



<https://doi.org/10.36023/ujrs.2023.10.1.235>

УДК 528.8.042.3:553.98

Обґрунтування можливостей використання спектрометричних даних, отриманих з БпЛА та супутника Sentinel-2, для вирішення нафтогазопозукових завдань на суходолі

С. І. Голубов

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

Досліджено, протестовано та експериментально обґрунтовано можливості використання даних дистанційного зондування, отриманих із спектрометра, який встановлений на безпілотному літальному апараті (БпЛА), та супутникових даних для оцінювання наявності покладів вуглеводнів у межах геологічних структур. Тестовою ділянкою було обране Східнорогинцівське родовище (Великобубнівський вал Дніпровсько-Донецької западини) з наявними покладами вуглеводнів (ВВ), продуктивними і непродуктивними свердловинами, маршрут дослідження прокладений між непродуктивною і продуктивною свердловинами. Основною перевагою цієї території є наявність результатів обробки первинних даних наземних вимірювань та дистанційного знімання, отриманих різними видами апаратури з 1999 по 2021 рік. Дослідження присвячене порівняльному аналізу вегетаційних індексів, які обчислюються за дистанційними даними, отриманими мультиспектральною камерою, встановленою на БпЛА, та супутниковими даними Sentinel-2. Визначено, що ці дані мають високий ступінь кореляції, відображають зміни у стані рослинності, що викликані наявністю покладів ВВ, тектонічно активних розломних зон, та мають суттєве індикаційне значення. Отримані результати дають підставу ефективно використовувати БпЛА в структурі методики вирішення нафтогазопозукових завдань на суходолі.

Ключові слова: дистанційне зондування Землі, вегетаційні індекси, нафтогазоперспективність, БпЛА.

Вступ

Удосконалення методик прогнозування і пошуку нафти і газу і сьогодні є актуальним питанням. Розроблена в ДУ “Науковий центр аерокосмічних досліджень Землі Інституту геологічних наук НАН України” методика (супутникова технологія) вирішення нафтогазопозукових завдань на суходолі (Деклараційний патент, 2004; Багатоспектральні..., 2006) постійно розвивається і вдосконалюється. На нинішньому етапі вдосконалення вивчається, тестується, експериментально обґрунтовується можливість використання матеріалів, отриманих зі спектрометрів, встановлених на безпілотних літальних апаратах (БпЛА). Тестовою ділянкою обрано Східнорогинцівське родовище (Великобубнівський вал Дніпровсько-Донецької западини) з наявними покладами вуглеводнів (ВВ), продуктивними і непродуктивними свердловинами. Основною перевагою цієї території є наявність результатів обробки первинних даних наземного та дистанційного зондування в період з 1999 по 2021 рік. Раніше описані нами результати польових замірів, проведених наземним спектро радіометром ASD FieldSpec 3 FR, та дистанційні аерознімальні спектрометричні дані, отримані мультиспектральною камерою DJI STS-VIS, встановленою на БпЛА,

їх аналіз та геологічна інтерпретація (Седлєрова О. В. та ін., 2021) показали суттєву кореляцію даних, отриманих шляхом спектрометрування космічних знімків, польових вимірів з повітря (зі спектро радіометрів, встановлених на БпЛА) та наземних, контактних даних, отриманих за допомогою ASD FieldSpec 3 FR. Оскільки методика вирішення нафтогазопозукових завдань на суходолі певною мірою базується на реєстрації та аналізі стану рослинності, зміненому під впливом покладів вуглеводнів (ВВ), у представленому дослідженні проаналізовано вегетаційні індекси, визначені за даними космічного знімання супутника Sentinel-2 та мультиспектральної камери, встановленої на БпЛА DJI Phantom 4 Multispectral, отриманими в один і той самий день або в дуже близькі дні з однаковою погодою ситуацією – підсупутниковий експеримент.

Матеріали і методи

Дані, що оброблялись

Основною дослідження стали дані, отримані мультиспектральною камерою, встановленою на БпЛА DJI P4 Multispectral, від 23.06.2021 р., який проводить знімання шістьма камерами у п'яти смугах: синій (B): 450 нм ± 16 нм; зеленій (G): 560 нм ± 16 нм; червоній (R): 650 нм ± 16 нм; червоного краю (RE): 730 нм ± 16 нм; ближній інфрачервоній (NIR): 840 нм ± 26 нм та видимій RGB. Ширина

*<https://orcid.org/0000-0003-3711-598X>

E-mail: ASDFieldSpec3@gmail.com

смуги знімання 150 м, розрізненість на місцевості – 10 см. На Рис. 1 показано ортофотоплан маршруту, створений за даними, отриманими з БпЛА DJI Phantom 4 Multispectral 23.06.2021 р. над лісосмугою, що складається переважно з берези. Реакція цієї рослини на вплив факторів середовища, спричинених наявністю ВВ, дослідженнями 2004 року була визнана найбільш контрастною (Багатоспектральні..., 2006).

