

ИЗПОЛЗВАНЕ НА ДИСТАНЦИОННИ МЕТОДИ ЗА КЛАСИФИКАЦИЯ НА ЗЕМНОТО ПОКРИТИЕ В РАЙОНА НА ТЕЦ БОБОВ ДОЛ

**Калин Русков¹, Александър Здравков¹, Ивона Никова², Бисер Христов², Димитър Петров¹,
Димитър Бакърджиев¹**

¹Минно-геоложки университет "Св. Иван Рилски", 1700 София; rouskov@mgu.bg

²Институт по почвознание, агротехнологии и защита на растенията "Никола Пушкарров"

Резюме. В статията са разгледани дистанционните изследвания направени по сателитни изображения в района на топлоелектрическата централа Бобов дол. Изследвани са спектралните отражателни характеристики на различни скали и минерали, като са използвани мултиспектрални сателитни изображения. За класификацията на земната повърхност е използвана една сателитна сцена, получена от инструмента ASTER (Високотехнологичен Космически Термиемисионен и Отразяващ Радиометър), който представлява сензорна система с уникална комбинация от широк спектър на покритие и средно висока пространствена резолюция. ASTER апаратурата има три спектрални канали във видимия близо инфрачервен регион (VNIR), шест канала в късовълновия инфрачервен регион (SWIR) и пет канала в термалния инфрачервен регион (TIR). За характеризирание особеностите на релефа е използван цифров модел на релефа (ЦМР), създаден при мисията на космическата совалка през февруари 2000 г., известен като SRTM (радарна топографска совалкова мисия). Картирано е пространственото разпространение на железни окиси, глинести минерали, както и на минерали свързани с процесите на хидротермална промяна.

APPLICATION OF REMOTE SENSING TECHNIQUES FOR THE STUDY OF GROUND SURFACE IN THE AREA OF THE THERMAL POWER PLANT BOBOV DOL

Kalin Ruskov¹, Alexander Zdravkov¹, Ivona Nikova², Biser Hristov², Dimitar Petrov¹, Dimitar Bakardjiev¹

¹University of Mining and Geology "St. Ivan Rilski", 1700 Sofia; rouskov@mgu.bg

²Institute of Soil Science, Agrotechnology and Plant Protection "Nikola Poushkarov"

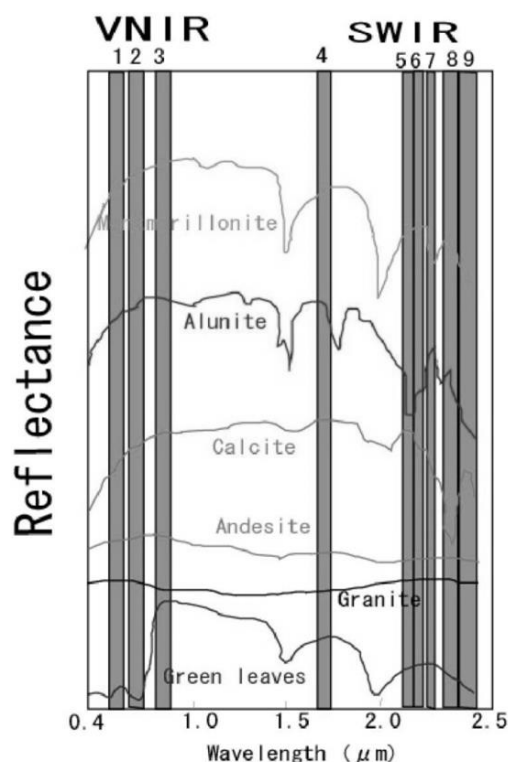
Abstract. The article dealt with remote sensing satellite images made in the area of the thermal power plant Bobov Dol. The spectral reflectance characteristics of different rocks and minerals were studied using multispectral satellite images. For the classification of ground surface is used a satellite scene, obtained from ASTER (The Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflectance Radiometer) instrument which is sensor systems with a unique combination of wide spectral coverage and high spatial resolution. The ASTER instrument has three spectral bands in the visible and near-infrared (VNIR), six bands in the short-wave-infrared (SWIR), and five bands in the thermal infrared (TIR) regions respectively. To characterize the landscape features was used Digital Elevation Model (DEM) created with the mission of space shuttle in February 2000 and known as the SRTM (Shuttle Radar Topography Mission). There have been maps of the spatial distribution of iron oxides, clay minerals and minerals related to hydrothermal processes of change.

