

ПРИЛОЖЕНИЕ НА АТМОСФЕРНИ КОРЕКЦИИ НА САТЕЛИТНИ ИЗОБРАЖЕНИЯ С МНОГО ВИСОКА РАЗДЕЛИТЕЛНА СПОСОБНОСТ В ПЛАНИНСКИ ТЕРИТОРИИ

Златомир Димитров¹, Александър Гиков²

¹Център за приложение на спътникови изображения – РЕСАК
e-mail: zlatomir.dimitrov@resac-bg.org;

²Институт за космически изследвания и технологии – Българска академия на науките
e-mail: gikov@space.bas.bg;

Ключови думи: Атмосферни корекции, АТКОР2, АТКОР3, Рила планина Родопи планина, изображения с много висока пространствена разделителна способност (МВПРС), Ikonos, Quickbird

Резюме: В доклада са представени резултатите от приложението на атмосферни корекции върху изображения с много висока разделителна способност от Ikonos и QuickBird, заснети в райони с различна надморска височина и сложност на релефа. За изпълнението на поставените задачи са използвани два метода – АТКОР2, при който се налагат корекции на двумерна повърхност и АТКОР3, при който се прилагат топографски корекции с използване на релефа. Дискутирани са различията при използване на цифров модел на релефа с различна детайлност. Извършен е качествен и количествен анализ на получените резултати за подобряване качеството на изображенията.

APPLICATION OF ATMOSPHERIC CORRECTIOS OF VHR-SATELLITE IMAGERY, IN MOUNTAINOUS AREAS

Zlatomir Dimitrov¹, Alexander Gikov²

¹Remote Sensing Application Center
e-mail: zlatomir.dimitrov@resac-bg.org;

²Space Research and Technology Institute – Bulgarian Academy of Sciences
e-mail: gikov@space.bas.bg;

Keywords: Atmospheric corrections, ATCOR2, ATCOR3, Rila mountain, Rhodope mountain, Very high resolution (VHR) imagery, Ikonos, Quickbird

Abstract: This paper presents the results of a study of application atmospheric corrections on a Very high resolution (VHR) satellite imagery from Ikonos and QuickBird over very rough terrain with various heights. For the study two methods are used, namely ATCOR2 and ATCOR3, where Digital elevation model (DEM) is used for topographic corrections. Differences in spatial resolution of DEMs within topographic correction are discussed. Qualitative and quantitative analysis have been performed of derived results, in order to improve the quality of satellite imagery to use in remote sensing applications.

Въведение

Атмосферните корекции са процес на премахване влиянието на атмосферата върху изображенията заснети от въздуха, или Космоса [1, 2]. Обикновено те се прилагат на сателитни изображения с ниска или средна пространствена разделителна способност (ПРС), като етап от подготовката им преди извличането на различни спектрални индекси [3]. По-рядко такива корекции се правят на сателитните изображения с висока и много висока ПРС [4]. У нас приложението на атмосферни корекции, особено свързани с извършването на топографски корекции, върху такива изображения все още не е практика.

Въпреки, че текстурната информация от изображения с много висока ПРС може да се извлече и без радиометрични корекции, един физически ориентиран подход, какъвто е

атмосферната корекция, предлага предимствата в задачи, търсеши сравнение между изображения от различни сензори [5] или при анализ на количествени характеристики. Следователно, Пълният потенциал на регистриращите спектрометри, може да се разкрие единствено с помощта на този подход [6].

Целта на доклада е да се представят резултатите от приложението на атмосферни корекции на сателитни изображения с много висока ПРС от Ikonos и Quickbird, за планински територии с различна сложност на релефа и различна надморска височина, в райони от Рила и Източните Родопи. За целта се прилагат два метода за атмосферни корекции – ATCOR2 и ATCOR3, при които се налагат топографски корекции на терена. Изчисляват се продукти с добавена стойност (VAP) и се сравняват двата метода и изходните продукти, като се дава оценка за значението им, за подобряване на качеството на изображенията.

Поставени се следните задачи:

1. Да се приложат двата метода за атмосферни корекции – ATCOR2 и ATCOR3, като се направи сравнителен анализ между използването на двата метода за подобряване качеството на изображенията;
2. Да се направи качествен анализ при прилагане на атмосферни корекции върху VHR – изображения в планински територии с различни надморски височини и различна сложност на релефа;
3. Да се направи сравнителен анализ при използването на Цифров модел на релефа (DEM) с висока и ниска пространствена разделителна способност при ATCOR3, за подобряване качеството на изображенията;
4. Да се получат количествени характеристики, като следствие от атмосферната корекция – Индекс на листната маса (LAI), SAVI, FPAR, Повърхностно отражение (Surface Albedo) за всички изображения.

