

DOI: <https://doi.org/10.30836/igs.2522-9753.2025.330553>

УДК 556.388:665.71

E-mail:

abricks2013@gmail.com

<https://orcid.org/0000-0001-5048-1437>

igorzapol@gmail.com

<https://orcid.org/0009-0006-7281-4785>

ПРОБЛЕМИ МОДИФІКАЦІЇ КОНЦЕПТУАЛЬНОЇ МОДЕЛІ ГЕОЛОГІЧНОГО СЕРЕДОВИЩА ЗАХІДНОЇ ЧАСТИНИ ДЕНДРОПАРКУ «ОЛЕКСАНДРІЯ»

THE PROBLEMS OF MODIFYING THE CONCEPTUAL MODEL OF THE GEOLOGICAL ENVIRONMENT OF THE WESTERN EDGE OF THE «ALEXANDRIA» ARBORETUM

**А. Л. Брикс, І. М. Запольський
Andriy L. Bricks, Igor M. Zapolsky**

Institute of Geological Sciences, NAS of Ukraine, 55-b O. Honchara Str., Kyiv, Ukraine, 01601

Державний дендропарк «Олександрія» — це передусім науковий заклад, одним з головних його завдань проголошено збереження фіторізноманіття природної флори та інтродукція рослин. Відповідно до численних публікацій, реалізація цього завдання стикається з необхідністю подолання зростаючого впливу техногенних чинників. Починаючи з 1990 р. у межах дендропарку і на прилеглих територіях різні організації за схожими програмами проводили роботи з оцінювання забруднення геологічного середовища нафтопродуктами і обґрунтування ремедіаційних заходів. Це завдання було виконано лише частково. Сучасні обстеження західної частини дендропарку засвідчують, що, незважаючи на деяке послаблення показників забруднення, незадовільний стан навколишнього середовища зберігається. Також залишається загроза неочікуваного посилення надходження рідких і розчинених вуглеводнів до каскаду штучних водойм, оскільки у 120–150 м вище за потоком на поверхні ґрунтових вод існує лінза нафтопродуктів, яка не зазнала ремедіаційних заходів.

У статті подано інформацію про основні результати досліджень проведених у період з 1990 по 2007 р. Акцент зроблено на визначенні впливу якості даних, отриманих у різні періоди досліджень, на адекватності відповідних варіантів побудови концептуальної моделі геологічного середовища забрудненої ділянки. Необхідність удосконалення концептуальної моделі викликана перспективою створення індустріального парку в безпосередній близькості від такого важливого в екологічному сенсі об'єкта, як Державний дендропарк. Якщо майбутній індустріальний парк, який створюється на базі Білоцерківського вантажного авіаційного комплексу, навіть повністю втратить свій авіаційний профіль, внаслідок набуття статусу екологічно безпечного об'єкта, потрібно постійно докладати зусиль для мінімізації впливу на ґрунтові води, в яких існують рухливі осередки забруднення, що утворилися у минулому. Вважаємо цілком своєчасною розробку системи контролю якості не лише повітря (передбачено існуючими вимогами), а й підземних вод, що є безперечною умовою тривалого оцінювання загроз для дендропарку.

The State Arboretum “Olexandria” is, first of all, a scientific institution, where the main goal is declared to be the preservation of the phytodiversity of natural flora and the introduction

Ключові слова: концептуальна модель ділянки, вуглеводневе забруднення, геологічне середовище, легкі нафтопродукти, моніторинг нафтозабруднених територій, екоіндустріальний парк, дендропарк.

Keywords: conceptual model of the site, hydrocarbon pollution, geological environment, light petroleum products, monitoring of oil-contaminated areas, eco-industrial park, arboretum.

© Видавець Інститут геологічних наук НАН України, 2025. Стаття опублікована за умовами відкритого доступу за ліцензією CC BY-NC-ND (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>).

© Publisher Institute of Geological Sciences of the National Academy of Sciences of Ukraine, 2025. This is an Open Access article under the CC BY-NC-ND license (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>).

Цитування: Брикс А. Л., Запольський І. М. Проблеми модифікації концептуальної моделі геологічного середовища західної частини дендропарку «Олександрія». Збірник наукових праць Інституту геологічних наук НАН України. 2025. Том 18, вип. 1. С. 60–71. <https://doi.org/10.30836/igs.2522-9753.2025.330553>.

Citation: Bricks A. L., Zapolsky I. M., 2025. The problems of modifying the conceptual model of the geological environment of the western edge of the “Alexandria” arboretum. Collection of scientific works of the Institute of Geological Sciences NAS of Ukraine. Vol. 18. Iss. 1. Pp. 60–71. <https://doi.org/10.30836/igs.2522-9753.2023.330553>.

of plants. Judging by numerous publications, the implementation of this goal is faced with the need to overcome the growing influence of man-made factors. Since 1990, within the arboretum and in adjacent territories, various organizations have carried out work under several programs to assess the pollution of the geological environment by oil products and to justify remediation measures. This task was only partially accomplished. Modern surveys of the western part of the arboretum indicate that despite some reduction in pollution indicators, the unsatisfactory state of the environment remains.

The article presents information on the main results of studies carried out in the past. The emphasis is placed on identifying the influence of the quality of data obtained at different times on the adequacy of the corresponding versions of the conceptual model of the contaminated site. The need to improve the conceptual model is caused by the prospect of creating an industrial park in the immediate vicinity of such an ecologically important facility as the State Arboretum. If the future industrial park, which is being created on the basis of the Bila Tserkva cargo aviation complex, even completely loses its aviation profile, trying to acquire the status of an environmentally safe facility, it must constantly make efforts to minimize the impact on groundwater, which contains mobile accumulations of pollution that formed in the past. Therefore, it should be considered quite timely to develop a quality control system not only for air (as provided for by existing requirements), but also for groundwater, which is an indisputable condition for a long-term assessment of the ecological threats to the arboretum.

ВСТУП

Розробка *концептуальної моделі ділянки* (КМД) — це відносно новий напрям, прогресуюче використання якого в світі пов'язане із поступовим поширенням американських стандартів, настанов і рекомендацій у сфері боротьби із забрудненням навколишнього середовища, зокрема втраченими нафтопродуктами (НП), у якій Сполучені Штати Америки на сьогодні є визнаним лідером.

У контексті виконання будь-якого **проєкту відновлення забрудненої ділянки** (далі **Проєкт**) у США розробка і використання КМД (англ: *Conceptual Site Model — CSM*) займають центральне місце. За стислим визначенням КМД це сукупність певним чином структурованої інформації про забруднену територію для забезпечення оцінювання в різних аспектах взаємозв'язку «об'єкт — джерело забруднення (ОДЗ) → область міграції забруднювача (шлях) → об'єкт-приймач (реципієнт)». Усі три компоненти цієї системи мають бути схарактеризовані найповніше, з метою забезпечення інформаційної підтримки поточних (проміжних) рішень Проєкту: наприклад, негайно розпочати ремедіаційні заходи для запобігання подальшому розвитку критичної ситуації, або ініціювати детальніші дослідження і додатково обґрунтоване оцінювання ризику ураження реципієнтів тощо (ASTM, 2014; ITRC, 2018; Брикс, Огняник, 2022 та ін.).

Концептуальна модель крім об'єктивних даних, що характеризують джерела забруднення і об'єкти-реципієнти, а також результатів пошуково-розвідувальних робіт, натурних і лабораторних експериментів має пропонувати версію формування і прогноз перетворення зони забруднення. Вважається, що чим більш переконливою є версія утворення зони забруднення, тим більше довіри викликає прогноз. У процесі тривалого багаторічного вивчення забрудненої території в міру нагромадження корисної інформації КМД

можна і навіть потрібно надавати модифікації. Прикладом такої модифікації може бути історія вдосконалення уявлень про формування зони забруднення території колишнього Білоцерківського авіаремонтного заводу (БАРЗ) і західної частини території Державного дендропарку «Олександрія».