Увод

Широко известен факт е, че топлоелектрическите централи на твърди горива са един от причинителите на замърсяване с тежки метали във водите и почвите. Настоящата работа си поставя като цел анализ на земното покритие по сателитни изображения в района на топлоелектрическата централа Бобов дол. През последните няколко години дистанционните изследвания и използването на сателитни изображения със средна и висока разделителна способност намират все по-широко приложение в областта на науките за земята. Анализът на мултиспектрални сателитни снимки, в частност тези от инструмента ASTER, има потенциала да осигури детайлна информация за минералогията, химията и морфологията на земната повърхност. Тази информация може да бъде използвана при идентификацията и картирането на

минералния състав на земната повърхност, като се използват добре известни спектроскопски принципи. Направените изследвания се базират на факта, че спектралните отражателни характеристики на различните скали и минерали се различават (фиг. 1). Съчетаването на спектралните им особености със спектралните обхвати на ASTER (Високотехнологичен Космически Термиемисионен и Отразяващ Радиометър) е един от начините за отличаването на минералите или скалите в определен район съобразно абсорбционните им и отражателни свойства. За осъществяване на поставената цел са съставени прости отношения между отделните канали на мултиспектралните изображения ASTER и е направен статистически анализ за разпределението на отделените минерали и скали.

Спектралната идентификация на различни минерали и скали е едно от най-разпространените приложения на дистанционните изследвания. През последните няколко години използването на ASTER данните се увеличи многократно поради тяхната сравнително ниска цена, широко покритие и уникална чувствителност по отношение на минералите свързани с хидротермални промени. Псевдо оцветените (false-color) композитни изображения и отношенията между каналите (band-ratio images) на ASTER са много полезни за геолошко картиране, особено за разпознаването на видовете скали и хидротермални изменения (Crowley et al., 1989; Yamaguchi et al., 1998; 2001; 2003; Crosta et al., 2003). Особено важни в областта на геологията са каналите на ASTER в късовълновия (SWIR) и термалния (TIR) инфрачервени диапазони, в които могат да бъдат картирани широк ранг от минерали. В SWIR диапазона (фиг. 1) има възможност да бъдат отделени минералите: алунит, пиропилит, каолинит, илит-мусковит-серицит, MgOH-карбонатни минерали, докато в TIR региона могат да се отделят кварц, фелдшпат, карбонати, амфибол и глини. Разграничаването на тези минерали налага да бъдат изпълнени процеси за премахване на атмосферните и температурните ефекти от данните (Hewson et al., 2003).

