

## ИЗМЕРЕНИ И МОДЕЛИРАНИ ОТРАЖАТЕЛНИ СПЕКТРИ НА ГРАНИТИ

**Деница Борисова, Илко Илиев**

*Централна лаборатория по слънчево-земни въздействия, БАН, 1113 София; dborisova@stil.bas.bg; iliev@stil.bas.bg*

**РЕЗЮМЕ.** С помощта на конструираната в ЦЛСЗВ-БАН апаратура SPS-1 са измерени в лабораторни условия отражателните спектри на петрографски образци гранити, взети от различни райони на България (Централно Средногорие, Пирин и Югоизточна България). Същевременно със същата апаратура са проведени и измервания на отражателните спектри както на основните скалообразуващи минерали като мономинерални образци от кварц, калиев фелдшпат и мусковит, така и като минерали участващи в състава на скалите. Работният диапазон на SPS-1 е във видимата и близката инфрачервена част от електромагнитния спектър от 550 nm до 1100 nm. Сравнени са получените и моделираните, въз основа на теорията за смесените класове обекти, отражателни спектри на изучаваните гранити. Получените корелационните зависимости показват, че тази методика може да бъде приложена и за други скални разновидности, представени на територията на България.

### MEASURED AND MODELED GRANITE REFLECTANCE SPECTRA

**Denitsa Borisova, Ilko Iliev**

*Solar-Terrestrial Influences Laboratory, Bulgarian Academy of Sciences, 1113 Sofia; dborisova@stil.bas.bg; iliev@stil.bas.bg*

**ABSTRACT.** Laboratory spectroscopy measurements of petrographic granite samples from different regions of Bulgaria (Central Srednogorie, Pirin, and South-East Bulgaria) are carried out using designed and constructed in STIL-BAS spectrometric system SPS-1. The system works in visible and near-infrared (VNIR) range of electromagnetic spectrum between 550 nm and 1100 nm. Parallel laboratory measurements of the rock-forming minerals as monominerals (quartz, feldspar, and muscovite) and as a part of the granite samples are performed. Reflectance spectra of the granites are modeled using the theory of mixed classes. Measured and modeled spectra are compared. Established high correlation between measured and modeled reflectance spectra of the studied granites confirms 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 европейски програми, основно GMES (Global Monitoring of Environment and Security). За целта на настоящата работа са проведени спектрометрични измервания на гранити и техните скалообразуващи минерали в два варианта – като минерали в самите скални образци и като отделни кристали. Всички образци са от територията на България – Централно Средногорие, Пирин и Югоизточна България. Киселите скали са широко разпространени в земната кора, като плутоничните им представители преобладават многократно над вулканските. Гранитоидите са съществена част от континенталната земна кора където участват в изграждането на огромни сложно устроени батолити в орогенните пояси. Според модалната QAP класификация на МСГН (Международен съюз по геологически науки) въз основа на различните съотношения на К-фелдшпати и плагиоклазите сред киселите плутонични скали се разграничават алкалнофелдшпатов гранит, гранит, гранодиорит и тоналит.

Гранитите са светлосиви, сиви, сивожълтеникави до розови. Структурата им е едро-, средно-, дребнозърнеста, равномернозърнеста или неравномернозърнеста (порфиرويدна), гранитова, а текстурата – масивна. Главните скалообразуващи минерали са кварц, кисел плагиоклаз и К-На фелдшпат. Второстепенните минерали са биотит, амфибол и значително по-рядко – мусковит и гранат, а акцесорните – циркон, аланит, титанит, рутил, апатит и турмалин. Цветният индекс на гранитите е около 10. Съдържанието на SiO<sub>2</sub> е между 68 и 73%, а на алкалните оксиди Na<sub>2</sub>O+K<sub>2</sub>O – 4.8-10%. Основните разновидности гранити са биотитов, амфибол-биотитов и двуслюден.

Гранодиоритите са сивозелени, едро-, средно-, дребнозърнести, равномерно- и неравномернозърнести (порфиرويدни). Структурата им е гранитова, по-рядко монцитонитова, а текстурата – масивна. Главните скалообразуващи минерали са плагиоклази, кварц, К-На фелдшпат, амфибол и биотит, а акцесорните – титанит, апатит, циркон, аланит и магнетит. Цветният индекс е около 20. Съдържанието на SiO<sub>2</sub> е между 64 и 68%, а на алкалните оксиди Na<sub>2</sub>O+K<sub>2</sub>O – 3-10%. Според съдържанието на цветни минерали гранодиоритите се разделят на амфиболони, биотит-амфиболони, авгит-амфиболони.

