

СРАВНЕНИЕ МЕЖДУ ОТРАЖАТЕЛНИТЕ СПЕКТРИ НА ГРАНИТИ ПОЛУЧЕНИ С РАЗЛИЧНА СПЕКТРОМЕТРИЧНА АПАРАТУРА

Деница Борисова

ЦЛСЗВ- БАН, София 1113; dborisova@stil.bas.bg

РЕЗЮМЕ. Дистанционните изследвания на скали и минерали намират все по-широко приложение във връзка с актуалните разработки на ESA (Европейска космическа агенция), NASA (Национална космическа агенция на САЩ) и ИКИ-РАН (Институт за космически изследвания – Руска академия на науките), за изучаване на минералния и химичен състав на повърхността на Марс и спътника му Фобос. За целта на настоящата работа са проведени лабораторни спектрометрични измервания на гранити от територията на България във видимата и близката инфрачервена области от електромагнитния спектър като са използвани следните спектрометрични системи: SRM, 0.4-0.82 микрометра; SPS-1, 0.55-1.1 микрометра. Избрани са две дължини на вълната с цел сравнение на данните, получени с помощта на различните апаратури. Също така е установена зависимостта между количественото съдържание на скалообразуващите минерали на гранитите и стойността на спектралния коефициент на отражение при подбрани дължини на вълната. Получените резултати показват, че тази методика може да бъде приложена и за други скални разновидности, представени на територията на България.

CORRELATION BETWEEN GRANITE REFLECTANCE SPECTRA OBTAINED BY DIFFERENT SOURCES

DENITSA BORISOVA

STIL-BAS, Sofia 1113; dborisova@stil.bas.bg

ABSTRACT. Remote sensing methods for studying of rocks and minerals are closely related to current EAS, NASA and SRI-RAS programs for mineral and chemical composition research of Mars and Phobos surface. For the purpose of present paper ex-situ spectroscopy measurements of the granites from the territory of Bulgaria in visible and near infrared (VNIR) range of the electromagnetic spectrum were performed using follows spectrometric systems: SRM, 0.4-0.82 micrometers; SPS-1, 0.55-1.1 micrometers. Two wavelengths were selected and were applied for the proper comparison between the data obtained by different sources. Dependence between reflectance values at chosen wavelengths and the quantitative content of the rock-forming minerals was established. The achieved results proved that this methodology could be extended for other rock types presented in the territory of Bulgaria.

Въведение

Дистанционните изследвания на скали и минерали са актуални в настоящия момент във връзка с редица международни програми за изучаване на състава на повърхността на Марс и спътника му Фобос. За целта на настоящата работа са проведени спектрометрични измервания на гранити от територията на България във видимата и близката инфрачервена области от електромагнитния спектър (ЕМС) като са използвани спектрометрични системи SRM, 0.4-0.82 μm и SPS-1, 0.55-1.1 μm . Апаратурите са разработени в ЦЛСЗВ-БАН и са използвани при изучаването на растителна и почвена покривка. За сравнение на данните, получени с помощта на различните апаратури, са избрани две дължини на вълната. За подбрани дължини на вълната е установена зависимостта между количественото съдържание на скалообразуващите минерали на гранитите и стойността на спектралния коефициент на отражение. Получените резултати показват, че тази методика може да бъде приложена и за други скални разновидности, представени на територията на България.

Материали и методи

Обекти на проведените експериментални изследвания са общо 10 скални образеца от групата на гранита и риолита. Групата се счита като главна, защото гранитите са най-разпространените скали между интрузивните магмени скали. Тук се включват кисели и ултракисели скали и по-малко със среден химичен състав. Повечето от скалните видове са светли (левкократни) и съдържат средно около 10% цветни минерали (Маринов, 1989). Също така обект на изследване са отделните основни скалообразуващи минерали, които формират гранитите. Те са измерени като единични масивни образци от калиев фелдшпат, ортоклаз, кварц и мусковит, чиито размери са съобразени и съвместими с полезрението на използваната система SRM. Липсата на единични природни минерали от плагиоклаз, биотит и амфибол с нужните за полезрението на спектрометъра размери наложи използването на многоканална спектрометрична апаратура SPS-1. С помощта на тази апаратура бяха измерени спектралните отражателни характеристики на всички представени минерали като включения в изследваните скални образци, както и всеки образец.