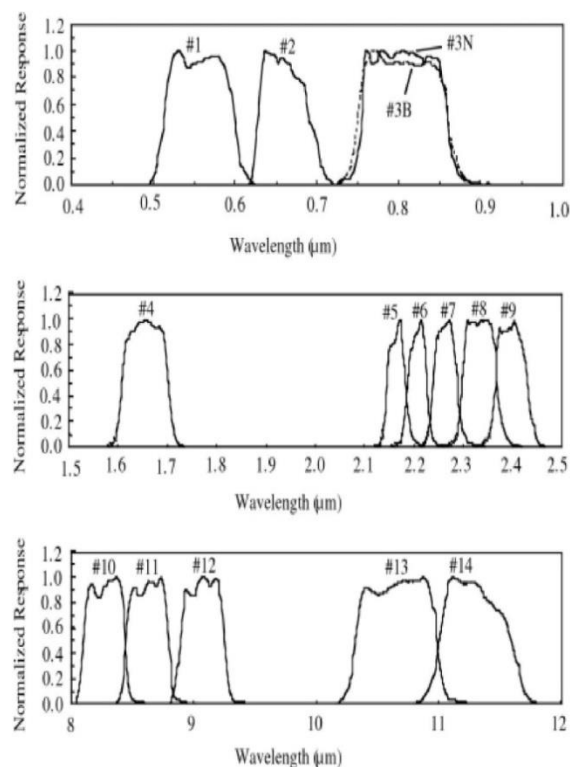


Фиг. 1. Спектрален обхват на ASTER каналите (ASTER, 2003) в инфрачервения регион (1 до 3), късовълновия инфрачервен регион (4 до 9) и спектрални криви на някои минерали, скали и растителността

Данни и методи

За класификацията на земната повърхност е използвана една сателитна сцена, получена от инструмента ASTER. Последният е изследователски уред, изстрелян от НАСА със сателита Тера през декември 1999 г. и представлява сензорна система с уникална комбинация от широк спектър на покритие и средно висока простран-

ствена резолюция. ASTER апаратурата има три спектрални канали във видимия близо инфрачервен регион (VNIR) с разделителна способност 15 m, шест канала в късовълновия инфрачервен регион (SWIR) с разделителна способност 30 m и пет канала в термалния инфрачервен регион (TIR) имащи 90 m разделителна способност (фиг. 2).

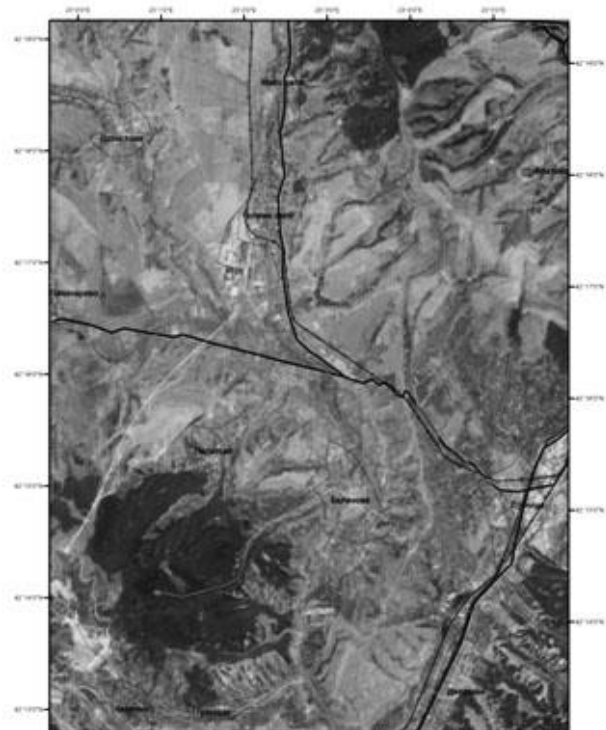


Фиг. 2. Спектрален обхват на ASTER каналите (ASTER, 2003) в инфрачервения регион (1 до 3), късовълновия инфрачервен регион (4 до 9) и термалния инфрачервен регион (10 до 14)

