



<https://doi.org/10.36023/ujrs.2021.8.3.200>

УДК 553.98(528.715:520.44)

## Експериментальне обґрунтування використання безпілотних літальних апаратів для прогнозування нафтогазоперспективних об'єктів

О. В. Седлерова, О. І. Архіпов, С. І. Голубов\*, А. Д. Бондаренко

ДУ “Науковий центр аерокосмічних досліджень Землі ІГН НАН України”, вул. Олесь Гончара, 55 Б, 01054, Київ, Україна

Стаття присвячена актуальній проблемі прогнозування нафтогазоперспективних об'єктів за допомогою новітніх технологій дистанційного зондування. Запропоновано новий підхід до отримання польових завіркових даних, що є суттєвою складовою методики вирішення нафтогазопошукових завдань на суходолі (супутникова технологія). Проведено експериментальні польові дослідження за допомогою спектро радіометра Ocean Optics STS-VIS Developers kit, який встановлено на квадрокоптері (БПЛА). На прикладі Східнорогінцівської площі, яка належить до Талалаївсько-Рибальського нафтогазоносного району Дніпровсько-Донецької нафтогазоносної області, продемонстровано основні етапи розробленої методики: створено модель розломно-блокової будови, оцінено неотектонічні особливості названої площі та окремих локальних її блоків, проведено фотометрування багатоспектрального космічного знімка за маршрутом, повторно проведено відбір листя берези за цим же маршрутом для спектрометрування приладом ASD FieldSpec 3 FR. Основним завданням експерименту було проведення польових замірів спектро радіометром Ocean Optics STS-VIS Developers kit за маршрутом, що повторює маршрути спектрометрування іншими способами. Після аналізу отриманих результатів можна зробити висновок: оптична аномалія, яка ідентифікується з покладом вуглеводнів (ВВ), по профілю на Східнорогінцівській площі, відповідає ділянці між точками 15–26. Ця ж аномалія була встановлена при спектрометруванні приладом ASD FieldSpec 3 FR (2009 та 2021 рр.), приладом СФ-18 (1999 та 2004 рр.). Досить точно виділяється перехід від об'єкта до фону, що відповідає межі покладу за даними буріння (точка 16 на профілі), тобто було підтверджено принципову можливість виділення малоінтенсивної оптичної аномалії над покладом ВВ за допомогою спектро радіометра STS-VIS Developers kit, встановленого на БПЛА.

**Ключові слова:** Дніпровсько-Донецька западина (ДДЗ), нафтогазоносність, поклади вуглеводнів (ВВ), геолого-геофізична інформація, спектрометрування, безпілотний літальний апарат (БПЛА), комплексування.

© О. В. Седлерова, О. І. Архіпов, С. І. Голубов, А. Д. Бондаренко. 2021

### 1. Вступ

На сьогодні потреби економіки України у споживанні нафти і газу поки що не зменшуються, тому є потреба у збільшенні цих енергетичних ресурсів. Важливого значення набуває вдосконалення методології та технології нафтогазопошукових робіт. Найперспективнішою ділянкою для пошуків нових родовищ нафти і газу в Україні є Дніпровсько-Прип'ятська нафтогазоносна провінція, зокрема ДДЗ.

Підвищення вартості пошуків, розвідки і глибокого буріння потребує більш точних і ефективних прогнозів, які мають базуватися на науковому обґрунтуванні нових напрямів робіт і застосуванні нових ефективних технологій. У статті наведені результати застосування методики вирішення нафтогазопошукових завдань на суходолі для прогнозування нафтогазоперспективності блоків родовища, а також удосконалений варіант цієї методики за допомогою сучасних БПЛА-зімонок та нового підходу до комплексування геолого-

геофізичної, геоморфологічної, геоботанічної інформації на прикладі Східнорогінцівської площі.

### 2. Матеріали та методика дослідження

Протягом 30 років у Науковому центрі аерокосмічних досліджень Землі ІГН НАН України розвивається і вдосконалюється методика (супутникова технологія) вирішення нафтогазопошукових завдань на суходолі, створена на основі запатентованого “Мультиспектрального структурно-польового способу прогнозування покладів нафти і газу” (Перерва та ін., 2004) та детально описана в монографії (Багатоспектральні методи..., 2006, стор. 230–238). Основні етапи методики подані на Рис. 1.

У процесі аналізу результатів структурного дешифрування матеріалів аерокосмічних зйомок, морфоструктурного аналізу набору топографічних карт різного масштабу, радарних знімків та ортофотопланів, а також усієї апріорної геологічної і геофізичної інформації на район досліджень отримують уявлення про його блокову будову, а також виділяють локальні структури (якщо такі є) (Товстюк, 2014; Верховцев, 2005, 2008). Необхідно відзначити, що цей етап потрібен тільки при

Email: [ASDFieldSpec3@gmail.com](mailto:ASDFieldSpec3@gmail.com)  
<https://orcid.org/0000-0003-3711-598X>

оцінюванні нафтоперспективності маловивчених площ. При ранжуванні та уточненні водонафтового (ВНК) і газодіяного контактів (ГВК) родовищ вихідна інформація для фотометрування матеріалів багатоспектральної космічної зйомки (БКЗ) уже наявна (видається Замовником).



**Рис. 1.** Технологічна схема вирішення нафтогазопошукових завдань на суходолі (за даними Перерва В. М. та ін., 2004 та Багатоспектральні методи..., 2006)

Умовні позначення: — процес, який виконується співробітниками ЦАКДЗ ІГН НАН України; — — — процес, який виконується співробітниками інших організацій.

У процесі цифрової обробки матеріалів БКЗ виділяються оптичні аномалії рослинного покриву в межах площі, що вивчається. Далі, під час проведення наземних робіт, вздовж окремих маршрутів, ці аномальні ділянки вивчаються методами фітоіндикації, магнітометрії, геохімії та ін. Основна мета наземних досліджень – завірка результатів дистанційних вимірювань.

Спільна інтерпретація результатів дистанційних і наземних досліджень дає змогу скласти схеми прогнозних перспективних об'єктів ВВ і текстові обґрунтування до них, які передаються в нафтогазопошукові організації у вигляді паспортів на площі, що досліджуються.

Надалі, у ході розвитку і розробки додаткових способів, супутникову технологію було удосконалено, до неї додано нові алгоритми та методики обробки. Науково обґрунтовані явища ландшафтних змін, обумовлених покладами ВВ у межах ДДЗ. На основі таких висновків розроблено або удосконалено методики спектрометрування зразків рослинності, ґрунтів; магнітометричні (зокрема педометричні), проведено літогеохімічні та інші дослідження (Архіпова, 2004, 2006; Багатоспектральні методи, 2006, С. 269–275); розроблено спосіб статистичного визначення (уточнення) меж покладів ВВ (Архипов и др., 2009; Титаренко 2011). Новим кроком розвитку

супутникової технології стала геологічна інтерпретація результатів досліджень за матеріалами дистанційних і наземних робіт, усієї апріорної інформації та прийняття рішень про наявність / відсутність аномалії типу поклад (АТП) (Архіпова, 2004).

