті глейові піщані на алювіальних пісках та дернові глейові піщано-піщані на делювіальних пісках	5,5–6,0	2,0–5,0 %	0,3–0,7
6. Торфво-болотні на низинних торфях	<6,0	Орг. речовина 80%	0–0,3

Беручи до уваги здатність екосистем, їхніх елементів до акумуляції воєнно-техногенних забруднень та інших речовин і елементів, у кожному ландшафті можна виділити на основі ландшафтної

карти спеціальні зони їх підвищеного накопичення (різкого уповільнення міграції), які мають назву ландшафтно-геохімічних бар'єрів. Серед них:

гумусові ландшафтно-геохімічні бар'єри, які відображають здатність ґрунтів до іммобілізації забруднювачів у верхній частині гумусового горизонту;

глейові ландшафтно-геохімічні бар'єри, які вказують на глибину залягання глейового ґрунтового горизонту, на якому відбувається зміна окислювального геохімічного середовища на відновлювальне і підвищується вологість ґрунту, внаслідок цього зростає рухомість деяких елементів, зокрема тих, що відзначаються змінною валентністю.

Серед ґрунтів полігону максимальна кислотність (pH<4,5) властива сухим різновидам ґрунтів підвищених ділянок першої тераси Дніпра. А у замкнених низинах із органомними ґрунтами кислотність дещо менша (pH 6,0–6,5), що може сприяти акумуляції забруднювачів у подібних місцевостях.

Вміст гумусу у верхніх горизонтах типових ґрунтів полігону «Дівички» змінюється в межах від 0,2–1,0 % у дерново-підзолистих піщаних ґрунтах сухої вирівняної та горбистої тераси до 2,0–5,0 % у дернових та дерново-підзолистих глейових піщано-піщаних ґрунтах низької сиріої тераси та лощин.

Глибина горизонту максимального оглеєння у ґрунті є важливим показником міграції елементів зі змінною валентністю. До таких належать, зокрема, залізо, алюміній, плутоній тощо. Для цих елементів глейовий горизонт відіграє роль геохімічного бар'єру на шляху їхньої міграції. Для території полігону «Дівички» глибина залягання глейового горизонту у ґрунтах варіює від 0,0–0,3 м для торфво-болотних та дернових глейових ґрунтів до 2,0–2,5 м і більше для сухих дерново-підзолистих ґрунтів.

Таким чином, геохімічні умови полігону «Дівички» формуються залежно від ландшафтної структури території, визначаючи характер, конфігурацію техногенних геохімічних полів і потенційну інтенсивність можливих міграційних потоків речовин-забруднювачів. Завдяки цьому, залежно від форм рельєфу, літології поверхневих відкладень та характеру рослинного покриву, утворюються зони переважаючого винесення, або транзиту, або ж акумуляції речовин та елементів, які були залучені до міграції.

**Використання детерміновано-ймовірнісних моделей для фізико-математичного опису геофільтраційних процесів.** Оскільки геоміграційні процеси в літосфері розвиваються дуже повільно у часі та досить складно у просторі, для їх розуміння краще за все використовувати детерміновано-ймовірнісні моделі, в яких фізико-математичний опис геофільтраційних процесів за допомогою

диференційних рівнянь модифікується шляхом стохастичного подання коефіцієнтів, що входять у ці рівняння. Цей спосіб дає змогу найбільш повно врахувати фізичну суть процесу та певну невизначеність щодо вимірюваних даних.

У класичному підході, який використовувався для визначення концентрації забруднюючої рідини в пористому середовищі, рівняння математичної моделі адвекції-дисперсії має вигляд [21, 22]

$$\frac{\partial}{\partial x} (D \frac{\partial C}{\partial x}) - v \frac{\partial C}{\partial x} = \frac{\partial C}{\partial t}, \quad (1)$$

де  $D$  – коефіцієнт дисперсії,  $C$  – концентрація розчину,  $v$  – швидкість руху підземних вод,  $x$  – просторова координата,  $t$  – час.

Це рівняння виражає закон збереження маси забруднення у водоносному шарі.

