

ГІПЕРСПЕКТРАЛЬНІ ІНДЕКСИ ДЛЯ РОЗРІЗНЕННЯ НАФТОНАСИЧЕНИХ ГРУНТІВ ЗА ДАНИМИ ДИСТАНЦІЙНОГО СПЕКТРОМЕТРУВАННЯ

В.І. Лялько¹, З.М. Шпортюк², О.М. Сибірцева³, С.С. Дугін⁴

¹ Державна установа Науковий центр аерокосмічних досліджень Землі Інституту геологічних наук НАН України, Київ, Україна, E-mail: www.casre.kiev.ua
Директор, академік НАН України, доктор геолого-мінералогічних наук, професор, заслужений діяч науки і техніки України, лауреат Державних премій України, член-кореспондент Міжнародної академії астронавтики.

² Державна установа Науковий центр аерокосмічних досліджень Землі Інституту геологічних наук НАН України, Київ, Україна, E-mail: www.casre.kiev.ua
Старший науковий співробітник, кандидат фізико-математичних наук.

³ Державна установа Науковий центр аерокосмічних досліджень Землі Інституту геологічних наук НАН України, Київ, Україна, E-mail: www.casre.kiev.ua
Молодший науковий співробітник.

⁴ Державна установа Науковий центр аерокосмічних досліджень Землі Інституту геологічних наук НАН України, Київ, Україна, E-mail: www.casre.kiev.ua
Головний приладист.

Досліджено зміни гіперспектральних індексів HD (Hydrocarbon Detection) та індексу HI (Hydrocarbon Index) за даними спектрометрування наземного покриття над Приозерним нафтовим родовищем (Крим) спекторадіометром FieldSpec®3 FR з метою виявлення нафтовмісних ґрунтів без рослинного покриття.

Ключові слова: гіперспектральні індекси, рослинний покрив, нафтове родовище, спектрометрична зйомка.

HYPERSPECTRAL INDICES FOR DISTINGUISH OF OIL-SATURATED SOILS USING REMOTE SPECTROMETRIC DATA

V.I. Lyalko¹, S.M. Shportyuk², O.M. Sibirtseva³, S.S. Dugin⁴

¹ State Institution Scientific Center of Aerospace Research of the Earth of the Institute of Geological Sciences of NAS of Ukraine, Kyiv, Ukraine, E-mail: www.casre.kiev.ua
Director, academician of NAS of Ukraine, doctor of geological-mineralogical sciences, professor, honoured science and technology worker of Ukraine, laureate of the State prizes of Ukraine, member-correspondent of the International Academy of Astronautics.

² State Institution Scientific Center of Aerospace Research of the Earth of the Institute of Geological Sciences of NAS of Ukraine, Kyiv, Ukraine, E-mail: www.casre.kiev.ua
Senior research fellow, candidate of physical and mathematical sciences.

³ State Institution Scientific Center of Aerospace Research of the Earth of the Institute of Geological Sciences of NAS of Ukraine, Kyiv, Ukraine, E-mail: www.casre.kiev.ua
Junior researcher.

⁴ State Institution Scientific Center of Aerospace Research of the Earth of the Institute of Geological Sciences of NAS of Ukraine, Kyiv, Ukraine, E-mail: www.casre.kiev.ua
The main a devices user.

The changes of the hyperspectral indices such as Hydrocarbon Detection (HD) and Hydrocarbon Index (HI) using spectrometric land cover data obtained with the FieldSpec®3 FR spectroradiometer over the Pryozerne oil field (Crimea) are studied. The goal of research is the detection of oil-saturated soils without vegetation.

Key words: hyperspectral indices, vegetation cover, oil field, spectrometric data.