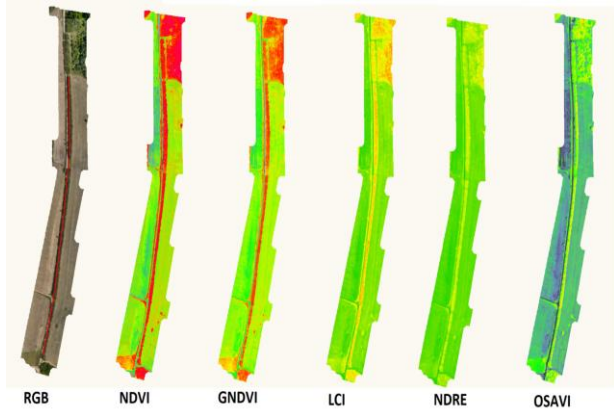


Рис. 1. Ортофотоплан маршруту, створений за даними, отриманими з БпЛА DJI Phantom 4 Multispectral 23.06.2021 р. Знімок RGB та візуалізація значень вегетаційних індексів, визначених вздовж маршруту прольоту БпЛА

Для аналізу результатів, геологічної інтерпретації і перевірки кореляції даних були обрані дані супутника Sentinel-2 від 26.06.2021 р. (S2B_MSIL2A_20210626T085559_N0300_R007_T36_UWB_20210626T114028; Sentinel 2 В – 2021-06-26, Орбіта T36UWB), який здійснює знімання у 13 смугах, з них для дослідження вибрані п'ять смуг, що зіставні із смугами знімання мультиспектральної камери, встановленої на БпЛА DJI P4 Multispectral: синя (B): 490 нм; зелена (G): 560 нм; червона (R): 665 нм; червоного краю (RE): 740 нм; ближня інфрачервона (NIR): 842 нм. Розрізненість становить 10 м на місцевості для зон B, G, R, NIR, а також 20 м для зони червоного краю (RE).

На Рис. 2 поданий знімок супутника Sentinel-2, за яким розраховувались вегетаційні індекси вздовж маршруту (показаний чорним кольором (а), пікети, в яких проводились вимірювання наземним спектро радіометром.

Умовні позначення:

свердловини: 1 – продуктивні, 2 – непродуктивні;
розломи: 3 – за даними геофізичних досліджень, 4 – за даними буріння; 5 – ізогіпси відбивного горизонту В-26 (нижньовізейський ярус кам'яновугільної системи), 6 – водонафтовий контакт (ВНК) за горизонтом В-26, 7 – маршрути завіркових досліджень: а (чорним) – за космічним знімком Sentinel-2, дата знімання 26.06.2021 р., b (червоним) – за допомогою мультиспектральної камери, встановленої на БпЛА DJI P4 Multispectral, дата знімання 23.06.2021 р., 8 – точки наземного спектрометрування (пікети).

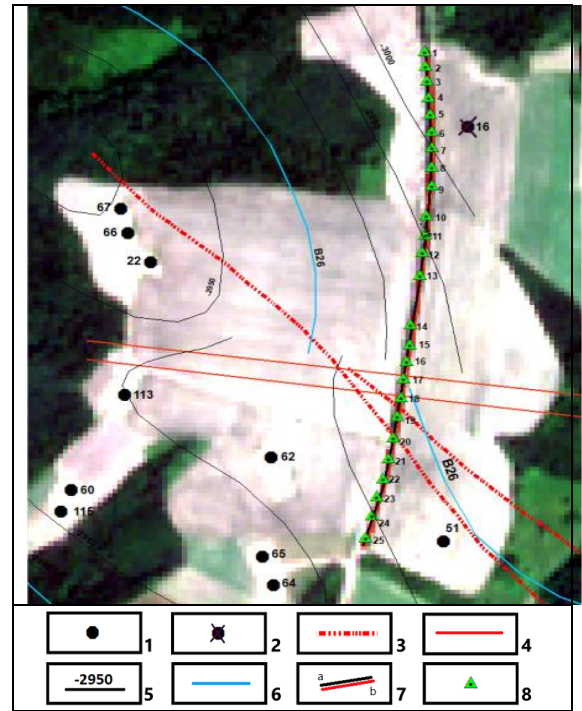


Рис. 2. Космічний знімок Sentinel-2 від 26.06.2021 р. Ділянка дослідження – Східнорогинцівське родовище

На Рис. 3 показана структурна карта північно-західної частини Східнорогинцівського родовища за структурним горизонтом В-26. Структура – брахіантикліналь північно-західного простягання, яка ускладнена глибинним розломом, виділений за даними буріння. Маршрут, прокладений у 1999 році з півночі на південь через північно-східне крило брахіантикліналі, від непродуктивної свердловини № 16 уперек глибинного розлому через північне крило структури до продуктивної свердловини № 51. Тоді ж отримані результати фотометрування космічних знімків Landsat 5, проведено наземне спектрометрування листя берези приладом СФ-18. У 2004 році за цим маршрутом повторно проведено фотометрування космічних знімків Landsat 5, а також наземне спектрометрування листя берези приладом СФ-18. У 2009 році проведено фотометрування космічних знімків Landsat 8 та наземне спектрометрування спектро радіометром ASD FieldSpec 3 FR. Таким чином, вибір маршруту у 2021 році, пікетів і виду рослинності на маршруті був зумовлений завданням продовжувати моніторинг стану рослинного покриву (РП) від свердловини № 16 до свердловини № 51. Причому маршрут перетинає глибинні розломи, один з яких проведений за даними буріння, другий – за результатами сейсморозвідувальних досліджень, і які були підтвержені геологами-експертами при сучасній повторній інтерпретації наявного геолого-геофізичного матеріалу.

