

<https://doi.org/10.15407/10.15407/geotech2021.34.107>

УДК 550.681.3 (477.5)

**Хрушов Д.П., Чумаченко С.М., Сплодитель А.О.**

**Хрушов Д.П.**, д-р геол.-мінерал. наук, професор, Інститут геологічних наук НАН України, ORCID: 0000-0002-7978-2505, khrushchov@hotmail.com

**Чумаченко С.М.**, д-р техн. наук, зав. кафедри інформаційних систем, Національний університет харчових технологій, ORCID: 0000-0002-8894-4262, sergiy23.chumachenko@gmail.com

**Сплодитель А.О.**, канд.геогр.наук, н.с., Інститут геохімії, мінералогії та рудоутворення ім. М.П. Семененка НАН України, ORCID: 0000-0002-8109-3944, asplodytel@gmail.com

## МЕТОДОЛОГІЧНІ ЗАСАДИ ІМІТАЦІЙНОГО МОДЕЛЮВАННЯ ГЕОЛОГІЧНОГО СЕРЕДОВИЩА ТЕРИТОРІЙ ВІЙСЬКОВОЇ ДІЯЛЬНОСТІ (НА ПРИКЛАДІ ВІЙСЬКОВОГО ПОЛІГОНУ «ДІВІЧКИ»)

*Методологічна база теорії інформаційного забезпечення досліджень та робіт щодо поводження з геологічною складовою територій військової діяльності полягає в розробці типізації порушень геологічного середовища з виділенням типів військової діяльності і форм їх впливу, встановленням механізму та прогнозом розвитку геосистем. Методичну основу складає розробка принципів інформаційних моделей порушень геологічного середовища, які слугують базою для визначення методів і технологій ліквідації наслідків порушення геологічного середовища, тобто його відновлення. Метою впровадження цього методичного апарату є оптимізація структуризації геологічного середовища об'єкта, що забезпечить підвищення роздільної здатності і загальної адекватності інфогеологічної моделі. Методи, розроблені на принципах цієї парадигми, спрямовані на ліквідацію наслідків військової діяльності та відновлення території збройних конфліктів. Наземні дослідження розроблено з використанням концептуальних моделей і, зокрема, перевіркою основних компонентів цих моделей, що націлені на визначені ними невизначеності. У пакеті PDE Toolbox системи комп'ютерної математики MatLab 7.1.4 було проведено імітаційне моделювання розповсюдження забруднень у ландшафтних профілях котла артилерії військового полігону. Наведено картину зміни концентрації розчину забруднюючих речовин на профілі ландшафту до першого горизонту ґрунтових вод на момент часу  $t=90$  днів від моменту інтенсивного сніготанення. Для оцінки динаміки розповсюдження забруднень за даними математичного моделювання було отримано залежності зміни концентрацій розчину забруднюючих речовин при розповсюдженні його ландшафтними профілями котла артилерії військового полігону. Отримані дані свідчать, що в межах території впливу військової діяльності в залежності від стану цілності та проникності порід зони ненасиченої фільтрації зростає уразливість підземних вод до геохімічних чинників техногенного забруднення.*

**Ключові слова:** геологічне середовище, інфогеологічне моделювання, військовий полігон

**Вступ.** Військові дії (ВД) протягом сучасного етапу новітньої історії ведуться майже безперервно. Однак всупереч усім екологічним гаслам, які проголошуються світовою спільнотою (зокрема ООН, ЮНЕСКО, а також трансрегіональними військово-політичними організаціями – НАТО та ін.), досвід робіт з екологічного відновлення територій, порушених у результаті військової діяльності, в цілому можна розцінювати як незадовільний. Методолого-методичне забезпечення робіт базується на вузько спрямованих традиційних предметних методиках очищення геологічного середовища (ГС), приклади комплексного системного підходу мають одиничний характер. Це зумовлює неповноту і недостатню ефективність деяких природоохоронних проєктів цього напрямку.

