

5. Геологические отчеты Ирана [Текст] / Geological survey of Iran, 1980-1987.
6. Серебрянников М.Г. Выявление скрытых периодичностей [Текст] / М.Г. Серебрянников, А.Н. Первозванский. – М.: Наука, 1965.
7. Решетов, И.К. Геолого-гидрогеологическое прогнозирование формирования пресных питьевых вод в малых артезианских бассейнах северо-западного Донбасса в условиях техногенеза [Текст] / И.К. Решетов. Автореферат докт. диссертации. – Х., 1996. – 30 с.
8. Решетов, И.К. Долгосрочный прогноз качества подземных вод мело–мергельного водоносного горизонта в процессе его эксплуатации [Текст] / И.К. Решетов, Д.Ф. Чомко, Р.Ф. Чомко // Вісник Харків. унів-ту імені В.Н. Каразіна, №402. – Х.: Основа, 1998. – С. 68-71.
9. Амджади, Азиз. Сравнительная характеристика химического состава грунтовых вод Ширазской и Хоррамабадской межгорных впадин Ирана [Текст] / Азиз Амджади // Вісник Харк. нац. ун-ту імені В.Н. Каразіна, № 1084. – Х.: ФОП «Петрова», 2013. – С. 22-31.
10. Amjadi Aziz. Case Record of Multivariate Statistical Analysis in the Groundwater (The Zagros Mountains) / Aziz Amjadi, Dmytro Fedorovich Chomko, Rahbar Elham // Journal of Applied Environmental and Biological Sciences, 2014. J. Appl. Environ. Biol., 4(2s) 107-120.
11. Амджади, Азиз. Применение кластерного анализа для выделения участков грунтовых вод со сходным химическим составом в Ширазской и Хоррамабадской межгорных впадинах Ирана [Текст] / Азиз Амджади, Д.Ф. Чомко // Вісник Київ. нац. ун-ту ім. Т. Шевченка, № 1 (64). – К.: Вид.центр Київ. нац. ун-ту, 2014. – С. 54-61.

УДК 556.388:504.064:665.71

*А.Л. Брикс, к.г.-м.н., пров. наук. співр.,
Р.Б. Гаврилюк, к.геол.н., наук. співр.,
Інститут геологічних наук Національної академії наук України*

ТРАНСФОРМАЦІЯ СКУПЧЕНЬ ЛЕГКИХ НАФТОПРОДУКТІВ, ЗАБРУДНЮЮЧИХ ГЕОЛОГІЧНЕ СЕРЕДОВИЩЕ

Стаття присвячена вивченню закономірностей формування техногенних скупчень нафтових вуглеводнів у геологічному середовищі. При цьому розглядаються не тільки «лінзи» легкого нафтопродукту, які за своїми розмірами дійсно справляють сильне враження і привертають найбільшу увагу як джерело загрози забруднення довкілля, а також так звані «техногенні родовища». Не менш цікавими в теоретичному і практичному сенсі можуть бути скупчення вуглеводнів в ґрунтах зони аерації і нижче рівня ґрунтових вод. Не слід обмежуватися розглядом лише мобільної НП-рідини. Заслужують на увагу скупчення розчинних, сорбованих, газоподібних вуглеводнів. На основі аналізу результатів власних багаторічних пошуково-розвідувальних досліджень ділянок забруднення на території України і узагальнення відомих публікацій розроблена система поділу скупчень нафтових вуглеводнів на різновиди. Усім нафтопродуктовим осередкам притаманна здатність до трансформації ареалів розповсюдження, форм перебування, зміни якісного складу забруднювача. Прикладом систематизації усіх цих характеристик може слугувати спеціальна таблиця, наведена у статті. Ця розробка може бути використана для планування моніторингових досліджень, проектування відновлювальних заходів і створення інформаційно-експертних систем.

Ключові слова: легкі нафтопродукти, нафтові вуглеводні, геологічне середовище, гідрогеологічні умови, трансформація скупчень забруднювача.

