


Методичні аспекти оцінки стану забруднення геологічного середовища нафтопродуктами, спричиненого військовою агресією РФ проти України


Руслан Гаврилюк¹

к. геол. н., учений секретар,¹ Інститут геологічних наук НАН України, Київ, Україна,
e-mail: gavrilyuk.ruslan@gmail.com,  <https://orcid.org/0000-0002-6465-9440>;

Олена Шпак¹

к. геол. н., ст. наук. співробітник,
e-mail: shpak_olena@yahoo.com,  <https://orcid.org/0000-0002-7021-0842>;

Ольга Логвиненко¹

мол. наук. співробітник,
e-mail: lohvylenko.olha@gmail.com,  <https://orcid.org/0000-0001-8193-4144>;

Ігор Запольський¹

мол. наук. співробітник,
e-mail: igorzapol@gmail.com,  <https://orcid.org/0009-0006-7281-4785>

Внаслідок російської військової агресії значна кількість об'єктів зберігання нафтопродуктів та інших об'єктів нафтопродуктозабезпечення України зазнали руйнувань, що призвело до формування нових осередків забруднення геологічного середовища. Такі осередки завдають істотної шкоди довкіллю, оцінка якої є одним з ключових пріоритетів для України серед усього спектру довкіллевих впливів російської агресії. Першим етапом оцінки завданої шкоди є оцінка стану довкілля, що включає визначення об'єктів, характеру, масштабів та особливостей забруднення геологічного середовища. Вона має базуватися на результатах еколого-геологічного обстеження кожної забрудненої ділянки, проведення якого має забезпечити отримання необхідної достовірної інформації. Результати оцінки стану забруднення геологічного середовища нафтопродуктами слугують основою для подальших етапів оцінки завданої шкоди: розробки системи моніторингу та ремедіаційних заходів, сумарні витрати на які, включаючи їх реалізацію, разом з витратами на оцінку стану довкілля, мають складати основу грошової оцінки завданої шкоди. В статті розглянуті методичні підходи щодо еколого-геологічного обстеження об'єктів забруднення геологічного середовища нафтопродуктами, розроблені на основі власного багаторічного досвіду. Описані загальні принципи організації і проведення натурних обстежень. Запропоновані види та обсяги досліджень на всіх етапах обстеження. Розглянуті особливості буріння свердловин та проведення супроводжувальних робіт на забруднених нафтопродуктами ділянках. Розглянуті приклади еколого-геологічного обстеження, проведеного в районі міжнародного аеропорту «Бориспіль» та м. Біла Церква – об'єктах, які за масштабами забруднення є потенційно співставними з осередками, що можуть формуватися внаслідок військової агресії РФ. Запропоновані три класи екологічної небезпеки осередків нафтопродуктового забруднення, які визначають подальші напрямки поводження із забрудненими територіями.

Ключові слова: геологічне середовище, забруднення, нафтопродукти, еколого-геологічне обстеження, вплив війни на довкілля, ремедіація.

Як цитувати: Гаврилюк Руслан. Методичні аспекти оцінки стану забруднення геологічного середовища нафтопродуктами, спричиненого військовою агресією РФ проти України / Руслан Гаврилюк, Олена Шпак, Ольга Логвиненко, Ігор Запольський // Вісник Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна, серія «Геологія. Географія. Екологія», 2024. – Вип. 61. – С. 23-38. <https://doi.org/10.26565/2410-7360-2024-61-02>

In cites: Havryliuk Ruslan, Shpak Olena, Lohvylenko Olha, Zapolskiy Igor (2024). Methodical aspects of the assessment of the state of subsurface contamination with petroleum products caused by the military aggression of the Russian Federation against Ukraine. Visnyk of V. N. Karazin Kharkiv National University, series "Geology. Geography. Ecology", (61), 23-38. <https://doi.org/10.26565/2410-7360-2024-61-02> [in Ukrainian]

Стаття присвячена пам'яті українського гідрогеолога, доктора геолого-мінералогічних наук, професора Миколи Степановича Огняника (1937–2022) – засновника напрямку досліджень забруднення геологічного середовища нафтопродуктами в Україні.

Постановка проблеми. Повномасштабна російська військова агресія проти України супроводжується цілеспрямованими ракетними атаками на об'єкти нафтопродуктозабезпечення України, такі як бази зберігання нафтопродуктів (НП), нафтопереробні заводи, військові аеродроми тощо [28]. Хроніки вже перших днів війни свідчать про ракетну атаку на нафтобазу у м. Ва-

силькові, Київської обл. та її повне руйнування. В подальшому фіксувалися неодноразові влучання в різних регіонах України в нафтобази, нафтопереробні заводи, зокрема Кременчуцький, який неодноразово піддавався ракетним ударам протягом весни-літа 2022 р. (<https://ecodozor.org/>) та інші об'єкти нафтопродуктозабезпечення.

Військові атаки та диверсії ворога призвели до руйнування десятків об'єктів нафтопродуктозабезпечення, що супроводжувались масштабними пожежами і розливами НП. Якщо пожежі призводять до відносно тимчасового забруднення атмосфери, то розливи НП є значно більш

довгостроковим фактором забруднення земної поверхні з високою ймовірністю подальшого просочування НП у відклади зони аерації та формування масштабних осередків довготривалого забруднення геологічного середовища.

Умисне руйнування об'єктів нафтопродуктозабезпечення, в першу чергу нафтобаз – об'єктів зберігання значних обсягів НП, мають всі ознаки екоциду, враховуючи свідомість дій агресора, а також серйозність та довготривалість їхніх наслідків. Отже однією з пріоритетних задач в рамках оцінки шкоди, завданої російською агресією доквіллю України, є визначення наслідків руйнування нафтобаз для геологічного середовища.

У випадку з геологічним середовищем визначення наслідків має базуватися на оцінці актуального стану забруднення, сформованого внаслідок військових дій, шляхом проведення еколого-геологічного обстеження. Таке обстеження забезпечує отримання необхідної достовірної інформації про об'єкти, характер, масштаб та особливості забруднення геологічного середовища.

Результати оцінки стану забруднення геологічного середовища нафтопродуктами слугують основою для подальших етапів оцінки завданої шкоди. Окрім витрат на обстеження вона включає вартість заходів з моніторингу та ремедіації забруднення, планування яких забезпечуються даними, отриманими в результаті обстеження. Водночас проведення обстеження вбачається доцільним не лише у випадку, коли забруднення вже відбулося, але й для об'єктів, що можуть стати ціллю для військового агресора. В такому разі обстеження дозволяє встановити вихідний стан доквілля. У випадку військової атаки на даний об'єкт інформація про вихідний стан доквілля та порівняння з його станом після дозволить обґрунтовано довести нанесену шкоду.

Оцінка стану забруднення також може розглядатися як певний аналог оцінки впливу на доквілля (ОВД) конкретного об'єкту в системі управління осередком забруднення [2]. В цьому контексті оцінка забруднення має дати відповідь на питання щодо необхідності запровадження невідкладних заходів для зниження рівня небезпеки до помірного рівня, зокрема для недопущення посилення негативних впливів сформованого забруднення на доквілля та населення. Останнє є необхідним не лише для екологічної безпеки території, але й для успішної компенсації шкоди доквіллю в міжнародних інстанціях.

Досвід діяльності Компенсаційної комісії ООН (UNCC), яка здійснювала реєстрацію, оцінку та присуджувала компенсацію за очищення та відновлення від шкоди, що була завдана ґрун-

там, водам, прибережним екосистемам внаслідок агресії Іраку проти Кувейту (війна в Перській затоці, 1990–1991 рр.), показав важливість вчасного реагування постраждалою країною на забруднення геологічного середовища. Згідно рішення Ради Безпеки ООН №687 від 3.04.1991 р. Ірак несе відповідальність за міжнародним правом за будь-які прямі втрати, збитки, включаючи збитки доквіллю та виснаження природних ресурсів, або шкоду, заподіяну іноземним урядам, фізичним та юридичним особам внаслідок незаконного вторгнення Іраку та окупації ним Кувейту (<https://documents-dds-ny.un.org/doc/RESOLUTION/GEN/NR0/597/07/PDF/NR059707.pdf>). Проте комісією було зазначено про обов'язок заявників щодо максимально можливого пом'якшення або зменшення екологічної шкоди, або невчинення дій, що можуть підсилити шкоду доквіллю чи збільшити ризики майбутньої шкоди (<http://epl.org.ua/wp-content/uploads/2022/05/Kompensatsijna-komisiya-OON.pdf>). Отже своєчасне запровадження заходів з управління осередком забруднення є необхідною складовою подальшої компенсації завданої шкоди, а їх запровадження неможливе без оцінки стану забруднення.

Особливості забруднення геологічного середовища НП визначають необхідність спеціалізованого підходу при оцінюванні осередків забруднення. Вивченню поведінки НП-забруднювачів у геологічному середовищі, розробці стратегій і методичних засад поводження з об'єктами, забрудненими НП, їх ремедіації присвячено низку робіт [24, 25, 29-32]. В Україні аналогічні наукові дослідження проводяться силами ІГН НАН України на ділянках забруднення, що приурочені до військових об'єктів (аеродромів), нафтопереробних заводів, складів паливно-мастильних матеріалів тощо [1-3, 8-10, 12, 19-23]. На основі попереднього власного та світового досвіду висвітлені методичні аспекти оцінки стану забруднення геологічного середовища НП, спричиненого військовою агресією РФ проти України.

Метою статті є висвітлення і пропозиції методичних підходів до еколого-геологічного обстеження територій, забруднених НП, враховуючи наслідки руйнувань об'єктів нафтопродуктозабезпечення в результаті російської військової агресії проти України.

Особливості техногенного забруднення геологічного середовища нафтопродуктами. Забруднення геологічного середовища НП відрізняється від інших видів техногенного забруднення внаслідок специфічних особливостей забруднювача, який представлений рідиною, що не змішується з водою. При цьому НП здебільшого мають щільність меншу за воду, що визначає

утворення техногенних скупчень на поверхні ґрунтових вод. Такі скупчення стають джерелами подальшого тривалого вторинного забруднення підземної гідросфери розчиненими вуглеводнями, навіть незначні концентрації яких, що здатні поширюватись на великі відстані, унеможливають пряме використання води для питних цілей.

