

## ГЕОЛОГІЧНА ІНФОРМАТИКА

УДК 550.681.3 (477.5)

DOI: <http://doi.org/10.17721/1728-2713.96.12>**Д. Хрущов**, д-р геол.-мінералог. наук, проф.,

Інститут геологічних наук НАН України,

вул. О. Гончара, 55-б, м. Київ, 01054, Україна;

С. Чумаченко, д-р техн. наук,

E-mail: [sergiy23.chumachenko@gmail.com](mailto:sergiy23.chumachenko@gmail.com),

Національний університет харчових технологій,

вул. Володимирська, 68, м. Київ, 01033, Україна;

В. Зацерковний, д-р техн. наук, проф.,

E-mail: [vitalii.zatserkovnyi@gmail.com](mailto:vitalii.zatserkovnyi@gmail.com);

П. Трофименко, д-р с.-г. наук, доц.,

E-mail: [trofimenkopetr@ukr.net](mailto:trofimenkopetr@ukr.net),

Київський національний університет імені Тараса Шевченка,

ННІ "Інститут геології", вул. Васильківська, 90, м. Київ, 03022, Україна;

А. Сплодитель, канд. геогр. наук, докторант,

E-mail: [asplodytel@gmail.com](mailto:asplodytel@gmail.com)

Інститут геохімії, мінералогії та рудоутворення ім. М.П. Семененка НАН України,

пр. Ак. Палладіна, 34, м. Київ, 03680, Україна

КОНЦЕПТУАЛЬНІ ЗАСАДИ ІНФОГЕОЛОГІЧНОГО МОДЕЛЮВАННЯ  
ТЕРИТОРІЙ ВІЙСЬКОВОЇ ДІЯЛЬНОСТІ*(Представлено членом редакційної колегії д-ром геол. наук, проф. С.А. Вижвою)*

Розроблено засади інфогеологічного моделювання територій військової діяльності (на прикладі одного з військових полігонів України) для інформаційного забезпечення досліджень та робіт щодо поводження з геологічною складовою досліджуваних територій. Основним методологічним інструментом досліджень є інформаційне моделювання. З огляду на переважно локальний рівень масштабності територій військової діяльності, головним методичним прийомом слугує комплексна еколого-геологічна модель. Методи, розроблені на принципах цієї парадигми, спрямовані на ліквідацію наслідків військової діяльності та відновлення територій збройних конфліктів. Наземні дослідження розроблено з використанням концептуальних моделей і, зокрема, перевіркою основних компонентів цих моделей, що націлені на ідентифікацію ними невизначеностей. Оцінка поширення факторів воєнно-техногенного навантаження хімічного походження у функціональних зонах та підзонах військового полігону здійснювалася на основі комплексного підходу до еколого-геохімічної оцінки забруднення територій інтенсивного воєнно-техногенного навантаження із застосуванням ландшафтного профілювання та імітаційного моделювання із врахуванням геохімічних і гідрометеорологічних умов. Проведений аналіз забруднення ґрунтів речовинами воєнно-техногенного походження в місцях розташування функціональних підзон мішених полів військового полігону засвідчив, що на них значення концентрацій деяких забруднюючих речовин перевищує встановлені норми у 5–20 разів. Польові дослідження на військовому полігоні демонструють зональний характер забруднення, що групується навколо локальних підзон військового об'єкта, які залучаються до проведення та забезпечення заходів бойової підготовки з використанням озброєння і військової техніки, а також є головним джерелом факторів військово-техногенного навантаження на геологічне середовище. Перспективи подальшого розвитку напряму полягають у розробленні цілісної теорії інфогеологічного моделювання геологічного середовища територій військової діяльності, орієнтованої на оцінку різних типів впливів та загроз.

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

**Актуальність, постановка проблеми.** Військові дії протягом сучасного етапу новітньої історії ведуться майже безперервно. При цьому відбувається руйнування ландшафту, забруднення ґрунтів, поверхневих і підземних вод, що потребує їх подальшого відновлення.

Незважаючи на всі екологічні гасла, які проголошуються світовою спільнотою (ООН, ЮНЕСКО, трансрегіональними військово-політичними організаціями), роботи з екологічного відновлення територій, порушених у результаті військової діяльності (ВД), у цілому можна розцінювати як незадовільні.

Підставою для такої оцінки є визнання двох чинників: перший – такі роботи виконуються переважно в економічно розвинених і стабільних країнах або в окремих країнах за їх допомогою. В усіх інших випадках розв'язання цих проблем відтерміновується, зазвичай на доволі тривалий час. Другий чинник – вони застосовуються головним чином для великих військових баз або аеродромів з нафтовим і хімічним забрудненням підземної гідросфери.

Методико-методологічне забезпечення робіт засновано на вузько спрямованих традиційних предметних підходах очищення геологічного середовища (ГС), а приклади комплексного системного підходу носять поодинокий характер. Це зумовлює неповноту і недостатню ефективність деяких природоохоронних проєктів цього напрямку.

Причина такого стану полягає у відсутності цілісної теорії відновлення навколишнього природного середовища (НПС) територій, порушених у результаті військової діяльності. Насамперед, це стосується ГС, яке є важливою складовою довкілля. Наднормативна експлуатація природних ресурсів (передусім нафти, природного газу, вугілля, деревини) призводить до відчуження великих територій, нераціональної експлуатації ресурсів та істотного забруднення навколишніх територій, поверхневих і підземних вод. Наслідки бойових дій значно збільшують ризики виникнення аварійних ситуацій на промислових підприємствах та інфраструктурних об'єктах.

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

**Мета роботи** – представлення концепції інформаційного забезпечення досліджень і робіт щодо поводження з ГС територій військової діяльності (на прикладі територій України).

**Основні завдання:**

- аналітичний огляд вітчизняного та світового досвіду поводження з територіями військової діяльності;
- позначення методологічних основ інформаційного забезпечення досліджень і робіт щодо поводження з ГС територій військової діяльності;

© **Хрущов Д.**, Чумаченко С., Зацерковний В., Трофименко П., Сплодитель А., 2022

- розробка методичних підходів інформаційного забезпечення досліджень і робіт щодо поводження з ГС територій військової діяльності (принципів інфогеологічного моделювання);

- демонстрація прикладів інфогеологічного моделювання конкретних геологічних об'єктів (ГО);

- узагальнення отриманих результатів, позначення основних напрямів подальшого розвитку теорії інформаційного забезпечення досліджень і робіт щодо поводження з ГС територій військової діяльності як самостійного прикладного напрямку геоінформатики та інфогеології.

**Аналіз останніх досліджень.** За наявності практично перманентних військових конфліктів на різних континентах Землі з відповідними негативними наслідками на НПС, системні наукові дослідження у сфері оцінки збитків довкілля (у т. ч. ГС) мають фрагментарний характер. На це є дві причини: екологічні (і еколого-геологічні) оцінки таких територій далеко не завжди проводились і не завжди оприлюднювались, а програмні заходи з екологічної реабілітації по суті виконувались в рідкісних випадках і з фінансуванням за залишковим принципом. Природно, за таких умов постановка проблеми загальної теорії інформаційного забезпечення досліджень і робіт щодо поводження з ГС територій військової діяльності досі не привертала інтересу вчених близьких предметних напрямів. Більш-менш результативні програми відновлення територій військових баз і інших об'єктів ВД виконували кілька розвинених країн, наприклад, у США певна кількість ділянок військових об'єктів (аеродроми, бази сухопутних військ, ракетні бази, полігони) віднесені до списку так званого суперфонду – програми відновлення територій, що почала діяти на початку 90-х років ХХ ст. За програмою НАТО і деяких національних програм проводились аналогічні роботи у країнах Європи – Німеччині, Португалії, Швеції, Чехії, Словаччині, а також державах Прибалтики (*Хрущов та ін., 2017*), де наведені дані щодо використовуваних технологій, а також можливих інформаційних моделей ділянок забруднень ГС.