В Таблица 1 е представено процентното съдържание на основните минерали, които формират съответния вид гранити, като сред изследваните скални образци преобладават обикновените гранити.

Таблица 1

Процентно съдържание на основните минерали в изследваните гранити

наименование	място на вземане	KFsp	плагиоклази	кварц	биотит	мусковит	амфибол
Гранит	Родопи		50	35	15		
Порфи-роиден гранит	с.Момина баня Хисар	10	30	40	10		10
Порфи-роиден гранит	с.Кънчево Казанлъшко	15	35	25	5		20
Двуслюден гранит	Панагюрище		45	45	5	5	
Порфи-роиден гранодиорит	с.Оман Елхово	10	50	10	5		25
Гранит	Пирин	20	25	45	10		
Гранит	Пирин		40	40	20		
Гранит	Казанлъшко	45		45	5		5
Гранит	Пирин	30	20	40	10		
Гранит	Пирин -		45	45	5		5

Визуално описание на измерваните образци

1. Минерали (фиг. 1-4).



Фиг. 1. Калиев фелдшпат



Фиг. 2. Кварц



Фиг. 3. Мусковит



Фиг. 4. Микроклин

Ортоклаз (калиев фелдшпат). Правоъгълен образец с естествено леко грапава матова повърхност. Цветът е "пепел от рози" с блед оттенък оранжево.

Кварц. Многоъгълен образец с естествено грапава леко запрашена повърхност без блясък. Наблюдават се леки проблясъци от миналамелки кварц. Цветът е млечнобяло-бежово-сив.

Мусковит. Многоъгълен образец с естествена почти гладка повърхност с огледален (под определен ъгъл) блясък. Цветът е възкафяв с малки ръждиви петънца.

Микроклин. Многоъгълен образец с грапава повърхност с матов блясък. Образецът е с преобладаващ бледорезедав цвят.

2. Скални образци (фиг. 5-14).

Образец N1. Среднозърнест гранит от Родопите. Повърхността е естествено грапава. Цветът на скалообразуващите минерали е както следва: плагиоклази – бели до светлорозово-бели; кварц – прозрачен тъмносиво-розов; биотит – черен блестящ.

Образец N2. Среднозърнест порфириден гранит от Хисар. Порфирите са от калиев фелдшпат. Повърхността е естествено грапава. Цветът на скалообразуващите минерали е както следва: калиев фелдшпат - светлосиво-розов, плагиоклази - бели, кварц - прозрачен светлосив, биотит - черен блестящ, амфибол - чернозелен.



Фиг. 5. Гранит



Фиг. 6. Порфириден гранит

Образец N3. Среднозърнест порфириден гранит от Казанлъшко. Порфирите са от плагиоклази. Повърхността е естествено грапава. Цветът на минералите е както следва: калиев фелдшпат – бледо светлорозов, плагиоклази - бели до зеленикавобели, кварц – прозрачен много светлосив, биотит – черен, амфибол – черен.

Образец N4. Среднозърнест двуслюден гранит от Панагюрище. Стандартен петрографски образец с естествено грапава повърхност. Цветът на минералите е както следва: плагиоклази – бели до светлосиви, кварц – прозрачен сиворозов, биотит – черен блестящ, мусковит – безцветен блестящ.