Детально фізико-хімічні властивості НП, їх знаходження і міграція в геологічному середовищі вивчені та описані нами в роботах [4, 5, 9, 12, 19].

Потрапляючи на поверхню землі внаслідок аварійних розливів та витоків, НП під дією гравітаційних сил мігрують вертикально крізь зону аерації (ЗА). Під час міграції частина забруднювача захоплюється капілярно-плівковими силами або сорбується частками ґрунту. Окремі складові НП характеризуються високою здатністю до випаровування і можуть утворювати потенційно шкідливі викиди летких органічних сполук [25, 32]. Якщо в ЗА потрапляє достатній об'єм НП, вони здатні досягати рівня ґрунтових вод (РГВ) та накопичуватися на ньому, утворюючи лінзу мобільних НП, яка поширюється латерально під дією власного напору і уклону рівневої поверхні ґрунтових вод (рис. 1). Лінзи мобільних НП є "ядром" осередку забруднення, і можуть досягати декілька метрів потужності та займати десятки гектарів площі [6, 9, 21, 22]. Мобільні та залишкові НП є джерелом потрапляння розчинених вуглеводнів з інфільтраційним потоком у ґрунтові води [25, 31].

Присутні у ґрунті мікробні популяції сприяють деградації НП. Дослідження з визначення природи мікроорганізмів і механізмів, що контролюють життєдіяльність бактерій, свідчать про значну роль біодеградації у природному ослабленні НП-забруднення [24, 25]. Нами проводились дослідження на забрудненій НП території складу паливно-мастильних матеріалів аеропорту "Бориспіль" з дослідження видового складу мікроміцетів у ґрунті. Дані визначень знаходження мікроорганізмів у зразках ґрунту свідчать про різноманітність їх форм, залежно від ступеня забруднення, глибини відбору, літології та водонасичення [16].

Трансформація осередку НП-забруднення ґрунтових вод пов'язана із певними закономірностями зміни їх хімічного складу. Нами виявлено збільшення окиснюваності ґрунтових вод в зоні НП-забруднення від фонових показників 1-3 до 20 мг/дм³ [9]. Хоча залежність між концентрацією розчинених НП в ґрунтових водах та показниками окиснюваності відносна, але цей показник можна використовувати як якісний для оцінки НП-забруднення. В той же час, значення окиснюваності більше 3 мг/дм³ свідчить про

забруднення води та ризику її використання для питних цілей. З огляду на хімічний склад ґрунтових вод, спостерігалось зростання сульфат-іону з глибиною. Причиною зниження концентрацій SO₄ в верхній частині розрізу, де спостерігалась зона НП-забруднення, до значень 6-12 мг/дм³ при фонових значеннях 50-100 мг/дм³ є те, що в умовах НП-забруднення підземних вод сульфати віддають кисень для окислення вуглеводнів, тому сульфат-іон відсутній у хімічному складі води або залишається у незначній кількості, а натомість з'являється сірководень [9].

Коливання РГВ суттєво впливають на процеси перерозподілу мобільних НП, їх розчинення, випаровування та біодеградацію, сприяючи поширенню НП-забруднення та збільшенню ризику забруднення об'єктів-реципієнтів [25]. Нами досліджено в польових умовах, що сезонні коливання РГВ призводили до «розмазування» авіаційного гасу в зоні аерації та збільшення зони забруднення ґрунтів у вертикальному розрізі [19]. Нами проводились лабораторні дослідження впливу коливань РГВ на стан і вміст НП у геологічному середовищі [13, 14]. Експерименти були виконані в колоні, заповненій піском, куди подавалась вода та авіаційний гас (рис. 2). Виявлено, що при початковому підйомі і наступному опусканні РГВ товщина шару мобільного гасу зменшується (майже до повного зникнення). При підйомі РГВ зменшення потужності шару НП відбувається більш інтенсивно, через те що НП витрачається на створення нового шару з мобільним НП і нових капілярних зон, залишаючи після себе защемлений водою НП. При зниженні РГВ товщина шару НП падає менш інтенсивно, оскільки шар НП витрачається на залишковий НП, який утримується ґрунтом після гравітаційного стікання. В [15] досліджено вплив коливання РГВ на формування залишкових та защемлених НП. Встановлено, що при природному підйомі РГВ гас не переноситься вище 10 см і защемлюється в капілярній зоні; при первинному і наступних опусканнях РГВ після формування шару з мобільним НП залишкові насиченості води та НП будуть різними залежно від літологічного складу ґрунту, початкового насичення, інтервалу та часу опускання РГВ.

Мігруючи з ґрунтовим потоком, розчинені в ньому НП створюють ризик забруднення джерел питного водопостачання та поверхневих водойм і водотоків, де розвантажуються ґрунтові води [2, 23, 26]. У випадку наявності "гідрогеологічних вікон" у водотривкому шарі порід, забруднені НП води можуть потрапляти у водоносний горизонт, що залягає нижче [1, 18].

Загальні принципи еколого-геологічного обстеження об'єктів НП-забруднення. Почина-

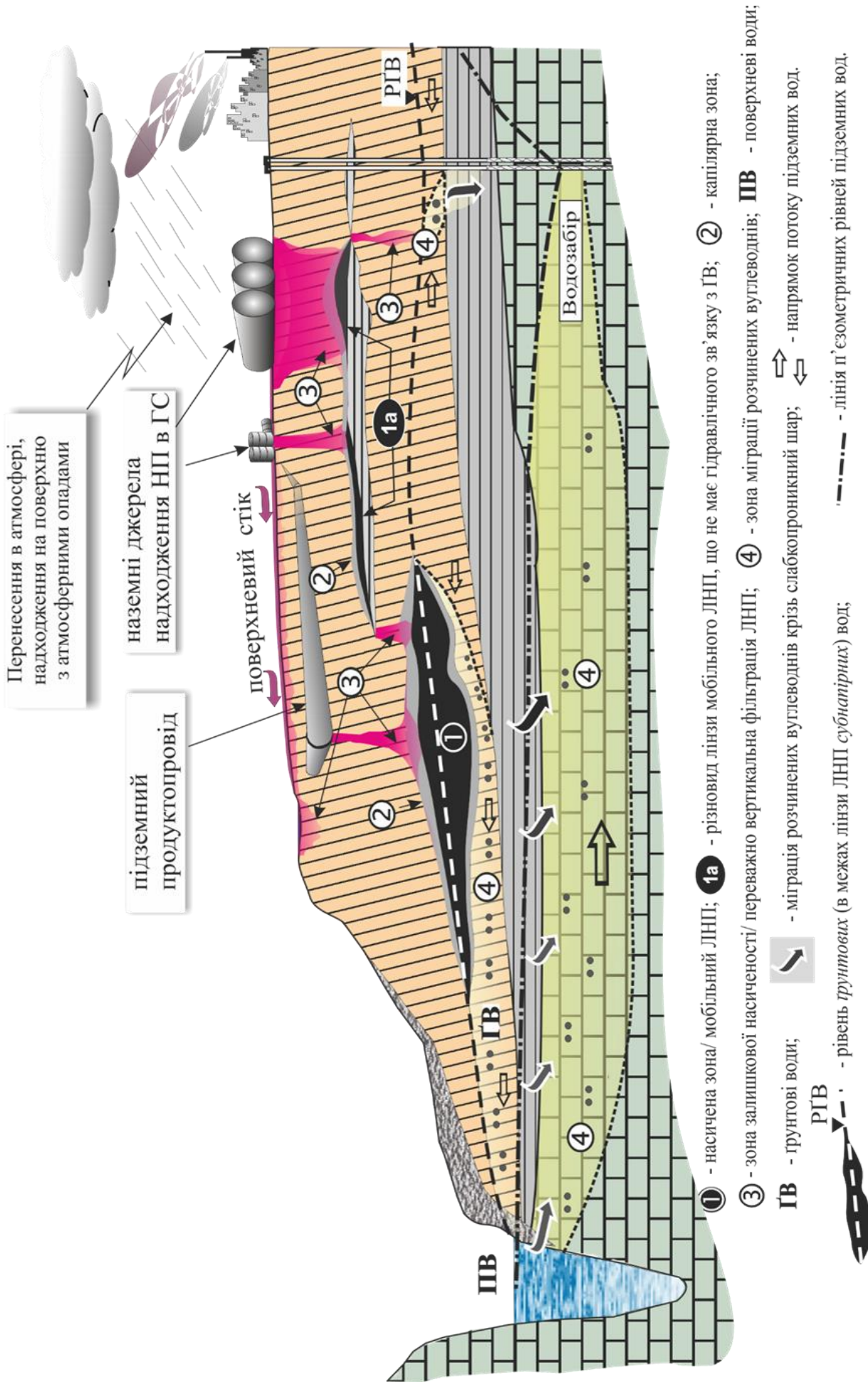


Рис. 1. Концептуальна схема забруднення геологічного середовища нафтопродуктами [5] /
 Fig. 1. The conceptual scheme of subsurface contamination with petroleum products [5]

