

РАЗПОЗНАВАНЕ НА МАГМЕНИ СКАЛИ ЧРЕЗ АНАЛИЗ В ПИКСЕЛА

Деница Борисова¹, Христо Николов¹, Бануш Банушев², Дойно Петков¹

¹Институт за космически изследвания и технологии, Българска академия на науките, 1113 София; dborisova@stil.bas.bg

²Минно-геоложки университет "Св. Иван Рилски", 1700 София; banushev@mgu.bg

РЕЗЮМЕ. Данните за спектралното отражение, които са записани от сензори като TM/ETM+ на спътника Landsat, често са получени от смесването на няколко "чисти" спектрални класа, попадащи в един пиксел. При дешифрирането и класификацията на многоспектралните данни с цел установяване на точни пропорции на класовете земно покритие този въпрос винаги е бил труден за решаване. Включването на наземни полеви и лабораторни измервания повишава точността на разпознаването. В настоящата работа се предлага използването на анализ на спектрални смеси, който се базира на анализ в пиксела за различаване на минерали, скали и почви. Тъй като смесването е линейно, то получената отражателна характеристика представлява линейно сумиране на отделните коефициенти на отражение за всеки отделен клас обекти, умножени по съответното им дялово участие. Друг проблем, който води до неточности в разпознаването, е случаят със смесени пиксели с ограничена спектрална разделяемост на подобни обекти (минерали и скали). Разработени са различни методи за подобряване на класификацията на смесените пиксели като се идентифицират подпикселни компоненти и техните пропорции. Затова са направени допълнителни спектрометрични измервания на гранити, гранодиорити и кварц-диорити като широко разпространени представители на магмените скали. Измерванията са извършени с помощта на спектрометър TOMS. Основното предимство на представения метод е, че смесените пиксели се използват по време на фазата на обучение в анализа на данните. Методът е сравнително прост, евтин и обективен.

DETECTION OF IGNEOUS ROCKS BY SUB-PIXEL METHOD

Denitsa Borisova¹, Hristo Nikolov¹, Banush Banushev², Doyno Petkov¹

¹Space Research and Technology Institute, Bulgarian Academy of Sciences, 1113 Sofia; dborisova@stil.bas.bg

²University of Mining and Geology "St. Ivan Rilski", 1700 Sofia; banushev@mgu.bg

ABSTRACT. The spectral reflectance data, recorded by remote sensors (such as Landsat-TM/ETM+), often result in from of spectral mixture of several "pure" spectral classes, included in the area covered by single pixel. This problem is the so-called mixed pixel problem. It has always been a difficulty in multi-spectral data decomposition and classification in deriving accurate proportions of the land cover classes. Including ground-measured data is especially useful with respect to increasing the accuracy of such classifications. This study proposes the use of a spectral linear unmixing or spectral mixture analysis (SMA) based on sub-pixel method for mineral, rock and bare soils recognition. If mixing is considered linear, then the resulting pixel reflectance is a linear summation of the individual material reflectance multiplied by the surface fraction they constitute. Besides, the problem of mixed pixels, limited spectral separability among similar minerals and rock types is another problem that causes inaccuracy in identification. Various methods of SMA have been developed to improve the classification of mixed pixels and to detect and identify sub-pixel components and their proportions. For this reason, additional laboratory and in-situ spectrometric measurements and approaches as well as rock line and ratio indices are applied. Laboratory and in-situ measurements are performed using spectrometer TOMS. The rock line way is based on the soil line concept in remote sensing. The ratio indices are chosen considering rock types in the study as follow granite, granodiorite, quartz-diorite etc. The main advantage of the presented technique is that mixed pixels are used during the training phase. Compared to these other techniques, the present one is simple, cheap and objective.