Дендропарк «Олександрія» у м. Біла Церква відомий не лише в Україні, а й за її межами як один із найстаріших зразків садово-паркового мистецтва. З 1946 р. дендропарк підпорядковується НАН України. Основним завданням дендропарку є здійснення наукових досліджень, спрямованих на збереження генофонду рослин в умовах Лісостепу України, відновлення та реконструкція історичних паркових ландшафтів. Однак забруднення підземної гідросфери, особливо її верхньої частини, яка найбільш чутлива до впливу техногенезу, є серйозною небезпекою для збереження цього природно-заповідного об'єкта (Галкін, 2011; Кулик, 2003; Галкін, Бойко, 2018).

Парк, створений наприкінці XVIII ст. у передмісті Білої Церкви, через двісті років — дендропарк, опинився у майже повному «антропогенному» оточенні. У літературі, присвяченій темі екологічного стану території дендропарку, згадуються об'єкти-джерела забруднення, які розміщуються з усіх боків, за винятком південного сходу, де тече р. Рось, що сама є об'єктом забруднення (Клоченко та ін., 2020; Галкін, 2011). Особливої уваги, на нашу думку, заслуговує територія, що примикає до дендропарку із заходу. Тут декілька десятиліть діяли авіабаза та авіаремонтний завод, призначений для обслуговування потреб цієї бази. Доволі високий рівень використання авіаційного пального (конкретні дані щодо військових об'єктів невідомі) у сукупності із звичайним нехтуванням вимогами мінімізації втрат НП призвели до формування зони забруднення геологічного середовища (ГС). Еколого-геологічні дослідження забруднення ГС нафтопродуктами на територіях заводу та

суміжних об'єктів було розпочато у 1990 р., коли на місці природного розвантаження ґрунтових вод у верхів'ї Західної балки (урочище «Потерчата») було зафіксовано витікання на земну поверхню легких нафтопродуктів (ЛНП), а у воді ставка з'явилася нафтова плівка. У наступні десять років на території дендропарку і прилеглих ділянках за різними програмами виконувались відмінні за обсягом геоекологічні дослідження. Найбільш змістовна інформація щодо гідрогеологічних умов і забрудненості ГС міститься у матеріалах Правобережної геологорозвідувальної експедиції (Пр/б ГРЕ) (Кулик, 2003). У 2006–2008 рр. Інститут геологічних наук НАН України брав участь в еколого-геологічних вишукуваннях забруднених ділянок, прилеглих до території дендропарку, за договором з Державним управлінням охорони навколишнього природного середовища в Київській області. Саме ці матеріали, тобто їх порівняння, лягли в основу поданих досліджень.

ГЕОЛОГІЧНА БУДОВА І ЕКОЛОГО-ГІДРОГЕОЛОГІЧНІ УМОВИ РАЙОНУ ДОСЛІДЖЕНЬ
Інформація про геологічну будову і еколого-гідрогеологічні умови території досліджень, що є надзвичайно важливою частиною усього обсягу даних, необхідних для правильного розуміння закономірностей формування зони забруднення ГС, міститься у звітах про виконання пошуково-розвідувальних робіт Пр/б ГРЕ у 1990 і 2001 рр., які збереглися лише у вигляді скопійованих фрагментів, та у звіті ІГН НАН України (Звіт..., 2007).

Вертикальний розріз ділянки можна вважати типовим для північно-західної частини лісостепової зони Українського щита (Водообмен..., 1989). У схематичному вигляді, тобто без зайвої деталізації, товщу відкладів, що залягають на кристалічних породах, поділяють на три частини (рис. 1).

Першу, верхню надморенну, частину складають лесоподібні суглинки бузького горизонту і шар водно-льодовикових пісків. На території Білоцерківського вантажного авіаційного комплексу ці природні ґрунти перекриті насипними або техногенними відкладами, що надзвичайно ускладнює чи урізноманітнює процес інфільтрації атмосферних опадів. Друга частина — моренні відклади, представлені важкими суглинками, місцями запіскованими, з гравієм і галькою кристалічних порід. Товщина морени може досягати 7–8 м, але у середньому становить 4–5 м. Під важкими суглинками залягають підморенні водно-

льодовикові різнозернисті піски — третя частина товщі, розкрита потужність якої перевищує 7–8 м.

З огляду на різко відмінні фільтраційні і міграційні властивості моренних суглинків і підморенних пісків, другу частину товщі можна ідентифікувати як зону переважно вертикального руху НП-забруднювача, а у протилежність до неї третю частину вважатимемо зоною латерального поширення як ЛНП-рідини, так і розчинених у воді нафтових вуглеводнів (НВВ).

Перший від земної поверхні землі безнапірний водоносний горизонт є основним об'єктом дослідження. Водоносний горизонт живиться за рахунок інфільтрації атмосферних опадів, дренається в долині р. Рось і в балках на території дендропарку. В матеріалах Пр/б ГРЕ вказано на мінливий режим водоносного горизонту, стверджується, що амплітуда коливання рівнів ґрунтових вод (РГВ) залежно від сезону та водності року становить 1,0–1,5 м. На території, що розглядається, систематичні спостереження за режимом підземних вод ніколи не проводились, тому ці дані можуть видаватися сумнівними або недостатньо обґрунтованими. За інших обставин амплітуда коливання РГВ, можливо, й не мала б великого значення. Однак на забрудненій ділянці від положення рівневої поверхні чи у моренних відкладах або у підморенних пісках залежить рухливість ЛНП. Отже, виникла потреба у верифікації режимних оцінок (хоча б і за непрямыми даними).

Вдосконалення уявлень про формування зони нафтопродуктового забруднення. Перший початковий варіант концептуальної моделі забрудненої ділянки (КМД-1) ґрунтується на матеріалах Пр/б ГРЕ (1990–1991). Навіть у разі поверхневого розгляду цих матеріалів стає зрозумілим, що КМД-1 має суттєві недоліки. Однозначно вказаний лише основний ОДЗ — склад ПММ-1, який розміщений у північно-західному куті заводського майданчика. У звіті Пр/б ГРЕ (1991) як можливі джерела забруднення названо також цех із ремонту літаків та цех із ремонту двигунів. Достовірна інформація, необхідна для кількісної оцінки можливих втрат пального, по жодному з згаданих ОДЗ відсутня. Мобільна ЛНП-рідина виявлена в районі складу пального у північно-західній частині БАРЗ і за межами східної границі заводської території у верхів'ї Західної балки (урочище «Потерчата»). На решті території у жодній з пробурених свердловин ЛНП не виявлені. Проте органолептично визначена наявність НВВ у моренних суглинках. Залишилося не з'ясова-

