

ТРАНСФОРМАЦІЯ ІММОБІЛЬНОЇ ЧАСТИНИ СКУПЧЕНЬ ЛЕГКИХ НАФТОПРОДУКТІВ В ГЕОЛОГІЧНОМУ СЕРЕДОВИЩІ

Стаття присвячена розгляду принципів формування скупчень нафтових вуглеводнів у геологічному середовищі, причому не так званих лінз легких нафтопродуктів, які привертають найбільшу увагу як джерела видобутку цінної вторинної сировини, а тієї частини осередку забруднення, що складається з іммобільної нафтопродуктової рідини. Ця рідина утримується ґрунтами в зоні аерації і насиченій зоні, тобто вище і нижче рівня ґрунтових вод, і упродовж багатьох років є джерелом надходження вуглеводнів у водний розчин, який забруднює водоносний горизонт. Розчинення вуглеводнів – це не єдиний вид трансформації нафтопродуктового скупчення в геологічному середовищі. Не менш важливим приводом для дослідження є періодичний перехід нафтопродуктової рідини з мобільного у іммобільний стан і навпаки у залежності від напрямку коливального руху рівня ґрунтових вод.

Дослідження стану нафтопродуктового забруднювача необхідне для диференційованого визначення кількісних показників і оцінки загрози, яку являють собою окремі складові скупчень нафтопродуктів у геологічному середовищі, без чого неможливо обійтися при створенні концепції реабілітаційних заходів.

Як приклад необхідності поглибленого вивчення нафтопродуктових скупчень в геологічному середовищі наведені результати досліджень, проведених на території аеродрому поблизу м. Миколаїв (Україна).

Ключові слова: геологічне середовище, легкі нафтопродукти, іммобільна нафтопродуктова рідина, верховодка, трансформація скупчень забруднювача.

А. Л. Брикс, Ю. О. Негода. **ТРАНСФОРМАЦИЯ ИММОБИЛЬНОЙ ЧАСТИ СКОПЛЕНИЙ ЛЕГКИХ НЕФТОПРОДУКТОВ В ГЕОЛОГИЧЕСКОЙ СРЕДЕ.** Статья посвящена рассмотрению принципов формирования скоплений нефтяных углеводородов в геологической среде, причем не так называемых линз легких нефтепродуктов, которые привлекают наибольшее внимание как источник добычи ценного вторичного сырья, а той части скопления загрязнителя, которая состоит из иммобильной нефтепродуктовой жидкости. Эта жидкость удерживается ґрунтами в зоне аэрации и насыщенной зоне, то есть выше и ниже уровня ґрунтовых вод, и в течение многих лет является источником поступления углеводородов в водный раствор, который загрязняет водоносный горизонт. Растворение углеводородов — это не единственный вид трансформации нефтепродуктового скопления в геологической среде. Не менее важным поводом для исследования является периодический переход нефтепродуктовой жидкости из мобильного в иммобильное состояние и наоборот в зависимости от направления колебательного движения уровня ґрунтовых вод.

Исследование состояния нефтепродуктового загрязнителя необходимо для дифференцированного определения количественных показателей и оценки угрозы, которую представляют собою отдельные составляющие скоплений нефтепродуктов в геологической среде, без чего невозможно обойтись при создании концепции реабилитационных мероприятий.

Как пример необходимости углубленного изучения нефтепродуктовых скоплений в геологической среде приведены результаты исследований, проведенных на территории аэродрома вблизи г. Николаев (Украина).

Ключевые слова: геологическая среда, легкие нефтепродукты, иммобильная нефтепродуктовая жидкость, верховодка, трансформация скоплений загрязнителя.

Аналіз попередніх досліджень і публікацій. Забруднення геологічного середовища (ГС) нафтопродуктами (НП), втраченими в результаті аварійних розливів і систематичних витоків, вже досить тривалий час становить одну з серйозних екологічних проблем [2, 6, 10, 20 та ін.]. В методичних рекомендаціях щодо досліджень забруднених територій, які застосовувалися у колишньому Радянському Союзі, про нафтове забруднення ГС згадувалося, як правило, у зв'язку із міграцією розчинених у підземних водах нафтових вуглеводнів [4], яка вважалася найбільш небезпечною через відносно високу швидкість розповсюдження [6]. Проте по мірі накопичення власного досвіду досліджень, а також під впливом зарубіжних публікацій в Росії і в Україні сформувалося розуміння необхідності комплексного дослідження осередку нафтопродуктового забруднення ГС із урахуванням геолого-гідрогеологічних (природних) і техногенних особливостей забруднених територій [11, 13, 14, 18, 19].