Гранитите и гранодиоритите участват в изграждането на магмени тела (щочове, батолити, плутони) с размери от няколко десетки до няколко хиляди квадратни километра.

Сравнени са получените и моделираните, въз основа на теорията за смесените класове обекти, отражателни спектри на изучаваните гранити. Получените корелационни зависимости показват, че тази методика може да бъде приложена и за други скални разновидности, представени на територията на България.

## Материали и методи

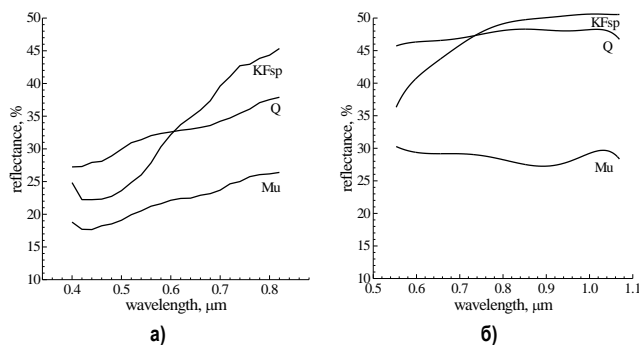
Обекти на проведените експериментални изследвания са скални образци от групата киселите скали. Също така са изследвани главните скалообразуващи минерали, изграждащи гранитите. Те са измерени като отделни образци от калиев фелдшпат, кварц и мусковит, а също и като минерали участващи в състава на изследваните скали. За проведените експериментални измервания е използвана спектрометрична система SPS-1 с работен диапазон 550-1100 nm, конструирана в ЦЛСЗВ-БАН (Илиев, 2000а; 2000б). На фиг. 1а и 1б са представени отражателните спектри на отделни минерали и на минерали изграждащи скалните образци.

Като една от най-употребяваните количествени характеристики на отражателните свойства на обекта спектралният коефициент на отражение  $r$  е основен тип спектрални данни, които се използват при моделирането на спектрални смеси. Използвайки дефиницията за спектралния коефициент на отражение и като се знае свойството адитивност на отразената радиация (Гарелик, 1989; Mishev, 1991) е в сила следният израз за регистрираната за дадена дължина на вълната  $\lambda_i$  яркост:

$$L_{\Sigma}(\lambda_i) = \sum_{j=1}^n p_j L_j(\lambda_i), \quad \sum_{j=1}^m p_j = 1 \quad (1)$$

където  $p_j$  е относителната площ, заемана от обекта;  $L_j(\lambda_i)$  е яркостта на същия обект;  $i=1...n$ ;  $j=1...m$ ,

се получава:



Фиг. 1. Отражателни спектри на изследваните скалообразуващи минерали на гранитите: калиев фелдшпат (KFsp), кварц (Q), мусковит (Mu): а – отделни минерали; б – минерали изграждащи скалните образци

$$r_{\Sigma}(\lambda_i) = p_1 r_1(\lambda_i) + p_2 r_2(\lambda_i) + \dots + p_m r_m(\lambda_i) = \sum_{j=1}^m p_j r_j(\lambda_i) \quad (2)$$

или за конкретна дължина на вълната:

$$r_{\Sigma}(\lambda) = \sum_i p_i r_i(\lambda) \quad (3)$$

където  $r_{\Sigma}(\lambda)$  са резултантните отражателни спектри на смесения клас,  $r_i(\lambda)$  – отражението от всеки компонент в спектралната смес,  $P_i$  – относителното дялово участие (процентно съдържание, коефициент на проективно покритие) на всеки компонент.

За определяне на резултантната (сумарната) спектрална отражателна характеристика на смесения клас  $R_{\Sigma}[r_{\Sigma}(\lambda_i)]$  е необходимо да се реши система линейни алгебрични уравнения за всяка дължина на вълната  $\lambda_i$  ( $i=1, \dots, n$ ). По такъв начин измерваната резултантна отражателна характеристика зависи от дяловото участие на всеки отделен клас, т.е. от заеманата от всеки от компонентите (чистите класове, базовите класове) относителна площ в рамките на пиксела (фиг. 2б). Тогава отражателните спектри на смесения клас гранит  $r_{\Sigma}(\lambda)$  за дадена дължина на вълната  $\lambda$  се определят от израза:

$$r_{\Sigma}(\lambda) = p_{Fsp} r_{Fsp}(\lambda) + p_Q r_Q(\lambda) + p_{Bio} r_{Bio}(\lambda) + p_{Mu} r_{Mu}(\lambda) + p_{Amf} r_{Amf}(\lambda) \quad (4)$$