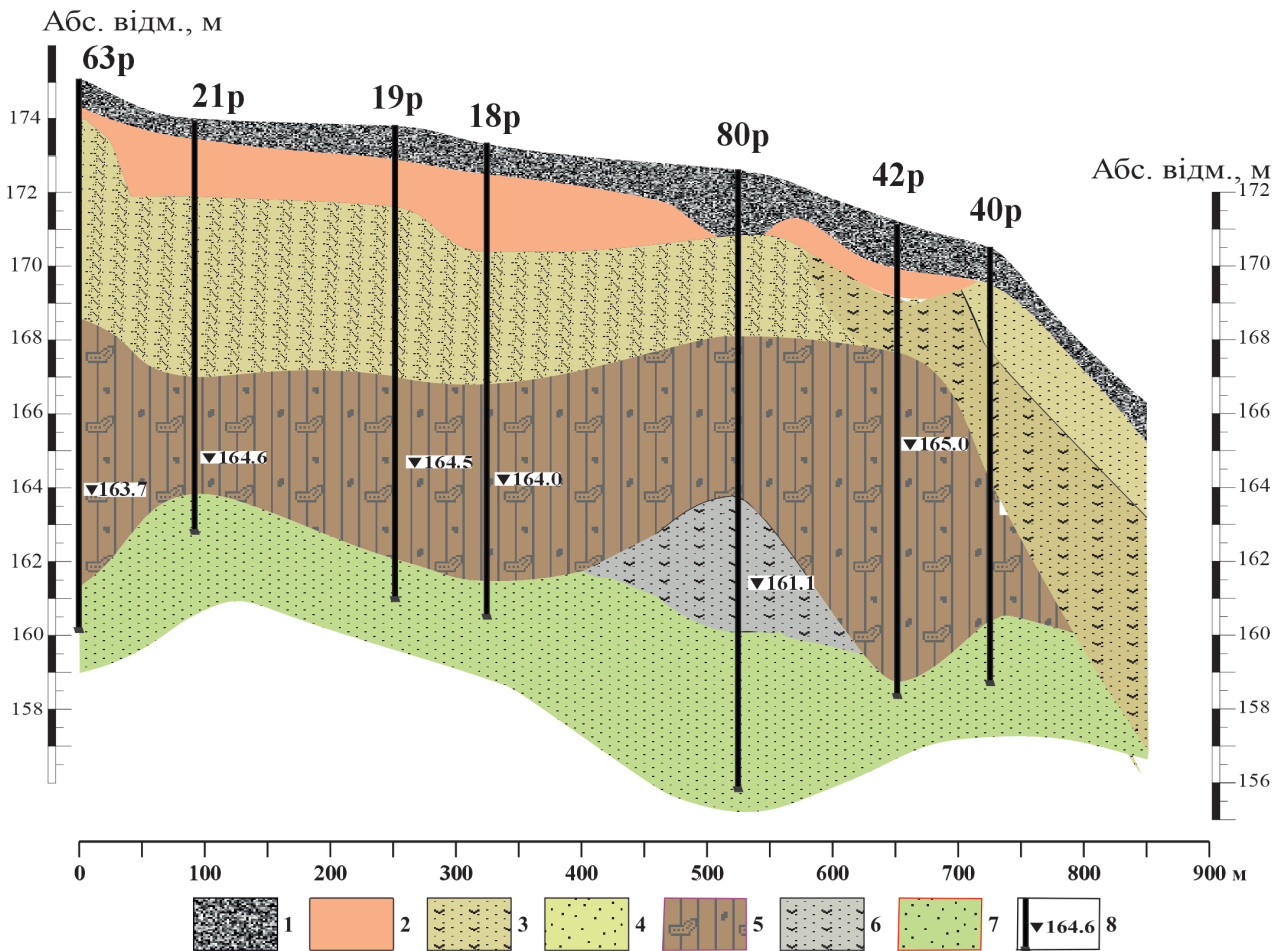


Рис. 1. Еколого-гідрогеологічний розріз за даними пошуково-розвідувальних свердловин, пробурених Правобережною геологорозвідувальною експедицією у 1990 р.:

1 – техногенні (сучасні) ґрунти; 2 – лесоподібні суглинки палеві; надморенні відклади: 3 – супіски жовтувато-бурі, 4 – піски дрібнозернисті жовтувато-сірі; 5 – моренні відклади: суглинки важкі та середні, бурувато-сірі з прошарками піску та включеннями гравію; 6 – супіски сірі; 7 – підморенні піски різнозернисті зеленувато-сірі; 8 – рівні ґрунтових вод, зафіксовані під час тестування свердловин у 1990 р.

Fig. 1. Ecological and hydrogeological section according to the data of exploration wells drilled by the GRE Project in 1990:

1 – technogenic (modern) soils; 2 – pale loess loams; supramoraine deposits: 3 – yellowish-brown sandy loams, 4 – fine-grained yellowish-gray sands; 5 – moraine deposits, heavy and medium loams, brownish-gray with sand layers and gravel inclusions; 6 – gray sandy loams; 7 – submoraine sands, variously grained, greenish-gray; 8 – groundwater levels recorded during well testing in 1990

ним, як рідкі ЛНП, мігруючи крізь слабопроникні відклади, подолали відстань приблизно 800 м і досягли місця їх дренажування у дендропарку. Інакше кажучи, два з трьох компонентів згаданої вище формули КМД – «ОДЗ» і «реципієнти» вказані, але кількісно не схарактеризовані. Третій компонент «шлях» визначено у максимально спрощеному розумінні як вузька смуга завширшки 35 м від основного складу пального до виявленого місця вилливу забруднювача на поверхню землі (рис. 2). Явно недостатня вивченість забрудненої території

спонукала до проведення додаткових детальніших досліджень.

Еколого-гідрогеологічні дослідження 2006–2007 рр. за обсягом бурових робіт переважають усі попередні дослідження. Втім успіх виконання програми цих досліджень полягає передусім у виявленні скупчень мобільної ЛНП-рідини, приурочених до рівневої поверхні ґрунтових вод.

Чому тільки через 15 років від початку досліджень території, що розглядається, цілком очікувана наявність мобільних ЛНП на забрудненій

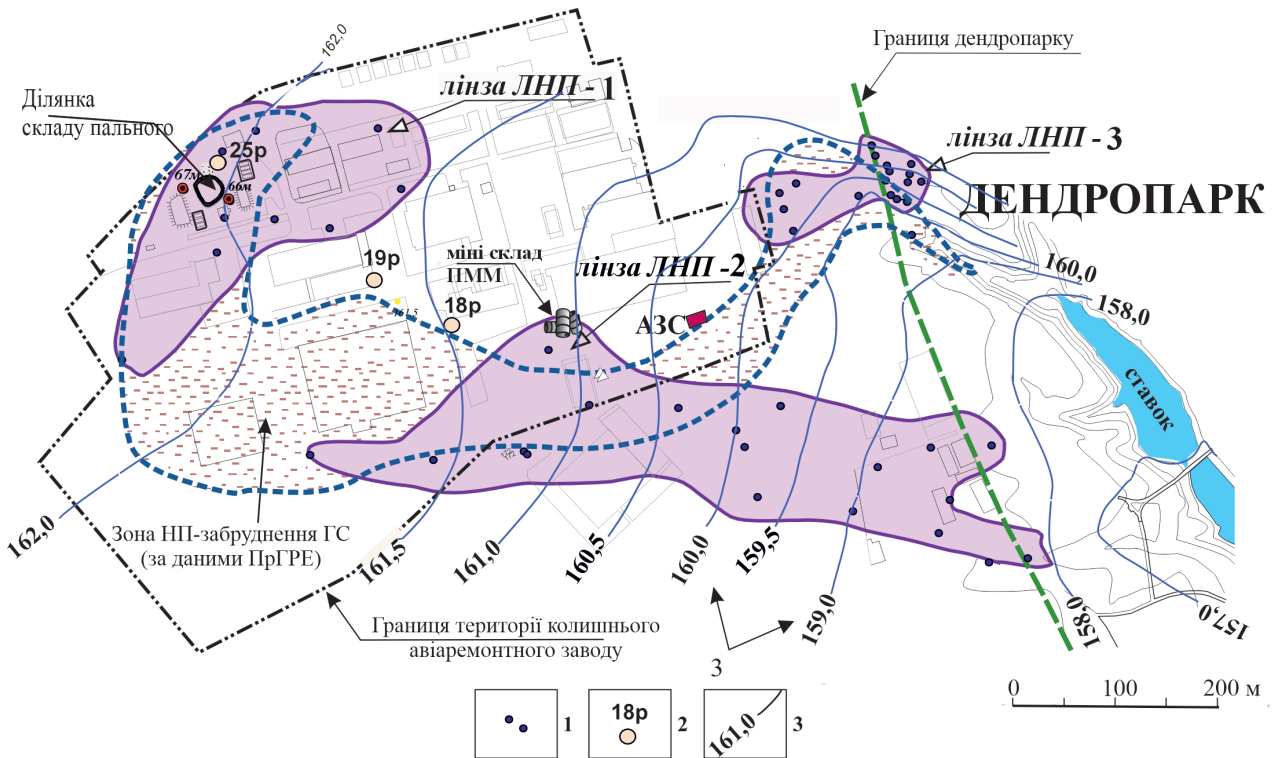


Рис. 2. Схема поширення НП-забруднення за результатами досліджень 1991 і 2007 рр. (модифікація схеми з (Брикс, Негода, 2008):
 1 – свердловини, які у 2007 р. розкрили шар ЛНП; 2 – свердловини Пр/б ГРЕ (1991); 3 – гідроізогіпси за станом на березень 2007 р.