Постановка досліджень. Відомо, що ГС за умовами розповсюдження легких нафтопродуктів (ЛНП) поділяється на зону неповного насичення (зону аерації або ЗА) і насичену зону або перший від поверхні землі водоносний горизонт. Нафтопродуктова рідина, що потрапляє на поверхню землі, проникає у ґрунтову товщу і при певних умовах в процесі низхідної інфільтрації крізь ЗА може досягти рівня ґрунтових вод (РГВ) [14, 20 та ін.]. Шар ЛНП, який утворюється на рівневій поверхні ґрунтових вод, в першу чергу стає об'єктом еколого-гідрогеологічних досліджень, оскільки становить загрозу безпосереднього впливу на водогосподарчі і природні об'єкти і крім цього є джерелом формування ореолу розповсюдження розчинених ВВ, які рухаються із максимальною для ГС швидкістю, тобто швидкістю фільтраційного потоку [6, 22 та ін.]. Недивно, що велика кількість друкованих праць присвячена досвіду вилучення мобільних ЛНП і розчинених ВВ з насиченої зони (найчастіше шляхом помпування, скіммінга або перехоплення

горизонтального потоку відкритими траншеями). Проте не слід забувати про ту частину нафтопродуктової рідини, яка в процесі вертикальної міграції крізь ненасичені ґрунти втрачає мобільність через захоплення капілярними силами або защемлення водою в поровому середовищі. В зоні аерації окремого розгляду заслуговує коренево-рослинний шар [16, 17 та ін.] і перехідна частина профілю між насиченою і ненасиченою зонами, де відбувається коливання рівня ґрунтових вод.

Матеріали досліджень та їх результати.

Після надходження НП-рідини в ненасичену зону ґрунтової товщі утворюється трифазна система «вода – повітря – НП-рідина». Теоретичні розробки, що стосуються питань знаходження і міграції НП в зоні аерації, містяться в основному в англійських виданнях [20, 21 та ін.]. Досить широкий огляд цих публікацій наведено в [12, 13, 14, 15].

За існуючими уявленнями вода, яка була присутня в порах ще до появи НП, тобто є початково змочуючою рідиною, займає найменші пори, а НП-рідина розташовується в більших порах, витискаючи з них підземне повітря. Рух НП-рідини у ненасиченому середовищі, головним чином, визначається протидією рушійної сили тяжіння і утримуючих капілярно-плівкових сил. Гравітаційна міграція НП-рідини відбувається, якщо її вміст перевищує величину залишкового насичення ($\theta_{r,0}$), тобто коли сила тяжіння перевищує капілярно-плівкові сили, і припиняється, якщо вміст НП відповідає $\theta_{r,0}$, і рідина повністю захоплюється капілярними силами та перетворюється на переривчасті включення. Проте у гетерогенному середовищі, якою є реальна ЗА, одночасно можуть існувати ділянки, де рідини міцно утримуються на місці і де рухаються, причому не тільки під дією сили тяжіння, але й через капілярне пересування, обумовлене мінливістю конфігурації пор і різною змочуваністю твердої поверхні порового середовища.

Ґрунтова товща від поверхні землі до рівневої поверхні підземних вод, як правило, має неоднорідну будову. Будь-який слабо проникний прошарок суглинку чи глини або тонкозернистий прошарок із підвищеним вмістом води може виявитися перешкодою на шляху інфільтрації, яка призводить до утворення локального скупчення легкої НП-рідини (або ЛНП), що рухається вже не вертикально, а вздовж горизонтальної поверхні прошарку (подібно до верховодки).

Зону коливання рівня ґрунтових вод можна назвати зоною перемінної насиченості. Нагадаймо, що на рівневій поверхні ґрунтових вод накопичується шар ЛНП, який надходить в результаті інфільтрації крізь ґрунти ЗА. Ще якихось 25-30 років назад серед гідрогеологів-вишукувачів, які

залучалися до вирішення практичних питань, пов'язаних з вуглеводневим забрудненням підземних вод, і не мали достатньої теоретичної підготовки, панувало помилкове уявлення про формування локально розповсюдженого шару мобільних ЛНП на поверхні ґрунтових вод у вигляді наліпки або лінзи. Це уявлення вочевидь ґрунтувалося на спостереженнях за розподілом легкої (ЛНП) і важкої (води) рідини у стволі спостережної свердловини. Різка границя між ними іноді і зараз сприймається як аналог поверхні ґрунтових вод за межами свердловини. Звернемо увагу на характер розмежування рідин, що не змішуються, у реальному ґрунті. Слід вказати, що поровий простір у реальному ґрунті набагато складніший, ніж схеми з капілярних трубочок або кульок різного діаметру, які зазвичай використовуються в теоретичних розробках. Реальний поровий простір це надзвичайно складне сполучення порожнин між твердими частинками різного розміру і конфігурації. Порожнини можуть бути закритими, тупиковими і такими, що утворюють наскрізні канали, які відрізняються між собою за загальними розмірами, наявністю розширень і звужень, а також мірою звивистості.

Припустимо, що до початку вертикального пересування ґрунтових вод (важкої рідини) і розташованого над ними шару ЛНП між ними існувала плавка границя розділу. Якщо розпочинається підйом РГВ, він спричиняє такий самий висхідний рух шару ЛНП, причому рух, що важливо, у реально неоднорідному поровому середовищі. Та частина легкої рідини, яка потрапляє в тупикові пори або в дрібні і звивисті канали, гальмується або зовсім зупиняється, інша, якій випало рухатися крізь широкі наскрізні канали з найменшим спротивом, піднімається з максимально можливою швидкістю, випереджаючи рухомі рідини на суміжних ділянках (йдеться про утворення границі розділу рідин у формі т. зв. «язика»).