На сучасному етапі розвитку суспільства існує ряд технологій, які мають вирішальне значення для формування сучасних еколого-геохімічних досліджень. Насамперед, це матеріали дистанційного зондування Землі (ДЗЗ), глобальні системи позиціонування (GPS, Galileo та ін.), що забезпечують високу точність та навігацію, застосування безпілотних літальних апаратів (БПЛА), дронів тощо.

МДЗ разом з технологіями геоінформаційних систем сприяли широкому розвитку методів просторового аналізу ГС, оцінки широкомасштабних просторових закономірностей, виявлення тенденцій змін у просторі і в часі тощо. Технології ДЗЗ дали можливість пасивного або активного збору даних для пошуку та ідентифікації військових об'єктів, їх класифікації, здійснення просторового аналізу забруднювачів, виявлення і кількісного обчислення змін ГС, територій локальних військових конфліктів, полігонів тощо.

**Виклад основного матеріалу.** Факт небезпечного впливу ВД на довкілля визнається в низці наукових і громадсько-політичних публікацій, у звітах і протокольних матеріалах різних міжнародних політичних і громадських організацій (програма ООН з довкілля (ЮНЕП), НАТО), а також військових служб з відповідними prerogativami. Прикладом може слугувати вторгнення коаліційних військ в Ірак в 2003 р., коли ряд промислових об'єктів зазнали пошкоджень у результаті ВД або через воєнні дії були кинуті напризволяще, що спровокувало мародерські дії місцевого населення з розкиданням небезпечних, у т. ч. високотоксичних речовин, на поверхні, результатом чого стало забруднення ґрунтів і підземних вод.

У науковій літературі останніх десятиріч з'являються фрагментарні дані щодо порушень довкілля (і ГС зокрема) у результаті ВД на різних континентах (Європа – країни колишньої Югославії; Азійсько-Тихоокеанський регіон – В'єтнам, Камбоджа, Афганістан, Індія–Пакистан; Близький Схід – Ізраїль–Палестина, Сирія; Африка – Марокко, Лівія, Ангола; Фолклендські острови). У деяких працях наводяться схематичні геологічні моделі забруднених ділянок. Подібні методики аналізу забруднення використовувалися під час конфлікту в Косово внаслідок обстрілу цивільної інфраструктури, а саме виробничих підприємств, що призвело до значного викиду промислових забруднень у НПС.

В Україні, в південно-східній її частині, фактично відбуваються повномасштабні бойові дії з відповідними порушеннями ГС. Ці порушення охоплюють дві групи: прямі і непрямі. Прямі – це механічні деформації земної поверхні та хімічні забруднення ГС. Непрямі – ті, що спричинені наслідками невиконання традиційних заходів охорони ГС – затоплення шахт, підтоплення територій і забруднення підземних вод через реалії економічного стану держави.

Внаслідок фрагментарності системи екологічного моніторингу ГС, проведення АТО та недостатнього фінансування, зростає загроза забруднюючого впливу витоків токсичних фільтратів з полігонів промислових і побутових відходів, ділянок розташування териконів, фільтрувальних накопичувачів стічних вод. Тому з урахуванням рекомендацій місцевих підрозділів Державної служби України з надзвичайних ситуацій, Міністерства охорони здоров'я та обласних військово-цивільних адміністрацій були визначені 35 пунктів обстеження джерел питного водопостачання у складних еколого-техногенних умовах з одночасним відбором проб ґрунтів (на прикаптажній території) та вимірюванням радіаційного фону (Донецька область – 23 проб, Луганська область – 12 проб) на підконтрольній території та 26 пунктів обстеження джерел питного водопостачання з одночасним відбором проб ґрунтів (на прикаптажній території) на непідконтрольній українській владі території (Донецька область – 26 проб). Враховуючи вищезазначені умови, що склалися в цьому регіоні, було розроблено індикативну схему проведення експрес-досліджень, яка дає змогу оцінити найбільш критичну (вразливу) ланку для забезпечення екологічної безпеки та безпеки життєдіяльності в цьому регіоні.

Методологія теорії інформаційного забезпечення досліджень та робіт щодо поводження з геологічною складовою територій ВД базується на оцінці всієї системи порушеного ГС (як певного геологічного об'єкта, або інфогеофрейма), що становить основу для визначення програмних заходів з відновлення.

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

Інакше кажучи, геологічний об'єкт території ВД – це антропогенно (техногенно)-геологічна система, що охоплює первинну структурно-речовинну матрицю та явища і процеси порушень ГС як результат дії (впливу) ВД.

Предмет досліджень – механічні та фізико-хімічні характеристики порушень, пов'язаних із ландшафтно-формаційними та структурно-літологічними параметрами ГС об'єкта.

Інфогеологічне визначення передбачає визначення первинної структурно-речовинної матриці ГС (породний масив – твердофазна матрична основа і підземні води – флюїдна динамічна складова), початкові фактори впливу ВД (механічні деформації і фізико-хімічні

порушення ГС), явища і процеси порушення ГС, просторово-часові виміри (первинні: деформації ґрунтового шару і структури породного масиву; порушення динаміки підземних вод; впровадження забруднюючих і чужорідних речовин; захаращення поверхні та вторинні – розвиток небезпечних геологічних явищ і процесів; деформації рельєфу; фізико-хімічні забруднення ґрунтів і порід небезпечними та сторонніми речовинами; забруднення підземних вод з динамічним поширенням в ГС; процеси самовідновлення ГС).

Ці фактори є загальними для всіх видів ВД і становлять зміст інфогеологічного моделювання. Узагальненими характеристиками типових порушень ГС по видах ВД виступає:

- діяльності військових об'єктів (порушення рельєфу поверхні, ґрунтів поверхневими технічними спорудами (будинки, ангари, трубопроводи тощо));
- порушення верхніх горизонтів ГС приповерхневими і підземними спорудами (бункери, сховища ПММ, бойових матеріалів тощо);
- забруднення ГС (порід, підземних вод) паливно-мастильними матеріалами (ПММ), сольвентами, відходами гальваники, дезактиваційними розчинами, залишками ракетного палива;
- захаращення поверхні (іноді – підземних порожнин) твердими залишками і відходами різного складу.

Для різних типів військових об'єктів комплекси порушень можуть різнитись від виду і типів бойових дій і військових полігонів, порушень рельєфу поверхні, ґрунтів (локально – верхніх горизонтів ГС – воронки вибухів, наслідки руху бойової техніки), захисних споруд – окопів, бліндажів, вогневих точок, протитанкових споруд тощо, забруднення верхніх горизонтів ГС (порід, підземних вод) продуктами БД (або діяльності полігону відповідно з його спеціалізацією), захаращенням поверхні залишками бойової техніки, захисних споруд, осколками, на полігонах різного роду мішенями тощо.

*Хімічна і геохімічна ідентифікація типів забруднення.* До хімічного (фізико-хімічного) забруднення, первинними функціональними ознаками, належать: пальне для транспортних засобів та для побутового опалення, мастильні матеріали, сольвенти, відходи гальванічного виробництва, залишки хімічної зброї, дезактиваційні речовини. Небезпечними речовинами фізико-хімічного типу є вибухонебезпечні і пальні матеріали.

За хімічним складом основні типи забруднень належать до кількох груп речовин. Пальне для транспортних засобів і ПММ являють собою вуглеводні. В деяких випадках вони містять присадки-мікрокомпоненти, які зазвичай є токсичними. Забруднення вуглеводного походження може бути представлене як нафтопродуктами, так і складовими нафти і нафтопродуктів – парафінами, нафтенами, ароматичними вуглеводнями, їх похідними – бензолом, толуолом, а також поліциклічними вуглеводнями (нафталіном, периленом та ін.). Окрему групу становлять хлорвуглеводневі сполуки: діхлоретан, трихлоретан, хлорбензол тощо. Вони так само, як і толуон та інші гомологи бензолу, являють собою більшу частину сольвентів. Забруднення трихлоретаном пов'язане також із залишками ракетного пального.