Середня лінійна швидкість, з якою рідина протікає через пористий водоносний шар визначається таким рівнянням [19]

$$v = - \frac{K}{\theta \mu} \frac{dh}{dx}, \quad (2)$$

де  $K$  – гідравлічна провідність середовища;  $\theta$  – пористість середовища;  $\mu$  – в'язкість рідини;  $\frac{dh}{dx}$  – гідравлічний градієнт.

Значення гідравлічного градієнта визначається з рівняння

$$\frac{\partial h}{\partial t} - \frac{K}{\mu} \frac{\partial^2 h}{\partial x^2} = Q, \quad (3)$$

де  $Q$  – кількість рідини, що потрапила у ґрунт.

Таким чином, математичне моделювання процесу розповсюдження забруднювачів у літосфері ВП складається з двох частин: спочатку потрібно промодельовати процеси геофільтрації, за допомогою чого знаходять показники швидкості фільтрації; після цього будується міграційна модель виходячи з основних положень сучасної теорії геоміграційних процесів [20, 21].

У наведеній вище узагальненій моделі транспортування забруднень у ґрунтах розглядається виключно пористе середовище, що є характерним для ВП «Дівички», для якого виконуються умови щодо суцільності середовища. Результати тестування показали, що класичну модель геоміграції можна застосовувати для алювіальних геологічних відкладень (тобто пісків, глини тощо) та пористих порід (піщаники, вапняки тощо).

Джерела воєнно-техногенного забруднення, які утворюються на НО внаслідок заходів бойової підготовки, мають за своєю природою досить специфічний характер. Перш за все, вони здійснюють

активний вплив на фізичні характеристики середовища, в яке проникає забруднення. Їхній вплив на абіотичне середовище має імпульсно-точковий характер. Тому під час моделювання права частина рівняння (3) повинна бути представлена у вигляді комбінації узагальнених функцій типу  $\delta$ -функцій Дірака [19]:

$$f(x, t) = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^M \delta(t - t_i) \cdot \delta(x - x_j) \cdot \varphi_{ij}(t, x), \quad (4)$$

де  $t_i$  – момент викиду забруднюючих речовин (моменти виконання вогневих завдань);  $x_j$  – координати розташування точкового джерела викиду (координати розташування мішеневих полів);  $\varphi_{ij}$  – інтенсивність викиду забруднюючих речовин.

Інтенсивність викиду можна оцінити, наприклад, за такою формулою

$$\varphi_{ij} = 0,7 \cdot k_{BB} \cdot n \cdot \bar{\omega}_{BB} \cdot \bar{\rho}_{BB}, \quad (5)$$

де  $k_{BB}$  – коефіцієнт утворення газоподібних викидів;  $\bar{\omega}_{BB}$  – маса розривного заряду;  $\bar{\rho}_{BB}$  – щільність вибухової речовини;  $n$  – кількість снарядів для виконання вогневого завдання.

Наведені вище формули застосовані під час моделювання розповсюдження забруднень, які виникають у котлі артилерії та на мішеневих полях, оскільки основним джерелом забруднення в цьому випадку виступають також продукти вибуху вибухової речовини боєприпасу, що утворюються при виконанні артилерійських стрільб.

Так, унаслідок ударної дії вибуху снарядів ґрунт у місцях розташування котлів артилерії та мішеневих полів деформується, рухається, плавиться, що в результаті призводить до утворення штучного тріщинувато-пористого середовища зі стохастичним розподілом тріщин, яке змінюється після кожного вибуху. Отже, можна вважати, що для моделювання розповсюдження забруднення на військових полігонах потрібно застосовувати математичні моделі, в яких геометричне розташування тріщин не враховується явним чином, а визначається через стан деяких фізичних характеристик середовища (наприклад, осереднені в межах ділянок породного масиву значення проникності, пористості тощо).