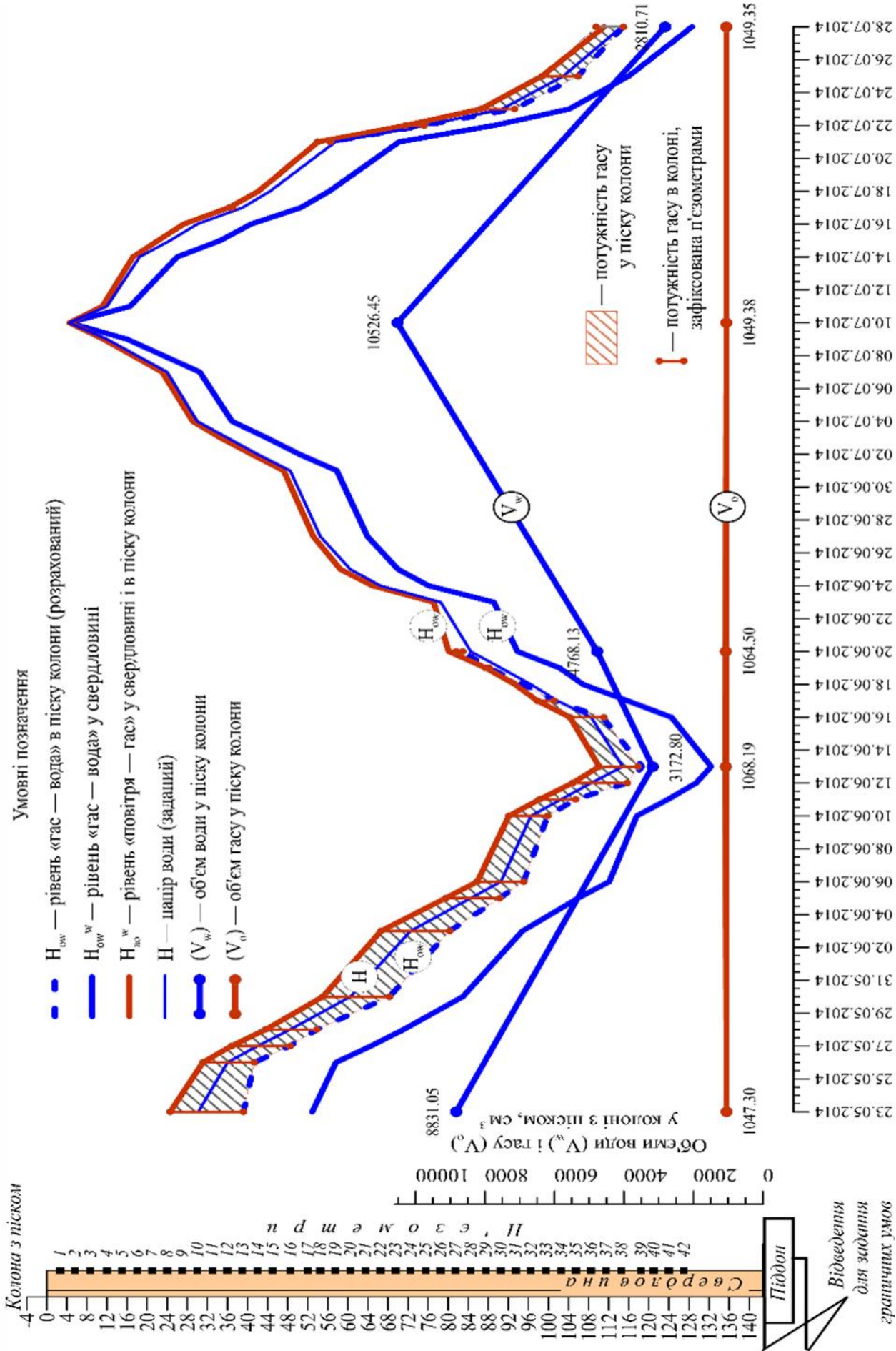


Рис. 2. Зміна рівнів у свердловині та колоні при випуску та подачі води після формування шару мобільного газу [13, 14] /
 Fig. 2. Change of levels in a well and a column during the release and supply of water after the formation of a mobile kerosene layer [13, 14]

ючи з 24 лютого 2022 р. в результаті російської військової агресії в Україні були зруйновані десятки об'єктів нафтопродуктозабезпечення, які супроводжувались аварійними розливами НП та їх надходженням до геологічного середовища (<https://www.gp.gov.ua/ua/posts/rozsliduvannya-raketnix-atak-po-ukrayinskix-naftobazax-ta-vstanovlennya-zbitkiv-dlya-dovkilliya-v-ofisi-genprokurora-obgovorili-mozlivist-dolucennya-francuzkix-ekspertiv>).

Для картування, розрахунків просторових параметрів і об'ємів, оцінки і прогнозування якісної і кількісної трансформації НП, накопичених у геологічному середовищі, необхідно отримати дані щодо геологічного розрізу, фільтраційних, міграційних, водно-фізичних та гідрохімічних параметрів.

Основними видами робіт в рамках еколого-геологічного обстеження повинні бути наступні:

- комплексна еколого-геологічна зйомка масштабу 1 : 1 000, 1 : 5 000, 1 : 10 000;
- геофізичні, радіологічні та аерозйомочні роботи;
- бурові роботи;
- дослідно-фільтраційні та дослідно-міграційні роботи;
- геодезичні роботи;
- біоіндикація та біотестування;
- лабораторні визначення хімічного складу і води, а також вмісту забруднювачів у геологічному середовищі;
- математичне моделювання часової і просторової трансформації НП у геологічному середовищі.

Цільове призначення еколого-геологічного обстеження – фіксація вихідного стану забрудненого геологічного середовища та основних його параметрів, натурна та прогнозна оцінка якісних і кількісних змін, що безпосередньо або опосередковано негативно впливають на екологічну обстановку.

Основною вимогою до еколого-геологічних робіт є комплексність виконання геологічних, геохімічних, ландшафтно-геохімічних, гідрогеологічних, інженерно-геологічних, геофізичних та інших досліджень, які в сукупності дозволяють оцінити стан геологічного середовища, екологічну обстановку на території та обґрунтувати заходи із запобігання або ліквідації негативних впливів і змін.

Еколого-геологічне обстеження в комплексі інформаційно забезпечує:

- визначення масштабів забруднення геологічного середовища;
- виявлення джерел забруднення;
- визначення шляхів надходження НП у геологічне середовище;
- вивчення процесів накопичення і міграції

НП у геологічному середовищі;

- визначення токсичності НП по відношенню до підземних та поверхневих вод, атмосферного повітря, ґрунтів, рослинності та донних відкладів;
- виконання прогнозних оцінок часових і просторових трансформацій осередку забруднення і пов'язаних з ними ризиків погіршення стану і якості екологічного середовища;
- розробку системи профілактичних запобіжних, ліквідаційних, ремедіаційних, реабілітаційних та інших заходів відновлення забрудненого НП природного, і в тому числі, геологічного середовища.

Еколого-геологічне обстеження осередків НП-забруднення обов'язково потрібно виконувати у випадках:

- отримання інформації про руйнування, що сталися у зв'язку з військовими діями, або інші аварійні ситуації, які можуть спричинити негативний вплив на довкілля та здоров'я людей;
- понаднормативного забруднення довкілля в зоні об'єкту життєзабезпечення (колодязів, свердловин, поверхневих водних об'єктів – озер, річок, водосховищах, струмках тощо), атмосферного повітря, що робить небезпечним середовище існування;
- наявності ризику виникнення аварійної ситуації, в першу чергу в межах або поруч з об'єктом, що охороняється, населеним пунктом, джерелом життєзабезпечення.

Мета еколого-геологічного обстеження осередків НП-забруднення:

- виявлення джерел забруднення довкілля НП;
- визначення розподілу забруднюючих речовин у компонентах довкілля, зокрема, в ґрунтах, атмосфері, поверхневих та підземних водах, донних відкладів, рослинності;
- вивчення шляхів та форм міграції НП у геологічному середовищі;
- визначення умов взаємозв'язку між атмосферними опадами, підземними та поверхневими водами;
- прогноз розповсюдження НП у геологічному середовищі;
- оцінка природного та техногенного ризику на людину та довкілля;
- розробка заходів з ліквідації або/та локалізації забруднення ґрунтів, поверхневих та підземних вод.

Обсяги еколого-геологічного обстеження об'єктів нафтопродуктозабезпечення визначаються метою його виконання, розміром постраждалої та прилеглих територій, що знаходяться під впливом забруднення, необхідною точністю

виконання прогнозів розповсюдження забруднення та визначення ризику негативного впливу на людину та компоненти довкілля.

Ключовою ланкою в системі еколого-геологічного обстеження є визначення необхідності організації і ведення постійного моніторингу за станом геологічного середовища і зовнішніми чинниками у межах забрудненого об'єкту.

Комплексний еколого-геологічний моніторинг є невід'ємною складовою наукового дослідження на НП-забрудненій території і постійним джерелом вихідної інформації для аналітичної обробки та отримання результатів щодо обґрунтування і прийняття практичних рішень.

У реальному практичному сенсі моніторинг не може бути повсюдним і має охоплювати типи для певних умов об'єкту з інтерполяційним зв'язком, за необхідності, з об'єктами аналогами.

Основою моніторингової мережі на репрезентативних об'єктах є свердловини, по яких спостерігають за коливаннями РГВ і поверхні вільного НП, відбирають проби рідин на хімічний аналіз, визначають наявність і потужність шару вільного НП, визначають фільтраційні параметри водовміщуючих порід. Також за можливості (необхідності) облаштовують гідрофізичні стаціонари в зоні аерації.

Точки спостережень розміщують по всій забрудненій території та в зоні ризику розповсюдження НП-забруднення, за даними яких будують спеціальні інформаційні карти, які можуть бути використані і для математичного моделювання, а саме:

- карти гідроізогіпс, гідроізоп'єз, поверхні вільного НП;
- карти потужності зони аерації;
- карти потужності водоносних горизонтів та шарів вільного НП;
- карти хімічного складу та мінералізації підземних вод;
- карти забруднення ґрунтів та підземних вод НП;
- карти розповсюдження НП-забруднення за межі об'єкту їх зосередження.

В практиці гідрогеологічних досліджень рекомендується для визначення обсягів обстеження використовувати розвідувальне моделювання [5, 11]. При створенні розрахункової схеми моделі слід враховувати особливості міграції НП та води – як у вигляді двох рідин, що не змішуються, так і перенос розчинених вуглеводнів у водоносному горизонті. Відповідним чином, з метою прогнозу міграції НП у водоносному горизонті створюють моделі фільтрації мобільних НП (з використанням, наприклад, програмної системи TFDD) та переносу розчинених вуглеводнів (з використанням програмних систем BIOPLUME,

MT3D, MODTECH тощо). Методика та результати моделювання детально описані в роботах [1, 6, 7, 17, 18].