Хімічні мікрокомпоненти забруднення представлені важкими металами: кадмієм, миш'яком, свинцем, цинком, міддю, ртуттю, талієм та ін.

*Форми поширення і поведінка забруднювачів у геологічному середовищі.* Розглянутим різноманітним хімічним сполукам, що виступають основними типами

забруднювачів, властиві різні форми надходження і закономірності поведінки в ГС.

Для рідких вуглеводневих речовин (нафта, нафтопродукти, хлорні вуглеводневі сполуки) характерні вільна та емульсійна неполярнізовані форми, що легко піддаються вилученню. Нафтопродукти, як і нафта, головним чином є гідрофобними речовинами. Але контактуючі води можуть бути насичені похідними вуглеводнів у газовій фазі, а також бензолом, фенолом, органічними кислотами. Якщо в ореолі забруднення присутні органічні розчинники, нафтопродукти можуть переходити в розчин. Незначна частина дисоційованих форм органічних сполук може сорбуватися.

Неорганічні забруднюючі речовини (важкі метали, солі та інші хімічні сполуки) утворюють тверді фази, розчини (істинні і колоїдні), суспензії та сорбовані фази. Фазові переходи перебувають у рухливій рівновазі, процеси осадження-розчинення, сорбції-десорбції залежать від термодинамічних умов середовища.

Загальна схема розподілу забруднення контролюється двома головними факторами протилежної спрямованості: міграцією і затримкою. Провідний фактор переносу забруднення будь-якого типу в геологічному середовищі – рух підземних вод.

Затримка відбувається в бар'єрах геологічного середовища. Основні функціональні типи бар'єрів – механічні (фільтраційні), фізико-механічні і біологічні.

Найбільш міграційно здатні в геологічному середовищі (власне водному) іонні форми, а також комплекси (хлоридні, сульфатні, металоорганічні). Сорбовані фази певну рухливість можуть отримувати в суспензіях із сорбентами.

Методичним апаратом структурування об'єктів для моделювання слугує принцип фреймової організації ГС.

Загальна процедура інфогеологічного моделювання (ІГМ) досліджуваного ГО охоплює два блоки, які пов'язані певними залежностями і послідовно-етапними зв'язками: 1 – комплектація інформації; 2 – розроблення ІГМ.

*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 т. ч. гідравлічних) властивостей структурних елементів породного масиву, гідрогеологічних (гідродинамічних та гідрохімічних) параметрів підземних вод і, нарешті, характеристик забруднення, що систематизуються згідно із загальноприйнятими нормативно-методичними правилами.

*Система моніторингу* базується на відстежуванні 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 ІГМ.* Процедура моделювання передбачає ідентифікацію об'єкта (визначення функціонального типу і первинну загальну характеристику), визначення просторового об'єму, тобто зовнішньої структури ГО (ІГФ), встановлення внутрішньої структури об'єкта (формаційної (літофациальної) структуризації), структуризації підземних вод, ідентифікації і структуризації порушень і забруднень ГС, комп'ютерної побудови моделі, її верифікації. Завершальним етапом має бути експертна інтерпретація отриманої (віртуальної) моделі по комплекту замовлених користувачем похідних.

На підставі МДЗ, георадарної зйомки, моніторингу тощо розробляється підсумкова складна модель, яка відповідає визначенню комплексної еколого-геологічної моделі (Хрущов та ін., 2017) і відображає як статичні



характеристики об'єкта, так і процеси його змін з відповідною прогноною 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, мережевої діаграми, метод сполученого аналізу карт і, нарешті, факторний аналіз (Вентцель, 1962; Гришин, 2001; Эйкхоф, 1975; Клемин и др., 2000; Свешков, 1965; Хуторский, 1999).

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).

Об'єкт досліджень (ГС ТВД) доцільно розглядати як визначальну складову географічного поняття "геосистема", а саме природно-техногенну геосистему – територію військової діяльності (геосистема ТВД).

Геосистема ТВД – це комплексна природно-техногенна система об'єкта ВД, що охоплює біосферу з її складовими: атмосферою, гідросферою і ГС (точніше інфогеофреймом відповідної частини літосфери). Зовнішня структура (інфогеофрейм) обмежується зоною впливу техногенних порушень.

Загальна структура геосистеми ТВД і взаємозв'язки підпорядкованих сфер представлено на рис. 1 та 2.

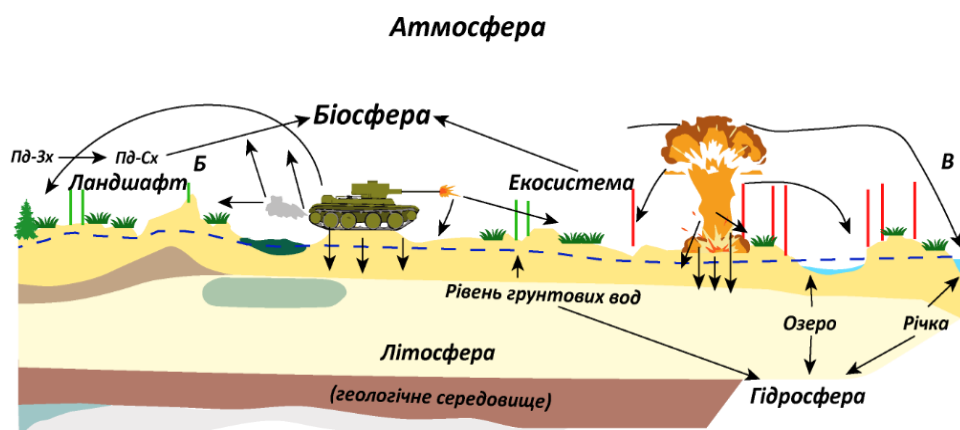


Рис. 1. Узагальнена принципова екологічна схема взаємодії між елементами військової природно-техногенної геосистеми під час бойової підготовки

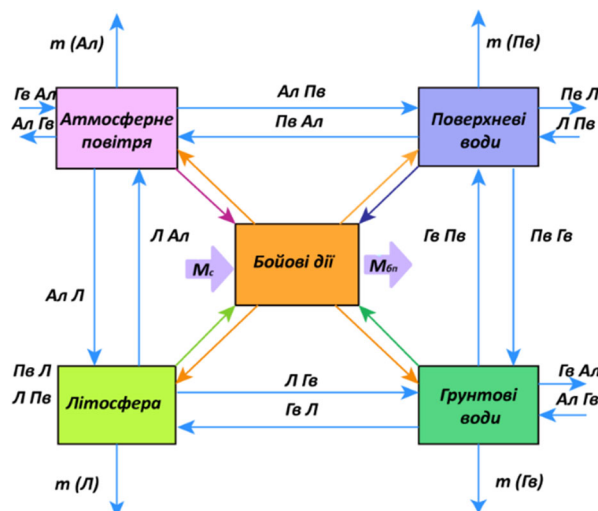


Рис. 2. Схема розподілу потоків підземних вод і забруднюючих речовин у геосистемі військового полігону:  
(АлЛ – Атмосфера – Літосфера; АлПв – Атмосфера – Поверхневі води; ПвЛ – Поверхневі води – Літосфера;  
ПвАл – Поверхневі води – Атмосфера; ПвГв – Поверхневі води – Ґрунтові води; ГвЛ – Ґрунтові води – Літосфера;  
ГвПв – Ґрунтові води – Поверхневі води; ГвАл – Ґрунтові води – Атмосфера)

Наведена схема має ряд обмежень. Так, блок "літосфера" містить зону впливу ВД, що простежується всередину до зони насичення верхнього водоносного горизонту.

