УДК 550.382.3
DOI: http://doi.org/10.17721/1728-2713.92.06

О. Меньшов, д-р геол. наук, ст. наук. співроб.,
E-mail: menshov.o@ukr.net;
Київський національний університет імені Тараса Шевченка,
ННІ "Інститут геології", вул. Васильківська, 90, м. Київ, 03022, Україна

РОЛЬ МАГНІТНИХ МЕТОДІВ ПРИ ДОСЛІДЖЕННІ ТЕРИТОРІЙ УЩІЛЬНЕНИХ ПОРІД-КОЛЕКТОРІВ НАФТИ І ГАЗУ: ПОСТАНОВКА ЗАВДАННЯ

(Представлено членом редакційної колегії д-ром геол. наук, проф. С.А. Вижвою)

Одним із можливих шляхів підвищення видобутку вуглеводневої сировини власного походження в Україні є залучення джерел ущільнених колекторів нафти і газу. Актуальність цього напряму для країни підтверджується низкою рішень РНБО, розпорядженнями Кабінету Міністрів України та пріоритетними напрямами програми "Горизонт Європа". Магнітні методи дослідження верхньої частини геологічного розрізу та ґрунтового покриву ореолів розсіювання вуглеводнів є швидкісною, енергозберігаючою та низьковартісною технологією, для якої не має значення генезис покладу: нетрадиційного чи класичного типу. В основі високої інформативності магнітометрії при пошуках нафти та газу лежить припущення про міграцію вуглеводнів (мікропросочування). Даний факт підтверджується сейсмічними, радіоактивними та геохімічними методами. Як приклад вивчення покладів вуглеводнів досліджено територію Балабанівка Богодухівського району Харківської області. На даному етапі для прикладу аналізується лише частина рекогносцирувальних матеріалів. Ґрунти представлені чорноземами глибокими середньогумусними. Досліджено 29 зразків, що відбиралися в межах ареалів впливу свердловин Недільна-1 (продуктивна) та Недільна-2 (непродуктивна). У лабораторних умовах визначено питому магнітну сприйнятливість (χ, МС, MS) за допомогою каппамістка KLY (Agico, Чехія) та її частотну залежність χfd на MS2B (Bartington, UK). Визначено вміст гексану в лабораторії ІГН НАН України. Карти побудовано з використанням методу інтерполяції IDW у середовищі ArcGIS. У західній частині відзначаються околи збігу підвищених значень МС і понижених значень вмісту гексану. У зоні продуктивної свердловини Недільна-1 зафіксовано підвищені значення МС, а поруч із непродуктивною свердловиною Недільна-2 значення МС є середніми за величиною. Для вмісту гексану біля обох свердловин фіксуються максимуми. Кореляційний аналіз показників МС і вмісту гексану в ґрунтах показав наявність середнього від'ємного зв'язку: R = –0,4 (n = 28, p > 0,05, r ≥ 0,3233). Вуглеводні та продукти їхнього окиснення мають значну міграційну рухливість, що призводить до формування аутогенних магнітних мінералів від зони покладу до ґрунтового покриву, що виявляється у вигляді аномальних значень магнітної сприйнятливості, залишкової намагніченості та інших магнітних параметрів.

Ключові слова: ущільнені породи, нафта, газ, вуглеводні, грунти, магнетизм наколишнього середовища, магнітна сприйнятливість, намагніченість.

Вступ. На сучасному рівні розвитку економіки одним із найгостріших питань залишається доволі незначний видобуток нафти і газу в Україні, що веде до значущих фінансових затрат на імпорт енергоносіїв. Дана ситуація розглядається у контексті національної безпеки і потребує прийняття невідкладних управлінських рішень, в основу яких покладаються дані галузевих організацій та аудитів. Одним із можливих шляхів підвищення видобутку сировини власного походження є маловивчені джерела ущільнених колекторів нафти і газу. Основою управлінських рішень на рівні держави є Загальнодержавна програма (https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/3268-17#n14), низка рішень РНБО України (https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/n0009525-15#n2, https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/874/2019#Text) і діяльність новоствореної Ради експертів з енергетичної безпеки при РНБО України (29.05.20). Зокрема, узгоджено необхідність пошуку відновлювальних джерел енергії та альтернативних видів палива.

Наукові розробки щодо пошуку ефективних алгоритмів розвідки покладів вуглеводнів колекторів нетрадиційного типу вже розпочато, деякі їхні результати в контексті геофізичних вишукувань відображено у звітах, монографіях і статтях (*Вижва та ін., 2017*; *Карпенко та ін., 2017; Михайлов та ін., 2014, Меньшов та Сухорада, 2017*). Зазначені дослідження проводилися згідно із Законом України "Про пріоритетні напрями розвитку науки і техніки", його статті 3 "Пріоритетні напрями розвитку науки і техніки на період до 2020 року". Урахування міжнародного досвіду та побудова стратегії дослідження реалізується і відповідає пріоритетам програми Європейського Союзу (ЄС) "Горизонт 2020", а саме: фундаментальні наукові дослідження з найбільш важливих проблем розвитку науково-технічного потенціалу для забезпечення конкурентоспроможності України, сталого розвитку, енергетика та енергоефективність, раціональне природокористування. Крім того, 1 січня 2021 р. розпочинається одна із найбільш потужних наукових та інноваційних грантових програм ЄС Horizon Europe (Горизонт Європа) як продовження "Горизонт 2020". Структура програми включає Блок 2 "Глобальні виклики та європейська промислова конкурентоспроможність", який містить Кластер "Продовольство, біоекономіка, природні ресурси, сільське господарство та навколишнє середовище". Також у рамках "Горизонт Європа" однією із визначених місій є "Здорові ґрунти та продукти харчування", у якій відзначається, що на якість ґрунтів надзвичайно сильно впливають зміни клімату, ерозії. Приблизно 33 % ґрунтового покриву деградувало, зокрема в ЄС ерозія зачіпає 25 % сільськогосподарських угідь. Нижче буде показано, що видобуток нетрадиційних вуглеводнів тісно пов'язується з деградацією продуктивних ґрунтів.

Також слід зауважити, що розвиток економіки України та її паливно-енергетичного комплексу вимагає практичного впровадження нових енергозберігаючих, високоефективних і низьковартісних технологій. Зокрема, розпорядженням Кабінету Міністрів України № 526-р від 10 липня 2019 р. "Про схвалення Стратегії розвитку сфери інноваційної діяльності на період до 2030 року" ставиться завдання створення знань і результатів наукових досліджень, переходу до високотехнологічної інноваційної економіки, упровадження новітніх технологій. Таким критеріям відповідають магнітні дослідження ґрунтів з метою пошуку та розвідки вуглеводнів. В основу застосування магнетизму ґрунтів у нафтогазовій сфері покладається їхня унікальна здатність нести інформацію як про глибинні геологічні процеси, так і про приповерхневу антропогенну діяльність (*Gadirov et al., 2018; Menshov et al., 2015*). Фізико-хімічною основою застосування методу є факт міграції вуглеводневого флюїду від власне покладу до верхніх шарів геологічного розрізу, включаючи ґрунтовий покрив. На всьому шляху міграції відбувається зміна та формування нових магнітних мінералів (аутогенні магнітні мінерали). За рахунок даного явища ґрунти набувають нових або змінених ма-

© Меньшов О., 2021

гнітних властивостей, які можна ідентифікувати у польових і лабораторних умовах. У процесі комплексної інтерпретації з іншими геофізичними та геохімічними методами отримується нова інформація щодо можливих ареалів залягання нафти і газу. Крім того, інформація про магнітні властивості ґрунтів дозволяє оцінити забруднення і вплив на агрономічні властивості земель (*Меньшов, 2016*) і палеогеографічні структури (*Ivanik et al., 2019*), що особливо актуальним є при роботах на територіях залягання колекторів нетрадиційного типу, а отже, і при використанні процесу гідророзриву.

Визначальним є факт унікальності магнітного методу, оскільки для його застосування не має значення власне генезис покладу (родовище нетрадиційного типу чи класичне). Отже, магнітні методи при дослідженні територій залягання ущільнених колекторів нафти і газу, ґрунтового покриву та верхньої частини геологічного розрізу можуть використовувати фізико-хімічні основи та існуючі наробки щодо класичних покладів нафти і газу.