ГИПЕРСПЕКТРАЛЬНЫЕ ИНДЕКСЫ ДЛЯ РАЗЛИЧЕНИЯ НЕФТЕНАСЫЩЕННЫХ ПОЧВ ПО ДАННЫМ ДИСТАНЦИОННОГО СПЕКТРОМЕТРИРОВАНИЯ

В.И. Лялько¹, З.М. Шпортюк², О.Н. Сибирцева³, С.С. Дугин⁴

¹ Государственное учреждение Научный центр аэрокосмических исследований Земли Института геологических наук НАН Украины, Киев, Украина, E-mail: www.casre.kiev.ua
Директор, академик НАН Украины, доктор геолого-минералогических наук, профессор, заслуженный деятель науки и техники Украины, лауреат Государственных премий Украины, член-корреспондент Международной академии астронавтики.

² Государственное учреждение Научный центр аэрокосмических исследований Земли Института геологических наук НАН Украины, Киев, Украина, E-mail: www.casre.kiev.ua.
Старший научный сотрудник, кандидат физико-математических наук.

³ Государственное учреждение Научный центр аэрокосмических исследований Земли Института геологических наук НАН Украины, Киев, Украина, E-mail: www.casre.kiev.ua
Младший научный сотрудник.

⁴ Государственное учреждение Научный центр аэрокосмических исследований Земли Института геологических наук НАН Украины, Киев, Украина, E-mail: www.casre.kiev.ua
Главный приборист.

Исследованы изменения гиперспектральных индексов HD (Hydrocarbon Detection) и индекса HI (Hydrocarbon Index) по данным спектрометрирования наземного покрытия над Приозерным нефтяным месторождением (Крым) спектрорадиометром FieldSpec®3 FR с целью выявления нефтесодержащих грунтов без растительного покрова.

Ключевые слова: гиперспектральные индексы, растительный покров, нефтяное месторождение, спектрометрическая съёмка.

Вступ

Аномальні концентрації вуглеводнів у ґрунті, які виникають внаслідок їх просочування із родовищ газу та нафти або витікання із підземних трубопроводів, викликають певні зміни в рослинному покриві та на поверхні землі. Ці зміни впливають на спектри відбиття як рослинності, що призводить до спектральних зсувів вегетаційного індексу позиції червоного краю довжини хвилі REP, на якій досягається максимум нахилу спектра відбиття в області червоного краю [Horler et al., 1983], так і на спектри відбиття у області SWIR (Short Wave Infrared – область, де довжина хвилі понад 1000 нм) у випадку нафтових забруднень ґрунтів без рослинного покриву.

Мета даної роботи – дослідження гіперспектральних індексів для розрізнення нафтовмісних ґрунтів за даними спектрометрування. Об'єктом дослідження є наземний покрив

над нафтовим родовищем Приозерне (Крим) [Атлас..., 1988] спектрорадіометром FieldSpec® 3FR (див. сайт www.asdi.com). Заміри проводились дистанційно в сонячну погоду 7 червня 2011 р. Ця робота є продовженням публікацій [Лялько та ін., 2012, 2014].

Складність проблеми аналізу змін індексів над нафтовим родовищем Приозерне полягає в наявності просторової неоднорідності в наземному покриві. Для відокремлення точок із рослинним покривом нами в роботі [Лялько та ін., 2012] використано ідеї публікації [Klein, Menz, 2005]: комбінацію REP і модифікованого нормалізованого вегетаційного індексу NDVI₇₀₅ [Gitelson, Merzlyak, 1994] для встановлення порогового значення NDVI₇₀₅ на підставі його кореляційного зв'язку із REP для точок із рослинним покривом та високим коефіцієнтом кореляції.

В роботі [Лялько та ін., 2012] подано схему маршрутів з номерами точок спектрометрування наземного покриття над Приозерним нафтовим родовищем та опис різновидів наземного покриття в точках спектрометрування над цим родовищем. Завдяки пороговому значенню $NDVI_{705} = 0,169$ точки спектрометрування різних типів покриття над родовищем поділяються на дві частини: 1) точки без рослинного покриття та 2) точки із зрідженою рослинністю ($NDVI_{705} < 0,169$) або точки з рослинним покриттям ($NDVI_{705} \geq 0,169$).

На рис. 1 наведено схему розташування 13 точок без рослинного покриття та із зрідженою рослинністю, виділених за умовою $NDVI_{705} < 0,169$.