**Імітаційне моделювання забруднень у ландшафтних розрізах котла артилерії.** У пакеті PDE Toolbox системи комп'ютерної математики MatLab 7.1 було проведено моделювання зміни концентрації забруднень у ландшафтних розрізах котла артилерії. На рис. 2 видно динаміку зміни концентрації розчину забруднюючих речовин за профілем місцевості до першого горизонту

грунтових вод на момент часу  $t=90$  днів від моменту

Для оцінки динаміки розповсюдження забруднень за даними математичного моделювання в пакеті PDE Toolbox системи комп'ютерної математики MatLab 7.1 було отримано залежності зміни концентрацій розчину забруднюючих речовин під час його розповсюдження ландшафтними профілями котла артилерії. Приклад графіків для ландшафтного профілю Г-Б-Д наведено на рис. 3.

**Уразливість підземних вод геохімічними чинниками ВТН.** Отримані дані свідчать, що в межах території впливу значної кількості ОП на стан щільності та проникності порід зони ненасиченої фільтрації, зростає уразливість підземних вод (УПВ) геохімічними чинниками ВТН. За результатами моделювання гідрогеохімічної міграції забруднюючих речовин можна зробити висновок щодо можливості оцінки УПВ за допомогою такого співвідношення:

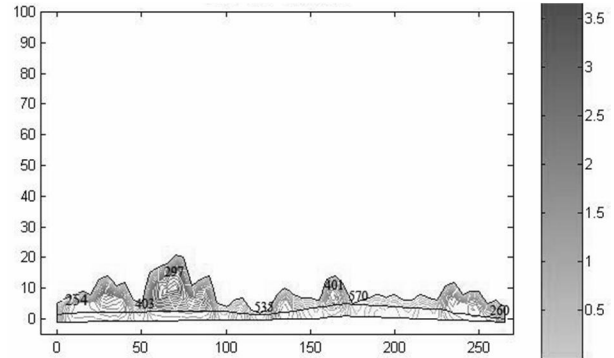
$$R=f(Q/D),$$

де  $R$  – показник рівня УПВ (порівняльний показник ризику забруднення ґрунтових вод у зоні впливу ОП);  $Q$  – показник кількості забруднюючої речовини, що потрапила у ґрунт (рівняння 3–5);  $D$  – узагальнений параметр захисної здатності системи “ґрунт-порода” зони ненасиченої фільтрації (можуть бути враховані параметри фільтраційного опору, сорбційної здатності тощо).

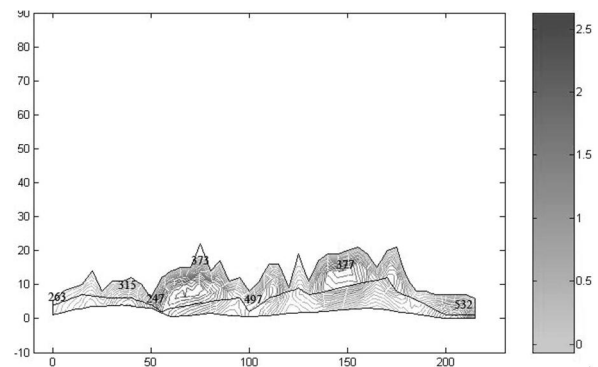
Загалом термін “уразливість підземних вод” в якості нижньої гідрогеохімічної границі військової природно-техногенної геосистеми (ВПТГС) “військовий полігон – навколишнє середовище” наближається за фізичним змістом до поняття “стійкість геологічного середовища”, яке багатьма авторами розглядається як комплекс природних

інтенсивного сніготанення.

властивостей, які формують характер реакції верхньої зони літосфери на техногенні впливи [24]. Але стосовно ВПТГС фактори УПВ та їх екологічна параметризація вимагають додаткового вивчення, враховуючи широке розмаїття гідрогенфільтраційних умов військових полігонів України.