Окрім того, маршрут перетинає водонафтовий контакт (ВНК) за покладом у горизонті В-26. Безумовно, встановити глибину залягання покладу методом спектрометрування неможливо, хоча завдання визначення та уточнення контуру покладу вирішувалось дослідниками ЦАКДЗ раніше успішно (Архіпов О. І. та ін, 2009). Отже, основне завдання

нашого дослідження – проаналізувати значення вегетаційних індексів (відповідно, стану РП) на Східнорогинцівському родовищі в межах покладу, за межами покладу, та визначити реакцію рослинного покриву на наявні розривні порушення.

Умовні позначення:

свердловини: 1 – продуктивні, 2 – непродуктивні; *розломи*: 3 – за даними сейсморозвідувальних робіт; 4 – за даними буріння; *лінеamenti, виділені за даними аерокосмогеологічних досліджень*: 5 – регіональні, 6 – внутрішньоблокові; 7 – ізогіпси по відбивному горизонті В-26; *ВНК за горизонтами*: 8 (зелена) – В-17, 9 (лілова) – В-19, 10 (блакитна) – В-26; 11 – маршрути завіркових досліджень: а (чорним) – за космічним знімком Sentinel-2, дата знімання 26.06.2021 р., б (червоним) – за допомогою мультиспектральної камери, встановленої на БПЛА DJI P4 Multispectral, дата знімання 23.06.2021 р, 12 – точки наземного спектрометрування (пікети).

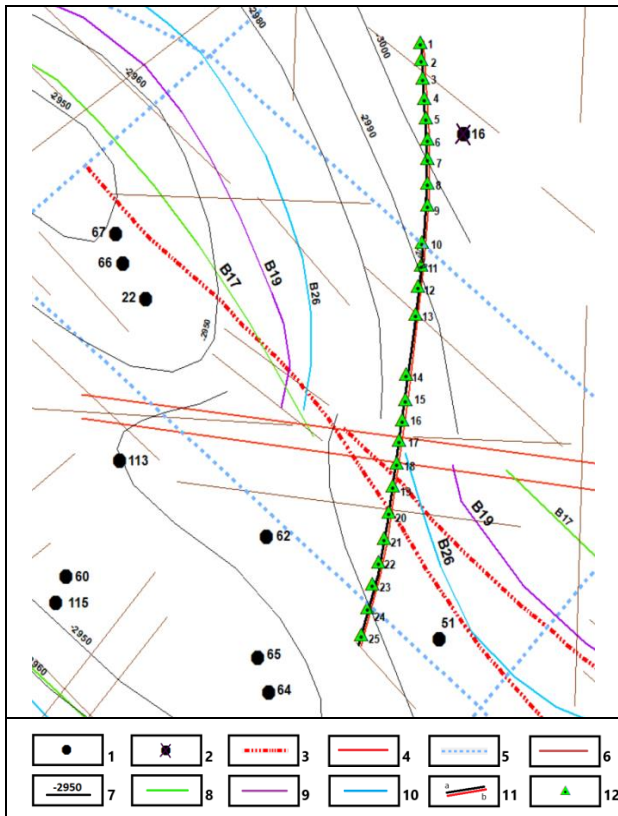


Рис. 3. Структурна карта північно-західної частини Східнорогинцівського родовища за структурним горизонтом В-26

Отримані результати

Дані про вплив на рослинність аномальних процесів у межах зон інтенсивної вертикальної міграції пластових і глибинних флюїдів та над покладами ВВ досить різні. Можна виділити випадки прямого впливу (перший тип) покладів ВВ на рослини. За даними (Перерва В. М. та ін., 1999) у районі Новотроїцького нафтогазоконденсатного родовища навіть візуально зареєстровано аномальний стан сосен, що проявляється в інтенсивних процесах деформування стовбурів

дерев, характері розгалуження, значному відсоткові загиблих дерев. Необхідно підкреслити, що ознаки зів'ялості, зміни забарвлення листя та пагонів, зміни орієнтації фітоелементів у просторі, тобто зовнішні ознаки проявлення прямого стресового впливу покладу ВВ та супутніх флюїдів на процеси життєдіяльності рослин можуть бути зареєстровані наземними та аерокосмічними методами у видимому та інфрачервоному діапазонах спектра електромагнітного випромінювання. У разі впливу покладів ВВ другого типу (опосередкованого) рослини, що зростають на цій території, пристосовані до означених умов. Анатомо-морфологічні і фізіолого-біохімічні відмінності між рослинами з фонових ділянок і такими, що ростуть в межах покладу ВВ, можуть бути менш значними, порівняно з реакцією на безпосередню дію ВВ.