Блок "напірні підземні води" штучно умовно виключений із загальної схеми, розглядається тільки горизонт ґрунтових безнапірних вод, що є головним його індикатором. Кожний із блоків-елементів природного середовища у ВПТГС має деяку внутрішню рівновагу, тобто перебуває у квазістаціонарному стані. Однак на межі гомогенності середовищ спостерігаються взаємообмінні

потоки масопередачі, що можуть бути активізовані за рахунок факторів ВД.

Потоки, пов'язані з блоком "Бойові дії", позначені цифровими індексами. Визначення цих потоків наведено в табл. 1.

Прогнозування величини потоків техногенного навантаження у військовій природно-техногенній геосистемі, ряд специфічних розрахунків, пов'язаних із блоками-компонентами природного середовища, найбільш доцільно виконувати балансовими методами, враховуючи їх значну просторово-часову мінливість.

Таблиця 1

## Класифікація потоків масопередачі між блоками військової природно-техногенної геосистеми

| Блоки                 | Бойова підготовка | Атмосфера | Літосфера | Поверхневі води | Ґрунтові води | Основні процеси масопередачі                           |
|-----------------------|-------------------|-----------|-----------|-----------------|---------------|--------------------------------------------------------|
| Бойова підготовка (1) | -                 | 1.2       | -         | -               | -             | Молекулярна і конвективна дифузія, фільтрація, сорбція |
|                       | -                 | -         | 1.3       | -               | -             |                                                        |
|                       | -                 | -         | -         | 1.4             | -             |                                                        |
|                       | -                 | -         | -         | -               | 1.5           |                                                        |
| Атмосфера (2)         | 2.1               | -         | -         | -               | -             | На потреби БП                                          |
|                       | -                 | -         | АпЛ       | -               | -             | Осадження, сорбція                                     |
|                       | -                 | -         | -         | АпПв            | -             | Те ж саме                                              |
|                       | -                 | -         | -         | -               | -             | Інфільтрація                                           |
| Літосфера (3)         | 3.1               | -         | -         | -               | -             | На потреби БП                                          |
|                       | -                 | ЛАп       | -         | -               | -             | Вивітрювання                                           |
|                       | -                 | -         | -         | ЛПв             | -             | Вимивання, вилужування                                 |
|                       | -                 | -         | -         | -               | ЛГв           | Те ж саме                                              |
| Поверхневі води (4)   | 1.4               | -         | -         | -               | -             | На потреби БП                                          |
|                       | -                 | ПвАп      | -         | -               | -             | Випаровування, десорбція                               |
|                       | -                 | -         | ПвЛ       | -               | -             | Сорбція, осадження                                     |
|                       | -                 | -         | -         | -               | ПвГв          | Фільтрація                                             |
| Ґрунтові води (5)     | 5.1               | -         | -         | -               | -             | На потреби БП                                          |
|                       | -                 | ГвАп      | -         | -               | -             | Випаровування, десорбція                               |
|                       | -                 | -         | ГвЛ       | -               | -             | Сорбція, осадження                                     |
|                       | -                 | -         | -         | ГвПв            | -             | Розвантаження в базиси ерозії                          |

Як уже зазначалось, поведінка забруднюючих речовин в ГС як складової частини геосистеми ВП, визначається речовинними, фізико-механічними (передусім ємнісно-фільтраційними), геохімічними, гідрогеологічними (гідродинамічними та гідрохімічними) і врешті-решт термодинамічними властивостями його структурно-речовинної матриці. У зв'язку з визначальною роллю геохімічних методів при моделюванні об'єктів ВД доцільне використання підходів ландшафтно-геохімії.

Як приклад розглянемо інфогеологічне моделювання еколого-геохімічних характеристик територій військового полігону "Дівички". Ландшафтна карта дозволяє встановити і картографічно відтворити геохімічні умови території полігону. Для геохімічних показників: кислотність ґрунтів (рН), вміст гумусу та глибина залягання глейового горизонту, для типових ґрунтових відмін першої тераси Дніпра було розроблено комплекс карт (Davydchuk et al., 2004). У табличній формі згадані показники наведено в табл. 2. Територіальний розподіл значень водного рН, що відображає кислотність ґрунтових розчинів у різних типах ґрунтів для ВП "Дівички", наведено на рис. 3.

З рис. 3. видно, що серед ґрунтів полігону максимальна кислотність (рН<4,5) властива для сухих ґрунтових відмін відносно підвищених ділянок першої тераси Дніпра. А кислотність органогенних ґрунтів у замкнених пониженнях дещо менша рН ≈ (6,0-6,5), що може сприяти акумуляції забруднювачів у подібних місцезонах.

Глибина горизонту максимального оглеєння у ґрунті є важливим показником щодо міграції елементів із змінною валентністю. До таких належать, зокрема, залізо,

алюміній, плутоній та ін. Для таких елементів глейовий горизонт відіграє роль бар'єра на шляху їхньої міграції. Для території полігону "Дівички" глибина залягання глейового горизонту у ґрунтах варіює від 0,0–0,3 м для торфово-болотних та дернових глейових ґрунтів до 2,0–2,5 і більше метрів для сухих дерново-підзолистих ґрунтів.

Завдяки цьому, залежно від форм рельєфу, літології поверхневих відкладів та характеру рослинного покриву, утворюються зони переважального винесення або транзиту, або ж акумуляції речовин та елементів, які були залучені до міграції.

Застосування систем зброї і військової техніки на навчальних об'єктах військових полігонів Сухопутних військ в умовах наближених до реальних характеризується специфікою багатофакторного та циклічного воєнно-техногенного навантаження бойової підготовки на докільля (Романченко та ін., 2006; Клемин та ін., 2000; Лисенко та ін., 2004).

На навчальних об'єктах військового полігону, 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 порохів (Чумаченко, 2003).

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.

Таблиця 2

## Значення деяких геохімічних показників для типових ґрунтових відмін ВП "Дівички"

| Ґрунтові відміни                                                                                                     | рН        | Вміст гумусу або органіки | Глибина глейового 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-глинисті 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-глинисті на делювіальних пісках | 5,5–6,0   | 2,0–5,0 %                 | 0,3–0,7                        |
| 6. Торфово-болотні на низинних торфах                                                                                | <6,0      | Орг. 80 %                 | 0–0,3                          |

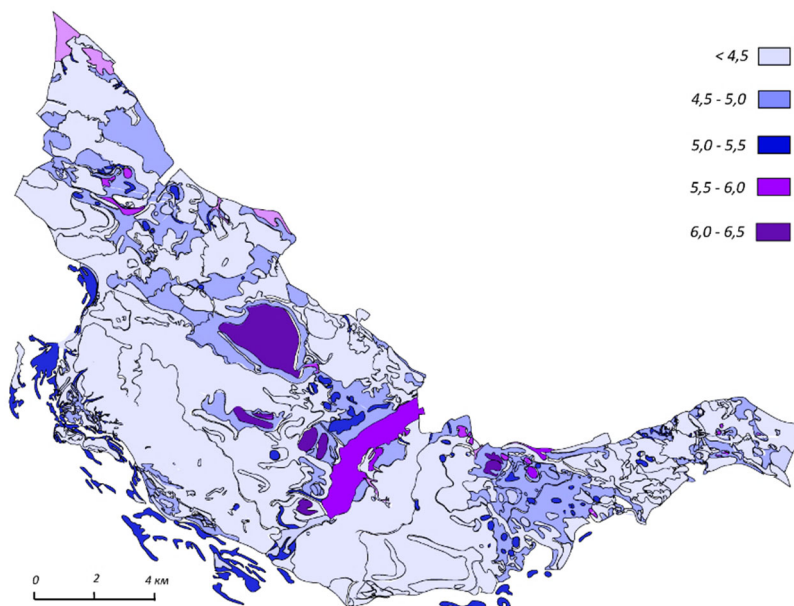


Рис. 3. Кислотність верхнього ґрунтового горизонту (pH водний)