Fig. 2. Scheme of the spread of oil product pollution according to the results of research in 1991 and 2007 (modification of the scheme from (Bricks, Negoda, 2008)
 1 – wells that in 2007 revealed a layer of LNAPL; 2 – wells Pravoberezhna geological exploration expedition (1991); 3 – hydroisogypsals as of March 2007.

ділянці реально підтверджена? Відповіддю на це питання може бути суттєва зміна положення рівневої поверхні ґрунтових вод у порівнювані періоди часу (різниця РГВ за станом на 1990 і 2007 рр. становить 2–3 м – див. рис. 3). Про ймовірність такої зміни вперше замислилися, коли звернули увагу на свердловину 18р. Її пробурено у 1990 р. у центральній частині заводського майданчика, тому що забруднення розкритої товщі ґрунту, яка починається від земної поверхні, вказувало на близькість до якогось ОДЗ (як у подальшому з'ясувалось – шурфу для скидання решток пального перед початком ремонту літаків). Забруднення ґрунтів нафтопродуктами тут спостерігалось приблизно до глибини РГВ, який на той час був в товщі морени (рис. 3, а).

Отже, спираючись на результати досліджень 1990–1991 рр., «історію» виникнення і перетворення НП-осередку на ділянці БАРЗ подано у такий спосіб (КМД-1). Основне джерело надход-

ження НП у геологічне середовище перебувало на ділянці складу ПММ-1 у північно-західній, найбільш піднятій частині заводського майданчика. Свердловина 25р (див. рис. 3), пробурена поряд із складом (заглибленим сховищем пального), розкрила зону забруднення ґрунтів, що починалася близько від глибини розташування резервуарів із паливом, і продовжувалася навіть нижче РГВ на усю товщину надморенних і моренних відкладів. Це прямо доводить можливість надходження ЛНП у підморенні піски і подальшого поширення за потоком ґрунтових вод. Втім під час проведення пошукових робіт, як указано вище, жодна з пробурених на території заводу свердловин не підтвердила цілком правдоподібних міркувань щодо походження ЛНП, які у 1990 р. досягли верхів'я балки, де сталося їхнє дренажування на земну поверхню. При створенні КМД-1 довелось задовольнятися віртуальним зображенням шляху просування ЛНП (див. рис. 2).

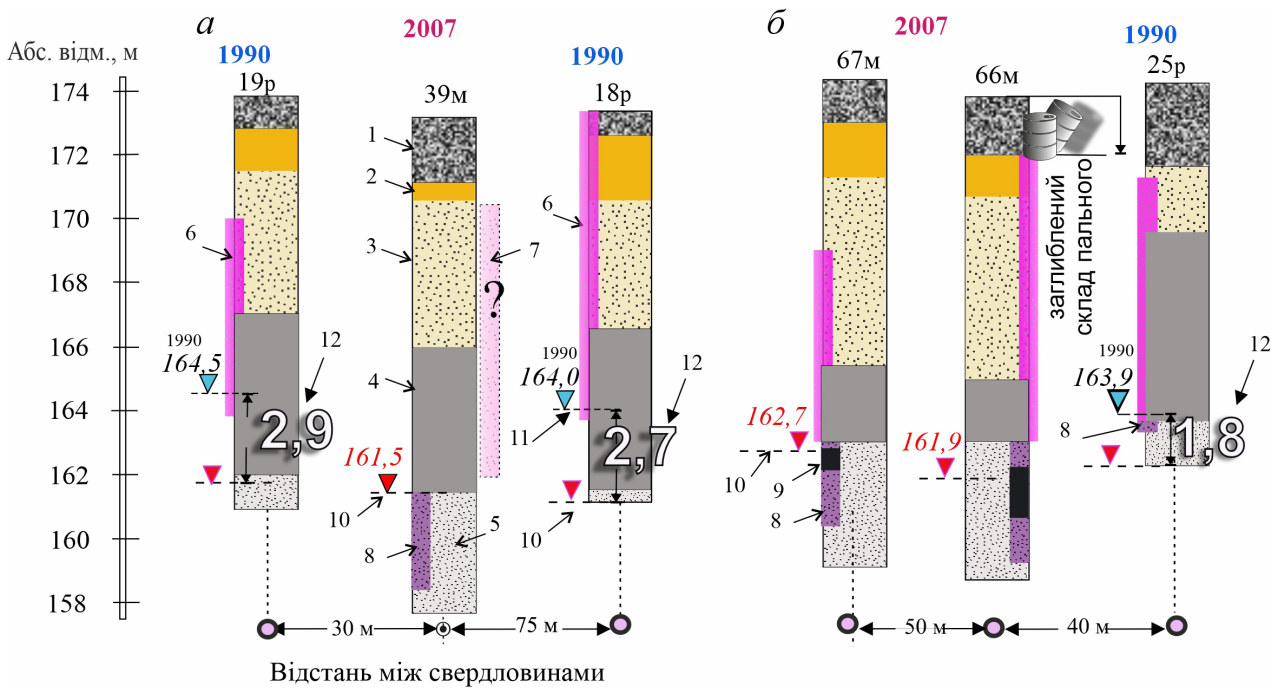


Рис. 3. Порівняння даних тестування (визначення РГВ і зони НП-забруднення ґрунтів) у свердловинах: а – пробурених у 1990 і 2007 рр. у центральній частині БАРЗ, б – біля заглиблених резервуарів з паливом у північно-західній частині БАРЗ (Bricks et al., 2024):

1 – техногенні ґрунти, 2 – суглинки лесоподібні, 3 – піски надморенні, 4 – моренні суглинки, 5 – підморенні піски і супіски, 6 – товща ґрунтів переважно у зоні аерації (ЗА), які вміщують залишкові НП, 7 – не відомо, чи містять ґрунти ЗА залишкові НП, 8 – частина шару підморенних пісків, які вміщують іммобільний ЛНП, 9 – шар мобільного ЛНП, 10 – РГВ, визначений за станом на 2007 р.; 11 – РГВ, визначений у свердловинах 18р, 19р і 25р у 1990 р. (схему розташування див. рис. 2); 12 – перевищення рівня води у свердловині за станом на 1990 р. над поверхнею ґрунтових вод у 2007 р.

Fig. 3. Comparison of testing data (determination of groundwater levels and the zone of oil product contamination of soils) in wells: а – drilled in 1990 and 2007 in the central part of the Bila Tserkva car repair plant, б – near the buried fuel tanks in the northwestern part of the Bila Tserkva car repair plant (Bricks et al., 2024):

1 – technogenic soils, 2 – loess-like loams, 3 – supramoraine sands, 4 – moraine loams, 5 – submoraine sands and sandy loams, 6 – the layer of soils mainly in the aeration zone, containing residual NP, 7 – it is not known whether the soils in the aeration zone contain residual petroleum products, 8 – part of the layer of submoraine sands, which contain immobile LNAPL, 9 – a layer of mobile LNAPL, 10 – groundwater level determined as of 2007; 11 – groundwater level determined in wells 18p, 19p and 25p in 1990 (see Fig. 2 for location diagram); 12 – excess of the water level in the well as of 1990 over the groundwater level in 2007.

За Інформацією, отриману в результаті досліджень, проведених у 2006–2007 рр., було створено інший варіант концептуальної моделі (КМД-2). Як зазначено вище, згадане зображення зони ЛНП-забруднення замінено цілком реальною схемою розташування лінз ЛНП, побудованою за даними тестувань пробурених свердловин (див. рис. 2).