Стан проблеми та постановка завдання. Традиційні геофізичні методи, такі як сейсмометрія, направлені на пошук пасток у глибокозалягаючих складних структурах. З метою заощадження значних коштів і часу підтверджено актуальність дослідження процесів мікропросочування та міграції вуглеводневого флюїду у верхні частини геологічного розрізу та ґрунтовий покрив. Розробка чіткого алгоритму застосування даного методу може найближчим часом кардинально змінити саму парадигму розвідки вуглеводнів, більше зосереджуючись на пошуку нафтових родовищ на основі відстеження фізико-хімічних змін приповерхневих природних об'єктів. Довготривала вертикальна міграція флюїду призводить до утворення аутогенних феромагнітних мінералів і модифікації концентрацій радіоактивних елементів у ґрунті: зменшення вмісту калію та збільшення концентрації урану відносно вмісту торію (*Senouci and Allek, 2020*). Зокрема, для регіону Хассі-Рімель (Алжир) було проведено спектрометрію гамма-випромінювання у повітрі та магнітні аналізи з метою виявлення коливань концентрації радіоактивних елементів і низькоамплітудних магнітних аномалій, що спричинені процесами просочування вуглеводнів. Більшість зон покладів було підтверджено як за магнітними, так і за радіометричними аномаліями. Результати було завірено бурінням свердловин. Ефективним є комплексування магнітних вишукувань з аналізом електронно-парамагнітного резонансу (ЕПР). Наприклад, для продуктивних пластів Вака Муерта (Південна Аргентина) було проведено вимірювання зразків керна з нафтової свердловини (*Costanzo-Álvarez et al., 2019*). Метою даної роботи було визначення впливу діагенезу, пов'язаного з вуглеводнями, на магнітні властивості горючих сланців. Дані результати особливо актуальні в контексті наших досліджень, присвячених саме нетрадиційним родовищам вуглеводнів. Метод ЕПР застосовувався для вимірювання мінімальних концентрацій вільних радикалів органічних речовин (OMFR), Fe_3 + та Mn_2 +. OMFR, отримані в результаті термічної деградації керогену, впливали на первинні оксиди та сульфіди заліза через дві діагенетичні стадії. Перша стадія могла частково розчинити ці мінерали, що веде до зменшення як χ, так і залишкової намагніченості. Другий діагенетичний етап спричинив часткову заміну фрамбоїдного піриту автентичним піротином, що підтверджено за допомогою скануючої електронної мікроскопії (SEM) та аналізом термомагнітних кривих. Результати вивчення гамма-випромінювання, електричного опору та нейтронної пористості виявляють відмінні риси, що свідчить про збільшення вмісту вуглеводнів. Індуковані вуглеводнями магнітні аномалії в горючих сланцях зумовлені їхніми петрофізичними властивостями.

Серед найбільш сучасних результатів, присвячених дослідженню взаємозв'язку між міграцією вуглеводнів і магнітними властивостями приповерхневих відкладень, відзначимо роботу (*Tresnak, 2017*). Зразки відбиралися над вуглеводневим силурським рифовим поясом вершини Мічиганського басейну. Досліджували за допомогою декількох магнітних методів та оптичної мікроскопії. Підвищені значення пов'язані з новоутвореним магнетитом у формі сфероїдальних зерен, що утворюються внаслідок вуглеводневого діагенезу, тоді як надзвичайно низька магнітна сприйнятливість може відображати розчинення гематиту. Спостерігалася висока кореляція між підвищеною магнітною сприйнятливістю та резервуарами газу в групі "Девонська траверса". Отримані результати вказують на те, що метод магнітної сприйнятливості має значні перспективи для розвідки вуглеводнів, але відповідні процеси магнітно-мінерального діагенезу вимагають додаткових досліджень. Ще одним прикладом є вивчення магнітної сприйнятливості ґрунту, що зазнав впливу вуглеводнів, для нафтового родовища Воноколо, Східна Ява (*Ulfah et al., 2017*). Позитивна кореляція між магнітними параметрами та вмістом вуглеводнів може сприяти як оптимізації пошукових робіт, так і розробці неруйнівних та ефективних магнітних методів виявлення розливів нафти в ґрунти, особливо для ремедіації земель колишніх районів розвідки та видобутку вуглеводнів. При цьому варто враховувати й інші інженерно-геологічні фактори, що пов'язані з природоохоронним аспектом розробки родовищ вуглеводнів і супутніх корисних копалин (*Dychkovskyi et al., 2020; Falshtynskyi et al., 2018; Petlovanyi et al., 2019*).

Результати наших попередніх досліджень указують на високу ефективність магнітного методу при дослідженні покладів вуглеводнів у Передкарпатському прогині та зовнішній частині Карпат (*Menshov et al., 2016*). Наші результати підтверджуються роботою (*Sechman et al., 2020*), у якій було оцінено взаємозв'язок між прямими та непрямими поверхневими геохімічними параметрами в межах зовнішніх Карпат. Дослідження включало аналіз молекулярного складу ґрунту, зразків газу, вмісту кальциту, а також вимірювання магнітної сприйнятливості та pH зразків ґрунту. Результати виявили великі коливання концентрацій різних вуглеводневих і невуглеводневих газів, а також дисперсію значення різних непрямих геохімічних індексів, включаючи магнітну сприйнятливість. Комплексна інтерпретація результатів поверхневих геохімічних досліджень (газ, магнітна сприйнятливість, вміст кальциту, pH) дозволяє досліднику краще зрозуміти складність міграції вуглеводнів через ускладнену будову геологічних структур і надає більш детальну інформацію про положення та характер глибинних покладів. В абсолютних цифрових значеннях результати такі. Найбільша варіація виявлена для концентрації метану (від 1,1 до 2100 ppm). Максимальні концентрації алканів C_2-C_5, алканів C_2-C_4 і водню: 10,43 ppm; 0,772 ppm; 0,089 об. % відповідно. Концентрація вуглекислого газу варіювалася від 0,131 до 3,312 об. % Виміряні значення магнітної сприйнятливості варіювали від 3,6 до 21,5 x 10^{-8} $м^3$/кг. Вміст кальциту в аналізованих ґрунтах змінювався від 0,02 до 29,92 мас. %, а значення pH, які вимірювали в отриманих ґрунтових розчинах зразків ґрунтів, становили від 4,5 до 8,3. Робота (*Góra et al., 2019*) спрямована на комплексування методу магнітної сприйнятливості та геохімічних досліджень. На прикладі області Бжесько-Войніч Південно-Східної Польщі було досліджено профіль, розташований на межі двох тектонічних

одиниць: центральної частини Передкарпаття та Зовнішньої частини Карпат. Максимальні концентрації CH_4, алканів C_2-C_5 та алканів C_2-C_4 відображалися у максимумах магнітної сприйнятливості, а загальні тенденції відповідали сейсмічним даним.

Для території України за даними (*Орлюк та Друкаренко, 2018*) установлено, що аналіз магнітної сприйнятливості та густини порід осадового чохла Чернігівського сегмента ДДА, у комплексі з іншими геолого-геофізичними даними, дає змогу розглядати їх як локальні ознаки нафтогазоносності, що доповнюють регіональні прогнозні критерії.

Важливим є комплексування магнітних методів з іншими геофізичними та геопросторовими технологіями. Зокрема, у роботі (*De la Rosa et al., 2020*) супутникові знімки використовувалися для характеристики зон зміни мінеральної речовини в приповерхневих гірських породах під впливом міграції вуглеводнів. Далі було проведено спільну інтерпретацію результатів спектрального аналізу супутникових зображень, магнітних властивостей гірських порід і геохімічних даних: магнітна сприйнятливість χ, ізотермічна залишкова намагніченість IRM, намагніченість насичення SIRM, спектро-радіометричний та рентген-дифракційний аналіз. Отримана комплексна модель дозволила побудувати кореляційні зв'язки між зазначеними параметрами для зон вивітрювання та діагенетичних змін. Диференціація значень у межах однієї дослідної ділянки для ґрунтів і підстеляючих порід указує на різний тип впливу вуглеводнів на ці об'єкти. Значення SIRM та χ відображають підвищення магнітних властивостей на глибинах 0,3 і 1 м, що імовірно пов'язано з наявністю магнетиту, магеміту та/або сульфідів заліза (піротину та грейгіту) саме в ґрунтовому покриві.