При визначенні екологічного стану ґрунтів користуються в основному якісно-оціночними ландшафтно-геохімічними методами, які спрямовані на встановлення фактичного забруднення і дають можливість провести ретроспективний аналіз наслідків воєнно-техногенного навантаження (Гришин, 2001; Романченко та ін., 2006; Петрашин и Лысяный, 1986; Хуторский, 1999). Але для прогнозування поширення хімічного забруднення від тих чи інших воєнно-техногенних джерел навчальних об'єктів, враховуючи їх високу локальність, енергетичну потужність і хімічну градієнтність, та визначення профілактичних заходів і заходів з рекультивації забруднених територій, ці методи є непридатними (Лисенко та ін., 2004; Шеннон, 1978). При вирішенні завдань воєнної екології тільки прецизійні методи можуть дати необхідні за точністю розрахунки забруднення ґрунтів і ґрунтових вод та прогнозувати його розвиток у локальних функціональних підзонах у межах навчальних об'єктів та функціональних зонах ВП (Горев та ін., 1999; Лисенко та ін., 2004). Основу для таких методів можуть скласти математичні моделі, які з високим ступенем точності описують процеси утворення техногенних полів розподілу

забруднення (атмогеохімічних, ландшафтно-геохімічних, гідрогеохімічних) внаслідок постійного чи періодичного впливу заходів бойової підготовки на відповідну територію, визначають концентрацію, швидкість і напрямки його розповсюдження.

Зміни гідрогеохімічних умов горизонту ґрунтових вод через значну уповільненість їхнього руху (10–100 м/рік) і сорбційну здатність порід доцільно розглядати окремо на базі гідрогеоімігаційних моделей. Метою оцінки поширення факторів воєнно-техногенного навантаження хімічного походження у функціональних зонах та підзонах ВП є застосування комплексного підходу до екологічної оцінки забруднення територій інтенсивного ВТН 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 ВТН хімічного походження і формуванні екологічних умов у функціональних зонах і підзонах ВП.

У загальному вигляді процедуру комплексної оцінки поширення факторів ВТН наведено на рис. 4.

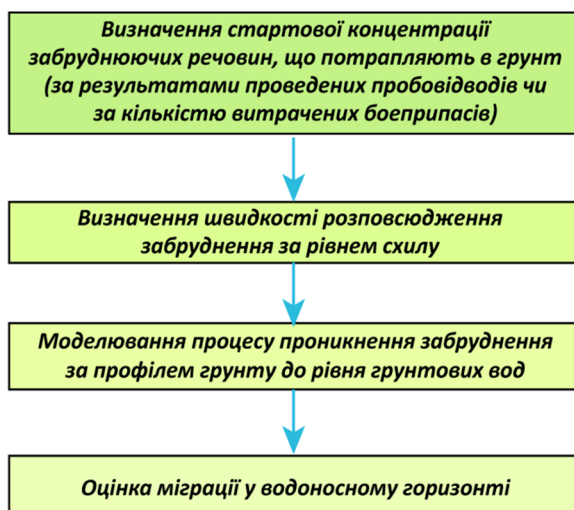


Рис. 4. Процедура комплексної оцінки поширення факторів ВТН

Більшість речовин, які утворюються внаслідок застосування систем зброї і військової техніки, являють собою тверді, розчинні чи дрібнодисперсні речовини, які або відразу потрапляють на поверхню землі, або осідають на неї з атмосфери. Отже, 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 поверхневі забруднення ґрунтів переносяться з верхніх шарів у підстильні породи зони ненасиченої фільтрації та ґрунтові води, де можуть або накопичуватись у вигляді геохімічних аномалій за наявності геохімічних бар'єрів, або мігрувати на значні відстані з ґрунтовими водами.

Тому, хоч забруднення ґрунтів НО від заходів БП носить локальний характер, але практичне проявлення цього забруднення може впливати на екологічний стан прилеглих територій регіону дислокації полігонів Сухопутних військ.

Для проведення оцінки і прогнозування впливу забруднень воєнно-техногенного походження на екологічний стан складної ВПТГС (Davydchuk et al., 2004;

Данилюк і Туровець, 2015) 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". Полігон займає фронтальну та центральну частини Київловського ландшафту першої надзаплавної тераси Дніпра, яка з півдня обмежена урізом Канівського водосховища. Надзаплавна тераса складена переважно пісками потужністю від 0,8 до 2 м з дерново-підзолистими піщаними ґрунтами, що підстилаються безкарбонатними суглинками. На рис. 5 наведено зображення типових ландшафтних профілів, які перетинають котел артилерії і мішеневе поле директриси для стрільби прямою наводкою (зони інтенсивного воєнно-техногенного навантаження) та найбільш характерні для цієї території форми рельєфу. На профілях відображено геологічну будову і сучасний рослинний покрив.

