

Анализ спектральных характеристик гранитов Болгарии

Д.С. Борисова¹, Б.С. Банушев², И.Ц. Илиев¹

¹Центральная лаборатория солнечно-земных воздействий
Болгарская академия наук

Болгария София 1113 ул. Акад.Г.Бончев, бл. 3
E-mail: dborisova@stil.bas.bg; ilko@stil.acad.bg

²Горно-геологический университет
Болгария, София, 1700, Студентски град
E-mail: banushev@mgu.bg

Граниты являются основным компонентом континентальной земной коры, формируя ту сушу, на которой мы живем и в пределах которой сосредоточено большинство доступных для разработки месторождений полезных ископаемых. Для изучения большого разнообразия гранитов способствует и дистанционное зондирование Земли, в частности полевые и лабораторные спектрометрические методы исследования. Исследованы два типа гранитоидов Болгарии разного геологического возраста. Для изучения спектральных характеристик проведено спектрометрирование гранитов в лабораторных условиях в диапазоне 0,5-1,1 мкм, для чего использована конструированная в ЦЛСЗВ-БАН аппаратура. Для анализа полученных данных использованы методы декомпозиции спектральных смесей, индексы-отношения яркостей спектральных каналов, регрессионный и кластерный статистический анализ.

Работа выполнена при поддержке проектов НСНИ-МОН №НЗ-1410/04, №ИНИ12/05 и №МУНЗ-1502/05.

Петрографическое описание исследованных гранитоидов

Объект настоящего исследования два типа гранитоидов Болгарии разного геологического возраста – палеозойский в Центральной Средногории, где находятся так называемые Южноболгарские гранитоиды и верхний мел в юговосточной (ЮВ) Болгарии. Средногорские гранитоиды вмещены в метаморфические горные породы докембрийского возраста, а гранитоиды ЮВ Болгарии рассекают докембрийские метаморфиты, палеозойские граниты и триасские породы.

Во время палеозойских магматических процессов в Средногории установлены два этапа. Первый этап отмечен маленькими ультраосновными и основными телами из пироксенита, габбра и габбродиорита. Второй этап охарактеризуется многократным внедрением гранитоидной магмы. Обособлены три интрузивные комплекса [1] и каждый из них представляется несколькими отдельными плутонами.

Первый интрузивный комплекс характеризуется более основным составом и обширной фазовой изменчивости формирующих плутонических горных пород: гранитов, гранодиоритов, кварцдиоритов и диоритов. Смиловенский, Поибренский и Хисарский плутоны относятся к этому комплексу. Их возраст (342 ± 27 млн. лет – ранний карбон) определен Rb/Sr методом [2].

Петрографический состав второго интрузивного комплекса однообразен и содержит в основном биотитовые и двуслюдяные граниты, немного гранодиориты и плагиограниты. К этому комплексу относятся Копривщенский, Мытенишкий и Пыстровский плутоны. Их возраст (320 ± 58 млн. лет – поздний карбон) определен Rb/Sr методом [3].

Третий интрузивный комплекс состоит из биотитовых и двуслюдяных гранитов. К этому комплексу относятся Стрелчанский, Каравеловский и Лесичовский плутоны. Их возраст (238 ± 37 млн. лет – поздний перм) определен Rb/Sr методом [3].

Исследованы группы образцов Средногорских гранитов из Смиловенского (обр. 4), Пыстровского (обр. 3, 8) и Стрелчанского (обр. 2) плутонов, а так-же гранитоиды ЮВ Болгарии из Гранитово-Чернозомского (обр. 9, 10) и Оманского (обр. 5) плутонов.

Палеозойские гранитоиды Средногория

Смиловенский плутон вмещен в докембрийские метаморфиты Арденской группы. Плутон составлен из гранитов, гранодиоритов и тоналитов, связанные между собой постепенными переходами. Характерная особенность крайних долей плутона это так называемый контаминированный фаций, полученный в процессе переработки ксенолитов [4], а так-же наличие богатых жил из аплитов и пегматитов. Исследованы граниты со светлой окраской, которые имеют массивную текстуру и гипидиоморфнозернистую структуру. Минеральный состав состоит из первичных породообразующих минералов: магматических плагиоклазов, калишпатов, кварца, биотита, амфибола, мусковита, и вторичных: серицита, хлорита, эпидота и цоизита. Акцессорные минералы представлены магнетитом, титанитом, апатитом и аланитом. Горные породы этого плутона характеризуются нормальной щелочностью.