Таким чином стає зрозумілою формування складної поверхні розділу «w/o» (тобто вода/ЛНП). Але це ще не все. Якщо в межах «язика» вода опиниться вище границі «o/a» (або інакше ЛНП/повітря) на суміжній ділянці порового середовища, то відбувається її бічний відтік у порові відгалуження, заповнені ґрунтовым повітрям (рис. 1). Тобто вода витісняє повітря з пор, до яких ще не дійшла ЛНП-рідина, що рухається знизу, і таким чином блокує цей висхідний рух, принаймні по сусідству з "язиком".

Ефект блокування пор зверху або защемлення водою легкої рідини тим більший, чим неоднорідніше порове середовище, інакше кажучи, чим частішим є чергування високо і низько провідних ділянок і чим більша різниця швидкостей

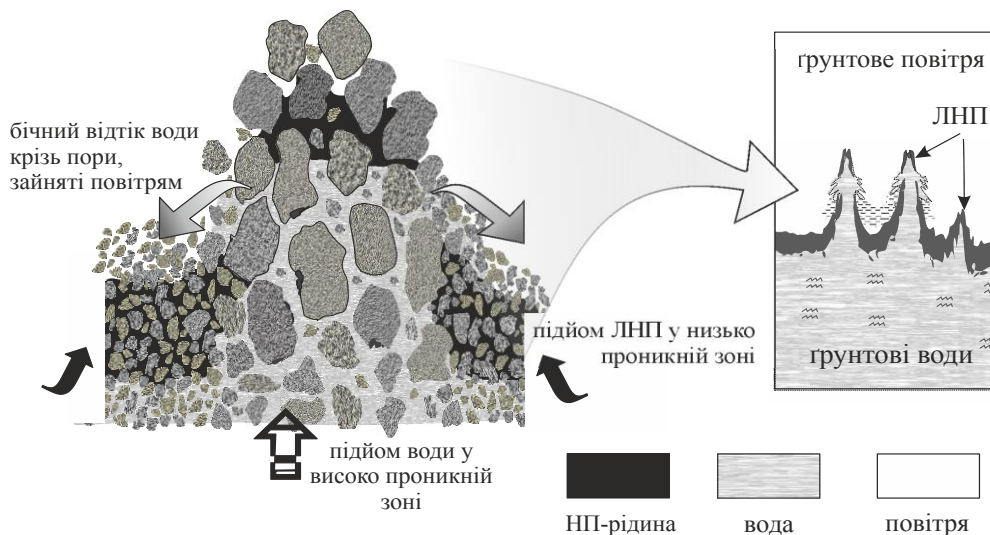


Рис. 1. Схема для пояснення принципу защемлення ЛНП-рідини водою у неоднорідному поровому середовищі.

висхідного руху рідин у цих ділянках. Кількість защемленої ЛНП-рідини може залежати також від середньої швидкості руху рідин, від загальної тривалості періоду підйому, його реального графіку* і, нарешті, від в'язкості ЛНП у порівнянні з водою. В процесі спостереження за рівнями рідин як в природних умовах, так і в умовах лабораторних експериментів виявляється зменшення товщини шару ЛНП аж до його повного зникнення, тобто повного або часткового переходу вільної ЛНП-рідини у іммобільний стан.

В природних умовах режим ґрунтових вод уявляє собою коливання, тобто чергування підйомів і опускань РГВ. Тож після підйому РГВ рано чи пізно має наступити зниження рівня води, а слідом і зниження шару ЛНП-рідини. Разом з тим, як правило, спостерігається ефект «звільнення» раніше защемленої ЛНП-рідини і поступове відновлення первісної товщини шару. При цьому не йдеться про повне відновлення, оскільки після стикання ЛНП-рідини слідом за зниженням РГВ певна її частина залишається у ненасиченій зоні через дію утримуючих капілярно-плівкових сил. Розуміння різниці між двома різновидами іммобільної ЛНП-рідини – захопленої і защемленої, є суттєвим для визначення засобів ліквідації забруднення [15].

Забруднення ґрунтів зазвичай виявляється як вище, так і нижче РГВ. Загальна товщина забрудненої зони може бути набагато більшою, ніж амплітуда сезонних* коливань РГВ, оскільки на

протязі десятків років міграції лінзи ЛНП сезонні коливання накладаються на багаторічні зміни РГВ.