У практичному плані може бути успішно реалізований метод поетапного виконання польових робіт і поступового накопичення еколого-геологічної інформації.

Для отримання коректних результатів еколого-геологічних досліджень та висновків щодо забруднення має бути задіяна відповідна методично-нормативна база, а саме критерії оцінки рівня забруднення ґрунтів НП. Ґрунти вважаються забрудненими, якщо концентрації НП в них досягають таких значень, при яких починаються негативні зміни у довкіллі, тобто:

- порушується рівновага в екосистемі ґрунтів;
- гине ґрунтова біота;
- падає продуктивність або починають гинути рослини;
- відбувається зміна морфології, воднофізичних властивостей ґрунтів, знижується їх родючість;
- виникає загроза забруднення підземних та поверхневих вод в результаті вимивання із ґрунту НП та розчинення їх у воді.

Небезпечним рівнем забруднення ґрунту вважається рівень, що перевищує границю потенціалу самоочищення. В зарубіжних країнах прийнято вважати безпечним верхнім рівнем вмісту НП у ґрунті – 1-3 г/кг, початок серйозних екологічних збитків – при вмісті 20 г/кг і вище. Беручи до уваги фізико-географічні умови України (клімат, типи і склад ґрунтів, рослинність тощо), а також характер землекористування, які впливають на процеси самоочищення при НП-забурдненні геологічного середовища, для практики проведення ремедіаційних робіт доцільно прийняти такі ступені градації забурднення ґрунтів нафтою та НП з урахуванням природного вмісту (кларку):

- незабурднені ґрунти < 0.5 г/кг;
- слабо забурднені ґрунти – 0.5-5 г/кг;
- середньо забурднені ґрунти – 5-13 г/кг;
- сильно забурднені ґрунти – 13-25 г/кг;
- дуже сильно забурднені ґрунти > 25 г/кг.

Слабке забурднення може бути ліквідоване в процесі самоочищення ґрунтів у найближчі 2-3 роки, середнє – протягом 4-5 років. Початком серйозних екологічних збитків вважається забурднення ґрунту НП в концентраціях, що перевищують 13 г/кг, тому що при таких концентраціях починається міграція НП у підземні води та істотно порушується екологічна рівновага в ґрунтовогому біоценозі [8].

Етапи еколого-геологічного обстеження осередків НП-забурднення. Еколого-геологічне обстеження забурднених НП територій викону-

ється поетапно і включає: *пошуки, розвідку і розвідку в період ремедіаційних робіт.*

Мета *пошуків* – виявити та попередньо оцінити ступінь забруднення геологічного середовища НП і ступінь екологічної небезпеки, яку представляє це забруднення. Пошуки розбиваються на стадії: підготовчу, польових досліджень та заключну.

Наукова еколого-геологічна підготовка полягає у збиранні і опрацюванні літературних та фондових матеріалів. За результатами обробки зібраної інформації складаються карти (плани) існуючих і потенційних джерел НП-забруднення геологічного середовища та об'єктів, які можуть потерпати від забруднення (поверхневі водойми та водотоки, побутові колодязі, водозабірні свердловини, сільськогосподарські угіддя, цивільні та промислові споруди), а також стан вивченості геологічних і гідрогеологічних умов.

У польовий період проводяться рекогносцирувальні маршрутні обстеження з відбором проб ґрунтів, поверхневих та підземних вод з метою визначення вмісту НП. Рекогносцирувальні маршрути планують і здійснюють від джерела забруднення геологічного середовища за напрямком потоку ґрунтових вод на максимальну відстань очікуваного розповсюдження НП. Вздовж маршруту бурять пошукові свердловини. Запланована довжина маршруту регулюється фактом виходу в незабруднену зону, яка фіксується на підставі органоліптичної оцінки наявності НП та результатів хімічного аналізу відібраних проб ґрунту та води. Зазвичай кількість пошукових свердловин визначається з розрахунку: одна-дві свердловини уверх за потоком від об'єкта-забруднювача, інші нижче за потоком на відстані 20-50 м [12]. Глибини свердловин, як правило, визначаються глибиною залягання РГВ. Окрім пошукових свердловин опробуються всі водотоки та водойми, побутові колодязі, експлуатаційні та режимні свердловини. Обстежуються місця аварійних розливів НП, встановлені за документальними джерелами та на підставі опитувань очевидців.

Приклад розміщення моніторингових свердловин при обстеженні забрудненої НП території складу ПММ аеропорту Бориспіль, за даними яких оконтурено площу поширення мобільних НП у ґрунтових водах, наведений на рис. 3.

В процесі обстеження фіксують:

- ділянки фактично встановлених та можливих витоків НП;
- ділянки накопичення НП на поверхні землі та інтенсивного НП-забруднення ґрунтового рослинного шару;
- місця виходів НП у яружно-балочну мережу, природні та техногенні заглиблення на по-

верхні землі, водойми та водотоки, а також у побутові колодязі та дренажні споруди;

- збирають дані, що дозволяють прямо чи опосередковано оцінити величину витоків НП на об'єкті-забруднювачі (фактично зареєстровані витокі, нормативні втрати, обіг НП за період функціонування, час експлуатації обладнання без заміни та капітального ремонту). Слід враховувати, що руйнування об'єктів нафтопродуктозабезпечення внаслідок воєнних дій супроводжуються переважно масштабними аварійними розливами НП;
- дані, що дозволяють прямо чи опосередковано оцінити величину витрати НП та води на ділянці дренажування; вимірюють рівні НП та води у свердловинах, колодязях та дренажах, концентрації розчинених у воді НП на ділянці дренажування, технічні характеристики водозабірних та дренажних систем);
- з'ясовують геоморфологічну приналежність ділянок забруднення, ландшафтні характеристики, тип ґрунтів, стан рослинності (можливе пригнічення під впливом НП-забруднення ґрунту).

На заключній стадії на підставі результатів польових і лабораторних робіт складають карти забрудненості ґрунтів зони аерації, поверхневих та ґрунтових вод. На картах відзначається наявність:

- лінз мобільних НП та розчинених НП у ґрунтових водах;
- наднормативного забруднення водоносних горизонтів та водних джерел, що використовуються для господарсько-питних, лікувальних та інших цілей;
- наднормативного забруднення водотоків та водойм;
- наднормативного забруднення ґрунтів та коренежитного шару на землях сільськогосподарського та рекреаційного використання.

За інформацією, відображеною на побудованих картах, встановлюється ступінь екологічної небезпеки існуючих ділянок НП-забруднення геологічного середовища та виконуються спрощені прогнози (аналітичні розрахунки або розвідувальне моделювання) їх поширення у просторі та часі. При цьому виділяють три класи екологічної небезпеки осередків НП-забруднення.

До 1-го класу відносять ділянки, де вже існує або в найближчі 10 років можливе проявлення наднормативного вмісту НП у різних компонентах довкілля, що використовуються в господарських, побутових та інших цілях. Ділянки 1-го класу небезпеки потребують невідкладних ремедіаційних заходів, у тому числі локалізації та ліквідації осередків НП-забруднення. Це є нагальним у випадках усунення наслідків руйну-

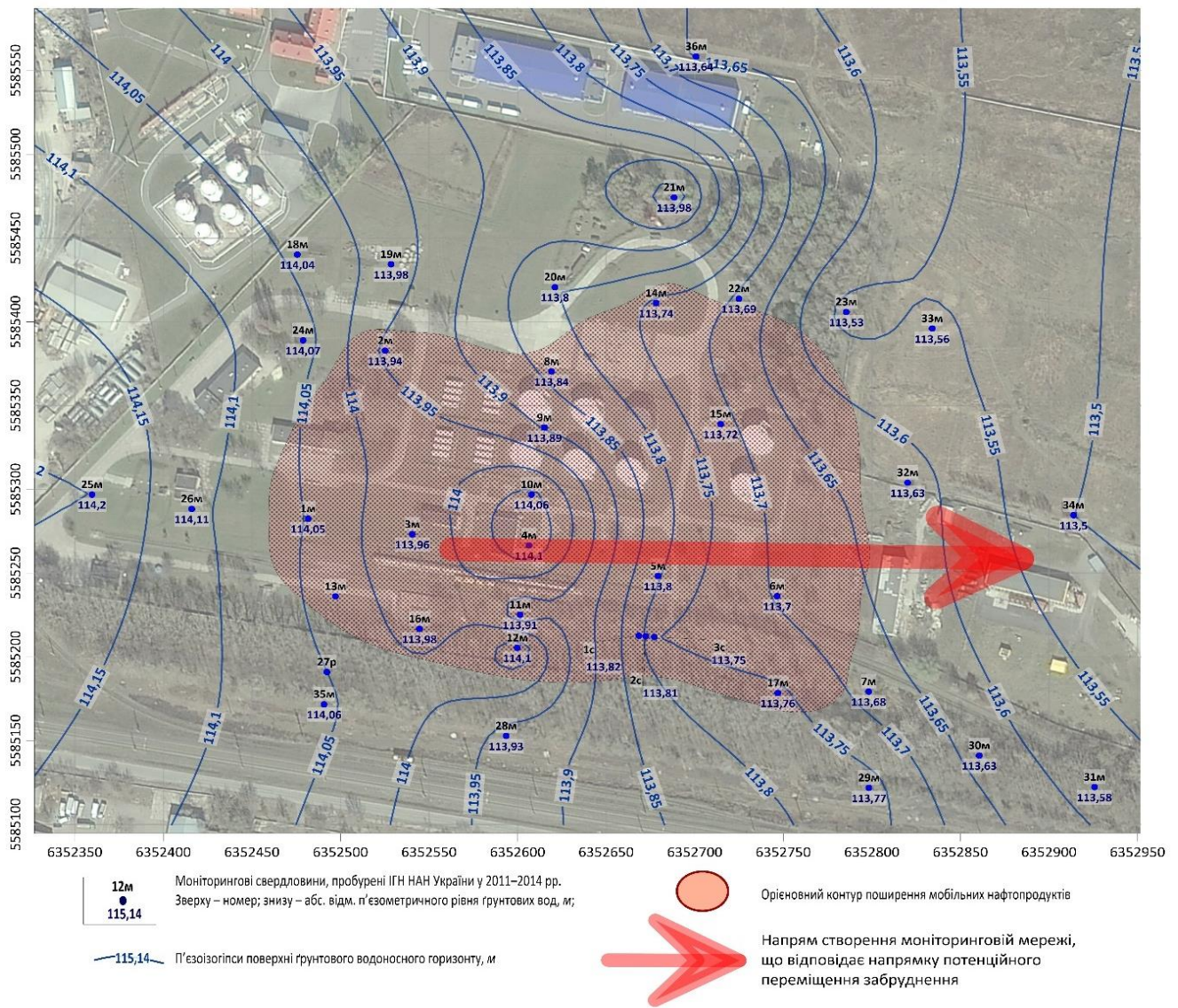


Рис. 3. Карта-схема розміщення мережі моніторингових свердловин на забрудненій НП ділянці складу ПММ аеропорту Бориспіль [21] /

Fig. 3. The map-diagram of the location of the monitoring well network on the site of the fuel and lubricant warehouse (Boryspil Airport) contaminated with petroleum products [21]

вань об'єктів нафтопродуктозабезпечення в результаті воєнних дій.