Фізико-хімічні основи методу. В основі високої інформативності магнітометрії при пошуках нафти та газу лежить припущення про міграцію вуглеводнів (мікропросочування) (*Liu et al., 2006*). Даний факт підтверджується сейсмічними (*Onanko et al., 2011*), радіоактивними та геохімічними методами. При цьому аномалії магнітної сприйнятливості та інших магнітних параметрів формуються як у залягаючих нижче породах, так і в ґрунтовому покриві за рахунок формування аутогенних (діагенетичних, вторинних) магнітних мінералів.

На даному етапі накопичено матеріал, який підтверджує, що пошуки покладів нафти та газу можуть бути значно інтенсифіковані й здешевлені за рахунок використання магніторозвідки в комбінації з високороздільними магнітними дослідженнями гірських порід і ґрунтів, а також вивченням природи міграції вуглеводнів. При цьому важливою є необхідність зрозуміти механізм новоутворення магнітних мінералів у процесі міграції вуглеводнів. За допомогою геофізичних і геохімічних методів на поверхні фіксуються аномалії відповідних полів і властивостей гірських порід і ґрунтів. Основними складовими цієї моделі є такі фактори:

1. Мікропросочування призводить до формування мікробіологічних аномалій (основа процесу взаємодії вуглеводнів з магнітними мінералами в ґрунтах і породах), фіксуються витоки на поверхню грязьових, сольових і вуглеводневих мікстур.
2. Аутогенні мінералогічні зміни за участю піриту, кальциту, сірки, інших сульфідів та оксидів заліза.
3. Зміни глинистих мінералів.
4. Електрохімічні процеси та формування електрохімічних аномалій.
5. Формування радіоактивних аномалій.
6. Формування біогеохімічних і геоботанічних аномалій.

Слід відмітити, що основна роль у взаємодії вуглеводнів із вмісним середовищем належить бактеріям і мікробам, окисно-відновним процесам, у яких вони беруть участь. За умови довгострокового протікання зазначених процесів міграції вуглеводнів відбувається формування аномальних зон окиснення у приповерхневих геологічних шарах і ґрунтовому покриві територій покладів вуглеводнів. При цьому інформативними є методи дослідження вмісту вуглецю у ґрунтах, електричні методи, радіоактивні, дистанційне зондування, магніторозвідка та дослідження магнетизму гірських порід і ґрунтів. У геологічному розрізі в межах родовищ вуглеводнів звичайно виділяють чотири зони (*Никитский и Глебовской, 1990):*

1. Поклад і колектор.
2. Зона відновлення.
3. Зона окиснення.
4. Зона субвертикальних неоднорідностей.

Модель магнітних змін у геологічному розрізі над покладами нафти і газу наводиться на рис. 1. Основні характеристики даних зон наведено в табл. 1. Зауважимо, що ґрунтовий покрив належить до верхньої зони окиснення. Поряд із процесами, що характерні для зони окиснення підстеляючих гірських порід, у ґрунтах накладаються процеси, пов'язані із ґрунтоутворенням, наявністю гумусу, магнетотактичних ґрунтотвірних бактерій і т. ін.

Магнітні властивості ґрунтів часто є вищими від підстеляючих формацій. Тому слід розбраковувати магнітний сигнал від ґрунтів, що пов'язується з безпосереднім впливом флюїду, та магнітний сигнал, що сформований природним (педогенним) магнетизмом ґрунтів.

Щоб більш глибоко зрозуміти фізико-хімічні процеси, які ведуть до зміни магнітної мінералогії гірських порід і ґрунтів у зоні впливу вуглеводнів, розглянемо їхні основні типи. Більш детально моделі на атомарно-молекулярному рівні описано в (*Menshov et al., 2015; Menshov et al., 2020; Меньшов та ін., 2016*). Існує декілька моделей таких процесів. Перша з моделей запропонована (*Donovan et al., 1979*). Вона включає утворення вторинного діагенетичного магнетиту в процесі міграції вуглеводнів і базується на заміщенні Fe^{3+} з гематиту на Fe^{2+} з магнетиту. Друга модель *(Goldhaber and Reynolds, 1991)* основана на теорії, що аналізує магнітні мінерали сульфідів. Вона припускає, що заміщення піриту відіграє вирішальну роль у формуванні аутогенного новоутвореного магнітного мінералу піротину, який генерує аномалії магнітного поля та змінює магнетизм ґрунтів у присутності покладів вуглеводнів. У наведених вище процесах основну роль відіграють мікробіологічні та термохімічні процеси (*Machel, 2001*). Ще одна модель *(Elmore and Grawford, 1990)*, яка пояснює формування підвищеного ступеня магнетизму нафтогазовмісних осадових порід і ґрунтів, базується на залученні до даних процесів сидериту.

У межах ареалів розсіювання вуглеводнів над їхніми покладами молекули мігрують у вертикальному напрямку до поверхні, що викликає зміни в магнітній мінералогії гірських порід верхньої частини геологічного розрізу та ґрунтовому покриві. Якісна інтерпретація процесів молекулярної міграції нафти і газу може бути проведена на основі термодинамічної теорії дифузії газів і рідин. Згідно з (*Shao et al., 2005*) теорія дифузії описує міграцію молекул вуглеводнів як замкнуту систему. Кількісна різниця фізичних величин спонукає речовини та їхню енергію перерозподілятися до моменту досягнення динамічної рівноваги системи. Резервуари нафти і газу беруться при цьому за джерело вуглеводневої речо-

вини, звідси різниця концентрацій вуглеводнів є надзвичайно високою порівняно із вмісним навколишнім середовищем. Отже, дифузія вуглеводневої речовини матиме місце, якщо навколишнє середовище є замкненою системою. Дана теорія підтверджена на прикладі Західного Китаю, а інформація узгоджується з бурінням серії свердловин.

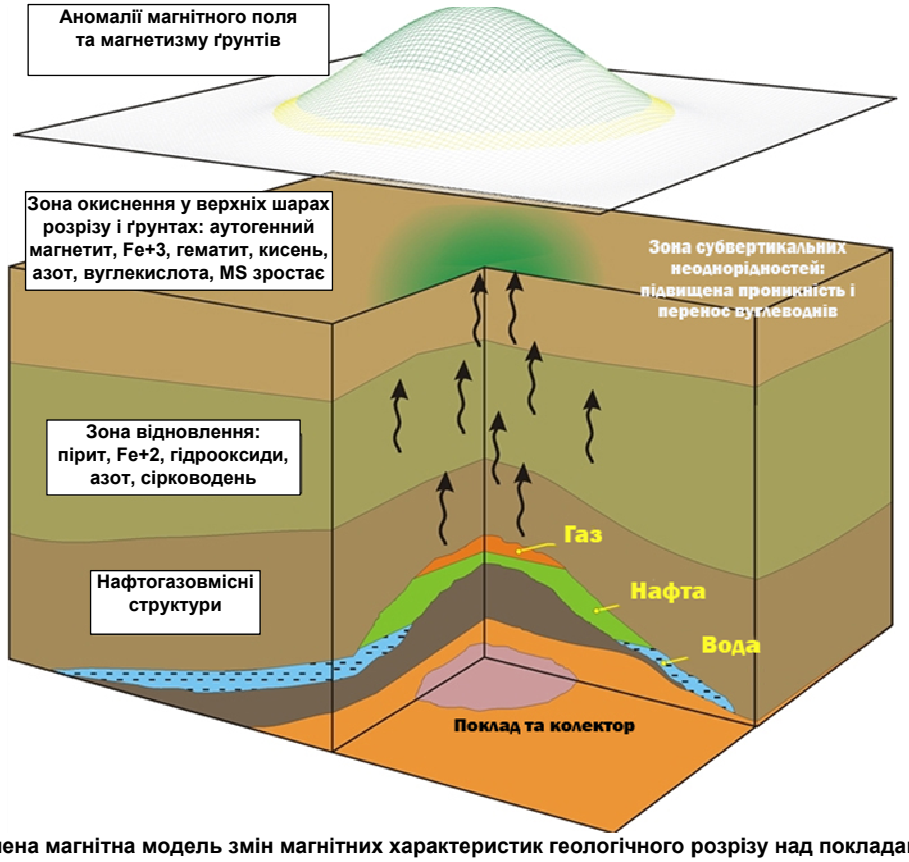

Рис. 1. Узагальнена магнітна модель змін магнітних характеристик геологічного розрізу над покладами вуглеводнів