Пыстровский плутон из второго интрузивного комплекса состоит из светлоокрашенных крупнозернистых и среднезернистых биотитовых и двуслюдяных гранитов. Аплиты и пегматиты редко встречаются [5]. Исследованные среднезернистые образцы гранитов имеют массивную текстуру и порфириовидную и равномернозернистую структуру. Минеральный состав включает кислые плагиоклазы, калишпаты, кварц, биотит, мусковит, титанит, апатит, циркон и вторичные серицит, эпидот и хлорит. Горные породы здесь нормально щелочные и субщелочные.

Стрелчанский плутон вмещен в Смиловенский плутон и содержит ксенолиты из него в эндоконтактных зонах [4]. Состоится в основном из биотитовых и двуслюдяных гранитов. В центральной части плутона находятся пегматовидные граниты, которые связаны с пегматитовыми полями. Исследованные образцы среднезернистые с массивной текстурой. Первичные минералы это магматические калишпаты, кислый плагиоклаз, биотит, мусковит, циркон, апатит, а вторичные – хлорит, эпидот и глинистые минералы. Горные породы третьего комплекса субщелочные.

Вернемеловые гранитоиды юго-восточной Болгарии

Гранитово-Черноземский плутон представляет пластиновидное магматическое тело длиной в 45 km и шириной в 7 km. Состоится из двух наставок: первая из габбровых пород и вторая – из амфиболого-биотитовых гранитов, которые в крайних долях плутона переходят к гранодиоритам и диоритам (контаминированный фаций) [6]. Исследованные граниты среднезернистые с массивной текстурой и гипидиоморфнозернистой структурой. Минеральный состав представлен калишпатами, кислым плагиоклазом, кварцом, биотитом, амфиболом, так-же вторичными хлоритом, эпидотом, серицитом и глинистыми минералами.

Оманский плутон размерами 20 X 5-6 km состоит из трех магматических наставок: первая (габбровая), вторая (гранодиоритовая) и третья (гранодиоритовые порфириты) [7]. Горные породы первой наставки раскрываются как ксенолиты в приконтактных участках. Большая часть плутона состоит из гранодиорита. Периферийные участки состоят из диоритов и тоналитов. Третья наставка встречается в маленьких телах и жилах. Образцы дребнезернистых порфириодных гранодиоритов из Оманского плутона содержат следующие первичные минералы: магматические плагиоклазы, калишпаты, кварц, амфибол, биотит, титанит, апатит, как и вторичные – хлорит, эпидот, цоизит и серицит.

Аппаратурный комплекс. Методы анализа спектральных характеристик гранитов

Для изучения спектральных отражательных характеристик образцов гранитов проведено их спектрометрирование в лабораторных условиях в диапазоне 500-1000 nm. Для этого использован сконструированный в ЦЛСЗВ-БАН спектрометр SPS-1 (рис. 1) [8-10]. Его основные технические параметры:

- полный спектральный диапазон - 360-1100 nm;
- спектральная разделительная способность - 0.24 nm, 0.384 nm, 5.4 nm;
- время сканирования одного спектра - 50 ms;
- динамичная память - 44 кВ.

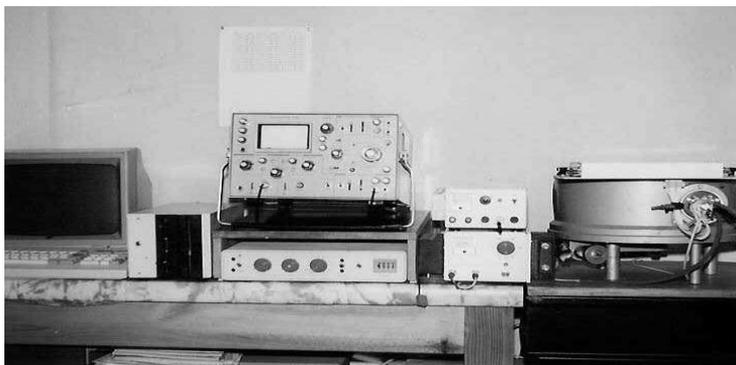


Рис. 1. Спектрометрическая система для дистанционных исследованиях SPS-1

Во время эксперимента соблюдалось постоянное освещение измеряемого объекта при помощи искусственного источника света – лампа мощностью 2000 W. Полученные данные соотношены к эталонному экрану, который покрыт бариевым сульфатом и имеющий коэффициент отражения 98-99%.