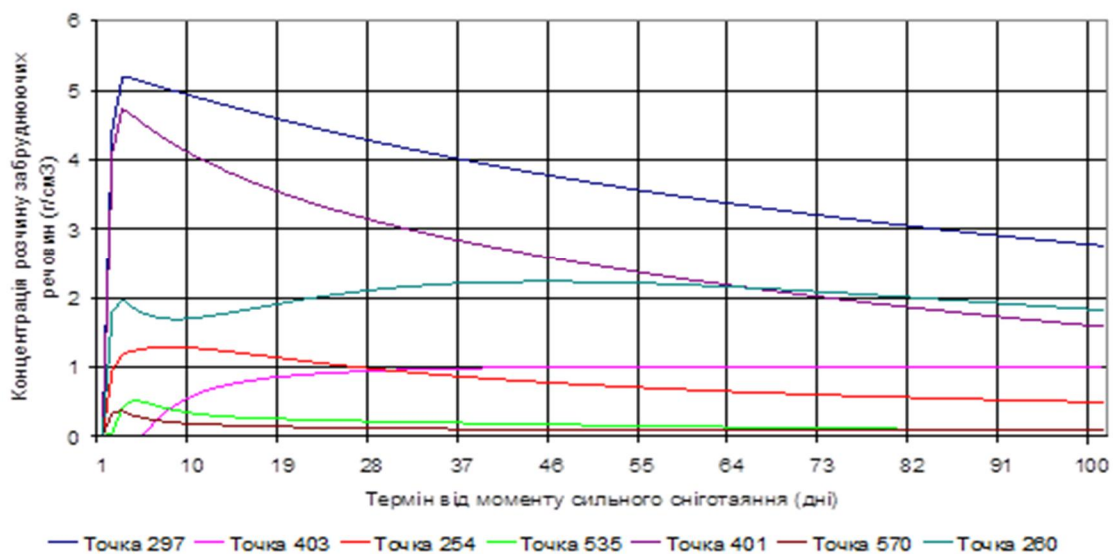


а – для профільного розрізу А-Б-В;



б – для профільного розрізу Г-Б-Д;

Рис. 2. Інтегральна картина стану розповсюдження забруднень ландшафтними профілями місцевості на момент часу  $t = 90$  днів



а

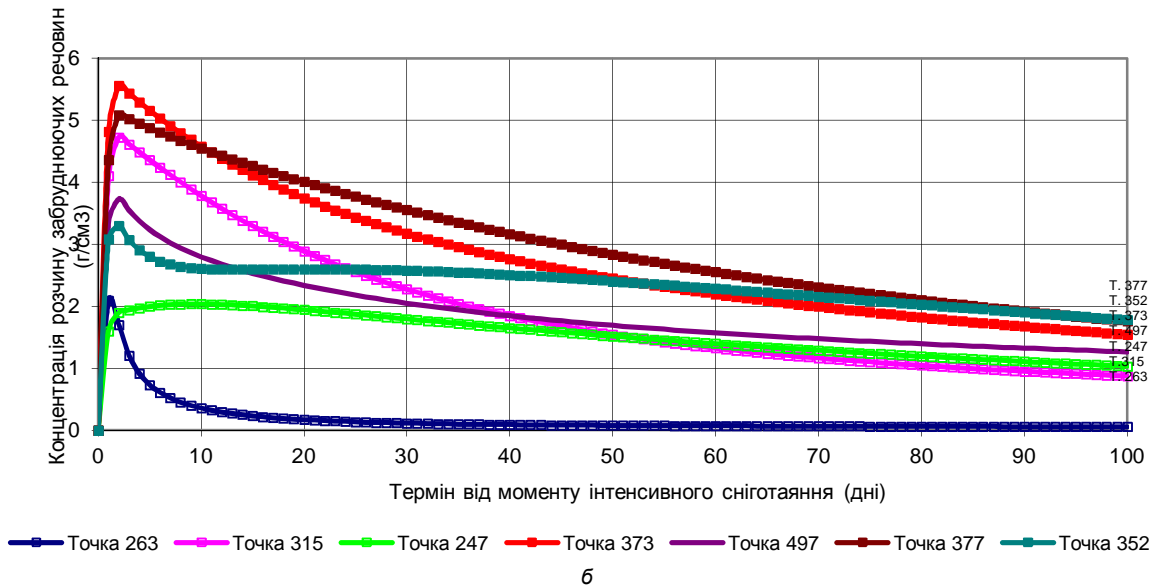


Рис. 3. Результати моделювання зміни концентрацій розчину забруднюючих речовин за профілем місцевості протягом 100 днів

### Висновки

Отже, метод профілювання дозволяє не тільки вивчати структуру ПТК і проводити їх картографування, а й досліджувати процеси функціонування і динаміку військових природно-техногенних геосистем. Головна мета складання профілів – виявлення взаємозв'язків усередині природних територіальних комплексів та їх зв'язаності одного з одним. Такі завдання найуспішніше можуть бути вирішені комплексним застосуванням геофізичних, геохімічних і математичних методів досліджень.