А.Л. Брикс, Р.Б. Гаврилюк. ТРАНСФОРМАЦІЯ СКОПЛЕНІЙ ЛЕГКИХ НЕФТЕПРОДУКТОВ, ЗАГРЯЗНЯЮЩИХ ГЕОЛОГИЧЕСКУЮ СРЕДУ. Статья посвящена изучению закономерностей формирования техногенных скоплений нефтяных углеводородов в геологической среде. При этом рассматриваются не только «линзы» легкого нефтепродукта, которые из-за своих размеров, действительно, оказывают сильное впечатление и обращают наибольшее внимание как источник угрозы загрязнения окружающей среды, а также как «техногенные месторождения». Не менее интересными в теоретическом и практическом смысле могут быть скопления углеводородов в грунтах зоны аэрации и ниже уровня грунтовых вод. Не следует ограничиваться рассмотрением лишь мобильной НП-жидкости. Заслуживают внимания скопления растворенных, сорбированных, газообразных углеводородов.

На основе анализа результатов собственных многолетних поисково-разведочных исследований участков загрязнения на территории Украины и обобщения известных публикаций разработана система деления скоплений нефтяных углеводородов на разновидности. Всем нефтепродуктовым скоплениям присуща способность к трансформации ареалов распространения, форм существования, изменению качественного состава загрязнителя. Примером систематизации всех этих характеристик может служить специальная таблица, приведенная в статье. Данная разработка может быть использована для планирования мониторинговых исследований, проектирования восстановительных мероприятий и создания информационно-экспертных систем.

Ключевые слова: легкие нефтепродукты, нефтяные углеводороды, геологическая среда, гидрогеологические условия, трансформация скоплений загрязнителя.

Актуальність досліджень та постановка проблеми. Розповсюдження в природному до-
вкіллі, зокрема геологічному середовищі (ГС),
втрачених з поверхневих об'єктів нафти і наф-
топродуктів вже кілька десятиріч вважається

проблемою глобального масштабу. Одночасно
із посиленням прагматичного вектору у
розв'язанні цієї проблеми відбувається розши-
рення наукових досліджень [4,6,7]. В наш час
назріла необхідність узагальнення результатів

натурно-пошукових і науково-теоретичних робок. Такі узагальнення доцільно використовувати для планування моніторингових досліджень, проектування інженерно-саніційних заходів та створення інформаційно-експертних систем.

Матеріали досліджень та їх результати.

Існуючі скупчення втрачених легких нафтопродуктів (ЛНП) у підземному середовищі відрізняються від осередків інших забруднювачів відмітною різноманітністю. Ця різноманітність обумовлена, в основному, комбінацією проявів трьох обставин* [1]: 1) відмінностями групового вуглеводневого складу різних ЛНП та фізико-хімічних властивостей вуглеводнів (ВВ), які складають ЛНП [3,6], 2) особливостями літологічного складу осадових відкладів і гідрогеологічних умов, в яких утворюються і трансформуються скупчення ЛНП, і 3) специфічною мінливістю дії техногенних факторів, які «відповідають» за надходження ЛНП в геологічне середовище та їх штучну трансформацію в результаті саніційних заходів.

Під трансформацією скупчень ЛНП або інакше осередків забруднення геологічного середовища легкими нафтопродуктами розуміємо зміну просторового розповсюдження нафтопродуктового забруднювача, а також зміну його фізичного стану і хімічного складу, які відбуваються під дією природних або техногенних факторів. У цій роботі обмежимося лише просторовою трансформацією осередків забруднення легкими нафтопродуктами і пов'язаними з нею процесами зміни фізичного стану ЛНП-забруднювача.

Відомо, що ЛНП, які втрачаються в результаті аварійних розливів або систематичних витоків із сховищ або засобів їх транспортування, потрапляють на поверхню землі і в поверхневі води [3,6]. У подальшому під дією гравітаційних сил рідкі ЛНП проникають в ґрунти зони аерації (ЗА). В процесі низхідного просування частина рідкого ЛНП захоплюється частинками ґрунту під дією капілярно-плівкових сил і утворюють своєрідну зону забруднення, яку ми пропонуємо назвати «низхідним» осередком. Як правило, площа розповсюдження «низхідного» осередку не перевищує площі забруднення поверхні землі. Глибина розповсюдження «низхідного» осередку залежить від співвідношення кількості ЛНП, що надійшов із поверхні землі, і

ємності утримування частинок ЛНП-рідини ґрунтами ЗА.