Спектрометрування наземного покриття проводилося на двох маршрутах [Лялько та ін., 2012]. Перший маршрут перетинає родовище з північного заходу на південний схід і охоплює 13 точок із номерами 567–579; другий простягається із північного сходу на південь, на ньому розташовано 17 точок із номерами 580–583 та 585–597. Протяжність

першого маршруту сягає приблизно 750 м, а другого – 1350 м. Повну схему маршрутів з номерами 30 точок спектрометрування наземного покриття над нафтовим родовищем подано в роботі [Лялько та ін., 2012].

В табл. 1 наведено короткий опис наземного покриття в 13 точках спектрометрування, зображених на рис. 1, для яких виконується умова $NDVI_{705} < 0,169$. На першому маршруті із 13 точок [Лялько та ін., 2012] виділено три точки з номерами 570, 571, 578; на другому маршруті із 17 точок використано 10 точок за номерами 579, 580, 581, 583, 585–587, 592, 593, 594.

Спектри точок спектрометрування різновидів покриття, описаних в табл. 1, наведено на рис. 2.

Зіставлення спектрів, зображених на рис. 2, для шести різновидів наземного покриття свідчить про різноманітність їх форми як у зоні червоного краю 650–760 нм, так і в межах довжин хвиль 1700 нм та на довжині 2300 нм короткохвильового інфрачервоного (SWIR – short wave infrared) діапазону.



Рис. 1. Схема розташування і номери точок спектрометрування наземного покриття без рослинності або із зрідженою рослинністю над нафтовим родовищем Приозерне (Крим) 07.06.2011 р.

Fig. 1. Allocation scheme and the numbers of land cover without or with sparse vegetation over the Pryozerne oil field (Crimea), 07.06.2011

Таблиця 1. Різновиди ґрунтів та покриття із зрідженою рослинністю в точках спектрометрування над Приозерним нафтовим родовищем

Table 1. Soil and cover types with the sparse vegetation at spectrometric measurement points over the Pryozerne oil field

№ з/п	Тип покриття	Номери точок спектрометрування	Порогове значення $NDVI_{705}$
1	Ґрунт із зрідженою луговою травою над родовищем	580, 586, 587	$NDVI_{705} < 0,169$
2	Сухий ґрунт	578, 585	
3	Нафтонасичений ґрунт	570, 571, 579	
4	Бура глина, зволожений суглинок	581, 583	
5	Сухий такирний ґрунт біля свердловини	594	
6	Калюжа поблизу свердловини з плівкою нафти	592, 593	