Походження лінзи-1 видається безальтернативним. Головним джерелом забруднення ГС так само, як і в КМД-1, вважаються заглиблені резервуари (склад ПММ-1), що підтверджують профілі свердловин 66м і 25р (див. рис. 3, б). На

утворення лінзи-2 безумовно впливає наявність зазначеного шурфа, у який скидали рештки пального перед початком ремонту авіатехніки (див. вище). Проте не слід відкидати можливість бічного припливу ЛНП з боку лінзи-1 (див. рис. 2). Можливо, у минулому замість цих двох лінз існувала одна мегалінза, яка поширювалась від заглибленого складу пального до центру заводського майданчика. На підтвердження цієї версії сформуємо найбільш вірогідний сценарій, який передбачає дві стадії розвитку подій.

Перша стадія – це інфільтрація НП-рідини, яка втрачається через неминучі недоліки у переван-

таженні і зберіганні пального. Інтенсивність втрат, що називають систематичними, має тенденцію до збільшення у міру старіння обладнання і може досягати принаймні 2% від обігу пального, адже строк експлуатації об'єкта вимірюється кількома десятками років. Проте навіть якщо взяти для розрахунку максимум втрат на складі ПММ-1 (2% від річного оберту — 700 м³/рік) і мінімальну площу майданчика (10 × 10 м²), то інтенсивність інфільтрації НП (4 × 10⁻⁴ м/добу) менша за провідність K₀ (англ: *NAPL conductivity, L/T*) моренних суглинків, а тому низхідний потік НП-рідини проходить крізь морену, з насиченням ґрунтів принаймні до залишкового рівня.

Друга стадія починається з моменту, коли решта НП досягає поверхні ґрунтових вод і утворює куполоподібну лінзу ЛНП, у якій градієнти напору набагато перевищують градієнти потоку ґрунтових вод (*Beckett, 2024*). Це є умовою прискореного латерального поширення ЛНП у західній вододільній частині заводської ділянки. Після цього відбуваються сплюснення куполоподібної частини лінзи, градієнти напору в якій наближаються до градієнтів напору ґрунтових вод, і відповідне уповільнення руху ЛНП. До цього часу східна частина лінзи має встигнути віддалитись принаймні на 300 м від заглибленого складу пального і вийти за межі вододільної частини ГС, туди, де гідравлічні градієнти збільшуються майже удвічі. І це, зрозуміло, спричиняє прискорення руху ЛНП. Різниця швидкостей руху ЛНП у різних частинах мегалінзи призводить до її поділу і утворення двох цілком самостійних скупчень ЛНП (лінз).

Зовнішні межі лінзи-1 залишаються на місці, якщо тиск витиснення (англ: *Displacement pressure*) недостатній, для того щоб ЛНП подолав опір на вході в пори, заповнені водою (*Огняник и др., 2006*). Натомість лінза-2 можливо навіть збільшила свій обсяг за рахунок пального, що скидали в шурф біля цеху ремонту літаків, а також систематичних витоків на мініскладі пального біля цеху з ремонту двигунів (див. локацію на рис. 2). До речі, за визначенням фракційного складу проб, відібраних у верхів'ї Західної балки, лінза-3 містить суміш пального для реактивних двигунів та автомобільного бензину (*Звіт..., 2007*), що вказує на участь у її утворенні втрат пального на АЗС (див. рис. 2).

Другий варіант КМД має суттєвий недолік, оскільки ігнорує очевидний факт забруднення надморенних пісків (див. рис. 3). Мусимо розглянути інший варіант, який передбачає можливість

формування зони НП-забруднення в результаті раптової втрати великого обсягу пального (аварійного скиду). Офіційна інформація про такі випадки відсутня із зрозумілих причин. Проте припущення видається цілком вірогідним. Отже, якщо питома витрата низхідного потоку перевищує пропускну здатність морени, на її поверхні накопичується шар мобільної НП-рідини на кшталт верховодки (*CL: AIRE, 2014; Огняник и др., 2013*). У процесі поширення в надморенних пісках в умовах неповного насичення нафтова рідина витісняє з порового простору підземне повітря, а не воду, з якою їй доводиться конкурувати у повністю водонасиченій зоні. Інакше кажучи, якщо розглядати поширення НП у неоднорідному поровому середовищі як вибір шляху найменшого опору, то слід визнати процес латерального поширення НП у ненасичених надморенних відкладах більш швидким через зневажливо малий опір водної фази. На початку аварійного виливу латеральний потік зазвичай має радіальну форму. Згодом встановлюється переважаючий напрямок руху, який певною мірою залежить від рельєфу покрівлі слабопроникного шару (морени). Ця поверхня в нашому випадку є доволі мінливою: місцями різниця відміток покрівлі морени у сусідніх свердловинах досягає 2–3 м. Проте можна виявити (як загальну тенденцію) зниження покрівлі від максимальних відміток +170÷168 м у районі складу ПММ-1 (на вододілі) до +166 — +164 м у центрі заводського майданчика і +164÷162 м поблизу верхньої бровки правого схилу Західної балки на границі дендропарку. Цей напрямок загалом збігається із спрямуванням згаданого потоку НП-рідини у надморенних відкладах.

Третій варіант концептуальної моделі ділянки (КМД-3) пропонує також нове уявлення про міграцію НВВ з верхової частини схилу Західної балки, де у 2007 р. було зафіксовано край лінзи-2, до місця їх потенційного дренажу у ставки «Потерчата» і «Русалка».

Навіть зверхній аналіз результатів еколого-гідрогеологічних досліджень 2006–2007 рр. (*Звіт..., 2007*) мусив би поставити питання про причини утворення (відокремлення) і асинхронного наближення до об'єкта-приймача (балки) двох лінз ЛНП-2,3. Нагадаймо: обидві лінзи, за нашим припущенням, є частинами єдиної мегалінзи (тобто мають основне спільне джерело утворення — склад ПММ-1); відокремлення лінз відбулось за 400–500 м від балки; лінза-3 проявилась у 1990 р. через вилив на земну поверхню

НП-рідини; лінза-2 за станом на 2007 р. просу- нулась лише до верхньої бровки схилу балки, тобто знаходилась на відстані 100–150 м від ставка «Потерчата». Швидше за все, основною причиною ускладненої поведінки мобільного ЛНП є різний ефект від коливання РГВ на ділянках із різною будовою фільтраційної товщі (CL: AIRE, 2014; Bricks, et al., 2020). Передусім йдеться про те, що у верхів'ї балки, де моренні відклади відсутні, рух ЛНП (лінза-3) відбувається крізь піски, тобто без суттєвих перешкод. Натомість затримка лінзи-2 в районі верхньої бровки правого схилу балки пояснюється саме наявністю перешкоди, яку може зчинити лише шар моренних відкладів, який перетинає потік ґрунтових вод, що прямує до ставка (Звіт..., 2020).

У статті (Bricks et al., 2020) припущено прихо- ваний рух НП-рідини і забруднених ґрунтових вод

у бік ставків Західної балки не суцільним фронтом, а у вигляді вузьких язиків у місцях підвищеної провідності, які узгоджуються з бічними улогови- нами, що перетинають схил балки (рис. 4).