Въведение

Данните за спектралното отражение от изследвани обекти често са получени от смесването на няколко "чисти" спектрални класа, попадащи в един пиксел. При дешифрирането и класификацията на многоспектралните данни с цел установяване на точни пропорции на класовете земно покритие този въпрос винаги е бил трудно решим. В настоящата работа се предлага да се използва анализ в пиксела на спектрални смеси. Спектралните отражателни характеристики представляват линейно сумиране на отделните коефициенти на отражение за всеки отделен клас обекти, умножени по съответното им

дялово участие. До неточност в разпознаването на обекти се стига и при смесени пиксели с ограничена спектрална разделяемост на подобни минерали и скали. Разработени са различни методи за подобряване на класификацията на смесени пиксели като се идентифицират подпикселни компоненти и техните пропорции. Затова са направени допълнителни спектрометрични измервания на гранити и гранодиорити като разпространени представители на магмените скали. Измерванията са извършени с помощта на спектрометър TOMS. Проведени са петрографски изследвания на изучаваните магмени скали. Основното предимство на представения метод е, че смесените

пиксели се използват по време на фазата на обучение в анализа на данните. Методът е сравнително прост, евтин и обективен.

Материали и методи

Една от най-често използваните количествени характеристики на отражателните свойства на обекта е спектралният коефициент на отражение Γ , който се прилага при декомпозицията на спектрални смеси. Според дефиницията за спектралния коефициент на отражение и като се знае свойството адитивност на отразената радиация (Mishev, 1991), е в сила следният израз за регистрираната за дадена дължина на вълната λ_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_i е относителната площ, заемана от обекта;

$L_j(\lambda_i)$ е яркостта на същия обект; $i = 1 \dots n$; $j = 1 \dots m$, от което се получава:

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

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) относителна площ (напр. двукомпонентна смес – p_1 и p_2) в рамките на пиксела и от спектралните им свойства $r_1(\lambda_i)$ и $r_2(\lambda_i)$. Законът за линейна суперпозиция на отразената радиация (1) позволява по измереното интегрално отражение на смесения клас $r_{\Sigma}(\lambda_i)$ и априорно известни спектрални характеристики на отделните класове да бъдат определени пропорциите, с които тези класове участват във формирането на общата отражателна характеристика, т.е. да бъдат определени p_1 и p_2 :

$$p_1 = \frac{r_{\Sigma}(\lambda_i) - r_2(\lambda_i)}{r_1(\lambda_i) - r_2(\lambda_i)} \quad (4)$$

$$p_2 = \frac{r_1(\lambda_i) - r_{\Sigma}(\lambda_i)}{r_1(\lambda_i) - r_2(\lambda_i)} \quad (5)$$

Тази процедура, представляваща декомпозиция на смесени класове, лежи в основата при решаването на задачи, свързани с разпознаването и класификацията на обекти върху земната повърхност по спектрални характеристики, количествена оценка на техни параметри и др. В инверсен вариант, т.е. при известни (зададени) p_1 и p_2 , тя е използвана за моделиране на спектралните отражателни характеристики $r_{\Sigma}(\lambda_i)$ на изучаваните смеси. След това въз основа на провеждане на статистически анализи (в настоящия труд са използвани регресионен и клъстерен) моделираните спектрални смеси се сравняват с реални данни от наземни измервания. След подбор на подходящи спектрални преобразувания за разпознаване на скални обекти по спектрални данни се анализират цифрови данни от Landsat TM/ETM+.

За целта на настоящата работа са направени експериментални измервания на гранити и гранодиорити. Смесеният клас в направените изследвания е формиран от скалообразуващите минерали в скалите. Минералите са групирани като светли (салични–salic) и тъмни (мафични–mafic). Съгласно Мишев, 1981; Мишев и Кынчева, 1988; Mishev, 1991 и като се знае (3) е получена следната система уравнения:

$$r_{\Sigma 1}(\lambda) = p_{s1} r_s(\lambda) + p_{m1} r_m(\lambda) \quad (6)$$

$$r_{\Sigma 2}(\lambda) = p_{s2} r_s(\lambda) + p_{m2} r_m(\lambda)$$

където p_s (salic) и p_m (mafic) е процентното съдържание (дяловото участие), съответно за саличните и мафичните минерали като

$$p_s + p_m = 1 \quad (7)$$

$r_s(\lambda)$ и $r_m(\lambda)$ са спектралните коефициенти на отражение на съответните минерали за конкретна дължина на вълната λ .