Причина такого стану полягає у відсутності цілісної теорії відновлення навколишнього природного середовища територій, порушених у результаті військової діяльності. Насамперед ця

проблема є особливо актуальною для України з наслідками бойових дій на південному сході країни, що спричинили істотні і різноманітні порушення ГС із відповідними соціальними, економічними та екологічними ефектами [11].

Все вищенаведене зумовлює нагальну необхідність постановки наукової тематики з розроблення теорії інформаційного забезпечення досліджень і робіт щодо поводження з ГС територій військової діяльності.

### Матеріали та методи

Основним робочим інструментом забезпечення досліджень та робіт щодо поводження з геологічною складовою територій ВД є інформаційне моделювання. З огляду на переважно локальний рівень масштабності територій ВД, головним методичним прийомом може слугувати комплексна еколого-геологічна модель, що має бути представлена в інфогеологічному форматі [4, 5].

Розробка таких моделей проводиться на основі підходів інфогеології. Методичним апаратом структурування об'єктів для моделювання є принцип фреймової організації ГС [4, 5].

*Інфогеологічне визначення системи геологічного об'єкту ВД:* певний кінцевий об'єм ГС (або інфогеофрейм), що піддається дії факторів ВД.

Інакше кажучи, геологічний об'єкт території ВД – це антропогенно (техногенно)-геологічна система, що охоплює:

- первинну структурно-речовинну матрицю;
- явища і процеси порушень ГС як результат дії (впливу) військової діяльності.

*Предмет* досліджень з оцінки ГС наміченого об'єкта: механічні та фізико-хімічні характеристики його порушень у зв'язку з ландшафтно-формаційними і структурно-літологічними параметрами останнього.

*Структура цієї системи включає три групи факторів:*

1. Первинна структурно-речовинна матриця ГС (породний масив – твердофазна матрична основа і підземні води (ПВ) – флюїдна динамічна складова).

2. Початкові фактори впливу ВД (механічні деформації і фізико-хімічні порушення ГС).

3. Явища і процеси порушення ГС, просторово-часові виміри:

- *первинні:* деформації ґрунтового шару і структури породного масиву; порушення динаміки ПВ; використання забруднюючих та чужорідних речовин; захарашення поверхні;

- *вторинні:* розвиток геологічних явищ та процесів; механічні – деформації рельєфу; фізико-хімічні – забруднення ґрунтів і порід небезпечними та сторонніми речовинами, забруднення ПВ із динамічним поширенням у ГС; процеси самовідновлення ГС.

Ці фактори є загальними для всіх видів ВД і становлять зміст (предмет) інфогеологічного моделювання.

Нижче наведено узагальнені характеристики типових порушень ГС за видами ВД (див. вище).

1. Діяльність військових об'єктів:

1) Порушення рельєфу поверхні, ґрунтів – поверхневими технічними спорудами (будинки, ангари, трубопроводи тощо).

2) Порушення верхніх горизонтів ГС – приповерхневими і підземними спорудами (бункери, сховища паливно-мастильних матеріалів, бойових матеріалів тощо).

3) Забруднення ГС (порід, підземних вод) – паливно-мастильні матеріали, сольвенти, відходи гальваніки, дезактиваційні розчини і високотоксичні – залишки ракетного палива.

4) Захарашення поверхні (іноді підземних порожнин) твердими залишками і відходами різного складу.

Для різних типів військових об'єктів комплекси порушень різняться.

2. Бойові дії (і військові полігони).

1) Порушення рельєфу поверхні, ґрунтів, локально – верхніх горизонтів ГС (воронки вибухів, наслідки руху бойової техніки, захисні споруди – окопи, бліндажі, вогневі точки, протитанкові споруди і т. ін.).

2) Забруднення верхніх горизонтів ГС (порід, підземних вод) продуктами БД (або діяльності полігону відповідно з його спеціалізацією).

3) Захарашення поверхні (залишки бойової техніки, захисних споруд, осколки на полігонах, різні мішені тощо).

Загальна процедура інфогеологічного моделювання наміченого геологічного об'єкту охоплює два блоки, що пов'язані певними взаємозалежностями і послідовно-етапними зв'язками: 1 – комплектація інформації; 2 – розроблення інфогеологічної моделі.