Можна припустити, що розподіл захопленої і защемленої ЛНП-рідини в ґрунтах забрудненої зони певною мірою залежить від того, на яку стадію багаторічного коливання РГВ припадає формування лінзи ЛНП на ділянці, що розглядається. Якщо, наприклад, фронтальна частина лінзи, що рухається, опинилася на ділянці, де середньорічний РГВ знаходяться у верхній частині умовного багаторічного графіку, з більшою ймовірністю можна очікувати формування лінзи в умовах зниження РГВ. При відповідному низхідному русі шару ЛНП-рідини в ґрунтовій товщі утворюється забруднена зона, в якій ЛНП-рідина утримується (захоплюється) капілярно-плівковими силами. Защемленої ЛНП-рідини тут обмаль або зовсім немає. Розглянемо інший випадок. Нехай формування лінзи ЛНП розпочинається при положенні середньорічного РГВ у нижній частині умовного багаторічного графіку. Тоді в умовах переважаючого висхідного руху двофлюїдної рідини (ЛНП/вода) пори ґрунту нижче РГВ вміщують не тільки захоплену але і защемлену ЛНП-рідину. Чим глибше відносно середнього багаторічного рівня води затискається ЛНП-рідина, тим менша ймовірність того, що вона колисть у майбутньому матиме можливість природним шляхом відновити свою мобільність.

Само собою зрозуміло, що викладене вище є лише спрощена інтерпретація насправді дуже складного процесу забруднення ґрунтової товщі в зоні коливання РГВ. Звичайно було б вельми

* В процесі природного підйому РГВ може відбуватися прискорення, уповільнення, зупинка і, навіть, тимчасова інверсія напрямку руху.

* Сезонні (внутрішньорічні) коливання РГВ пов'язані із закономірними змінами інфільтрації і випаровування вологи в ЗА упродовж року. Амплітуда коливань, в

основному, залежить від глибини залягання РГВ і водопроникності/водоємності ґрунтів [8].

бажано підкріпити міркування фактичними даними, тобто результатами спостережень за зміною рівнів води і ЛНП в лабораторних або натурних умовах.

В монографії [14] детально описана постановка лабораторного експерименту з імітації «захоплення» і «звільнення» газу в піщаній колоні при різних режимах коливання рівня води (рис. 2).

Стислий опис експерименту. Лабораторна установка складається з колони, заповненої піском, піддону, через який у колону подається (вилучається) вода, і скляної трубки, що має вільний зв'язок із поровим середовищем піщаної колони і використовується для спостереження за рівнями води і газу. У зволоженому піску в нижній частині колони утворилася насичена зона, що є імітацією водоносного горизонту. Перед початком експерименту на рівень води в піщаній колоні подається 96 см^3 газу, так що утворюється шар мобільної ЛНП-рідини, який визначається у скляній

трубочці як стовпчик висотою 18,5 см. В результаті контрольованої подачі води через дно колони здійснюється підвищення п'єзометричного рівня води, а разом з ним і шару ЛНП-рідини. Товщина шару газу в процесі підйому рівня води зменшується: на висоті 56 см (від дна колони) товщини шару газу становить 1 см, на висоті 83 см залишається плівка газу. Тобто усі 96 см^3 газу опиняються у защемленому стані.

Друга половина експерименту полягає у простежуванні рівнів води і газу при контрольованому вилученні води з колони. Зниження рівня води супроводжується збільшенням товщини стовпчика газу у «свердловині». При вилученні усього обсягу попередньо поданого в колону, у «свердловині» зафіксовано лише 10,8 см газу. З цього випливає, що в умовах експерименту більш як 40% раніше мобільної ЛНП-рідини залишається у ненасиченій зоні піщаної товщі у стані захоплення капілярно-плівковими силами.

