

Р.Б. Гаврилюк¹, Ю.В. Загородній¹, О.І. Плюснина²

**ТИПІЗАЦІЯ УМОВ ФОРМУВАННЯ ОСЕРЕДКІВ НАФТОХІМІЧНОГО ЗАБРУДНЕННЯ НА
ВІЙСЬКОВИХ АЕРОДРОМАХ УКРАЇНИ**

R.B. Gavrilyuk, Y.V. Zagorodniy, O.I. Plyusnina

**CONDITIONS TYPIFICATION OF PETROLEUM CONTAMINATION SPREADING AT MILITARY
AIRFIELDS IN UKRAINE**

Виконана типізація умов формування забруднення, викликаного діяльністю військових аеродромів на території України. Виділені показателі типізації, які охоплюють характеристику джерел забруднення, фізико-хімічні властивості нафтопродуктів, форми локалізації та міграції в геологічній середовищі та геолого-гідрогеологічні умови розташування військових аеродромів.

Ключові слова: забруднення, нафтопродукти, міграція, геологічна середовище, типізація.

We typified conditions of contamination spreading in the region of military airfields in Ukraine. Characteristics of the typification including contamination sources, physical and chemical properties of petroleum products, forms of localization and migration in the subsurface, and geological and hydrogeological conditions were distinguished.

Key word: contamination, petroleum products, migration, subsurface, typification.

ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМИ

Одними з найнебезпечніших джерел забруднення геологічного середовища (ГС) нафтопродуктами на території України є військові аеродроми. Численними еколого-геологічними дослідженнями, що проводяться на ділянках їх розташування, фіксуються значні як по площі, так і розрізу зони техногенного забруднення ГС. Інститутом геологічних наук НАН України на даний час виявлено та обстежено осередки нафтохімічного забруднення на території дев'яти військових аеродромів, що знаходяться в різних регіонах країни (рис. 1): у містах Луцьк, Узин, Біла Церква, Прилуки, Полтава, Умань, Миколаїв, Джанкой та с.м.т. Озерне Житомирської області [5]. Крім того, в Україні розташовані ще десятки інших діючих та колишніх військових аеродромів, на території яких зафіксовано нафтохімічне забруднення ГС чи можлива його наявність в так званій «прихованій формі».

Типізація умов формування осередків нафтохімічного забруднення на території військових аеродромів дозволить встановити типові схеми проходження процесів забруднення. Це має бути корисним для виявлення загальних або специфічних підходів до планування обстежень, організації моніторингу та проведення природоохоронних заходів.

МАТЕРІАЛИ ДОСЛІДЖЕННЯ

Основні показники типізації прийняті такі:

- характеристика джерел забруднення та умов надходження нафтопродуктів до ГС;
- фізико-хімічні властивості та форми знаходження і міграції нафтопродуктів у ГС;
- геолого-гідрогеологічні умови розташування військових аеродромів.

Загальна схема типізації наведена на рис. 2.

Характеристика джерел забруднення та умов надходження нафтопродуктів до ГС. Військові аеродроми (колишні та діючі) розташовані у всіх регіонах нашої держави. Інтенсивне будівництво військових аеродромів розпочалося після закінчення Великої Вітчизняної війни. Із розпадом колишнього Радянського Союзу припинилася їх активна експлуатація і здебільшого відбулося розформування чи перепрофілювання військових аеродромів.

Військові аеродроми, розташовані на суші, являють собою облаштовану територію з інфраструктурою для забезпечення базування та польотів різних видів авіації, їх підтримки, обслуговування, ремонту. Експлуатація аеродромів характеризується використанням широкого спектра вуглеводневих палив: авіаційний гас (реактивне паливо), авіаційні бензини, дизельне паливо, мазути, оливи та ін. Але перш за все специфіка діяльності аеродромів передбачає високий рівень використання авіаційного гасу як основного виду палива в авіації.