Същност на атмосферната корекция

Алгоритъмът за атмосферни корекции е разработен от д-р Рудолф Рихтер (Германска Космическа Агенция - DLR) през 1990 г. и е предлаган в комерсиални софтуерни пакети като ERDAS IMAGINE, PCI GEOMATICA, или като отделен продукт към IDL [7]. За спътникови изображения съществуват два основни варианта – ATCOR2, което позволява дву-измерна корекция и ATCOR3 – позволяващ топографски корекции с използването на Цифров модел на релефа-DEM.

В същността на атмосферните корекции лежи елиминиране ефектите, причинени от разсейване и поглъщане на електромагнитния поток от слоя атмосферни газове и аерозоли. Разсейването е във всички посоки, като зависи най-силно от количеството водна пара, налягането и температурата на въздуха и аерозолния състав на атмосферата. В процеса на атмосферната корекция се изчислява стойността на електромагнитния поток (*radiances*) над

условната граница на атмосферата, представен като физическа величина във $\left[\frac{W}{m^2 sr \mu m} \right]$.

Изчисленията в представеното изследване са направени за дължина на вълната от - 0.4 до 2.5 μm , отнесени към видимите спектрални канали, които са интерес за изследването. Като краен резултат пикселите от спътниковите изображения се представят в стойности на отражение в [%] – алbedo (*reflectances*). *Радиационният пренос* през атмосферата определя специфичната относителна пропускливост в съответната дължина на вълната. Това обуславя земната атмосфера да оказва голямо влияние при преминаването на електромагнитния поток през нея, до регистрирането му от заснемащия сензор в околземна орбита. А при наличие на различен тип земно покритие, отразеният електромагнитен поток носи информация за физико-морфологичните характеристики на обектите, посредством получените специфични спектрални криви. *Входните параметри при атмосферната корекция* се отделят в три категории: *метеорологични, радиометрични и геометрични параметри*. В последствие се задават следните характеристики: вида на аерозолите; видимостта; влажността; калибрационните коефициенти на сензора; зрителния ъгъл и азимута на инструмента, спрямо земната повърхност; зенитното отстояние и азимута на Слънцето. Като допълнителни параметри при топографската корекция се задават: *Цифров модел на релефа – DEM; Топографски сенки – SHADOW; Изглед – ASPECT; Наклон – SLOPE*, както и други, които се задават при използването на модула ATCOR3 [8].

Видовете атмосферна корекция са два – двумерна, когато не е нужно налагане на топографски корекции над изследваната територия и тримерна, която е приложима за пресечен терен и местности със сложен релеф. При нея се използват данните за релефа с цел да се наложат топографски корекции. Модулът ATCOR2 пресмята отразеното/излъченото количество електромагнитен поток, като премахва следните допълнителни компоненти: *отразен е.м. поток от околни обекти в непосредствена близост, обратно разсеян е.м. поток в стълба въздух към сензора* [9]. Модулът ATCOR3 пресмята същите тези потоци, както и *допълнителен поток отражение от съседни обекти в съседство, с радиус до 2 km* [10].

Потоците от даден пиксел и в двата случая, се представя като линейна функция на калибрационните коефициенти и числовите стойности, както следва:

$$L = C_0 + C_1 \cdot DN, \left[\frac{W}{m^2 sr \mu m} \right].$$

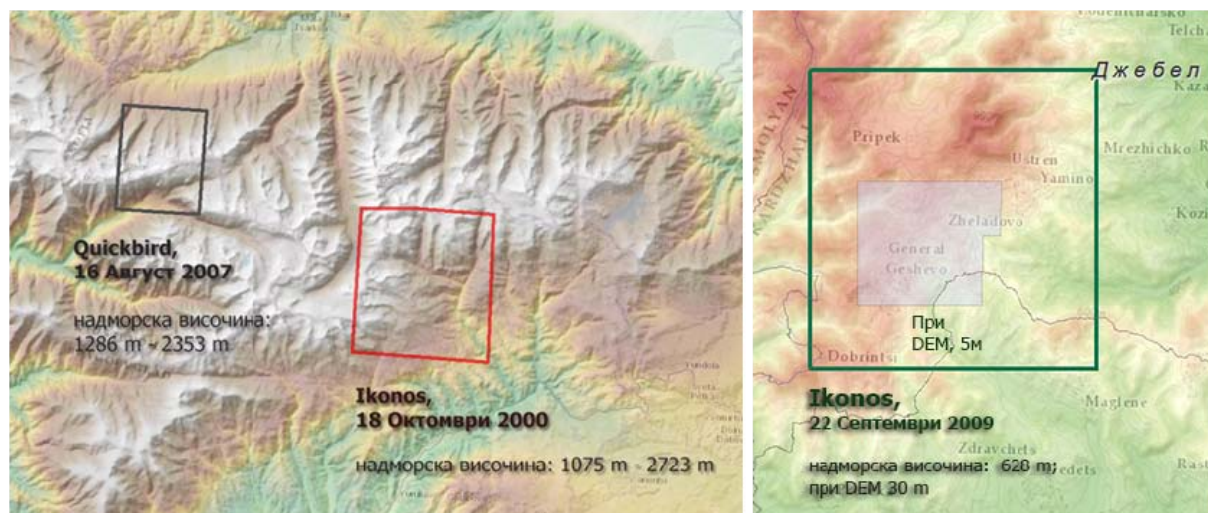
За районите със сложен релеф, където отражението има анизотропен характер, в ATCOR3 може допълнително да се изчисли ефектът на *Bi-directional Reflectance Distribution Function* (BRDF). Тази функция дава взаимовръзката между геометрията на заснемане и геометрията на огряване от Слънцето [11].