Блок комплектації інформації включає дві групи операцій: компіляція бази даних і використання наявної та (або) встановлення спеціалізованої системи моніторингу.

*База даних* містить масив вихідних даних щодо структури і літологічних характеристик, фізико-механічних (у тому числі гідравлічних) властивостей структурних елементів породного масиву, гідрогеологічних (гідродинамічних та гідрохімічних) параметрів підземних вод і, нарешті, характеристик забруднення, що систематизуються згідно з загальноприйнятими нормативно-методичними правилами.

*Система моніторингу* базується на відстеженні процесів зміни основних елементів ГС (ґрунтів, порід, підземної гідросфери, геоморфодинаміки – рельєфу поверхні тощо) у часі і просторі з особливою увагою щодо небезпечних геологічних явищ.

Блок розроблення інфогеологічної моделі. Процедура моделювання охоплює такі етапні завдання:

- ідентифікація об'єкту (визначення функціонального типу і первинна загальна характеристика);

- визначення просторового об'єму, тобто зовнішньої структури геологічного об'єкту;

- встановлення внутрішньої структури об'єкту: формаційна (літофасціальна) структуризація, структуризація підземних вод, ідентифікація і структуризація порушень і забруднень ГС (у зв'язку з двома попередніми пунктами);

– технічна комп'ютерна побудова моделі, її верифікація.

Завершальним етапом має бути експертна інтерпретація отриманої (віртуальної) моделі за комплектом замовлених користувачем похідних.

У сукупності з даними аерокосмічних досліджень, георадарної зйомки, моніторингу та ін. розробляється підсумкова складна модель, що відповідає визначенню комплексної еколого-геологічної моделі [11]. Вона відображає як статичні характеристики об'єкту, так і процеси його змін із відповідною прогнозною функцією.

Для верифікації моделей і оптимізації адекватності оцінок впливу небезпечних геологічних явищ можуть використовуватись принципи імітаційного моделювання з використанням методик агрегованих індексів (матриці Петерсена), адаптивних оцінок Холлінга, а також більш конкретизованої методики матриць Леопольда, східчастої діаграми Соренсена, мережної діаграми, метод сполученого аналізу карт і, нарешті, факторний аналіз [1, 3, 8].

*Експертна інтерпретація отриманої моделі* власне і становить основу для формулювання системи заходів і технічних рішень щодо поводження з об'єктом досліджень (у форматі певних документів – звітів, рекомендацій, технічних пропозицій тощо за вимогами замовника).

### Результати та їх обговорення

Застосування систем зброї і військової техніки на військових полігонах (ВП) в умовах, наближених до реальних, характеризується специфікою багатофакторного та циклічного техногенного навантаження військових дій на довкілля на навчальних військових полігонах, де проводяться стрільби із широкого спектру систем тактичної зброї, спостерігається забруднення ґрунтів та ґрунтових вод як головного «депо» повітряних і наземних викидів важких металів, залишків вибухових речовин та пороху [6-9].

Зміни гідргеохімічних умов горизонту ґрунтових вод, у силу значної уповільненості їх руху (10-100 м/рік) і сорбційної здатності порід, доцільно розглядати окремо на базі гідргеоміграційних моделей. Метою оцінки розповсюдження факторів воєнно-техногенного навантаження хімічного походження у функціональних зонах та підзонах ВП є застосування комплексного підходу до екологічної оцінки забруднення територій інтенсивного воєнно-техногенного навантаження із застосуванням ландшафтного профілювання та імітаційного моделювання із урахуванням геохімічних та гідрометеорологічних умов, приймаючи до уваги те, що атмогеохімічна система військового полігону «приземна атмосфера – ґрунт» є головною у

перерозподілі військово-техногенного навантаження хімічного походження і формуванні екологічних умов у функціональних зонах і підзонах ВП [1-3].

Для відпрацювання комп'ютерної технології з метою побудови математичних моделей профілів було застосовано регулярний крок обстеження високої частоти за лінією профілів.