У зв'язку з подальшим розвитком новітніх технологій та сучасних знімальних платформ нами запропоновано до блоку “Фотометричні дослідження рослинного покриву” описаної вище методики (Рис. 1) додати проведення завіркових наземних робіт за допомогою спектродіаметра STS-VIS Developers kit, встановленого на квадрокоптер.

Отже, визначено завдання дослідження: провести спектрометрування наземної рослинності за відомим профілем, у межах якого проводились заміри спектрів рослинності іншими приладами в попередні роки, визначити, як корелюють ці дані, проаналізувати можливості застосування сучасних спектрофотометрів для ідентифікації площ за класами об'єкт – фон.

### 3. Територія досліджень

Дослідження проводилися в межах Східнорогінцівської площі, яка належить до Талалаївсько-Рибальського нафтогазоносного району Дніпровсько-Донецької нафтогазоносної області. Територіально вона розташована в Сумській області на відстані 15 км від м. Ромни. У межах цієї площі розташована Східнорогінцівська структура, яка входить до складу Великобунівського структурного валу в межах Північної прибортової зони ДДЗ. Структура – брахіантикліналь північно-західного простягання. Поклади – пластові, склепінчасті, інколи тектонічно екрановані та літологічно обмежені. Колектори, в основному, пісковики, рідше алевроліти (Гірничий..., 2004; Атлас..., 1998).

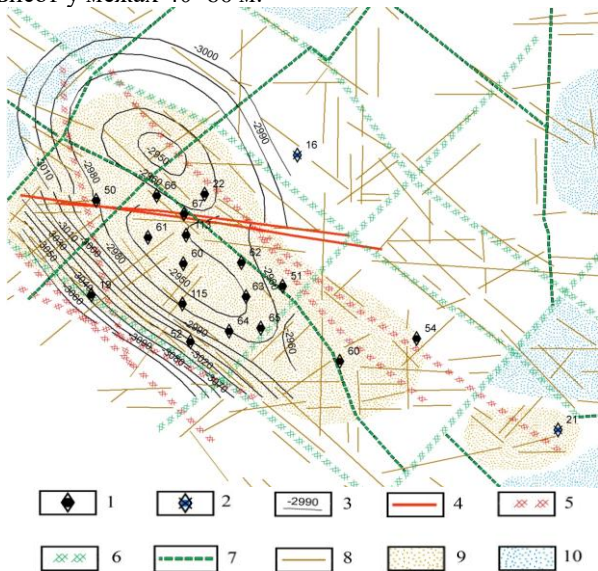
Промислова нафтогазоносність Східнорогінцівського родовища пов'язана з регіонально-продуктивними в ДДЗ нижньокам'яновугільними відкладами. Родовище є багатопластовим. Його продуктивні пласти роз'єднані досить потужними пачками щільних, карбонатно-глинистих порід, що обумовлює відсутність гідравлічного зв'язку між резервуарами та різні водонафтові контакти (ВНК) усіх без винятку промислових покладів. На сьогодні у розрізі родовища в інтервалі глибин 2900–3125 м встановлено вісім покладів нафти в семи піщаних горизонтах візейського ярусу (гор. В-15 ÷ В-20, В-26). Поверх нафтогазоносності становить понад 250 м. Починаючи з 1979 р., експлуатуються три основні продуктивні горизонти (В-17, В-19в, В-26). Крім того, у жовтні 1973 р. було виконано пробну експлуатацію горизонту В-18н. В останні роки почалася розробка горизонту В-20 (свердловинами 52, 53) (Гірничий..., 2004; Атлас..., 1998).

У геологічній будові Східнорогінцівського родовища присутні кристалічні породи докембрію та осадові формування палеозойського, мезозойського та кайнозойського віків. Характерною особливістю осадової товщі є незначна потужність в розрізі

турнейських та нижньовізейських відкладів, а також відсутність в розкритому розрізі девонської товщі соляних формувань. Осадовий чохол на родовищі повністю не розбурений жодною свердловиною. Найдавнішими породами, які розкриті свердловинами, є відклади верхнього девону, на розмитій поверхні яких залягають породи кам'яновугільної системи (Гірничий..., 2004; Атлас..., 1998).

*Вибір ділянки для апробації методу та аналіз ступеня її вивченості*

Основною вимогою при виборі ділянки, де буде апробовано пропонуванний метод, є наявність продуктивних і непродуктивних свердловин у районі проведених досліджень, а також однорідних фацій рослин, які перетинають нафтогазоносні та фонові ділянки ландшафту. Крім того, необхідна різномірна геолого-геофізична інформація, яка підтверджує ступінь перспективності району досліджень. Таким умовам значною мірою відповідає ділянка між свердловинами № 16 (непродуктивна), та №№ 51, 62 (продуктивні) (Рис. 2, 3). Вона має абсолютні відмітки 120–180 м та характеризується перепадом висот у межах 40–60 м.



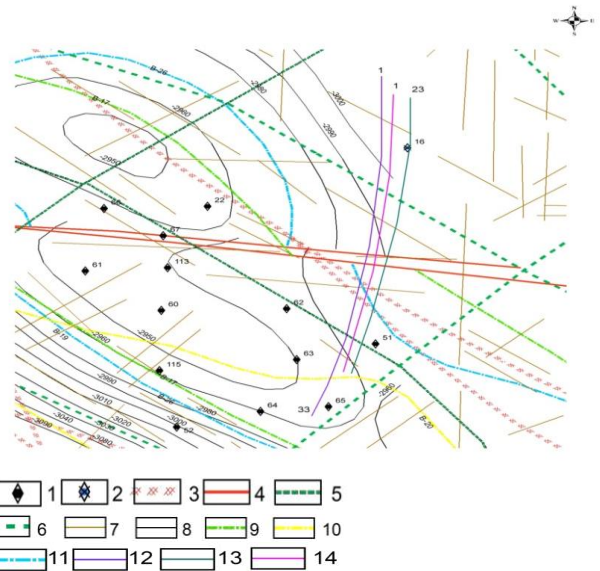
**Рис. 2.** Схема розломно-блокової тектоніки Східнорогінцівської площі

Умовні позначення: свердловини: 1 – продуктивні, 2 – непродуктивні; 3 – ізогіпси по відбивному горизонту В-26; розломи: 4 – за даними буріння; 5 – за даними сейсморозвідувальних робіт (1–5 – геолого-геофізичні матеріали згідно з Підрахунком запасів..., 2001); лінеamenti, виділені за даними АКГД: 6 – регіональні, 7 – міжблокові, 8 – внутрішньоблокові; об’єкти: 9 – відомі локальні підняття, 10 – прогнозні неотектонічні підняття (6–10 – результати аерокосмогеологічних робіт (АКГД) за даними Вдосконалення..., 2009).