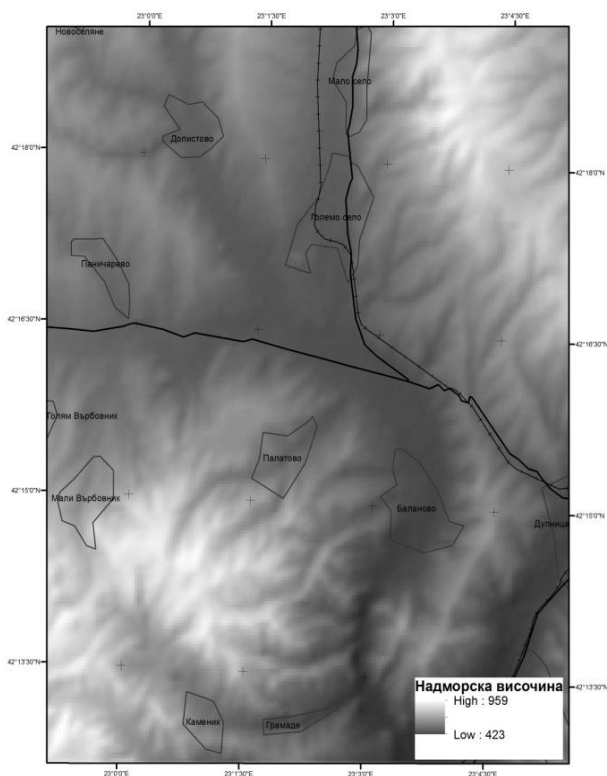
Използвана е ASTER Level 1B сцена, характеризираща се с това, че има приложени радиометрични и геометрични корекции (фиг. 3). Изображението е геореферирено в проекция UTM Северна зона 35, WGS-1984. Преди да се пристъпи към крайната класификация на земното покритие, от изображението са изключени всички области които не представляват интерес.

За характеризиране особеностите на релефа е използван цифров модел на релефа (ЦМР). При него надморската височина се представя визуално като яркост, чиято пропорция съответства на измерените височини (фиг. 4). Този вид цифрови карти покриват цялата разглеждана площ, вместо да я разделят на ивици, отговарящи на разстоянието между изолиниите както е при традиционните топографски карти. Цялата информация за топографията на терена е визуализирана, в зависимост от пространствената разделителна способност на модела, в което се състои и тяхната полезност. Често геоложките обекти се маркират чрез топографията, поради различната си ерозионна устойчивост и линии на отслабване в интензивно деформирани зони. Направените изследвания имаха за цел да се оцени съвременната форма на релефа, както и генерирането на водосборните райони.

Използван е цифровия модел на релефа създаден при мисията на космическата совалка през февруари 2000 г., известен като SRTM (радарна топографска совалкова мисия), имащ разделителна способност 90 m. Цифровият модел на релефа е използван и при съставянето на картите в "полусенки" (hillshade map), както и при 3D визуализациите на терена.



Фиг. 3. ASTER изображение за района на топлоелектрическата централа Бобов дол



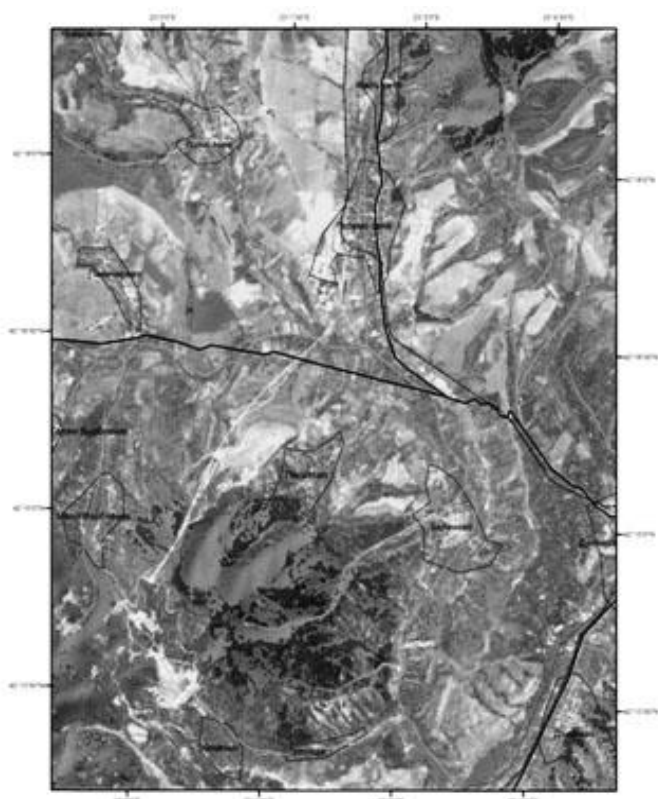
Фиг. 4. Цифров модел на релефа в района на топлоелектрическата централа Бобов дол

