

УДК 621.03.9

DOI: <https://doi.org/10.31731/2524.2636.2023.7.2.193.216>

Ніна РАШКЕВИЧ¹, Ph.D. (ORCID: 0000-0001-5124-6068),

Олег МИРОШНИК², доктор технічних наук, професор
(ORCID: 0000-0001-8951-9498),

Роман ШЕВЧЕНКО¹, доктор технічних наук, професор
(ORCID: 0000-0001-9634-6943),

¹Національний університет цивільного захисту України,

²Черкаський інститут пожежної безпеки імені Героїв Чорнобиля
Національного університету цивільного захисту України

АНАЛІЗ СУЧАСНОГО СТАНУ ПОПЕРЕДЖЕННЯ НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЙ ПОВ'ЯЗАНИХ З НЕБЕЗПЕКОЮ ҐРУНТОВИХ ВОД

Проведення аналізу сучасного стану попередження надзвичайних ситуацій пов'язаних з небезпекою ґрунтових вод на територіях, які зазнали впливу воєнних дій, а саме систематичного ракетно-артилерійського ураження в умовах сьогодення є актуальною науково-практичною задачею.

Метою дослідження було проведення аналізу світового досвіду з попередження надзвичайних ситуацій на територіях, які зазнали ракетно-артилерійських уражень, в контексті визначення небезпеки ґрунтових вод.

Було сформовано масив порушень стану безпеки та якості ґрунтових вод, які спричинені воєнними діями. Проведений аналітичний огляд основних факторів поширення (міграції) забруднюючих речовин у ґрунтових водах. Проаналізовані методи та підходи моніторингу та прогнозування стану безпеки та якості ґрунтових вод в контексті вирішення задач цивільного захисту територіальних громад.

Проаналізувавши наукові розробки можливо стверджувати, що на сьогодні не створено універсальної методології оцінки безпеки ґрунтових вод на територіях які зазнали воєнного впливу з метою попередження надзвичайних ситуацій. Значна частина робіт проводиться в рамках визначення вразливості водоносних горизонтів – прогнозування безпечності та якості питної води. Розробка нових організаційно-технічних методів попередження надзвичайної ситуації на територіях, які зазнали ракетно-артилерійських уражень, на основі комплексного прогнозування, моніторингу та моделювання небезпеки ґрунтових вод повинна базуватися на єдиних методологічних позиціях, щодо місця та ролі процесів запобігання, попередження, локалізації та ліквідації в структурі загального процесу протидії надзвичайним ситуаціям, які були попередньо апробовані у низці робіт з розробки та впровадження організаційних, оперативних інженерно-технічних та інформаційних методів попередження надзвичайних ситуацій різного характеру виникнення та поширення.

Ключові слова: *воєнні дії (конфлікти), ґрунтові води, забруднення, моніторинг, прогнозування.*

Постановка проблеми. Підземні (ґрутові) води є основним джерелом прісної води та можуть використовуватись для побутових, сільськогосподарських та промислових цілей. Приблизно третина населення світу залежить від використання ґрунтових вод як питної води [1]. Однак, ресурси підземних вод перебувають під сильним антропогенним тиском та постійною загрозою забруднення.

Людська діяльність зменшує обсяги життєво-важливого природнього ресурсу – води. Військові дії посилюють проблему доступності якісної води, адже створюють

додаткові виклики, що пов'язані як із руйнуванням об'єктів водопостачання та водовідведення, так й забрудненням води. Використання забруднених вод спричиняє небезпеку для здоров'я населення через погіршення епідеміологічного стану або збільшення інфекційних захворювань. Хвороби, що передаються через воду, є однією з основних проблем охорони здоров'я у всьому світі [2, 3]. Негативний вплив забруднених ґрунтових вод на здоров'я людини носить хронічний характер і його дуже важко виявити [4].

В умовах сьогодення, коли авіація та артилерія російської федерації намагається не тільки знищувати військові об'єкти та інфраструктуру, а й впливати на стан безпеки водного середовища, актуальності набуває задача з аналізу сучасного стану попередження надзвичайних ситуацій (НС) пов'язаних з небезпекою зараження важкими металами та активними хімічними сполуками ґрунтових вод на територіях, які зазнали впливу воєнних дій, а саме систематичного ракетно-артилерійського ураження.

Аналіз останніх досягнень і публікацій. У багатьох країнах світу спостерігається дефіцит безпечної та якісної води [2], тому шляхам вирішення даної проблеми присвячено чимало наукових праць.

Якість води стає все більш вразливою до зміни клімату. Науковцями [5, 6] розглядається негативний вплив засухи, повені, а також підвищеної температури навколишнього середовища.

Негативний вплив урбанізації та індустріалізації на рівень забруднення вод розглянутий науковцями в роботі [7]. В роботі [8] оцінюється кореляція між швидкістю зростання населення на водозбірній території та показниками якості води річкової екосистеми. Щільність населення є основним фактором, який необхідно контролювати, щоб подолати швидку деградацію водної екосистеми.

В роботах [9, 10] приділяється увага питанням безпеки побутових та промислових стічних вод, впливу роботи гідроелектростанцій на якість води [11], гребель, водосховищ [12,13] використанню агрохімії [14, 15], біологічних організмів [17, 18],– радіаційного забруднення [19, 20].

Наукова спільнота значну увагу приділяє розвитку технологій очистки вод [21–23], наводить рекомендації щодо пріоритетів збереження і забезпечення надійного функціонування системи водопостачання [24].

Військові конфлікти суттєво погіршують стан водних ресурсів [25, 26]. Через більш високий потенціал сучасної зброї, воєнні дії, сьогодні, завдають більшої шкоди навколишньому середовищу, ніж більш ранні, менш індустріалізовані [27]. Наслідки проявляються у вигляді забруднення водних ресурсів [27, 28].

Дослідники визначають декілька можливих джерел забруднення через воєнні конфлікти: розлив нафти внаслідок нападів на нафтові родовища [29], пошкодження очисних споруд [30], розкладання та вплив токсичних речовин та вибухонебезпечних предметів (ракетне топливо, вибухівка тощо) [31], міграція населення [25, 26].

Таким чином, дослідження стану ґрунтових вод є нагальним не тільки для екологів, а й органів та підрозділів Державної служби України з надзвичайних ситуацій з метою забезпечення цивільної безпеки населення та територій. Методологічне наповнення функціонування поля застосування основних процесів системи цивільного захисту (прогнозування, моніторинг та моделювання) з урахуванням потенційних небезпек післявоєнної відбудови, що пов'язані з небезпекою водного середовища, є актуальним науково-практичним завданням.

Постановка задачі та її розв'язання. Метою дослідження є аналіз світового досвіду з попередження надзвичайних ситуацій на територіях, які зазнали ракетно-артилерійських уражень, в контексті визначення безпеки ґрунтових вод.

Для досягнення зазначеної мети необхідно вирішити наступні завдання:

– сформувані масив порушень стану безпеки та якості ґрунтових вод, які спричинені воєнними діями;

– провести аналітичний огляд основних факторів поширення (міграції) забруднюючих речовин у ґрунтових водах;

– проаналізувати методи та підходи моніторингу та прогнозування стану безпеки та якості ґрунтових вод в контексті вирішення задач цивільного захисту територіальних громад.

Виклад основного матеріалу дослідження з повним обґрунтуванням отриманих результатів. Формування масиву порушень стану якості ґрунтових вод, які спричинені воєнними діями. Вода (водна інфраструктура) часто стає жертвою конфліктів [32, 33] з довготривалою небезпекою для місцевого населення та екосистем [33]. Відсутність доступу до чистої води створює серйозну загрозу епідемічних спалахів, що посилюються як спекотною погодою, так й зниженням можливостей системи охорони здоров'я [34].

Вплив війни на водні ресурси загострює проблеми, які існували у мирний час, а саме: забруднення від сільського господарства, використання мийних фосфатних засобів, втрати води при транспортуванні, негативний вплив зміни клімату – посухи в одних регіонах й повені в інших [35].

Небезпека для водних ресурсів може бути спричинена навмисними цілеспрямованими атаками або внаслідок побічного ефекту ударів по інших цілях. Відповідно до [28] прямий вплив, що пов'язаний з військовими діями, зазвичай, виникає одразу, в той час як опосередкований вплив – проявляється лише у середньостроковій та довгостроковій перспективі. Автори [36] називають прямий вплив «первинним», а непрямий – «вторинним».

Воєнні дії прямо (наприклад, артилерійські обстріли, лісові пожежі) або побічно (наприклад, будівництво таборів біженців) сприяють деградації наземних екосистем [37]. Бойові дії невідворотно спричиняють механічне та хімічне забруднення водою та ґрунтових вод.

Дані Хронології водних катастроф та надзвичайних ситуацій, які наведені у відкритому доступі [38], свідчать, що за останні два десятиліття частота воєнних катастроф, пов'язаних з водою, зростає. Записи бази даних класифікуються за трьома категоріями: вода як тригер конфлікту; вода або водні системи, які використовуються як зброя в конфліктах; та вода або водні системи, які є жертвами чи об'єктами конфліктів [39].

Хвиля водних воєнних катастроф на території України пов'язана з російсько-українською війною, що розпочалася з 2014 р. – анексії Криму та збройного конфлікту на Донбасі [40].

На сайті «Екологія право людини. Верховенство права для захисту довкілля» [41] наведений огляд злочинів проти водної інфраструктури України за 2022 рік:

– руйнування гідротехнічних споруд (лютий місяць, гідровузол Каховської ГЕС, березень – гідроспоруди Оскільського водосховища Харківської області, вересень – Карачунівського водосховища в м. Кривий Ріг, вересень – гідровузол Печенізького водосховища на р. Сіверський Донець, жовтень – дамба Карлівського водосховища, листопад – гребля Каховської ГЕС);

– системи водопостачання та водовідведення (березень – системи Чернігівського водоканалу, насосні станції; квітень – магістральний водогін «Дніпро-Миколаїв» поблизу с. Киселівка Херсонської області; березень – очисні споруди у м. Василівці Запорізької області; травень – інфраструктура водопостачання в с. Білогорівці Луганської області; листопад – аварійні відключення на очисних спорудах м. Вознесенськ Миколаївської області);

– забруднення водойм (квітень – уламки ракети пошкоджено резервуари з мінеральними добривами в Кременецькому районі Тернопільської області, як наслідок забруднення р. Іква; жовтень – дронами-камікадзе зруйновано резервуар з рослинною олією, як наслідок забруднено акваторії Бузького лиману; травень – касетні снаряди розірвалися над акваторією Зеленодольського водосховища на Дніпропетровщині. Фахівці ДСНС неодноразово піднімали з водойм уламки російських ракет.

– природно-заповідний фонд.

Багато невеликих річок та ставків України зазнали патологічного впливу на біорізноманіття. Наслідки проявляються у втраті здатності до самоочищення та природного відновлення.

Жахливі наслідки підриву дамби Каховської ГЕС (червень 2023 р.) [42] Серед наслідків злочинного руйнування: «первинне» забруднення вод Дніпра та Чорного моря внаслідок потрапляння до вод паливно-мастильних матеріалів, змиву сміття, агрохімікатів, інших небезпечних матеріалів, затоплення і виведення з ладу систем очистки стічних вод, каналізації; «вторинне» забруднення внаслідок порушення шарів намулу, в яких десятиліттями відбувалось накопичення забруднюючих речовин; вимивання, перенесення мін та інших вибухонебезпечних речовин, збільшення мінної небезпеки.