Аналізуючи наведені факти, треба визнати наявність складного, непрямого зв'язку між геоекологічною аномалією, що викликана процесами енергомасоперенесення від покладу ВВ або пов'язана із зонами розуцілення порід, і рослинами, що зростають у межах цієї аномалії. Фізико-хімічні процеси перетворення ґрунтів внаслідок міграції флюїдів (ВВ та інших), розвиток специфічної мікрофлори, відмінний від фонового температурний режим та інші, як прямо, так і опосередковано впливають на формування флори, яка складається як з алохтонних, так і автохтонних видів і різновидів, таких, що адаптовані до аномальних умов довкілля, і таких, що перебувають у стані адаптації. Аномалії рослинності (флори) у межах геохімічних аномалій, що обумовлені наявністю покладів ВВ, розломних зон, можуть дублювати аномалії флори, наприклад, такі, що сформувалися на поліметалічних родовищах, оскільки доступність деяких металів у ґрунтах в обох випадках змінюються (Мовчан Л. І. та ін., 1993). Численні наукові дані свідчать про те, що не існує однозначної залежності між наявністю, доступністю металів і їх вмістом в ризосфері та різних частинах рослин. Більш того, є багато механізмів адаптації до такого роду впливу, виявлена подібність ознак реакції на геохімічну аномалію і реакцій на інші стреси і аномалії (Мовчан Л. І. та ін., 1993; Labovitz M. L. et al., 1983).

Водночас, за наявності сучасних технологій існує реальна можливість реєстрації та аналізу цих відмінностей фізіологічного стану рослин оптичними методами (Grant L., 1987, Перерва В. М. та ін., 1999, Перерва В. М. та ін., 2002, Перерва В. М. та ін., 2002a). Найбільш інформативними для отримання даних про стан РП є діапазони спектра відбиття, в яких у рослин, що перебувають в різних умовах, спостерігаються максимальні відмінності: 550–660 нм, 660–680 нм, 800–890 нм, 1650 нм, або вегетаційні індекси, що обчислюються з урахуванням коефіцієнтів відбиття у зазначених діапазонах. Вибір часу досліджень продиктовано поставленим завданням. Точність інтерпретації дистанційних результатів та прогноз розвитку ситуації істотно підвищується за умов використання апріорної та синхронної наземної інформації. Вегетаційні індекси

допомагають краще виділити рослинність під стресом, тому що пригнічена рослинність має тенденцію поглинати менше випромінювання у видимому діапазоні електромагнітного спектра та відбивати менше у ближньому інфрачервоному, тоді як рослинність без стресу навпаки – поглинає більше випромінювання у видимому діапазоні та відбиває більше у ближньому інфрачервоному діапазоні електромагнітного спектра.

Вегетаційні індекси

У цій роботі аналізувались 5 вегетаційних індексів: NDVI, NDRE, GNDVI, LCI, OSAVI.

Вибір саме цих індексів зумовлений тим фактом, що мультиспектральна камера, встановлена на БпЛА DJI Phantom 4 Multispectral, проводить знімання в п'яти смугах відбиття і автоматично обчислює ці індекси.

Нормалізований індекс відмінностей рослинності (NDVI): NDVI – це індекс, який широко використовується в дистанційному зондуванні, вимірює ступінь зелені рослинності. NDVI розраховується як різниця між коефіцієнтом відбиття в ближньому інфрачервоному діапазоні (NIR) і коефіцієнтом відбиття в червоному діапазоні, поділена на суму цих двох коефіцієнтів відбиття. NDVI чутливий до вмісту хлорофілу в рослинності, що є показником здоров'я та продуктивності рослинності. (Rouse et al., 1973):

$$NDVI = \frac{NIR[840] - RED[665]}{NIR[840] + RED[665]} \quad (1)$$

Нормалізований Диференційний Red Edge Індекс (NDRE): NDRE – це індекс, що застосовується в дистанційному зондуванні, який вимірює коефіцієнт відображення червоних країв рослинності, що є індикатором здоров'я та продуктивності рослинності. NDRE розраховується шляхом віднімання коефіцієнта відбиття смуги червоного краю з коефіцієнта відбиття смуги NIR. NDRE є особливо корисним для моніторингу росту та здоров'я, а також для розрізнення різних типів рослинності. (Barnes, E. M. et al., 2000):

$$NDRE = \frac{NIR[840] - Rededge[730]}{NIR[840] + Rededge[730]} \quad (2)$$

Зелений нормалізований різницевий індекс рослинності (GNDVI): GNDVI – це індекс, що застосовується в дистанційному зондуванні, який вимірює ступінь зелені рослинності шляхом віднімання відбивної здатності зеленої смуги з відбивної здатності смуги NIR. GNDVI особливо корисний для моніторингу здоров'я та продуктивності сільськогосподарських культур, оскільки він чутливий до вмісту хлорофілу в рослинності (Buschmann, C., 1993):

$$GNDVI = \frac{NIR[840] - [560]}{NIR[840] + [560]} \quad (3)$$

Індекс хлорофілу листя (LCI): LCI – це індекс, що застосовується в дистанційному зондуванні, який вимірює вміст хлорофілу в рослинності, що є показником здоров'я та продуктивності рослинності.