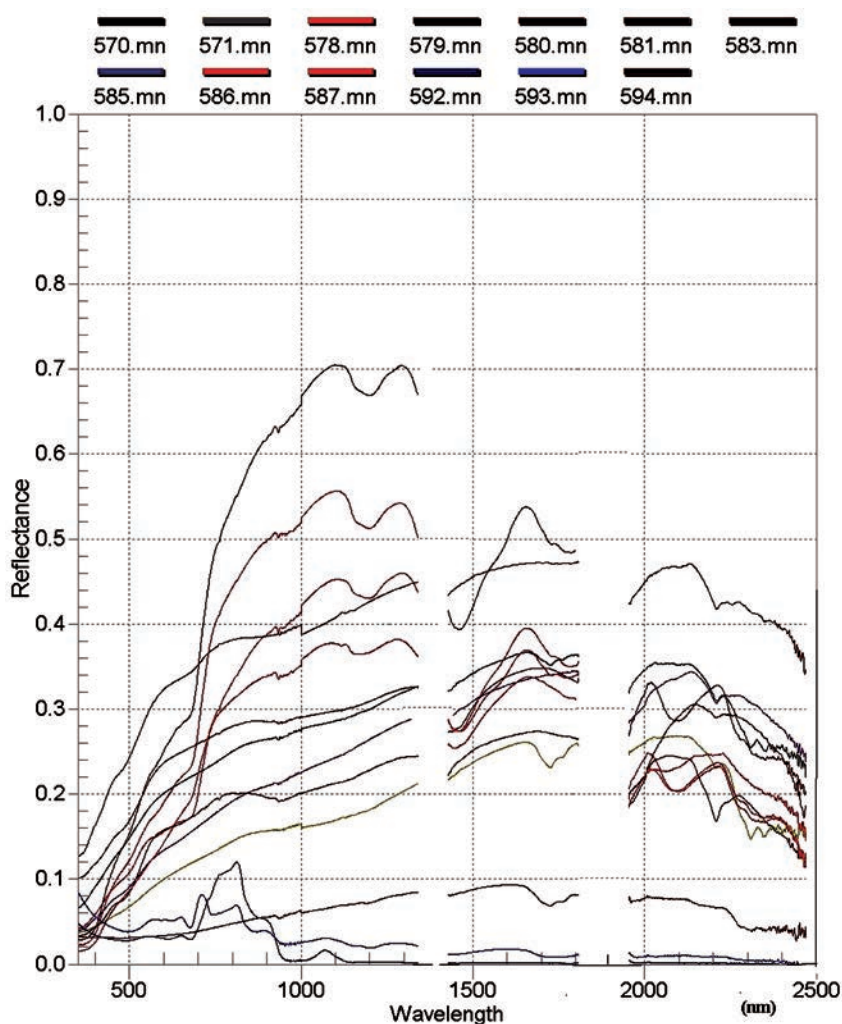


Рис. 2. Спектри відбиття в 13 точках спектрометрування різновидів наземного покриття, описаних в табл. 1

Fig. 2. Reflectance spectra at 13 spectrometric measurement points for the different types of land cover described in Table 1

Аналіз гіперспектральних індексів за даними спектрометрування

Як відомо, характерною властивістю нафтовмісних ґрунтів є особлива форма спектрів відбиття у вигляді локальних мінімумів у зонах абсорбції нафти в межах довжин хвиль 1730 і 2300 нм [Kuehn et al., 2004; Li et al., 2005; http://rst.gsfc.nasa.gov/Sect5/Sect5_5.html].

На рис. 3 зображено спектри відбиття нафтонасичених ґрунтів в точках 571 і 579, які мають локальні мінімуми в зонах абсорбції нафти в межах довжин хвиль 1730 і 2310 нм, і для зіставлення – спектри відбиття сухого ґрунту в точці 578 та зволоженого суг-

линку в точці 583, які не виявляють специфічних характеристик абсорбції нафти у вигляді локальних мінімумів у межах згаданих довжин хвиль.

На рис. 4 наведено фрагменти у вигляді букви V спектри відбиття нафтонасичених ґрунтів у збільшеному масштабі в межах довжини хвилі 2310 нм.

Зауважимо, що перевірка наявності характеристик абсорбції нафти у вигляді локального мінімуму спектра в межах довжин хвиль 1700 та 2300 нм є важливим і необхідним кроком при обчисленні гіперспектральних індексів.

Рис. 3. Зіставлення спектрів відбиття нафтонасичених ґрунтів (точки 571, 579), сухого ґрунту (точка 578) та зволоженого суглинку (точка 583) над нафтовим родовищем

Fig. 3. Comparison of reflectance spectra for oil-saturated soils (571 and 579 points), dry soil (578 point) and wet clay loam (583 point) over oil field