Предварителна подготовка на изображенията

Процесът на обработката на мултиспектралните изображения за получаване на търсената информация за земната повърхност, изисква извършването на последователност от процеси различаващи се значително от "стандартните" техники за обработка на изображения. Преди да пристъпи към комбинирането на каналите на ASTERизображението е необходимо да изключат растителността, облаците и водните площи, тъй като те влияят на получените резултати.

Наличието на високостеблена растителност има "маскиращ" ефект върху земната повърхност и следователно има потенциала да скрие повърхността или по-често да допринесе към отражението получавано от сензора на сателита. Поради тази причина преди да бъде направена обработка за картиране на минералните групи изображенията от ASTER трябва да бъдат "маскирани" за растителността (фиг. 5).

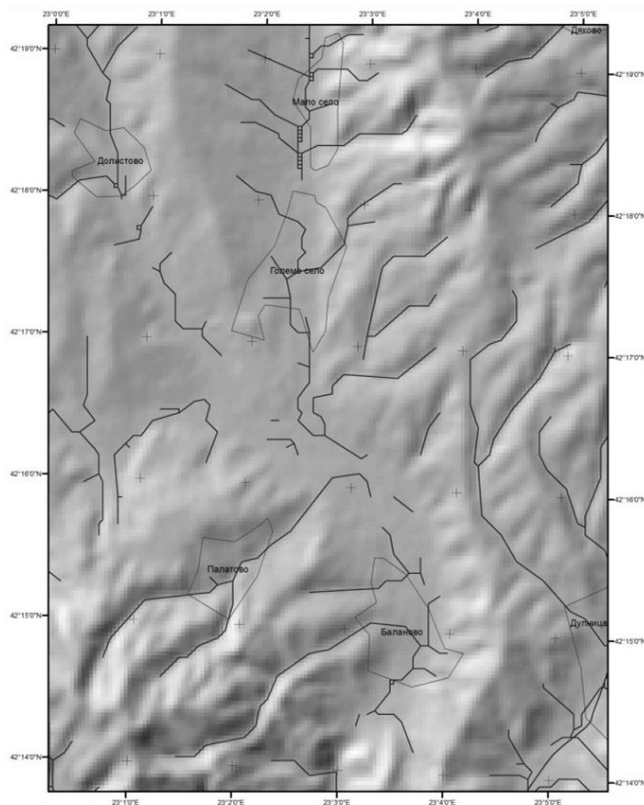
Процесът на маскиране на растителността е подобен на този за маскиране на облаците и техните сенки. Като основа за маската на растителността е използван NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) индекса. Допълнително са изключени и водните участъци, които са отделени с помощта на прагови техники. След прилагането на всички използвани маски от ASTERизображението са изключени над 31% от площта която покрива.



Фиг. 5. Маска на растителността в района на топлоелектрическата централа Бобов дол

От цифровия модел на релефа са получени карти в "полусенки", на които ясно се подчертават особеностите на релефа (фиг. 6). При този тип карти се създава усещане за

осветеност на обекта от някакъв виртуален източник на светлина и впечатление за обемност на изображението. На приложената карта за източника на светлина са зададени азимут 315° (СИ) и наклон 45° . Допълнителен резултат от обработката на цифровия модел на релефа представлява модела на речната мрежа в района на топлоелектрическата централа Бобов дол (фиг. 6). Получените данни за речната мрежа допълват съществуващата информация за района и дават възможност за по-достоверна интерпретация при класификацията на земното покритие.



Фиг. 6 Модел на речната мрежа в района на топлоелектрическата централа Бобов дол

Обработка на изображенията и интерпретация

При работата със сателитните изображения и ЦМР е използван специализиран софтуер за дистанционни изследвания, а получените резултати и карти са интерпретирани в среда на географска информационна система. Създадена е пространствена база от данни, включваща резултатите от проведените дистанционни изследвания, която може да бъде използвана и допълнена при следващи работи в района.