LCI розраховується шляхом розподілу коефіцієнта відображення у червоній смузі на коефіцієнт відображення в діапазоні NIR (Datt, Bisun, 1999):

$$LCI = \frac{[840] - [740]}{[840] + [665]} \quad (4)$$

Оптимізований індекс рослинності з поправкою на ґрунт (OSAVI): OSAVI – це індекс, що застосовується в дистанційному зондуванні, аналогічний NDVI, але з додатковим поправним коефіцієнтом для врахування впливу яскравості ґрунту на вимірювання відбивної здатності ($Y = 0,16$). OSAVI корисний для моніторингу рослинності в районах з яскравим або світлим ґрунтом, де відбивна здатність ґрунту може вплинути на точність вимірювань NDVI (Rondeaux et al., 1996):

$$OSAVI = (1 + Y) \frac{[840] - [665]}{[840] + [665] + Y} \quad (5)$$

Оскільки кожен з цих спектральних індексів має свої сильні та слабкі сторони, в цій роботі були проаналізовані всі п'ять індексів, основним видом рослинності, що аналізувалась, була береза, яка в попередніх дослідженнях була визначена як рослина, що найбільш чутлива до впливу факторів середовища, які перебувають під впливом покладів ВВ. Важливо було встановити загальну реакцію кожного індексу на вплив ВВ і кореляцію між даними спектрометрування за космічним знімком Sentinel-2, 26.06.2021 р. та завіркових досліджень за допомогою мультиспектральної камери, яка встановлена на квадрокоптері DJI Phantom 4 Multispectral, 23.06.2021 р.

Програмна обробка зображень Sentinel-2 виконувалась у програмному забезпеченні SNAP (дійсна версія 6.0), розробленому фахівцями Європейського супутникового агентства ESA для обробки даних супутників Sentinel, які можна завантажити на сайті агентства (<https://scihub.copernicus.eu/dhus/#/home>).

Особливостями обробки даних Sentinel у середовищі SNAP є можливість роботи з архівами без їх розархівування, перерахунку цілочисельних даних, наданих супутником одразу в значеннях спектрального відбиття, що не потребує радіометричного калібрування зображень, можливість отримання даних одразу з атмосферною корекцією (усунення впливу атмосфери на відбите поверхнею Землі випромінювання).

У разі відсутності атмосферної корекції (рівень даних L2), вона виконується автоматично за допомогою програмного модуля SEN2COR (потребує окремого завантаження) після введення параметрів атмосферної корекції (просторова розрізненість кінцевих даних, аерозольна модель, сезон та ін.). Корекція виконується одразу для всіх каналів даних і на виході отримують скориговані дані спектрального відбиття.

Далі за допомогою вбудованого растрового калькулятора (програмний модуль програми обробки знімків) за відомими формулами, наведеними вище, розраховуються необхідні хлорофільні індекси. Далі

для подальшої обробки виконується експорт у формат .img або .tif, які здатні читати більшість програм обробки растрових даних дистанційного зондування.

Подальшу обробку даних Sentinel виконують у програмному середовищі для обробки даних дистанційного зондування. Раніше нами були надані результати застосування адаптивних індексів, розрахованих за даними космічних знімків Sentinel-2, для оцінювання перспективності площ на нафту і газ (Golubov S. I. et al., 2020).

Дані, отримані з мультиспектральної камери на БПЛА DJI P4 Multispectral, тобто набір окремих знімків, які перекривають сусідні знімки на 30%, завантажуються у програмне забезпечення DJI Terra і через процес зіставлення знімків, пошуку зв'язних точок, побудови хмари перекриття створюється ортофотоплан ділянки, зокрема через вбудований автоматичний растровий калькулятор зшиваються канали R-G-B NIR та RE. Як результат отримуються карти індексів. Процедура атмосферної корекції виконується автоматично, завдяки вбудованим у літальний апарат датчикам.

Отримані дані були оброблені статистичними методами, результати подані на Рис. 4.

Умовні позначення:

свердловини: 1 – продуктивні, 2 – непродуктивні;
розломи: 3 – за даними геофізичних досліджень;
 4 – за даними буріння; 5 – ВНК за горизонтом В-26;
 6 – значення індексу; 7 – усереднення значень вегетаційних індексів поліномом 6-го ступеня.