Описание на изследването

Първият район на изследване се покрива с изображението от *QuickBird*, заснето през лятото на 2007 г. (16-08-2007 09:42 UTC) и се намира в Малъвишкия дял на Северозападна Рила (фиг.1). Релефът е високопланински, силно разчленен и е с най-голямата надморска височина (Reference height: 2097 m, min height: 1286 m, max height: 2724 m).

Вторият район е разположен в Източна Рила и обхваща горната част от басейна на р. Бяла Места (фиг.1). Заснет е през есента на 2000 г. (18-10-2000 09:14 UTC) със сензора *Ikonos*. Като част от Рила планина, районът също има голяма надморска височина (Reference height: 1803 m, min height: 1075 m, max height: 2703 m).

Третият район на изследване се намира в Източните Родопи между селата Припек, Устрен, Генерал Гешово и Жельдово (фиг.1). Заснет е през септември 2009 г. със сензора *Ikonos* (22-09-2009 09:23 UTC). Релефът е среднопланински (Reference height: 628 m, min height: 380 m, max height: 1007 m), по-слабо разчленен. Характерна особеност е, че тук се намира обширно свлачище с главна активизация през 2000 г. [12].

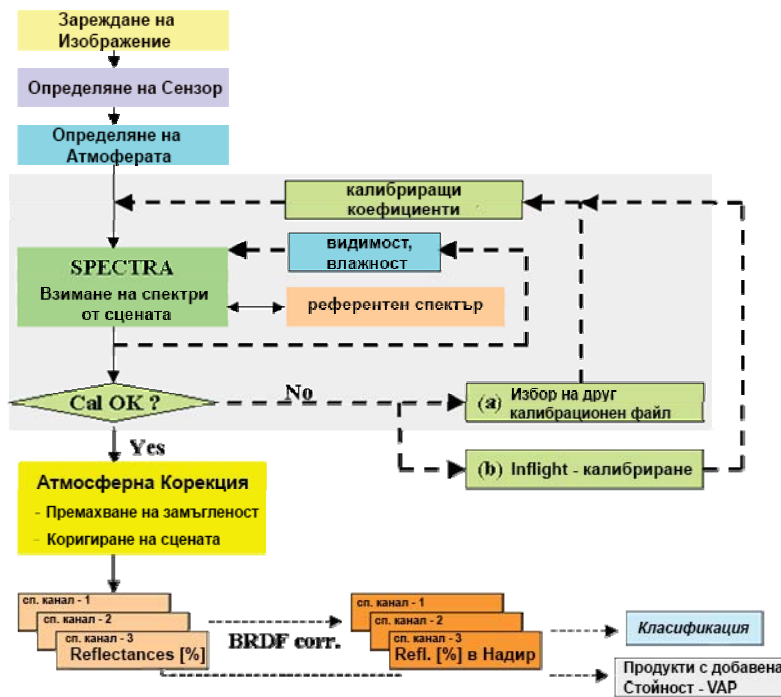


Фиг. 1. Местоположения на районите на изследване

Подготовката на входните данни е разделена в няколко стъпки: извличане на параметрите за атмосферна корекция от метаданните и от метеорологичните такива; подготовка на цифровия модел на релефа за Рила и Родопи; орторектификация на изображенията. Допълнително са изчислени други характеристики, като - *Aspect, Slope, Skyview* и *Shadow*.