Критична ситуація через наявні пошкодження або вже зруйнуванні об'єкти водопостачання та водовідведення, постійні обстріли прибережних районів і територіальних громад, спостерігається у Придніпровському промисловому регіоні (Кіровоградській, Дніпропетровській, Запорізькій та Херсонській областях). В роботі [43] наведена карта пошкоджень та перебоїв у водопостачанні внаслідок війни в Україні. Найбільшого впливу від воєнних дій зазнають басейни річок Дніпра та Дону (р. Сіверський Донець).

Таким чином, воєнні дії – вибухи на підприємствах промисловості, мінування водних об'єктів, руйнування водної інфраструктури, захоплення об'єктів водопостачання – спричиняють небезпечні зміни у водному середовищі. Серед змін - відсутність безпечного централізованого водопостачання, так й забруднення вод важкими металами, підтоплення територій та погіршення їхнього санітарного стану.

Аналітичний огляд основних факторів поширення (міграції) забруднюючих речовин у ґрунтових водах. У водоносному горизонті забруднюючі речовини часто створюють шлейф забруднювача, край якого може перетинатись з підземними колодзями та поверхневими водами. Це робить водопостачання небезпечним для населення.

Уразливість водоносних шарів до забруднення залежить від факторів, серед яких глибина до рівня ґрунту води, кліматичні фактори, топографія, ґрунтовий покрив та рослинні характеристики.

Глибина залягання ґрунтових вод є ключовим фактором при оцінці водозахищеності. Неглибокі водоносні горизонти піддаються більшому ризику забруднення, оскільки там менше пластів для фільтрації забруднень [44]. Під загрозу потрапляють не лише природні води країн, які перебувають у стані воєнного конфлікту, а й країни зі спільними річками транскордонного значення [45].

Клімат може мати важливе значення щодо ймовірності переміщення забруднювачів у водних об'єктах [46]. Річні норми опадів та випаровування можуть допомогти визначити, як стік поверхневих вод, швидкість поповнення ґрунтових вод та вологість ґрунту можуть впливати на міграцію забруднюючих речовин.

Температура ґрунту впливає на переміщення забруднюючих речовин, оскільки замерзлий ґрунтовий покрив може збільшити стік і перешкоджати поповненню ґрунтових вод. Тенденції, які спостерігаються у зміні якості підземних вод, узгоджуються з температуро-залежною інтенсифікацією мікробного метаболізму та

посиленням мінералізації органічної речовини при більш високих температурах як у водоносних горизонтах, так і у вище розташованих ґрунтах [47].

Сезонні умови впливають на міграцію забруднюючих речовин. Ступінь та відстань міграції забруднюючих речовин істотно відрізнятимуться в період сильного дощу або сильного снігопаду.

Топографія, відносна крутизна та висота ділянки впливатимуть на напрям та швидкість стоку поверхневих вод [48]. Більш круті схили означають, що поверхневі води мають тенденцію стікати, а не проникати. Ризик забруднення менший у сухих районах, ніж у районах із рясними опадами.

Ґрунтовий покрив та рослинні характеристики ділянки впливають на швидкість ерозії, просочування та випаровування ґрунту.

Характер розміщення джерел забруднення визначає граничні умови, шлях та час пересування забруднень до водоносного горизонту або водозабору.

Різні механізми впливають на переміщення забруднювачів: дифузія [49], інфільтрація атмосферних опадів [50], адсорбція [23], розпад у ґрунтових водах [51]. Механічне перенесення під дією гідравлічного градієнту є основною формою міграції компонентів у водоносних пластах.

Відкачування води з колодязів, що розміщені у водоносних горизонтах, може впливати на швидкість перенесення забруднюючих речовин та напрямом ґрунтових вод.

Хімічні речовини, перебуваючи у воді, можуть зазнати розпаду або хімічних змін. Внаслідок реакції самі часткового розкладання утворюються нові небезпечні речовини [51].

Поведінка і характер міграції забруднюючих речовин у водному середовищі варіюються залежно від характеристик ґрунту та геології ділянки, гідрогеології, властивостей забруднювачів [52].

Характеристики ґрунту, такі як конфігурація, склад, пористість, проникність та ємність катіонного обміну, впливають на швидкість просочування (або інфільтрації атмосферних опадів), поповнення підземних вод, міграцію забруднюючих речовин.

Стратиграфія території відіграє важливу роль у транспортуванні забруднюючих речовин. Місцевість може мати пласти піщаного ґрунту, тріщинистої корінної породи, глини або твердого пласту. Ділянки карстового рельєфу на вапняковій основі іноді вразливі до поверхневого забруднення ґрунтовими водами. Землетрусні розломи також можуть бути шляхами надходження забруднення вниз.

Геологічні та гідрогеологічні умови ділянки визначають швидкість та напрямом переміщення забруднюючих речовин у ґрунті та ґрунтових водах, ризик потрапляння джерел постачання питної води.

Фізичні характеристики водоносних горизонтів, особливо пористість та проникність геологічних матеріалів, впливають на вертикальне (до водоносних горизонтів) та латеральне (до колодязів з питною водою) переміщення забруднюючих речовин у ґрунтових водах [53, 54].

Результати досліджень показали, що важкі метали мігрують вертикально вниз під дією сили тяжіння, тоді як у насиченому водоносному горизонті, переважає перенесення розчинених речовин через потік ґрунтових вод [53].

Гідравлічна провідність ґрунту демонструє позитивну кореляцію зі ступенем забруднення та вертикальною міграцією [54].

Забруднювачі, які мають високу схильність до адсорбції у ґрунті, відносно короткий період напіврозпаду для біологічного розкладання, сприяють захищеності підземних вод.

Температура та рН водоносного горизонту впливають на розчинність забруднювачів – здатність мігрувати. Добре розчинні сполуки мають тенденцію переміщатися із ґрунтовими водами.

Дослідниками [55]. зазначено, що високі температури сприяють рухливості миш'яку у ґрунтових водах. Важкі метали у воді з високим рН мають тенденцію випадати в осад, характеризується низькою рухливістю [56].

Високий показник коефіцієнту адсорбції вказує на те, що хімічні речовини міцно зв'язуються з речовинами у ґрунті, тому менша кількість хімікатів може потрапити до ґрунтових вод.

Основні фактори поширення (міграції) забруднюючих речовин у ґрунтових водах можна розділити на три групи:

– природні: кліматичні умови, наявність в розрізі слабопроникаючих порід; глибина залягання ґрунтових вод; потужність, літологія і фільтраційні властивості порід; сорбційні властивості порід;

– техногенні: умови знаходження забруднюючих речовин на поверхні землі, характер проникнення;

– фізико-хімічні властивості забруднюючих речовин: міграційна здатність, сорбція, хімічна стійкість або час розпаду, взаємодія з породами і підземними водами.

Таким чином, дослідження поширення (міграції) забруднюючих речовин у ґрунтових водах є складним завданням через необхідність врахування природних, техногенних факторів середовища міграції, фізико-хімічних властивостей забруднюючих речовин.

Аналіз методів та підходів моніторингу та прогнозування стану безпеки та якості ґрунтових вод в контексті вирішення задач цивільного захисту територіальних громад. Забруднення вод – це небезпечна подія, яка може бути віднесена за ознаками [57] до надзвичайної ситуації (НС) та класифікована відповідно до [58] як: 10430 – НС унаслідок наявності у воді шкідливих (забруднювальних) речовин понад ГДК (10431 – ... в поверхневих водах ..., 10432 – ... в питній воді ..., 10433 – ... в підземних водах ...).

Вирішити проблему попередження НС можна тільки встановивши і усунувши причини виникнення небезпечної події, або навчившись своєчасно виявляти і локалізувати на початкових стадіях. Пріоритетного значення набуває спостереження і контроль за життєвим середовищем людини. Від так, одним із складових елементів забезпечення безпеки населення та територій від наслідків НС є система моніторингу. Моніторинг масивів підземних вод передбачає спостереження за кількісними параметрами підземних вод та характеристиками їх хімічного стану.

ДСНС України є суб'єктом державного моніторингу вод [59] проводить діагностичний моніторинг, серед показників діагностики – хімічні та фізико-хімічні: для річок (температура, розчинений кисень, мінералізація, питома провідність, електропровідність, водневий показник, біологічне споживання кисню, хімічне споживання кисню, нітроген загальний, нітроген амонійний, нітроген нітритний, нітроген нітратний, фосфор загальний, фосфор ортофосфатів), озер (додається прозорість), поверхневих вод (всі вище зазначені показники, окрім водневого показника, біологічного та хімічного споживання). Також проводить операційний моніторинг, крім прибережних вод.

Підходи до ведення моніторингу включають широкий спектр організаційних, кадрових, технічних, матеріальних та інших логістичних рішень [60].

Умовно, такі підходи можна розподілити за такими групами [60]:

1) наземні та надводні методи ведення моніторингу, які включають як автоматичні і напівавтоматичні датчики для забезпечення постійного спостереження за

станом водних ресурсів, так і методи, що передбачають виїзд та проведення досліджень безпосередньо на станціях моніторингу (точках спостереження). Ця група також включає фото і відеофіксацію за допомогою безпілотних літальних апаратів (БПЛА) та організацію стаціонарних фото і відеоспостережень.

2) використання методів дистанційного зондування земної або ж водної поверхні передбачає отримання космічних знімків необхідної роздільної здатності з подальшим їх дешифруванням та інтерпретацією. Ця група методів також передбачає використання фото і відеофіксації за допомогою БПЛА.

Ефективний моніторинг підземних вод має ґрунтуватися на певній меті, наприклад, конкретному забруднювачі, що викликає занепокоєння [44]. Рівень забруднення порівнюється з місцевими рекомендаціями або Всесвітньої організації охорони здоров'я.

Для адекватного управління підземними водами необхідно реалізувати схеми, що дозволяють отримувати просторову та тимчасову інформацію про якість та рівні підземних вод шляхом проведення польових досліджень. Ці дослідження розглядаються як основне джерело інформації для визначення стану безпеки та якості води [61]. Дані про підземні води, зібрані у просторі та часі, корисні для побудови чисельних моделей, які дозволяють моделювати еволюцію рівнів та якості підземних вод [62].

Мережа моніторингу представлена у різних частинах світу, де рівень і якість підземних вод і джерел вимірюються на регіональному рівні. Обробка та подання цієї інформації здійснюється в географічних інформаційних системах. Міжнародний центр з оцінки ресурсів підземних вод (IGRAC) започаткував Глобальну мережу моніторингу підземних вод (GGMN). Ця мережа заснована на каталозі з 166 параметрів/змінних, включених до географічних інформаційних систем [63].

Вченими розглядаються різні методи оптимізації проектування мереж моніторингу якості підземних вод. В роботі [64] запропоновано оптимальне проектування мереж моніторингу рівня підземних вод з використанням штучних нейронних мереж або багатокритеріального аналізу, реалізованого в географічній інформаційній системі або багатокритеріального аналізу – [65]. Поширеним підходом до проектування мереж моніторингу рівня підземних вод є застосування методів геостатистичної інтерполяції [66, 67].