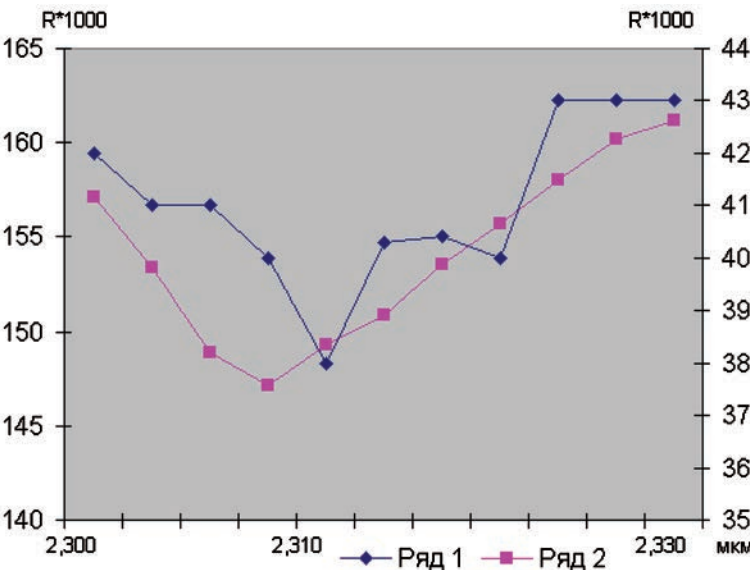
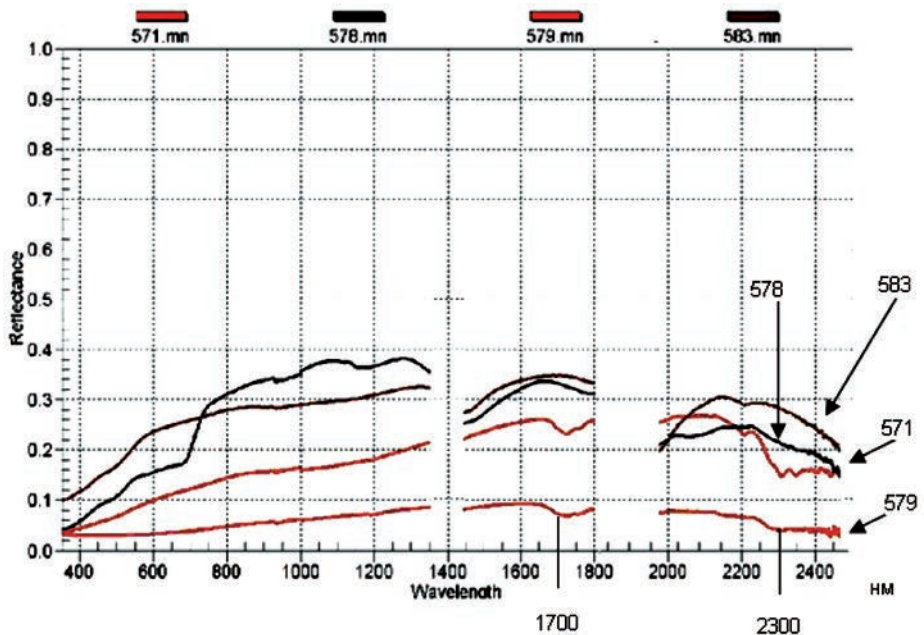


Рис. 4. Зіставлення збільшених у 1000 разів спектрометричних коефіцієнтів відбиття нафтонасичених ґрунтів у SWIR-області спектра в межах довжини хвилі 2310 нм: ряд 1 – фрагмент спектра в точці 579; ряд 2 – фрагмент спектра в точці 571

Fig. 4. Comparison of reflectance coefficients increased 1000 times for oil-saturated soils in SWIR range in the vicinity of 2310 nm wavelength: Row 1 – fragment of spectrum at the point 579; Row 2 – fragment of spectrum at the point 571

В роботі [Kuehn et al., 2004] запропоновано вуглеводний індекс HI (Hydrocarbon Index) для визначення нафтовмісних та забруднених нафтопродуктами ґрунтів, який визначається за формулою

$$HI = (\lambda_B - \lambda_A) \frac{R_C - R_A}{\lambda_C - \lambda_A} + R_A - R_B, \quad (1)$$

де довжина хвилі λ має такі значення: $\lambda_A = 1705$ нм, $\lambda_B = 1729$ нм і $\lambda_C = 1741$ нм; R_A, R_B, R_C – величини коефіцієнтів відбиття для відповідних довжин хвиль. Локальний мінімум спектра на довжині хвилі $\lambda_B = 1729$ нм повинен задовольняти умову:

$$R_B < R_A \text{ та } R_B < R_C. \quad (2)$$

Якщо значення $HI > 0$ і виконується умова (2), то це є показником наявності нафти у ґрунті.