До 2-го класу небезпеки належать території, де загроза перевищення нормативного рівня НП-забруднення та пов'язаного з ним завдання економічного або соціального збитку може проявитися після 10 років. Тут насамперед необхідно проведення робіт з локалізації та ліквідації осередків забруднення та організації режимних спостережень.

До 3-го класу небезпеки належать території, в межах яких НП-забруднення в реальних умовах не становить суттєвої небезпеки для господарських і соціально орієнтованих об'єктів. Однак при зміні умов знаходження об'єкту НП-забруднення така загроза може виникнути, тому для територій 3-го класу небезпеки рекомендується проведення спостережень за розвитком

НП-забруднення.

Інформація, отримана в ході виконання етапу пошуків, використовується для складання геоекологічного паспорта об'єкта-джерела забруднення і пояснювальної записки до нього [12].

На етапі розвідки дослідження проводяться на території 1-го класу небезпеки з метою вироблення заходів, спрямованих на усунення або ослаблення загрози господарським та соціально орієнтованим об'єктам, а на території 2-го класу небезпеки – з метою вироблення заходів, що запобігають розповсюдженню НП-забруднення.

Основні завдання розвідки:

- оцінка стану НП, що містяться в геологічному середовищі (мобільні, утримувані ґрунтом, розчинені у ґрунтових водах, газоподібні), їх обсягу та розподілу за площею і в розрізі;

- прогноз поширення НП-забруднення у просторі та часі, визначення часу досягнення забруднювачем ділянок височування (дренування) та об'єктів, що використовуються в господарських та інших цілях;
- обґрунтування заходів щодо локалізації/ліквідації осередків НП-забруднення.

Для вирішення цих завдань необхідно виконати:

- картувальні роботи (буріння розвідувальних свердловин, проведення розвідки непрямими методами, визначення вмісту НП у ґрунтах зони аерації та у водонасиченій частині ґрунтової товщі);
- дослідні роботи з визначення фільтраційних та міграційних параметрів;
- відбір монолітів з усіх літологічних різниць та проведення лабораторних визначень щільності скелета ґрунту та твердих частинок, гранулометричного складу, коефіцієнта фільтрації, параметрів залежності капілярного тиску від насиченості для систем «повітря–вода», «повітря–НП» та «НП–вода»;
- лабораторні визначення складу та властивостей НП (щільність, в'язкість, натяг поверхні розділу «повітря–вода», «повітря–НП» та «НП–вода»), де вода може бути за органічними ознаками чистою, але за лабораторними даними містити НП-забруднення;
- моделювання процесів поширення розчинених та мобільних НП – вирішення епігностичних та прогнозних завдань;
- моніторинг рівнів мобільних НП та ґрунтових вод, вмісту у воді розчинених НП та вмісту НП, що утримуються в ґрунтах зони аерації.

Етап *розвідки в період ремедіаційних робіт* поділяється на дві стадії: початкову та оптимізаційну.

Початкова розвідка здійснюється перед ремедіаційними роботами з метою уточнення геологічної будови та гідрогеологічних параметрів, що використовуються для обґрунтування альтернативних інженерних заходів у рамках ремедіації забрудненого геологічного середовища.

Оптимізаційна розвідка виконується в процесі проведення ремедіаційних робіт для з'ясування їх ефективності, уточнення розмірів ореолу НП-забруднення (динаміки його зміни), коригування фільтраційних і міграційних параметрів і виконання на їх основі оптимізаційних розрахунків. Найбільш поширений принцип оптимізації полягає в пошуку такого варіанту розвідувальних робіт, витрати на проведення яких компенсуються економією коштів, що досягається за рахунок підвищення ефективності ремедіаційних заходів, тобто в мінімізації суми витрат на про-

ведення ремедіаційних та розвідувальних робіт.

Обстеження забруднених ділянок на усіх етапах супроводжується картувальними роботами з виявлення і деталізації закономірностей просторового поширення НП у геологічному середовищі (місцеположення, кількості, розмірів, форм і умов накопичення).

Особливості буріння свердловин та супроводжувальних робіт. В даний час для обстеження та моніторингу осередків НП-забруднення найчастіше використовують свердловини, тому що вони дозволяють вивчити літологічні особливості та будову геологічного середовища, відібрати проби води та зразки ґрунту для лабораторного визначення вмісту НП, фізико-механічних та гідрофізичних властивостей. Крім того, буріння з відбором керна дозволяє вже в польових умовах шляхом візуальної оцінки зразків оконтурити принаймні в першому наближенні зону забруднення.

Найбільш достовірні результати забезпечує застосування колонкового буріння без промивання та ударно-канатного буріння, але з метою економії витрат часто застосовують шнекове буріння з періодичним відбором керна за допомогою пробовідбірника. В процесі проходки свердловини особливу увагу слід приділяти зоні, що включає як інтервал забруднення, так і частину товщі, яка знаходиться над і під забрудненням. Недоліком цього способу буріння є те, що він вимагає багаторазового виконання спуско-підйомних операцій, кожна з яких спричиняє неконтрольовану помилку вимірювання. За даними [27], при випробуванні малопотужних забруднених зон помилка виміру може досягати $\pm 25\%$. Буріння потрібно проводити з обсаджуванням, щоб перешкодити просуванню забруднювача з верхніх шарів до нижніх. Якщо свердловина не призначена для тривалих спостережень, після відбору зразків її потрібно ліквідувати за допомогою тампонажу.

Візуальне виявлення НП по керну може бути ненадійним, особливо якщо наявність НП не призводить до істотної зміни кольору ґрунту або ця зміна подібна до тієї, що спостерігається при змочуванні ґрунту водою. Зміна запаху у зразку теж не завжди помітна, особливо за наявності запаху в оточуючому середовищі. Більш надійні результати дає застосування ультрафіолетового випромінювання (УФВ), під дією якого вуглеводні флуоресціюють у темряві. Ця властивість вуглеводнів зберігається при насиченні ними ґрунтів та розчиненні у воді [27]. Потрібно зауважити, що УФВ не дає можливості кількісної оцінки вмісту НП, але є об'єктивним способом встановлення їх наявності.

Кількісний вміст НП визначається лабора-

торним аналізом зразків. Однак для прогнозу розповсюдження НП і розробки способу їх вилучення в процесі очищення геологічного середовища необхідне знання не тільки вмісту НП у ґрунті, але і їх фазового стану. Кількість НП, що утримуються ґрунтом, може набагато перевищувати кількість мобільних НП. У багатьох випадках забруднення становлять НП, які повністю утримуються ґрунтом і не здатні самостійно переміщуватись. Проте ґрунтова товща, що містить утримувані НП, є джерелом забруднення інфільтраційних вод, які надходять у нижчі незабруднені шари зони аерації та ґрунтові води. Тому відсутність мобільної фази НП не є підставою для виключення ґрунтів, що містять НП, із зони опробування.

Бурові роботи при обстеженні осередку НП-забруднення (м. Біла Церква). При проведенні еколого-геологічного обстеження території колишнього Білоцерківського авіаремонтного заводу (БАРЗ) та урочища Потерчатє (дендропарк «Олександрія») картування НП-забруднення геологічного середовища виконувалось бурінням розвідувальних свердловин, що дозволило оцінити:

- потужність НП-забруднення геологічного середовища;
- наявність мобільних НП;
- межу розділу «гас-вода»;
- рівні ґрунтових вод.

Також відбирались проби води на визначення вмісту розчинених НП.

Згідно з геологічною будовою та гідрогеологічними умовами, в межах ділянки робіт виділені три геофільтраційні схеми. Маркуючим горизонтом для геофільтраційних схем є водоносний горизонт, приурочений до флювіогляціальних підморенних тонкозернистих пилуватих пісків пливунного характеру, середньо-четвертичного віку (fПІdn1). До водоносного горизонту переважно приурочено забруднення НП і частково забруднені ними важкі моренні суглинки (gПІdn).

Для геофільтраційних схем I та II (територія заводу БАРЗ) буріння виконували ударно-канатним способом діаметром 168 мм до глибини 10-12 м по зв'язним ґрунтам верхньо-середньочетвертичного віку (vdIIIbg, gПІdn).

Водоносний горизонт був розкритий шнековим бурінням суцільним вибоєм до глибини 17-18 м. При вилученні шнеків за зразками органо-лептично була оцінена зона НП-забруднення. Після вилучення шнеків проводилось буріння без води, з обсадною колоною труб діаметром 146 мм, нижче зони забруднення на 1-1,5 мм. В обсадну колоду опускалась робоча фільтрова колода діаметром 108 мм з установкою фільтра в інтервалі зони забруднення. Здійснений підйом

обсадної колони труб і желонування, оцінена межа розділу «гас-вода», потужність мобільного гасу, рівень ґрунтових вод. Відбирались проби води для визначення вмісту розчинених НП.