Зростання забруднення підземних вод в усьому світі призвело до появи концепції «вразливості водоносного горизонту». Деякі водоносні горизонти більш вразливі до забруднення, ніж інші [68, 69].

Для вирішення задач цивільного захисту територіальних громад – захисту ґрунтових вод від забруднюючих речовин, – необхідно проводити заходи з прогнозування можливого забруднення. Прогнозування включає оцінку вразливості підземних (ґрунтових) вод. За результатами оцінки, можна визначити імовірні загрози для життя та здоров'я населення, а також розробити та прийняти необхідні заходи для збереження та захисту цього природного ресурсу.

Для оцінки вразливості підземних вод науковцями застосовуються різні методи, які можна розділити на три загальні категорії: статистичні методи, імітаційні моделі, що ґрунтуються на процесах, та методи накладання та індексування [70, 71]. Основними аспектами оцінки вразливості є: час переміщення забруднюючої речовини від джерела до мети; процес ослаблення забруднення на шляху переміщення; тривалість присутності забруднення на цілі.

Статистичні методи можуть змінюватись від простої описової статистики концентрацій забруднюючих речовин до більш складного регресійного аналізу, що включає вплив кількох пояснюючих змінних [71]. Дослідники [72], використовуючи

статистичні методи, наглядно продемонстрували результати оцінки ризику, пов'язаного з забрудненням, для здоров'я людини.

Ідентифікація потенційних джерел забруднення підземних вод у басейні Іслі (північний схід Марокко) та розуміння їх просторової мінливості у відповідь на певні природні та антропогенні впливи були досягнуті шляхом комбінованого вивчення іонних відносин та статистичного аналізу гідрохімічні дані [73].

Метод логістичної регресії для оцінки вразливості водоносних горизонтів до забруднення різними забруднювачами, такими як нітрати, хлориди та пестициди, представлений роботі [74].

З використанням багатовимірної статистики: ієрархічного кластерного аналізу, факторного аналізу відповідностей та аналізу головних компонент, – можна ознайомитись в роботах по дослідженню водоносних горизонтів долини Сумам в північно-східній частині Алжиру [75], центральної частини басейну річки Гуаньчжун (республіка Китай) [76], регіону Алмачам (республіка Туреччина) [77].

Компонентний аналіз – це багатовимірний статистичний метод, який можна використовувати для зменшення складності вхідних змінних, коли є великий обсяг інформації та очікується, що змінні матимуть розширене пояснення [78].

Однак, використання статистичних методів обмежено вимогою високої якості даних та часовими обмеженнями.

Для прогнозування вразливості підземних вод використовуються моделі штучного інтелекту, що включають нечітку логіку, штучні нейронні мережі та нейро-нечітке моделювання [79].

SOM – це приклад нейронних мереж, які можна застосовувати для кластеризації та візуалізації складних та нелінійних наборів даних з різними характеристиками [80].

Імітаційні моделі, які ґрунтуються на процесах поєднання різних фізичних, хімічних та біологічних процесів для прогнозування перенесення забруднюючих речовин у просторовому та тимчасовому масштабі. В роботі [81] представлено інтегрований код гідрологічного моделювання, який враховує не лише гідрологічні процеси поверхневих та підземних вод та їх взаємодію, а також схеми управління, які переносять воду між областями у напівзасушливих, ретельно керованих агрорегіонах. Методи математичного моделювання процесу потребує великого обсягу допоміжних даних, тому найчастіше використовується на невеликих площах. Вони обмежені відсутністю достатньої кількості даних, а також обчислювальними труднощами.

Індексні методи, в залежності від застосування, поділяються на групи для пористих та карстових водоносних горизонтів [82]. Першим кроком є визначення ґрунтових, гідрогеологічних, гідрографічних та морфологічних характеристик, що відповідають кожній зоні в межах вразливого ареалу.

Цінними інструментами для стійкого управління підземними водами та планування землекористування у масштабі басейну або суббасейну є карти вразливості [71]. Карти передбачають накладання кількох тематичних карт з факторами, які були вибрані для опису вразливості водоносного горизонту. Існує два типи карт зонування: карти вразливості водоносних горизонтів до забруднення і карти захисту джерел [44]. Це забезпечує ефективний спосіб визначення того, які вододжерела (свердловини, колодязі) слід перевірити.

Найбільш популярними методами накладання та індексування є DRASTIC, SINTACS, GOD, AVI. Ці методи використовувались в різних країнах світу, зокрема: Ірані [83], Марокко [84], США [85], Китаї [86], Індії [87], Тайланді [69], Італії [88], Греції [89], Індонезії [90, 91]

DRASTIC – це індексно-рейтинговий метод, що враховує природні фактори: глибину до рівня ґрунтових вод (D), живлення підземних вод (R), середовище

водоносного горизонту (A), ґрунтове середовище (S), топографія (T), вплив середовища вадозної зони (I), гідравлічна провідність водоносного горизонту (C). Кожен фактор характеризується постійним заздалегідь визначеним ваговим вкладом. В роботі [92] наведений огляд застосування методу DRASTIC на основі географічних інформаційних систем (ГІС).

Автори [93] показали вразливість та небезпеку забруднення підземних вод у мілководному водоносному горизонті Брага (Республіка Туніс) за допомогою комплексного багатокритеріального аналізу на основі ГІС та підходу штучної нейронної мережі (ANN) з використанням моделей DRASTIC та DRASTIC-LU, при цьому DRASTIC-LU додатково враховує антропогенний фактор забруднення.

Модель DRASTIC не забезпечує абсолютну оцінку вразливості підземних вод [94].

Метод SINTACS має більшу гнучкість у виборі рейтингів та вагомостей. Даний метод дозволяє розглядати території з карстовими процесами або розломами в скельних породах. В роботі проведена оцінка вразливості підземних вод гірничодобувного району Таркви (Південна Ганна) [95]. В дослідженнях [88] метод SINTACS був модифікований та застосований для Кампанської рівнини на півдні Італії. Модифікація полягала в оптимізації параметрів рейтингів з використанням тесту суми рангів Вілкоксону та вагових оцінок за допомогою еволюційних алгоритмів.

Метод GOD враховує три параметри: тип водоносного горизонту (G), склад порід аерації (O), глибину до рівня ґрунтових вод (D) [90]. Кожний параметр має значення від 0 до 1.

Метод AVI використовується для спрощеної оцінки. Розглядається два параметри: товщина кожного осадового шару над водоносним горизонтом та оцінка їх гідравлічної провідності [91]. Значення гідравлічного опору дає можливість оцінити час протікання забруднення до водоносного горизонту, що дозволяє визначити ступінь вразливості.

Воєнні дії суттєво знижують стан безпеки та якість водних ресурсів, накладають свої обмеження щодо їх моніторингу та контролю. В умовах воєнного стану в Україні регламентоване зниження контролю якості питної води [96].

Визначення стану якості ґрунтових вод вимагає відбору відповідних проб ґрунту та води, виконання подальшого аналізу.

В документі [97] описані процедури відбору та аналізу проб підземних вод, що стосуються тимчасового та постійного моніторингу колодязів водопостачання.

Основними критеріями відбору проб ґрунтових вод є: місце відбору (свердловини, колодязі чи річки), глибина відбору (важливо взяти зразок з різних глибин, оскільки якість води може змінюватися в залежності від рівня ґрунтових вод), кількість зразків (рекомендується брати кілька зразків з одного джерела води, особливо для надійності результатів аналізу; кількість зразків може варіюватися залежно від розміру джерела); умови транспортування та зберігання (зразки слід збирати в спеціальних контейнерах, які не містять речовин, що можуть змінити якість води. Зберігання зразків має відбуватися при низькій температурі і без прямого сонячного світла, щоб уникнути змін якості води).

Орієнтовний перелік методик та стандартів визначення показників безпечності та якості питної води на території України наведений в додатку 5 до Державних санітарних норм та правил «Гігієнічні вимоги до води питної, призначеної для споживання людиною» (ДСанПіН 2.2.4-171-10) [98].

Фізичний аналіз ґрунтових вод зазвичай включає дослідження таких параметрів, як:

- температура за допомогою термометра;
- колір – спектрофотометра або порівняльних методів;

- запах оцінюється зовнішнім сприйняттям;
- зміст розчинених речовин – різних хімічних методів (хроматографія, спектрофотометрія або електролітична кондуктометрія);
- рН – рН-метра;
- електролітична провідність – кондуктометра;
- розмір часток – ситового аналізу або лазерного розсіювання;
- густина – пікнометра або гідрометру;
- в'язкість – методів, які вимірюють внутрішнє тертя рідини.

Ці методи вимагають деякої лабораторної підготовки та спеціального обладнання.

Методи хімічного аналізу ґрунтових вод використовуються для визначення різних параметрів, таких як розчинені речовини, рН, електропровідність, жорсткість води та інші. Деякі з найпоширеніших методів включають:

- спектрофотометрію, що використовується для визначення концентрації розчинених речовин шляхом вимірювання поглинання світла розчином;
- хроматографію – метод розділення компонентів зразка за допомогою фізичного або хімічного взаємодії з нерухою фазою та рухою фазою;
- титриметрію – вимірювання концентрації речовини в розчині шляхом взаємодії розчину з розчином стандартного розчину;
- електрохімічні методи, що включають в себе вимірювання електродного потенціалу, вимірювання електропровідності та визначення рівня рН;
- іонометрію – визначення концентрації різних іонів у розчині шляхом вимірювання потенціалу електроду;
- мас-спектрометрію – вимірювання маси та складу речовин на основі вимірювання мас-спектра.

Основні методи біологічного аналізу, що базуються на вимірюванні біологічних показників ґрунтових вод, включають:

- метод визначення біологічного індексу різноманітності, що оцінює загальний стан водойм і включає в себе вимірювання різноманітності організмів. Чим вищий індекс різноманітності, тим краща якість води.
- метод визначення кількості та різноманітності мікроорганізмів, що включає визначення кількості та різноманітності мікроорганізмів у воді. Збільшена кількість певних мікроорганізмів може свідчити про наявність забруднень.
- метод визначення біологічної активності, що визначає опірність мікроорганізмів до певних речовин або токсичних сполук у воді. Чим більша активність мікроорганізмів, тим краща якість води.
- метод визначення присутності і показників фекального забруднення, що включає визначення кількості та типів бактерій, які є індикаторами фекального забруднення.

Вище зазначені методи фізичного, хімічного та біологічного аналізу сприяють визначенню якості ґрунтових вод та виявленню забруднень, допомагають контролювати їх рівень та вживати заходів щодо очищення водойм.

Набувають поширення геофізичні та геоінформаційні методи.

Застосування геофізичних методів для визначення потенційних місць видобутку підземних вод [99].

При розвідці підземних вод використовуються різні наземні геофізичні методи, включаючи метод електричного протидії, метод сейсмічної рефракції, магнітний метод, радіоактивний метод, гравітаційний метод і електромагнітний метод [100].

Важливо враховувати, що дослідження стану ґрунтових вод повинні проводитись кваліфікованими спеціалістами з урахуванням національних та

міжнародних норм та стандартів. Це дозволить отримати об'єктивну інформацію для прийняття відповідних заходів щодо забезпечення цивільного захисту територіальних громад.