Якщо ЛНП досягає рівня ґрунтових вод, утворюється шар мобільного ЛНП, тобто лінза ЛНП, яка розпливається на РГВ під дією власних напорів і уклону рівневої поверхні ґрунтових вод. На відміну від «низхідного» осередку осередок «розпливчастий», тобто такий, що розпливається в площині поверхні ґрунтових вод, має більш складну будову, розповсюджується на відносно великі відстані і є більш мінливим в часі.

Можна припустити, що на початковій стадії утворення «розпливчастий» осередок (тобто, шар мобільного ЛНП) має форму, близьку до круглої або овальної в горизонтальному і лінзовидної у вертикальному розрізі (звідси, зрозуміло, походить термін «лінза»). В процесі поширення осередку відбувається його просторова трансформація відповідно до локальних змін фільтраційних та ємнісних характеристик гетерогенного пористого середовища. У загальному випадку найтовстіша частина «розпливчастого» осередку (умовний центр лінзи) має знаходитись під діючим джерелом його живлення. У напрямку від центра до периферії, як правило, спостерігається стоншення шару рухливого ЛНП. Але слід пам'ятати, що доволі часто трапляються відхилення від цього правила.

Отже, у разі припинення надходження ЛНП-рідини, наприклад, через ліквідацію чи реконструкцію об'єкту, який є джерелом того самого надходження, безпосередньо під цим об'єктом товщина лінзи може зменшитися аж до повного зникнення мобільного шару ЛНП. Водночас нижче за потоком ґрунтових вод завдяки припливу з боку верхової частини осередку товщина шару ЛНП зазвичай збільшується. Інколи через гетерогенність фільтруючих порід (баражного ефекту) утворюється локальне стовщення лінзи, яке при недостатній вивченості території може бути помилково сприйняте як вищезгаданий центр лінзи, що начебто вказує на місце знаходження прихованого (такого, що діяв у минулому) джерела забруднення. Так само, відсутність ЛНП-рідини у розвідувальній свердловині, яку зазвичай у першу чергу закладають поряд із потенційним джерелом забруднення, не слід сприймати як доказ відсутності лінзи в межах усієї забрудненої ділянки. Пошук лінзи необхідно продовжити у напрямку її можливого пересування. Складна форма великої лінзи може бути також результатом злиття кількох дрібних лінз, які утворилися в різний час від окремих об'єктів-джерел забруднення, розташованих достатньо близько один від іншого, наприклад, в межах загального промислового

* Одна з чотирьох вказаних на схемі з [1] обставин, що визначають різновид осередку, а саме «форми знаходження ЛНП» в ГС (до речі, детально описані в [6]) є похідною від інших трьох дійсно визначальних обставин.

господарчого комплексу (військова база, транспортний вузол, нафтопереробний комплекс тощо). Не можна виключати й зворотний процес – розділення однієї великої лінзи під тривалим впливом природних (гідрогеологічних, біохімічних, фізико-хімічних) і штучних факторів на декілька дрібних залишків. Як приклад на рис. 1 показана схема «розпливчастого» осередку досить складної будови.

Навколо лінзи зазвичай утворюється осередок «розчинених ВВ» [3]. Для характеристи-

ки осередку цього виду, певна річ, використовуються значення вмісту ВВ у воді. Якщо вміст розчиненого ЛНП перевищує його номінальну розчинність, це можна сприймати як непряму ознаку наявності плівки або емульсії. У розподілі вмісту розчинених нафтових ВВ є очевидна закономірність. Максимальна концентрація ВВ спостерігається у безпосередній близькості від джерела поверхневого забруднення і «низхідного» осередку, який утворюється під ним. І це цілком зрозуміло, адже найбільш інтенсивне