Для анализирования полученных данных использованы методы декомпозиции спектральных смесей по отношению содержание салических породообразующих минералов, индексы-отношения яркостей спектральных каналов, регрессионный и кластерный статистический анализ.

Для вычисления спектральных отражательных коэффициентов (СКО) используется формула (1) [11-13]:

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

Отражательные спектры исследованных образцов показаны на рисунке 2. В диапазоне измерения более высокие стоимости СКО зарегистрированы при более высоком содержании светлых (салических) породообразующих минералов, и наоборот, низкие стоимости СКО относятся к низкому содержанию тех-же минералов. Сделан анализ кривых (рис. 2) и для последующих статистических анализов выбраны две длины волны – 620 nm (*R*) и 760 nm (*NIR*).

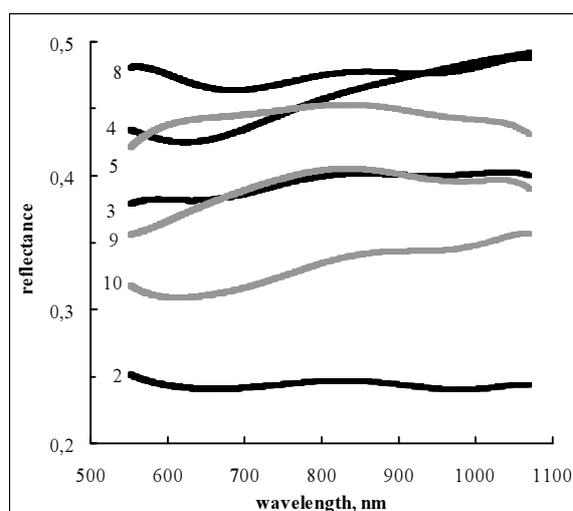


Рис. 2. Отражательные спектры гранитов

На рисунке 3 граниты расположены в координатной системе из двух длин волн – 620 nm и 760 nm, где формируется так называемая базисная линия горных пород. Аналогично [13, 14], базисная линия установлена при помощи линейной регрессии типа $y = ax + b$:

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

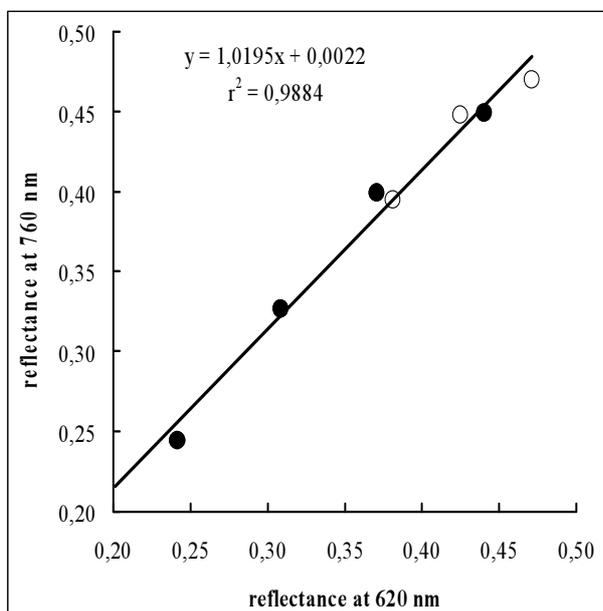


Рис. 3. Граниты в спектральной координатной системе двух длин волн 620 nm и 760 nm

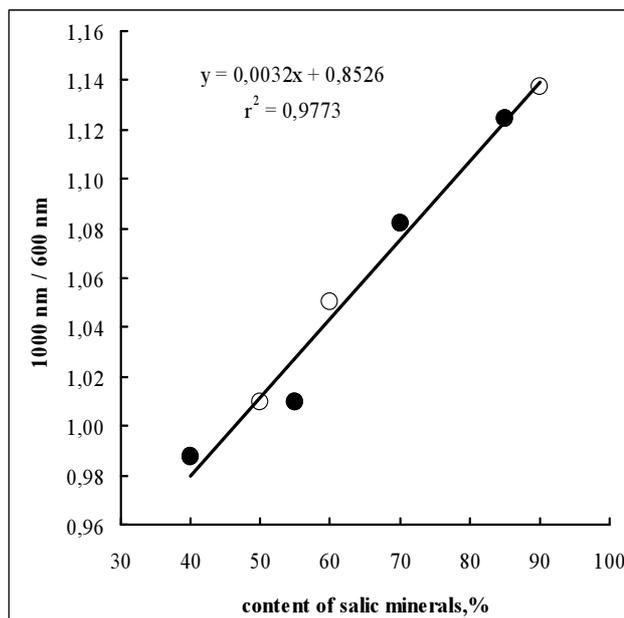


Рис. 4. Зависимость индекса-отношения 1000 nm / 600 nm от содержания салических породообразующих минералов в гранитах