У неотектонічному плані ці блоки, як і Східнорогінцівська структура, мають досить високу неотектонічну активність, про що свідчать інтенсивні сучасні фізико-географічні процеси в межах цих блоків. Зони лінеamentів, що розділяють ці блоки, можуть відповідати малоамплітудним розломам або ж зонам

підвищеної тріщинуватості в породах фундаменту та осадової товщі і слугувати шляхами флюїдопровідності.

Фотометрування матеріалів БКЗ. Вимірювання зональних яскравостей виконано у видимій та ближній ІЧ-зонах спектра – спектральні канали 2, 3, 4 (інтервали 0,525–0,605 мкм; 0,630–0,690 мкм; 0,750–0,900 мкм, відповідно). Зональні зображення, що використовувались, були прив’язані до картографічної проекції UTM (Universal Transverse Mercator), сфероїд WGS-84, географічна зона 36. Для кожної площі було створено багатозональні файли (растровий формат), профілі фотометрування нанесено у векторному шарі, який топографічно прив’язаний до растрового зображення. Як тематичні шари було взято синтезовані в умовних кольорах зображення, які дали змогу після застосування операції вирівнювання гістограми (сегментація) виділити однорідні фації. Профілі для фотометрування прокладено по однорідних ділянках рослинності з урахуванням геологічної будови – навхрест протяжності геологічних структур (між непродуктивною та продуктивною свердловинами). На Рис. 3 наведено схему розташування профілів фотометрування на Східнорогінцівській площі. Оптична аномалія по профілю № 23 на Східнорогінцівській площі відповідає ділянці між точками 27–41 з аналізу фактору F1. Положення північної межі оптичної аномалії – між ВНК по продуктивних горизонтах В-17 і В-26, тобто було доведено принципову можливість виділення малоінтенсивних оптичних аномалій над покладами ВВ.



**Рис. 3.** Тестова ділянка на Східнорогінцівській площі

Умовні позначення: свердловини: 1 – продуктивні, 2 – непродуктивні; розломи: 3 – за даними сейсморозвідувальних робіт; 4 – за даними буріння; лінеamenti, виділені за даними АКГД: 5 – міжблокові, 6 – регіональні, 7 – внутрішньоблокові; 8 – ізогіпси по відбивному горизонту В-26 (за даними НГВУ “Охтирканафтогаз”); ВНК за горизонтами: 9 – В-17, 10 – В-20, 11– В-26; маршрути наземних досліджень: 12 – 1999 р.; 14 – 2004 р.; 13 – профіль № 23 за матеріалами фотометрування БКЗ.

*Комплекс завіркових робіт*

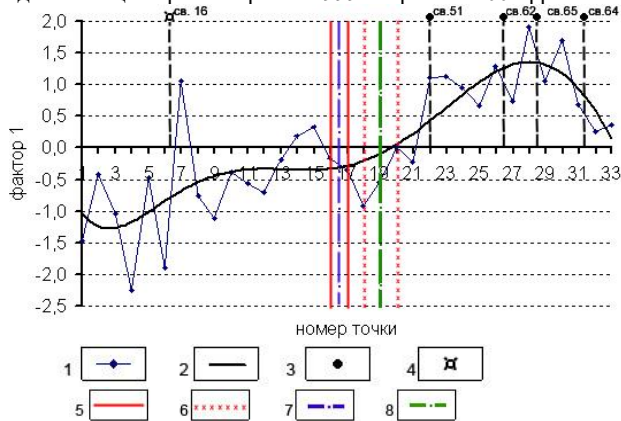
У процесі експериментальної перевірки відпрацьовувалися практичні питання з проведення завіркових робіт згідно з технологією. При цьому для порівняння результатів вони проводилися вздовж тих же маршрутів, що й основні дослідження (фотометрування матеріалів БКЗ). Враховуючи результати аналізу закономірностей зміни різних параметрів геофізичних та

геохімічних факторів над покладами ВВ, як завіркові методи були використані наземне фотометрування ґрунтів і рослин, магнітометрична зйомка та літогеохімічні дослідження ґрунтів.

Для подальших досліджень були взяті дані спектральних відбивних характеристик рослин, які реєструвались виконувалася прецизійним лабораторним спектрофотометром СФ-18 у 1999 та у 2004 рр., що застосовується для вимірювання спектрів відбиття. Перевагою апаратури СФ-18 є висока точність вимірювань ( $\pm 1\%$ ).

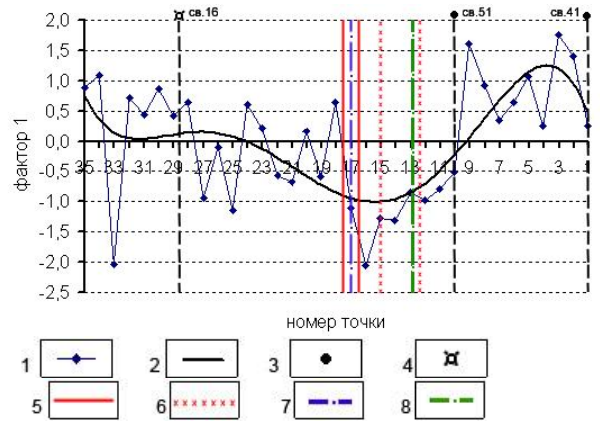
Топоприв'язка маршрутів і точок спостережень на них здійснювалася за допомогою GPS. Алгоритм обробки результатів фотометрувань рослин ідентичний і подібний до того, який використовувався під час обробки матеріалів БКЗ. Для подальших розрахунків було прийнято рішення використовувати значення коефіцієнта спектральної яскравості (КСЯ) в тих же спектральних піддіапазонах, що й при фотометруванні рослинності: 550, 680 і 750 нм. Це найкраще забезпечує порівнянність результатів фотометрування рослинного покриття в однойменних точках відбору. Для підвищення точності відліку значень КСЯ ділянки реєстраційних бланків, що відповідають довжинам хвиль 550, 680 і 750 нм, були збільшені в 10 разів, після чого отримані значення абсцис нормувалися відносно білих еталонів. На Східнорогінцівській площі аномалія виділяється між тт. 21–33 для маршруту 1999 р. (Рис. 4) та між тт. 1–9 для маршруту 2004 р. (Рис. 5), що добре відповідає положенням ВНК покладів. Таким чином, проведені завіркові наземні дослідження підтвердили гіпотезу про наявність оптичної аномалії рослин над покладами ВВ.