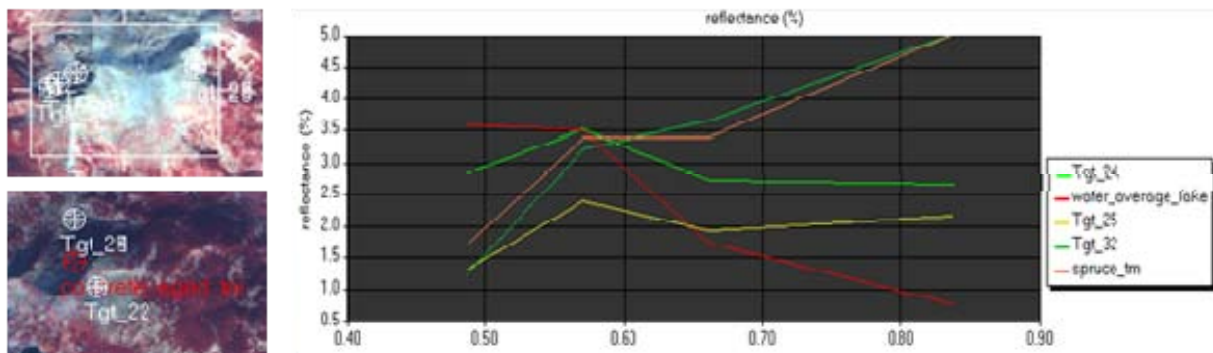
Цифровият модел на релефа (DEM) е предварително подготвен от векторни линии, точки (референтни коти за височина) и водни течения, което обуславя избягване на редица ограничения [13]. За сравнителен анализ в качеството на топографската корекция, в ATCOR3 се използват DEM с различни пространствени характеристики. Използваният за района на Рила

планина - DEM е с пространствена разделителна способност от 30 m, докато този за района в Източните Родопи е получен от едромасщабни карти с размер на клетката - 5 m. Етапите на работа са представени на фигура 2.



Фиг. 2. Етапите на работа

В първите етапи на работа са определени входните параметри за двумерната и тримерната корекции. Количеството абсолютна влажност в g/m^3 заедно с вида на аерозолното съдържание са определени от метеорологичните параметри за трите срока на наблюдение, докато геометрията на заснемане - от метаданните на всяко едно изображение. Вертикалната видимост в km е получена с осредняване на стойността ѝ от метеорологичните данни за конкретния срок и от получената стойност при автоматичната оценка от самото спътниково изображение. Ключовите параметри, каквито са: калибрационни коефициенти, видимост и влагосъдържание са калибрирани в модул SPECTRA [14, 15, 16], спрямо условията на конкретното изображение. Това е важен етап от атмосферната корекция, в който са сравнени избрани от изображението спектри за отделен клас земно покритие с такива, предварително дефинирани за конкретния вид спектрален инструмент – *Ikonos* и *QuickBird* (фиг.3). Впоследствие е извършен - haze detection algorithm [17, 18], за разделяне на пикселите по тип - за водни обекти, за суша, отнесени за границата на слоя замъгленост, за висока облачност (cirrus clouds) [19], за сняг и съответно изпълняващи условието: $T > 0.9 * DN_{max}$ [20].



Фиг. 3. Калибриране в SPECTRA. Отляво: Избрани „цели“ от различен клас земно покритие (в бяло), спрямо референтни такива за съответния клас (в червено). Отдясно: Наложени спектрални криви на референтни спектри, спрямо получени такива от изображението.