Съставянето на отношения между каналите е използвано за засилване на спектралните различия на минералите в тях (Crowley et al., 1989), тъй като различните повърхности имат специфични отражателни и сорбционни особености при всички дължини на вълните.

Също така повърхностите имат абсорбционни характеристики при определени дължини на вълните. Тази абсорбционна особеност може да се използва при отношенията между каналите. Съставянето на прости отношения между каналите се състои в математичната операция по делението на растерните стойности от един канал на стойностите от друг (напр.: канал 3/канал 1). Ако даден обект има приблизително еднакво отражение в два канала, то получената при делението им стойност ще бъде близка до 1. Така пресмятането на отношения между каналите спомага да се открият тези обекти които имат най-различни отражения в двата канала. На получените изображения, отразяващи отношенията между съответните канали на ASTER, са пресметнати статистическите стойности описващи резултатите от делението на растерните стойности. Като гранична стойност е задавана средно аритметичната стойност + стандартното отклонение.

За целите на настоящата работа е картирано пространственото разпространение на различни групи от минерали и скали включващи: желязни оксиди; желязни силикати; карбонатни минерали; минералите епидот, хлорит, амфибол; минерали характерни за процесите на хидротермална промяна на скалите (алунит, каолинит, пирофилит); глинести минерали; окварчени скали.

Данните за използваните отношения между каналите на ASTER и източника за тяхното ползване са дадени в таблица 1, а в таблица 2 са дадени резултатите от класификацията. От изследваните класове най-голямо е разпространението на желязо съдържащите минерали.

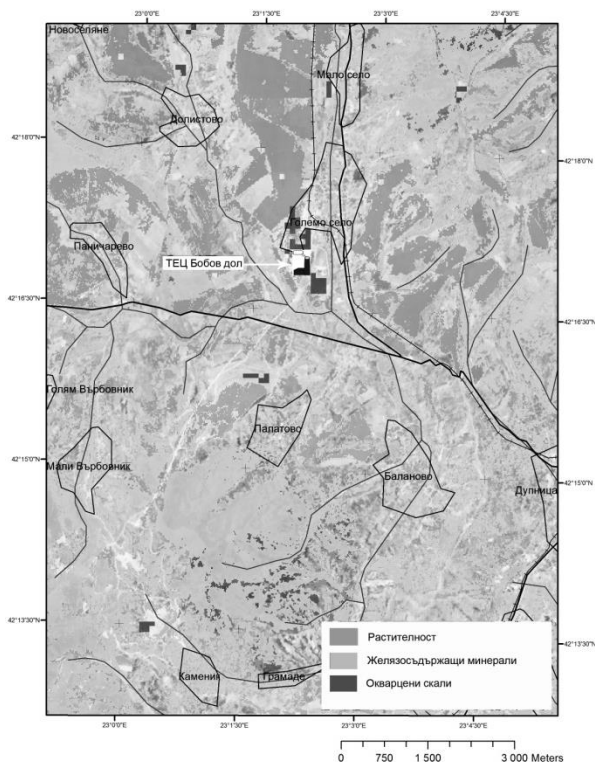
Таблица 1. Използвани отношения между каналите на ASTER за класификация на земното покритие в района на ТЕЦ Бобов Дол

Особеност	Спектрален канал или отношение	Източник
Ферижелязо, Fe^{3+}	2/1	Rowan, Mars, 2003;
Ферожелязо, Fe^{2+}	$b5/b3+b1/b2$	Hewson et al., 2001; 2004a
Ферисиликати (биотит, хлорит, амфибол)	$b5/b4$	Hewson et al., 2001; 2004a
Ферооксиди	$b4/b3$	
Епидот, хлорит, амфибол	$(b6+b9)/(b7+b8)$	
Карбонатни минерали (калцит+доломит)	$b13/b14$	Bierwith, 2002; Ninomiya, 2002; Hewson et al., 2001; 2004a
Алунит, каолинит, пирофилит	$(b4+b6)/b5$	Rowan, Mars, 2003
Глинести минерали	$(b5xb7)/b6^2$	Bierwith, 2002
Окварчени скали	$b14/b12$	Rowan, Mars, 2003