У процесі завіркових робіт на тестових ділянках досліджувалися відбивні характеристики листків берези віком 25–30 років на Східнорогінцівському родовищі. Як відомо, найсуттєвіші фізіологічні зміни під впливом нафтидогенних процесів відбуваються у рослин, коренева система яких глибше проникає в коренеоточувальний шар (Журавель Н. Е., 1987). Але аналіз графіків (рис. 4, 5) показує, що зміни КСЯ над покладами ВВ впевнено виділяються. Необхідно підкреслити, що оптична аномалія на Східнорогінцівській площі реєструвалася в різні періоди вегетації берези: червень 1999 і вересень 2004 рр.



**Рис. 4.** Результати фотометрування листя рослин на Східнорогінцівській площі (береза, наземний маршрут, червень 1999 р., фотометр СФ-18)

Умовні позначення: 1 – фактор 1 (F1); 2 – усереднення F1 поліномом 6-го ступеня; свердловини: 3 – продуктивні, 4 – непродуктивні; розломи: 5 – за даними буріння; 6 – за даними геофізичних досліджень; ВНК по горизонтах: 7 – В-17, 8 – В-26.



**Рис. 5.** Результати фотометрування листя рослин на Східнорогінцівській площі (береза, наземний маршрут, вересень 2004 р., спектрофотометр СФ-18)

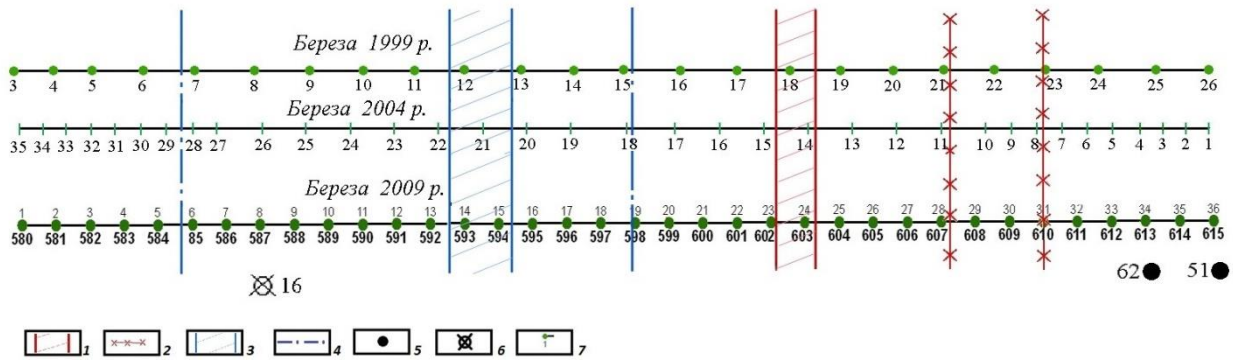
Умовні позначення: 1 – фактор 1 (F1); 2 – усереднення F1 поліномом 6-го ступеня; свердловини: 3 – продуктивні, 4 – непродуктивні; розломи: 5 – за даними буріння; 6 – за даними геофізичних досліджень; ВНК по горизонтах: 7 – В-17, 8 – В-26.

Під час виконання відомчих, цільових та господарчих договірних тематик (1995–2021 рр.) наукові співробітники ЦАКДЗ ІГН НАН України провели цілий комплекс досліджень, використовуючи різні дистанційні та наземні методи. Так, у 2009 р. проведені польові роботи за цим же маршрутом з відбором листків берези віком 25–30 років на Східнорогінцівському родовищі та подальшим спектрометруванням приладом ASD FieldSpec 3 FR у спектральному діапазоні 350–2500 нм з інтервалом відліку 1,4 нм (Рис. 6).

Усіма видами досліджень чітко виділяються дві зони: перша – район продуктивних свердловин (№№ 51, 62) і друга – ділянка на північ від розломної зони (що визначена за даними буріння), яка контролюється непродуктивною свердловиною № 16. При цьому встановлено, що над покладом ВВ є аномальні ділянки різної протяжності та інтенсивності, які фіксують контур ВВ

*Експериментальні польові завіркові дослідження 2021 р.*

У 2021 році було запропоновано провести експериментальні завіркові роботи за допомогою нових приладів: спектрорадіометрів ASD FieldSpec 3 FR та STS-VIS Developers kit, встановленого на БпЛА. Основою експерименту стала умова: провести заміри за маршрутами, вздовж яких проводились у 1999–2009 рр. фотометрування матеріалів БКЗ, польові наземні маршрути зі спектрометрування листя рослин (у даному разі листя берези) у червні 1999, вересні 2004 рр. спектрофотометром СФ-18 та в червні 2009 р. спектрорадіометром ASD FieldSpec 3 FR.



**Рис. 6.** Просторове співвідношення маршрутів польового спектрометрування

Умовні позначення: 1 – межа покладу за даними буріння; 2 – розривні порушення за даними геофізичних робіт; 3 – зони лінеаментів за даними АКГД; 4 – локальні лінеаменти за даними АКГД; *свердловини*: 5 – продуктивні, 6 – непродуктивні; *розломи*: 7 – точки відбору листя для спектрометрування.

Основним теоретичним підґрунтям постановки завдання вважаємо встановлені закономірності зміни різних параметрів геофізичних та геохімічних факторів над покладами ВВ, особливості спектрально-відбивних характеристик рослинного покриву в зонах вуглеводневих аномалій (Филиппов, 2003), які були покладені в основу попередніх завіркових польових досліджень зі спектрометрування листя рослин.

Основні характеристики приладів, що використовуються для експериментальних польових завіркових досліджень 2021 р., а саме, спекторадіометрів ASD FieldSpec 3 FR та STS-VIS Developers kit, наведені в таблиці 1.

Таблиця 1. Основні характеристики спекторадіометрів

Назва приладу	ASD Field Spec 3 FR	Ocean Optics STS-VIS Developer's kit
Спектральний діапазон	350–2500 нм	350–800 нм
Інтервал відліку	1,4 нм у діапазоні довжини хвиль 350–1000 нм і 2,0 нм у діапазоні довжини хвиль 1000–2500 нм	1,5 нм FWHM w/25 μm зрізом

Для набору статистичних замірів та повторного спостереження особливостей спектрально-відбивних характеристик листя берези за маршрутом, що був досліджений раніше (Рис. 3), у червні 2021 р. проведено відбір та спектрометрування приладом ASD FieldSpec 3 FR листя берези з дорослих рослин у точках відбору, що відповідають таким на маршрутах попередніх років. Топоприв'язка маршрутів і точок спостережень на них здійснювалася за допомогою GPS.