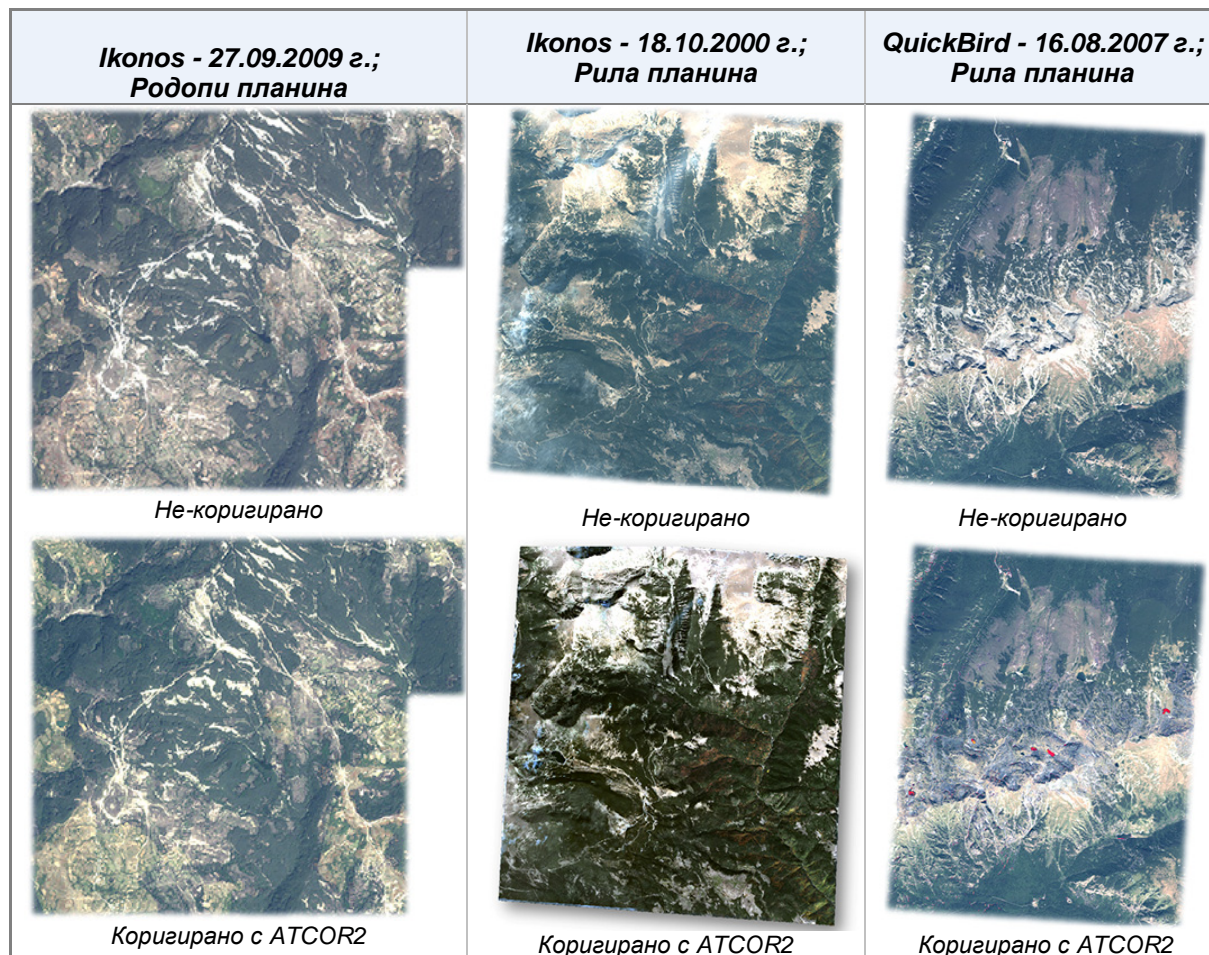
След анализ са определени и конкретни прагове за разделянето на отделните групи пиксели. В последните етапи на работа са изчислени VAP, както следват: Leaf Area Index (LAI), Soil Adjusted Vegetation Index (SAVI), Fraction of Absorbed Solar Radiation (FPAR), Surface Albedo (SA), Absorbed Solar Radiation (ASR) [21, 22]. Работната проекция за всички входни данни е UTM, зона – 35N.

Резултати

Като основен резултат от атмосферната корекция е калибрирана стойност на отражение (reflectances) във всеки пиксел, от спектралните канали.

Обобщение на получените резултати от атмосферните корекции, са представени в две основни групи:

Получени чрез модула ATCOR2 :



Резултатът за замъглеността в изображенията е както следва: *Quickbird* – 8.4 %; *Ikonos* (Рила) – 89.28 %; *Ikonos* (Родопи) – 74.9 %.

В статистическият сравнителен анализ на резултатите от атмосферната корекция е взет *синият* спектрален канал на *Ikonos* и *QuickBird*, като най-значим за корекцията. Причината е силното разсейване в тези дължини на вълната и съответно най-големи промени в стойностите преди и след прилагането на корекцията. Приложените резултати в таблицата са за района на Рила и Родопи планина.

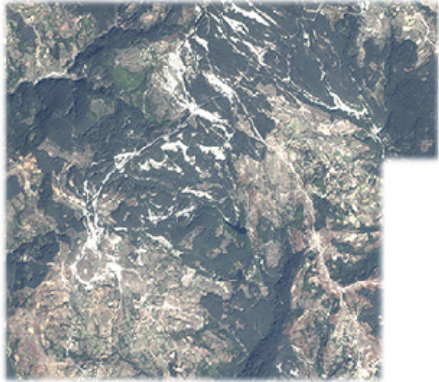




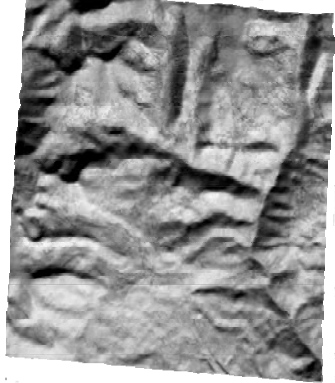
	<i>Ikonos, Рила</i>	<i>QuickBird, Рила</i>	<i>Ikonos, Родопи</i>
P_{max}	90 %	98.17 %	43.2 %
P_{mean}	25.07 %	41.01 %	40.54 %
$StdDEV$	31.68	19.30	33.34