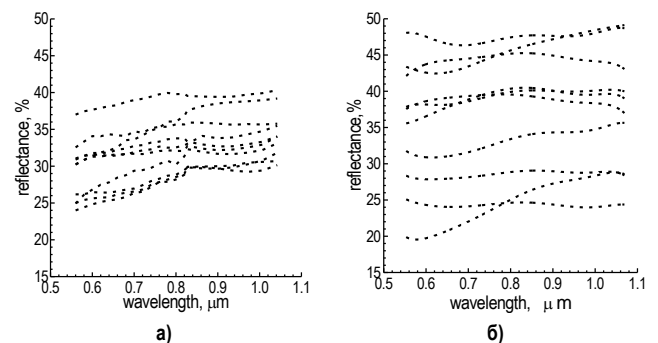
като

$$p_{Fsp} + p_Q + p_{Bio} + p_{Mu} + p_{Amf} = 1 \quad (5)$$

където  $p$  е коефициентът, отговарящ на процентното съдържание (дяловото участие) на съответните минерали: Fsp – фелдшпати, Q – кварц, Bio – биотит, Mu – мусковит и Amf – амфибол. Като цяло участието на цветните минерали е много малко (5-10%), поради което в последващите изчисления при моделирането тези членове на уравнение (4), респективно в (5) се пренебрегват.

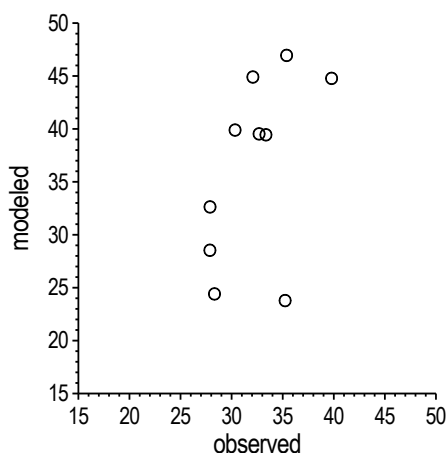
## Резултати и дискусия

На фиг. 2а са представени измерените спектрални отражателни характеристики на изследваните гранити с SPS-1. На фиг. 2б са показани моделираните спектри, които са получени като са използвани формули (4) и (5) и се приложи теорията за смесените класове (Mishev, 1991).



Фиг. 2. Отражателни спектри на гранити: а – измерени; б – моделирани

При получените моделирани спектри се наблюдава разпръскване на графиките, което би могло да се дължи основно на пренебрегване на част от априорната информация. Това доказва, че при използването на данни от дистанционни изследвания, проведени на всички нива – лабораторни, полеви, от летящи носители в атмосферата и от спътници съществено значение има допълнителната информация. Създаването на база данни ще доведе до по-качествена интерпретация на спектралните данни от различни обекти за различни цели, в частност на мониторинга на околната среда.



Фиг. 3. Стойности на измерените и моделираните отражателни спектри за дължина на вълната 0.76  $\mu\text{m}$

За по-достоверно представяне на сравнението между измерените и моделираните спектрални данни е направен анализ. Подбрана е дължина на вълната 0.76  $\mu\text{m}$ , за която на фиг. 3 са представени данните в двумерното пространство “наблюдавани-моделирани” данни.

## Заклучение

Проведените лабораторни спектрометрични измервания на гранити, техните главни 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 корелационни зависимости 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.* Авторите изказват благодарност на доц. д-р Б. Банушев (Минно-геоложки университет “Св. Иван Рилски”) за предоставени образци и консултации. Настоящата работа е подпомогната финансово от НСНИ-МОН по договори ИНИ-12/05, НЗ-1410/04 и МУНЗ-1502/05.

## Литература

- Гарелик, И. 1989. Определение динамики развития растительности по производной вегетационного индекса. – *Исследование Земли из космоса*, 3, 61-65.
- Илиев, И. 2000а. Многоканални спектрометрични дистанционни изследвания на Слънцето и земната атмосфера. *Дисертация за получаване на научната и образователна степен “Доктор”*, 150 с.
- Илиев, И. 2000б. Спектрометрична система за слънчеви и атмосферни изследвания. – *E+E*, 3-4, 43-47.
- Mishev, D. 1991. Spectral characteristics of mixed classes of natural formations. – *Acta Astronautica*, 25, 8-9, 443-446.

Препоръчана за публикуване от  
Катедра “Приложна геофизика”, ГПФ