Значної ваги, в умовах зростання глобальних загроз, збільшення ймовірності виникнення НС, дефіциту природних ресурсів, а також небезпеки наслідків впливу воєнного конфлікту, набуває прийняття оптимальних та оперативних рішень у сфері цивільного захисту. На сьогодні не створено універсальної методології оцінки безпеки ґрунтових вод на територіях які зазнали воєнного впливу з метою попередження надзвичайних ситуацій. Значна частина робіт проводиться в рамках визначення вразливості водоносних горизонтів – прогнозування безпечності та якості питної води.

Таким чином, розробка нових організаційно-технічних методів попередження надзвичайної ситуації на територіях, які зазнали ракетно-артилерійських уражень, на основі комплексного прогнозування, моніторингу та моделювання небезпеки ґрунтових вод повинна базуватися на єдиних методологічних позиціях, щодо місця та ролі процесів попередження, локалізації та ліквідації в структурі загального процесу протидії НС, які були попередньо апробовані у низці робіт з розробки та впровадження організаційних, оперативних, інженерно-технічних та інформаційних методів попередження НС різного характеру виникнення та поширення.

Висновки. 1. Сформований масив порушень стану безпеки та якості ґрунтових вод, які спричинені воєнними діями, дозволяє стверджувати, що вибухи на підприємствах промисловості, мінування водних об'єктів, руйнування водної інфраструктури, захоплення об'єктів водопостачання – спричиняють небезпечні зміни у водному середовищі. Серед змін - як відсутність безпечного централізованого водопостачання, так й забруднення вод важкими металами, підтоплення територій та погіршення їхнього санітарного стану.

2. Дослідження поширення (міграції) забруднюючих речовин у ґрунтових водах є складним завданням через необхідність врахування природних, техногенних факторів середовища міграції, фізико-хімічних властивостей забруднюючих речовин.

3. Аналіз наявних наукових розробок дає можливість стверджувати, що на сьогодні не створено універсальної методології оцінки безпеки ґрунтових вод на територіях які зазнали воєнного впливу з метою попередження надзвичайних ситуацій. Значна частина робіт проводиться в рамках визначення вразливості водоносних горизонтів – прогнозування безпечності та якості питної води. Розробка нових організаційно-технічних методів попередження надзвичайної ситуації на територіях, які зазнали ракетно-артилерійських уражень, на основі комплексного прогнозування, моніторингу та моделювання небезпеки ґрунтових вод повинна базуватися на єдиних методологічних позиціях, щодо місця та ролі процесів попередження, локалізації та ліквідації в структурі загального процесу протидії надзвичайним ситуаціям, які були попередньо апробовані у низці робіт з розробки та впровадження організаційних, оперативних інженерно-технічних та інформаційних методів попередження надзвичайних ситуацій різного характеру виникнення та поширення.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. International Association of Hydrogeologists. Groundwater - more about the hidden resource. Access mode: <https://iah.org/education/general-public/groundwater-hidden-resource>.

2. World Health Organization (WHO). Guidelines for drinking-water quality: Fourth edition incorporating the first and second addenda. 2022. 614 p. Access mode: <https://www.who.int/publications/i/item/9789240045064>.

3. Progress on household drinking water, sanitation and hygiene 2000–2022: special focus on gender. New York: United Nations Children’s Fund (UNICEF) and World Health Organization (WHO). 2023. Access mode: <https://reliefweb.int/report/world/progress-household-drinking-water-sanitation-and-hygiene-2000-2022-special-focus-gender>
4. Chakraborti D., Rahman M.M., Mukherjee A., Alauddin M., Hassan M., Dutta R.N., ... & Hossain M.M. Groundwater arsenic contamination in Bangladesh - 21 Years of research. *Journal of Trace elements in Medicine and Biology*. (2015). Vol. 31. P. 237–248.
5. Amanullah Khalid S., Imran Khan H.A., Arif M., Altawaha A.R., ... & Parmar B. Effects of climate change on irrigation water quality. *Environment, climate, plant and vegetation growth*. 2020. P. 123–132.
6. Whitehead P.G., Wade A.J., & Butterfield D. Potential impacts of climate change on water quality and ecology in six UK rivers. *Hydrology Research*. 2009. Vol. 40(2–3). P. 113–122.
7. Rahmana M., Ishaquea F., Hossaina M.A., Mahdya I.H., Royb P.P., & Treatment W. Impact of industrialization and urbanization on water quality of Surma River of Sylhet City. *Desalination and water treatment*. 2021. Vol. 235. P. 333–345. DOI: 10.5004/dwt.2021.27661
8. Liyanage C.P., Yamada K. Impact of population growth on the water quality of natural water bodies. *Sustainability*. 2017. Vol. 9, № 8. article 1405. Access mode: <https://doi.org/10.3390/su9081405>
9. Khanam N., Singh A.A., Singh A.K., Hamidi M.K. Water Quality Characterization of Industrial and Municipal Wastewater, Issues, Challenges, Health Effects, and Control Techniques. In *Recent Trends in Wastewater Treatment*. 2022. pp. 1–30. Cham: Springer International Publishing. Access mode: https://doi.org/10.1007/978-3-030-99858-5_1
10. Djuwita M.R., Hartono D.M., Mursidik S.S., & Soesilo T.E.B. Pollution Load Allocation on Water Pollution Control in the Citarum River. *Journal of Engineering & Technological Sciences*. 2021. Vol. 53, № 1. Access mode: <https://doi.org/10.5614/j.eng.technol.sci.2021.53.1.12>
11. Alsaleh M., & Abdul-Rahim A. Moving toward sustainable environment: The effects of hydropower industry on water quality in EU economies. *Energy & Environment*. 2022. Vol. 33, № 7. P. 1304–1325. Access mode: <https://doi.org/10.1177/0958305X211039452>
12. Zaidel P.A., Roy A.H., Houle K.M., Lambert B., Letcher B.H., Nislow K.H., & Smith C. Impacts of small dams on stream temperature. *Ecological Indicators*. 2021. Vol. 120. article 106878. Access mode: <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2020.106878>
13. Dębska K., Rutkowska B. & Szulc W. The influence of a dam reservoir on water quality in a small lowland river. *Environ Monit Assess*. 2021. Vol. 193(123). 7 p. Access mode: <https://doi.org/10.1007/s10661-021-08905-6>
14. Rad S.M., Ray A.K., Barghi S. Water Pollution and Agriculture Pesticide. *Clean Technol.* 2022. Vol. 4, № 4. P. 1088–1102. Access mode: <https://doi.org/10.3390/cleantechnol4040066>
15. Jayasiri M.M.J.G.C.N., Yadav S., Dayawansa N.D.K., Proper C.R., Kumar V., & Singleton G.R. Spatio-temporal analysis of water quality for pesticides and other agricultural pollutants in Deduru Oya river basin of Sri Lanka. *Journal of Cleaner Production*. 2022. Vol. 330. article 129897. Access mode: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.129897>
17. Woodward G., Gessner M.O., Giller P.S., Gulis V., Hladysz S., Lecerf A., et al. Continental-scale effects of nutrient pollution on stream ecosystem functioning. *Science*. 2012. Vol. 336. P. 1438–1440. DOI: 10.1126/science.1219534
18. Pandey P.K., Kass P.H., Soupir M.L. et al. Contamination of water resources by pathogenic bacteria. *Amb Express*. 2014. Vol. 4. P. 1–16. Access mode: <https://doi.org/10.1186/s13568-014-0051-xL>

19. Bonavigo L., Zucchetti M., & Mankolli H. Water radioactive pollution and related environmental aspects. *Journal of International Environmental Application & Science*. 2009. Vol. 4, № 3. P. 357–363.
20. Madhav S., Mishra R. Radioactive pollution in water: A global concern for human health. 2021. Access mode: <https://www.downtoearth.org.in/blog/water/radioactive-pollution-in-water-a-global-concern-for-human-health-80637>
21. Chopparapu R., Sambattula K.R., Edara D.K., Dasari R., Sycam V., Srivalli G., & Chennaiah M.B. A review article on water purification techniques by using fiber composites and biodegradable polymers. In *AIP Conference Proceedings*. 2020. Vol. 2247, No. 1. AIP Publishing.
22. Harahap J., Gunawan T., Suprayogi S., & Widyastuti M. A review: Domestic wastewater management system in Indonesia. In *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2021. Vol. 739, No. 1. article 012031. IOP Publishing. Access mode: <https://doi.org/10.1088/1755-1315/739/1/012031>
23. Al-Hashimi O., Hashim K., Loffill E., Marolt Čebašek T., Nakouti I., Faisal A.A., & Al-Ansari N. A comprehensive review for groundwater contamination and remediation: occurrence, migration and adsorption modelling. *Molecules*. 2021. Vol. 26, № 19. article 5913. Access mode: <https://doi.org/10.3390/molecules26195913>
24. Іванюта С.П. Пріоритети збереження та забезпечення надійного функціонування системи водопостачання Донбасу / Іванюта С.П. // Аналітична записка. Національний ін-т стратег. досліджень. Серія: Національна безпека. – 2019. – № 4. – С. 1–9.
25. Kılıç E. Impact of Syrian civil war on water quality of Turkish Part of Orontes river. 2018. Access mode: <http://161.9.193.26/xmlui/handle/20.500.12508/659>
26. Müller M.F., Yoon J., Gorelick S.M., Avisse N., & Tilmant A. Impact of the Syrian refugee crisis on land use and transboundary freshwater resources. *Proceedings of the national academy of sciences*. 2016. Vol. 113, № 52. P. 14932–14937. Access mode: <https://doi.org/10.1073/pnas.1614342113>
27. Francis R.A. The impacts of modern warfare on freshwater ecosystems. *Environmental Management*. 2011. Vol. 48, № 5. P. 985–999. Access mode: <https://doi.org/10.1007/s00267-011-9746-9>
28. Solomon N., Birhane E., Gordon C., Haile M., Taheri F., Azadi H., & Scheffran J.. Environmental impacts and causes of conflict in the Horn of Africa: A review. *Earth-Science Reviews*. 2018. Vol. 177. P. 284–290. Access mode: <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2017.11.016>
29. Zeitoun M., Eid-Sabbagh K., Loveless J. The analytical framework of water and armed conflict: a focus on the 2006 Summer War between Israel and Lebanon. *Disasters*. 2014. Vol. 38. P. 22–44. Access mode: <https://doi.org/10.1111/disa.12039>
30. Weinthal E., Sowers J. Targeting infrastructure and livelihoods in the West Bank and Gaza. *International Affairs*. 2019. Vol. 95, № 2. P. 319–340. Access mode: <https://doi.org/10.1093/ia/iiz015>
31. Gunawardana H., Tantrigoda D.A., Kumara U.A. Postconflict economic development: A way forward. *Economic Studies*. 2018. Vol. 27, № 4. P. 162–175.
32. Khilchevskiy V.K., Mezentsev K.V. Water conflicts and Ukraine: Donbas region. Proceedings 15th International Scientific Conference on Monitoring of Geological Processes and Ecological Condition of the Environment. 2021. P. 1–5. DOI: <https://doi.org/10.3997/2214-4609.20215K2004>.
33. Shumilova O., Tockner K., Sukhodolov A. et al. Impact of the Russia–Ukraine armed conflict on water resources and water infrastructure. *Nat Sustain*. 2023. Vol. 6. P. 578–586. Access mode: <https://doi.org/10.1038/s41893-023-01068-x>
34. Zaliska O., Oleshchuk O., Forman R., Mossialos E. Health impacts of the Russian invasion in Ukraine: need for global health action. *Lancet*. 2022. Vol. 399. P. 1450–1452.