З урахуванням гідрогеологічних умов, а також отриманих параметрів забруднення розвідувальна свердловина може бути обладнана як моніторингова, при цьому обсіпка фільтра є сумішшю великого та середньо-зернистого піску. Свердловина обладнується патрубком, що закривається, а його приземна частина цементується. Розвідувальні свердловини ліквідуються шляхом тампонування їх стовбурів вибуреним ґрунтом.

На ділянках геофільтраційної схеми III буріння виконувалось шнеками та желонкою з обсадною колоною труб (ур. Потерчатє).

За даними буріння оконтурені три лінзи мобільних НП з максимальною потужністю 1,5 м та площинне забруднення ґрунтових вод розчиненими НП з концентраціями 2,34-593,7 мг/л (рис. 4).

Висновки. Повномасштабна російська військова агресія проти України спричинила формування численних масштабних осередків забруднення геологічного середовища НП, які потребують оцінки завданої шкоди довкіллю та проведення ремедіаційних заходів. Запропоновані методичні підходи щодо еколого-геологічного обстеження об'єктів забруднення геологічного середовища НП дозволяють оцінити вплив воєнних дій на геологічне середовище.

Еколого-геологічне обстеження забруднених НП територій виконується поетапно і включає пошуки, розвідку і розвідку в період ремедіаційних робіт. Мета пошуків полягає у виявленні та попередній оцінці ступеню забруднення геологічного середовища НП і ступеню екологічної небезпеки забруднення. Польовий період є основним етапом еколого-геологічного обстеження. Проводяться рекогносцирувальні маршрути, буріння пошукових свердловин з відбором проб ґрунтів, поверхневих та підземних вод з метою визначення вмісту НП. На заключній стадії складають карти забрудненості ґрунтів зони аерації, поверхневих та ґрунтових вод.

Виділені три класи екологічної небезпеки осередків НП-забруднення. До 1-го класу відносять ділянки, де вже існує або в найближчі 10 років виникне загроза наднормативного вмісту НП, і які потребують невідкладного проведення реабілітаційних робіт, у тому числі локалізації та ліквідації осередків НП-забруднення. До 2-го класу небезпеки належать ділянки, де загроза перевищення нормативного вмісту НП та завдання економічного або соціального збитку може проявитися після 10 років – необхідно проведення робіт з локалізації та ліквідації осередків забруднення та режимних спостережень. До

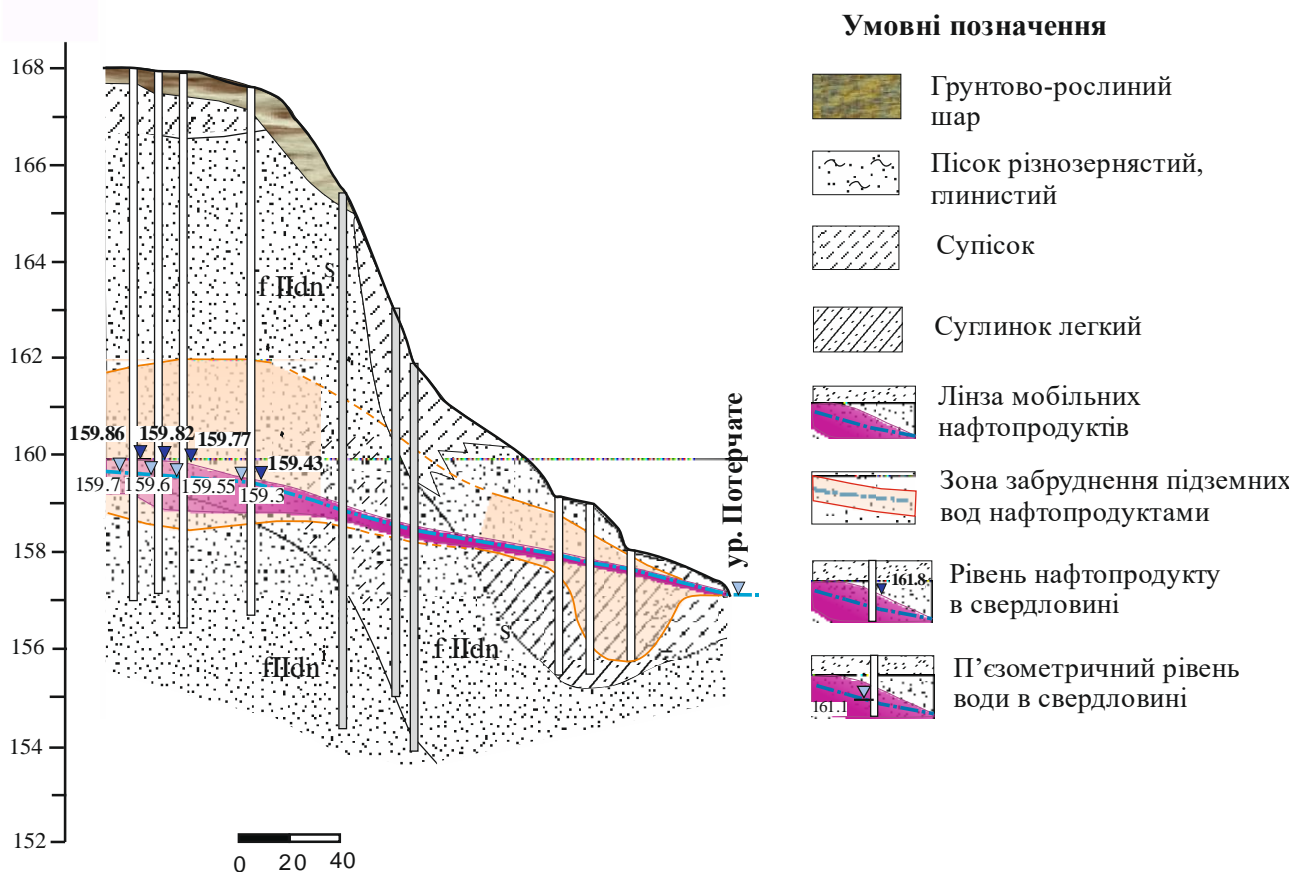


Рис. 4. Поширення НП-забруднення геологічного середовища в напрямку ур. Потерчате (Державний дендропарк «Олександрія») за даними розвідувального буріння [23] /

Fig. 4. Spreading of subsurface contamination with petroleum products in the direction of the Poterchate ravine (Olexandria State Arboretum) according to the data of exploratory drilling [23]

3-го класу небезпеки належать ділянки, у межах яких НП-забруднення не становить суттєвої небезпеки, однак при зміні умов така загроза може виникнути – рекомендується проведення спостережень за розвитком НП-забруднення.

На етапі розвідки дослідження проводяться на території 1-го класу небезпеки з метою вироблення заходів, спрямованих на усунення або ослаблення загрози господарським та соціально орієнтованим об'єктам, а на території 2-го класу небезпеки – з метою вироблення заходів, що запобігають розповсюдженню НП-забруднення. Етап розвідки в період ремедіаційних робіт поділяється на дві стадії: початкову та оптимізаційну. Початкова розвідка здійснюється перед ремедіаційними роботами з метою уточнення геологічної будови та гідрогеологічних параметрів, що використовуються для обґрунтування альтернативних інженерних заходів. Оптимізаційна розвідка виконується в процесі проведення ремедіаційних робіт для з'ясування їх ефективності, уточнення масштабів та динаміки НП-забруднення, коригування фільтраційних та міграційних параметрів і виконання на їх основі оптимі-

заційних розрахунків.

Розроблені принципи еколого-геологічного обстеження осередків НП-забруднення геологічного середовища можуть бути використані на багатьох об'єктах нафтопродуктозабезпечення як цивільного, так і військового призначення, що зазнали руйнувань внаслідок воєнних дій. В контексті російської військової агресії проти України їх застосування забезпечує збір необхідної інформації для оцінки шкоди, завданої довкіллю через забруднення геологічного середовища НП.

Фінансування. Дослідження виконано за конкурсною темою «Стратегічна мінеральна сировина для відновлення економіки України: аналіз ресурсів і запасів, розробка пошукових критеріїв нарощування мінерально-сировинної бази» (№ 0123U100855) за бюджетною програмою КПКВК 6541230 «Науково-дослідні та дослідно-конструкторські (експериментальні) роботи за пріоритетним напрямом «Технології пошуку, видобутку, переробки та використання найважливіших видів мінеральної сировини, проблеми оцінки, збереження та післявоєнного відновлення довкілля» на 2023–2024 роки».