На відміну від КМД-2 у третій версії концепту- альної моделі (КМД-3) розглянуто шар моренних відкладів як умовну перешкоду, гальмівний ефект якої залежить від розташування РГВ, що схильні до природного коливання, тобто переміщення від- носно різних за проникністю шарів і прошарків, що складають ґрунтову товщу. На жаль, геологічна будова і гідрогеологічні умови в районі правого схилу балки вивчені надзвичайно слабо: п'ять свердловин, пробурені вздовж верхньої бровки схилу, виявили РГВ у підморенних пісках і зафік- сували положення фронтальної границі лінзи-2 у 2007 р., а також три свердловини, розташо- вані в улоговині, що перетинає схил від верхньої

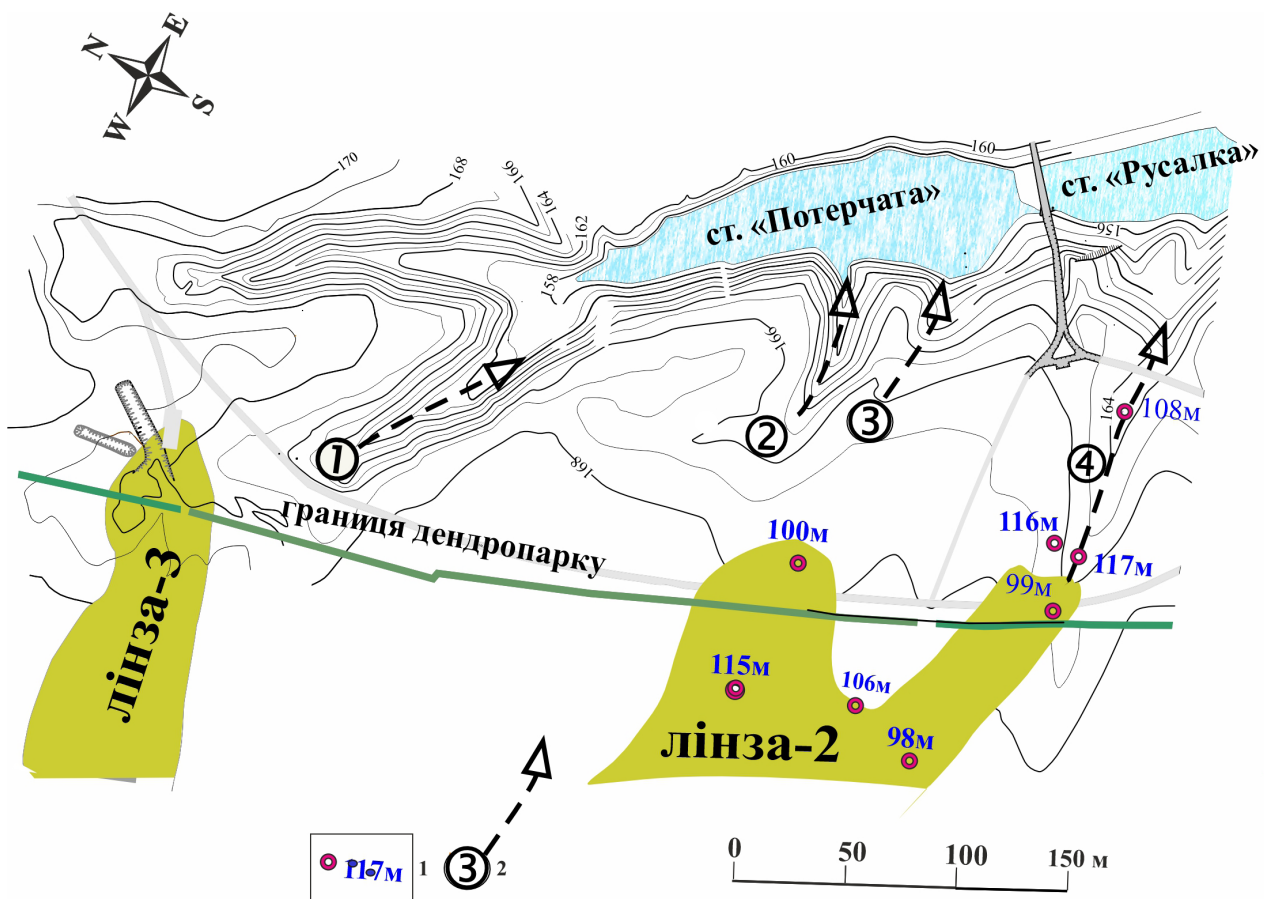


Рис. 4. Схема розміщення улоговин на правому схилі Західної балки (за матеріалами 2007 і 2019 рр. (Bricks A. L. et al., 2020)):

1 – спостережна свердловина та її номер, 2 – тальвег третьої улоговини (потенційний напрямок руху ЛНП)

Fig. 4. Scheme of the location of lateral hallow gullies on the right slope of the Western hollow (based on materials from 2007 and 2019 (Bricks A. L. et al., 2020)):

1 – observation well and its number; 2 – thalweg of the third gully (potential direction of movement of the LNAPL).

бровки до ставка «Русалка». Мабуть, останні три свердловини пробурені у сподіванні натрапити на прояв течії ЛНП в очікуваному напрямку (рис. 4). Проте не сталося — у свердловин на той час не виявлено ознак забруднення.

Свердловини 117м і 116м пробурені в 2007 р. у верховій частині 4-ї улоговини, яка впадає у ставок «Русалка» (рис. 6). У св. 116м, яка віддалена у бік від тальвегу на якихось 12 м, товщина моренних відкладів сягає 5 м, а РГВ знаходиться на 1 м вище покрівлі шару підморенних пісків, що виключає можливість міграції ЛНП-рідини через нездоланий опір води, яка заповнює дрібні пори суглинків. Свердловина 117м, що розташована у тальвезі улоговини, розкрила РГВ у підморенних пісках на 0,8 м нижче за підшову морени, що засвідчує відкритий шлях міграції ЛНП. Подібний розріз має свердловина 108м, пробурена у тальвезі тієї ж самої улоговини, але нижче за рельєфом. Для однозначних висновків цього звичайно недостатньо, але сам факт указує на користь раніше висловленого припущення (Bricks, et al., 2020) щодо збігу шляхів міграції забруднювача з тальвегом улоговин, які пере-

тинають схил балки (див. рис. 4). Поки ця думка залишається припущенням, хоча є інформація про виявлення шару ЛНП у четвертій улоговині, але вона потребує фактологічного підтвердження.

ВИСНОВКИ

Підсумовуючи сказане вище, визнаймо як одну з проблем модифікації концептуальної моделі більш детально вивчення геологічної будови правого схилу урочища «Потерчата» з метою виявлення зон підвищеної провідності. Свого часу цей фрагмент території не вважали за гідне детальних вишукувань через відсутність актуальних ознак забруднення. Дослідницьке значення таких робіт, на жаль, не було взято до уваги. До того ж ця ділянка має складний рельєф (круті схили, густий рослинний покрив), що практично унеможливує проведення необхідного обсягу бурових робіт і натурних експериментів без небажаного порушення статусу природоохоронної території. У подібній ситуації пропонувати проведення додаткових пошуково-розвідувальних робіт можна лише в разі очікування надзвичайних збитків від ураження об'єктів-реципієнтів. Однак на сьогодні

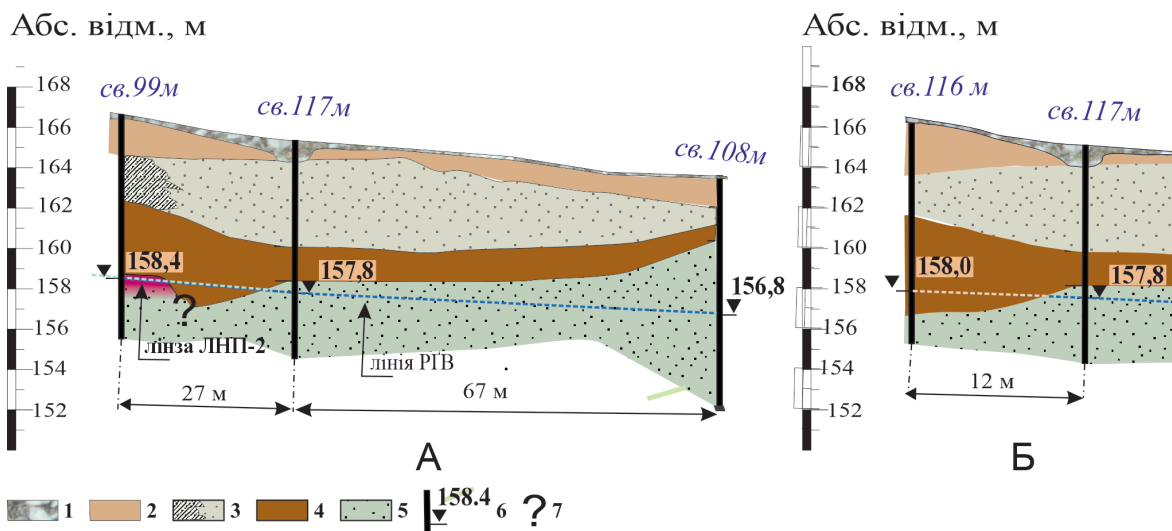


Рис. 5. Геолого-гідрогеологічні розрізи по свердловинах, пробурених в улоговині, що перетинає схил балки; А — розріз уздовж тальвегу улоговини; Б — розріз уперек тальвегу улоговини: 1 — техногенні (сучасні) ґрунти; 2 — лесоподібні суглинки; 3 — надморенні відклади: піски або супіски жовтувато-сірі; 4 — моренні відклади; 5 — підморенні різнозерністі зеленувато-сірі; 6 — РГВ, зафіксовані при тестуванні свердловин у 2007 р.; 7 — частина розрізу, де лінія підшови морени вимальована для візуалізації ефекту затримки лінзи ЛНП за певного положення РГВ. Розташування свердловин див. на рис. 4.