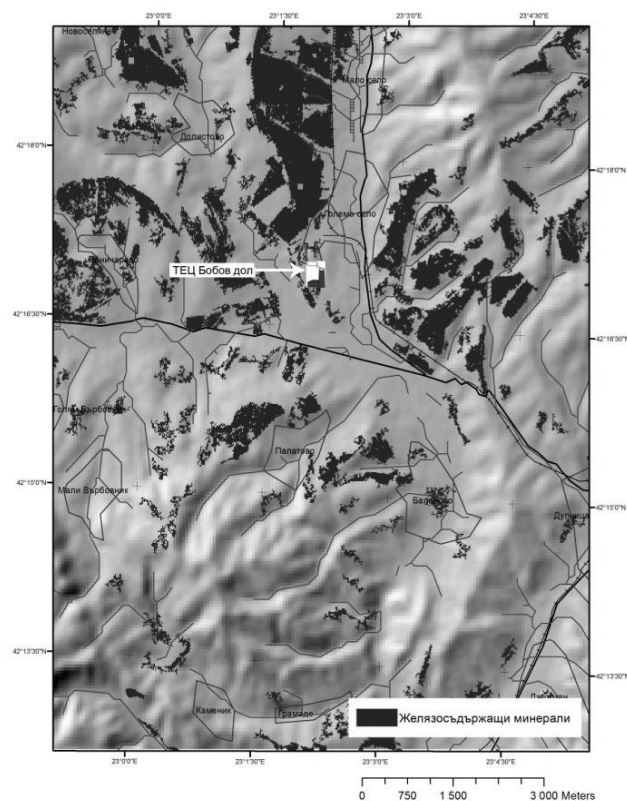
Таблица 2. Резултати от класификацията на земното покритие в изследваната ASTER сцена

Име на клас	Брой пиксели	Процентно съдържание
Некласифицирани	17254914	59.025
Феро силикати (биотит, хлорит, амфибол)	252762	0.821
Алунит, каолинит, пиропилит	465545	1.512
Карбонатни минерали (калцит+доломит)	2658	0.009
Глинести минерали	348093	1.130
Епидот, хлорит, амфибол	0	0
Фери оксиди	484278	1.572
Фери желязо, Fe^{3+}	603067	1.958
Феро желязо, Fe^{2+}	1408913	4.575
Окварцени скали	376475	1.272
Растителност	9566414	31.061

Резултатите от направените отношения между каналите са наложени в среда на географска информационна система върху изображението в реални цветове за района на топлоелектрическата централа Бобов дол (фиг. 7) и върху цифровия модел на релефа (фиг. 8). В разглеждания район от изображението, около ТЕЦ Бобов дол, най-голяма площ заема участъците с потенциално наличие на двувалентно желязо, включително и обработваеми площи (фиг. 8). Освен него се отделят зони с наличие на феро силикати, фери оксиди, фери желязо, глинести минерали, минерали свързани с процесите на хидротермална промяна на окварцените скали. Зони с потенциално наличие на кварц съдържащи скали се установяват непосредствено до ТЕЦ Бобов дол, както и до хвостохранилището му (фиг. 7).