Максималните стойности за отражението (P_{max}) в изображенията от Рила и при двата сензора имат високи стойности, поради наличието на райони с гранитни скали. Ниската средната стойност на отражение (P_{mean}) за *Ikonos* от Рила

показва значителното потъмняване на *синия* спектрален канал при корекцията на това изображение. Това е резултат от сложните обстоятелства при калибрирането на входните параметри на изображението в SPECTRA, въпреки задоволителната сходимост на спектралните криви. При наличните данни за четирите коефициенти, видимост и влагосъдържание, в процеса на калибриране спрямо водни обекти, гори и голи участъци, не дава добра корелация на спектралните криви, спрямо референтните спектри. При двумерната корекция невъзможността да се изчисли BRDF-ефекта при ATCOR2, е причина изображението като цяло да бъде доста по-тъмно от останалите. От друга страна, получените високи

стойности на отражението (P_{max}) в изображението от *QuickBird*, е следствие от ниската замъгленост от - 8.4%. Това се потвърждава и от метеорологичните параметри за състоянието на атмосферата в срока на заснемане на изображението. Резултатът за отражението в *Зеления* и *Червения* спектрални канали е: $\rho_{max} = 100 \%$, което се наблюдава над водните огледала. Този резултат е в следствие пре-коригиране над водни повърхности при невъзможност да се създаде HOT – диаграмата, в алгоритъма MODTRAN за атмосферни корекции [23].

Получени чрез модула ATCOR3:

<i>Ikonos - 27.09.2009 г.;</i> <i>Родопи планина</i>	<i>Ikonos - 18.10.2000 г.;</i> <i>Рила планина</i>	<i>VAP – за Ikonos, Рила</i> <i>планина</i>
		
<i>Не-коригирано</i>	<i>Не-коригирано</i>	<i>Индекс на листна маса (LAI)</i>
		
<i>Коригирано с ATCOR3</i>	<i>Коригирано с ATCOR3</i>	<i>Absorbed Solar Radiation</i>

Стойността на стандартното отклонение (*StdDEV*) е най-ниска при изображението от *QuickBird*, вследствие на преобладаващите оголени местности и съответно по-голямата еднородност на класовете земно покритие в изображението. Анализът на стойностите на *StdDEV* за изображенията от *Ikonos* (*районите на Източна Рила и Източните Родопи*), показва приблизителни стойности. Те съответно обуславят наблюдаването на хетерогенност при земното покритие в двете изображения, като тя е по-значителна за района в Източните Родопи.

Резултатът от тримерната корекция при използването на Цифров модел на релефа с различна ПРС установява следното:

(1) При използването на DEM с ПРС = 30 m , се наблюдава по-слабо изразен *BRDF*-ефект, в резултат на което изображението е по-тъмно (основна причина е *синия* спектрален канал) ; сенките причинени от силно пресечения релеф не са изчистени напълно; има наличие на артефакти, дължащи се на по-грубия DEM (DEM – артефакти), като в районите с градиент на склона са с по-отчетлива проява. Важна забележка е, че районът на Рила планина е със силно разчленен релеф. (2) При използването на DEM с ПРС = 5 m се наблюдава добре изразен *BRDF*-ефект, с напълно коригиран анизотропен характер на отражението от разчленения релеф; топографски сенки не се наблюдават в изображението; не се наблюдават DEM - артефакти.

Резултатът от изчисленията за продуктите с добавена стойност (*VAP*) и от двата модула (*ATCOR2* и *ATCOR3*) са стойности на отражение за следните индекси: *LAI*, *SAVI*, *FPAR*,

$SAbedo$ и стойности във $[W/m^2]$ за - ASR . Анализът на тези резултати, получени от модула ATCOR2, показва наличие на топографски сенки при трите изображения, като най-силно изразени са за изображението от *Ikonos* в Рила.

При анализа на резултатите, получени от модула ATCOR3, в двата случая при използване на DEM с различна ПРС, се наблюдават вече установените закономерности. За района в Източна Рила, където е използван DEM с ПРС = 30 m, в получените изображения се наблюдават топографски сенки и наличие на DEM – артефакти. Те са резултат от приложената топографска корекция и са по-ясно отчетливи в участъците с градиент на склона. При обработеното изображение от Източните Родопи, където е използван детайлен DEM с ПРС = 5m, стойностите на отражението показват добра изотропност, без наличие на DEM – артефакти.