След решаване на системата уравнения (6) са получени спектралните коефициенти на отражение на съставлящите класове $r_s(\lambda)$ и $r_m(\lambda)$.

Спектрометричните измервания са проведени с помощта на спектрометър TOMS, работещ в спектралния диапазон 400-900 nm. Спектрометърът е разработен и конструиран в секция Системи за дистанционни изследвания при ИКИТ-БАН (Petkov et al., 2005a; Petkov et al., 2005b). В резултат на тези измервания са получени спектрални отражателни характеристики на изследваните обекти. Спектралната характеристика представлява зависимост на отражението от изучаваните обекти в проценти (reflectance, %) от дължината на вълната в нанометри (wavelength, nm). Получените данни са обработени статистически като в използвания софтуер на спектрометъра е зададено регистрирането на 100 спектъра, които са усреднени.

Изследвани са биотитови гранити от северозападната част на Копривщенския плутон. Те са светлосиви, на места оцветени в ръждивокафяво от железни хидроксида. Те са средно- до едрозърнести, порфиroidни с ясен линейен паралелизъм. Изградени са от К-фелдшпат, плагиоклаз,

кварц, биотит, апатит и циркон (Приставова, Банушев, 2007).

Изучаваните гранодиорити са сиви, сивозелени, средно-до едрозърнести, равномерно- до неравномернозърнести с масивна текстура и хипидиоморфнозърнеста структура. Гранодиоритите са изградени от първичномагматичен плагиоклаз, кварц, К-фелдшпат, амфибол, биотит и вторични дребнолюспеста бяла слюда, хлорит, епидот, биотит, албит. Акцесорните минерали са представени от апатит, циркон, титанит, аланит-(Ce) и магнетит. Въз основа количествените съотношения на мафичните минерали гранодиоритите са определени като биотит-амфиболови и амфибол-биотитови. (Kamenov et al., 2002).

Σ

Резултати и дискусия

На фигура 1 са показани спектралните отражателни характеристики на двата типа скали (гранити – gr и гранодиорити – grd), чието групиране в два подкласа обекти е ясно отлчиимо. Получените стойности на спектралните коефициенти на отражение зависят предимно от съдържанието на салични и мафични минерали. При гранитите съдържанието на салични минерали е по-висок $p_s = 50-70\%$, което довежда до получаване на по-високи стойности на спектралния коефициент на отражение, докато при гранодиоритите количеството на мафичните минерали е по-голямо

$p_m = 75-90\%$, което се изразява с по-ниски стойности на спектралния отражателен коефициент.

Отделните графики на фигура 1 са в зависимост от стойността на p_s и p_m за всеки образец, като приблизително са определени за:

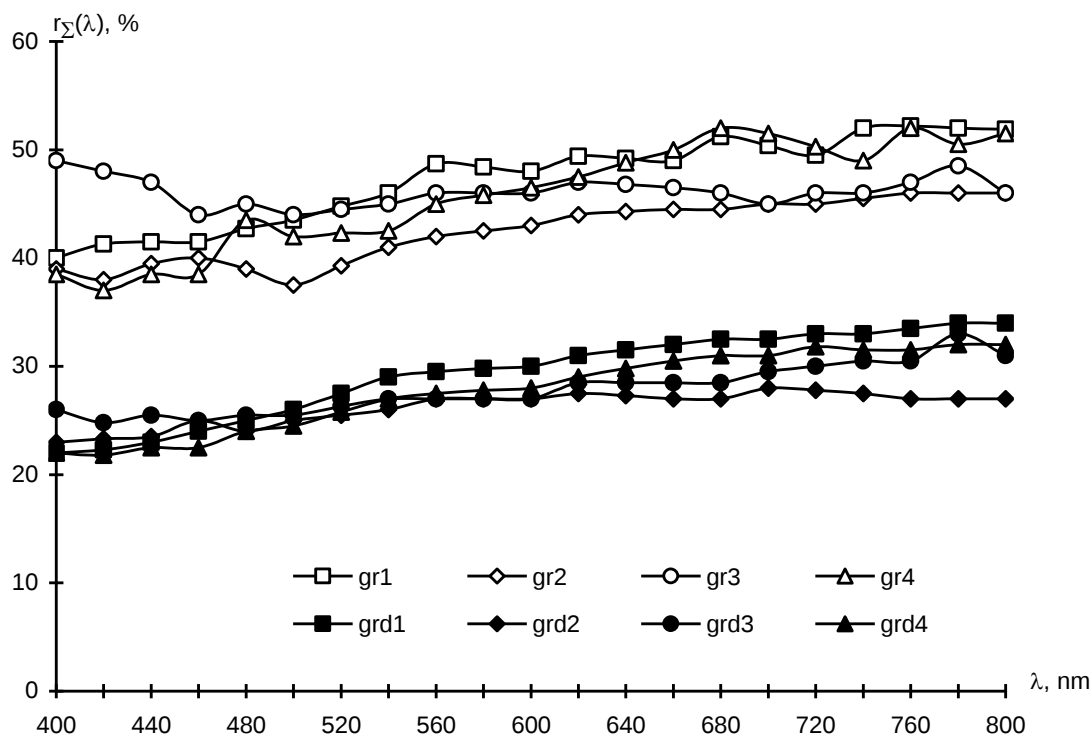
p_s : gr1-70% gr2-50% gr3-55% gr4-60%;

p_m : grd1-25% grd2-15% grd3-10% grd4-20%.

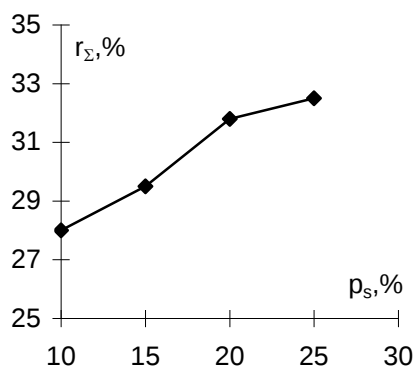
Ясно забележима е добрата разделимост между гранодиоритите и гранитите според спектралните им отражателни характеристики като стойностите на спектралните коефициенти на отражение се обособяват в границите 20-30% за гранодиоритите и 40-50% за гранитите.

На фигури 2 и 3 са представени зависимостите на спектралния отражателен коефициент $r_\Sigma(\lambda)$ за $\lambda = 700 \text{ nm}$ от процентното участие на салични и мафични минерали в състава на гранодиоритите.

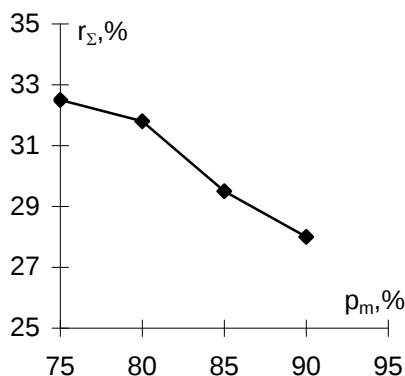
На фигура 4 е изобразена зависимостта на спектралния отражателен коефициент $r_\Sigma(\lambda)$ от процентното съдържание на светлите минерали p_s в гранитите и гранодиоритите при $\lambda = 740 \text{ nm}$.