Фиг. 7. Порфириден гранит



Фиг. 8. Двуслюден гранит

Образец N5. Дребнозърнест порфириден гранодиорит от Елховско. Повърхността е естествено грапава с порфири от калиев фелдшпат. Цветът на минералите е както следва: калиев фелдшпат – бледо жълторозов, плагиоклази – бели, кварц – светлосив, биотит – черен блестящ, амфибол – черен.

Образец N6. Среднозърнест гранит от Пирин. Повърхността е наполовина вдлъбната с омазняване в единия край. Цветът на минералите е както следва: калиев фелдшпат – бледо светлорозов, плагиоклази - бели, кварц – сив прозрачен, биотит – черен блестящ.



Фиг. 9. Порфироиден гранит



Фиг. 10. Гранит

Образец N7. Дребно- до среднозърнест гранит от Пирин. Повърхността е леко грапава, почти гладка. Цветът на минералите е както следва: плагиоклази – бели до светлосиви, кварц – прозрачен тъмносиворозов, биотит - черен блестящ.

Образец N8. Дребно- до среднозърнест гранит от Казанлъшко. Повърхността е леко грапава, почти гладка. Цветът на минералите е както следва: калиев фелдшпат – светлорозов, кварц – светло- до тъмносив, биотит – черен блестящ, амфибол – сивочерен.



Фиг. 11. Гранит



Фиг. 12. Гранит

Образец N9. Дребно- до среднозърнест гранит от кариера Гранитово. Естествено грапава повърхност. Цветът на минералите е както следва: калиев фелдшпат – бледооранжеворозов, плагиоклази – бели до светлосиви, кварц – прозрачен сив, биотит – черен блестящ.

Образец N10. Дребно- до среднозърнест гранит от Гранитово. Повърхността е естествено грапава. Цветът на минералите е както следва: плагиоклази – бели, кварц – сив до тъмносив, биотит – черен блестящ, амфибол – черен.



Фиг. 13. Гранит



Фиг. 14. Гранит

Апаратурен комплекс

За измерване на отражателните спектри на скалните образци гранити като смесен клас от основните скалообразуващи ги минерали, както и на основните и второстепенните минерали са използван следните апаратурни системи, разработени в ЦЛСЗВ-БАН:

Система SRM за измерване на спектралните коефициенти на отражение в наземни условия, описана в Кънчева, 1999: 1 – монохроматор Joben-Yvon, модел H-10; 2 – цифров радиометър Tektronix, модел J-16.

Системата притежава следните основни технически характеристики: спектрален обхват на монохроматора - 300-820 nm; работен спектрален диапазон - 400-820nm; брой измервателни канали - 43; ширина на спектралните канали 8 nm; фокусирана дифракционна решетка с 1800 линии/mm; спектрален обхват на радиометъра 374-1100 nm; индикация – цифрова.

Спектрометрична система за дистанционни изследвания SPS-1 (Илиев, 2000а,б), в чийто състав влизат:

- оптичен възел;
- блок на фотопреобразувателя с възел за неговото управление;
- блок за цифрово преобразуване и визуализация на спектралните данни;
- специализиран компютър.

По-важни параметри на системата са: 1 – монохроматор SPM-1 Uarl-Zeiss; 2 – фотопреобразувател RL512S - Reticon; 3 – архив на спектралната информация 5.25" Mini-Disk; 4 – интерфейс RS-323.

Системата притежава следните основни технически характеристики:

- работен спектрален диапазон - 360-1100 nm;
- спектрална разделителна способност - 0.24 nm, 0.384 nm, 5.4 nm;
- динамичен обхват на фотопреобразувателя > 104;
- време за сканиране на един спектър 50 ms;
- динамична памет 44 kB.

Еталонна отразяваща повърхност (екран) със следните характеристики:

- покритие - бариев сулфат;
- коефициент на отражение – 98-99%;
- неравномерност на спектралната отразителна характеристика в работния диапазон – 1%;
- индикатриса на отражение – ортотропна.