Для здійснення операцій з паливами, таки-

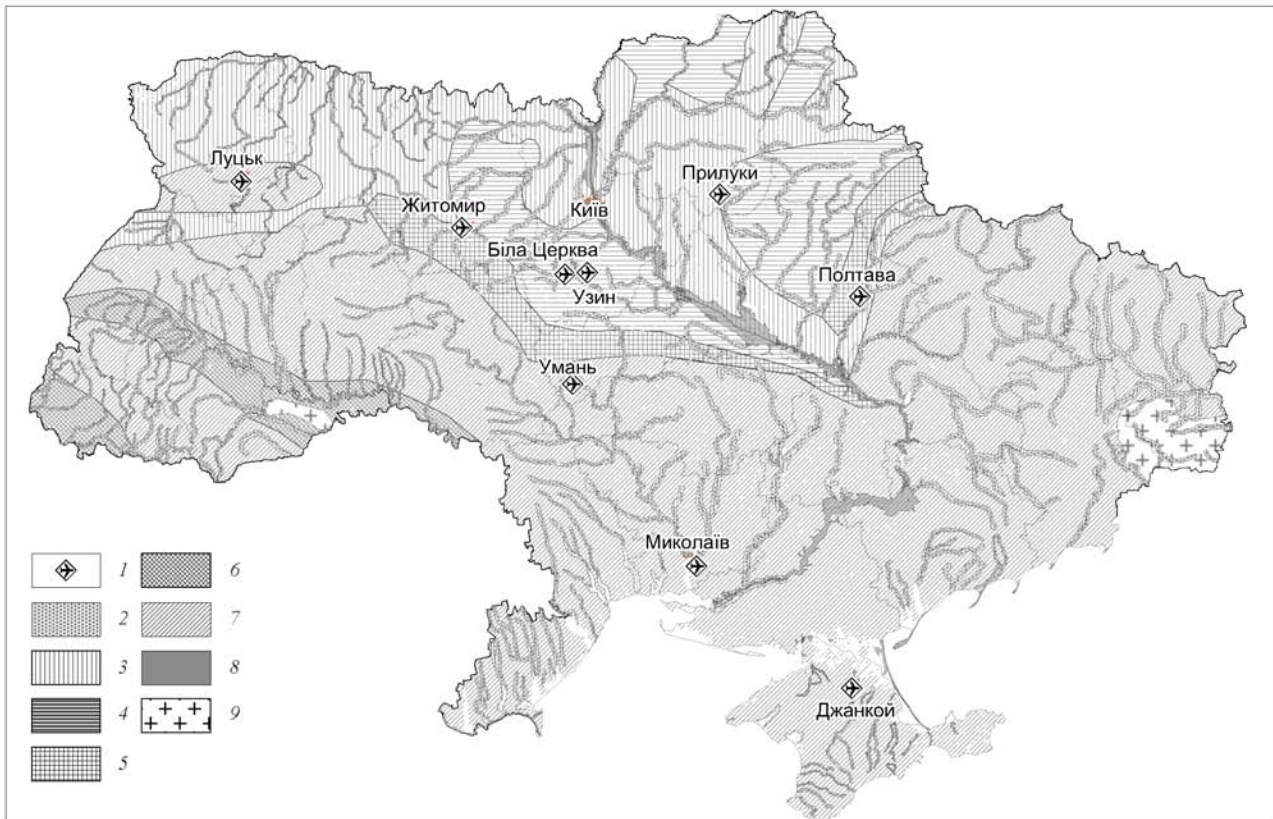


Рис. 1. Картохема поширення ґрунтових водоносних горизонтів четвертинних відкладів [1, 3]

1 — військові аеродроми, на території яких проведені еколого-геологічні дослідження; поширення ґрунтових вод в: 2 — алювіальних, озерно-льодовикових і флювіогляціальних надморенних та підморенних відкладах льодовикової області, 3 — алювіальних, флювіогляціальних і озерно-льодовикових відкладах льодовикової області, 4 — алювіальних, озерно-льодовикових і флювіогляціальних надморенних та підморенних відкладах льодовикової області, 5 — алювіальних, флювіогляціальних відкладах прильодовикової області, 6 — делювіально-пролювіальних і алювіальних четвертинних і пліоценових відкладах, 7 — еолово-делювіальних відкладах, 8 — алювіально-морських і лиманно-морських відкладах

ми як прийом, зберігання, транспортування, видача, на військових аеродромах обладнується комплекс паливних об'єктів, які є основними джерелами забруднення ГС нафтопродуктами. Виходячи з досвіду проведених досліджень [5], в структурі аеродромів можна виділити такі паливні об'єкти:

- склади зберігання паливно-мастильних матеріалів (ПММ);
- розвантажувальна залізнична рампа (-и) нафтопродуктів;
- центрально-заправочна станція (ЦЗС) або центр заправки паливом (ЦЗП);
- система трубопроводів, що з'єднує склади ПММ, ЦЗС (ЦЗП) в межах аеродрому та резервуари в межах складів.