Изводи и резултати от изследването:

Като резултат от поставените задачи се установи следното:

1. В конкретното изследване не може да се определи „предпочитан метод“ за прилагане на атмосферни корекции, поради следните причини:
 - a) Резултатът от атмосферната корекция за цел подобряване качеството на изображенията не е еднозначен при прилагането на двумерен или тримерен метод и е специфичен за всяко едно изображение. Използването на метод ATCOR2 е основателно за изображението от *Ikonos* за изследвания район в Източна Рила, тъй като дава по-добър резултат от този при ATCOR3. Обратно, използването на ATCOR3 в изображението от *Ikonos* за района на Източни Родопи е по-основателно от използването на ATCOR2. Тази корекция дава и най-добрите резултати в настоящото изследване!
 - b) Приложението на атмосферни корекции за райони с голяма надморска височина и суха атмосфера, какъвто е случая при изображението от *QuickBird*, е неоснователно, тъй като не води до подобряване качеството на изображението.
2. Прилагането на атмосферни корекции в райони със сложен релеф, основно зависи от точното калибриране на входните параметри. За изпълнението на това условие, при калибрирането в SPECTRA е нужно наличието на: точни метеорологични данни за видимостта и влагосъдържанието в атмосферата; референтни спектри за класовете земно покритие за конкретния инструмент; точни калибриращи коефициенти.
3. Друго важно условие, като извод за прилагане на атмосферни корекции на изображения с много висока ПРС в пресечени местности е детайлността на Цифровия модел на релефа. Наложително е използване на DEM с размер на клетката съпоставим с тази на коригираното сателитно изображение. В конкретното изследване, използването на DEM с шест пъти по-ниска ПРС от тази на съответното изображение, обуславя: характерна анизотропност на отражението; наличие на артефакти, независимо от степента на филтриране на DEM-а; увеличаване анизотропния характер на отражението в районите с голям градиент на склона; грешки в изчисляването на BRDF-ефекта; като цяло, пораждаване на големи неточности при топографската корекция вследствие на сложния планински релеф;
4. Изчислението на продукти с добавена стойност (VAP) позволява количествената оценка и сравнителни анализи между изображенията от различните сензори. Продуктите отразяват много добре сезона на заснемане, вида земно покритие и физиономичните характеристики на класовете земно покритие [24]. В получените VAP, резултат от двумерната корекция, се наблюдават същите топографски сенки, както и при коригираните изображения с ATCOR2. В изчислените чрез тримерна корекция - VAP, за района на Източна Рила се намират описаните „дефекти“, които присъстват и при коригираното изображение от *Ikonos* с модула ATCOR3, вследствие на приложените топографски корекции с използване на по-груб DEM. Обратно, отсъствието на „дефекти“ във VAP се наблюдава единствено при тримерната корекция за района в Източните Родопи, при която е използван DEM с висока ПРС.

Литература:

1. Richter, R., Correction of atmospheric and topographic effects for high spatial resolution satellite imagery, International Journal of Remote Sensing, Volume 18, Issue 5, 1997, p. 1099-1111
2. Hadjimitsis, D. G., Papadavid, G., Agapiou, A., Atmospheric correction for satellite remotely sensed data intended for agricultural applications: impact on vegetation indices, Nat. Hazards Earth Syst. Sci., 10, p. 89, 2010