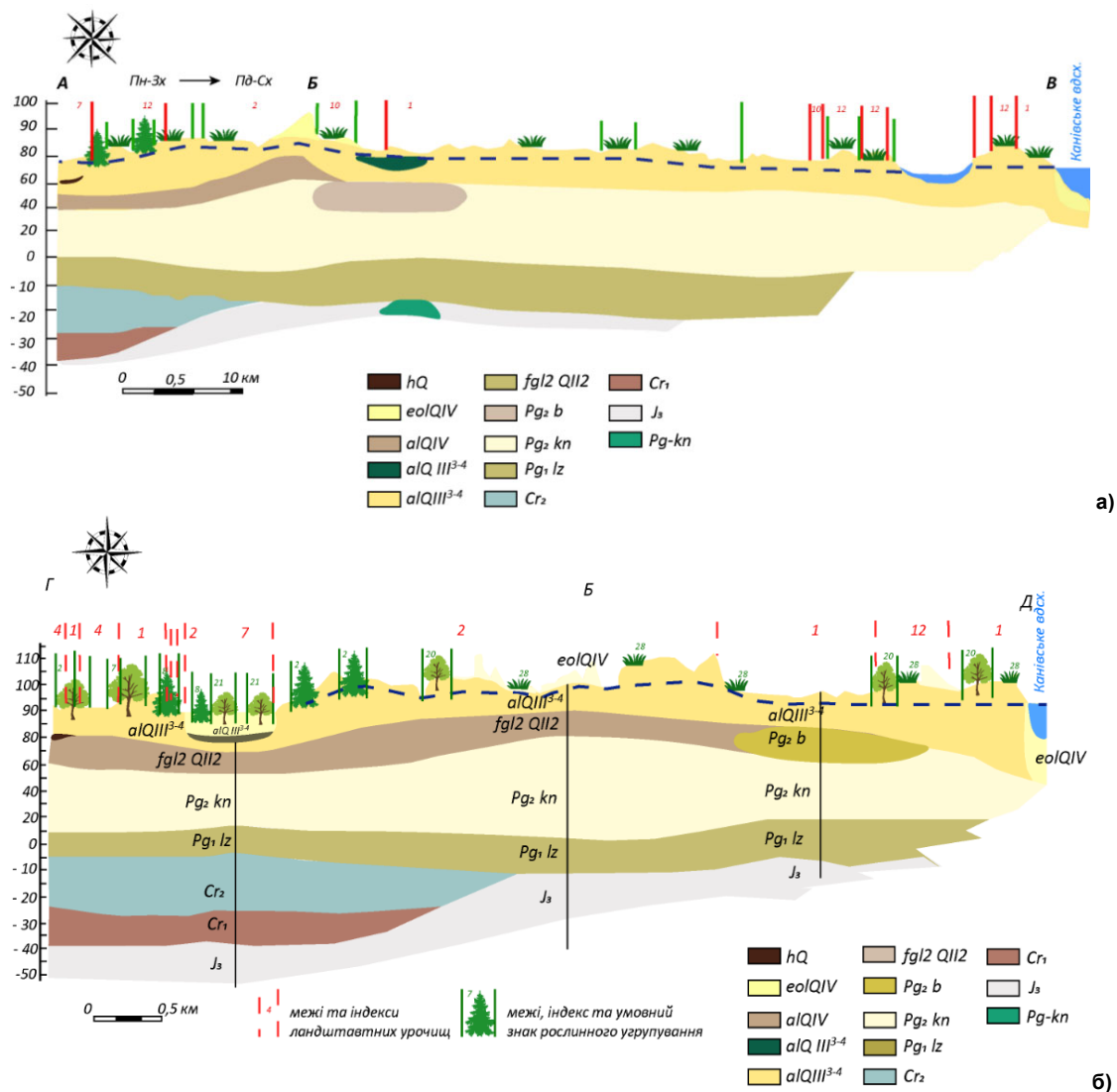


Рис. 5. Ландшафтні профілі:  
а) профіль А-Б-В; б) профіль Г-Б-Д



Проведений аналіз забруднення ґрунтів речовинами воєнно-техногенного походження в місцях розташування функціональних підзон мішеневих полів навчальних об'єктів показав, що на них значення концентрацій деяких забруднюючих речовин перевищує встановлені норми у 5–20 разів (Томашевська, 2001; Davydychuk et al., 2004; Данилюк і Туровець, 2015). Перед пробовідбором було проведено аналіз факторів воєнно-техногенного навантаження та складу забруднюючих речовин, які утворюються в результаті проведення заходів бойової підготовки у функціональних зонах військового полігону та підзонах навчальних об'єктів.

Польові дослідження на ВП показали, що забруднення його території носить зональний характер і групується навколо локальних підзон навчальних об'єктів, що залучаються до проведення та забезпечення заходів бойової підготовки з використанням озброєнь і військової техніки, а також є головними джерелами факторів ВТН.

При виборі ландшафтних профілів 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 й болото

Шкенделі). При цьому бралось до уваги, що вододіли та урізи водотоків (боліт тощо) є міграційними межами територій, де відбувається перебудова техногенних геохімічних ландшафтів.

Головна мета складання профілів – виявлення взаємозв'язків усередині природних територіальних комплексів і зв'язаності комплексів одного з одним. Ці завдання найуспішніше можуть бути вирішені із застосуванням геофізичних, геохімічних і математичних методів досліджень. Остаточні відповіді часто залежать від результатів обробки польових даних.

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 було складено за топографічною картою з подальшим польовим уточненням шляхом інструментальної зйомки в червні 2005 р. під час проведення польових досліджень на полігоні "Дівички".

Кількісні характеристики визначених концентрацій забруднюючих речовин-індикаторів за результатами хімічних аналізів проб, відібраних впродовж 2005–2018 р. на лінії профільного розрізу ВП "Дівички" наведено в табл. 3.

Таблиця 3

Вміст забруднюючих речовин-індикаторів у функціональних зонах військового полігону, мг/кг

| Точки пробовідбору | Функціональна зона чи підзона | Нітратний азот (мг/кг) | Нітрати (мг/кг) | Нітритний азот (мг/кг) | Аміак, мг/кг | Свинець Pb, мг/кг | Кадмій Cd, мг/кг |
|--------------------|-------------------------------|------------------------|-----------------|------------------------|--------------|-------------------|------------------|
| №6                 | Вогневі позиції               | < 2,80                 | <12,4           | -                      | -            | 89,6              | 2,13             |
| №7                 | Мішеневе поле                 | -                      | -               | 12,7                   | 56,3         | 102,0             | 3,05             |
| №15                | Придорожня смуга              | -                      | -               | -                      | -            | 103,2             | 2,05             |
| №2                 | Буферна зона                  | < 2,80                 | <12,4           | -                      | -            | 73,9              | 1,03             |
| №4                 | Буферна зона                  | 7,20                   | 31,9            | -                      | -            | 65,8              | 1,08             |
| №13                | Буферна зона                  | < 2,80                 | <12,4           | -                      | -            | 72,0              | 1,03             |

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.

У класичному підході, який використовувався для визначення концентрації забруднюючої рідини в пористому середовищі, рівняння математичної моделі адвекції – дисперсії має вигляд (Яковлев и др., 1994).

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

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:

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

де  $K$  – це 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.

Отже, математичне моделювання процесу поширення техногенних забруднень у літосфері ВП складається з двох стадій: 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 (Безуглий та ін., 2004; Лисиченко и др., 1988).

У вищезрозглянутій 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 (Томашевська, 2001), що класичну модель геоміграції можна застосовувати для алювіальних геологічних відкладів (піски, суглинки, вапняки та ін.) та літфікованих пористих порід (пісковики, вапняки тощо).

Джерела воєнно-техногенного забруднення, які утворюються на НО внаслідок заходів БП, мають за своєю природою специфічний характер. Насамперед вони здійснюють активний вплив на фізичні та механічні характеристики середовища, в яке проникає хімічне забруднення. Їхній вплив на абіотичну складову НПС носить імпульсно-точковий характер. Тому при моделюванні права частина рівняння (3) має бути представлена у вигляді комбінації узагальнених функцій типу  $\delta$ -функції Дірака (Томашевська, 2001):



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

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

У пакеті PDE Toolbox системи комп'ютерної математики MatLab 7.1.4 було проведено імітаційне моделювання поширення забруднень у ландшафтних профілях котла артилерії. На рис. 6 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.

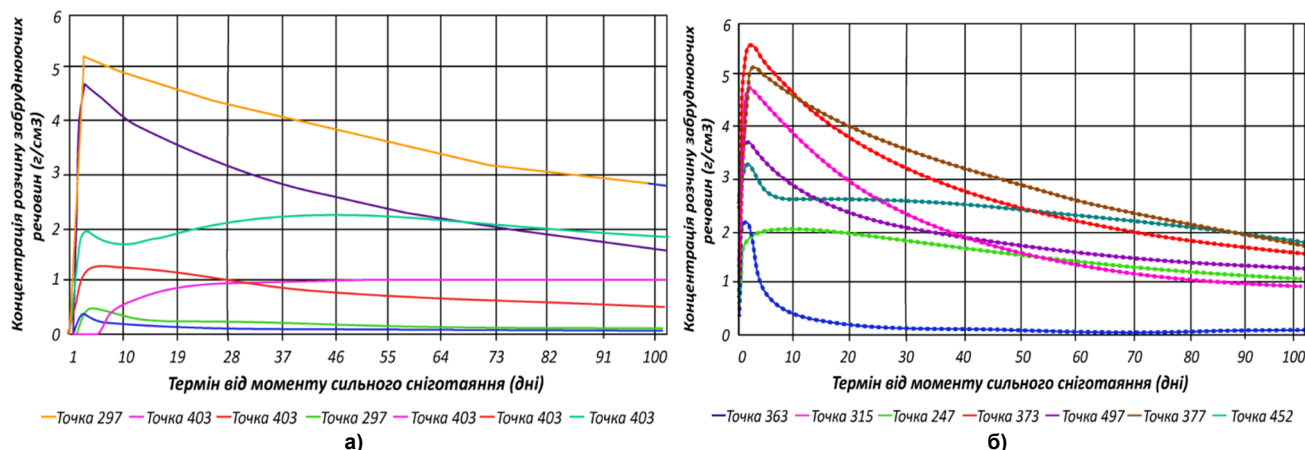


Рис. 6. Результати моделювання зміни концентрацій розчину забруднюючих речовин за профілем місцевості (а – АБВ, б – ГБД) протягом 100 днів

Для оцінки динаміки поширення забруднень за даними математичного моделювання в пакеті PDE Toolbox системи MatLab 7.1 було отримано залежності зміни концентрацій розчину забруднюючих речовин при поширенні його по ландшафтних профілях котла артилерії.