Типова схема розміщення паливних об'єктів на території аеродромів показана на рис. 3. В межах військових аеродромів, як правило, розташовані два-три склади ПММ, до одного з яких підходить залізнична гілка та на ділянці якого

обладнана залізнична рампа розвантаження нафтопродуктів. Перекачування нафтопродуктів по складу та за його межі здійснюється по трубопроводах насосною станцією, що, як правило, розміщується в центральній частині складу. Резервуарний парк складів ПММ представлений стаціонарними напівзаглибленими резервуарами місткістю від 400 до 1000 м³ та горизонтальними резервуарами ємністю від 2 до 100 м³, що встановлюються на поверхні або заглиблюються. Загальний об'єм резервуарного парку складів ПММ здебільшого становить від 4 до 10 тис. м³. Мережею трубопроводів такий склад з'єднаний з іншим (-и) складом (ами) ПММ та із ЦЗС чи ЦЗТ. Площа складів ПММ військових аеродромів здебільшого становить 4–8 га, або близько 1% загальної площі аеродрому.

ЦЗС та ЦЗП розташовуються в районі злітно-посадочної смуги і являють собою групу із декількох горизонтальних напівзаглиблених чи

ТИПАЦІЯ УМОВ ФОРМУВАННЯ ОСЕРЕДКІВ НАФТОХІМІЧНОГО ЗАБРУДНЕННЯ...

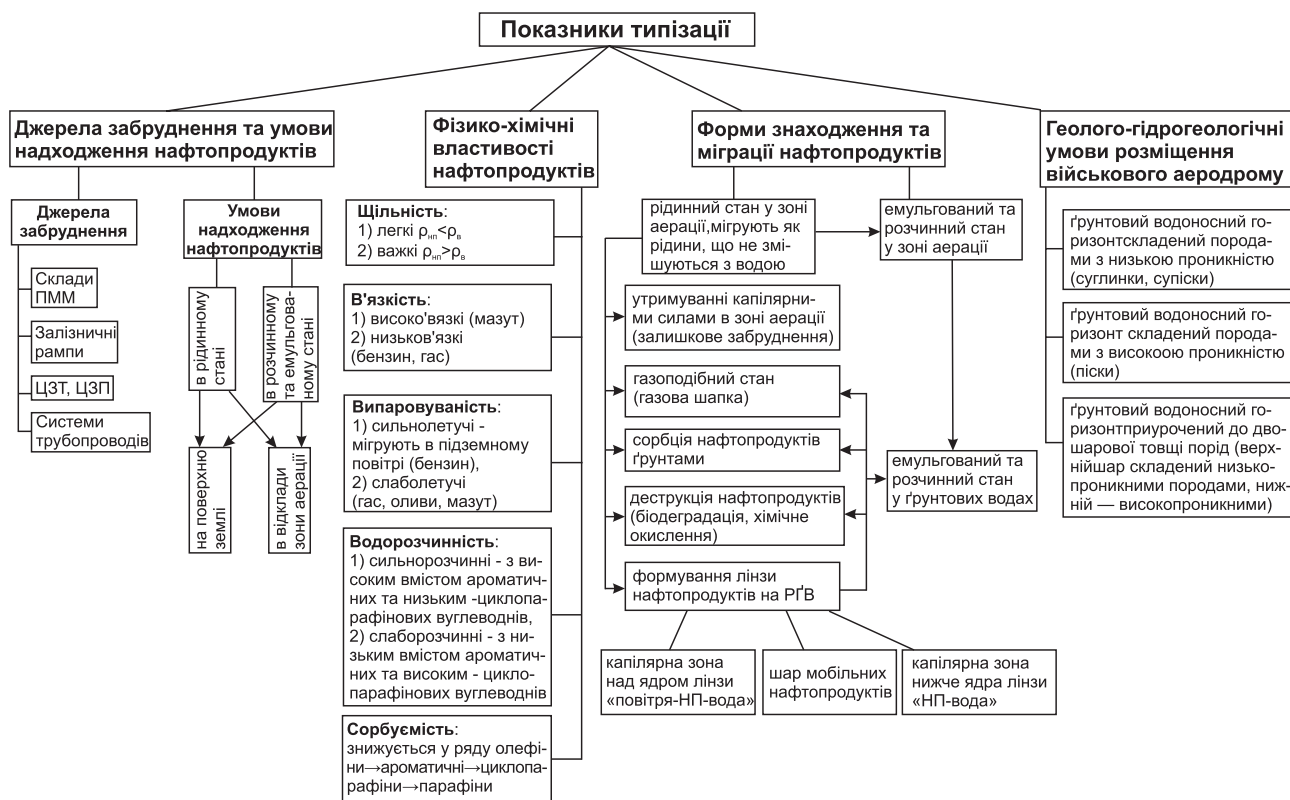


Рис. 2. Схема типізації умов формування осередків нафтохімічного забруднення на військових аеродромах