35. Вода як джерело життя чи зародок війни: як крадіжка води окупантами впливає на водозабезпеченість України і Криму. Access mode: <https://vinmedlib.org.ua/home/info-dajdzhest/107-vijna-i-dovkillya/1709-voda-yak-dzherelo-zhittya-chi-zarodok-vijni-yak-kradizhka-vodi-okupantami-vplivae-na-vodozabezpechenist-ukrajini-i-krimu>
36. Zeitoun M., Eid-Sabbagh K., Loveless J. The analytical framework of water and armed conflict: A focus on the 2006 Summer War between Israel and Lebanon. *Disasters*. 2014. Vol. 38, № 1. P. 22–44. Access mode: <https://doi.org/10.1111/disa.12039>
37. Pereira P., Bašić F., Bogunovic I., & Barcelo D. Russian-Ukrainian war impacts the total environment. *Science of The Total Environment*. 2022. Vol. 837. article 155865.
38. Water Conflict Chronology. Access mode: <https://www.worldwater.org/conflict/map/>
39. Gleick P.H., Shimabuku M. Water-related conflicts: definitions, data, and trends from the water conflict chronology. *Environmental Research Letters*. 2023. Vol. 18, № 3. article 034022.
40. Хільчевський В.К. Водні та збройні конфлікти – класифікаційні ознаки: у світі та в Україні / Хільчевський В.К. // Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія. – 2022. – № 1 (63). – С. 6–19
41. Екологія право людини. Верховенство права для захисту довкілля. Огляд року війни для водних ресурсів України 23 березня 2023. Режим доступу: <http://epl.org.ua/announces/oglyad-roku-vijny-dlya-vodnyh-resursiv-ukrayiny/>
42. Екодія. Підрив Каховської ГЕС: попередні висновки і можливі наслідки. Режим доступу: <http://surl.li/jqluq>
43. Карта пошкоджень та перебоїв у водопостачанні внаслідок війни в Україні. Ukraine conflict environmental briefing. Conflict and Environment Observatory. – 2022. Режим доступу: <https://ceobs.org/ukraine-conflict-environmental-briefing-water/#2>
44. Smith M., Cross K., Paden M. and Laban P. (eds.). Spring – Managing groundwater sustainably. IUCN, Gland, Switzerland. 2016. 133 p. DOI: <https://doi.org/10.2305/IUCN.CH.2016.WANI.8.en>
45. Tosef H.P.W., Gleditsch N.P., & Hegre H. Shared rivers and interstate conflict. *Political geography*. 2000. Vol. 19, № 8. P. 971–996. Access mode: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S096262980000038X>
46. Xia X.H., Wu Q., Mou X.L., & Lai Y.J. Potential impacts of climate change on the water quality of different water bodies. *J. Environ. Inform.* 2015. Vol. 25, № 2. P. 85–98.
47. Riedel T. Temperature-associated changes in groundwater quality. *Journal of Hydrology*. 2019. Vol. 572. P. 206–212. Access mode: <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2019.02.059>
48. Willemijn M. Appels, Patrick W. Bogaart, Sjoerd E.A.T.M. van der Zee. Surface runoff in flat terrain: How field topography and runoff generating processes control hydrological connectivity. *Journal of Hydrology*. 2016. Vol. 534. P. 493–504. Access mode: <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2016.01.021>
49. Lei X., Tao B. Notice of Retraction: Modeling of Water Pollutants Diffusion in Different Flow States, *2011 5th International Conference on Bioinformatics and Biomedical Engineering*, 2011. P. 1–5. DOI: 10.1109/icbbe.2011.5780742.
50. Shi-Qin W., Xian-Fang S., Guo-Qiang X., Zhi-Min W., Xin L.I.U., & Peng W.A.N.G. Appliance of oxygen and hydrogen isotope in the process of precipitation infiltration in the shallow groundwater areas of North China Plain. *水科学进展*. 2009. Vol. 20, № 4. P. 495–501.
51. Ekubo A.T., Abowei J.F.N. Aspects of Aquatic Pollution in Nigeria. *Research Journal of Environmental and Earth Sciences*. 2011. Vol. 3, № 6, 673–693.

52. Ahmad Z., Ashraf A., Akhter G., Ahmad I. Groundwater and Contaminant Hydrology. *Current Perspectives in Contaminant Hydrology and Water Resources Sustainability*. 2013. 169 p. Access mode: <http://dx.doi.org/10.5772/54732>
53. Zeng J., Tabelin C.B., Gao W., Tang L., Luo X., Ke W., ... & Xue S. Heterogeneous distributions of heavy metals in the soil-groundwater system empowers the knowledge of the pollution migration at a smelting site. *Chemical Engineering Journal*. 2023. Vol. 454. article 140307. Access mode: <https://doi.org/10.1016/j.cej.2022.140307>
54. Zhou J., Song B., Yu L., Xie W., Lu X., Jiang D., ... & Song M. Numerical Research on Migration Law of Typical Chlorinated Organic Matter in Shallow Groundwater of Yangtze Delta Region. *Water*. 2023. Vol. 15, № 7. article 1381. Access mode: <https://doi.org/10.3390/w15071381>
55. Xing S., Guo H., Sun X., Zhang L., & Su A. Temperature-induced arsenic accumulation in groundwater from Pliocene aquifers of a semiarid continental basin. *Geochimica et Cosmochimica Acta*. 2023. Vol. 343. P. 98–114. Access mode: <https://doi.org/10.1016/j.gca.2022.12.029>
56. Saalidong B.M., Aram S.A., Otu S., & Lartey P.O. Examining the dynamics of the relationship between water pH and other water quality parameters in ground and surface water systems. *PloS one*. 2022. Vol. 17, № 1. e0262117. DOI: 10.1371/journal.pone.0262117
57. Національний класифікатор України. Класифікатор надзвичайних ситуацій ДК 019:2010. Наказ Міністерство внутрішніх справ України від 06.08.2018 № 658. – Київ, Держспоживстандарт України, 2010. – 23 с. Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/rada/show/va457609-10>
58. Національний класифікатор України. Класифікатор надзвичайних ситуацій ДК 019:2010. – Київ, Держспоживстандарт України, 2010. – 23 с. Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/rada/show/va457609-10>
59. Про затвердження Порядку здійснення державного моніторингу вод: Постанова Кабінету Міністрів України від 19 вересня 2018 р. № 758. – Київ. Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/758-2018-%D0%BF#Text>
60. Моніторинг довкілля Аналітична записка щодо стану та перспектив розвитку державної системи моніторингу довкілля. Україна. – Київ, 2023 р. – 119 с. Режим доступу: https://mepr.gov.ua/wp-content/uploads/2023/02/Monitoring-Green-Paper_15_02_2022.pdf
61. Bhat S., Motz L.H., Pathak C., Kuebler L. Geostatistics-based groundwater-level monitoring network design and its application to the Upper Floridan aquifer, USA. *Environ. Monit. Assess.*. 2015. Vol. 187. article 4183.
62. Ahmadi S.H., Sedghamiz A. Geostatistical Analysis of Spatial and Temporal Variations of Groundwater Level. *Environ. Monit. Assess.*. 2007. Vol. 129. P. 277–294.
63. International Groundwater Resources Assessment Centre (IGRAC). Access mode: <https://www.un-igrac.org/sites/default/files/resources/files/GGMN%20Brochure%202016.pdf>
64. Nourani V., Ejlali R.G., Alami M.T. Spatiotemporal Groundwater Level Forecasting in Coastal Aquifers by Hybrid Artificial Neural Network-Geostatistics Model: A Case Study. *Environ. Eng. Sci.*. 2011. Vol. 28. P. 217–228.
65. Uddameri V., Kakarlapudi C., Hernandez E.A. A GIS enabled nested simulation-optimization model for routing groundwater to overcome spatio-temporal water supply and demand disconnects in South Texas. *Environ. Earth Sci.*. 2014. Vol. 71. P. 2573–2587.
66. Varouchakis E.A., Hristopoulos D.T. Comparison of stochastic and deterministic methods for mapping groundwater level spatial variability in sparsely monitored basins. *Environ. Monit. Assess.*. 2013. Vol. 185. P. 1–19.
67. Ran Y., Li X., Ge Y., Lu X., Lian Y. Optimal selection of groundwater-level monitoring sites in the Zhangye Basin, Northwest China. *Journal of Hydrology*. 2015. Vol. 525. P. 209–215. Access mode: <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2015.03.059>

68. World Health Organization (WHO). 2006. Protecting Groundwater for Health - Understanding the drinking-water catchment. Access mode: <https://www.who.int/publications/i/item/9241546689>
69. Jiradech M., Sunya S. Groundwater vulnerability assessment and sensitivity analysis in Nong Rua, Khon Kaen, Thailand, using a GIS-based SINTACS model. *Environ Earth Sci.* 2013. Vol. 68, № 7. P. 2025–2039. Access mode: <https://doi.org/10.1007/s12665-012-1890-x>
70. Chenini I., Zghibi A., Kouzana L. Hydrogeological investigations and groundwater vulnerability assessment and mapping for groundwater resource protection and management: State of the art and a case study. *J. Afric. Earth. Sci.* 2015. Vol. 109. P. 11–26.
71. Machiwal D., Jha M.K., Singh V.P., & Mohan C. Assessment and mapping of groundwater vulnerability to pollution: Current status and challenges. *Earth-Science Reviews*. 2018. Vol. 185. P. 901–927.
72. Chakraborty M., Tejankar A., Coppola G. et al. Assessment of groundwater quality using statistical methods: a case study. *Arab J Geosci*. 2022. Vol. 15. article 1136. Access mode: <https://doi.org/10.1007/s12517-022-10276-2>
73. Ziani S., Khattach D., Abderbi J., Nouayti N., & Makkaoui M. Assessment of groundwater quality using statistical methods in the Isly basin (Horst Belt, Morocco). In *E3S Web of Conferences*. 2021. Vol. 240. article 01009. EDP Sciences.
74. Frans L.M., Rupert M.G., Hunt C.D. Jr, Skinner K.D. Groundwater quality in the Columbia Plateau, Snake river plain, and Oahu Basaltic-Rock and Basin-Fill aquifers in the Northwestern United States and Hawaii, 1992–2010. US Geological Survey. 2012. Access mode: <https://doi.org/10.3133/sir20125123>
75. Ghodbane M., Benaabidate L., Boudoukha A., Gaagai A., Adjissi O., Chaib W., & Aouissi H.A. Analysis of groundwater quality in the lower Soummam Valley, North-East of Algeria. *Journal of Water and Land Development*. 2022. Vol. 54. P. 1–12.
76. Ren X., Li P., He X., Su F., & Elumalai V. Hydrogeochemical processes affecting groundwater chemistry in the central part of the Guanzhong Basin, China. *Archives of environmental contamination and toxicology*. 2021. Vol. 80. P. 74–91.
77. Taşan M., Demir Y., Taşan S. Groundwater quality assessment using principal component analysis and hierarchical cluster analysis in Alaçam, Turkey. *Water Supply*. 2022. Vol. 22, № 3. P. 3431–3447.
78. Noori R., Sabahi M.S., Karbassi A.R., Baghvand A., & Zadeh H.T. Multivariate statistical analysis of surface water quality based on correlations and variations in the data set. *Desalination*. 2010. Vol. 260(1–3). P. 129–136.
79. Dixon B. Applicability of neuro-fuzzy techniques in predicting ground-water vulnerability: A GIS-Based sensitivity analysis. *J Hydrol*. 2005. Vol. 309(1–4). P. 17–38.
80. Olawoyin R., Oyewole S.A., Grayson R.L. Potential risk effect from elevated levels of soil heavy metals on human health in the Niger delta. *Ecotoxicology and environmental safety*. 2012. Vol. 85. P. 120–130.
81. Aliyari F., Bailey R.T., Tasdighi A., Dozier A., Arabi M., & Zeiler K. Coupled SWAT-MODFLOW model for large-scale mixed agro-urban river basins. *Environmental Modelling & Software*. 2019. Vol. 115. P. 200–210.
82. Jha M.K., Peiffer S. Applications of remote sensing and GIS technologies in groundwater hydrology: past, present and future. 2006. Vol. 112. Bayreuth: BayCEER.
83. Oroji B. Assessing groundwater vulnerability by pollution mapping in Iran: Case study Hamadan-Bahar plain. *Geofisica internacional*. 2018. Vol. 57, № 3. P. 161–174.
84. El Yousfi Y., Himi M., Aqnouy M., Benyoussef S., Gueddari H., Lamine I., ... & Abioui M. Pollution Vulnerability of the Ghiss Nekkour Alluvial Aquifer in Al-Hoceima (Morocco), Using GIS-Based DRASTIC Model. *International Journal of Environmental Research and Public Health*. 2023. Vol. 20, № 6. article 4992.