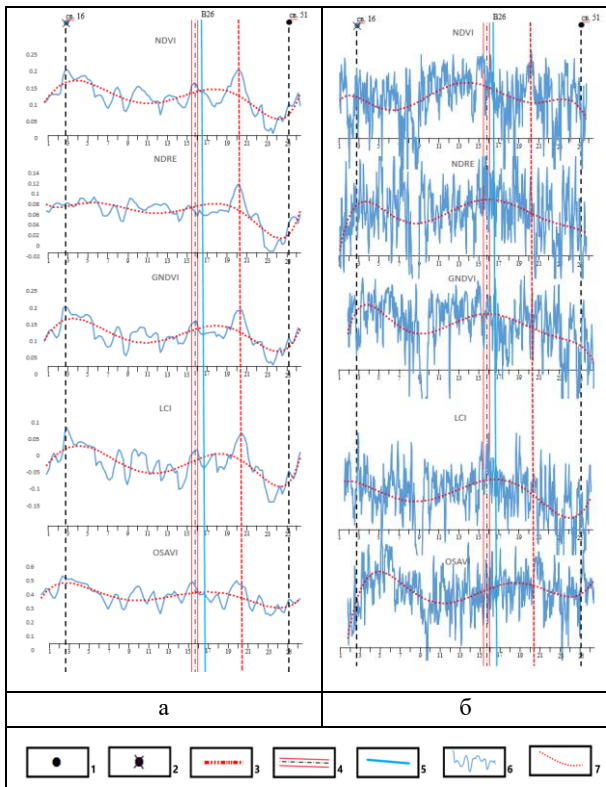


Рис. 4. Результати статистичної обробки значень вегетаційних індексів уздовж профілю спектрометрування: а – за даними космічного знімка Sentinel-2 від 26.06.2021 р., б – за даними DJI Phantom 4 Multispectral від 23.06.2021 р.

Обговорення результатів

Проведений аналіз отриманих даних свідчить, що за допомогою вегетаційних індексів зафіксовано зміни стану рослинності, а саме берези, вздовж тестового маршруту. Чітко фіксується зменшення значення всіх п'яти індексів вздовж профілю з півночі від точки № 3 (від свердловини № 16, яка не дала продукції) на південь до точки № 25 (свердловина № 51, що дала продукцію вуглеводневої сировини). Тобто можна відмітити нормальний вегетаційний стан берези поза контуром родовища і погіршення показників стану берези над покладом ВВ, що спричинено впливом факторів середовища, зумовлених наявністю вуглеводнів. Чітко виділяються зони впливу факторів середовища над свердловинами і над розломами. Ділянка профілю від точки № 1 до точки № 6 (район свердловини № 16) відповідає підвищеним значенням індексів, особливо NDVI, NDRE, GNDVI, LCI, які відображають стан здоров'я рослин, наявність хлорофілу в листі. Ділянка профілю від точки № 22 до точки № 25 (район свердловини № 51) відповідає найнижчим значенням усіх п'яти індексів, вірогідно, проявляється вплив факторів середовища, зумовлених наявністю ВВ, і на стан ґрунтів в околі свердловини № 51. На профілях, що характеризують розподіл кожного з п'яти вегетаційних індексів, відмічено характерні піки слабоамплітудних аномалій над розломом, виділеним за даними буріння (точки № 16, 17), та над розломом визначеним за матеріалами сейсморозвідувальних робіт (точка № 20).

Відмічено, що форма кривих тренду усереднення значень поліномом 6-го порядку для даних космічного знімка Sentinel-2 і для даних, отриманих мультиспектральною камерою, встановленою на БПЛА DJI Phantom 4 Multispectral, мають подібний характер для кожного вегетаційного індексу, що є передбачуваним, оскільки дані отримані в схожих погодних умовах і в один і той самий час доби.

Висновки

Досвід попередніх досліджень та отримані результати нашої роботи свідчать про високу ефективність використання даних дистанційного зондування як супутникового, так і отриманих мультиспектрометром, встановленим на БПЛА, для вирішення нафтогазопошукових завдань на суходолі. Основний принцип цих робіт полягає у виявленні нафтогазоперспективних об'єктів за рахунок виявлення спектральних аномалій, що може свідчити про вплив покладів вуглеводнів на середовище на зазначеній дослідній території. За результатами аналізу вегетаційних індексів, визначених за даними космічного знімання супутника Sentinel-2 від 26.06.2021 року, та мультиспектральної камери, встановленої на БПЛА DJI Phantom 4 Multispectral, отриманими 23.06.2021 року, у дні з однаковою погодою ситуацією, можна зробити такі висновки. По-перше, проведення спектрометрування приладами різного базування (космічні апарати, безпілотні

літальні апарати) слід проводити у травні–червні, з 9-00 до 13-00 у період найкращої вегетації рослинного покриву. Слід відмітити, по-друге, що дані, отримані спектро радіометром супутникового базування і базування на БПЛА, мають високий ступінь кореляції, відображають зміни у стані рослинності, зумовлені наявністю прогнозованих покладів ВВ, тектонічно активними розломними зонами, і мають суттєве індикаційне значення. По-третє, за потреби, застосовуючи методику прогнозування нафтогазоперспективних об'єктів на суходолі, можна застосувати експрес-аналіз за допомогою спектро радіометра, встановленого на БПЛА.