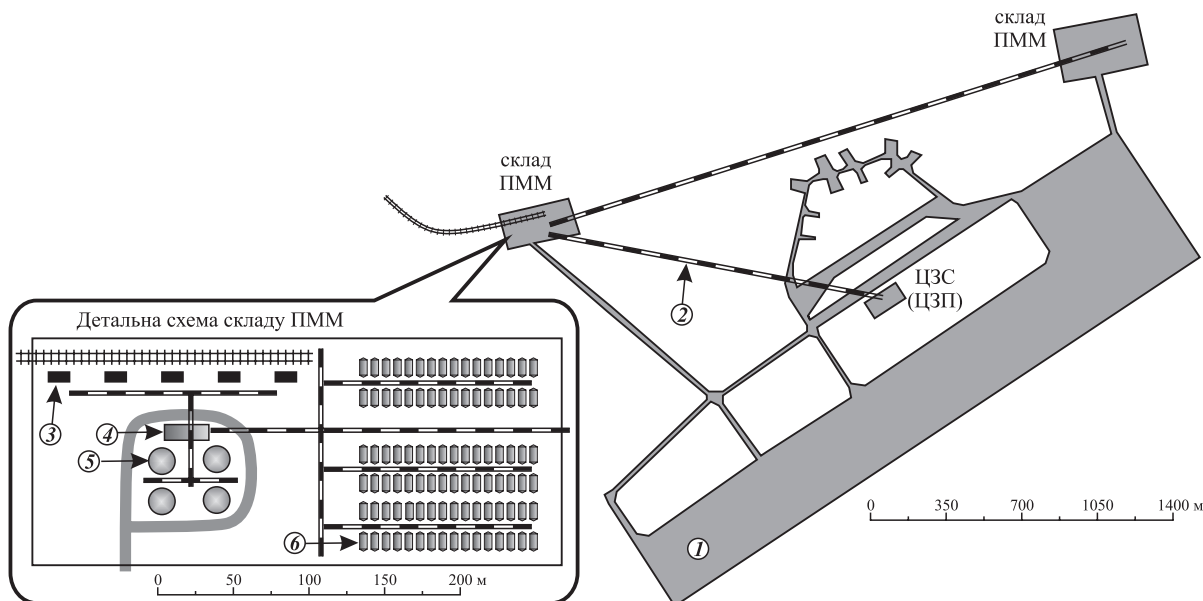


Рис. 3 Типова схема розміщення паливних об'єктів військового аеродрому

1 — літньо-посадочна смуга та рульові доріжки; 2 — лінії трубопроводів; 3 — розвантажувальна залізнична рампа нафтопродуктів; 4 — насосна станція; 5 — стаціонарні заглиблені резервуари; 6 — наземні горизонтальні резервуари

наземних резервуарів ємністю від 25 до 60 м³, що з'єднані з заправочними колонками, які розташовуються на рульових доріжках.

Трубопроводи, що з'єднують паливні об'єкти аеродрому, як правило, наземні, лише в окремих випадках підземні, представлені сталевими трубами діаметром 100, 150 мм, що проходять

декількома паралельними нитками. Відстані між складами ПММ та ЦЗС чи ЦЗТ здебільшого не перевищують 2–3 км.

Аналіз інфраструктури військових аеродромів показує, що найбільш небезпечними об'єктами-забруднювачами ГС нафтопродуктами є склади ПММ. На їх території здійснюються

основні операції з нафтопродуктами: розвантаження, зберігання, видача, що призводять до їх втрат. Також можливі втрати нафтопродуктів на ділянці розміщення ЦЗС (ЦЗП), але порівняно зі складами ПММ вони характеризуються значно меншим резервуарним парком і обігом нафтопродуктів та становлять меншу загрозу для навколишнього середовища. Джерелами забруднення також можуть виступати траси трубопроводів, що зазнали аварійних розривів. Надходять нафтопродукти до ГС, як правило, у рідинному стані на поверхню землі чи під поверхнею (на глибині до 3–5 м) у разі втрат із заглиблених об'єктів. Також потрапляють нафтопродукти до ГС у розчиненому та емульгованому стані внаслідок надходження до зони аерації забруднених інфільтраційних вод.

Досвід проведених еколого-геологічних досліджень свідчить, що основні втрати нафтопродуктів на території військових аеродромів відбувалися в період їх найбільш активної експлуатації, який припадає на 50–80-ті роки минулого століття. Цей період характерний значними об'ємами використання авіаційних палив, що сягали десяти та більше ємностей резервуарного парку аеродромів на рік. Жваві обerti нафтопродуктів разом зі специфікою діяльності військових аеродромів, зокрема нерівномірністю потреб у використанні нафтопродуктів протягом року, піковими навантаженнями на склади ПММ, сезонною зміною авіаційних палив (літнє — зимове), призводили до їх систематичних та аварійних втрат. Проходженню процесів забруднення та накопиченню нафтопродуктів у ГС сприяла відсутність контролю за станом навколишнього середовища на території військових об'єктів. Лише в 90-х роках ХХ ст., коли розпочалися перші дослідження екологічного стану територій військових об'єктів, були виявлені осередки нафтохімічного забруднення ГС та розпочалось формування проблеми нафтохімічного забруднення територій військових аеродромів України.