Другий вуглеводний індекс HD (Hydrocarbon Detection) в роботах [Li et al., 2005; http://rst.gsfc.nasa.gov/Sect5/Sect5_5.html] запропоновано для локальних мінімумів спектрів відбиття в межах довжини хвилі 2310 нм.

Зазначимо, що обчислення індексу HD залежить від сенсора, яким вимірюють спектри відбиття наземного покриття. Так, в роботі [Li et al., 2005] для даних спектрометрування сенсором AVIRIS, ширина каналів

якого становить 10 нм, локальний мінімум характерної особливості в зоні абсорбції нафти проявляється на довжині хвилі 2300 нм, а для спектрів відбиття нафтонасиченого ґрунту спектрорадіометром FieldSpec® 3FR точка локального мінімуму проявляється на довжині хвилі $\lambda = 2310$ нм. Тому формула для обчислення значень HD у нашому дослідженні відрізняється від формули для обчислень цього ж індексу за даними аерознімання сенсором AVIRIS.

В даній роботі значення HD обчислюються за формулою

$$HD = \frac{R(2290) + R(2330)}{2R(2310)}, \quad (3)$$

де $R(\lambda)$ – величина коефіцієнта відбиття на довжині хвилі λ , $\lambda \in (2290 \text{ нм}, 2310 \text{ нм}, 2330 \text{ нм})$. Якщо $HD > 1$ і точка $\lambda = 2310$ нм є точкою локального мінімуму (тобто відбувається абсорбція нафти), про що свідчить виконання такої умови:

$$R(2310) < R(2330) \text{ і } R(2310) < R(2290), \quad (4)$$

то ґрунт є нафтовмісним, нафтонасиченим або забрудненим нафтою. Якщо ж $HD \leq 1$ або $HD > 1$, але умова (4) не виконується, то ґрунт не містить нафтопродуктів.

Таблиця 2. Значення вуглеводних індексів у 13 точках спектрометрування шести різновидів наземного покриття над Приозерним нафтовим родовищем

Table 2. The values of hydrocarbon indices at the 13 points of spectrometric measurements over six types of land cover within the Pryozerne oil field

№ типу покриття	Тип покриття	№ точки спектрометрування	Значення пошукових індексів		Перевірка умови (4)
			HD	HI	
1	Нафтонасичений ґрунт	571	1,120	0,007	Так
		579	1,087	0,003	>>
2	Сухий ґрунт	570	1,050	0,004	>>
		578	1,006	-0,003	Ні
		585	1,003	0,000	>>
3	Ґрунт із зрідженою луговою травою над родовищем	580	1,015	0,005	>>
		586	1,017	0,004	>>
		587	1,024	0,005	>>
4	Сухий такирний ґрунт біля свердловини	594	1,007	0,000	>>
5	Бура глина, зволожений суглинок	581	0,998	0,000	>>
		583	0,995	-0,001	>>
6	Калюжа поблизу свердловини з плівкою нафти	592	1,512	0,000	Так
		593	1,064	0,001	Ні

У табл. 2 подано результати обчислень гіперспектральних індексів HI за формулою (1) та HD за формулою (3) із перевіркою умови (4) за даними спектрометрування покриву в 13 точках над нафтовим родовищем. В графі «Перевірка умови (4)» «Так» означає, що умова (4) виконується, «Ні» – не виконується.

В табл. 3 подано величини коефіцієнтів відбиття наземного покриву в 13 точках за даними спекторадіометра FieldSpec® 3FR в межах довжини хвилі $\lambda = 2310$ нм, які використано для обчислень індексу HD і перевірки умови (4). Дані про виконання умови (4) наведено в табл. 2.