Для адекватного відображення геоміграційних процесів доцільно використовувати детерміновано-ймовірнісні моделі, в яких фізико-математичний опис геофільтраційних процесів за допомогою диференціальних 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 [3, 10].

У класичному підході, який використовувався для визначення концентрації забруднюючої рідини в пористому середовищі, рівняння математичної моделі адвекції – дисперсії має вигляд [9]:

$$\frac{\partial}{\partial x} \left( D \frac{\partial C}{\partial x} \right) - v \frac{\partial C}{\partial x} = \frac{\partial C}{\partial t}, \quad (1.1),$$

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:

$$v = - \frac{K}{\theta \mu} \frac{dh}{dx}, \quad (1.2),$$

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

Значення гідравлічного градієнту визначається з рівняння:

$$\frac{\partial h}{\partial t} - \frac{K}{\mu} \frac{\partial^2 h}{\partial x^2} = Q, \quad (1.3),$$

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

У 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 засвідчили, що класичну модель геоміграції можна застосовувати для алювіальних геологічних відкладів (піски, суглинки, вапняки та ін.) та лігіфікованих пористих порід (пісковики, вапняки тощо).

Джерела техногенного забруднення, які утворюються внаслідок військової діяльності, мають за своєю природою специфічний характер. Перш за

все, вони здійснюють активний вплив на фізичні та механічні характеристики середовища, в яке проникає хімічне забруднення. Їх вплив на абіотичну складову ГС носить імпульсно-точковий характер. Тому для моделювання права частина рівняння (1.4) повинна бути представлена у вигляді комбінації узагальнених функцій типу  $\delta$ -функцій Дірака:

$$f(x, t) = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^M \delta(t - t_i) \cdot \delta(x - x_j) \cdot \varphi_{ij}(t, x) \quad (1.4),$$

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

Інтенсивність викиду можна оцінити, наприклад, за такою формулою

$$\varphi_{ij} = 0,7 \cdot k_{BB} \cdot n \cdot \bar{\omega}_{BB} \cdot \bar{\rho}_{BB}, \quad (1.5),$$

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 застосовано для моделювання розповсюдження воєнно-техногенних забруднень, що виникають у котлі артилерії та на мішеневих полях, оскільки основним джерелом забруднення в цьому випадку виступають продукти вибуху боєприпасу, що утворюються під час виконання 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 та ін.) [10, 11].

У пакеті PDE Toolbox системи комп'ютерної математики MatLab 7.1.4 було проведено імітаційне моделювання розповсюдження забруднень у ландшафтних профілях котла артилерії. На рис. 1 наведено картину зміни концентрації розчину забруднюючих речовин на профілі ландшафту до

першого горизонту ґрунтових вод на момент часу  $t=90$  днів від моменту інтенсивного сніготанення.

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 при розповсюдженні його ландшафтними профілями котла артилерії.

Отримані дані свідчать, що в межах території впливу ВД у залежності від стану щільності та проникності порід зони ненасиченої фільтрації зростає уразливість підземних вод (УПВ) до геохімічних чинників техногенного забруднення.

За результатами моделювання гідрогеохімічної міграції забруднюючих речовин можна зробити висновок про можливість оцінки УПВ шляхом розрахунку наступного співвідношення:

$$R = f\left(\frac{Q}{D}\right) \quad (1.6),$$

де  $R$  – показник рівня УПВ (порівняльний показник ризику забруднення ґрунтових вод у зоні впливу небезпечного об'єкту),  $Q$  – показники кількості забруднюючої речовини, що потрапила в ґрунт (рівняння 1.3–1.5);  $D$  – узагальнений параметр захисної здатності системи «ґрунт – породи зони ненасиченої фільтрації» (можуть бути враховані параметри фільтраційного опору, сорбційної здатності та ін.) [1, 3, 11].