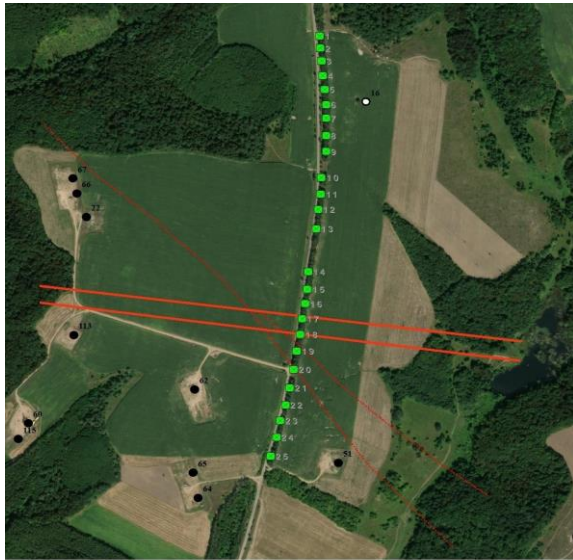
На маршруті відбиралося листя берези на висоті 2 м від поверхні землі, по 10 листків та спектрометрувалося в камеральних умовах за допомогою спекторадіометра ASD Field Spec 3 FR, спектральний діапазон якого – 350–2500 нм. Для приготування зразків використовувалися середні частини листків контактним способом. Для

запобігання переміщення й деформації листків у процесі фотометрування матеріали фіксувалися за допомогою притискного кільця. Листки розміщувалися у вимірювальній кюветі на чорному матеріалі, що має дуже малу відбивну здатність. Тобто, для різних листків відбувається різне викривлення величин відбиття в ділянці поглинання хлорофілу через внески світлових потоків, які відбиваються від дна кювети й удруге проходять через листок. Цей ефект найяскравіше виявляється в слабо пігментованих листках і особливо сильно зростає для спектральних областей, у яких хлорофіл поглинає слабо й призводить до викривлення форми спектра. Теоретичний розгляд цих ефектів наведено в книзі В. І. Рачкуліка й М. В. Сітнікова, 1981. Отримані заміри були оброблені за алгоритмом, розробленим співробітниками ЦАКДЗ ІГН НАН України.

Новим напрямом було проведення експериментальних дослідних польових завіркових досліджень за допомогою спекторадіометра Ocean Optics STS-VIS Developers kit, який встановлено на БпЛА. На обраній ділянці (Рис. 3) був створений маршрут для подальших досліджень зі спектрометрування рослинного покриву, виміри проводилися у точках, які відповідали точкам на попередніх маршрутах, топоприв'язка точок спостережень вздовж маршруту здійснювалася за допомогою GPS (Рис. 7). Вимірювання спекторадіометром STS-VIS Developers kit здійснювалася в кожній зазначеній точці у діапазоні довжини хвиль 350–800 нм. Виміри проводилися дистанційно, шляхом маршрутного зальоту БпЛА, на висоті 5 м над кронами дерев. З такої висоти спектрометр зондував ділянку у формі еліпса, діаметром 10–15 см. Перед кожним виміром БпЛА “зависав” над точкою виміру, стабілізувався, і тільки потім робився вимір спектра відбиття. Результати вимірювання представлені у вигляді таблиць (зразок таблиці вимірів для т.17 наданий у табл. 2). Отримані заміри були оброблені за алгоритмом, розробленим співробітниками ЦАКДЗ ІГН НАН України.

Таблиця 2. Результати вимірювань спектрорадіометром STS-VIS Developers kit т. 17 маршруту спектрометрування 2021 р.

Номер відліку	Крок вимірювання спектра (спектральний діапазон)	Виміряні спектри в істинних величинах по 4 точках				Відбиття	Середня квадратична похибка
		1512	1503	1507	1505		
1	337	1512	1503	1507	1505	0.941772360870	0.008624502126
2	338	1517	1506	1508	1507	0.925898018623	0.008583367456
3	339	1515	1513	1515	1510	0.916975657719	0.008852500389
4	340	1516	1510	1509	1506	0.913811018946	0.008724032134
5	341	1514	1512	1510	1511	0.913382531768	0.008406284693
...							
483	820	2206	2459	2292	2208	0.564808142112	0.055856088703
484	821	2202	2457	2286	2210	0.564298860457	0.055627015844
485	822	2201	2444	2278	2195	0.563669373045	0.055827523940
486	823	2200	2441	2280	2198	0.563067412762	0.056093548896



**Рис. 7.** Фрагмент ділянки Східнорогінцівської площі з нанесеним маршрутом завіркових досліджень за допомогою спектрорадіометра Ocean Optics STS-VIS Developers kit, який встановлено на БПЛА  
Умовні позначення: 1 – розломи за даними геофізичних досліджень, 2 – розломи за даними бурових робіт, 3 – продуктивні свердловини, 4 – непродуктивні свердловини, 5 – точки спектрометрування.

*Вибір математичного апарату для опису змін у структурі рослин*

Для вирішення нафтогазопошукових задач в якості вхідної дистанційної та наземної інформації використовують результати спектральних та гіперспектральних вимірювань. Протягом десятків років для їх обробки в ЦАКДЗ використовувалась ціла низка відомих методів (способів) або авторських розробок. Необхідно відзначити, що для більшості цих методів необхідні тільки окремі значення відбиття в зеленій, червоній та інфрачервоній зонах спектра, проте для обробки всіх значень спектра вони не всі придатні.

Наведемо перелік методів обробки результатів фотометрування, які отримані за допомогою фотометрів КФ-08М, ПФ-08 (використовувались для фотометрування в 1990-х рр.), спектрофотометра СФ-18 та спектрорадіометра Field Spec FR 3:

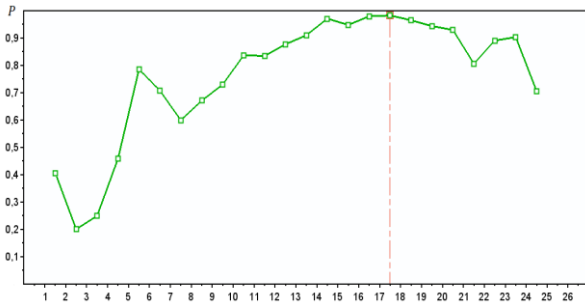
1. Метод спектральних контрастів.
2. Використання комплексних спектральних параметрів – вегетаційних індексів.
3. Використання положення “червоного краю”.
4. Факторний аналіз.
5. Метод міждисциплінарної інтеграції аерокосмічної та наземної інформації і системного підходу.
6. Апарат нечітких множин та нечіткої логіки.
7. Метод фрактальної селекції.
8. Метод множинної регресії.
9. Статистичний поділ спектрограм за допомогою інформаційної дивергенції Кульбака – Лейблера.
10. Корелограма спектрів відбиття.
11. Метод оцінювання варіабельності узагальнених розмірностей спектрів відбиття рослинного покриву, які отримані за матеріалами дистанційних або наземних спектрометрувань.

Для обробки результатів, отриманих спектрорадіометрами ASD FieldSpec 3 FR та STS-VIS Developers kit у 2021 році, було використано статистичний поділ спектрограм за допомогою інформаційної дивергенції Кульбака – Лейблера (Galas D. J., 2017). Алгоритм обробки отриманих спектрограм описаний С. А. Станкевичем, О. В. Титаренко, 2010. Отримані результати надано у формі графіків (Рис. 8, 9).