Згідно з даними обчислень індексів HI і HD, поданих в табл. 2, в точках 571 і 579 виконується умова (4) та $HI > 0$ і $HD > 1$, що підтверджує нафтонасиченість ґрунту за даними спектрометрування покриву. Аналогічний результат маємо і для точки 570 спектрометрування сухого ґрунту, що свідчить про забруднення його нафтою. Для решти точок сухого ґрунту значення $HD > 1$, але не виконується умова (4), а значення

$HI \leq 0$, що вказує на відсутність нафти на поверхні ґрунту. Такий же результат маємо для такирного ґрунту в точці 594. Бура глина і зволожений суглинок в точках 581 і 583 теж не мають ознак нафтовмісних ґрунтів, оскільки $HD < 1$, $HI \leq 0$ і відсутня точка абсорбції нафти. Аналогічна поведінка спектрів відбиття в межах довжини хвилі $\lambda = 2310$ нм у точках спектрометрування 580, 586, 587 для ґрунту із зрідженою луговою травою. Цікавими, на нашу думку, є спектри в точках 592 і 593 біля калюжі із плівкою нафти. Для спектра в точці 592 $HD = 1,512$, $HI = 0$ і, за даними табл. 3, умова (4) виконується, що підтверджує наявність характеристики абсорбції нафти в межах довжини хвилі $\lambda = 2310$ нм і нафтове забруднення в цій точці. А для спектра в точці 593 індекси $HD = 1,060$, $HI > 0$, але умова (4) не виконується, тобто характеристика абсорбції нафти в межах довжини хвилі $\lambda = 2310$ відсутня. Очевидно, для такого типу покриву використання індексів HI і HD не дає позитивних результатів і потребує подальших досліджень.

Таблиця 3. Значення коефіцієнтів відбиття на трьох довжинах хвиль в межах локального мінімуму спектра на довжині хвилі $\lambda = 2310$ нм

Table 3. The values of reflectance coefficients at 3 wavelengths in vicinity of local minimum spectrum at $\lambda = 2310$ nm

№ типу покриву	Тип покриву	№ точки спектрометрування	R(2220)	R(2310)	R(2330)
1	Нафтонасичений ґрунт	571	0,1683	0,1471	0,1612
		579	0,0434	0,0394	0,0425
2	Сухий ґрунт	570	0,2728	0,2551	0,2626
		578	0,2192	0,2119	0,2071
		585	0,3139	0,3073	0,3030
3	ґрунт із зрідженою луговою травою над родовищем	580	0,2636	0,2504	0,2448
		586	0,1900	0,1796	0,1752
		587	0,1821	0,1713	0,1688
4	Сухий такирний ґрунт біля свердловини	594	0,4221	0,4143	0,4123
5	Бура глина, зволожений суглинок	581	0,1944	0,1871	0,1781
		583	0,2871	0,2819	0,2742
6	Калюжа поблизу свердловини з плівкою нафти	592	0,0013	0,0008	0,0011
		593	0,0085	0,0042	0,0039

Висновки

Проведено дослідження вуглеводних індексів HI (Hydrocarbon Index) та HD (Hydrocarbon Detection) у SWIR-області спектрів відбиття за даними спектрометрування наземного покриву спектрометром FieldSpec® 3 FR. Вивчено наземний покрив над нафтовим родовищем Приозерне (Крим) з метою виявлення нафтонасичених та забруднених нафтою ґрунтів без рослинного покриву.

Встановлено, що виконання умов $HI > 1$, як і $HD > 0$, не є достатнім для визначення нафтовмісних ґрунтів без перевірки наявності

в спектрах відбиття характеристик абсорбції нафти у вигляді локальних мінімумів спектрів в межах довжин хвиль 1700 і 2310 нм.

При наявності локальних мінімумів в межах довжин хвиль 1700 і 2310 нм у спектрах відбиття покриву і виконанні умов $HI > 1$ і $HD > 0$ значення індексів HI та HD можуть слугувати індикаторами нафтонасичених та забруднених нафтою ґрунтів без рослинного покриву. Використання згаданих індексів для виявлення нафтових забруднень наземного покриву без рослинності є дуже важливим і потребує подальших досліджень.

Список літератури / References

1. Атлас родовищ нафти і газу України. Південний нафтогазоносний регіон / гол. ред. М.М. Іванюта. Львів: Центр Європи, 1998. Т. 6. 222 с.

The Atlas of gas and oil fields of Ukraine. The southern oil-gas region, 1998 / Editor-in-Chief M.M. Ivanuta. Lviv: Tsentruropy, vol. 6, p. 222 (in Ukrainian).