Фізико-хімічні властивості та форми надходження і міграції нафтопродуктів у ГС. Спільною особливістю нафтопродуктів та основною їх відмінністю від інших забруднювачів є те, що, потрапляючи у ГС у рідинному стані, вони мігрують як рідини, які не змішуються з водою. Надходячи у зону аерації, нафтопродукти, як правило, являють собою незмочувану рідину у трифазній системі «вода — нафтопродукти — повітря», змочування якими скелета ґрунту

відбувається в зазначеному порядку. Відповідно, на контакті нафтопродуктів та води діє поверхневий натяг (σ_{ow}), що асоціюється з результирующим перепадом тисків (P_{ow}) нафтопродуктів (P_o) та води (P_w). Аналогічно капілярному тиску на контакті води та повітря, P_{ow} описують формулою Лапласа [4, 7] для однорідних ґрунтів з радіусом пор r_n :

$$P_{ow} = P_o - P_w = \frac{2\sigma_{ow} \cos \varphi}{r_n}, \quad (1)$$

де σ_{ow} — натяг поверхні поділу «нафтопродукт—вода»; φ — кут змочування.

Для проникнення у водонасичену частину пористого середовища нафтопродукту необхідно подолати пороговий тиск, якому еквівалентна п'єзометрична висота:

$$h_{min} = \frac{2\sigma_{ow} \cos \varphi}{\rho_w g r_n}, \quad (2)$$

де ρ_w — щільність води; g — гравітаційне прискорення.

Звідси випливає, що зони ґрунтів з малими значеннями r_n можуть слугувати капілярними бар'єрами для нафтопродуктів.

На міграцію втрачених нафтопродуктів у ГС впливають фізичні та фізико-хімічні властивості: щільність, температура кипіння, в'язкість, водорозчинність, які залежать від вуглеводневого складу нафтопродуктів [4]. Авіаційний гас, як і більшість інших товарних нафтопродуктів, за винятком важких мазут та деяких мастильних олив, має щільність меншу (0,775–0,85 г/см³) за щільність води. Температура кипіння характеризує здатність нафтопродуктів до випаровування та утворення у зоні аерації газових ореолів. Для авіаційного гасу вона знаходиться у межах 130–300°C, що значно вище, ніж така для бензинів, для яких вона становить 30–210°C. В'язкість рідких нафтопродуктів, за винятком бензину, більша за в'язкість води, що зумовлює їх здатність до менш повільного просування у пористому середовищі порівняно з водою. Для втраченого авіаційного гасу на ділянках аеродромів у містах Узин та Миколаїв величина кінематичної в'язкості становить 1,42 та 1,37 сСт, відповідно. Незважаючи на те, що нафтопродукти та вода є рідинами, які не змішуються, деякі частки нафтопродуктів надходять у воду внаслідок розчинення. Хоча по-

казники розчинності для більшості нафтопродуктів, у тому числі й авіаційного гасу, незначні (як правило, становлять десятки мг/дм³), вони істотно перевищують показники їх гранично допустимих концентрацій у природних водах. Як наслідок, формуються значні по площі зони забруднення ґрунтових вод розчиненими нафтопродуктами. Знаходячись у ГС, нафтопродукти деякою мірою сорбуються відкладами, зазнають руйнування внаслідок хімічного окислення та біодеградації [4, 6, 7].

В результаті впливу наведених факторів нафтопродукти, мігруючи крізь зону аерації, формують залишкове забруднення у вигляді нерівномірних дискретних включень, сорбованих ґрунтом нафтопродуктів, так званої «газової шапки», сформованої в результаті випаровування нафтопродуктів, та забруднення порової вологи розчиненими нафтопродуктами. Здебільшого забруднення відкладів зони аерації формується безпосередньо під джерелом втрат нафтопродуктів.

При достатньому надходженні нафтопродуктів до ГС вони досягають водонасиченої зони, яка слугує для нафтопродуктів рідинним упором. В результаті на поверхні ґрунтових вод формується шар нафтопродуктів з тиском більшим за атмосферний (шар мобільних нафтопродуктів). У такому випадку осередок забруднення прийнято називати лінзою нафтопродуктів, яка за В. М. Гольдбергом [4], є «ядром і основною частиною НП-забруднення».