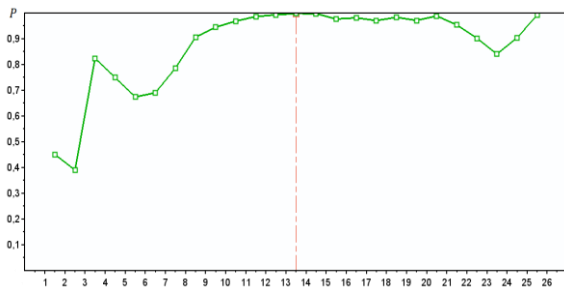
**4. Обговорення результатів**

Вибрана для проведення експерименту ділянка Східнорогінцівської площі характеризується наявністю непродуктивної свердловини № 16, продуктивних свердловин №№ 51 та 62, інформацією про наявні розривні структури, виявлені бурінням та сейсмозвідувальними роботами, результатами аерокосмогеологічних досліджень із встановленими лінеаментними зонами і локальними лінеаментами.

На цій ділянці наявні результати проведеного фотометрування космічних знімків за вибраним маршрутом. У 1999 та 2004 рр. проведене наземне фотометрування рослинного покриву за цим же маршрутом, яке показало ефективність даного підходу для визначення змін у стані рослинного покриву, обумовлених покладом ВВ.

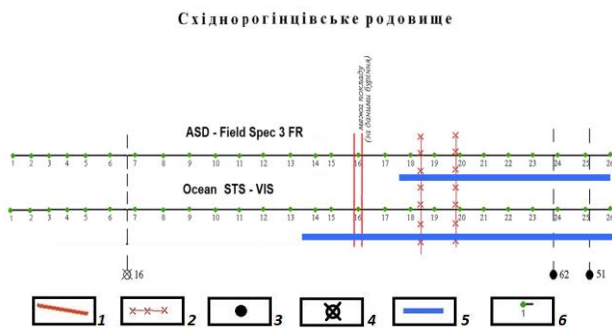


**Рис. 8.** Графік-візуалізація результатів статистичної обробки спектрограм, отриманих у червні 2021 р. приладом ASD Field Spec 3 FR



**Рис. 9.** Графік-візуалізація результатів статистичної обробки спектрограм, отриманих у червні 2021 р. приладом Ocean Optics STS-VIS Developers kit

Їх аналіз дає змогу виділити аномальні ділянки (синім кольором), які обумовлені покладами ВВ (Рис. 10).



**Рис. 10.** Просторове розташування аномальних ділянок, які обумовлені покладами вуглеводнів.

Результати польових замірів, червень 2021 р.  
Умовні позначення: 1 – розлом за даними буріння; 2 – розломи за даними сейсмічних досліджень; *свердловини*: 3 – продуктивні (№№ 51, 62); 4 – непродуктивна (№ 16); 5 – аномальні ділянки за результатами обробки даних різних спектродіаметрів; 6 – точки спостереження та їхні номери.

Після аналізу отриманих результатів обробки замірів спектродіаметрів ASD FieldSpec 3 FR та STS-VIS Developers kit, здійснених у червні 2021 р., можна зробити висновок: оптична аномалія, яка

обумовлена покладом ВВ, по профілю на Східнорогінцівській площі відповідає ділянці між точками 17–26 для ASD FieldSpec 3 FR та ділянці між точками 15–26 для STS-VIS Developers kit. Досить точно виділяється перехід від об'єкта до фону, що відповідає межі покладу за даними буріння (точка 16 на профілі), тобто було підтверджено принципову можливість виділення малоінтенсивної оптичної аномалії над покладом ВВ за допомогою спектродіаметра ASD FieldSpec 3 FR та суттєву кореляцію результатів, отриманих спектродіаметром STS-VIS Developers kit, який встановлено на БпЛА (рис. 10).

## Висновки

Розроблена у ЦАКДЗ ІГН НАН України методика вирішення нафтогазопошукових завдань на суходолі (спутникова технологія) є ефективним допоміжним засобом, який дозволяє вирішити два основних завдання при прогнозуванні нафтогазоперспективності ділянок: визначення структурної будови ділянки для виділення структурних локальних аномалій та визначення оптичних аномалій з метою встановлення наявності ВВ.

Проте розвиток засобів та методів дистанційного зондування дозволяє застосувати нові підходи для отримання даних для оцінювання оптичних аномалій.

Проведені в червні 2021 р. експериментальні польові завіркові дослідження дають змогу зробити такі висновки.

По-перше, підтверджена ефективність застосування польового спектрометрування способом збору зразків рослинного покриву (листя дерев) і подальшого вимірювання спектродіаметром ASD FieldSpec 3 FR. Повторно отримано результати, що демонструють можливість визначення аномальної ділянки (рис. 10). Ці результати відповідають попереднім, отриманим у 1999 та 2004 рр. (рис. 4, 5).

По-друге, проведений експериментальний замір за допомогою спектродіаметра STS-VIS Developers kit, який встановлено на БпЛА. Отримана задовільна кореляція результатів, підтверджена можливість виділення малоамплітудної оптичної аномалії, обумовленої покладом ВВ.

Ці висновки дають змогу за потреби замість трудомісткої процедури відбору листя вздовж маршруту застосовувати БпЛА із встановленим спектродіаметром STS-VIS Developers kit з подальшою статистичною обробкою.

## Література

- Архипов А. И., Кузнецова А. В., Сенько О. В., Станкевич С. А., Титаренко О. В. Результаты статистического выявления границ залежей углеводородов на суше с использованием многоспектральных космоснимков и данных полевого спектрометрирования. *Космична наука і технологія*. 2009. Т. 15. № 6. С. 44–48. <https://doi.org/10.15407/knit2009.06.044>.
- Архіпова Т. О. Дослідження закономірностей формування оптичних аномалій ландшафтів над покладами вуглеводнів. *Нафта і газ України: Матеріали 8 міжнар.*