Изкуствен светлинен източник – халогенна лампа с мощност 2000 W, създаваща равномерна осветеност в работното поле на спектрометриране и осигуряваща необходимата светлинна енергия в спектралния диапазон на измерване.

Подвижен оптичен визьор за контролиране на разположението на изследвания обект в ползрението на спектрометъра.

Механична конструкция, включваща тринога и механична глава за установяване и регулиране на спектрометъра в работно положение.

Измерванията на спектралните отражателни характеристики на всички изследвани обекти са проведени в лабораторни условия със системите SRM (Mishev et al., 1993) и SPS-1 (Илиев, 2000), установени в надир спрямо повърхността на изследвания обект. Осветяването на изследвания обект е осъществено с изкуствен светлинен източник – халогенна лампа като са съблюдавани постоянни условия на осветеност.

Обработка на получените данни

Ефективното използване на данните от дистанционните изследвания се съобразява със индивидуалните изисквания на потребителя към съдържанието и качеството на получаваната информация. Обработката и интерпретацията на спектралните данни са от особено значение за ефективността. Важни са следните моменти:

- вид на анализирания спектрални данни - свързано с предварителната обработка и методите за анализ;
- количество на спектралните и съпътстващи данни - представителност и оптимален обем;
- предварителна обработка на данните;
- използвани математически методи за анализ;
- оценка на точността на получените резултати.

Предварителна обработка на получените данни

Предварителната обработка на получените данни включва най-общо следните операции:

- ✓ корекция на апаратурните шумове;
- ✓ радиометрична калибровка спрямо еталонен обект;
- ✓ пространствена привръзка;
- ✓ радиационна корекция (отчитане на атмосферните шумове);
- ✓ преобразуване на данните в нужния вид;
- ✓ въвеждане на допълнителни данни от наземните наблюдения и точкови измервания.

При извършените в настоящия труд лабораторни спектрометрични измервания не са необходими радиационната корекция и пространствената привръзка на данните. Корекцията на апаратурните шумове и радиометричната калибровка спрямо еталонния екран се извършват по време на провежданите експериментални измервания.

Получените масиви от данни се преобразуват до стойност на спектралния коефициент на отражение в проценти или като част от единицата като се прилагат необходимите за целта формули (1).

Спектралният коефициент на отражение $r(\lambda_i, z_0, \phi, \theta)$ е функция, която характеризира структурата на отразената от повърхността на природния обект радиация по дължина на вълната (λ_i) и в зависимост от условията на осветяване (ϕ) и измерване (θ).

Измервания при малки изменения на z_0 осигуряват слаба зависимост на спектрометричните данни от зенитния ъгъл на Слънцето (Henderson et al., 1984) и тогава, при визиране в надир, коефициентът на отражение (като безразмерна величина или в проценти) се определя от:

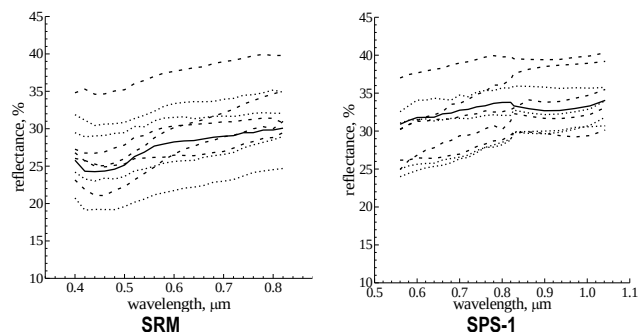
$$r(\lambda_i) = \frac{L(\lambda_i)}{L_0(\lambda_i)} \quad (1)$$

където $L(\lambda_i)$ и $L_0(\lambda_i)$ са яркостите съответно на изследваната хоризонтална ($\phi = 0$) и еталонна повърхност.

Допълнителната информация представлява в конкретния случай наблюдение и описание на изследваните скални образци, което включва процентно съдържание на скалообразуващите минерали и визуално описание на минералите и гранитите.