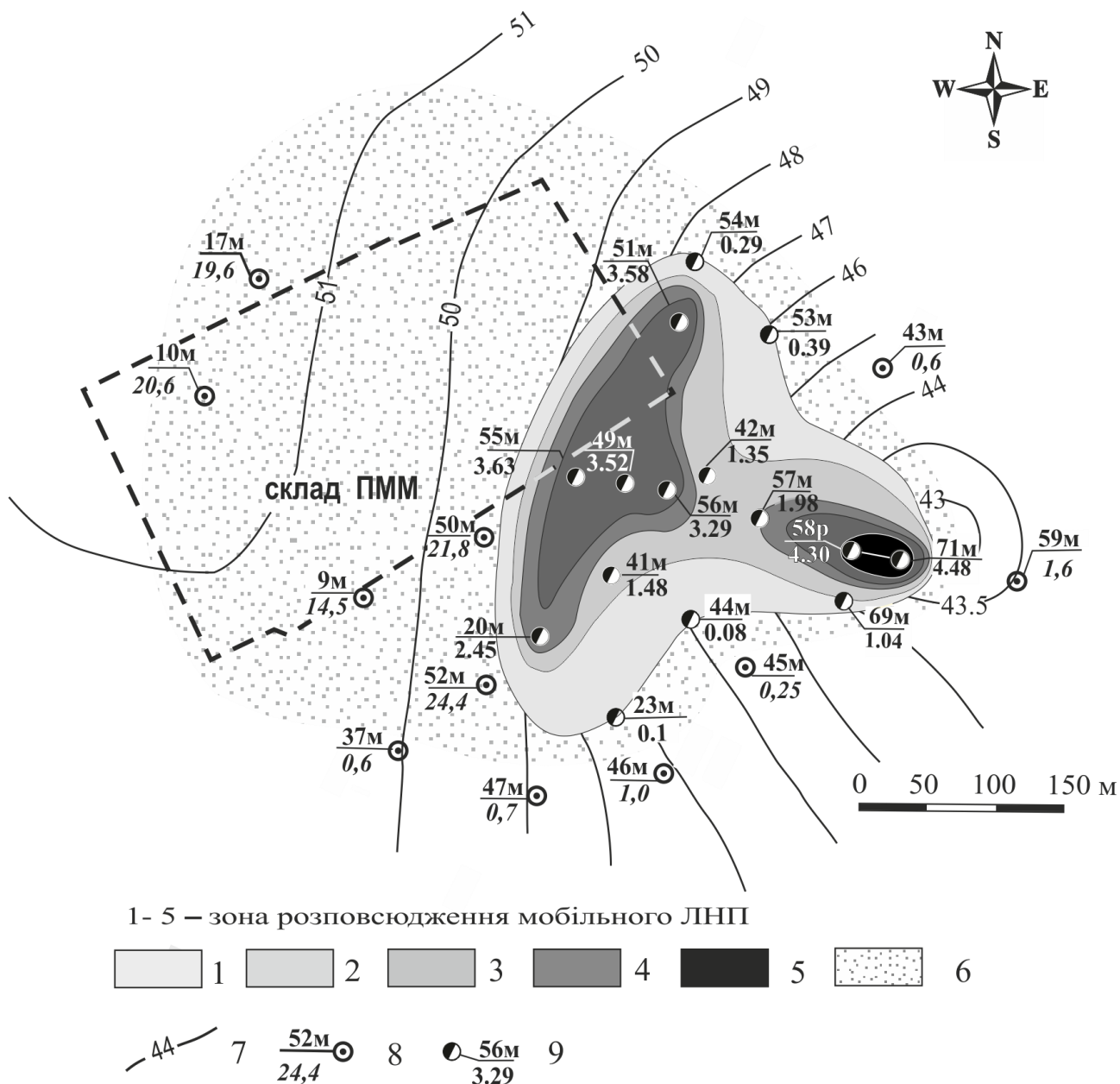


Рис. 1. Схема осередку НП-забруднення на аеродромі біля м. Миколаєва (дані ІГН НАНУ, жовтень 2003 р.)

Товщина шару ЛНП-рідини за виміром в свердловині: 1 – <1 м; 2 – 1-<2 м; 3 – 2-<3 м; 4 – 3-4 м; 5 – >4,0 м; 6 – зона розповсюдження розчинених у воді ВВ з концентрацією >5 мг/дм³; 7 – гідроізогіпси за станом на жовтень 2003 р.; 8 – у свердловині за межами лінзи ЛНП: чисельник – номер свердловини, знаменник — вміст ВВ, розчинених у ґрунтових водах, мг/дм³; 9 – у свердловині в межах лінзи ЛНП: чисельник — номер свердловини, знаменник — товщина шару ЛНП, м.