Отримані дані свідчать, що в межах території впливу значної кількості НО залежно від стану щільності та проникності порід зони ненасиченої фільтрації зростає ураженість підземних вод (УПВ) до геохімічних чинників ВТН. Загалом термін "уразливість підземних вод", як нижня гідрогеохімічна межа військової природно-техногенної геосистеми "військовий полігон – навколишнє природне середовище", наближається за фізичним змістом до поняття "стійкості геологічного середовища" і багатьма авторами розглядається як комплекс природних властивостей, що формують характер реакції верхньої зони літосфери на воєнно-техногенні впливи (Яковлев *и др.*, 1994). Але стосовно полігонів фактори УПВ та їх екологічна ідентифікація вимагають додаткового вивчення, враховуючи широке розмаїття гідрогеофільтраційних умов ВП України.

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.

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

$$R = f\left(\frac{Q}{D}\right), \quad (6)$$

де  $R$  – показник рівня УПВ (порівняльний показник ризику забруднення ґрунтових вод у зоні впливу НО),  $Q$  – показники кількості забруднюючої речовини, що потрапила у ґрунт (рівняння 3–5);  $D$  – узагальнений параметр захисної здатності системи "ґрунт – породи зони ненасиченої фільтрації" (можуть бути враховані параметри фільтраційного опору, сорбційної здатності та ін.).

**Висновки.** Актуальність представленої авторської концепції інформаційного забезпечення досліджень та робіт щодо поводження з геологічною складовою територій ВД полягає у формуванні наукової основи для проведення досліджень та робіт з відновлення екологічної безпеки територій, які зазнали впливу ВД.

Методологічна база теорії інформаційного забезпечення досліджень та робіт щодо поводження з геологічною складовою територій ВД полягає в розробці типізації порушень ГС у результаті ВД з виділенням типів ВД і форм їх впливу на ГС, встановленням механізму та прогнозом розвитку геосистем. Методологічна основа полягає в розробці принципів інформаційних моделей порушень ГС, які служать основою для визначення методів і технологій ліквідації наслідків порушення ГС, тобто відновлення ГС.

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

За всіх несприятливих організаційно-фінансових передумов світові тенденції пріоритету збереження навколишнього середовища для створення безпечних умов для проживання людства висувають проблеми відновлення ГС територій ВД в авангардний ряд невідкладних завдань для сталого розвитку світової спільноти.

#### Список використаних джерел

- Безуглий, М.М., Никипорець, Е.М., Лісовський, В.Г. (2004). Розрахунок радіусів розльоту продуктів вибуху та формування закономірностей поля розльоту боєприпасів для розрахункової підсистеми контуру логістики АСУ ВМС "Херсонес". *Збірник наукових праць Центрального науково-дослідного інституту Збройних Сил України*, 4 (29), 125-137.
- Вентцель, Е.С. (1962). Теория вероятностей. Москва: Государственное издательство физико-математической литературы.
- Горев, Л.Н., Коваленко, П.И., Лаврик, В.И. (1999). Гидроэкологические модели. Книга 1. Киев: Аграрная наука.
- Гришин, А.М. (2001). Моделирование и прогноз экологических катастроф. *Экологические системы и приборы*, 2, 28-33.
- Данилюк, С.Л., Туровець, Ю.С. (2015). Оцінка розповсюдження забруднень у зонах інтенсивного військово-техногенного навантаження військових полігонів Сухопутних військ. *Військово-технічний збірник*, (13), 111-119.
- Эйхоф, П. (1975). Основы идентификации систем управления. Москва: Мир.
- Клемин, В.В., Луценко, Г.П., Ременсон, В.А. (2000). Обеспечение экологической безопасности при повседневной деятельности воинских частей и подразделений. Учебное пособие. Москва: МО РФ.
- Лисиченко, Г.В., Луцки, А.В., Яковлев, Е.А. (1988). Формирование режима подземных вод в районах развития активных геодинамических процессов. Киев: Наукова Думка.
- Лисенко, О.І., Чеканова, І.В., Чумаченко, С.М., Турейчук, А.М. (2004). Про розвиток поняття воєнної екології. *Наука і оборона*, 3, 27-33.
- Петрашин, Л.Ф., Лысяный, Г.Н. (1986). Охрана окружающей среды. Москва: Недра.
- Романченко, І.С., Сбитнев, А.І., Чумаченко, С.М., Слободяник, В.А. (2006). Управління станом природного середовища полігонів ЗС України. *Заключний звіт пілотного проекту*. Київ: ЗАТ "Космоснімок".
- Свешников, А.А. (1965). Прикладные методы теории случайных процессов. Москва: Наука.
- Томашевська, Т.В. (2001). Математичне моделювання процесів фільтрації в екологічно небезпечних зонах. *Збірник наукових праць*. Київ: ННДЦ ОТ і ВБ України, 5, 225-228.
- 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.
- Хрущов, Д.П., Ковальчук М.С., Ремезова Е.А. и др. (2017). Структурно-литологическое моделирование осадочных формаций. Киев: Интерсервис.
- Хуторский, М.Д. (1999). Мониторинг и прогнозирование геофизических процессов и природных катастроф. Москва.
- Чумаченко, С.М. (2003). Методологічні основи проведення екологічної оцінки впливу бойової підготовки на довкілля військових полігонів. *Збірник наукових праць*. Київ: ННДЦ ОТ і ВБ України, 20, 105-115.

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

Яковлев, Е.А., Лютий, Г.Г., Почтаренко В.И. и др. (1994). Временное методическое руководство по проведению комплексных эколого-геологических исследований (на территории Украины). Киев: ГТП "Геопрогноз".

Davydchuk, 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 "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. Kiev.

#### References

- Bezuhlyi, M.M., Nykyporets, E.M., Lisovskyi, V.H. (2004). Calculation of the radii of flight of explosion products and the formation of patterns of the field of spread of ammunition for the calculation subsystem of the logistics circuit of the AMS "Chersonese". *Collection of scientific works of the Central Research Institute of the Armed Forces of Ukraine*, 4 (29), 125-137. [in Ukrainian]
- Chumachenko, S.M. (2003). Methodological bases of ecological assessment of the impact of combat training on the environment of military training grounds. *Collection of scientific works*. Kyiv: NNDC OT and VB of Ukraine, 20, 105-115. [in Ukrainian]
- Davydchuk, 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 "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. Kiev.
- 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]
- Eykhof, P. (1975). Fundamentals of identification of control systems. Moscow: Mir. [in Russian]
- Grishin, A.M. (2001). Modeling and forecasting environmental disasters. *Environmental systems and devices*, 2, 28-33 [in Russian]
- Gorev, L.N., Kovalenko, P.I., Lavrik, V.I. (1999). Hydroecological models. Book 1. Kiev: Agricultural Science. [in Russian]
- 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). Formation algorithms of the theory of information support for research and work on the handling of the geological environment. *Geoinformatics*, 1, 70-79. [in Russian]
- Hruschov, D.P., Kovalchuk M.S., Remezova E.A. et al. (2017). Structural and lithological modeling of sedimentary formations. Kiev: Interservice. [in Russian]
- Hutorskiy, M.D. (1999). Monitoring and forecasting of geophysical processes and natural disasters. Moscow. [in Russian]
- Klemin, V.V., Lutsenko, G.P., Remenson, V.A. (2000). Ensuring environmental safety in the daily activities of military units and subunits: Textbook. Moscow: Ministry of Defense of the Russian Federation. [in Russian]
- Lisichenko, G.V., Lushchik, A.V., Yakovlev, E.A. (1988). Formation of the groundwater regime in areas of development of active geodynamic processes. Kiev: Naukova dumka. [in Russian]
- Lysenko, O.I., Chekanova, I.V., Chumachenko, S.M., Tureichuk, A.M. (2004). On the development of the concept of military ecology. *Science and defense*, 3, 27-33. [in Ukrainian]
- Petryashin, L.F., Lyisyanyiy, G.N. (1986). Environmental protection. Moscow: Nedra. [in Russian]
- Romanchenko, I.S., Sbitniev, A.I., Chumachenko, S.M., Slobodanyk, V.A. (2006). Environmental Management of Landfills of the Armed Forces of Ukraine. *Final Report of the Pilot Project*. Kyiv: CJSC "Cosmozniomik". [in Ukrainian]
- Shennon, R. (1978). Simulation of systems - art and science. Moscow: Mir. [in Russian]
- Sveshnikov, A.A. (1965). Applied methods of the theory of random processes. Moscow: Science. [in Russian]
- Tomashevskaya, T.V. (2001). Mathematical modeling of filtration processes in ecologically dangerous zones. *Collection of scientific works*. Kyiv: NNDC OT and VB of Ukraine, 5, 225-228. [in Ukrainian]
- Venttsel, E.S. (1962). Probability theory. Moscow: State Publishing House of Physics and Mathematics. [in Russian]
- Yakovlev, E.A., Lyutyiy, G.G., Pochtarenko V.I. et al. (1994). Temporary methodological guidance for conducting complex ecological and geological research (on the territory of Ukraine). Kiev: State Enterprise "Geoprognosis". [in Russian]