Резултати и дискусия

На фиг. 15 са представени спектралните отражателни характеристики на изследваните гранити с двете използвани апаратури, съответно SRM и SPS-1. Според структурата на петрографския образец отражателните спектри са с различен растер: едрозърнестите гранити са отбелязани на фигурата с плътна линия, среднозърнестите са показани с пунктир и дребнозърнестите са маркирани с точки.

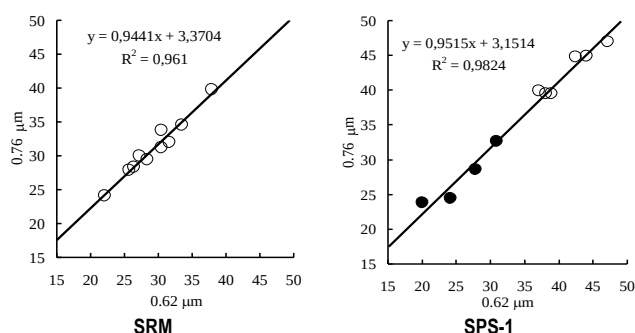


Фиг. 15. Отражателни спектри на гранити с различна структура

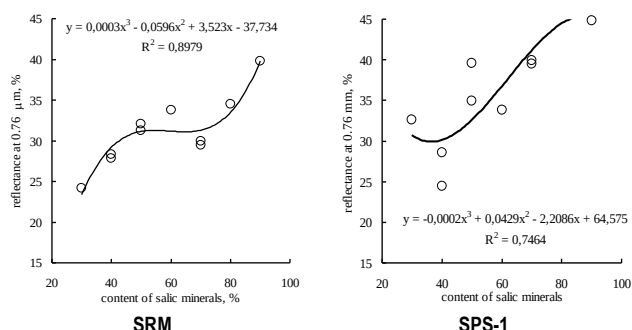
За по-ясно разграничаване на тъмно- и светлооцветените образци се подбират две дължини на вълните, където се наблюдава най-значима разлика в стойностите. След направен анализ на получените спектри (фиг. 16) са подбрани червената (R) и инфрачервената (NIR) област от спектъра като $R = 0.62 \mu m$ и $NIR = 0.76 \mu m$. На фиг. 17 в спектралната координатна система от две дължини на вълните R-NIR са представени резултатите от проведените измервания с двете използвани апаратури. Наблюдава се различие в резултатите при използването на двете апаратури, което е повлияно основно от разстоянието между измервателния уред и изследвания образец, различно за двата случая. За SPS-1 се оформят две групи (клъстъра) според съдържанието на минерали ($\bullet$ – > 50% тъмни, $\circ$ – > 50% светли). Тази по-голяма чувствителност се дължи на по-високото спектрално разрешение на апаратурата. В двумерната координатна система R-NIR стойностите на коефициента на отражение

на образците от гранити попадат на добре оформена линия, наречена базова скална линия. Аналогично на (Elvidge, 1985; Borisova and Kancheva, 2003; Borisova, 2004; Borisova and Kancheva, 2006), базовата линия е установена чрез линейна регресия от вида $y = ax + b$:

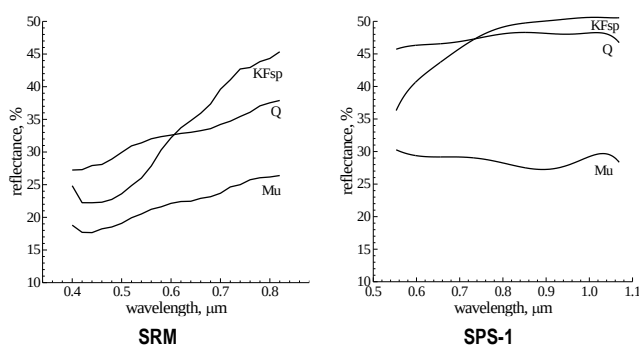
$$NIR = aR + b \quad (2)$$



Фиг. 17. Гранити в спектралната координатна система от две дължини на вълните $R=0.62 \mu m$ и $NIR=0.76 \mu m$