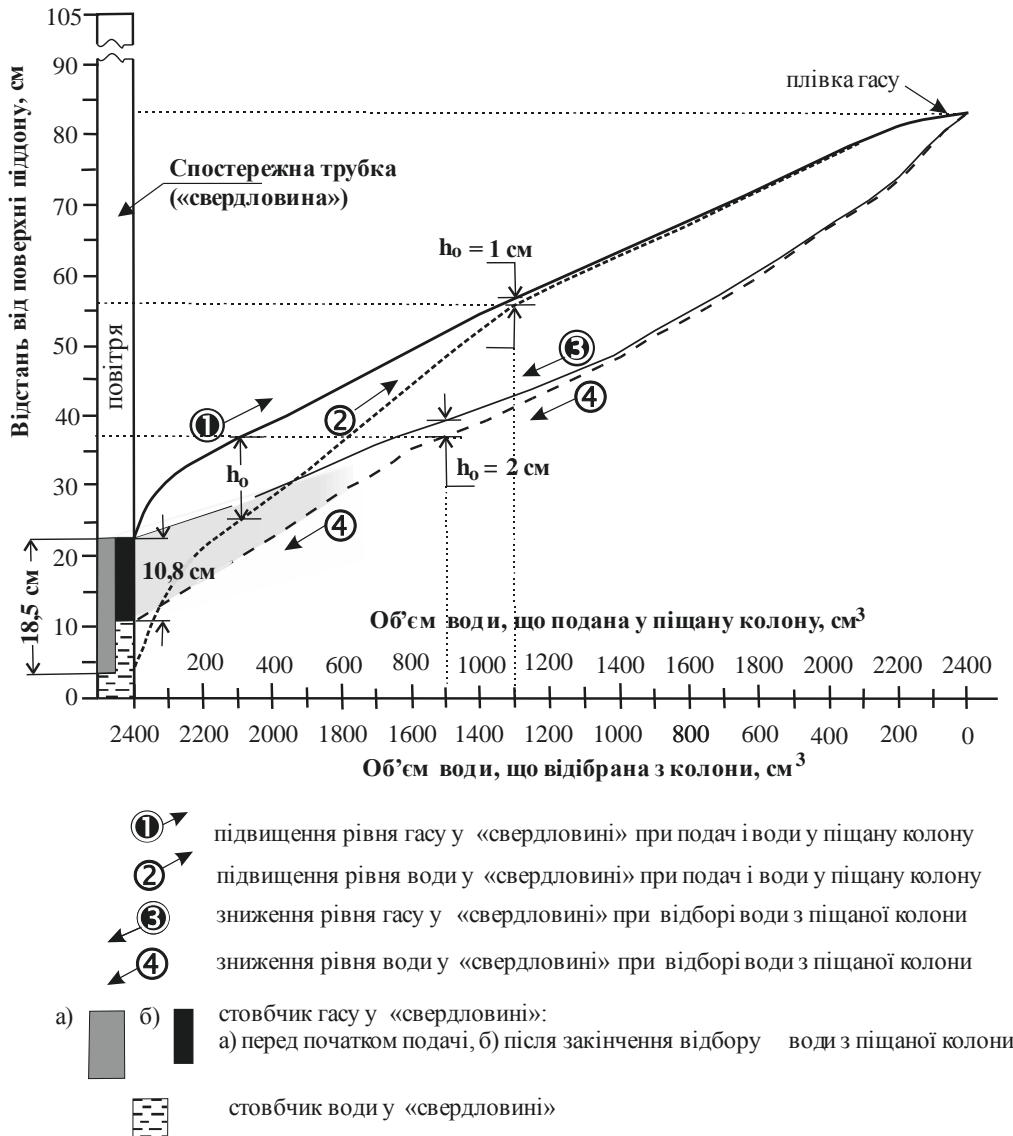


Рис. 2. Зміна рівнів води і газу в процесі подачі і відбору води в колоні з піском (модифікація графіку з [14]).

Зрозуміло, що вірогідність кількісних оцінок, отриманих в ході експерименту, може викликати певні сумніви через відмінність натурних і експериментальних умов, проте сам факт впливу коливання рівня води на стан ЛНП-рідини вважається підтвердженням.

В натурних умовах ознаки «коливального» забруднення нафтопродуктами можна помітити при цілеспрямованому опробуванні ґрунтової товщі навіть там, де реальна лінза ЛНП за результатами пошукових робіт не виявлена. Це може означати, що 1) в результаті коливання РГВ уся мобільна (в минулому) ЛНП-рідина розосереджена в інтервалі забруднення — нижче РГВ у защемленому стані і вище РГВ у стані захоплення капілярними силами, або 2) решту мобільної ЛНП-рідини слід шукати нижче за напрямком течії ґрунтових вод.

На рис. 3 показані результати моніторингових досліджень в свердловинах, розташованих в зоні розповсюдження НП-забруднення на території аеродрому, розташованому поблизу м. Миколаїв (Україна). Досить детально геологічна будова і гідрогеологічні умови, історія, склад та результати пошуково-розвідувальних робіт і моніторингових досліджень викладені в [1, 19].

Стислий опис результатів натурних досліджень. Осередок нафтопродуктового забруднення, зображений на рис. 3, включає ділянку складу паливно-мастильних матеріалів (ПММ), де колись утворився шар ЛНП-рідини (лінза), і суміжну ділянку, куди лінза перемістилася упродовж 20-30 років. Результати опробування ґрунту і води в св. 1 можна вважати типовими для ділянки складу, де забруднення простежується від поверхні землі на усю глибину свердловини. Низькі значення вмісту НП у приповерхній частині товщі ґрунтів (600-700 мг/кг) пояснюється підвищеною інтенсивністю процесів природної деградації нафтових ВВ. Рівень ґрунтових вод коливався в інтервалі глибин 1-3 м. В цьому інтервалі вміст забруднювача в зразках ґрунту складав приблизно 2000 мг/кг.

У другій свердловині, яка знаходиться на границі ділянки складу ПММ, забруднення ґрунтів від поверхні землі до глибини 2,6 м не виявлено, що вказує на латеральний характер розповсюдження НП-забруднювача. Рівень ґрунтових вод у трирічний період спостережень коливався в інтервалі глибин 4,35-4,85 м. Зона забруднення ґрунтів починається з глибини 2,6 м і простежується на усю 10-метрову глибину свердловини.

Третя і четверта свердловини пробурені у 100 м нижче за потоком від св.2 і розкривають ґрунти, насичені ЛНП-рідиною. Це і є та сама лінза ЛНП, яка утворилася на складі ПММ і мігрувала у напрямку потоку ґрунтових вод. Під час

проведення досліджень шар ЛНП знаходився на глибині 7-8 м, амплітуда коливань рівня ЛНП упродовж 3 років спостережень не перевищувала 0,5 м. Зона забруднення ґрунтів простежується аж до 13-метрової глибини, тобто більш як 6 м нижче теперішнього положення п'єзометричного рівня води.