Вирішення задач екологічного моніторингу потребують використання прецизійних методів математичного моделювання, які забезпечують можливість отримання необхідної точності розрахунків екологічного стану та прогнозів його розвитку у локальних (місцевих) функціональних зонах, оскільки система екологічного моніторингу на військових полігонах на даний час не забезпечена адекватними методами як для проведення прогнозування розповсюдження мігрантів від джерел забруднення в ґрунтах, у яких би враховувалася специфіка цих забруднень, характерних саме для військової діяльності, так і для обґрунтування заходів щодо рекультивациі забруднених територій військових об'єктів.

Зазначимо, що використання детерміновано-імовірнісних математичних моделей для дослідження процесів транспортування забруднень у ґрунтах дасть змогу врахувати як фізичну суть процесів дослідження, так і статистичну невизначеність параметрів моделі.

У свою чергу, в розглядуваній області досліджень перспективним є комп'ютерне моделювання з використанням математичних моделей, які враховують

комплекс факторів, що відображають вплив на динаміку процесів розповсюдження забруднення, неоднорідність ґрунтів, вплив окремих видів озброєння на структуру ґрунту, обмеженість у часі та просторі застосування озброєння і військової техніки.

### Список літератури

1. Чумаченко С.М. *Методологічні основи проведення екологічної оцінки впливу бойової підготовки на довкілля військових полігонів* / С.М. Чумаченко // *Збірник наукових праць ННДЦ ОТ і ВБ України. Випуск 20.* – С. 105–115.
2. Беляев Н.Н. *Компьютерное моделирование динамики движения загрязнений в грунтах* / Н.Н. Беляев. – Днепропетровск, 2001. – 134 с.
3. Горев Л.Н. *Гидроэкологические модели. Книга 1* / Л.Н. Горев, П.И. Коваленко, В.И. Лаврик. – К.: *Аграрная наука*, 1999. – 439 с.
4. Hornung U. *Diffusion models for fractured Equations* / U. Hornung, R.E. Showalter // *J. Math. Anal. Appl.*, 1990. – P. 69–80.
5. Клемин В.В. *Обеспечение экологической безопасности при повседневной деятельности воинских частей и подразделений: Учебное пособие* / В.В. Клемин, Г.П. Луценко, В.А. Ременсон. – М.: *МО РФ*, 2000. – 304 с.
6. Романченко І.С. *Екологічне забезпечення військ* / І.С. Романченко, А.І. Світнев, С.Г. Бутенко. – К.: *НАОУ*, 2003. – 274 с.
7. Горбачук В.М. *Аналіз критичних ситуацій техногенної природи* / В.М. Горбачук, Л.Г. Тарасова. – К., 1993. – 110 с.
8. Лозовіцький П.С. *Оцінка забруднення ґрунтів території, прилеглих до Криворізького гірничорудного басейна* / П.С. Лозовіцький, С.М. Каленюк, В.К. Хільчевський // *Захист довкілля.* – 2000. – Вип.3(5). – С. 27–37
9. Петряшин Л.Ф. *Охрана окружающей среды* / Л.Ф. Петряшин, Г.Н. Лысяный. – М.: *Недра*, 1986. – 244 с.
10. Реймерс Н.Ф. *Экология (теории, законы, правила, принципы и гипотезы)* / Н.Ф. Реймерс. – М.: *Россия молодая*, 1994. – 367 с.



11. Гришин А.М. Моделирование и прогноз экологических катастроф / А.М. Гришин. // Экологические системы и приборы. – 2001. – № 2. – С. 28–33.

12. Мониторинг и прогнозирование геофизических процессов и природных катастроф / М.Д. Хуторский. – М., 1999. – 78 с.