Фиг. 7. Класификация на земното покритие наложена върху ASTERизображението за района на топлоелектрическата централа Бобов дол



Фиг. 8. Потенциално наличие на желязосъдържащи минерали наложено върху цифровия модел на релефа за района на топлоелектрическата централа Бобов дол

Заклучение

Съставянето на прости отношения между каналите на ASTER може да бъде много полезно за разграничаването на различни скали и химически елементи, както и за предварителното разграничаване на потенциално замърсени почви и наличие на тежки метали. Резултатите от настоящето изследване дават възможност да бъде описано пространственото разпространение на железни окиси и глинести минерали в изследваната площ. Общо са класифицирани 8 различни класа минерали и скали, като е определено тяхното процентно съдържание в изследваното изображение. Получените резултати представляват пространствена база данни, която може да бъде допълвана в бъдеще с допълнителна информация от полеви и лабораторни изследвания.

Благодарности. Авторите изказват благодарност на МОН, Фонд "Научни изследвания" за оказаната финансова подкрепа и възможността за провеждане на изследванията (договор ДМУ 03/34), както и към Land Processes Distributed Active Archive Center (LP DAAC) при американската геоложка служба за безплатно предоставените ASTER изображения.

Литература

- ASTER Reference Guide Version 1.0.2003. Earth Remote Sensing Data Analysis Center.
- Bierwith, P. 2002. Evaluation of ASTER satellite data for geological applications. – *Consultancy Report to Geoscience, Australia* (unpublished).

- Crosta, A., C. De Souza Filho, F. Azevedo, C. Brodie. 2003. Targeting key alteration minerals in epithermal deposits in Patagonia, Argentina, using ASTER imagery and principal component analysis. – *Int. J. Remote Sensing*, 24, 21, 4233-4240.
- Crowley, J. K., D. W. Brickey, L. C. Rowan. 1989. Airborne imaging spectrometer data of the Ruby Mountains, Montana: mineral discrimination using relative absorption band-depth images. – *Remote Sensing of Environment*, 29, 121-134.
- Hewson, R. D., T. J. Cudahy, A. C. Burt, K. Okada, A. J. Mauger. 2004. Assessment of ASTER imagery for geological mapping within the Broken Hill and Olary Domains. – *12th Australasian Remote Sensing and Photogrammetric Conference Proceedings, Perth, W.A., 2004*.
- Hewson, R. D., T. J. Cudahy, J. F. Huntington. 2001. Geologic and alteration mapping at Mt Fitton, South Australia, using ASTER satellite-borne data. – *Proceedings of the IEEE 2001 International Geoscience and Remote Sensing Symposium, Sydney, N.S.W., 2001*.
- Ninomiya, Y. 2002. Mapping quartz, carbonate minerals, and mafic-ultramafic rocks using remotely sensed multispectral thermal infrared ASTER data. – In: *Thermosense XXIV* (Eds. X. P. Maldague, A. E. Rozlosnik). *Proceedings of SPIE. The International Society for Optical Engineering*, 4710, 191-202.
- Rowan, L. C., J. C. Mars. 2003. Lithologic mapping in the Mountain Pass, California area using Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer (ASTER) data. – *Remote Sensing of Environment*, 84, 350-366.
- Ruskov, K., K. Popov, S. Stoykov, Y. Yamaguchi. 2005. Some application of the remote sensing in geology by using ASTER images. BAS, SEE'2005, Varna, I, 247 p.
- Yamaguchi, Y., C. Naito. 2003. Spectral indices for lithologic discrimination and mapping by using the ASTER SWIR bands. – *Int. J. Remote Sensing*, 24, 4311-4323.
- Yamaguchi, Y., A. B. Kahle, H. Tsu, T. Kawakami, M. Pniel. 1998. Overview of Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer (ASTER). – *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 36, 1062-1071.
- Yamaguchi, Y., Fujisada, H., Tsu, H., Sato, I., Watanabe, H., Kato, M., Kudoh, M., Kahle, A. B., Pniel, M. 2001. ASTER early image evaluation. – *Adv. Space Res.*, 28, 1, 69-76.
- Yamaguchi, Y., L. Takeda. 2003. Mineralogical mapping by ASTER in Cuprite, Nevada, U.S.A. – *Asian J. Geoinformatics*, 3, 3, 17-24.