надходження забруднювача у водоносний горизонт відбувається в результаті перенесення розчинених ВВ атмосферними опадами, що інфільтруються крізь забруднені ґрунти ЗА. Можна припустити, що такий самий ефект має місце при інфільтрації води крізь «тіло» лінзи. З віддаленням від джерела забруднення концентрація ВВ у воді поступово зменшується, головним чином, завдяки процесу розбавлення розчину.

Крім вище згаданої лінзи є ще принаймні два різновиди «розпливчастого» осередку. Накопичення, а потім розтікання ЛНП–рідини відбувається, якщо при вертикальній міграції крізь зону аерації ЛНП натрапляє на слабко проникні відклади. Це може призвести до формування шару рідкого ЛНП, який не має гідравлічного зв'язку із ґрунтовими водами але здатен до латерального розповсюдження. При цьому пересування ЛНП–рідини підпорядковується закону Дарсі. Тому відомі розрахунки формування верховодки можуть бути застосовані для наближеного визначення обсягу лінзи ЛНП та її пересування на непроникному шарі [7].

Якщо низхідний потік ЛНП–рідини долає усю товщу ґрунтів ЗА, то перш ніж розпочнеться формування лінзи ЛНП на рівні ґрунтових вод, на поверхні капілярної зони, яка відокремлює водоносний горизонт від ЗА, має утворитися шар вільного ЛНП, що розпливається по цій поверхні. В процесі потовщення шару ЛНП зменшується відстань між подошвою шару ЛНП і РГВ аж до їх цілковитого стулення [7]. Важко визначити, наскільки поширеним є цей різновид «розпливчастого» осередку. Зазвичай в практиці моніторингових досліджень товщина шару ЛНП визначається найпростішим способом — заміром в свердловині глибин залягання рівнів «повітря/ЛНП» і «ЛНП/вода». Якщо до цього не додати розрахунки за спеціальною методикою [7], результатом є хибна ідентифікація «розпливчастого» осередку на РГВ із завищеною товщиною шару ЛНП.

Можна виділити окремий різновид осередку НП-забруднення, який містить іммобільний ЛНП і розташований вище і нижче РГВ. Відомо, що коливання РГВ призводить до вертикального переміщення мобільного ЛНП. При цьому частина рухливої (мобільної) ЛНП–рідини може переходити у стан утримання капілярно-плівковими силами або затиснення у пористому середовищі. При опусканні РГВ відбувається часткове відновлення зниклого шару або ж збільшення його потужності за рахунок звільнення затиснутої в порах ЛНП–рідини. Через необізнаність або ігнорування цієї закономірності нерідко виникають невірні висновки при обробці даних натурних спостережень [5].

Уникнути помилок чи їх мінімізувати можна шляхом застосування тривалих моніторингових спостережень і відповідних розрахунків. Цей різновид осередку, який названий «коливальним», складається з двох частин. Та частина, що знаходиться вище РГВ, утворюється у схематичному вигляді наступним чином: **підйом РГВ** → роздільне заповнення вільних пор ЛНП–рідиною і водою → зменшення товщини шару мобільного ЛНП (можливе його повне зникнення) → захоплення ЛНП капілярно-плівковими силами і затиснення ЛНП водою → **зниження РГВ** → стікання води донизу під дією сили тяжіння → звільнення затиснутої ЛНП–рідини і збільшення товщини шару мобільного ЛНП, який знижується разом з РГВ (в ЗА залишається ЛНП, що утримується капілярно-плівковими силами).

При первісному (тобто одразу після утворення мобільного шару ЛНП) **зниженні РГВ** вода залишає пори і їх заповнює ЛНП–рідина. Разом із зниженням РГВ може відбуватися опускання верхньої границі шару мобільного ЛНП, при цьому ЛНП–рідина звільнює пори, які заповнює підземне повітря. В цих порах залишається частина ЛНП–рідини, що утримується капілярно-плівковими силами. При **підйомі РГВ** відбувається піднесення води та ЛНП–рідини і далі все повторюється за вищевказаною схемою.