Таблиця 1

Магнітні мінерали в геологічних горизонтах і ґрунтовому покриві територій покладів вуглеводнів

Частина розрізу	Мінерал	Тип магнетика	Об'ємна магнітна сприйнятливість матеріалу æ
Колектор з покладом	магнетит Fe^{+2} магеміт сидерит хлорити пірит	ферімагнетик ферімагнетик парамагнетик парамагнетик парамагнетик	мінерали: æ≤ 30 × 10^{-6} од. СІ магнітні мінерали: æ= 6 × 10^{-2} од. СІ газ: æ≤ 10 × 10^{-6} од. СІ
Зона відновлення	магеміт гематит ільменіт гетит	ферімагнетик антиферомагнетик антиферомагнетик антиферомагнетик	магнітна сприйнятливість понижується на æ= 400–600 × 10^{-6} од. СІ
Зона окиснення	магнетит Fe^{+3} магеміт гематит ільменіт гетит сидерит піротин	ферімагнетик ферімагнетик антиферомагнетик антиферомагнетик антиферомагнетик парамагнетик ферімагнетик	підвищені значення магнітної сприйнятливості, формування аутогенних магнетиків
Зона субвертикальних неоднорідностей	підвищується неоднорідність магнетизму порід у всьому розрізі	підвищена лужність, понижений окисно-відновний потенціал	висока неоднорідність магнетизму порід, високодисперсні різнознакові магнітні аномалії
Ґрунтовий покрив	**магнетит Fe^{+3}** **магнетит Fe^{+2}** **магеміт** **піротин** **гематит**	**ферімагнетик** **ферімагнетик** **ферімагнетик** **ферімагнетик** **антиферомагнетик**	звичайні ґрунти æ=100–1000 × 10^{-6} од. СІ, насичені вуглеводнями ґрунти æ=100–4500 × 10^{-6} од. СІ

Міграція вуглеводнів залежить від таких факторів, як температура, тиск, pH, Eh, активність двовалентного заліза, характеристики залізистих мінералів, гідродинамічних умов, активності мікроорганізмів, сірки та бікарбонатів. Водночас слід ретельно ставитися до процесу обробки та інтерпретації одержаних результатів, проводити чітку розбраковку магнітного сигналу в ґрунтах. Це пов'язано з наявністю магнітних мінералів у структурі ґрунтів ґрунтотвірного (педогенного) походження, які сформувалися у процесі ґрунтоутворення поза впливом вуглеводневої речовини. Наприклад, чорноземи України, які розповсюджені вище лесових товщ, містять дрібнозернистий окисний магнетит та магеміт ґрунтотвірного походження, які сформувалися у процесі вивітрювання материнської породи без будь-якого впливу вуглеводневої речовини *(Jeleńska et al., 2004)*. Дана ситуація є характерною для покладів вуглеводнів у межах ДДЗ України (*Меньшов, 2018*).

Високомагнітні мінеральні фази в деяких випадках у ґрунтах можуть повертатися до стану вихідних, менш магнітних піриту, сидериту, гематиту, в умовах відновного середовища *(Ellwood and Burkart, 1996)*. Відповідні флуктуації ведуть до формування високодисперсних пилоподібних аномалій магнітного поля над родовищами вуглеводнів, особливо в зонах субвертикальних неоднорідностей. З одного боку, це ускладнює процес інтерпретації, а з іншого – стає ще одним критерієм виявлення наявності покладів за магнітними показниками.

У методологічному контексті для магнітного методу не має значення генезис нафти і газу, адже магнетизм природних об'єктів може виступати як прямопошуковий метод. Отже, методологія та технологія досліджень при вивченні територій ущільнених порід-колекторів нафти і газу є аналогічною до традиційних покладів вуглеводнів. Основним завданням при цьому постає не розвідка відповідних структур, пасток тощо, а вимірювання зміни магнітних характеристик, що відбуваються в гірській породі або ґрунтовому покриві під впливом флюїдів вуглеводневого походження. Якщо такий слід від газу чи нафти ущільнених порід існує, тоді стає можливим використання магнітометрії. Водночас слід ураховувати і дослідження низькоамплітудних магнітних аномалій, які можуть генеруватися, наприклад, ґрунтовим покривом. Дана інформація необхідна для розбраковки магнітного сигналу ґрунтів і сигналу, спричиненого іншими геологічними об'єктами. Крім того, при аналізі ущільнених порід-колекторів нафти і газу важливим є моніторинг забруднення родючих ґрунтів і деструкція аграрних земель. Постає необхідність магнітного картування ґрунтів, що зазнали впливу гідророзриву, а також витоків вуглеводнів на поверхню.

Приклади рекогносцирувальних досліджень. Як приклад для ілюстрації результатів наших досліджень звернемося до вивчення ділянки покладів вуглеводнів біля селища Балабанівка Богодухівського району Харківської області. Досліджувалась колекція зразків ґрунту, що представлена чорноземами глибокими середньогумусними. Було проаналізовано 29 зразків, що відбиралися у межах ареалів впливу свердловин Недільна-1 (продуктивна) і Недільна-2 (непродуктивна). У лабораторних умовах визначено питому магнітну сприйнятливість та її частотну залежність за допомогою каппамістка KLY (Agico, Чехія) і двочастотного вимірювача магнітної сприйнятливості MS2B (Bartington, UK). Вимірювання проводив у межах підготовки курсової роботи студент Б. Круглов, а частина результатів наводилися в публікації (*Круглов та Меньшов, 2020*). Паралельно відбувалися дослідження атмогеохімчним методом фахівцями Інституту геологічних наук НАН "України" (д-р геол. наук Багрій І. та С. Зубаль). Зокрема, визначено вміст гексану в лабораторії ІГН. Карту розподілу магнітної сприйнятливості ґрунтів з використанням методу інтерполяції IDW у середовищі ArcGIS наведено на рис. 2. На рис. 3 наводиться карта розподілу гексану для тих самих точок дослідження з використанням методу інтерполяції IDW у середовищі ArcGIS.

Як видно з рис. 2 і 3, закономірності просторового розподілу значень магнітної сприйнятливості та вмісту гексану мають низку спільних рис. Зокрема, у західній частині відзначаються околи збігу підвищених значень магнітної сприйнятливості та понижених значень вмісту гексану. Поруч із продуктивною свердловиною Недільна-1 зафіксовано підвищені значення МС, а в околі непродуктивної Недільна-2 значення МС є середніми за величиною. Для вмісту гексану біля обох свердловин фіксуються максимуми.

Кореляційний аналіз показників МС і вмісту гексану в ґрунтах показав наявність середнього від'ємного зв'язку: $R = -0{,}4$ ($n = 28$, $p > 0{,}05$, $r \geq 0{,}3233$). Такі дані є значущими за зазначеної достовірності та вибірки (*Fisher and Frank, 1961*).