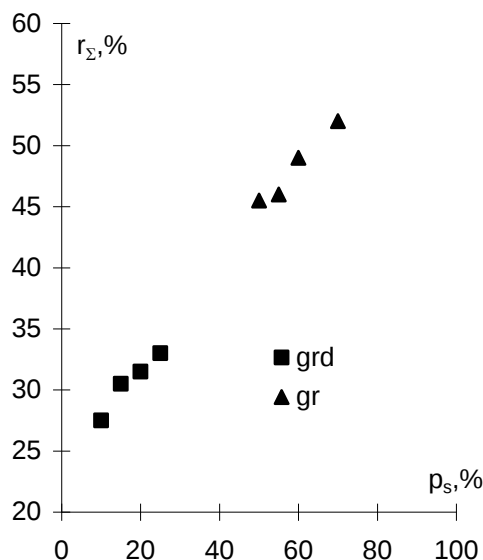
Фиг. 1. Спектрални отражателни характеристики на гранити (gr) и гранодиорити (grd)



Фиг. 2. Зависимост на спектралния отражателен коефициент $r_\Sigma(\lambda)$ за $\lambda = 700 \text{ nm}$ от процентното участие на салични минерали в grd



Фиг. 3. Зависимост на спектралния отражателен коефициент $r_\Sigma(\lambda)$ за $\lambda = 700 \text{ nm}$ от процентното участие на мафични минерали в grd



Фиг. 4. Зависимост на $r_\Sigma(\lambda)$ за $\lambda = 740 \text{ nm}$ от процентното участие на саличните минерали в гранитите и гранодиоритите

Наблюдава се добра разграничаваност на двата типа скали, изразена в групирането на стойностите на спектралния отражателен коефициент в две достатъчно достоверни области. Ясно се вижда възможността по измерените спектрални отражателни характеристики на двата подкласа скали да се направи разделяне им според зависимостта $r_\Sigma(\lambda = 740 \text{ nm}) = f(p_s)$. Стойностите на

p_s се групират от 10% до 30% за гранодиорити и от 50% до 80% за гранити, на които съответстват $r_\Sigma(\lambda = 740 \text{ nm})$ 28-32% и 45-52%. Оформят се два клъстера, между които се наблюдава спектрален прозорец в диапазона на спектралния отражателен коефициент $r_\Sigma(\lambda = 740 \text{ nm}) = 35\% - 45\%$.

Заклучение

Гореизложеното води до заключението, че има добра спектрална разделяемост на двата типа скали като се използва метода на подпиксела. Представена е и възможността за определянето по спектрометрични данни на съдържанието на салични и мафични минерали в магмени скали. Изложената последователност на измерване и анализиране на получените резултати, приложена за разпознаване на гранити и гранодиорити, може да се използва и за останалите видове скали, разглеждани като смесен клас от основните скалообразуващи ги минерали, което ще бъде направено в последващи работи.

Литература

- Мишев, Д. 1981. *Дистанционни изследвания на Земята от Космоса*. С., Изд. БАН, 206 с.
- Мишев, Д., Р. Кынчева. 1988. Определение относительной площади, занимаемой посевом, по данным спектрометрических измерений. – *Исследование Земли из космоса*, 5, 71-75.
- Приставова, С., Б. Банушев. 2007. Магмени, седиментни и метаморфни скали от Централното Средногорие. – В: *Ръководство за учебни практики по минералогия и петрография* (ред. Костов, Р. И.). С., Изд. къща "Св. Иван Рилски", 80-84.
- Kamenov, B., A. von Quad, I. Peycheva, 2002. New insight into petrology, geochemistry and dating of the Vejen pluton, Bulgaria. – *Geochemistry, Mineralogy and Petrology*, 39, 3-25.
- Mishev, D., 1991. Spectral characteristics of mixed classes of natural formations. – *Acta Astronautica*, 25, 8/9, 443-446.
- Petkov, D., Al. Krumov, H. Nikolov, G. Georgiev. 2005a. Multichannel nadir spectrometer for thematically oriented remote sensing investigations. – *Proceedings of SES 2005*, 227-231.
- Petkov, D., G. Georgiev, H. Nikolov. 2005b. Thematically oriented multichannel spectrometer (TOMS). – *Aerospace Research in Bulgaria*, 20, 51-54.