В період існування мобільного шару (лінзи) ЛНП, який може тривати роками, процеси трансформації осередку цього різновиду можуть багаторазово повторюватися із різною послідовністю та інтенсивністю. Там, де через деструктивні процеси або в результаті латерального переміщення лінза ЛНП зникає, процес трансформації «коливального» осередку відбувається у напрямку поступового зменшення вмісту ЛНП–рідини, що утримується в порах, через розчинення ВВ водою, випаровування та споживання мікроорганізмами.

«Штучно-заглиблений» осередок відрізняється від «коливального» тим, що зниження РГВ досягається штучно в процесі здійснення ліквідаційних заходів. Найпростіший і тому найбільш поширений спосіб вилучення ЛНП–рідини з поверхні глибоко розташованого водоносного горизонту полягає у використанні водознижувальної свердловини, обладнаної двома насосами. За допомогою одного насоса відкачується лише вода для утворення депресійної воронки, у якій накопичується ЛНП–рідина. Другий насос призначений для відкачування нафтопродукту. Якщо осередок знаходиться у слабко проникних відкладах (дуже поширений випадок), то достатньо швидкий приплив ЛНП у

накопичувальний пристрій забірної системи можна забезпечити лише за рахунок досить значного зниження РГВ. Але й при цьому повільне відкачування ЛНП-рідини може продовжуватися кілька років. Зрозуміло, що забезпечити безперервну роботу обладнання протягом такого тривалого часу практично неможливо. В реальних умовах роботи дуже часто перериваються чи остаточно зупиняються задовго до повного виконання поставленої задачі. В момент припинення відкачки порушується рівновага у сформованій системі напорів і балансу приплив/відтік. В центральній частині воронки, де утворився максимальний градієнт напору, в процесі відновлення рівноваги відбувається

найбільш інтенсивний приплив води і випереджаюче заповнення вільних, в першу чергу крупних пор. Ця тенденція характерна, хоча і в різній мірі, для усього порового простору воронки, який диференційовано заповнюється водою і ЛНП-рідиною. Таким чином значна частина ЛНП-рідини, яка зрушила з місця але не встигла потрапити у накопичувач забірної системи до припинення відкачки, опиняється у стані защемлення на глибині, що перевищує нижню межу коливання РГВ у природних умовах. На рис. 2 наведено розріз геологічної товщі на забрудненій ділянці аеродрому, де у минулому проводилися і передчасно були припинені роботи з ліквідації рідкого ЛНП.