Схематично у лінзі нафтопродуктів виділяють такі зони [7]: ядро лінзи — зону з гравітаційними нафтопродуктами, здатними припливати у свердловину (мобільні нафтопродукти); капілярну зону над ядром лінзи, де формується трифазна система «вода — нафтопродукти — повітря»; капілярну зону нижче ядра лінзи, в якій присутні нафтопродукти та вода. Ядро лінзи, на відміну від водонесних горизонтів, не є зоною повного насичення, а характеризується змішаною насиченістю порового простору водою та нафтопродуктами. Співвідношення вмісту рідин залежить від гідрофізичних властивостей порід, властивостей нафтопродуктів та потужності їх шару у відкладах. За проведеними розрахунками, вміст нафтопродуктів у ядрі лінзи на території військового аеродрому у м. Миколаїв, що сформована у важких суглинках, становить від 5 до 7% об'єму відкладів при загальній пористості 40% [2].

Потужність шару мобільних нафтопродуктів

залежно від поєднання гідрогеологічних умов з інтенсивністю та тривалістю надходжень нафтопродуктів досягає від кількох сантиметрів до кількох метрів. Площа сформованих лінз нафтопродуктів на території військових аеродромів досягає 10–30 га [5].

Геолого-гідрогеологічні умови розташування військових аеродромів. Аналіз геолого-гідрогеологічних умов розташування військових аеродромів дозволяє зробити певні висновки про формування осередків забруднення ГС нафтопродуктами. Військові аеродроми розміщені в межах різних гідрогеологічних районів України. Проте загальною особливістю формування осередків нафтохімічного забруднення є їх приуроченість до першого від поверхні безнапірного (ґрунтового) водонесного горизонту та переважне розташування аеродромів на рівнинних водороздільних ділянках. При цьому визначальну роль у формуванні осередків забруднення відіграють умови розповсюдження ґрунтового водонесного горизонту.

Майже на всій території України ґрунтові води приурочені до четвертинних відкладів. Виняток становлять окремі ділянки, де четвертинні відклади відсутні або обезводнені. Картохема поширення ґрунтових вод четвертинних відкладів наведена на рис. 1. Згідно з приуроченістю ґрунтових вод до різних стратиграфічних комплексів виділяють такі водонесні горизонти [1, 3]:

- в алювіальних і місцями болотних відкладах річкових заплав;
- в алювіальних, флювіогляціальних і озерно-льодовикових відкладах льодовикової області;
- в алювіальних, озерно-льодовикових і флювіогляціальних надморенних та підморенних відкладах льодовикової області;
- в алювіальних, флювіогляціальних відкладах прильодовикової області;
- у делювіально-пролювіальних і алювіальних четвертинних і пліоценових відкладах;
- в еолово-делювіальних відкладах;
- в алювіально-морських і лиманно-морських відкладах.

Порівняльний аналіз геолого-гідрогеологічних умов, що визначають особливості міграції нафтопродуктів у ГС, дозволяє виділити основні типові гідрогеологічні схеми умов формування нафтохімічного забруднення на території військових аеродромів (рис. 4):

1. В ґрунтовому водонесному горизонті,

складеному породами з низькою проникністю (суглинки, супіски) (рис. 4, а). Схема характерна для територій розповсюдження ґрунтового водоносного горизонту в еолово-делювіальних відкладах поза зоною зледеніння та для деяких районів у межах дії льодовика, де ґрунтові води сформовані в моренних відкладах чи у еолово-делювіальних відкладах, що перекривають комплекс льодовикових відкладів. Зустрічається на більшості досліджених ділянок забруднення внаслідок широкого розвитку еолово-делювіальних відкладів на вододільних ділянках, на яких, як правило, розташовані військові аеродроми. Відклади, що містять ґрунтові води, представлені здебільшого лесоподібними суглинками, супісками. Незначна проникність відкладів обумовлює повільні швидкості пересування нафтопродуктів, що сприяє формуванню лінз нафтопродуктів значної потужності (до 3–5 м, а інколи і більше). Залежно від нахилу поверхні ґрунтових вод та проникності вміщуючи порід лінза нафтопродуктів може знаходитись як безпосередньо під джерелом забруднення, так і зміщуватися вниз за потоком ґрунтових вод на достатньо значні

відстані (до 1 км) та досягати місць природного розвантаження ґрунтових вод у поверхневі водотоки та водойми. Прикладом даної схеми формування забруднення є військові аеродроми у містах Джанкою, Миколаїв, Прилуки, Узин, де лінзи нафтопродуктів знаходяться в районі складів ПММ, які виступають джерелами їх формування, та у містах Умань, Луцьк, Полтава, с.м.т. Озерне, де лінзи нафтопродуктів зміщені в напрямку зниження поверхні ґрунтових вод та дрениються поверхневими водоймами і водотоками.