Фиг. 18. Зависимост на отражението при $0.76 \mu m$ от съдържанието на светли минерали



Фиг. 19. Отражателни спектри на изследваните скалообразуващи минерали, характерни за гранитите – калиев фелдшпат (KFsp), кварц (Q), мусковит (Mu)

На фиг. 18 са показани зависимостите на стойността на спектралния коефициент на отражение при дължина на вълната $0.76 \mu m$ от съдържанието на светлоцветени скалообразуващи минерали в гранитите съответно за SRM и SPS-1. Зависимостта се апроксимира с полином от трета степен. Наблюдава се нарастване на стойността на спектралния коефициент на отражение с увеличаване на съдържанието на светлоцветени скалообразуващи минерали в гранитните образци. На фиг. 19 са показани отражателните спектри на скалообразуващите минерали на гранитите във вид на мономинерални образци,

измерени с двете използвани апаратури SRM и SPS-1. Освен това с SPS-1 са проведени измервания на минералите, изграждащи изучаваните скални образци.

Заклучение

Проведените лабораторни спектрометрични измервания на гранити, техните основни и второстепенни скалообразуващи минерали имат за цел да служат като подпомагач и потвърждаващ материал при анализиране и дешифриране на цифрови изображения, получени при аеро- и космически заснемания и преобразуването на пикселите от изображението в литоложки единици въз основа на техните спектрални характеристики. Получените резултати показват, че тази методика може да бъде приложена и за други скални разновидности, представени на територията на България, което е предвидено да се направи в предстоящи работи.

Благодарности. Авторът изказва благодарност на гл. ас. д-р Бануш Банушев и доц. дгн Маргарита Токмачиева за предоставените скални и минерални образци, както и за оказаното съдействие при направените последващи минерални и химични анализи. Настоящата работа е подпомогната финансово от НСНИ-МОН по договори ИНИ-12/05, НЗ-1410/04 и МУНЗ-1502/05.

Литература

- Илиев, И. 2000. Многоканални спектрометрични дистанционни изследвания на Слънцето и земната атмосфера. – *Дисертация за получаване на научната и образователна степен "Доктор"*, 150 с.
- Илиев, И. 2000. Спектрометрична система за слънчеви и атмосферни изследвания. – *E+E*, 3-4, 43-47.
- Маринов, Т. 1989. *Петрография*. С., Техника, 244 с.
- Borisova, D. 2004. Granite reflectance spectra behaviour depends to its rock-forming minerals. – *UMG Annual*, 47, 233-236.
- Borisova, D., R. Kancheva. 2003. Spectrometric study of rocks as a mixed class. – *10th Jubilee National Conference with International Participation*, Sofia, 158-161.
- Borisova, D., R. Kancheva. 2006. Spectral mixture analysis of land covers. – *Proceedings of 25th EARSeL Symposium*, Millpress, Rotterdam, 509-516.
- Elvidge, C., R. Lyon. 1985. Influence of rock-soil spectral variation on the assessment of green biomass. – *Remote Sensing Environ.*, 17, 265-279.
- Henderson, K. E., G. D. Badhwar. 1984. An initial model for estimating soybean development stages from spectral data. – *Remote Sensing Environ.*, 14, 55-63.
- Kancheva, R. 1999. State assessment of the soil-vegetation system using spectrometric data. – *PhD thesis*, 142 p. (in Bulgarian)
- Mishev, D., A. Krumov, V. Atanassov, D. Krezhova, V. Boycheva. 1993. Simultaneous use of data obtained by different multichannel spectrometers. *Compt. Rend. 'Acad. Bulg. Sci.*, 46, 9, 53-56.