Загальна картина розсіювання гексану в зразках ґрунтів, як і розподіли магнітної сприйнятливості, є доволі складними для інтерпретації. Пояснюється це фізико-хімічними особливостями міграції вуглеводневого флюїду у верхні горизонти геологічного розрізу та ґрунтовий покрив. При цьому слід враховувати хало (haloe) ефект, природний магнетизм ґрунтів, ландшафтні особливості та геологічну будову території. Феромагнітні мінерали гірських порід і ґрунтів за межами зони покладу меншою мірою піддаються хімічному впливу і зберігаються в первісному вигляді. Такі епігенетичні перетворення призводять до перерозподілу намагніченості природних об'єктів у склепінні структури і на її флангах, що створює сприятливі передумови для відображення в магнітному полі (*Безукладнов и Мавричев, 1997*). У даному прикладі аналізується зв'язок магнітної сприйнятливості з гексаном C6H14. Відомо (*Багрій та ін., 2013; Коржов та ін., 2011*), що вуглеводні C5-C8 і важчі типові тільки для нафти, але їхні міграційні можливості обмежені у зв'язку з великою молекулярною вагою. Раніше вважалося, що вони можуть зустрічатися тільки в районах з інтенсивною вертикальною міграцією зонами тектонічних порушень (*Неручаев та ін., 1998*). Проте за більш новими даними (*Исаев та ін., 2009*) при геохімічних дослідженнях Західно-Сибірської плити успішну розвідку покладів вуглеводнів без буріння було проведено на основі аналізу аномалій важких C10-C14 ароматичних вуглеводнів, а не як раніше за аномаліями вуглеводневих та інших газів або за складом важких алканових вуглеводнів. Результати виявили кільцеві зони аномалій концентрацій важких вуглеводнів, які збігаються в латеральному напрямку з положенням водно-нафтового контакту нафтових покладів. Таким чином, важкі вуглеводні утворюють стійкі аномальні зони концентрацій в приповерхневих відкладах і ґрунтовому покриві, які пов'язані з продуктивними пластами нафти і газу і, як підтверджує наведений нами приклад, можуть фіксуватися магнітними методами. Вуглеводні та продукти їхнього окиснення мають значну міграційну рухливість, що призводить до формування аутогенних магнітних мінералів від зони власне покладу до ґрунтового покриву, що виявляється у вигляді аномальних значень магнітної сприйнятливості, залишкової намагніченості та інших магнітних параметрів.

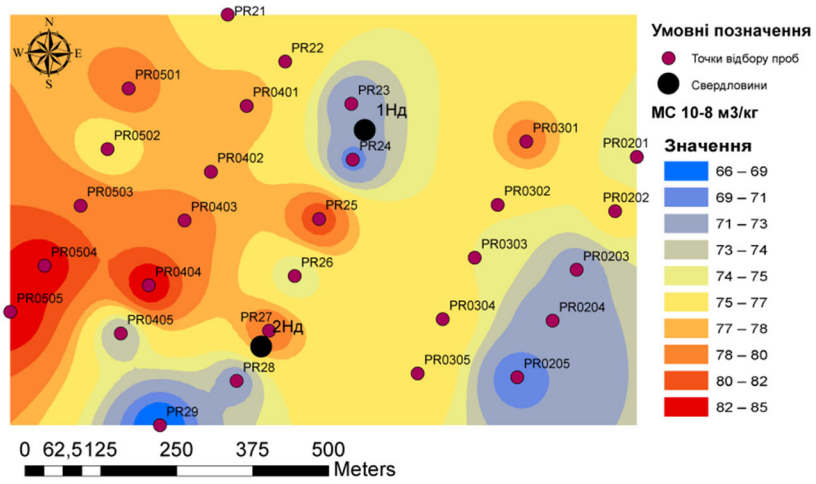

Рис. 2. Карта розподілу магнітної сприйнятливості ґрунтів

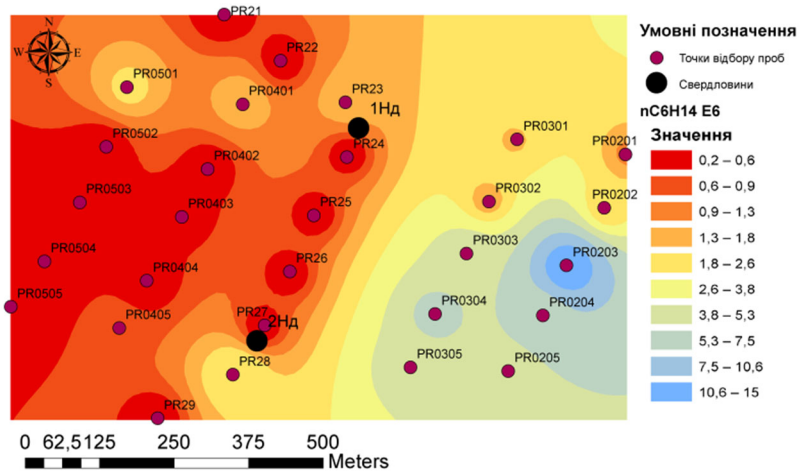

Рис. 3. Карта розподілу вмісту гексану в ґрунтах

Висновки. Актуальність для України дослідження ущільнених колекторів нафти і газу підтверджується низкою рішень РНБО, розпорядженнями Кабінету Міністрів України та пріоритетними напрямами програми "Горизонт Європа". При цьому запропоновані магнітні методи дослідження верхньої частини геологічного розрізу та ґрунтового покриву ареалів розсіювання вуглеводнів є швидкісною, енергозберігаючою та низьковартісною технологією, для якої не має значення генезис покладу (нетрадиційного чи класичного типу). Аналіз найсучасніших закордонних публікацій (головним чином за 2017–2021 рр.) підтверджує необхідність включення магнітного методу до комплексу петрофізичних і геохімічних досліджень нетрадиційних колекторів нафти і газу. Фізико-хімічною основою магнітного методу є процес міграції вуглеводневого флюїду до денної поверхні та формування аутогенних магнітних мінералів. Для ґрунтового покриву можуть спостерігатися процеси як окиснення, так і відновлення, що проявляється у чергуванні максимумів і мінімумів значень магнітної сприйнятливості. На прикладі дослідної ділянки Балабанівка Богодухівського району Харківської області для продуктивної свердловини Недільна-1 зафіксовано підвищені значення магнітної сприйнятливості, а в околі непродуктивної Недільна-2 значення МС є середніми за величиною. Для значень вмісту гексану поруч з обома свердловинами фіксуються максимуми. Кореляційний аналіз показників МС і вмісту гексану в ґрунтах показав наявність середнього від'ємного зв'язку: R = –0,4.

Підтвердження. Робота виконана в межах держбюджетної теми "Петрофізичні і геохімічні критерії виділення та оцінки продуктивності ущільнених порід-колекторів нафти і газу".

Список використаних джерел

Багрій, І.Д., Грига, М.Ю., Войцицький, З.Я., Аксьом, С.Д., Мамишев, І.Є. (2013). Прогнозування покладів вуглеводнів на структурі Глибока за результатами структурно-термо-атмогеохімічних (стаг) досліджень. *Геология и полезные ископаемые мирового океана*, 4(34).

Безукладнов, В.А., Мавричев, В.Г. (1997). Выявление аномалий типа "залежь" по магнитному полю. *Геология нефти и газа*, (6), 25–29.

Вижва С., Михайлов В., Онищук І. (2017). Петрофізичні особливості порід Майкопської серії Кримсько-Чорноморського регіону. *Вісник Київського національного університету імені Тараса Шевченко. Геологія*, 4(79), 12–20.

Исаев, В.И., Коржов, Ю.В., Лобова, Г.А., Ярков, Д.М. (2009). Геохимическая оценка нефтегазоносности локальных ловушек. *Геоинформатика*, (2), 54–61.

Карпенко О. та ін. (2017). Наукові засади передумов нафтогазоносності сланцевих товщ і складнопобудованих порід-колекторів. *Звіт з НДР*. Київ.

Коржов, Ю.В., Исаев, В.И., Жильцова, А.А. (2011). Проблемы нефтепоисковой геохимии и обобщающая схема миграции углеводородных флюидов. *Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов*, 318(1), 116–122.

Круглов, Б.О., Меньшов, О.І. (2020). Застосування магнітних характеристик ґрунтів при пошуку вуглеводнів на прикладі ділянки "Недільна". *X Всеукраїнська молодіжна наукова конференція-школа "Сучасні роблеми наук про Землю"*, 101–104.

Меньшов, О., Кудеравець, Р., Попов, С., Хоменко, Р., Сухорада, А., Чоботок, І. (2016). Термомагнітний аналіз ґрунтів територій покладів вуглеводнів. *Вісник Київського національного університету імені Тараса Шевченко. Геологія,* 2(73), 33–37.

Меньшов, О.І. (2016). Застосування магнітних методів для контролю змін продуктивних земель. *Геофізичний журнал*, 38(4), 130–137.