2. Лялько В.І., Шпортюк З.М., Сибірцева О.М., Дугін С.С. Дослідження гіперспектральних індексів червоного краю для визначення змін рослинного покриву над нафтовим родовищем за даними спектрометричної зйомки. *Геол. журн.* 2014. № 3 (348) С. 95-103.

Lyalko V.I., Shportiuk Z.M., Sibirtseva O.M., Dugin S.S., 2014. Research of hyperspectral red edge indices for vegetation cover change detection over the oil field using spectrometric survey data. Geologichnyy zhurnal, № 3 (348), p. 95-103 (in Ukrainian).

3. Лялько В.І., Шпортюк З.М., Сибірцева О.М., Дугін С.С., Кічка О.А. Гіперспектральні індекси для визначення змін рослинного покриву над нафтовим родовищем за даними спектрометричної зйомки. *Геол. журн.* 2012. № 4 (341). С. 79-85.

Lyalko V.I., Shportiuk Z.M., Sibirtseva O.M., Dugin S.S., Kichka O.A., 2012. Hyperspectral indices for detecting vegetation cover changes over the oil field using spectrometric survey data. Geologichnyy zhurnal, № 4 (341), p. 79-85 (in Ukrainian).

4. Horler D.N.H., Dockray M., and Barber J. The red edge of plant leaf reflectance. *Int. J. Remote Sens.* 1983. Vol. 4. P. 273-288.

Horler D.N.H., Dockray M., and Barber J., 1983. The red edge of plant leaf reflectance. Int. J. Remote Sens., vol. 4, p. 273-288 (in English).

5. Gitelson, A. & Merzlyak M.N. Spectral reflectance changes associated with autumn senescence of *Aesculus hippocastanum* L. and *Acer platanoides* L. leaves. Spectral features and relation to chlorophyll estimation. *Journal of Plant Physiology.* 1994. Vol. 143. P. 286-292.

*Gitelson, A. & Merzlyak M.N., 1994. Spectral reflectance changes associated with autumn senescence of *Aesculus hippocastanum* L. and *Acer platanoides* L. leaves. Spectral features and relation to chlorophyll estimation. Journal of Plant Physiology, vol. 143, p. 286-292 (in English).*

6. Klein, D., Menz, G. Vegetation Assessment in East Africa using MGVI and Red Edge Position from Envisat MERIS data. *Proc. of the MERIS (A)ATSR Workshop 2005 (ESASP-597)*. 26-30 September 2005. ESRIN, Frascati, Italy. Editor: H. Lacoste. Published on CDROM. P.44. 1.

Klein, D., Menz, G., 2005 Vegetation Assessment in East Africa using MGVI and Red Edge Position from Envisat MERIS data. Proc. of the MERIS (A)ATSR Workshop 2005 (ESASP-597). 26-30 September 2005. ESRIN, Frascati, Italy. Editor: H. Lacoste. Published on CDROM, p. 44.1 (in English).

7. Kuehn F., Oppermann K. and Hoerig B. Hydrocarbon Index – an algorithm for hyperspectral detection of hydrocarbons. *Int. J. Remote Sensing.* 2004. Vol. 25, № 12. P. 2467-2473.

Kuehn F., Oppermann K. and Hoerig B., 2004. Hydrocarbon Index – an algorithm for hyperspectral detection of hydrocarbons. Int. J. Remote Sensing, vol. 25, № 12, p. 2467-2473 (in English).

8. Li L., Ustin S.L., Lay M. Application of AVIRIS data in detection of oil-induced vegetation stress and cover change at Jornada, New Mexico. *Remote Sens. Environ.* 2005. Vol. 94. P. 1-16.

Li L., Ustin S.L., Lay M., 2005. Application of AVIRIS data in detection of oil-induced vegetation stress and cover change at Jornada, New Mexico. Remote Sens. Environ, vol. 94, p. 1-16 (in English).

9. http://rst.gsfc.nasa.gov/Sect5/Sect5_5.html
http://rst.gsfc.nasa.gov/Sect5/Sect5_5.html
(in English).

Стаття надійшла
24.06.2015