У цілому термін «уразливість підземних вод» нижньої гідрогеохімічної межі ГС «військовий полігон – техногенне забруднення» наближається за фізичним змістом до поняття «стійкості геологічного середовища» та розглядається багатьма авторами як комплекс природних властивостей, що формують характер реакції верхньої зони літосфери на воєнно-техногенні впливи. Але стосовно полігонів фактори УПВ та їх екологічна ідентифікація вимагають додаткового вивчення.

*Впровадження підходів фреймової організації в процедуру інфогеологічного моделювання.* Метою впровадження цього методичного апарату має бути оптимізація структуризації ГС об'єкта, що забезпечить підвищення роздільної здатності і загальної адекватності інфогеологічної моделі. Наразі нами визначено лише загальний ІГФ найвищого рангу за зовнішнім форматом об'єкта як локальної структурної одиниці.

## Висновки

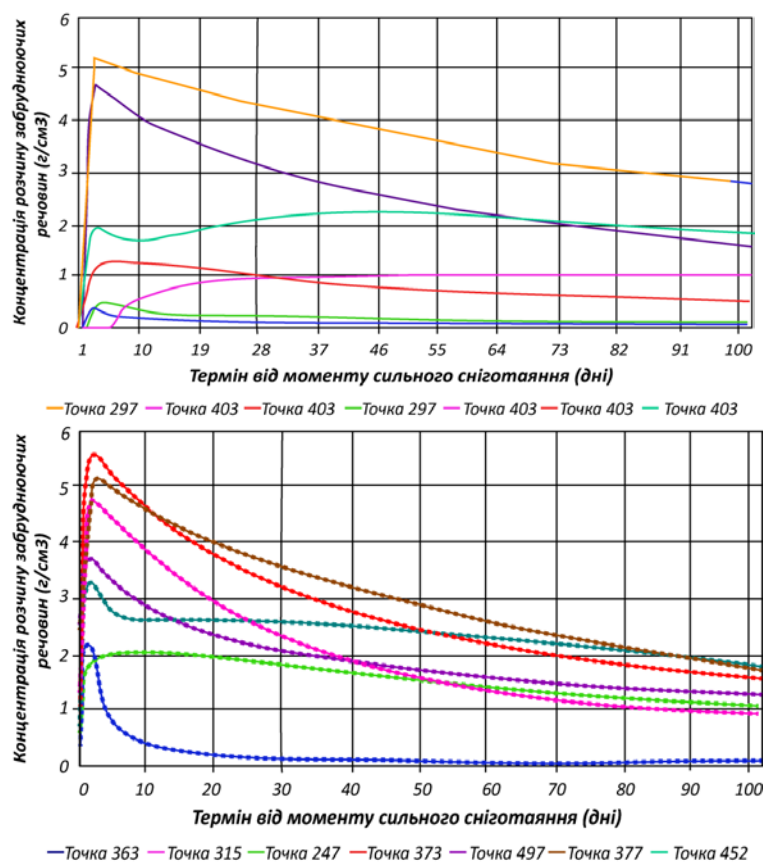
Методологічна база теорії інформаційного забезпечення досліджень та робіт щодо поводження з геологічною складовою територій ВД полягає в розробці типізації порушень ГС у результаті ВД із

виділенням типів ВД і форм їх впливу на ГС, встановленням механізму та прогнозом розвитку геосистем. Методичну основу складає розробка принципів інформаційних моделей порушень ГС, які слугують базою для визначення методів і технологій ліквідації наслідків порушення ГС, тобто його відновлення.

Подальший розвиток цього напрямку передбачається здійснювати в двох аспектах: розробка основних положень теорії інфогеології на базі вітчизняного і світового досвіду з урахуванням інноваційних методологій та методів інфогеології і, зокрема, фреймової організації ГС, а також впровадження методичних розробок у практику

дослідження робіт із відновлення територій військової діяльності в Україні.