2. В ґрунтовому водоносному горизонті, складеному породами з відносно високою проникністю (піски) (рис. 4, б). Схема характерна для територій поширення ґрунтових вод в алювіальних відкладах річкових заплав, алювіальних та флювіогляціальних відкладах льодовикової та прильодовикової областей. Хоча нами не досліджувались військові аеродроми з подібною гідрогеологічною схемою, схема є типовою для значної частини території України та зустрічається на інших об'єктах (база зберігання пального біля с.м.т. Гоголеве Полтавської області). Наявність військових аеродромів на

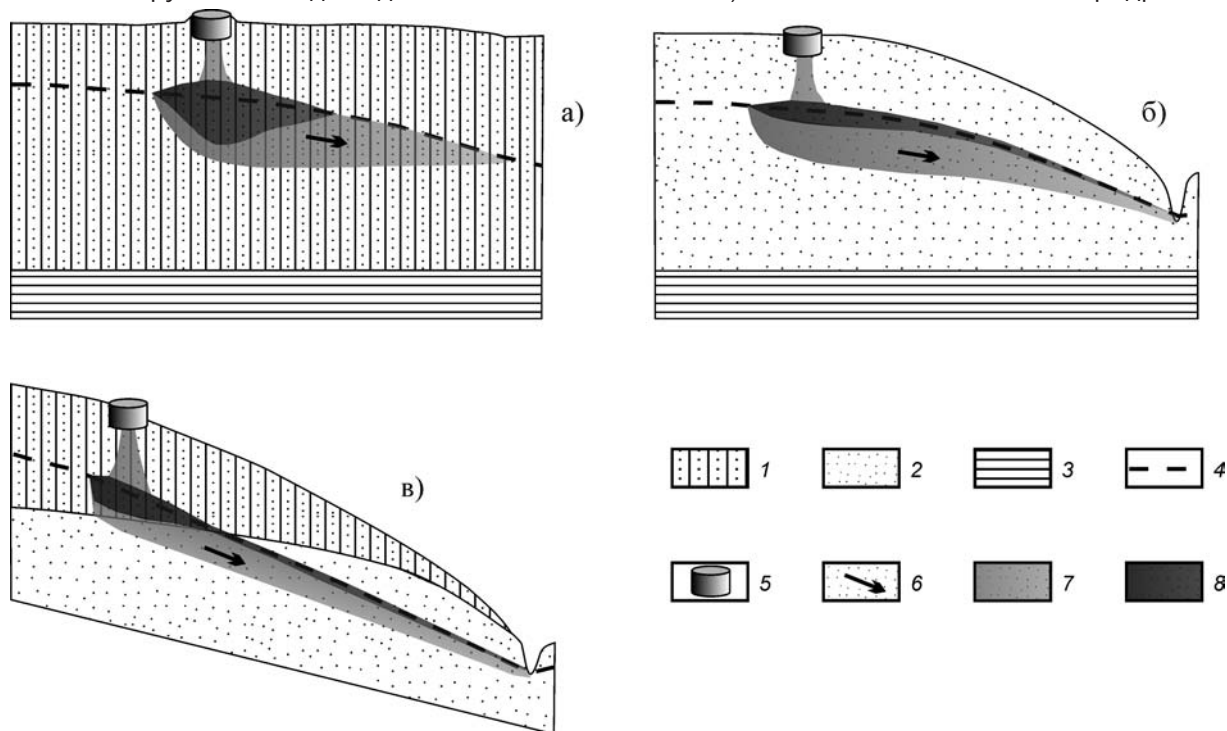


Рис. 4. Основні типові гідрогеологічні схеми умов формування забруднення нафтопродуктами на території військових аеродромів

а — забруднення в ґрунтовому водоносному горизонті складеному породами з низькою проникністю (суглинки, супіски); б — забруднення в ґрунтовому водоносному горизонті складеному породами з високою проникністю (піски, галечник); в — забруднення в ґрунтовому водоносному горизонті, приуроченому до двохшарової товщі порід (верхній шар — низькопроникний, нижній — високопроникний)

1 — суглинки, супіски; 2 — піски; 3 — глини; 4 — рівень ґрунтових вод; 5 — джерело забруднення; 6 — напрямок руху ґрунтових вод та лінзи нафтопродуктів; 7 — зона забруднення ГС нафтопродуктами; 8 — шар мобільних нафтопродуктів.