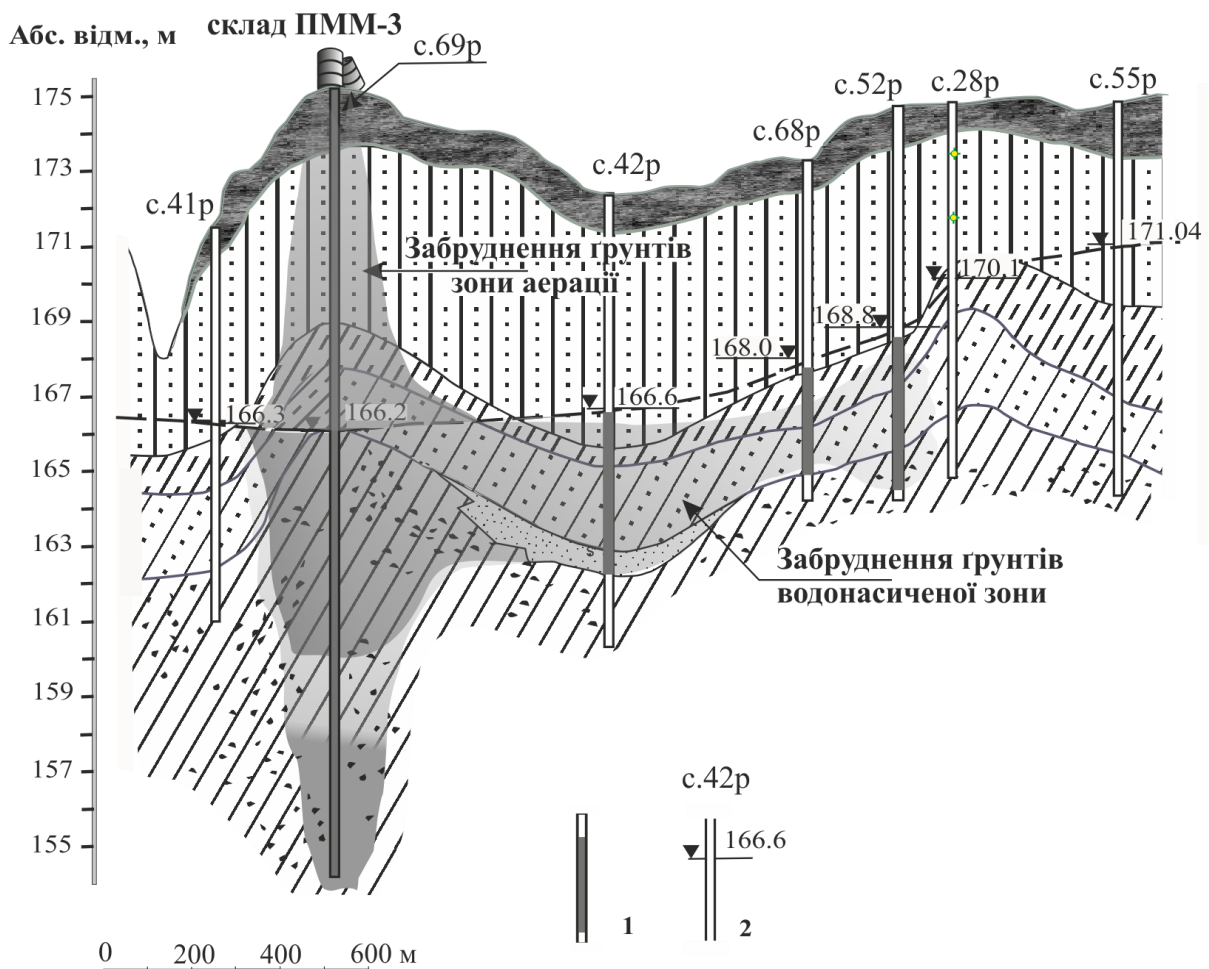


Рис. 2. Гідрогеологічний розріз на території військового аеродрому біля м. Узин (дані ІГН НАНУ, 2001 р.).

1 – інтервал ґрунтів, розкритих свердловиною, що мають забруднення вище ГДК; 2 – свердловина: зверху – номер, збоку – рівень води в свердловині за станом на літньо-осінню межень 2001 р.

Ліквідаційні роботи виконувалися шляхом відкачки водно-нафтопродуктової суміші, в якій ЛНП становив лише приблизно десяту частину. Не дивно, що при цьому утворювалися глибокі депресійні воронки. У 1997–98 рр. відкачки припинилися через низьку рентабельність ви-

добутку ЛНП і повсюдно відбулося відновлення поверхні ґрунтових вод. Судячи з усього, у 2001 році на території аеродрому спостерігалося надвисоке положення рівневої поверхні, отож більша частина залишків ЛНП опинилася у затиснутому стані нижче РГВ.

Різновиди осередків НП-забруднення геологічного середовища
та процеси їх трансформації

Індекси	Назви осередків	Схематичне зображення осередку
1	2	3
А - осередки низхідного розповсюдження ЛНП в ґрунтах зони аерації		
A1	«низхідний» із локалізацією у коренево-рослинному шарі	
A2	«низхідний» із локалізацією у ґрунтах зони аерації	
A3	«низхідний» від джерела забруднення до рівня ґрунтових вод	
В - осередки «розпливчасті»: формується при площинному розтіканні рідких ЛНП		
B1	«розпливчастий» по РГВ	
B2	«розпливчастий» по капілярній каймі	
B3	«розпливчастий» по непроникному шару	
С - осередки «коливальні»: формується через природне чи штучне коливання РГВ		
C1	«коливальний» - по обидві сторони від РГВ	
C2	«штучно заглиблений»	
Д - осередки пов'язані із перенесенням розчинених ВВ		
D1	«розчинених ВВ» в ґрунтових водах	
D2	«розчинених ВВ» в глибоких водоносних горизонтах	
Е- осередки газоподібних ВВ		
E1	випаровування ВВ в ґрунтах ЗА	
E2	випаровування ВВ з поверхні капілярної кайми над лінзою ЛНП	