*Дослідження виконано під керівництвом доктора геолого-мінералогічних наук, старшого наукового співробітника Інституту геологічних наук НАН України, голови Українського Національного комітету при Міжнародній програмі геологічної кореляції (ЮНЕСКО) Д.П. Хрущова, який відійшов у вічність 15 серпня 2021 р. Для авторів було великою честю працювати з Дмитром Павловичем, який заряджав творчим неспокоєм та невтомністю в наукових пошуках.*



**Рис. 1.** Результати моделювання зміни концентрацій розчину забруднюючих речовин за профілем місцевості (а – АБВ, б – ГБД)

**Fig. 1.** The results of modeling changes in the concentrations of the solution of pollutants by terrain profile (a - ABC, b - DBE) for 100 days

## Література

1. Данилюк С.Л., Туровець Ю.С. (2015). Оцінка розповсюдження забруднень у зонах інтенсивного воєнно-техногенного навантаження військових полігонів Сухопутних військ. Військово-технічний збірник, (13), 111–119.
2. Романченко, І.С., Сбітнев, А.І., Чумаченко, С.М., Слободяник, В.А. (2003). Методологічні підходи до побудови бази даних для системи управління станом навколишнього середовища в Збройних Силах України. Журнал "Наука і оборона", 3, с. 50-56.
3. Томашевська, Т.В. (2001). Математичне моделювання процесів фільтрації в екологічно небезпечних зонах. Збірник наукових праць. Київ: ННДЦ ОТ і ВБ України, 5, 225-228.

4. Хрущов, Д.П., Ремезова, Е.А., Белевцев, Р.Я., Яковлев, Е.А., Азимов, А.Т., Иванова, А.В., Лобасов, А.П., Босевская, Л.П., Греку, Р.Х., Почтаренко, В.И., Охолина, Т.В. (2019). Формационные алгоритмы теории информационного обеспечения исследований и работ по обращению с геологической средой. Геоинформатика, 1, 70–79.
5. Хрущов, Д.П., Ковальчук М.С., Ремезова Е. А и др. (2017). Структурно-литологическое моделирование осадочных формаций. Киев: Интерсервис.
6. Хуторский, М.Д. (1999). Мониторинг и прогнозирование геофизических процессов и природных катастроф. Москва.
7. Чумаченко, С.М. (2003). Методологічні основи проведення екологічної оцінки впливу бойової підготовки

на докiлля вiйськових полiгонiв. Збiрник наукових праць. Київ: ННДЦ ОТ i ВБ України, 20, 105–115.

8. Шеннон, Р. (1978). Имитационное моделирование систем – искусство и наука. Москва: Мир.

9. Яковлев, Е.А., Лютыи, Г.Г., Почтаренко В.И. и др. (1994). Временное методическое руководство по проведению комплексных эколого-геологических исследований (на территории Украины). Киев: ГГП «Геопрогноз».

10. Davydychuk, V., Chumachenko, S., Dudkin, O., Sytnik, Y., Nesterenko, S., Marynin, I., Slobodyanyk V., Yakovenko, O., Osadcha, O. (2004). Pilot project “Ecological assessment of the military training center “Divyehky” 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 divyehky military training area in 2004-2006. Kiev.

11. Khrushchov D.P., Zatserkovnyi V.I, Splodytel A.O., Nikolaienko O.Ye., Ilchenko A.V. (2021). Infogeological modeling of the geological environment of the military activity territories. Geoinformatics: Theoretical and Applied Aspects, 210-215 p.

#### References

1. Danyliuk S.L., Turovets Yu.S. (2015). Assessment of the spread of pollution in areas of intensive military-man-made load of military training grounds of the Land Forces. Military-Technical Collection, (13), 111–119. [in Ukrainian].

2. Romanchenko, I.S., Sbitniev, A.I., Chumachenko, S.M., Slobodyanyk, V.A. (2006). Final Report of the Pilot Project. Kyiv: CJSC "Cosmoznimok"3:50-56. [in Ukrainian].

3. Tomashevskaya, T.V. (2001). Collection of scientific works. Kyiv: NNDC OT and VB of Ukraine, 5, 225-228. [in Ukrainian].