Надійшла до редколегії 12.12.21

**D. Khrushchov**, Dr. Sci. (Geol.-Min.), Prof.,  
Institute of Geological Sciences of the NAS of Ukraine,  
Kyiv, 01054, Ukraine;  
**S. Chumachenko**, Dr. Sci. (Tech.),  
E-mail: sergiy23.chumachenko@gmail.com,  
National University of Food Technologies,  
Kyiv, 01033, Ukraine;  
**V. Zatserkovnyi**, Dr. Sci. (Tech.),  
E-mail: vitalii.zatserkovnyi@gmail.com;  
**P. Trofymenko**, Dr. Sci., (Agr.), Assoc. Prof.,  
E-mail: trofimenkopetr@ukr.net;  
Taras Shevchenko National University of Kyiv, Institute of Geology,  
90 Vasylkivska Str., Kyiv, 03022, Ukraine;  
**A. Splodytel**, Cand. Sci. (Geogr.), Doctoral Student,  
E-mail: asplodytel@gmail.com,  
M.P. Semenenko Institute of Geochemistry, Mineralogy and Ore Formation of the NAS of Ukraine,  
34 Palladina Ave., Kyiv, 03680, Ukraine

## CONCEPTUAL FRAMEWORK FOR INFOGEOLOGICAL MODELING OF MILITARY ACTIVITY TERRITORIES

*The purpose of the study is to elaborate framework of infogeological modeling of the military activity territories (using territorial objects in Ukraine) to provide informational support of research and works on the treatment of the geological environment of territories of military activity. The main methodological instrument of informational support of research and works on the treatment of the geological environment of territories of military activity is information modeling. Given the local level of military activity territories, the complex ecological and geological model serves as the primary methodological technique. Methods developed on this paradigm's principles aim to eliminate the consequences of military activity and restore the territories of the military conflicts. Ground research was developed using conceptual models, particularly checking main components of these models that aim at determining the indetermination. To identify the influence of the military activity sources, we used the Leopold Matrix and Sorensen Level Diagram, network diagram, method of the combined analysis of maps, and factor analysis. The evaluation of the spread of factors of military and technogenic load of chemical origin in the functional zones and subzones of the military polygon was carried out based on the complex approach to the ecological evaluation of the contamination of the territories of intensive military and technogenic load using the landscape profiling and imitating modeling taking into account geochemical and hydrometeorological conditions. The analysis of the soils, contaminated with military and technogenic origin substances in the places of functional subzones locations targeted fields of military polygon showed the indicators of concentration of some of the contaminating substances exceed norms 5-20 times. Field research in military polygon showed that contamination of its territory has zonal character and is grouped around local subzones of the military object where military preparation using armaments and military equipment is carried out, being the primary source of factors of military and technogenic load of the geological environment. Prospects for further development of this field lie in developing the integral theory of infogeological modeling of geological environment of military activity territories, oriented at the evaluation of different types of influences and threats.*

**Keywords:** geologic environment, infogeologic modeling, infoframe, military polygon.

**Д. Хрущов**, д-р геол.-минералог. наук, проф.,  
Институт геологических наук НАН Украины,  
ул. О. Гончара, 55-б, г. Киев, 01054, Украина;  
**С. Чумаченко**, д-р техн. наук,  
E-mail: sergiy23.chumachenko@gmail.com;  
Национальный университет пищевых технологий,  
ул. Владимирская, 68, г. Киев, 01033, Украина;  
**В. Зацерковный**, д-р техн. наук,  
E-mail: vitalii.zatserkovnyi@gmail.com;  
**П. Трофименко**, д-р с.-х. наук, доц.,  
E-mail: trofimenkopetr@ukr.net;  
Киевский национальный университет им. Тараса Шевченко,  
УНИ "Институт геологии", ул. Васильковская, 90, г. Киев, 03022, Украина;  
**А. Сплодитель**, канд. геогр. наук, докторант,  
E-mail: asplodytel@gmail.com,  
Институт геохимии, минералогии и рудообразования им. М.П. Семененко НАН Украины,  
пр. Ак. Палладина, 34, г. Киев, 03142, Украина

## КОНЦЕПТУАЛЬНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ ИНФОГЕОЛОГИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ТЕРРИТОРИЙ ВОЕННОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ

*Целью исследования является разработка положений infoгеологического моделирования территорий военной деятельности (на примере территории Украины) для информационного обеспечения исследований и работ по обращению с геологической составляющей исследуемых территорий. Основным методологическим инструментом является информационное моделирование. Учитывая преимущественно локальный уровень масштабности территорий военной деятельности, главным методическим приемом служит комплексная эколого-геологическая модель. Методы, разработанные на принципах этой парадигмы, направлены на ликвидацию последствий военной деятельности и восстановление территорий вооруженных конфликтов. Наземные исследования разработаны с использованием концептуальных моделей и проверкой основных компонентов этих моделей, нацеленных на идентификацию ими неопределенностей. Оценка распространения факторов военно-техногенной нагрузки химического происхождения в функциональных зонах и подзонах военного полигона осуществлялась на основе комплексного подхода к эколого-геохимической оценке загрязнения территорий интенсивной военно-техногенной нагрузки, с применением ландшафтного профилирования и имитационного моделирования с учетом геохимических и гидрометеорологических условий. Проведенный анализ загрязнения почв веществами военно-техногенного происхождения в местах расположения функциональных подзон мишеных полей военного полигона показал, что значение концентрации некоторых загрязняющих веществ превышает установленные нормы в 5–20 раз. Полевые исследования на военном полигоне демонстрируют зональный характер загрязнения, который группируется вокруг локальных подзон военного объекта, привлекаемых к проведению и обеспечению мероприятий боевой подготовки с использованием вооружения и военной техники, а также является главным источником военно-техногенной нагрузки на геологическую среду. Перспективы дальнейшего развития направления заключаются в разработке целостной теории infoгеологического моделирования геологической среды территорий военной деятельности, которая ориентирована на оценку различных типов воздействий и угроз.*

**Ключевые слова:** геологическая среда, infoгеологическое моделирование, военный полигон.