Література

- Архипов, А. И., Кузнецова, А. В., Сенько, О. В., Станкевич, С. А., Титаренко, О. В. (2009). Результаты статистического выявления границ залежей углеводородов на суше с использованием многоспектральных космоснимков и данных полевого спектрометрирования. *Космична наука і технологія*. Т. 15, № 6. 44–48.
- Лялько, В. І., Попов М. О. (Ред.). (2006). *Багатоспектральні методи дистанційного зондування Землі в задачах природокористування*. Київ: Наукова думка.
- Мовчан, Л. І., Каневский, В. А., Семичаевский, В. Д., Левчик, Е. И., Турута, А. Е. (1993). *Фитоиндикация в дистанционных исследованиях*. Киев: Наукова думка.
- Перерва, В. М., Тепляков, М. О. Архипов, О. І., Гонтаренко, О. В., Бусел, Г. Ф., Левчик, О. І., Осман'ян, Т. В. (2004). Декларацийний патент на винахід UA 63073 А. Мультиспектральний структурно-польовий спосіб прогнозування покладів нафти і газу. Бюл. № 1. Київ: Державне патентне відомство України
- Перерва, В. М., Архипов, А. И. (1999). Явление аномального изменения физиологии растений в зоне флюидогеодинимических структур литосферы. *Доповіди НАН України*. № 10. 111–114.
- Перерва, В. М., Левчик, Е. И., Архипов, А. И. (2002). Некоторые аспекты механизма формирования полезного сигнала в оптическом поле ландшафтов над залежами углеводородов. *Космична наука і технологія*. 8, № 2/3. 187–196.
- Перерва, В. М., Архипов, А. И., Бусел, Г. Ф. и др. (2002а). Состояние и пути совершенствования спутниковой технологии прогнозирования залежей нефти и газа. *Космична наука і технологія*. 8, № 2/3. 201–206.
- Седлерова, О. В., Архипов, О. І., Голубов, С. І., Бондаренко, А. Д. (2021). Експериментальне обґрунтування використання безпілотних літальних апаратів для прогнозування нафтогазоперспективних об'єктів. *Український журнал дистанційного зондування Землі*. 8(3). 49–57. <https://doi.org/10.36023/ujrs.2021.8.3.200>.
- Barnes, E. M., Clarke, T. R., Richards, S. E., Colaizzi, P. D., Haberland, J., Kostrzewski, M. ... Moran, M. S. (2000) Coincident detection of crop water stress, nitrogen status and canopy density using ground based multispectral data. *Proc. 5th Int. Conf. Precis Agric.*
- Buschmann, C.; Nagel, E. (1993). In vivo spectroscopy and internal optics of leaves as basis for remote sensing of vegetation. *International Journal of Remote Sensing*. 14(4), 711–722. <https://doi.org/10.1080/01431169308904370>.
- Datt, Bisun. (1999). Remote Sensing of Water Content in Eucalyptus Leaves. *Australian Journal of Botany*. 47(6). 909–923. URL: <http://dx.doi.org/10.1071/BT98042>.
- Golubov, S. I., Lubskeyi, M. S. (2020). Application of visible and long-wave infrared satellite data for hydrocarbon deposits prospecting. *Conference Proceedings, Geoinformatics: Theoretical and Applied Aspects 2020*. DOI: <https://doi.org/10.3997/2214-4609.2020geo102>.
- Grant, L. (1987). Diffuse and spectral characteristics of leaf reflection. *Remote Sens. Environ.* 22, № 2. 309–322.
- Labovitz, M. L., Masuoka, E. J., Bell, R. et al. (1983). The application of remote sensing to geobotanical exploration for metal sulfides – results from the 1980 field season at Mineral. *Econ. Geol.* 78, № 4. 750–760.
- Rondeaux, G., Steven, M., Baret, F. (1996). Optimization of soil-adjusted vegetation indices. *Remote Sensing of Environment*. 55(2). 95–107. [https://doi.org/10.1016/0034-4257\(95\)00186-7](https://doi.org/10.1016/0034-4257(95)00186-7).
- Rouse, J. W., Haas, R. H., Schell, J. A., & Deering, D. W. (1973). Monitoring Vegetation Systems in the Great Plains with ERTS. *Proceedings of 3rd Earth Resources Technology Satellite Symposium*, Greenbelt, 10–14 December SP-351, 309–317.