Список використаної літератури

1. Брикс А.Л. Особенности распространения растворенных УВ на участке аэродрома г. Николаев (Украина) [Текст] / А.Л. Брикс, Р.Б. Гаврилюк // Геологічний журнал, 2011. – №1. – С. 120-127.
2. Брикс А.Л. Аспекти поводження із забрудненими нафтопродуктами ділянками геологічного середовища [Текст] / А.Л. Брикс, М.С. Огняник // Геологічний журнал, 2022. – № 3 (380). – С. 18-33. <https://doi.org/10.30836/igs.102568142022325860>
3. Брикс А.Л., Гаврилюк Р.Б., Огняник М.С. Розвиток моніторингових досліджень у зв'язку із забрудненням підземних вод НП // Геологічний журнал. – 2017, №1. – С. 37-46. <https://doi.org/10.30836/igs.1025-6814.2017.1.99650>
4. Брикс А.Л., Гаврилюк Р.Б. Трансформація скупчень легких нафтопродуктів, забруднюючих геологічне середовище. Вісн. Харків. нац. ун-ту ім. В.Н. Каразіна. Сер. Геологія, географія, екологія. – 2015, № 1157. – С. 116–123. <https://periodicals.karazin.ua/geoeco/article/view/3745>
5. Брикс А.Л., Огняник М.С. Екологія геологічного середовища: забруднення нафтопродуктами. Термінологічний словник-довідник еколога-гідрогеологічного напрямку. Видання друге, виправлене і доповнене. – К: Наукова думка, 2024. – 144 с. <https://doi.org/10.15407/978-966-00-1952-2>
6. Брикс А.Л., Огняник М.С. Математичне моделювання міграції авіаційного гасу за межі території військової авіабази / Екологія довкілля та безпека життєдіяльності, 2002. – №3. – С. 51-56.
7. Брикс А.Л., Парамонова Н.К. Особливості методики моделювання руху лінзи НП в геологічному середовищі / Геологічний журнал, 2009. – №4. – С. 107-113.
8. Методика обстеження еколога-геологічного стану територій військових об'єктів. Методичні рекомендації по обстеженню еколога-геологічного стану територій військових аеродромів / Огняник М.С., Митропольський О.Ю., Брикс А.Л., Парамонова Н.К. Голуб Г.І. та ін. К.: ІГН НАН України, 2012. – 209 с.
9. Наукові основи ліквідації забруднення геологічного середовища легкими нафтопродуктами. Звіт про науково-дослідну роботу, № Держреєстрації 0115U005445. 2020. – 224 с.
10. Огняник М.С. Дослідження нафтопродуктового забруднення підземних вод України [Текст] / М.С. Огняник, А.Л. Брикс, Р.Б. Гаврилюк // Геологічний журнал. – 2018, №3. – С. 59–66.
11. Огняник Н.С. Постоянно действующие гидрогеологические модели интенсивно осваиваемых территорий Украинской ССР. Киев: Наукова думка, 1991. – 176 с.
12. Основы изучения загрязнения геологической среды легкими нефтепродуктами / Н.С. Огняник, Н.К. Парамонова, И.С. Пашковский и др. Киев: [А.П.Н], 2006. – 278 с.
13. Парамонова Н.К., Голуб Г.И., Запольский И.Н., Логвиненко О.И. Лабораторные исследования влияния колебания уровня грунтовых вод на состояние и содержание легких нефтепродуктов в геологической среде. Ст. 1. Проведение опыта с первоначальным подъемом уровня грунтовых вод после формирования слоя с легким нефтепродуктом. / Геологічний журнал. – 2017а, № 3 (360). – С. 42–54. <https://doi.org/10.30836/igs.1025-6814.2017.3.117336>
14. Парамонова Н.К., Голуб Г.И., Запольский И.Н., Логвиненко О.И. Лабораторные исследования влияния колебания уровня грунтовых вод на состояние и содержание легких нефтепродуктов в геологической среде. Ст. 2. Опыт с первоначальным опусканием напора воды после формирования слоя с мобильным керосином. / Геологічний журнал. – 2017б, № 4 (361). – С. 77–87. <https://doi.org/10.30836/igs.1025-6814.2017.4.122763>
15. Парамонова Н.К., Голуб Г.И., Запольский И.Н., Логвиненко О.И., Негода Ю.О. Влияние колебания уровня грунтовых вод на формирование остаточных и зацементированных легких нефтепродуктов. / Геологічний журнал. – 2016, № 1 (354). – С. 112–124. <https://doi.org/10.30836/igs.1025-6814.2016.1.97283>
16. Шпак Е.Н., Логвиненко О.И. Исследование природного самоочищения подземной среды, загрязненной нефтепродуктами. / Мінеральні ресурси України. – 2019, № 3. – С. 49–51. <https://doi.org/10.31996/mru.2019.3.49-51>
17. Шпак О.М. Вивчення впливу біодеградації на забруднення підземних вод нафтопродуктами методом математичного моделювання / Геологічний журнал. – 2015, № 1 (350). – С. 100–106. <https://doi.org/10.30836/igs.1025-6814.2015.1.138728>
18. Шпак О.М. Умови забруднення підземних вод нафтопродуктами в зоні водозаборів (на прикладі Херсонського вузла водозаборів) // Автореферат дисертації на здобуття наукового ступеня кандидата геологічних наук. Київ: Видавництво “Логос”, 2005. – 24 с.
19. Шпак О.М., Гаврилюк Р.Б., Логвиненко О.І., Запольський І.М. Оцінка впливу коливань рівня ґрунтових вод на трансформацію нафтопродуктового забруднення підземного середовища / Геологічний журнал. 2023. № 2 (383). – С. 40–57. <https://doi.org/10.30836/igs.1025-6814.2023.2.273586>
20. Шпак О.М., Гаврилюк Р.Б., Логвиненко О.І., Негода Ю.О. Методичні підходи до планування ремедіаційних заходів на забруднених нафтопродуктами військових територіях / Мінеральні ресурси України. 2023. №4. – С. 13–19. <https://doi.org/10.31996/mru.2023.4.38-44>
21. Шпак О.М., Гаврилюк Р.Б., Логвиненко О.І. Оцінка ефективності ремедіації геологічного середовища на території складу паливно-мастильних матеріалів аеропорту Бориспіль / Вісник Київського Національного університету. Сер. Геологія. 2022, № 1(96). – С. 76-82. <http://doi.org/10.17721/1728-2713.96.11>
22. Еколого-гідрогеологічний моніторинг територій загрози геологічної середовища легкими нафтопродуктами / Н.С. Огняник, Н.К. Парамонова, А.Л. Брикс. Киев, LAT&K, 2013. – 254 с.
23. Bricks Andriy L., Gavryliuk Ruslan B., Negoda Yuriy O. Hazard of petrochemical pollution of ponds of the “Olexandria” arboretum (Bila Tserkva) / Journal of Geology, Geography and Geoecology. – 2020, № 29(2). С. 243-251. <https://doi.org/10.15421/112022>

24. Bruckberger M.C., Gleeson D.B., Bastow T.P., Morgan M.J., Walsh T., Rayner J.L., Davis G.B., Puzon G.J. *Unraveling Microbial Communities Associated with Different Light Non-Aqueous Phase Liquid Types Undergoing Natural Source Zone Depletion Processes at a Legacy Petroleum Site*. *Water*. 2021. Iss. 13 (7). 898. <https://doi.org/10.3390/w13070898>
25. Cavelan A., Golfier F., Colombano S., Davarzani H., Deparis J., Faure P. (2022). A critical review of the influence of groundwater level fluctuations and temperature on LNAPL contaminations in the context of climate change. *Science of the Total Environment* 806 150412. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.150412>
26. Havryliuk R.B., Shpak O.M., Negoda Y.O., Lohvynenko O.I., Nikitash O.G. *Study of environment contamination with petroleum products in the region of Bila Tserkva eco-industrial park // Proceedings of 16th International Conference Monitoring of Geological Processes and Ecological Condition of the Environment, Nov 2022, Volume 2022*. <https://doi.org/10.3997/2214-4609.2022580153>
27. Hughes J.P., Sullivan C.R., Zinner R.E. (1988). *Two techniques for determining the true hydrocarbon thickness in an unconfined sandy aquifer*. In: *Proceedings of the National Water Well Association of Ground Water Scientists and Engineers and the American Petroleum Institute Conference on Petroleum Hydrocarbons and Organic Chemicals in Ground Water: Prevention, Detection and Restoration, vol 1*. – P. 291-314.
28. Karamushka, V., Boychenko, S., and Havryliuk, R.: *Environmental consequences resulted from the oil depots' deterioration by the RF's missile attacks, EGU General Assembly 2024, Vienna, Austria, 14–19 Apr 2024, EGU24-478*, <https://doi.org/10.5194/egusphere-egu24-478>, 2024.
29. *LNAPL Site Management Handbook* (2010). *Naval Facilities Engineering Command*. 23 p.
30. Milioni A. (2016). *Remediation of Hydrocarbon Contaminated Soils*. 19 p. <http://www.oil-gasportal.com/remediation-of-hydrocarbon-contaminated-soils>.
31. Newell C.J., Acree S.D., Ross R.R., Huling S.G. (1995). *Light nonaqueous phase liquids*. *EPA Ground Water Issue*. EPA 540-S-95-500. 28 p.
32. *Understanding Light Non-Aqueous Phase Liquid (NAPL) Behavior in Soil* (2004). *EPA Region 3/State Corrective Action Workshop*. *Rocky Gap Lodge, Maryland*.

Внесок авторів: всі автори зробили рівний внесок у цю роботу

Конфлікт інтересів: автори повідомляють про відсутність конфлікту інтересів

Methodical aspects of the assessment of the state of subsurface contamination with petroleum products caused by the military aggression of the Russian Federation against Ukraine

Ruslan Havryliuk¹

PhD (Geology), Scientific Secretary,

¹ Institute of Geological Sciences of the NAS of Ukraine, Kyiv, Ukraine;

Olena Shpak¹

PhD (Geology), Senior Researcher;

Olha Lohvynenko¹

Junior Researcher;

Igor Zapolskiy¹

Junior Researcher

ABSTRACT

Formulation of the problem. As a result of Russian military aggression, a significant number of petroleum product supply objects were destroyed in Ukraine, which led to the formation of new sources of subsurface contamination. Such sources cause significant damage to the environment, the assessment of which is one of the key priorities among the entire range of environmental impacts of Russian aggression. The first stage is the assessment of the state of the environment, which includes the determination of objects, nature, scale and features of subsurface contamination. Its results serve as the basis for further stages of damage assessment: development of a monitoring network and restoration measures, the total costs of which should form the basis for a monetary assessment of the damage.

The purpose of the article is to develop a methodology for the environmental and geological survey of petroleum contamination sources taking into account the consequences of the destruction of petroleum product supply facilities as a result of military operations.

The scope of the ecological and geological survey of the petroleum contamination sources is determined by the purpose of its implementation, the size of a survey area and adjacent territories under the influence of contamination, the necessary accuracy of forecasting contamination spreading, and determining the risk to humans and the environment

Main Results. This article describes the methodological aspects of the environmental and geological survey of the sources of subsurface contamination with petroleum products, developed on the basis of our long-term scientific re-

search. The general principles of conducting the ecological and geological survey are described, and the scope and structure of research are proposed at all stages of the ecological and geological survey of petroleum contamination sources: search, exploration and exploration during remedial actions. Three classes of ecological danger of petroleum contamination sources are distinguished. The 1st class refers to contaminated areas where the threat of an above-standard content of petroleum products already exists or it is expected in the next 10 years, which requires urgent remedial actions, including the localization and/or elimination of petroleum contamination sources. The 2nd class of danger refers to territories where the threat of exceeding the regulatory level of petroleum products and the task of economic or social damage is expected after 10 years, and first of all, it is necessary to carry out works on the localization and/or elimination of contamination sources and regular observations. The 3rd danger class includes territories where petroleum contamination does not pose a significant danger but such a threat may arise when conditions change. In this case, it is recommended to observe the development of petroleum contamination. The cases of environmental and geological surveys conducted in the area of the international airport "Boryspil" and Bila Tserkva town, which are potentially comparable to the sources formed as a result of military aggression of the Russian Federation in terms of the scale of contamination, are considered.