П'ята свердловина, яка розкриває фронтальну частину лінзи, має максимальну глибину — 16 м. Проте і на такій глибині ґрунти характеризуються досить високим вмістом забруднювача — 2,7 г/кг. На якій саме глибині знаходиться нижня межа зони забруднення ґрунтів, на жаль, залишилось не визначеним.

Перше, що кидається в очі при аналізі результатів досліджень не тільки в вище описаних, але і в інших моніторингових пунктах забрудненої території, це несподівано велика різниця між амплітудою коливання РГВ в період спостережень і потужністю розкритої зони забруднення ґрунтів. Оскільки штучне зниження РГВ* в районі аеродрому повністю виключається, поясненням цього явища можуть бути багаторічні зміни умов живлення ґрунтових вод. Перед усе йдеться про чергування багато- і маловодних періодів формування водоносного горизонту.

На цьому можна було б поставити крапку, але є підстави вважати, що через недостатню поглиблену вивченість природних умов об'єкту використана схема не здатна забезпечити необхідну вірогідність висновків. Справа у тім, що на ділянці аеродрому і поблизу від нього не має опорної (глибокої) свердловини, а ті, що є, розкривають не більш як 10-15 м лесовидних відкладів і жодна з них не досягає нижньої границі зони забруднення. А що як уся 20-30-метрова товща суглинків містить НП? На перший погляд це питання здається неадекватним. Проте, якщо звернутися до опису геолого-гідрогеологічних умов відповідної частини Причорноморського артезіанського басейну [3], до якого територіально належить ділянка, що розглядається, можна знайти інформацію, яка змушує дещо інакше поглянути на імовірне формування осередку НП-забруднення. Отже, відомо, що перший від поверхні землі регіонально розповсюджений водоносний горизонт утворюють ґрунтові води кіммерійсько-куяльницьких піщано-глинистих відкладів, а вище за них, у лесовидних суглинках на вододільних ділянках спорадично розповсюджені скупчення води типу «верховодка», які підстиляються більш-менш витриманим шаром червоно-бурих глин. Цілком ймовірно, що саме така

*Ґрунтові води ні на території самого аеродрому, ні на прилеглий території непридатні для практичного використання.