3. Richter, R., ATCOR for ERDAS IMAGINE 2011, User Manual, ATCOR2 and ATCOR3, Haze Reduction, Atmospheric and Topographic Correction, GEOSYSTEMS GmbH, Germering, Germany, p. atcor vap-3 – atcor vap-17
4. Wu, J., Wang, D., Bauer, M. E., Image-based atmospheric correction of QuickBird imagery of Minnesota cropland, Remote Sensing of Environment 99 (2005), p.315–325
5. Richter, R., ATCOR for ERDAS IMAGINE 2011, User Manual, ATCOR2 and ATCOR3, Haze Reduction, Atmospheric and Topographic Correction, GEOSYSTEMS GmbH, Germering, Germany, p. atcor3-7
6. Richter, R., Atmospheric / Topographic Correction for Satellite Imagery (ATCOR-2/3 User Guide,) Version 8.0, April 2011), DLR – German Aerospace Center, Remote Sensing Data Center, Wessling, Germany, p. 10, DLR-IB 565-01/11
7. Richter, R., ATCOR for ERDAS IMAGINE 2011, User Manual, ATCOR2 and ATCOR3, Haze Reduction, Atmospheric and Topographic Correction, GEOSYSTEMS GmbH, Germering, Germany, p. atcor2-17
8. Schlapfer, D., Richter, R., Kellenberger, T., Aspects of Atmospheric and Topographic Correction of High Spatial Resolution Imagery
9. Singh, R. K., Shanmugam, P., A novel method for estimation of aerosol radiance and its extrapolation in the atmospheric correction of satellite data over optically complex oceanic waters, Ocean Optics and Imaging Laboratory, Department of Ocean Engineering, Indian Institute of Technology Madras, Chennai 600036, India
10. Richter, R., Atmospheric / Topographic Correction for Satellite Imagery (ATCOR-2/3 User Guide,) Version 8.0, April 2011), DLR – German Aerospace Center, Remote Sensing Data Center, Wessling, Germany, p. 16–18, DLR-IB 565-01/11
11. Richter, R., Atmospheric / Topographic Correction for Satellite Imagery (ATCOR-2/3 User Guide,) Version 8.0, April 2011), DLR – German Aerospace Center, Remote Sensing Data Center, Wessling, Germany, p. 19–21, DLR-IB 565-01/11
12. Гиков, А. Използване на дистанционни данни за изучаване на свлачища (на примера на свлачището при Генерал Гешево – Източни Родопи). В: Сб. Доклади от Шеста научна конференция с международно участие “Space, Ecology, Safety – SES 2010”, 2-4 ноември 2010 г., София, с. 260-269, ISSN: 1313-3888
13. Richter, R., ATCOR for ERDAS IMAGINE 2011, User Manual, ATCOR2 and ATCOR3, Haze Reduction, Atmospheric and Topographic Correction, GEOSYSTEMS GmbH, Germering, Germany, p. atcor3-27
14. Guantera, L., Estellésb, V., Moreno, J., Spectral calibration and atmospheric correction of ultra-fine spectral and spatial resolution remote sensing data. Application to CASI-1500 data, Remote Sensing of Environment, Volume 109, Issue 1, 12 July 2007, p. 54–65
15. Richter, R., Atmospheric / Topographic Correction for Satellite Imagery (ATCOR-2/3 User Guide,) Version 8.0, April 2011), DLR – German Aerospace Center, Remote Sensing Data Center, Wessling, Germany, p. 21-25, DLR-IB 565-01/11
16. Richter, R., ATCOR for ERDAS IMAGINE 2011, User Manual, ATCOR2 and ATCOR3, Haze Reduction, Atmospheric and Topographic Correction, GEOSYSTEMS GmbH, Germering, Germany, p. atcor2-35 - atcor2-48
17. Richter, R., Atmospheric correction of satellite data with haze removal including a haze/clear transition region. Computers and Geosciences, volume 22 Issue 6, July, 1996, p. 675–681.
18. Richter, R., ATCOR for ERDAS IMAGINE 2011, User Manual, ATCOR2 and ATCOR3, Haze Reduction, Atmospheric and Topographic Correction, GEOSYSTEMS GmbH, Germering, Germany, p. atcor2-49 – atcor2-53
19. Richter, R., Atmospheric / Topographic Correction for Satellite Imagery (ATCOR-2/3 User Guide,) Version 8.0, April 2011), DLR – German Aerospace Center, Remote Sensing Data Center, Wessling, Germany, p. 132–136, DLR-IB 565-01/11
20. Richter, R., Atmospheric / Topographic Correction for Satellite Imagery (ATCOR-2/3 User Guide,) Version 8.0, April 2011), DLR – German Aerospace Center, Remote Sensing Data Center, Wessling, Germany, p. 59–60, DLR-IB 565-01/11
21. Hadjimitsis, D. G., Papadavid, G., Agapiou, A., Atmospheric correction for satellite remotely sensed data intended for agricultural applications: impact on vegetation indices, Nat. Hazards Earth Syst. Sci., 10, p. 89-95, 2010
22. Richter, R., Atmospheric / Topographic Correction for Satellite Imagery (ATCOR-2/3 User Guide,) Version 8.0, April 2011), DLR – German Aerospace Center, Remote Sensing Data Center, Wessling, Germany, p. 88–95, DLR-IB 565-01/11
23. Richter, R., ATCOR for ERDAS IMAGINE 2011, User Manual, ATCOR2 and ATCOR3, Haze Reduction, Atmospheric and Topographic Correction, GEOSYSTEMS GmbH, Germering, Germany, p. atcor2-12 – atcor2-16
24. Häallströmin, G., Leaf area index retrieval using gap fractions obtained from high resolution satellite data: Comparisons of approaches, scales and atmospheric effects, Department of Geography, University of Helsinki, 233–248, katu 2, P.O. Box 64, FIN-00014 Helsinki, Finland, International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation 12, 2010, p. 233-248.