- конф. (Судак, 29 вересня – 1 жовтня 2004). Київ, 2004. Т.1. С. 35–37.
- Архіпова Т. О. Обґрунтування методики прогнозування покладів вуглеводнів на суходолі з використанням матеріалів аерокосмічних та геохімічних досліджень (на прикладі нафтогазоносних площ Дніпровсько-Донецької западини) : дис. ... канд. геол. наук. Київ: ЦАКДЗ ІГН НАН України, 2006. 177 с.
- Атлас родовищ нафти і газу України. За загальною ред. М. М. Іванюти та ін. Т. 1. Львів: Українська нафтогазова академія, 1998. 494 с.
- Багатоспектральні методи дистанційного зондування Землі в задачах природокористування. Лялька В.І., Попов М.О., Федоровський О.Д. та ін.; за ред. В. І. Лялька і М. О. Попова. Київ: Наук. думка, 2006. 360 с.
- Вдосконалення супутникових технологій пошуку та прогнозу покладів вуглеводнів на прикладі перспективних об'єктів Азово-Чорноморського регіону та Дніпровсько-Донецької западини: звіт про НДР; наук. кер. З. М. Товстюк. Київ, 2009. 517 с. № ДР 0105U000926.
- Верховцев В. Г. Прикладные (поисковые и инженерно-геологические) аспекты изучения платформенных геоструктур Украины. *Екологія довкілля та безпека життєдіяльності*. 2005. № 3. С. 80–92.
- Верховцев В. Г. Новітні платформні геоструктури України та динаміка їх розвитку : автореф. дис. ... д-ра геол. наук: 04.00.01. Київ, 2008. 36 с.
- Гірничий енциклопедичний словник. За загальною ред. В. С. Білецького та ін. Том 3. Донецьк: Східний видавничий дім, 2004. 752 с.
- Деклараційний патент на винахід UA 63073 А. Мультиспектральний структурно-польовий спосіб прогнозування покладів нафти і газу / Перерва В. М., Тепляков М. О. Архіпов О. І., Гонтаренко О. В., Бусел Г. Ф., Левчик О. І., Оскан'ян Т.В. Опубл. 15.01.2004, бюл. № 1.
- Журавель Н. Е., Васильев А. Н. Закономерности формирования аномальных концентраций металлов в почвенно-растительном покрове Шебелинского месторождения. *Доклады АН УССР. Серия Б: Геология, химия и биологические науки*. 1987. № 3. С. 14–17.
- Підрахунок запасів нафти Східно-Рогінцівського родовища (за станом на 01.01.2001 р.): звіт за дог. 00.23.00 з НГВУ “Охтирканафтогаз” ВАТ “Український нафтогазовий інститут”. Київ, 2001. 97 с.
- Рачкулик В. И., Ситникова М. В. Отражательные свойства и состояние растительного покрова. Ленинград: Гидрометеиздат, 1981. 287 с.
- Станкевич С. А., Титаренко О. В. Сегментний аналіз даних польового спектрометрування в нафтогазопошукових задачах. *Екологічна безпека та природокористування*. 2010. С. 151–157.
- Титаренко О. В. Методика картування покладів вуглеводнів із застосуванням дистанційних даних та наземного спектрометрування: дис. ... канд. техн. наук. Київ: ЦАКДЗ ІГН НАН України, 2011. 154 с.
- Товстюк З. М., Єфіменко Т. А., Титаренко О. В., Головащук О. П., Лазаренко І. В. Новітня розломно-блокова тектоніка Дніпровсько-Донецької западини. *Український журнал дистанційного зондування Землі*. 2014. № 2. С. 4–13. URL: <https://ujrs.org.ua/ujrs/article/view/15>
- Филиппов Д. В. Исследование особенностей спектрально-отражательных характеристик растительного покрова и почв в зонах углеводородных аномалий в целях тематического дешифрирования аэрокосмической информации: дис. ... канд. техн. наук: 25.00.34 / МИИГАиК. Москва, 2003. 122 с.
- Galas D. J., Dewey Gregory, Kunert-Graf James, and Sakhanenko Nikita A. Expansion of the Kullback-Leibler Divergence, and a New Class of Information Metrics. *Axioms* 2017, 6(2), 8; 14 p. DOI: <https://doi.org/10.3390/axioms6020008>.

## References

- Arkipov, A. I., Kuznetsova, A. V., Senko, O. V., Stankevich, S. A., Titarenko, O. V. (2009) Results of statistical identification of the boundaries of hydrocarbon deposits on land using multispectral satellite images and field spectrometry data. *Kosmichna nauka i tekhnolohiia*. (vol. 15), No. 6, 44–48. <https://doi.org/10.15407/knit2009.06.044>. (in Russian).
- Arkipova, T. O. (2004, September-October) Research of regularities of formation of optical anomalies of landscapes over hydrocarbon deposits. Proceedings of the 8th International Conference, (vol 1) 35–37, Kyiv. (in Ukrainian).
- Arkipova, T. O. (2006) Substantiation of methods for forecasting hydrocarbon deposits on land using materials from aerospace and geochemical studies (on the example of oil and gas areas of the Dnieper-Donetsk basin). (Unpublished candidate thesis). Scientific Centre for Aerospace Research of the Earth of the IGS of NASU, Kyiv, Ukraine. (in Ukrainian).
- Biletsky, V.S., Boiko, V. S., Zolotko, O. A., Saranchuk, V. I., Panov, B. S., Myrnyi, V. V., Amitan, V. N., Dryzhenko, A. Yu., Zahnitko, A. P. (Eds.) (2004) Mining encyclopedic dictionary. (vol. 3). Donetsk: Oriental Publishing House. (in Ukrainian).
- Calculation of oil reserves of the East Roginty field (as of 01.01.2001): Report on contract. 00.23.00 from NGVU "Okhtyrkanaftogaz", OJSC "Ukrainian Oil and Gas Institute". Kyiv. (in Ukrainian).
- Decl. pat. UA 63073 A, G01V9/00, G01S17/00, Multispectral structural-field method for predicting oil and gas deposits. Pererwa, V. M, Teplyakov, M. O., Arkipov, O. I., Gontarenko, O. V., Busel, G. F., Levchik, O. I., Oskanyan, T. V. Publ 15.01.2004. (in Ukrainian).
- Filippov, D. V., (2003) Study of the peculiarities of the spectral-reflective characteristics of the vegetation cover and soils in the zones of hydrocarbon anomalies for the purpose of thematic interpretation of aerospace information. (Unpublished candidate thesis). Moscow State University of Geodesy and Cartography. Moscow. Russia. (in Russian).
- Galas D. J., Dewey Gregory, Kunert-Graf James, and Sakhanenko Nikita A. Expansion of the Kullback-Leibler Divergence, and a New Class of Information Metrics. *Axioms* 2017, 6(2), 8; 14 p. <https://doi.org/10.3390/axioms6020008>
- Ivanjuta, M. M., Fedyshyn, V. O., Arsirij, Ju. O., Babij, B. A., Bilyk, S. F., Bojko, Gh. Ju., Brazhyna, Gh. J., ... Jaremijchuk, R. S. (Eds.). (1998). Atlas of oil and gas fields of Ukraine. Eastern oil and gas region. (vol. 1). Lviv: UNGA. (in Ukrainian).
- Lyalko, V. I., Popov, M. O. (Eds.) (2006) Multispectral methods of remote sensing of the Earth in nature management problems. Kyiv. Naukova Dumka. (in Ukrainian).
- Rachkulik, V. I, Sitnikova, M. V. (1981) Reflective properties and condition of vegetation. Leninhrad. Gidrometeoizdat, 1981.
- Stankevich, S. A., Titarenko, O. V. (2010) Segment analysis of field spectrometry data in oil and gas exploration problems. *Ekolohichna bezpeka ta pryrodokorystuvannia*. 2010. 151–157.