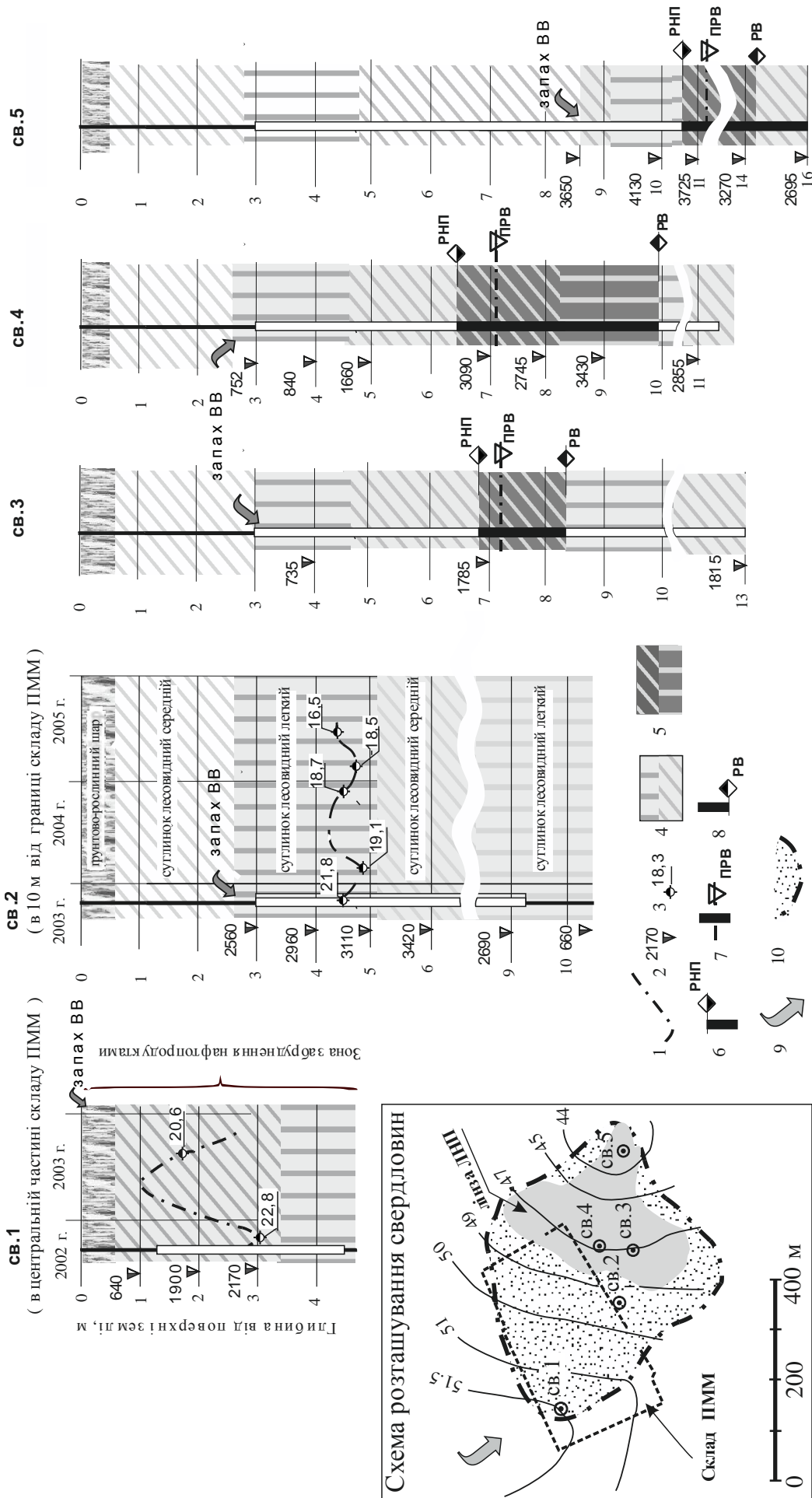


Рис. 3. Вміст нафтових вуглеводнів в ґрунтах і ґрунтових водах в зоні коливання РГВ.

1 – графік коливання РГВ; 2 – глибина відбору зразка ґрунту, число – вміст НП у зразках ґрунту, мг/кг; 3 – вміст розчинених ВВ у зразках води, мг/дм³; 4 – ґрунтова товща, яка вміщує НП; 5 – ґрунтова товща, насичена ЛНП-рідиною; 6 – рівень розділу ЛНП-рідини і повітря у свердловині; 7 – п'єзометричний рівень води у свердловині; 8 – рівень розділу ЛНП-рідини і води у свердловині; 9 – приплив ґрунтових вод з боку міста; 10 – ділянка, де вміст іммобільної ЛНП-рідини в ґрунтах перевищує 1000 мг/кг.

верховодка, яка утворилася на території аеродрому з для осередку НП-забруднення режимоутворюючим фактором. Верховодки рідко стають об'єктом моніторингових досліджень* Проте, навіть з одного тільки припущення щодо «верховодки» можна зробити певні висновки. Загально відомо, що верховодка (perched aquifer) – це тимчасове скупчення підземних вод в ЗА на відносному водотриві. Отож, в умовах посушливого клімату, характерного для півдня України, тривалі перерви в інфільтрації атмосферних опадів (основного джерела живлення верховодки) можуть призводити навіть до тимчасового зникнення верховодки. Звісно, це твердження має загальний характер. Кожна окрема верховодка за своїм режимом відрізняється від інших, навіть розташованих в одному кліматичному поясі. Особливістю верховодки, що розглядається, може бути вплив на її формування припливу вод побутового походження з боку міста або залізничного вузла, розташованого поблизу від аеродрому. Якщо припустити, що цей приплив суттєво збільшився в останні роки або він з якихось причин неодноразово змінювався під час руху лінзи ЛНП від складу ПММ, де вона утворилася, до того місця, де вона була виявлена, то таким чином можна пояснити утворення багатометрової товщі забруднених нафтопродуктами лесовидних суглинків. Друга особливість полягає в тому, що шар червоно-бурих глин, якому верховодка завдячує своїм існуванням, має послаблені зони (гідрогеологічні вікна), крізь які відбувається інтенсивне розвантаження верховодки. При певних умовах через ці «вікна» розчинені у воді ВВ або навіть ЛНП-рідина можуть потрапити у нижній водоносний горизонт.

Висновки. При дослідженнях осередку нафтопродуктового забруднення ГС основна увага зазвичай приділяється скупченням мобільних ЛНП на поверхні ґрунтових вод. По-перше, ці дослідження, як правило, розпочинаються саме тоді, коли мобільні ЛНП після тривалої фази латентного просування досягають місця розвантаження ґрунтових вод і раптово виникає кризова ситуація, що вимагає вживання невідкладних захисних заходів. По-друге, вилучення з ГС нафтопродуктової рідини нерідко розглядається як видобуток цінної сировини, що має комерційний сенс. В обох випадках інші складові осередку нафтопродуктового забруднення залишаються без належної уваги. Проте іммобільна НП-рідина, яка утримується ґрунтами, також становить загрозу довкіллю, принаймні у довгостроковому відношенні.

Слід розрізняти НП-рідину – захоплену, тобто таку, що утримується капілярно-плівковими силами, і защемлену в порах водою. Ці різновиди іммобільної рідини мають різне походження, різні властивості, а отже потребують використання різних способів визначення і застосування різних заходів ремедіації.

При дослідженнях забрудненого ГС слід приділити увагу виявленню і оцінці НП-рідини, защемленої в насиченій водою зоні. Відомі численні випадки «появи» на начебто реабілітованих ділянках мобільних ЛНП в наслідок «звільнення» защемленої НП-рідини при зниженні РГВ.