13. Лисенко О.І. Про розвиток поняття «воєнна екологія» / О.І. Лисенко, І.В. Чеканова, С.М. Чумаченко, А.М. Турейчук // Наука і оборона. – 2004. – № 3. – С. 45–49.

14. Шеннон Р. Имитационное моделирование систем – искусство и наука / Р. Шеннон. – М.: Мир, 1978. – 418 с.

15. Математические методы механики жидкости и газа. – Днепропетровск, 1982. – 134 с.

16. Жучкова В.К. Методы комплексных физико-географических исследований: Учеб. пособие для студ. Вузов / В.К. Жучкова, Э.М. Раковская. – М.: Издательский центр «Академия», 2004. – 368 с.

17. Vasyly D. Pilot project Ecological assessment of the military training center «Divychky» and developing a framework for ecologically sound ecosystem management of military areas in Ukraine in frame of program of scientific substantiation of rehabilitation and nature management on «Divychky» military training area in 2004-2006 / D. Vasyly, S. Chumachenko, O. Dudkin, Y. Sytnik, S. Nesterenko, I. Marynin, V. Slobodyanyk, O. Yakovenko, O. Osadcha. – Kyiv, 2004. – 50 p.

18. Pilot project concerning the implementation of a nature management plan on a Ukrainian military training area: Final report draft. – Kyiv, 2005. 82 p.

19. Томашевська Т.В. Математичне моделювання процесів фільтрації в екологічно небезпечних зонах / Т.В. Томашевська // Збірник наукових праць, вип. 5. – К.: ННДЦ ОТ і ВБ України, 2001. – С. 225–228.

20. Басниев К.С. Подземная гидромеханика / К.С. Басниев, И.Н. Кочина, В.М. Максимов. – М.: Наука, 1993. – 120 с.

21. Коллинз Р. Течение жидкостей через пористые материалы / Р. Коллинз. – М., 1964. – 146 с.

22. Яковлев Е.А. Временное методическое руководство по проведению комплексных эколого-геологических исследований (на территории Украины) / Е.А. Яковлев, Г.Г. Лютый, В.И. Почтаренко, В.В. Кухар, В.И. Лялько, Б.А. Николаенко, В.А. Сляднев. – К.: ГПП «Геопрогноз», 1994. – 331 с.

23. Цымбал О.Н. и др. Комплексная геологическая карта М-36-ХІV (Березань) масштаба 1:200000. Отчет геологосъемочной партии № 42. Правобережная экспедиция по работам 1962–1964 гг. Кн. 1, 2, 3 – текст, 5 – графический материал.

24. Яковлев Е.А. Новые подходы при обосновании критериев оценки состояния геологической среды в углепромышленных районах Донбасса / Е.А. Яковлев, В.А. Сляднев, Н.А. Юркова // Экотехнологии и ресурсосбережение. – 2005. – № 4, – С. 39–43.

**Рецензент:** д.т.н., проф. кафедри телекомунікацій Інституту телекомунікаційних систем НТУУ «КПІ» О.І. Лисенко.

#### Оценка распространения загрязнений в зонах интенсивной военно-техногенной нагрузки военных полигонов Сухопутных войск

С.Л. Данылюк, Ю.С. Туровец

Статья посвящена комплексному подходу к оценке распространения загрязнений в грунтах и грунтовых водах в зонах интенсивной военно-техногенной нагрузки военных полигонов на основе ландшафтного профилирования и имитационного моделирования.

**Ключевые слова:** военно-техногенная нагрузка, распространение загрязнений в грунтах и грунтовых водах, военная природно-техногенная геосистема, ландшафтное профилирование.

#### Evaluation of pollution spreading in zones of intensive military-technogenic load of land forces' firing ranges

S. Danylyuk, Y. Turovets

The article is devoted to the integrated approach to the evaluation of pollution spreading in soils and groundwater in zones of intensive military-technogenic load of firing ranges based on the landscape profiling and simulation modeling.

**Key words:** military-technogenic load, pollution spreading in soils and groundwater, military nature-technogenic geosystem, landscape profiling.