85. Fritch T.G., McKnight C.L., Yelderman Jr J.C., Arnold J.G. An aquifer vulnerability assessment of the Paluxy aquifer, central Texas, USA, using GIS and a modified DRASTIC approach. *Environmental management*. 2000. Vol. 25. P. 337–345.
86. Wang J., He J., Chen H. Assessment of groundwater contamination risk using hazard quantification, a modified DRASTIC model and groundwater value, Beijing Plain, China. *Science of the total environment*. 2012. Vol. 432. P. 216–226.
87. Bera A., Mukhopadhyay B. P., Das S. Groundwater vulnerability and contamination risk mapping of semi-arid Totko river basin, India using GIS-based DRASTIC model and AHP techniques. *Chemosphere*. 2022. Vol. 307. article 135831.
88. Jahromi M.N., Gomeh Z., Busico G. et al. Developing a SINTACS-based method to map groundwater multi-pollutant vulnerability using evolutionary algorithms. *Environ Sci Pollut Res*. 2021. Vol. 28. P. 7854–7869.
89. Kazakis N., Voudouris K. Comparison of three applied methods of groundwater vulnerability mapping: A case study from the Florina basin, Northern Greece. In *Advances in the Research of Aquatic Environment*. 2011. Vol. 2. pp. 359–367. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg.
90. Rukmana B.T.S., Bargawa W.S., Cahyadi T.A. Assessment of groundwater vulnerability using GOD method. In *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2020. Vol. 477, № 1. article 012020. IOP Publishing.
91. Putranto T.T., Santi N., Widiarso D.A., Pamungkas D. Application of Aquifer Vulnerability Index (AVI) method to assess groundwater vulnerability to contamination in Semarang urban area. In *MATEC Web of Conferences*. 2018. Vol. 159. p. 01036. EDP Sciences.
92. Shirazi S.M., Imran H.M., Akib S. GIS-based DRASTIC method for groundwater vulnerability assessment: a review. *Journal of Risk Research*. 2012. Vol. 15, № 8. P. 991–1011.
93. Smida H., Tarki M., Gammoudi N., Dassi L. GIS-based multicriteria and artificial neural network (ANN) investigation for the assessment of groundwater vulnerability and pollution hazard in the Braga shallow aquifer (Central Tunisia): A critical review of generic and modified DRASTIC models. *Journal of Contaminant Hydrology*. 2023. article 104245.
94. Ouedraogo I. Mapping groundwater vulnerability at the pan-African scale. Université Catholique de Louvain, Ottignies-Louvain-la-Neuve, Belgium. 2017.
95. Ewusi A., Ahenkorah I., Kuma J.S.Y. Groundwater vulnerability assessment of the Tarkwa mining area using SINTACS approach and GIS. *Ghana Mining Journal*. 2017. Vol. 17, № 1. P. 18–30.
96. Державні санітарні норми і правила «Показники безпечності та окремі показники якості питної води в умовах воєнного стану та надзвичайних ситуаціях іншого характеру»: наказ Міністерство охорони здоров'я України від 22.04.2022 № 683. Access mode: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0564-22#Text>
97. Minnesota Pollution Control Agency. Groundwater sample collection and analysis procedures Petroleum Remediation Program. August 2022. 21 p. Access mode: <https://www.pca.state.mn.us/sites/default/files/c-prp4-05.pdf>
98. Про затвердження Державних санітарних норм та правил «Гігієнічні вимоги до води питної, призначеної для споживання людиною»: наказ Міністерство охорони здоров'я України № 400 від 12.05.2010. Access mode: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0452-10#Text>
99. Wiederhold H., Kallesøe A.J., Kirsch R. et al. Geophysical methods help to assess potential groundwater extraction sites. *Grundwasser - Zeitschrift der Fachsektion Hydrogeologie*. 2021. Vol. 26. P. 367–378. Access mode: <https://doi.org/10.1007/s00767-021-00495-x>.

100. Adagunodo T.A., Akinloye M.K., Sunmonu L.A., Aizebeokhai A.P., Oyeyemi K.D., & Abodunrin F.O. Groundwater exploration in Aaba residential area of Akure, Nigeria. *Frontiers in Earth Science*. 2018. Vol. 6. article 66.

REFERENCES

1. International Association of Hydrogeologists. Groundwater - more about the hidden resource. Access mode: <https://iah.org/education/general-public/groundwater-hidden-resource>.
2. World Health Organization (WHO). Guidelines for drinking-water quality: Fourth edition incorporating the first and second addenda. (2022). 614. Access mode: <https://www.who.int/publications/i/item/9789240045064>.
3. Progress on household drinking water, sanitation and hygiene 2000–2022: special focus on gender. New York: United Nations Children’s Fund (UNICEF) and World Health Organization (WHO). (2023). Access mode: <https://reliefweb.int/report/world/progress-household-drinking-water-sanitation-and-hygiene-2000-2022-special-focus-gender>
4. Chakraborti D., Rahman M.M., Mukherjee A., Alauddin M., Hassan M., Dutta R.N., ... & Hossain M.M. (2015). Groundwater arsenic contamination in Bangladesh - 21 Years of research. *Journal of Trace elements in Medicine and Biology*, 31, 237–248.
5. Amanullah Khalid S., Imran Khan H.A., Arif M., Altawaha A.R., ... & Parmar B. (2020). Effects of climate change on irrigation water quality. *Environment, climate, plant and vegetation growth*, 123–132.
6. Whitehead P.G., Wade A.J., & Butterfield D. (2009). Potential impacts of climate change on water quality and ecology in six UK rivers. *Hydrology Research*, 40(2–3), 113–122.
7. Rahmana M., Ishaquea F., Hossaina M.A., Mahdya I.H., Royb P.P., & Treatment W. (2021). Impact of industrialization and urbanization on water quality of Surma River of Sylhet City. *Desalination and water treatment*, 235, 333–345. DOI: 10.5004/dwt.2021.27661
8. Liyanage C.P., Yamada K. (2017). Impact of population growth on the water quality of natural water bodies. *Sustainability*, 9(8), 1405. Access mode: <https://doi.org/10.3390/su9081405>
9. Khanam N., Singh A.A., Singh A.K., Hamidi M.K. (2022). Water Quality Characterization of Industrial and Municipal Wastewater, Issues, Challenges, Health Effects, and Control Techniques. In *Recent Trends in Wastewater Treatment* (pp. 1–30). Cham: Springer International Publishing. Access mode: https://doi.org/10.1007/978-3-030-99858-5_1
10. Djuwita M.R., Hartono D.M., Mursidik S.S., & Soesilo T.E.B. (2021). Pollution Load Allocation on Water Pollution Control in the Citarum River. *Journal of Engineering & Technological Sciences*, 53(1). Access mode: <https://doi.org/10.5614/j.eng.technol.sci.2021.53.1.12>
11. Alsaleh M., & Abdul-Rahim A. (2022). Moving toward sustainable environment: The effects of hydropower industry on water quality in EU economies. *Energy & Environment*, 33(7), 1304–1325. Access mode: <https://doi.org/10.1177/0958305X211039452>
12. Zaidel P.A., Roy A.H., Houle K.M., Lambert B., Letcher B.H., Nislow K.H., & Smith C. (2021) Impacts of small dams on stream temperature. *Ecological Indicators*, 120, 106878. Access mode: <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2020.106878>
13. Dębska K., Rutkowska B. & Szulc W. (2021). The influence of a dam reservoir on water quality in a small lowland river. *Environ Monit Assess*, 193, 123. Access mode: <https://doi.org/10.1007/s10661-021-08905-6>
14. Rad S.M., Ray A.K., Barghi S. (2022). Water Pollution and Agriculture Pesticide. *Clean Technol.*, 4(4), 1088–1102. Access mode: <https://doi.org/10.3390/cleantechnol4040066>