Автори статті висловлюють подяку професору Огнянику М.С. і Парамоновій Н. К. за корисні поради, а також співробітникам відділу охорони підземних вод ІГН НАНУ за надані матеріали польових досліджень.

Література

1. Брикс, А. Л. Особливості розповсюдження розчинених у ґрунтових водах нафтових вуглеводнів на ділянці аеродрому м. Миколаїв (Україна) [Текст] / А. Л. Брикс, Р. Б. Гаврилюк // *Геологічний журнал*. – 2011. – №1. – С. 120–127.
2. Брикс, А. Л. Розвиток моніторингових досліджень у зв'язку із забрудненням підземних вод нафтопродуктами [Текст] / А. Л. Брикс, Р. Б. Гаврилюк, М. С. Огняник // *Геологічний журнал*. – 2017. – №1. – С. 37–46.
3. Водобмен в гидрогеологических структурах Украины. Водобмен в естественных условиях [Текст] / В. М. Шестопалов, Н. И. Дробноход, В. И. Лялько и др. – К. : Наук. думка, 1989. – 288 с.
4. Временное методическое руководство по проведению комплексных эколого-гидрогеологических исследований (на территории Украины) [Текст]. – К. : ГПП «Геопрогноз», 1994. – 331 с.
5. Гоголь, С. Б. Опыт очистки геологической среды от нефтяного загрязнения на территории г. Брянска / С. Б. Гоголь, С. В. Дадыкин // *Геологический вестник центральных районов России*. – 1999. – № 1–2. – С. 74–78.
6. Гольдберг, В. М. Гидрогеологические основы охраны подземных вод от загрязнения [Текст] / В. М. Гольдберг, С. Газда. – М. : Недра, 1984. – 262 с.
7. Казенов, С. С. Воздействие объектов нефтепродуктообеспечения на геологическую среду / С. С. Казенов, А. И. Арбузов, Ю. В. Ковалевский. // *Известия РАН. Геоэкология*. – 1998. – №1. – С. 54–74.
8. Коноплянцев, А. А. Прогноз и картирование режима ґрунтових вод [Текст] / А. А. Коноплянцев, С. М. Семенов. – М. : Недра, 1974. – 216 с.

*Верховодки найчастіше стають об'єктом дослідження у зв'язку із проблемою будівництва і експлуатації заглиблених в землю споруд, а також через вторинне засолення ґрунтів на зрошуваних територіях.

9. К проблеме локализации и ликвидации нефтяных загрязнений на объектах Минобороны РФ. / Б. В. Боровский, Л. В. Боровский, С. Н. Бухарин и др. // Известия РАН. Геоэкология. – 1997. – №5. – С. 75–83.
10. Материалы семинара по защите подземных и поверхностных вод от загрязнения сырой нефтью и нефтепродуктами, организованного Комитетом по водным ресурсам Европейской экономической комиссии Организации Объединенных Наций, состоявшегося в Женеве с 1 по 5 декабря 1969 года. – Нью-Йорк : [б.и.], 1970. – Т. 1. – 169 с.
11. Методические рекомендации по выявлению, обследованию, паспортизации и оценке экологической опасности очагов загрязнения геологической среды нефтепродуктами. – М. : ГИДЭК, 2002. – 87 с.
12. Мироненко, В. А. Загрязнение подземных вод углеводородами / В. А. Мироненко, Н. С. Петров // Известия РАН. Геоэкология. – 1995. — №1. – С. 3-27.
13. Мироненко, В. А. Проблемы гидрогеоэкологии [Текст] / В. А. Мироненко, В. Г. Румынин. – Т. 3. – М. : Изд-во МГГУ, 1999. – 312 с.
14. 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.
15. Парамонова, Н. К. Влияние колебания грунтовых вод на формирование остаточных и зацементированных легких нефтепродуктов / Н. К. Парамонова, Г. И. Голуб, И. Н. Запольский и др. // Геол. журн. – 2016. – №1. – С. 112-124.
16. Пиковский, Ю. И. Природные и техногенные потоки углеводородов в окружающей среде [Текст]. – М.: Изд-во МГУ, 1993. – 208 с.
17. Середин, В. В. Оценка геоэкологических условий санации территорий, загрязненных нефтью и нефтепродуктами. [Текст]. – Пермь: Пермский гос. техн. ун-т, 1998. – 153 с.
18. 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.
19. 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.
20. Mercer, J. W., Cohen, R. M.,. A review of immiscible fluids in the subsurface: Properties, models, characterization and remediation./ J. W. Mercer, R. M. Cohen./ J. Contam. Hydrol. — 1990. — vol. 6 (2). — P. 107-163.
21. Oil in Freshwater: Chemistry, Biology, Countermeasure Technology: Proceedings of the Symposium of Oil Pollution in Freshwater, Edmonton, Alberta, Canada – Pergamon Press, 1987. – 526 p.
22. Schwille, F. Groundwater pollution by mineral oil products / F. Schwille // Groundwater Pollution Symposium: Proceedings of the Moscow Symposium, August 1971. IAHS-AISH Publ. – 1975. – № 103. – P. 226–240.