- Titarenko, O. V. (2011) Methods of mapping hydrocarbon deposits using remote data and ground spectrometry. (Unpublished candidate thesis). Scientific Centre for Aerospace Research of the Earth of the IGS of NASU, Kyiv, Ukraine. (in Ukrainian).
- Tovstyuk, Z. M. (Ed.) (2009) Improvement of satellite technologies for search and forecast of hydrocarbon deposits on the example of promising objects of the Azov-Black Sea region and the Dnieper-Donetsk basin. Research report. State registration number 0105U000926. Kyiv. (in Ukrainian).
- Tovstyuk, Z. M., Efimenko, T. A., Tytarenko, O. V., Golovashchuk, O. P., Lazarenko, I. V. (2014) The latest fault-block tectonics of the Dnieper-Donetsk depression. *Ukrainskyi zhurnal dystantsiinoho zonduvannia Zemli*. 2, 4–13. URL: <https://ujrs.org.ua/ujrs/article/view/15> (in Ukrainian).
- Zerkhovtsev, V. G. (2005) Applied (exploratory and engineering-geological) aspects of the study of platform geostructures of Ukraine. *Ekolohiia dovkillia ta bezpeka zhyttiedialnosti*. 3. 80–92. (in Ukrainian).
- Zerkhovtsev, V. G. (2008) New platform geostructures of Ukraine and dynamics of their development: (Unpublished candidate thesis). Kyiv. Institute of the Geological Sciences. 36 p.
- Zhuravel, N. E., Vasiliev, A. N., (1987) Regularities of formation of anomalous concentrations of metals in the soil-vegetation cover of the Shebelinska field. Reports of the USSR Academy of Sciences, series B, No 3. Geology, chemistry and biological sciences, 14–17. (in Russian).

#### ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ОБОСНОВАНИЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ ДЛЯ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ НЕФТЕГАЗОПЕРСПЕКТИВНЫХ ОБЪЕКТОВ

О. В. Седлорова, А. И. Архипов, С. И. Голубов, А. Д. Бондаренко

ГУ “Научный центр аэрокосмических исследований Земли ИГН НАН Украины”, Киев, ул. О. Гончара, 55 Б, Украина, 01054

Статья посвящена актуальной проблеме прогнозирования нефтегазоперспективных объектов с помощью новейших технологий дистанционного зондирования. Предложенный новый подход для получения полевых заверочных данных является существенной составляющей методики решения нефтегазопроисковых задач на суше (спутниковая технология). Проведены экспериментальные полевые исследования с помощью спектрорадиометра Ocean Optics STS-VIS Developers kit, установленного на квадрокоптере (БПЛА). На примере Восточнорогинцевской площади, входящей в состав Талалаевско-Рыбальского нефтегазоперспективного района Днепровско-Донецкой нефтегазоперспективной области, продемонстрированы основные этапы разработанной методики: создана модель разломно-блокового строения, оценены неотектонические особенности названной площади и отдельных локальных ее блоков, проведено фотометрирование многоспектрального космического снимка по маршруту, повторно проведен отбор листьев березы по этому же маршруту для спектрометрирования прибором ASD FieldSpec 3 FR. Основной задачей эксперимента было проведение полевых замеров спектрорадиометром Ocean Optics STS-VIS Developers kit по маршруту, который повторяет маршруты спектрометрирования другими способами. После анализа полученных результатов можно сделать вывод: оптическая аномалия, которая идентифицируется с залежью углеводородов (УВ), по профилю на Восточнорогинцевской площади соответствует участку между точками 15–26. Эта же аномалия была установлена при спектрометрировании прибором ASD FieldSpec 3 FR (2009 и 2021 гг.), прибором СФ-18 (1999 и 2004 гг.). Достаточно точно выделяется переход от объекта к фону, что соответствует границе залежи по данным бурения (точка 16 на профиле), то есть была подтверждена принципиальная возможность выделения малоинтенсивной оптической аномалии над залежью УВ с помощью спектрорадиометра STS-VIS Developers kit, установленного на БПЛА.

**Ключевые слова:** Днепровско-Донецкая впадина (ДДВ), нефтегазоносность, залежи углеводородов (УВ), геолого-геофизическая информация, спектрометрирование, беспилотный летательный аппарат (БПЛА), комплексирование.

#### EXPERIMENTAL STUDY ON THE USE OF UNMANNED AERIAL VEHICLES FOR THE PREDICTION OF OIL AND GAS FACILITIES

O. V. Sedlerova, O. I. Arkhipov, S. I. Golubov, A. D. Bondarenko

Scientific Centre for Aerospace Research of the Earth of the Institute of Geological Sciences of the National Academy of Sciences of Ukraine. 55-B, O. Honchar st, 01054 Kyiv, Ukraine

The article is devoted to the topical problem of forecasting oil and gas promising objects using the latest remote sensing technologies. The proposed new approach to obtaining field verification data is an essential component of the methodology for solving oil and gas prospecting problems on land (satellite technology).

Experimental field studies were carried out using the Ocean Optics STS-VIS Developers kit spectroradiometer installed on an unmanned aerial vehicle. Using the example of the Skhidorogintsevska area, which is part of the Talalaevska-Rybaltsy oil and gas region of the Dnieper-Donetsk oil and gas region, the main stages of the developed method are demonstrated: a model of the fault-block structure was created, the neotectonic features of this area and its local blocks were estimated, photometric measurements of a multispectral satellite image along the route were carried out, birch leaves were sampled again along the same route for spectrometry using the ASD FieldSpec 3 FR instrument.

The main objective of the experiment was to carry out field measurements with the Ocean Optics STS-VIS Developers kit spectroradiometer along a route that repeats the routes of measurements with spectrometers carried out earlier. The results showed that the optical anomaly, which is identified with a hydrocarbon accumulation, along the profile at the Skhidorogintsevska area corresponds to the segment between points 15–26.

The same anomaly has been established with the spectrometry device ASD FieldSpec 3 FR (2009 and 2021), the instrument SF-18 (1999 and 2004). Sufficiently accurately allocated transition from object to background, which corresponds to the boundary of the deposit on the drilling data (point 16 on the profile), i.e. has been confirmed in principle the possibility of allocating a low-intensity optical anomalies over hydrocarbon reservoirs using spectroradiometer STS-VIS Developers kit, mounted on an unmanned aerial vehicle.

**Key words:** Dnieper-Donetsk depression, oil and gas content, hydrocarbon deposits, geological and geophysical information, spectrometry, unmanned aerial vehicle, integration.

Рукопис статті отримано 23.09.2021