4. Hruschov, D.P., Remezova, E.A., Belevtsev, R.Ya., Yakovlev, E.A., Azimov, A.T., Ivanova, A.V., Lobasov, A.P., Bosevskaya, L.P., Greku, R.H., Pochtarenko, V.I., Oholina, T.V. (2019). Geoinformatics, 1, 70–79. [in Russian].

5. Hruschov, D.P., Kovalchuk M.S., Remezova E. A i dr. (2017). Structural and lithological modeling of sedimentary formations. Kiev: Interservice. [in Russian].

6. Hutorskiy, M.D. (1999). Monitoring and forecasting of geophysical processes and natural disasters. Moscow. [in Russian].

7. Chumachenko, S.M. (2003). Collection of scientific works. Kyiv: NNDC OT and VB of Ukraine, 20, 105–115. [in Ukrainian].

8. Shennon, R. (1978). Simulation of systems - art and science. Moscow: Mir. [in Russian].

9. Yakovlev, E.A., Lyutyiy, G.G., Pochtarenko V.I. i dr. (1994).. Kiev: State Enterprise "Geoprognozis". [in Russian].

10. Davydychuk, V., Chumachenko, S., Dudkin, O., Sytnik, Y., Nesterenko, S., Marynin, I., Slobodyanyk V., Yakovenko, O., Osadcha, O. (2004). Pilot project “Ecological assessment of the military training center “Divyehky” in 2004-2006. Kiev.

11. Khrushchov D.P., Zatserkovnyi V.I, Splodytel A.O., Nikolaienko O.Ye., Ilchenko A.V. (2021).. Geoinformatics: Theoretical and Applied Aspects, 210-215 p.

#### METHODOLOGICAL FOUNDATIONS OF THE IMITATIONAL MODELLING OF THE GEOLOGICAL ENVIRONMENT OF THE MILITARY ACTIVITY TERRITORIES (AT THE DIVYCHKY POLYGON AS AN EXAMPLE)

**Khrushchov D., Chumachenko S., Splodytel A.**

**Khrushchov D.,** Dr. Sci. (Geol.-Min.), professor, Institute of Geological Sciences of the National Academy of Sciences of Ukraine, ORCID: 0000-0002-7978-2505, khrushchov@hotmail.com

**Chumachenko S.,** Dr. Sci. (Tech.), Head of the department of information systems, National University of Food Technologies, ORCID: 0000-0002-8894-4262, sergiy23.chumachenko@gmail.com

**Splodytel A.,** Cand. Sci. (Geogr.), Research Scientist, M.P. Semenenko Institute of Geochemistry, Mineralogy and Ore Formation of the National Academy of Sciences of Ukraine, ORCID: 0000-0002-8109-3944, asplodytel@gmail.com

*The methodological basis of a theory for information support of research and work on management of the geological component of military activity territories is founded on the development of a typification of geological environment violations resulted from military activity, highlighting the types of geological environment and forms of military impact on the geological environment, establishing a mechanism and forecasting the development of geosystems. The methodical basis consists in development of the principles of information models of the geological environment disturbances, which serve as the basis for determining methods and technologies for eliminating the consequences of negative military activity impact upon the geological environment, i.e., degraded sites recovery. The purpose of the introduction of this methodological apparatus is to optimize the structuring of the geological environment of the object, which will increase the resolution and overall adequacy of the infogeological model. The package PDE Toolbox computer mathematics systems MatLab 7.1.4 was used for simulation of pollution distribution in landscape profiles of an artillery blast hole. It showed us a picture of the changes in the concentration of the solution of pollutants on the landscape profile down to the first groundwater horizon 90 days from the moment of intense snowmelt. To assess the pollution migration dynamics according to the mathematical modeling in the PDE Toolbox package of the MatLab 7.1 computer mathematics system, the dependence of the concentration of the solution of pollutants spread along the landscape profiles of the artillery blast hole was received. The obtained data indicate that within the territory affected by military activity, depending on the state of density and permeability of rocks in the zone of unsaturated filtration, the vulnerability of groundwater to geochemical factors of technogenic pollution increases.*

**Keywords:** geologic environment, infogeologic modeling, infogeoframe, military polygon