Для кластерного анализа использован индекс-отношение 1000 nm / 600 nm в зависимости от содержания салических минералов (см. рис. 4). Кластерный анализ в этом случае не дал желанные результаты. Но регрессионный анализ показал очень высокий коэффициент корреляции между этими двумя параметрами ($r^2=0,98$). Уравнения, которые использованы для установления регрессионных зависимостей отдельных параметров, показаны на рисунках 3 и 4.

Выводы

Если мы стараемся различить граниты по районам их распространения (Средногорие или ЮВ Болгария), то при помощи только спектрометрирования в области 550-1100 nm желательных результатов не получим, так как эти гранитоиды очень близки по своему составу. Когда анализы наведены на зависимости полученных данных от содержания светлых или темных породообразующих минералов, то результаты гораздо лучше.

Авторы настоящей работы запланировали провести полевые эксперименты, используя полевую установку, тоже сконструированную в ЦЛСЗВ-БАН. На следующем этапе работы лабораторные и полевые данные будут применены как дополнительную информацию к дешифрированию спутниковых данных дистанционного зондирования.

Литература

1. Дабовски Х., И. Загорчев, М. Русева, Д. Чунев. Палеозойски гранитоиди в Същинска Средна гора. – Год. Управл. геол. проучв., 16, 1972, 57-92.
2. Мурбат С., И. Загорчев. Рубидиево-стронциевые данные о возрасте первого гранитоидного комплекса (Смиловенский и Хисарский плутоны) в Съштинской Средной горе. – Geologica Balc., 13, 3, 1983, 3-14.

3. *Загорчев И., С. Мурбат.* Датирание на гранитоидния магматизъм в Същинска Средна гора по рубидиево-стронциевия изохронен метод. – Сп. Бълг. геол. д-во, 47, 3, 1986, 62-68.
4. *Кацков Н., К. Илиев.* Обяснителна записка към геоложка карта на България в М 1:100000, к.л. Панагюрище, С., Геология и геофизика, 1993, 53 с.
5. *Русева М., Д. Ангелова, Ц. Цанков.* Обяснителна записка към геоложка карта на България в М 1:100000, к.л. Карлово, С., Геология и геофизика, ГИ БАН, 1994, 60 с.
6. *Вергилов В., К. Стойчева.* Петрология на Гранитовския плутон. – Изв. Геол. инст. Сер. Геохим., минер. и петрогр., 17, 1968, 241-267.
7. *Дабовски Х. С. Савов.* Строеж на Оманския плутон, Северна Странджа. – Сп. Бълг. геол. д-во, 46, 1985, 163-173.
8. *Илиев И.* Многоканални спектрометрични дистанционни изследвания на Слънцето и земната атмосфера, Дисертация за получаване на научната и образователна степен “Доктор”, 2000, 150 с.
9. *Илиев И.* Спектрометрична система за слънчеви и атмосферни изследвания. Е+Е, 3-4, 2000, 43-47.
10. *Mishev D., I.Iliev, V.Tsanev.* Preliminary Results from Spectral Radiometric Investigations of the Atmospheric Total Water Vapour Content. Compt. Rend. Acad. Bulg. Sci., Т.49, No3, 1996, 41-43.
11. *Mishev D.* Spectral Characteristics of Natural Objects // Sofia, Publ. House Bulg. Acad. of Sci., 1986, 150.
12. *Kancheva R.* State Assessment of the Soil-Vegetation System using Spectrometric Data. PhD thesis, 1999, 142 p. (in Bulgarian).
13. *Borisova D., R. Kancheva.* Spectral Mixture Analysis of Land Covers. Proceedings of 25th EARSeL Symposium, Millpress, Rotterdam, 2006, 509-516.
14. *Elvidge C., R. Lyon.* Influence of Rock-Soil Spectral Variation on the Assessment of Green Biomass. Remote Sensing Environ., vol.17, 1985, 265-279.