15. Jayasiri M.M.J.G.C.N., Yadav S., Dayawansa N.D.K., Propper C.R., Kumar V., & Singleton G.R. (2022). Spatio-temporal analysis of water quality for pesticides and other agricultural pollutants in Deduru Oya river basin of Sri Lanka. *Journal of Cleaner Production*, 330, 129897. Access mode: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.129897>
17. Woodward G., Gessner M.O., Giller P.S., Gulis V., Hladyz S., Lecerf A., et al. (2012). Continental-scale effects of nutrient pollution on stream ecosystem functioning. *Science*, 336, 1438–1440. DOI: 10.1126/science.1219534
18. Pandey P.K., Kass P.H., Soupir M.L. et al. (2014). Contamination of water resources by pathogenic bacteria. *Amb Express*, 4, 1–16. Access mode: <https://doi.org/10.1186/s13568-014-0051-xL>
19. Bonavigo L., Zucchetti M., & Mankolli H. (2009). Water radioactive pollution and related environmental aspects. *Journal of International Environmental Application & Science*, 4(3), 357–363.
20. Madhav S., Mishra R. (2021). Radioactive pollution in water: A global concern for human health. Access mode: <https://www.downtoearth.org.in/blog/water/radioactive-pollution-in-water-a-global-concern-for-human-health-80637>
21. Chopparapu R., Sambattula K.R., Edara D.K., Dasari R., Sycam V., Srivalli G., & Chennaiah M.B. (2020, July). A review article on water purification techniques by using fiber composites and biodegradable polymers. In *AIP Conference Proceedings* (Vol. 2247, No. 1). AIP Publishing.
22. Harahap J., Gunawan T., Suprayogi S., & Widyastuti M. (2021, April). A review: Domestic wastewater management system in Indonesia. In *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* (Vol. 739, No. 1, p. 012031). IOP Publishing. Access mode: <https://doi.org/10.1088/1755-1315/739/1/012031>
23. Al-Hashimi O., Hashim K., Loffill E., Marolt Čebašek T., Nakouti I., Faisal A.A., & Al-Ansari N. (2021). A comprehensive review for groundwater contamination and remediation: occurrence, migration and adsorption modelling. *Molecules*, 26(19), 5913. Access mode: <https://doi.org/10.3390/molecules26195913>
24. Ivanyuta S.P. Priorytety zberezhenya ta zabezpechennya nadiynoho funkcionuvannya systemy vodopostachannya Donbasu. Analitychna zapyska. Natsional'nyy in-t strateh. doslidzhen'. Seriya: Natsional'na bezpeka. – 2019. – № 4. – S. 1–9.
25. Kılıç E. (2018). Impact of Syrian civil war on water quality of Turkish Part of Orontes river. Access mode: <http://161.9.193.26/xmlui/handle/20.500.12508/659>
26. Müller M.F., Yoon J., Gorelick S.M., Avisse N., & Tilmant A. (2016). Impact of the Syrian refugee crisis on land use and transboundary freshwater resources. *Proceedings of the national academy of sciences*, 113(52), 14932–14937. Access mode: <https://doi.org/10.1073/pnas.1614342113>
27. Francis R.A. (2011). The impacts of modern warfare on freshwater ecosystems. *Environmental Management*, 48(5), 985–999. Access mode: <https://doi.org/10.1007/s00267-011-9746-9>
28. Solomon N., Birhane E., Gordon C., Haile M., Taheri F., Azadi H., & Scheffran J. (2018). Environmental impacts and causes of conflict in the Horn of Africa: A review. *Earth-Science Reviews*, 177, 284–290. Access mode: <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2017.11.016>
29. Zeitoun M., Eid-Sabbagh K., Loveless J. (2014). The analytical framework of water and armed conflict: a focus on the 2006 Summer War between Israel and Lebanon. *Disasters*, 38, 22–44. Access mode: <https://doi.org/10.1111/disa.12039>
30. Weinthal E., Sowers J. (2019). Targeting infrastructure and livelihoods in the West Bank and Gaza. *International Affairs*, 95(2), 319–340. Access mode: <https://doi.org/10.1093/ia/iiz015>.
31. Gunawardana H., Tantrigoda D.A., Kumara U.A. (2018). Postconflict economic development: A way forward. *Economic Studies*, 27(4), 162–175.

32. Khilchevskiy V.K., Mezentsev K.V. (2021). Water conflicts and Ukraine: Donbas region. Proceedings 15th International Scientific Conference on Monitoring of Geological Processes and Ecological Condition of the Environment, 1–5. DOI: <https://doi.org/10.3997/2214-4609.20215K2004>
33. Shumilova O., Tockner K., Sukhodolov A. et al. (2023). Impact of the Russia–Ukraine armed conflict on water resources and water infrastructure. *Nat Sustain*, 6, 578–586. Access mode: <https://doi.org/10.1038/s41893-023-01068-x>
34. Zaliska O., Oleshchuk O., Forman R., Mossialos E. (2022). Health impacts of the Russian invasion in Ukraine: need for global health action. *Lancet*, 399, 1450–1452.
35. Voda yak dzherelo zhyttya chy zarodok viyny: yak kradizhka vody okupantamy vplyvaye na vodozabezpechenist' Ukrayiny i Krymu. Access mode: <https://vinmedlib.org.ua/home/info-dajdzhest/107-vijna-i-dovkillya/1709-voda-yak-dzherelo-zhittyia-chi-zarodok-vijni-yak-kradizhka-vodi-okupantami-vplivae-na-vodozabezpechenist-ukrajini-i-krimu>
36. Zeitoun M., Eid-Sabbagh K., Loveless J. (2014). The analytical framework of water and armed conflict: A focus on the 2006 Summer War between Israel and Lebanon. *Disasters*, 38(1), 22–44. Access mode: <https://doi.org/10.1111/disa.12039>
37. Pereira P., Bašić F., Bogunovic I., & Barcelo D. (2022). Russian-Ukrainian war impacts the total environment. *Science of The Total Environment*, 837, 155865.
38. Water Conflict Chronology. Access mode: <https://www.worldwater.org/conflict/map/>
39. Gleick P.H., Shimabuku M. (2023). Water-related conflicts: definitions, data, and trends from the water conflict chronology. *Environmental Research Letters*, 18(3), 034022.
40. Khil'chev's'kyi V.K. Vodni ta zbrojni konflikty – klasyfikatsiyni oznaky: u sviti ta v Ukrayini. Hidrolohiya, hidrokimiya i hidroekolohiya. – 2022. – № 1 (63). – S. 6–19
41. Ekolohiya prava lyudyny. Verkhovenstvo prava dlya zakhystu dovkilliya. Ohlyad roku viyny za vodni resursy Ukrayiny 23 bereznya 2023. Access mode: <http://epl.org.ua/announces/oglyad-roku-vijny-dlya-vodnyh-resursiv-ukrayiny/>
42. Ekodiya. Pidryv Kakhovs'koyi HES: dodatkovi vysnovky i mozhlyvosti naslidky. Access mode: <http://surl.li/jqluq>
43. Karta poshkodzhen' ta pereboyiv u vodopostachanni vnaslidok viyny v Ukrayini. Ukrayins'kyi konflikt ekolohichnyy bryfinh. Observatoriya konfliktiv i navkolyshn'oho seredovyshcha. – 2022 rik. Access mode: <https://ceobs.org/ukraine-conflict-environmental-briefing-water/#2>.
44. Smith M., Cross K., Paden M. and Laban P. (eds.). (2016). Spring – Managing groundwater sustainably. IUCN, Gland, Switzerland. 133. DOI: <https://doi.org/10.2305/IUCN.CH.2016.WANI.8.en>
45. Tosest H.P.W., Gleditsch N.P., & Hegre H. (2000). Shared rivers and interstate conflict. *Political geography*, 19(8), 971–996. Access mode: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S096262980000038X>.
46. Xia X.H., Wu Q., Mou X.L., & Lai Y.J. (2015). Potential impacts of climate change on the water quality of different water bodies. *J. Environ. Inform*, 25(2), 85–98.
47. Riedel T. (2019). Temperature-associated changes in groundwater quality. *Journal of Hydrology*, 572, 206–212. Access mode: <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2019.02.059>
48. Willemijn M. Appels, Patrick W. Bogaart, Sjoerd E.A.T.M. van der Zee (2016). Surface runoff in flat terrain: How field topography and runoff generating processes control hydrological connectivity. *Journal of Hydrology*, 534, 493–504. Access mode: <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2016.01.021>.
49. Lei X., Tao B. (2011). Notice of Retraction: Modeling of Water Pollutants Diffusion in Different Flow States, 2011 5th International Conference on Bioinformatics and Biomedical Engineering, Wuhan, China, 1–5. DOI: 10.1109/icbbe.2011.5780742.

50. Shi-Qin W., Xian-Fang S., Guo-Qiang X., Zhi-Min W., Xin L.I.U., & Peng W.A.N.G. (2009). Appliance of oxygen and hydrogen isotope in the process of precipitation infiltration in the shallow groundwater areas of North China Plain. *水科学进展*, 20(4), 495–501.
51. Ekubo A.T., Abowei J.F.N. (2011). Aspects of Aquatic Pollution in Nigeria. *Research Journal of Environmental and Earth Sciences*, 3(6), 673–693.
52. Ahmad Z., Ashraf A., Akhter G., Ahmad I. (2013). Groundwater and Contaminant Hydrology. *Current Perspectives in Contaminant Hydrology and Water Resources Sustainability*, 169. Access mode: <http://dx.doi.org/10.5772/54732>
53. Zeng J., Tabelin C.B., Gao W., Tang L., Luo X., Ke W., ... & Xue S. (2023). Heterogeneous distributions of heavy metals in the soil-groundwater system empowers the knowledge of the pollution migration at a smelting site. *Chemical Engineering Journal*, 454, 140307. Access mode: <https://doi.org/10.1016/j.cej.2022.140307>
54. Zhou J., Song B., Yu L., Xie W., Lu X., Jiang D., ... & Song M. (2023). Numerical Research on Migration Law of Typical Chlorinated Organic Matter in Shallow Groundwater of Yangtze Delta Region. *Water*, 15(7), 1381. Access mode: <https://doi.org/10.3390/w15071381>
55. Xing S., Guo H., Sun X., Zhang L., & Su A. (2023). Temperature-induced arsenic accumulation in groundwater from Pliocene aquifers of a semiarid continental basin. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 343, 98–114. Access mode: <https://doi.org/10.1016/j.gca.2022.12.029>
56. Saalidong B.M., Aram S.A., Otu S., & Lartey P.O. (2022). Examining the dynamics of the relationship between water pH and other water quality parameters in ground and surface water systems. *PLoS one*, 17(1), e0262117. DOI: 10.1371/journal.pone.0262117
57. Natsional'nyy klasyfikator Ukrayiny. Klasyfikator nadzvychaynykh sytuatsiy DK 019:2010. Nakaz Ministerstva vnutrishnikh sprav Ukrayiny vid 06.08.2018 № 658. – Kyiv: Derzhspozhyvstandart Ukrayiny, 2010. – 23 s. Access mode: <https://zakon.rada.gov.ua/rada/show/va457609-10>
58. Natsional'nyy klasyfikator Ukrayiny. Klasyfikator nadzvychaynykh situatsiy DK 019:2010. – Kyiv, Derzhspozhyvstandart Ukrayiny, 2010. – 23 s. Access mode: <https://zakon.rada.gov.ua/rada/show/va457609-10>
59. Pro zatverdzhennya Poryadku zdiysnennya derzhavnoho monitorynhu vod: Postanova Kabinetu Ministriv Ukrayiny vid 19 veresnya 2018 r. – № 758. – Kyiv. Access mode: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/758-2018-%D0%BF#Text>
60. Monitorynh dovkilliya Analitychna zapyska shchodo stanu ta perspektyvy rozvytku derzhavnoyi systemy monitorynhu dovkilliya. Ukrayina, – Kyiv, 2023 r. – 119 s. Access mode: https://mepr.gov.ua/wp-content/uploads/2023/02/Monitoring-Green-Paper_15_02_2022.pdf
61. Bhat S., Motz L.H., Pathak C., Kuebler L. (2015). Geostatistics-based groundwater-level monitoring network design and its application to the Upper Floridan aquifer, USA. *Environ. Monit. Assess.*, 187, 4183.
62. Ahmadi S.H., Sedghamiz A. (2007). Geostatistical Analysis of Spatial and Temporal Variations of Groundwater Level. *Environ. Monit. Assess.*, 129, 277–294.
63. International Groundwater Resources Assessment Centre (IGRAC). Access mode: <https://www.un-igrac.org/sites/default/files/resources/files/GGMN%20Brochure%202016.pdf>
64. Nourani V., Ejlali R.G., Alami M.T. (2011). Spatiotemporal Groundwater Level Forecasting in Coastal Aquifers by Hybrid Artificial Neural Network-Geostatistics Model: A Case Study. *Environ. Eng. Sci.*, 28, 217–228.
65. Uddameri V., Kakarlapudi C., Hernandez E.A. (2014). A GIS enabled nested simulation-optimization model for routing groundwater to overcome spatio-temporal water supply and demand disconnects in South Texas. *Environ. Earth Sci.*, 71, 2573–2587.