Меньшов, О., Сухорада А. (2017). Основи теорії та методології геофізики ґрунтового покриву: перші результати практичного застосування. *Вісник Київського національного університету імені Тараса Шевченко. Геологія,* 4(79), 35–39.

Меньшов, О. (2018). Роль магнетотактичних бактерій у формуванні природного магнетизму ґрунтів України. *Вісник Київського національного університету імені Тараса Шевченко. Геологія*, 80(1), 40–45.

Михайлов, В.А., Вакарчук, С.Г., Зейкан, О.Ю., Касянчук, С.В., Куровець, І.М., Вижва, С.А., ... Кульчицька, Г.О. (2014). *Нетрадиційні джерела вуглеводнів України*. Монографія.

Неручев, С.Г., Рогозина, Е.А., Шиманский, В.К., Соболев, В.С., Парпарова, Г.М. (1998). Справочник по геохимии нефти и газа. СПб.: ОАО Недра.

Никитский, В.Е., Глебовской, Ю.С. (Ред.). (1990). Магниторазведка: справочник геофізика. Москва: Недра.

Орлюк, М.І., Друкаренко, В.В. (2018). Прогноз шляхів проходження і місць накопичення вуглеводнів Чернігівського сегмента Дніпровсько-Донецького авлакогену за геомагнітними даними. *Геофізичной журнал*, 2(40), 123–140

Costanzo-Álvarez, V., Rapalini, A.E., Aldana, M., Díaz, M., Kietzmann, D., Iglesia-Llanos, M.P., ... Walther, A.M. (2019). A combined rock-magnetic and EPR study about the effects of hydrocarbon-related diagenesis on the magnetic signature of oil shales (Vaca Muerta formation, southwestern Argentina). *Journal of Petroleum Science and Engineering*, 173, 861-879.

De la Rosa, R., Aldana, M., Costanzo-Alvarez, V., Yepez, S., Amon, C. (2020). The surface expression of hydrocarbon seeps characterized by satellite image spectral analysis and rock magnetic data (Falcon basin, western Venezuela). *Journal of South American Earth Sciences*, 103036.

Donavan, T.J., Forgey, R.L., Roberts, A.A. (1979). Aeromagnetic detection of diagenetic magnetite over oil filds. *AAPG Bull, 63*, 245-248.

Dychkovskyi, R., Shavarskyi, Ia., Saik, P., Lozynskyi, V., Falshtynskyi, V., Cabana, E. (2020). Research into stress-strain state of the rock mass condition in the process of the operation of double-unit longwalls. *Mining of Mineral Deposits*, 14(2), 85-94. https://doi.org/10.33271/mining14.02.085

Elmore, R.D., Grawford, L. (1990). Remanence in authigenic magnetite: testing the hydrocarbon-magnetite hypothesis. *Journal Geophys. Res*., 95(B), 4539–4549.

Ellwood, B.B., Burkart, B. (1996). A test of hydrocarbon-induced magnetic patterns in soils: the sanitary landfill as laboratory. In D. Schumacher and M.A. Abrams (Eds.), Hydrocarbon migration and its near-surface expression. AAPG Memoir, 66, 91-98.

Falshtynskyi, V., Saik, P., Lozynskyi, V., Dychkovskyi, R., Petlovanyi, M. (2018). Innovative aspects of underground coal gasification technology in mine conditions. *Mining of Mineral Deposits*, 12(2), 68–75. https://doi.org/10.15407/mining12.02.068

Fisher, R.A., Frank, Y. (1961). Statistical Tables for Biological. Agricultural and Medical Research. 6th ed. London: Longman Group, Ltd

Gadirov, V.G., Eppelbaum, L.V., Kuderavets, R.S., Menshov, O.I., Gadirov, K.V. (2018). Indicative features of local magnetic anomalies from hydrocarbon deposits: examples from Azerbaijan and Ukraine. *Acta Geophysica*, 66(6), 1463-1483.

Goldhaber, M.B., Reynolds, R.L. (1991). Relations among hydrocarbon reservoirs, epigenetic sulfidization, and rock magnetization: examples from the South Texas Coastal Plain. *Geophysics*, 56, 748–757.

Góra, A., Wojas, A., Sechman, H., Guzy, P., &Twaróg, A. (2019). Distribution of light hydrocarbons in the near surface zone connected with measurements of magnetic susceptibility in the marginal part of the Carpathian Foredeep and Outer Carpathians – case study from SE Poland. *International Multidisciplinary Scientific GeoConference: SGEM*, 19(1.2), 795–802.

Ivanik, O., Shevchuk, V., Tustanovska, L., Yanchenko, V., Kravchenko, D. (2019). Paleogeography and neotectonics of Kaniv dislocations (Ukrainian Shield, Ukraine) in the Neogene-Quaternary period. *Historical Biology*, 1-9.

Jeleńska, M., Hasso-Agopsowicz, A., Kopcewicz, B., Sukhorada, A., Tyamina, K., Kądziałko-Hofmokl M., Matviishina Z. (2004). Magnetic properties of the profiles of polluted and non-polluted soils. A case study from Ukraine. *Geophys. J. Int*., 159, 104–116.

Liu, Q., Liu, Q., Chan, L., Yang, T., Xia, X., Cheng, T. (2006). Magnetic enchancement caused be hydrocarbon migration in the Mawangmiao Oil Field., Jianghan Basin China. *Journal of Petroleum Science and Engeneering*, 53, 25–33.

Machel, H.G. (2001). Bacterial and thermochemical sulfate reduction in diagenetic settings – old and new insights. *Sediment. Geol*, 14, 143–175.

Menshov, O., Kuderavets, R., Vyzhva, S., Chobotok, I., Pastushenko, T. (2015). Magnetic mapping and soil magnetometry of hydrocarbon prospective areas in western Ukraine. *Studia Geophysica et Geodaetica*, 59(4), 614–627.

Menshov, O., Kuderavets, R., Vyzhva, S., Maksymchuk, V., Chobotok, I., Pastushenko, T. (2016). Magnetic studies at Starunia paleontological and hydrocarbon bearing site (Carpathians, Ukraine). *Studia Geophysica et Geodaetica*, 60(4), 731–746.

Menshov, O., Spassov, S., Camps, P., Vyzhva, S., Pereira, P., Pastushenko, T., & Demidov, V. (2020). Soil and dust magnetism in semi-urban area Truskavets, Ukraine. *Environmental Earth Sciences*, 79(8), 1–10.

Onanko, Y. A., Prodayvoda, G. T., Vyzhva, S. A., Onanho, A. P., Kulish, M. P. (2011). The Computerized System of Processing of Measurements of Longitudinal and Transverse Velocities of Ultrasound. *Metalofizika I noveishie tekhnologii,* 33, 529–533.

Petlovanyi, M., Kuzmenko, O., Lozynskyi, V., Popovych, V., Sai, K., Saik, P. (2019). Review of man-made mineral formations accumulation and prospects of their developing in mining industrial regions in Ukraine. *Mining of Mineral Deposits*, 13(1), 24-38. https://doi.org/10.33271/mining13.01.024

Sechman, H., Guzy, P., Kaszuba, P., Wojas, A., Machowski, G., Twaróg, A., Maslanka, A. (2020). Direct and indirect surface geochemical methods in petroleum exploration: a case study from eastern part of the Polish Outer Carpathians. *International Journal of Earth Sciences*, 109, 1853–1867.

Senouci, M., Allek, K. (2020). Application of Bayesian classifier to magnetic and gamma ray spectrometry data for targeting hydrocarbon microseepages. *Journal of Applied Geophysics*, 181, 104–145.

Shao, G., Liang, Z., Wang, Z., Liu, G., Wang, W. (2005). Surface Loess Susceptibility Anomalies Directly Indicating Oil and Gas Reservoirs. *Applied Geophysics*, 1-2(4), 197–203.

Tresnak, J. (2017). Rock Magnetic Investigation of the Michigan Basin Soils and Sediments Overlying the Oil-Bearing Silurian Pinnacle Reefs. Open Access Master's Thesis, Michigan Technological University.