Conclusions. The developed principles of ecological and geological survey of the sources of subsurface contamination with petroleum products can be used at many petroleum product supply facilities that were destroyed as a result of Russian military aggression.

Keywords: subsurface, contamination, petroleum products, ecological and geological survey, military impact on the environment, remediation.

References

1. Bricks A.L., Gavrilyuk R.B. (2011). Features of the distribution of dissolved hydrocarbons at the site of the airfield in Nikolaev (Ukraine). *Geological journal*, 1, 120-127.
2. Bricks A.L., Ognyanik M.S. (2022). Aspects of handling areas of the geological environment contaminated with petroleum products. *Geological Journal*, 3 (380), 18-33. <https://doi.org/10.30836/igs.102568142022325860> [in Ukrainian]
3. Bricks A.L., Gavrilyuk R.B., Ognyanik M.S. (2017). Development of monitoring studies in connection with groundwater contamination with petroleum products. *Geological Journal*. 1, 37-46. <https://doi.org/10.30836/igs.1025-6814.2017.1.99650> [in Ukrainian]
4. Bricks A.L., Havryliuk R.B. (2015). Transformation of light petroleum product accumulations contaminating the geological environment. *Visnyk of V.N. Karazin Kharkiv National University. Ser. "Geology, Geography, Ecology"*, 1157: 116–123 [in Ukrainian]. <https://periodicals.karazin.ua/geoeco/article/view/3745>
5. Bricks A.L., Ognyanik M.S. (2024). Ecology of the geological environment: Pollution by oil products. *Glossary of terms – Dictionary. PH «Naukova Dumka»*. <https://doi.org/10.15407/978-966-00-1952-2> [in Ukrainian]
6. Bricks A.L., Ognyanik M.S. (2002) Mathematical modeling of aviation kerosene migration beyond the territory of a military air base. *Environmental ecology and life safety*, 3, 51-56. [in Ukrainian]
7. Bricks A.L., Paramonova N.K. (2009). Peculiarities of the method of modeling the movement of petroleum product lens in the geological environment. *Geological journal*, 4, 107-113. [in Ukrainian]
8. Ognyanik M.S., Mitropolskyi O.Yu., Bricks A.L., Paramonova N.K., Golub G.I. etc. (2012). Methodology for surveying the ecological and geological condition of the territories of military facilities. *Methodical recommendations for surveying the ecological and geological condition of the territories of military airfields*. K., IGN NAS of Ukraine. [in Ukrainian]
9. Scientific basis of elimination of subsurface contamination with light petroleum products (2020). Report on research work, State registration number 0115U005445. [in Ukrainian]
10. Ognyanik M.S. (2018) Study of groundwater contamination with petroleum products in Ukraine / M.S. Ognyanik, A.L. Bricks, R.B. Havrylyuk. *Geological journal*. 3, 59–66. [in Ukrainian]
11. Ognyanik N.S. (1991). *Permanent hydrogeological models of intensively developed territories of the Ukrainian SSR*. Kyiv: Naukova dumka.
12. *Fundamentals of studying subsurface contamination with light petroleum products (2006)* / N.S. Ognyanik, N.K. Paramonova, I.S. Pashkovsky and others. Kyiv: [A.P.N].
13. Paramonova N.K., Golub G.I., Zapolsky I.N., Logvinenko O.I. (2017a). Laboratory studies of the influence of groundwater table fluctuations on the state and content of light petroleum products in the subsurface. Article 1. Conducting an experiment with the initial rise in the groundwater level after the formation of a layer with a light oil product. *Geologičnij žurnal*, 3 (360): 42–54. <https://doi.org/10.30836/igs.1025-6814.2017.3.117336>
14. Paramonova N.K., Golub G.I., Zapolsky I.N., Logvinenko O.I. (2017b). Laboratory studies of the influence of groundwater table fluctuations on the state and content of light petroleum products in the subsurface. Article 2. Experience with the initial lowering of the water pressure after the formation of a layer with mobile kerosene. *Geologičnij žurnal*, 4 (361): 77–87. <https://doi.org/10.30836/igs.1025-6814.2017.4.122763>
15. Paramonova N.K., Golub G.I., Zapolsky I.N., Logvinenko O.I., Negoda Yu.O. (2016). The influence of groundwater table fluctuations on the formation of residual and entrapped light petroleum products. *Geologičnij žurnal*, 1 (354): 112–124. <https://doi.org/10.30836/igs.1025-6814.2016.1.97283>
16. Shpak E.N., Logvinenko O.I. (2019). Research of natural remediation of the subsurface contaminated with petroleum products. *Mineral resources of Ukraine*, 3, 49-51. <https://doi.org/10.31996/mru.2019.3.49-51>
17. Shpak O.M. (2015). Research of biodegradation effect on groundwater contamination with petroleum products using mathematical modeling. *Geologičnij žurnal*, 1 (350). 100–106. <https://doi.org/10.30836/igs.1025-6814.2015.1.100-106>

[6814.2015.1.138728](https://doi.org/10.30836/igs.1025-6814.2023.2.273586)

18. Shpak O.M. (2005). *Conditions of groundwater contamination with petroleum products in the area of water intake (on the example of the Kherson water intake site)*. Abstract of the dissertation for the degree of Candidate of Geological Sciences. Kyiv: Logos Publishing House. [in Ukrainian]
19. Shpak O.M., Havryliuk R.B., Lohvynenko O.I., Zapolskiy I.M. (2023). *Assessment of the impact of groundwater table fluctuations on the transformation of subsurface contamination with petroleum products*. *Geologičnij žurnal*, 2. 40–57. <https://doi.org/10.30836/igs.1025-6814.2023.2.273586> [in Ukrainian]
20. Shpak O.M., Gavrylyuk R.B., Logvinenko O.I., Negoda Yu.O. (2023). *Methodical approaches to the planning of remedial actions in military territories contaminated with petroleum products*. *Mineral resources of Ukraine*. 4, 13–19. <https://doi.org/10.31996/mru.2023.4.38-44> [in Ukrainian]
21. Shpak O.M., Havryliuk R.B., Logvinenko O.I. (2022). *Evaluation of the effectiveness of remediation of the geological environment on the territory of the fuel and lubricant warehouse of Boryspil airport*. *Bulletin of the Kyiv National University. Ser. Geology*. 1(96), 76-82. <http://doi.org/10.17721/1728-2713.96.11> [in Ukrainian]
22. *Ecological and hydrogeological monitoring of territories of subsurface contamination with light petroleum products (2013)* / N.S. Ognianik, N.K. Paramonova, A.L. Bricks. Kyiv, LAT&K. [in Russian]
23. Bricks Andriy L., Gavryliuk Ruslan B., Negoda Yuriy O. (2020). *Hazard of petrochemical pollution of ponds of the “Olexandria” arboretum (Bila Tserkva)*. *Journal of Geology, Geography and Geoecology*. No 29(2). 243-251. <https://doi.org/10.15421/112022>
24. Bruckberger M.C., Gleeson D.B., Bastow T.P., Morgan M.J., Walsh T., Rayner J.L., Davis G.B., Puzon G.J. (2021). *Unravelling Microbial Communities Associated with Different Light Non-Aqueous Phase Liquid Types Undergoing Natural Source Zone Depletion Processes at a Legacy Petroleum Site*. *Water*. Iss. 13 (7). 898. <https://doi.org/10.3390/w13070898>
25. Cavelan A., Golfier F., Colombano S., Davarzani H., Deparis J., Faure P. (2022). *A critical review of the influence of groundwater level fluctuations and temperature on LNAPL contaminations in the context of climate change*. *Science of the Total Environment* 806 150412. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.150412>
26. Havryliuk R.B., Shpak O.M., Negoda Y.O., Lohvynenko O.I., Nikitash O.G. (2022) *Study of environment contamination with petroleum products in the region of Bila Tserkva eco-industrial park*. *Proceedings of 16th International Conference Monitoring of Geological Processes and Ecological Condition of the Environment, 2022*. <https://doi.org/10.3997/2214-4609.2022580153>
27. Hughes J.P., Sullivan C.R., Zinner R.E. (1988). *Two techniques for determining the true hydrocarbon thickness in an unconfined sandy aquifer*. In: *Proceedings of the National Water Well Association of Ground Water Scientists and Engineers and the American Petroleum Institute Conference on Petroleum Hydrocarbons and Organic Chemicals in Ground Water: Prevention, Detection and Restoration*, 1, 291-314.
28. Karamushka, V., Boychenko, S., and Havryliuk, R. (2024). *Environmental consequences resulted from the oil depots' deterioration by the RF's missile attacks*, EGU General Assembly 2024, Vienna, Austria, 14–19 Apr 2024, EGU24-478. <https://doi.org/10.5194/egusphere-egu24-478>
29. *LNAPL Site Management Handbook* (2010). Naval Facilities Engineering Command, 23.
30. Milioni A. (2016). *Remediation of Hydrocarbon Contaminated Soils*. <http://www.oil-gasportal.com/remediation-of-hydrocarbon-contaminated-soils>
31. Newell C.J., Acree S.D., Ross R.R., Huling S.G. (1995). *Light nonaqueous phase liquids*. EPA Ground Water Issue. EPA 540-S-95-500.
32. *Understanding Light Non-Aqueous Phase Liquid (LNAPL) Behavior in Soil* (2004). EPA Region 3/State Corrective Action Workshop. Rocky Gap Lodge, Maryland.

Authors Contribution: All authors have contributed equally to this work

Conflict of Interest: The authors declare no conflict of interest

Received 18 July 2024

Accepted 12 November 2024