References

- Arhipov, 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. *Space Science and technology*. 15(6), 44–48. (in Russian).
- Barnes, E. M., Clarke, T. R., Richards, S. E., Colaizzi, P. D., Haberland, J., Kostrzewski, M. ... Moran, M. S. (2000). Coincident detection of crop water stress, nitrogen status and canopy density using ground based multispectral data. *Proc. 5th Int. Conf. Precis Agric.*
- Buschmann, C., Nagel, E. (1993). In vivo spectroscopy and internal optics of leaves as basis for remote sensing of vegetation. *International Journal of Remote Sensing*. 14(4), 711–722. <https://doi.org/10.1080/01431169308904370>.
- Datt, Bisun. (1999). Remote Sensing of Water Content in Eucalyptus Leaves. *Australian Journal of Botany*. 47(6). 909–923. URL: <http://dx.doi.org/10.1071/BT98042>.
- Golubov, S. I., Lubskeyi, M. S. (2020). Application of visible and long-wave infrared satellite data for hydrocarbon deposits prospecting. *Conference Proceedings, Geoinformatics: Theoretical and Applied Aspects 2020*. DOI: <https://doi.org/10.3997/2214-4609.2020geo102>.
- Grant, L. (1987). Diffuse and spectral characteristics of leaf reflection. *Remote Sens. Environ.* 22, № 2. 309–322.
- Labovitz, M. L., Masuoka, E. J., Bell, R. et al. (1983). The application of remote sensing to geobotanical exploration for metal sulfides – results from the 1980 field season at Mineral. *Econ. Geol.* 78, № 4. 750–760.
- 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).
- Movchan, L. I., Kanevsky, V. A., Semichaevsky, V. D., Levchik, E. I., Turuta, A. E. (1993). *Phytoindication in remote research*. Kyiv: Naukova dumka.
- Pererva, V. M., Teplyakov, M. O., Arhipov, O. I., Gontarenko, O. V., Busel, G. F., Levchik, O. I., Oskanyan, T. V. (2004). Decl. pat. UA 63073 A, G01V9/00, G01S17/00, Multispectral structural-field method for predicting oil and gas deposits. Publ 15.01.2004. (in Ukrainian).
- Pererva, V. M., Arhipov, A. I. (1999). The phenomenon of anomalous changes in plant physiology in the zone of fluid geodynamic structures of the lithosphere. *Reports of the National Academy of Sciences of Ukraine*. 10, 111–114.

- Pererva, V. M., Levchik, E. I., Arkhipov, A. I. (2002) Some aspects of the useful signal formation mechanism in the optical field of landscapes over hydrocarbon deposits. *Space Science and technology*. 8(2/3), 187–196.
- Pererva, V. M., Arkhipov, A. I., Busel, G. F. and etc. (2002). Status and ways to improve satellite technology for forecasting oil and gas deposits. *Space Science and technology*. 8(2/3), 201–206.
- Rondeaux, G., Steven, M., Baret, F. (1996). Optimization of soil-adjusted vegetation indices. *Remote Sensing of Environment*. 55(2). 95–107. [https://doi.org/10.1016/0034-4257\(95\)00186-7](https://doi.org/10.1016/0034-4257(95)00186-7).
- Rouse, J. W., Haas, R. H., Schell, J. A., & Deering, D. W. (1973). Monitoring Vegetation Systems in the Great Plains with ERTS. *Proceedings of 3rd Earth Resources Technology Satellite Symposium*, Greenbelt, 10–14 December SP-351, 309–317.
- Sedlerova, O. V., Arkhipov, O. I., Golubov, S. I., Bondarenko, A. D. Experimental study on the use of unmanned aerial vehicles for the prediction of oil and gas facilities. *Ukrainskyi zhurnal dystantsiinoho zonduvannia Zemli*. 8(3), 49–57. <https://doi.org/10.36023/ujrs.2021.8.3.200>.

REASONING OF THE POSSIBILITIES OF USING SPECTROMETRIC DATA OBTAINED FROM UAVS AND THE SENTINEL-2 SATELLITE TO SOLVE OIL AND GAS EXPLORATION PROBLEMS ON LAND.

Stanislav Golubov

Scientific Centre for Aerospace Research of the Earth of the Institute of Geological Sciences of the National Academy of Sciences of Ukraine, Olesia Honchara Str., 55-b, Kyiv, 01054, Ukraine

Research, testing and experimental substantiation of the possibility of using remote sensing data obtained from a spectrometer installed on an unmanned aerial vehicle (UAV) and satellite data to assess the presence of hydrocarbon deposits within geological structures has been carried out. The test area was chosen as the Vostochnorogintsevska area (Velikobubnivsky Val of the Dnipro-Donetsk Basin) with available hydrocarbon deposits (HC), productive and unproductive wells, the research route was laid between unproductive and productive wells. The main advantage of this territory is the availability of the results of processing primary data of ground measurements and remote sensing obtained by various types of equipment from 1999 to 2021. The study is devoted to the comparative analysis of vegetation indices, which are calculated from remote data obtained by a multispectral camera mounted on an UAV and Sentinel-2 satellite data. It was determined that these data have a high degree of correlation, reflect changes in the state of vegetation, caused by the presence of HC deposits, tectonically active fault zones, and have significant indicative value. The obtained results provide a basis for the effective use of UAVs in the structure of the methodology for solving oil and gas exploration tasks on land.

Keywords: remote sensing of the Earth, vegetation indices, oil and gas prospects, UAVs.

Рукопис статті отримано 23.03.2023