Fig. 5. Geological and hydrogeological sections of wells drilled in the gully crossing the slope of the beam; А — section along the thalweg of the gully, В — section across the thalweg of the gully: 1 — technogenic (modern) soils; 2 — loess-like loams; 3 — supramarine deposits: sands or sandy loams, yellowish-gray; 4 — moraine deposits; 5 — submarine, variegated, greenish-gray; 6 — groundwater levels recorded during well testing in 2007; 7 — part of the section where the moraine base line is drawn to visualize the effect of the LNAPL lens delay at a certain position of groundwater levels.

песимістичний сценарій може справдитися через зниження рівневої поверхні ґрунтових вод.

Тут доречно вказати на другу проблему, пов'язану з першою. Йдеться про складність (неоднозначність) визначення сучасної стадії еволюції зони НП-забруднення, що розглядається, точніше тієї частини, ядром якої вважають лінзу ЛНП-2 (див. вище). Вирішення цього завдання має цілком практичний сенс, оскільки значною мірою визначає стратегію поводження із забрудненням ГС. Першою приходиться на думку стадія стабілізації (*Final report...*, 2016; *Monitored...*, 2022; *Karimi Askarani, et al., 2024 та ін.*), адже за останні двадцять років не було жодних відомостей про істотно збільшене надходження НП-забруднювача у ставок з боку західного схилу балки. Припущення щодо стадії згасання, яка вважається заключним етапом еволюції осередку забруднення, видається дуже привабливим, оскільки виправдовує відмову від активних заходів у сподіванні на природне самоочищення. Однак такий пасивний підхід слід вважати неприйнятним, якщо існує ймовірність несподіваного екологічного інциденту (подібного до того, що мав місце у 1990 р.). А така ймовірність дійсно існує. Десь у районі бровки схилу балки у 2007 р. зафіксовано фронтальну частину лінзи ЛНП-2 (див. рис. 4) — її теперішнє положення невідомо.

Іншою, не менш важливою проблемою оновлення КМД є необхідність урахування впливу зміни РГВ на умови поширення ЛНП-рідини. Саме існування такого впливу можна вважати цілком доведеним. Однак залишається нез'ясованою причина екстремальних змін положення поверхні

ґрунтових вод, сліди яких можна виявити за наявності іммобільних (залишкових) НП у ґрунтах вище та нижче РГВ. Базовою вважається залежність режиму ґрунтових вод від метеорологічних умов. У межах території, що розглядається, суттєвою або навіть переважною може бути роль техногенного живлення ґрунтового водоносного горизонту, тобто за рахунок втрат з водопостачальних і каналізаційних систем виробничого майданчика і житлового масиву. До речі, зменшенням водоспоживання у зв'язку зі значним зниженням виробничої активності, що сталося у 1990-ті роки і продовжилось на початку 2000-х років, легко пояснити зниження РГВ на території колишнього БАРЗ як реакцію на зменшення техногенного живлення ґрунтових вод.

Одним з приводів для продовження досліджень у районі західної частини дендропарку є існуюча досі загроза надходження у ставки ЛНП-рідини. Згідно з прийнятою концепцією руху ЛНП, приуроченого до приповерхневої частини водоносного горизонту, або його зупинка залежать від положення РГВ відносно підшови шару моренних суглинків. Згідно з результатами виконаних досліджень можна стверджувати, що за наявності достатньо детальних даних стосовно рельєфу покрівлі шару підморенних пісків і рівня води у ставку прогноз зміни рівневої поверхні ґрунтових вод надає можливість завчасно виявляти небезпеку надходження ЛНП у водойму і здійснювати ліквідаційні заходи.

Дослідження виконано в рамках бюджетної теми «Гідрогеологічне обґрунтування системи контролю впливу екоіндустріальних парків на довкілля» (2021–2025, ДР № 0121U108099).

REFERENCES

Bricks A. L., Negoda Yu. A., 2008. Formation of a zone of petrochemical pollution near the Alexandria arboretum (Belaya Tserkov). Geologičnij žurnal. 325 (4). Pp. 106–112 (In Russian).

Bricks A. L., Ognianyk M. S., 2022. Aspects of Management of Sites of the Geological Environment Contaminated with Petroleum Products. Geologičnij žurnal. 380 (3). Pp. 18–33 (In Ukrainian). <https://doi.org/10.30836/igs.1025-6814.2022.3.258602>.

Water exchange in hydrogeological structures of Ukraine: Water exchange in natural conditions. Shestopalov V. M. (Ed.), 1989. Kyiv: Naukova dumka. 288 p. (In Russian).

Galkin S. I., 2011. Dendrology parks of National academy of sciences of Ukraine: Problems of preservation of the historical plantings, connected with increase in anthropogenic influence at their territories (on an example dendrological

Брикс А. Л., Негода Ю. А. Формирование зоны нефтехимического загрязнения вблизи дендропарка «Александрия» (г. Белая Церковь). Геол. журн. 2008. № 4 (325). С. 106–112.

Брикс А. Л., Огняник М. С. Аспекти поводження із забрудненими нафтопродуктами ділянками геологічного середовища. Геол. журн. 2022. № 3 (380). С. 18–33. <https://doi.org/10.30836/igs.1025-6814.2022.3.258602>.

Водообмен в гидрогеологических структурах Украины: Водообмен в естественных условиях: Шестопалов В. М. (отв. ред.). Киев: Наук. думка, 1989. 288 с.

Галкін С. І. Дендрологічні парки Національної академії наук України: Проблеми збереження історичних насаджень, пов'язані з посиленням антропогенного впливу на їхні території (на прикладі дендропарку «Олександрія» НАН України).

park Olexandria). *Introduction of plants*, No 2. Pp. 118–123. (In Ukrainian). http://nbuv.gov.ua/UJRN/IR_2011_2_17

Galkin S. I., Boiko N. S., 2018. Olexandria arboretum of the NAS of Ukraine – The 70 years at the National academy of sciences of Ukraine: the historical path and the modernity *Introduction of plants*, No 1. P. 41–49. (In Ukrainian). URL: <http://jnas.nbuv.gov.ua/article/UJRN-0001059548>

Report on the implementation of nature restoration works on the topic “Elimination of the consequences of groundwater and surface water pollution on the territory of the State Arboretum ‘Olexandria’ in the city of Bila Tserkva, Kyiv region”. Institute of Geological Sciences of the NAS of Ukraine. No state registration 0106V012465. Kyiv, 2007. (In Ukrainian).

Report on research on the topic “Scientific foundations of the elimination of pollution of the geological environment by light petroleum products”. Institute of Geological Sciences NAS of Ukraine. No. state registration 0115U005445. Kyiv, 2020. (In Ukrainian).