Ulfah, M., Wijatmoko, B., Fitriani, D. (2017). Magnetic Susceptibility Analysis of Soil Affected by Hydrocarbon in Wonocolo Traditional Oil Field, Indonesia. *E&ES*, 62(1), 012002.

References

Bagriy, I.D., Griga, M.Yu., Voytsytsky, Z.Ya., Aksyom, S.D., Mamyshev, I.E. (2013). Forecasting of hydrocarbon deposits on the Hlyboka structure based on the results of structural-thermo-atmogeochemical (stag) research. *Geology and Minerals of the World Ocean*, 4 (34). [in Ukrainian]

Bezukladnov, V.A., Mavrichev, V.G. (1997). Identification of anomalies such a "deposit" by use magnetic field analysis. *Geol Oil Gas*, (6), 25–29 [in Russian]

Costanzo-Álvarez, V., Rapalini, A. E., Aldana, M., Díaz, M., Kietzmann, D., Iglesia-Llanos, M.P., ... Walther, A.M. (2019). A combined rock-magnetic and EPR study about the effects of hydrocarbon-related diagenesis on the magnetic signature of oil shales (Vaca Muerta formation, southwestern Argentina). *Journal of Petroleum Science and Engineering*, 173, 861-879.

De la Rosa, R., Aldana, M., Costanzo-Alvarez, V., Yepez, S., Amon, C. (2020). The surface expression of hydrocarbon seeps characterized by satellite image spectral analysis and rock magnetic data (Falcon basin, western Venezuela). *Journal of South American Earth Sciences*, 103036.

Donavan, T.J., Forgey, R.L., Roberts, A.A. (1979). Aeromagnetic detection of diagenetic magnetite over oil filds. *AAPG Bull, 63*, 245–248.

Dychkovskyi, R., Shavarskyi, Ia., Saik, P., Lozynskyi, V., Falshtynskyi, V., Cabana, E. (2020). Research into stress-strain state of the rock mass condition in the process of the operation of double-unit longwalls. *Mining of Mineral Deposits*, 14(2), 85-94. https://doi.org/10.33271/mining14.02.085

Elmore, R.D., Grawford, L. (1990). Remanence in authigenic magnetite: testing the hydrocarbon-magnetite hypothesis. *Journal Geophys. Res*., 95(B), 4539–4549.

Ellwood, B.B., Burkart, B. (1996). A test of hydrocarbon-induced magnetic patterns in soils: the sanitary landfill as laboratory. In D. Schumacher and M.A. Abrams (Eds.), Hydrocarbon migration and its near-surface expression. AAPG Memoir, 66, 91-98.

Falshtynskyi, V., Saik, P., Lozynskyi, V., Dychkovskyi, R., Petlovanyi, M. (2018). Innovative aspects of underground coal gasification technology in mine conditions. *Mining of Mineral Deposits*, 12(2), 68–75. https://doi.org/10.15407/mining12.02.068

Fisher, R.A., Frank, Y. (1961). Statistical Tables for Biological, Agricultural and Medical Research. 6th ed. London: Longman Group, Ltd.

Gadirov, V.G., Eppelbaum, L.V., Kuderavets, R.S., Menshov, O.I., Gadirov, K.V. (2018). Indicative features of local magnetic anomalies from hydrocarbon deposits: examples from Azerbaijan and Ukraine. *Acta Geophysica*, 66(6), 1463–1483.

Goldhaber, M.B., Reynolds, R.L. (1991). Relations among hydrocarbon reservoirs, epigenetic sulfidization, and rock magnetization: examples from the South Texas Coastal Plain. *Geophysics*, 56, 748–757.

Góra, A., Wojas, A., Sechman, H., Guzy, P., Twaróg, A. (2019). Distribution of light hydrocarbons in the near surface zone connected with measurements of magnetic susceptibility in the marginal part of the Carpathian Foredeep and Outer Carpathians – case study from SE Poland. *International Multidisciplinary Scientific GeoConference: SGEM*, 19(1.2), 795-802.

Isaev, V.I., Korzhov, Yu.V., Lobova, G.A., Yarkov, D.M. (2009). Geochemical assessment of oil and gas content of local traps. *Geoinformatics*, (2), 54–61. [in Russian]

Ivanik, O., Shevchuk, V., Tustanovska, L., Yanchenko, V., Kravchenko, D. (2019). Paleogeography and neotectonics of Kaniv dislocations (Ukrainian Shield, Ukraine) in the Neogene-Quaternary period. *Historical Biology*, 1–9.

Jeleńska, M., Hasso-Agopsowicz, A., Kopcewicz, B., Sukhorada, A., Tyamina, K., Kądziałko-Hofmokl M., Matviishina Z. (2004). Magnetic properties of the profiles of polluted and non-polluted soils. A case study from Ukraine. *Geophys. J. Int*., 159, 104–116.

Karpenko O. et al. (2017). Scientific principles of preconditions for oil and gas bearing capacity of shale strata and complex reservoir rocks. *Report*. Kyiv. [in Ukrainian]

Korzhov, Yu.V., Isaev, V.I., Zhiltsova, A.A. (2011). Problems of oil prospecting geochemistry and generalizing scheme of migration of hydrocarbon fluids. *Bulletin of the Tomsk Polytechnic University. Georesource Engineering*, 318 (1), 116–122. [in Russian]

Kruglov, B.O., Menshov, O.I. (2020). Application of magnetic characteristics of soils for hydrocarbons prospecting on the example of the site "Nedilna". *X All-Ukrainian Youth Scientific Conference-School "Modern Problems of Earth Sciences"*, 101–104. [in Ukrainian]

Liu, Q., Liu, Q., Chan, L., Yang, T., Xia, X., Cheng, T. (2006). Magnetic enchancement caused be hydrocarbon migration in the Mawangmiao Oil Field., Jianghan Basin China. *Journal of Petroleum Science and Engeneering*, 53, 25–33.

Machel, H.G. (2001). Bacterial and thermochemical sulfate reduction in diagenetic settings – old and new insights. *Sediment. Geol*, 14, 143–175.

Menshov, O., Kuderavets, R., Vyzhva, S., Chobotok, I., Pastushenko, T. (2015). Magnetic mapping and soil magnetometry of hydrocarbon prospective areas in western Ukraine. *Studia Geophysica et Geodaetica*, 59(4), 614–627.

Menshov, O., Kuderavets, R., Vyzhva, S., Maksymchuk, V., Chobotok, I., Pastushenko, T. (2016). Magnetic studies at Starunia paleontological and hydrocarbon bearing site (Carpathians, Ukraine). *Studia Geophysica et Geodaetica*, 60(4), 731–746.

Menshov O., Kuderavets R., Popov S., Homenko R., Sukhorada A., Chobotok I. (2016). Thermomagnetic analyzes of soils from the hydrocarbon fields. *Visnyk of Taras Shevchenko National University of Kyiv. Geology*, 2(73), 33–37. [in Ukrainian]

Menshov, O.I. (2016). Magnetic method applying for the control of productive land degradation. *Geofizicheskiy Zhurnal*, 38(4), 130–137. [in Ukrainian]

Menshov, O., Sukhorada, A. (2017). *Visnuk of Taras Shevchenko National University of Kyiv. Geology*, 4(79), 35-39. [in Ukrainian]

Menshov, O. (2018). The role of magnetotactic bacteria in formation of natural magnetism of Ukraine soils. *Visnuk of Taras Shevchenko National University of Kyiv. Geology*, 80(1), 40-45. [in Ukrainian]

Menshov, O., Spassov, S., Camps, P., Vyzhva, S., Pereira, P., Pastushenko, T., & Demidov, V. (2020). Soil and dust magnetism in semi-urban area Truskavets, Ukraine. *Environmental Earth Sciences*, 79(8), 1–10.