Для того, щоб зробити опис осередків ЛНП-забруднення більш повним, слід нагадати про розповсюдження летких ВВ у підземному повітрі. Як основне джерело надходження вуглеводневих газів (ВВГ) в підземне повітря ЗА називають поверхню ЛНП-рідини на РГВ* [2, 3]. Хоча, на наш погляд, принаймні за інтенсивністю випаровування, на першому місці, завдяки більшій питомій поверхні, має бути крапельно подрібнена ЛНП-рідина, що утримується в ґрунтах ЗА. Проте найбільш популярною є методика розрахунків розподілу концентрацій ВВГ в підземному повітрі, розроблена саме для випадку дифузії молекул ВВ від поверхні лінзи ЛНП до поверхні землі [2, 6].

За результатами тестового розрахунку встановлено, що при $t \rightarrow \infty$ газоподібні ВВ незалежно від значення коефіцієнту дифузії (D) розподіляються в ЗА лінійно. При $D = 1 \cdot 10^{-7} \text{ м}^2/\text{с}$ ВВГ за 5 років долають 10-метрову товщу суглинків і наближаються до поверхні землі. Якщо зменшити розрахункове значення D на порядок, то для виходу ВВГ на поверхню землі знадобиться більше 40 років. Тобто, в діапазоні реальних значень коефіцієнту молекулярної дифу-

зії товща ґрунтів ЗА може бути або зоною транзиту ВВГ, або відігравати роль доволі ефективного екрану.

На закінчення пропонується розглянути шаблон таблиці, в якій можуть бути розміщені результати систематизації осередків забруднення геологічного середовища, що утворюються внаслідок аварійних розливів і довготривалих витоків з об'єктів нафтопродуктового забезпечення. Передбачається подальше удосконалення типізації скупчень нафтових вуглеводнів за результатами нових даних щодо забруднення геологічного середовища на території України. Ця розробка може бути використана для планування моніторингових досліджень, проектування заходів з санації забруднених нафтопродуктами територій і створення інформаційно-експертних систем для обґрунтування управлінських рішень.

Автори статті висловлюють подяку ст. н. сп. Парамоновій Н.К. і професору Огнянику М.С. за корисні консультації та співробітникам відділу охорони підземних вод ІГН НАНУ Голубу Г.І., Загородньому Ю.О., Підтикану В.М. за надані матеріали польових досліджень.

Література

1. Гаврилюк, Р.Б. Типізація умов формування осередків нафтохімічного забруднення на військових аеродромах України [Текст] / Р.Б. Гаврилюк, Ю.В. Загородній, О.І. Плюсніна // Збірник наукових праць Інституту геологічних наук НАН України, 2009. – Вип. 2. – С. 245-251.
2. Гольдберг, В.М. Распределение концентраций газообразных углеводородов над загрязненной поверхностью грунтовых вод в зоне аэрации [Текст] / В.М. Гольдберг // Известия РАН. Геоэкология, 1997. – №3. – С. 21-28.
3. Гольдберг В.М. Гидрогеологические основы охраны подземных вод от загрязнения [Текст] / В.М. Гольдберг, С. Газда. – М.: Недра, 1984. – 262 с.
4. Основы изучения загрязнения геологической среды легкими нефтепродуктами [Текст] / Н.С. Огняник, Н.К. Парамонова, А.Л. Брикс и др. – К.: [А.П.Н.], 2006. – 278 с.
5. Особливості розповсюдження авіаційного гасу в геологічному середовищі в районі селища "Вишків" (м. Луцьк) [Текст] / А.Л. Брикс, М.С. Огняник, Н.К. Парамонова та ін. // Екологія довкілля та безпека життєдіяльності, 2006. – №2. – С. 35-40.
6. Техногенное загрязнение природных вод углеводородами и его экологические последствия [Текст] / В.М. Гольдберг, В.П. Зверев, А.И. Арбузов и др. – М.: Наука, 2001. – 125 с.
7. Эколого-гидрогеологический мониторинг территорий загрязнения геологической среды легкими нефтепродуктами [Текст] / Н.С. Огняник, Н.К. Парамонова, А.Л. Брикс, Р.Б. Гаврилюк. – К.: LAT & K., 2013. – 254 с.

* точніше було б вказати на поверхню капілярної кайми, звідки відбувається випаровування ВВ.