Klochenko P. D., Gorbunova Z. N., Shevchenko T. F., Vitovetska T. V., 2020. Inorganic and organic substances in the water bodies of the dendrological park “Olexandria” (Bila Tserkva). *Hydrology, Hydrochemistry and Hydroecology*. Scientific Collection. No. 1 (56). Pp. 48–55. DOI: <https://doi.org/10.17721/2306-5680.2020.1.5>.

Kulyk S. M., 2003. Dynamics of the spread of technogenic pollution in the bio-inert systems of the territory of the state arboretum of «Alexandria». *Search and Environmental Geochemistry*. Vol. 2–3. Pp. 58–61. (In Ukrainian). http://nbuv.gov.ua/UJRN/Pteg_2003_2-3_13.

Ognianik N. S., Paramonova N. K., Bricks A. L., Pashkovskiy I. S., Konnov D. V., 2006. The Fundamentals of studying of subsurface contamination with light petroleum products. Kyiv. A.P.N. 278 p. (In Russian).

Ognianik N. S., Paramonova N. K., Bricks A. L., 2013. Ecological and hydrogeological monitoring of subsurface contamination areas with light petroleum products. Kyiv. LT&K. 254 p. (In Russian).

ASTM (American Society for Testing and Materials), 2014. Standard Guide for Development of Conceptual Site Models and Remediation Strategies for Light Nonaqueous-Phase Liquids Released to the Subsurface. ASTM E2531-06(2014), ASTM International, West Conshohocken, PA. DOI: 10.1520/E2531-06R14 <http://www.astm.org/cgi-bin/resolver.cgi?E2531>

Beckett G. D., 2024. LNAPL Transmissivity, Mobility and Recoverability – Utility and Complications. In: *Advances in the Characterisation and Remediation of Sites Contaminated with Petroleum Hydrocarbons*. Environmental Contamination Remediation and Management. Springer, Cham. URL: https://doi.org/10.1007/978-3-031-34447-3_12.

Bricks A. L., Gavryliuk R. B., Negoda Yu. O., 2024. New concept on the transformation of the zone of oil product pollution of the geological environment near of the «Olexandria» arboretum (Bila Tserkva city, Ukraine). *Journal of Geology, Geography and Geoecology*, 33 (4). Pp. 676–686. DOI: <https://doi.org/https://doi.org/10.15421/112462>.

Bricks A. L., Gavryliuk R. B., Negoda Yu. O., 2020. Hazard of petrochemical contamination of ponds of the State arboretum «Alexandria» of NAS of Ukraine. *Journ. Geol. Geogr. Geoecol.*

Інтродукція рослин. 2011. № 2. С. 118–123. http://nbuv.gov.ua/UJRN/IR_2011_2_17

Галкін С. І., Бойко Н. С. Дендропарк «Олександрія» НАН України – 70 років у складі Національної академії наук України: історичний шлях та сучасність. *Інтродукція рослин*. 2018. № 1. С. 41–49.

Звіт про виконання природовідновлювальних робіт з «Ліквідації наслідків забруднення підземних та поверхневих вод і ґрунтів на території Державного дендропарку «Олександрія» в м. Біла Церква Київської області». ІГН НАН України. № ДР 0106V012465. Київ, 2007.

Звіт про НДР за темою «Наукові основи ліквідації забруднення геологічного середовища легкими нафтопродуктами». ІГН НАН України. № ДР 0115U005445. Київ, 2020.

Клоченко П. Д., Горбунова З. Н., Шевченко Т. Ф., Вітовецька Т. В. 2020. Неорганічні і органічні речовини у водах дендрологічного парку «Олександрія» (м. Біла Церква). *Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія*. Науковий збірник. 2020. № 1 (56). С. 48–55. DOI: 10.1615/HydrobJ.v60.i1.50

Кулик С. М. Динаміка розповсюдження техногенного забруднення у біокосних системах території державного дендропарку «Олександрія». *Пошукова та екологічна геохімія*. 2003. № 2–3. С. 58–61. http://nbuv.gov.ua/UJRN/Pteg_2003_2-3_13.

Огняник Н. С., Парамонова Н. К., Брикс А. Л. Эколого-гидрогеологический мониторинг территорий загрязнения геологической среды легкими нефтепродуктами. Киев: LAT&K, 2013. 254 с.

Огняник Н. С., Парамонова Н. К., Брикс А. Л., Пашковский И. С., Коннов Д. В. Основы изучения загрязнения геологической среды легкими нефтепродуктами. Киев: [А.П.Н.], 2006. 278 с.

ASTM (American Society for Testing Materials). Standard Guide for Development of Conceptual Site Models and Remediation Strategies for Light Nonaqueous-Phase Liquids Released to the Subsurface. ASTM E2531-06(2014), ASTM International, West Conshohocken, PA. 2014. DOI: 10.1520/E2531-06R14 <http://www.astm.org/cgi-bin/resolver.cgi?E2531>

Beckett G. D. LNAPL Transmissivity, Mobility and Recoverability – Utility and Complications. In: *Advances in the Characterisation and Remediation of Sites Contaminated with Petroleum Hydrocarbons*. Environmental Contamination Remediation and Management. Springer, Cham. 2024. URL: https://doi.org/10.1007/978-3-031-34447-3_12.

Bricks A. L., Gavryliuk R. B., Negoda Yu. O. New concept on the transformation of the zone of oil product pollution of the geological environment near of the «Olexandria» arboretum (Bila Tserkva city, Ukraine). *Journal of Geology, Geography and Geoecology*. 2024. 33 (4), P. 676–686. DOI: <https://doi.org/https://doi.org/10.15421/112462>.

Bricks A. L., Gavryliuk R. B., Negoda Yu. O. Hazard of petrochemical contamination of ponds of the State arboretum «Alexandria» of NAS of Ukraine. *Journ. Geol. Geogr. Geoecol.*

29 (2). Pp. 243–251. <https://geology-dnu.dp.ua/index.php/GG/article/view/689>

CL: AIRE, 2014. An illustrated handbook of LNAPL transport and fate in the subsurface. London. <http://www.claire.co.uk/LNAPL>

ITRC (Interstate Technology & Regulatory Council), 2018. LNAPL Site Management: LCSM Evolution, Decision Process, and Remedial Technologies (LNAPL-3). <https://lnapl-3.itrcweb.org>.

Final report on monitored natural attenuation, evaluation and application in the Lahontan region, 2016. California Environmental Protection Agency. https://www.waterboards.ca.gov/lahontan/docs/final_report_sg.pdf

Karimi Askarani K., Sale T., Palaia T., 2024. Natural Source Zone Depletion of Petroleum Hydrocarbon NAPL. In: *Advances in the Characterisation and Remediation of Sites Contaminated with Petroleum Hydrocarbons*. Environmental Contamination Remediation and Management. Springer, Cham. URL: https://doi.org/10.1007/978-3-031-34447-3_5

2020. 29 (2). P. 243–251. <https://geology-dnu.dp.ua/index.php/GG/article/view/689>

CL: AIRE. An illustrated handbook of LNAPL transport and fate in the subsurface, CL: AIRE, London, UK, 2014. <http://www.claire.co.uk/LNAPL>.

ITRC (Interstate Technology and Regulatory Council). LNAPL Site Management: LCSM Evolution, Decision Process, and Remedial Technologies (LNAPL-3). 2018. <https://lnapl-3.itrcweb.org>.

Final report on monitored natural attenuation, evaluation and application in the Lahontan region. California Environmental protection Agency. 2016. URL: https://www.waterboards.ca.gov/lahontan/docs/final_report_sg.pdf

Karimi Askarani K., Sale T., Palaia T. (. Natural Source Zone Depletion of Petroleum Hydrocarbon NAPL. In: *Advances in the Characterisation and Remediation of Sites Contaminated with Petroleum Hydrocarbons*. Environmental Contamination Remediation and Management. Springer, Cham. 2024. URL: https://doi.org/10.1007/978-3-031-34447-3_5

Manuscript received December 17, 2024;
revision accepted May 22, 2025.

Інститут геологічних наук НАН України,
Київ, Україна