площах з даною схемою поширення ґрунтового водоносного горизонту свідчить про необхідність її розгляду. Відклади, що вміщують ґрунтового води, представлені пісками, галькою, галечником. Завдяки високій проникності відкладів нафтопродукти за відносно короткий час формують лінзу, як правило, незначної потужності (до 1 м), а в разі невеликих надходжень формується плівка нафтопродуктів. Розповсюдження мобільних нафтопродуктів можливе на значній відстані — до декількох кілометрів.

3. В ґрунтовому водоносному горизонті, приуроченому до двохшарової товщі порід (верхній шар складений супіщано-суглинистими відкладами, нижній — піщаними, піщано-галечниковими) (рис. 4, в). Схема характерна для територій, що зазнала зледеніння, в межах поширення морени. В результаті надходжень нафтопродуктів формується лінза у верхньому слабопроникному шарі. Зміщуючись в напрямку потоку ґрунтових вод, лінза переходить у нижній більш високопроникний шар відкладів. При такій схемі формування забруднення потужність шару нафтопродуктів може досягати декількох метрів у низькопровідному шарі та значно зменшується при переході у нижній більш високопроникний шар; при цьому швидкість переміщення мобільних нафтопродуктів збільшується. Прикладом схеми є забруднення військового аеродрому у м. Біла Церква. На ділянці складу ПММ зафіксована лінза нафтопродуктів у важких суглинках дніпровської морени потужністю понад 1 м. Вниз за потоком ґрунтових вод шар нафтопродуктів переходить у підморенні піски, а його потужність зменшується до декількох сантиметрів. У результаті міграції у піщаних відкладах нафтопродукти досягають долини р. Рось, де на відстані близько 1 км від джерела забруднення відбувається їх дренажування.

ВИСНОВКИ

До території військових аеродромів України приурочені одні з найбільших осередків нафтохімічного забруднення ГС. Їх формування відбувалося в основному за рахунок втрат авіаційного ґасу в 50–80-х роках минулого століття. Основними джерелами забруднення виступали склади ПММ, на відносно невеликій площі яких концентрувалися значні обертні нафтопродук-

тів. Залежно від кількості складів ПММ на військових аеродромах сформовані декілька (як правило, два-три) крупних осередків забруднення. Здебільшого вони характеризуються наявністю шару мобільних нафтопродуктів, що сформований на рівні ґрунтових вод (лінзою нафтопродуктів). Залежно від умов залягання ґрунтового водоносного горизонту виділені три типові гідрогеологічні схеми формування нафтохімічного забруднення. Схеми характерні для територій поширення ґрунтових вод у певних стратиграфічних комплексах і можуть бути використані для районування території України за умовами формування осередків нафтохімічного забруднення.

Проведена типізація дозволяє попередньо оцінити умови формування забруднення, його масштаби, напрямки та форми розповсюдження в ГС.

1. *Варава К.М., Вовк І.В., Негода Г.М.* Підземні води четвертинних відкладів платформеної частини України. — К., 1973. — 136 с.
2. *Гаврилюк Р.Б., Загородній Ю.В.* Вивчення фільтраційних параметрів лінз легких нафтопродуктів // Матеріали IV наук.-практ. конф., 27-31 березня 2006 р., с. Синяк Закарпатської області. — К., НПЦ «Екологія Наука Техніка», 2006. — С. 86-89.
3. *Гидрогеология СССР. Т. 5. Украинская ССР.* — М., Недра, 1971. — 614 с.
4. *Гольдберг В.М., Зверев В.П., Арбузов А.И.* Техногенное загрязнение природных вод углеводородами и его экологические последствия. — М.: Наука, 2001. — 125 с.
5. *Матеріали еколого-геологічних обстежень районів розташування військових аеродромів міст Прилуки, Біла Церква, Узин, Полтава, Миколаїв, Луцьк, Джанкой, с.м.т. Озерне: Звіт / ІГН НАН України.* — К., 2000-2008 рр.
6. *Мироненко В.А., Петров Н.С.* Загрязнение подземных вод углеводородами // Изв. РАН. Геоэкология — 1995. — № 1 — С. 3-27.
7. *Огняник Н.С., Парамонова Н.К., Брикс А.Л. и др.* Основы изучения загрязнения геологической среды легкими нефтепродуктами. — Киев: [А.П.Н.], 2006. — 278 с.

¹ — Інститут геологічних наук НАН України, м. Київ
E-mail: gavrilyuk_r@mail.ru, yzaborodniy@list.ru

² — Київський національний університет імені Тараса Шевченка, м. Київ

Рецензент — док. г.-м. наук М.С. Огняник