66. Varouchakis E.A., Hristopoulos D.T. (2013). Comparison of stochastic and deterministic methods for mapping groundwater level spatial variability in sparsely monitored basins. *Environ. Monit. Assess.*, 185, 1–19.
67. Ran Y., Li X., Ge Y., Lu X., Lian Y. (2015). Optimal selection of groundwater-level monitoring sites in the Zhangye Basin, Northwest China. *Journal of Hydrology*, 525, 209–215. Access mode: <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2015.03.059>.
68. World Health Organization (WHO) (2006). Protecting Groundwater for Health - Understanding the drinking-water catchment. Access mode: <https://www.who.int/publications/i/item/9241546689>
69. Jiradech M., Sunya S. (2013) Groundwater vulnerability assessment and sensitivity analysis in Nong Rua, Khon Kaen, Thailand, using a GIS-based SINTACS model. *Environ Earth Sci.*, 68(7), 2025–2039. Access mode: <https://doi.org/10.1007/s12665-012-1890-x>
70. Chenini I., Zghibi A., Kouzana L. (2015). Hydrogeological investigations and groundwater vulnerability assessment and mapping for groundwater resource protection and management: State of the art and a case study. *J. Afric. Earth. Sci.*, 109, 11–26.
71. Machiwal D., Jha M.K., Singh V.P., & Mohan C. (2018). Assessment and mapping of groundwater vulnerability to pollution: Current status and challenges. *Earth-Science Reviews*, 185, 901–927.
72. Chakraborty M., Tejankar A., Coppola G. et al. (2022). Assessment of groundwater quality using statistical methods: a case study. *Arab J Geosci*, 15, 1136. Access mode: <https://doi.org/10.1007/s12517-022-10276-2>
73. Ziani S., Khattach D., Abderbi J., Nouayti N., & Makkaoui M. (2021). Assessment of groundwater quality using statistical methods in the Isly basin (Horst Belt, Morocco). In *E3S Web of Conferences* (Vol. 240, p. 01009). EDP Sciences.
74. Frans L.M., Rupert M.G., Hunt C.D. Jr, Skinner K.D. (2012). Groundwater quality in the Columbia Plateau, Snake river plain, and Oahu Basaltic-Rock and Basin-Fill aquifers in the Northwestern United States and Hawaii, 1992–2010. US Geological Survey. Access mode: <https://doi.org/10.3133/sir20125123>
75. Ghodbane M., Benaabidate L., Boudoukha A., Gaagai A., Adjissi O., Chaib W., & Aouissi H.A. (2022). Analysis of groundwater quality in the lower Soummam Valley, North-East of Algeria. *Journal of Water and Land Development*, (54), 1–12.
76. Ren X., Li P., He X., Su F., & Elumalai V. (2021). Hydrogeochemical processes affecting groundwater chemistry in the central part of the Guanzhong Basin, China. *Archives of environmental contamination and toxicology*, 80, 74–91.
77. Taşan M., Demir Y., Taşan S. (2022). Groundwater quality assessment using principal component analysis and hierarchical cluster analysis in Alaçam, Turkey. *Water Supply*, 22(3), 3431–3447.
78. Noori R., Sabahi M.S., Karbassi A.R., Baghvand A., & Zadeh H.T. (2010). Multivariate statistical analysis of surface water quality based on correlations and variations in the data set. *Desalination*, 260(1–3), 129–136.
79. Dixon B. (2005) Applicability of neuro-fuzzy techniques in predicting groundwater vulnerability: A GIS-Based sensitivity analysis. *J Hydrol*, 309(1–4), 17–38.
80. Olawoyin R., Oyewole S.A., Grayson R.L. (2012). Potential risk effect from elevated levels of soil heavy metals on human health in the Niger delta. *Ecotoxicology and environmental safety*, 85, 120–130.
81. Aliyari F., Bailey R.T., Tasdighi A., Dozier A., Arabi M., & Zeiler K. (2019). Coupled SWAT-MODFLOW model for large-scale mixed agro-urban river basins. *Environmental Modelling & Software*, 115, 200–210.
82. Jha M.K., Peiffer S. (2006). Applications of remote sensing and GIS technologies in groundwater hydrology: past, present and future (Vol. 112). Bayreuth: BayCEER.

83. Oroji B. (2018). Assessing groundwater vulnerability by pollution mapping in Iran: Case study Hamadan-Bahar plain. *Geofisica internacional*, 57(3), 161–174.
84. El Yousfi Y., Himi M., Aqnouy M., Benyoussef S., Gueddari H., Lamine I., ... & Abioui M. (2023). Pollution Vulnerability of the Ghiss Nekkour Alluvial Aquifer in Al-Hoceima (Morocco), Using GIS-Based DRASTIC Model. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 20(6), 4992.
85. Fritch T.G., McKnight C.L., Yelderman Jr J.C., Arnold J.G. (2000). An aquifer vulnerability assessment of the Paluxy aquifer, central Texas, USA, using GIS and a modified DRASTIC approach. *Environmental management*, 25, 337–345.
86. Wang J., He J., Chen H. (2012). Assessment of groundwater contamination risk using hazard quantification, a modified DRASTIC model and groundwater value, Beijing Plain, China. *Science of the total environment*, 432, 216–226.
87. Bera A., Mukhopadhyay B. P., Das S. (2022). Groundwater vulnerability and contamination risk mapping of semi-arid Totko river basin, India using GIS-based DRASTIC model and AHP techniques. *Chemosphere*, 307, 135831.
88. Jahromi M.N., Gomeh Z., Busico G. et al. (2021). Developing a SINTACS-based method to map groundwater multi-pollutant vulnerability using evolutionary algorithms. *Environ Sci Pollut Res*, 28, 7854–7869.
89. Kazakis N., Voudouris K. (2011). Comparison of three applied methods of groundwater vulnerability mapping: A case study from the Florina basin, Northern Greece. In *Advances in the Research of Aquatic Environment* (Vol. 2, pp. 359–367). Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg.
90. Rukmana B.T.S., Bargawa W.S., Cahyadi T.A. (2020, March). Assessment of groundwater vulnerability using GOD method. In *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* (Vol. 477, No. 1, p. 012020). IOP Publishing.
91. Putranto T.T., Santi N., Widiarso D.A., Pamungkas D. (2018). Application of Aquifer Vulnerability Index (AVI) method to assess groundwater vulnerability to contamination in Semarang urban area. In *MATEC Web of Conferences* (Vol. 159, p. 01036). EDP Sciences.
92. Shirazi S.M., Imran H.M., Akib S. (2012). GIS-based DRASTIC method for groundwater vulnerability assessment: a review. *Journal of Risk Research*, 15(8), 991–1011.
93. Smida H., Tarki M., Gammoudi N., Dassi L. (2023). GIS-based multicriteria and artificial neural network (ANN) investigation for the assessment of groundwater vulnerability and pollution hazard in the Braga shallow aquifer (Central Tunisia): A critical review of generic and modified DRASTIC models. *Journal of Contaminant Hydrology*, 104245.
94. Ouedraogo I. (2017). Mapping groundwater vulnerability at the pan-African scale. Université Catholique de Louvain, Ottignies-Louvain-la-Neuve, Belgium.
95. Ewusi A., Ahenkorah I., Kuma J.S.Y. (2017). Groundwater vulnerability assessment of the Tarkwa mining area using SINTACS approach and GIS. *Ghana Mining Journal*, 17(1), 18–30.
96. Derzhavni sanitarni normy i pravyla «Pokaznyky bezpeky ta okremi pokaznyky yakosti pytnoyi vody v umovakh voyennoho stanu ta nadzvychaynykh sytuatsiy inshoho kharakteru»: nakaz Ministerstva okhorony zdorov'ya Ukrainy vid 22.04.2022 № 683. Access mode: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0564-22#Text>
97. Minnesota Pollution Control Agency. Groundwater sample collection and analysis procedures Petroleum Remediation Program. August 2022. 21. Access mode: <https://www.pca.state.mn.us/sites/default/files/c-prp4-05.pdf>
98. Pro zatverdzhennya Derzhavnykh sanitarnykh norm ta pravyl «Hihiyenichni vymohy do vody pytnoyi, pryznachenoï dlya spozhyvannya lyudey»: nakaz Ministerstva okhorony zdorov'ya Ukrainy № 400 vid 12.05.2010. Access mode: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0452-10#Text>

99. Wiederhold H., Kallesøe A.J., Kirsch R. et al. (2021). Geophysical methods help to assess potential groundwater extraction sites. *Grundwasser - Zeitschrift der Fachsektion Hydrogeologie*, 26, 367–378. Access mode: <https://doi.org/10.1007/s00767-021-00495-x>
100. Adagunodo T.A., Akinloye M.K., Sunmonu L.A., Aizebeokhai A.P., Oyeyemi K.D., & Abodunrin F.O. (2018). Groundwater exploration in Aaba residential area of Akure, Nigeria. *Frontiers in Earth Science*, 6, 66.

Nina RASHKEVIC¹, Ph.D. (ORCID: 0000-0001-5124-6068),

Oleg MYROSHNYK², Doctor of Technical Sciences, Professor
(ORCID: 0000-0001-8951-9498),

Roman SHEVCHENKO¹, Doctor of Technical Sciences, Professor
(ORCID: 0000-0001-9634-6943),

¹National University of Civil Defence of Ukraine,

²Cherkasy Institute of Fire Safety named after Heroes of Chernobyl
of the National University of Civil Defence of Ukraine

ANALYSIS OF THE CURRENT STATE OF WARNING OF EMERGENCY SITUATIONS RELATED TO THE DANGER OF GROUNDWATER

Conducting an analysis of the current state of prevention of emergency situations related to the danger of groundwater in the territories that have been affected by military actions, namely systematic missile and artillery damage in today's conditions is an urgent scientific and practical task.

The purpose of the study was to conduct an analysis of the world experience in the prevention of emergency situations in the territories that suffered missile and artillery damage, in the context of determining the danger of groundwater.

An array of violations of the state of safety and quality of groundwater, which were caused by military actions, was formed. An analytical review of the main factors of the spread (migration) of pollutants in groundwater was carried out. The methods and approaches of monitoring and forecasting the state of safety and quality of groundwater in the context of solving the problems of civil protection of territorial communities are analyzed.

Having analyzed the scientific developments, it is possible to claim that today there is no universal methodology for assessing the safety of groundwater in the territories affected by the war in order to prevent emergency situations. A significant part of the work is carried out within the framework of determining the vulnerability of aquifers - forecasting the safety and quality of drinking water. The development of new organizational and technical methods of emergency prevention in the territories that have suffered missile and artillery damage, based on complex forecasting, monitoring and modeling of the danger of groundwater, should be based on unified methodological positions, regarding the place and role of the processes of prevention, prevention, localization and liquidation in the structure of the general process of combating emergency situations, which were previously tested in a number of works on the development and implementation of organizational, operational engineering and information methods for the prevention of emergency situations of various types of occurrence and spread.

Key words: *military operations (conflicts), groundwater, pollution, monitoring, forecasting.*