Mykhailov, V.A., Vakarchuk, S.G., Zeykan, O. Yu., Kasyanchuk, S.V., Kurovets, I.M., Vyzhva, S.A., ... Kulchytska, G.O. (2014). Unconventional sources of hydrocarbons of Ukraine. [in Ukrainian]

Neruchev, S.G., Rogozina, E.A., Shimansky, V.K., Sobolev, V.S., Parparova, G.M. (1998). Handbook of the geochemistry of oil and gas. SPb.: JSC Nedra. [in Russian]

Nikitsky, V.E., Glebovskoy, Yu.S. (Ed.). (1990). Magnetic survey: handbook of geophysics. Moscow: Nedra. [in Russian]

Onanko, Y.A., Prodayvoda, G.T., Vyzhva, S.A., Onanho, A.P., Kulish, M.P. (2011). The Computerized System of Processing of Measurements of Longitudinal and Transverse Velocities of Ultrasound. *Metalofizika I noveishie tekhnologii*, 33, 529–533.

Orlyuk, M.I., Drukarenko, V.V. (2018). Prediction of pathways and places of accumulation for hydrocarbons of the Chernigiv segment of the Dnieper Donets aulacogene in relation to magnetic heterogeneity. *Geophysical Journal*, 2(40), 123–140. [in Ukrainian]

Petlovanyi, M., Kuzmenko, O., Lozynskyi, V., Popovych, V., Sai, K., Saik, P. (2019). Review of man-made mineral formations accumulation and prospects of their developing in mining industrial regions in Ukraine. *Mining of Mineral Deposits*, 13(1), 24–38. https://doi.org/10.33271/mining13.01.024

Sechman, H., Guzy, P., Kaszuba, P., Wojas, A., Machowski, G., Twaróg, A., Maslanka, A. (2020). Direct and indirect surface geochemical methods in petroleum exploration: a case study from eastern part of the Polish Outer Carpathians. *International Journal of Earth Sciences*, 109, 1853–1867

Senouci, M., Allek, K. (2020). Application of Bayesian classifier to magnetic and gamma ray spectrometry data for targeting hydrocarbon microseepages. *Journal of Applied Geophysics*, 181, 104145.

Shao, G., Liang, Z., Wang, Z., Liu, G., Wang, W. (2005). Surface Loess Susceptibility Anomalies Directly Indicating Oil and Gas Reservoirs. *Applied Geophysics*, 1-2(4), 197–203.

Tresnak, J. (2017). Rock Magnetic Investigation of the Michigan Basin Soils and Sediments Overlying the Oil-Bearing Silurian Pinnacle Reefs. Open Access Master's Thesis, Michigan Technological University.

Ulfah, M., Wijatmoko, B., Fitriani, D. (2017). Magnetic Susceptibility Analysis of Soil Affected by Hydrocarbon in Wonocolo Traditional Oil Field, Indonesia. *E&ES*, 62(1), 012002.

Vyzhva, S., Mykhailov, V., Onischuk, I. (2017). Petrophysical features of Maikop series of the Crimean-Black sea region. *Visnuk of Taras Shevchenko National University of Kyiv*. Geology, 4(79), 12–20. [in Ukrainian]

Надійшла до редколегії 11.11.2020

O. Menshov, Dr Sci (Geol.), Senior Researcher,
E-mail: menshov.o@ukr.net;
Taras Shevchenko National University of Kyiv, Institute of Geology,
90 Vasylkivska Str., Kyiv, 03022, Ukraine

THE ROLE OF MAGNETIC METHODS IN THE STUDY OF AREAS OF THE TIGHT OIL AND GAS: INTRODUCTION

One of the possible ways to increase the production of hydrocarbon raw materials of Ukraine origin is the attraction of the sources of tight oil and gas reservoirs. The relevance of this direction for Ukraine is confirmed by a number of decisions of the NSDC, Cabinet of Ministers of Ukraine, and priority areas of the Horizon Europe program. Magnetic methods for studying the near surface geological section and soil of hydrocarbon fields is a fast, energy-saving and cheap technology. The technique is the same for the unconventional or classical type, thus the genesis of the deposit is not important. The high information content of magnetometry in oil and gas exploration is based on the assumption of hydrocarbon migration (microseepage). This fact is confirmed by seismic, radioactive, and geochemical methods. The case study from hydrocarbon deposit at the area of Balabanovka, Bogodukhovsky district, Kharkov region, is considered. At this stage, we analyze only a part of the reconnaissance materials. The soil is deep medium-humus chernozems. We collected 29 samples at the areas of hydrocarbon influence: well Nedilna-1 (productive) and Nedilna-2 (non-productive). In laboratory conditions, the mass-specific magnetic susceptibility (χ, MS) was measured with kappabridge KLY (Agico, Czech Republic), and its frequency dependence χfd by the MS2B (Bartington, UK). The content of hexane in soil was determined at the laboratory of the Institute of Geological Sciences of the NAS of Ukraine. The maps were built using the IDW interpolation method in the ArcGIS environment., There are areas of overlap of increased MS values and decreased values of the hexane content in the western part. The increased MS values were registered in the zone of the productive well Nedilna-1. The average MS values were detected near the non-productive well Nedilna-2. The maximum values of the hexane content were registered near both wells. The correlation analysis of MS and the content of hexane in soils showed the presence of an average negative relationship: R= -0.4 (n=28, p<0.05, r≥0.3233). Hydrocarbons and their oxidation products have significant migratory mobility, which leads to the formation of autogenous magnetic minerals from the deposit zone to the soil. The result is the formation of anomalous values of magnetic susceptibility, remanent magnetization, and other magnetic parameters.

Keywords: tight oil and gas, hydrocarbons, soils, environmental magnetism, magnetic susceptibility, magnetization

А. Меньшов, д-р геол. наук, ст. науч. сотр.,
E-mail: menshov.o@ukr.net;
Киевский национальный университет имени Тараса Шевченко,
УНИ "Институт геологии", ул. Васильковская, 90, г. Киев, 03022, Украина

РОЛЬ МАГНИТНЫХ МЕТОДОВ ПРИ ИССЛЕДОВАНИИ ТЕРРИТОРИЙ УПЛОТНЕННЫХ ПОРОД-КОЛЛЕКТОРОВ НЕФТИ И ГАЗА: ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Одним из возможных путей повышения добычи углеводородного сырья собственного происхождения в Украине является использование источников уплотненных коллекторов нефти и газа. Актуальность этого направления для страны подтверждается рядом решений СНБО, распоряжениями Кабинета Министров Украины и приоритетными направлениями программы Горизонт Европа. Магнитные методы исследования верхней части геологического разреза и почвенного покрова ореолов рассеяния углеводородов являются быстрой, энергосберегающей и дешевой технологией, для которой не имеет значения генезис залежи: нетрадиционного или классического типа. В основе высокой информативности магнитометрии при поисках нефти и газа лежит предположение о миграции углеводородов (микропросачивание). Данный факт подтверждается сейсмическими, радиоактивными и геохимическими методами. В качестве примера изучения залежей углеводородов рассмотрена территория Балабановка Богодуховского района Харьковской области. На данном этапе в примере анализируется только часть рекогносцировочных материалов. Почвы представлены черноземами глубокими среднегумусными. Исследовано 29 образцов, которые отбирались в пределах ареалов влияния скважин Недильная-1 (продуктивная) и Недильная-2 (непродуктивная). В лабораторных условиях измерены удельная магнитная восприимчивость (χ, МС, MS) с помощью каппамоста KLY (Agico, Чехия) и ее частотная зависимость χfd на MS2B (Bartington, UK). Определено содержание гексана в лаборатории ИГН НАН Украины. Карты построены с использованием метода интерполяции IDW в среде ArcGIS. В западной части отмечаются участки совпадения повышенных значений МС и пониженных значений содержания гексана. В окрестности продуктивной скважины Недильная-1 зафиксировано повышенные значения МС, а в окрестности непродуктивной Недильная-2 значения МС являются средними по величине. Для содержания гексана рядом с обеими скважинами фиксируются максимумы. Корреляционный анализ показателей МС и содержания гексана в почвах показал наличие средней отрицательной связи: R = –0,4 (n = 28, p < 0,05, r ≥ 0,3233). Углеводороды и продукты их окисления имеют значительную миграционную подвижность, что приводит к формированию аутогенных магнитных минералов от зоны залежи до почвенного покрова, и проявляется в виде аномальных значений магнитной восприимчивости, остаточной намагниченности и других магнитных параметров.

Ключевые слова: уплотненные породы, нефть, газ, углеводороды, почвы, магнетизм окружающей среды, магнитная восприимчивость, намагниченность.