

## ИЗПОЛЗВАНЕ НА АЕРОСНИМКИ ЗА КАРТОГРАФИРАНЕ НА ЛАНДШАФТИТЕ В ПЛАНИНСКИ ТЕРИТОРИИ

**Александър Гиков, Калин Стефанов**

*Институт за космически изследвания – БАН*  
София, ул. Московска № 6;  
gikov@abv.bg; kstefanov@gmx.net

## USING AEROPHOTO IMAGES FOR LANDSCAPE MAPPING IN MOUNTAINOUS AREAS

**Alexander Gikov, Kalin Stefanov**

*Space Research Institute – Bulgarian Academy of Sciences*  
6, Moskovska str., Sofia;  
gikov@abv.bg; kstefanov@gmx.net

**Key words:** *orthorectification, landscape mapping, RS*

**Abstract:** *Using high resolution images (HRI) provides for detailed mapping of landscapes and even their morphologic structure. Because of the great price of HRIs (from IKONOS, Quick Bird etc.), they enjoy only limited application in landscape studies. Where the objective is to map in detail only a small key area, aerophotos may prove to be a good alternative. Another advantage of using this resource is the possibility to buy archive photos from the Military Topographic Survey to monitor landscapes' multiannual dynamics. The paper presents an algorithm for processing of aerophotos for the purposes of large-scale landscape mapping. The used techniques and experienced difficulties during the images' geometric correction and their transformation from central into orthogonal projection, so-called orthorectification, are described.*

### УВОД

Всеки ландшафт има свои съставни морфологични части (Петров, 1990). Съвкупността от микроландшафти и елементарни ландшафти представлява морфологичната структура на ландшафта. Изследването на морфологичната структура на планинските ландшафти изисква картографирането да се извършва във възможно най-едър мащаб (Недков, 2002). Най-добра възможност за това предоставят дистанционните изображения с висока пространствена разделителна способност (ПРС).

Изображенията от Landsat (30 m) и ASTER (15 m), които традиционно се използват при изучаване и картографиране на природните комплекси, не могат да бъдат използвани за тази цел, поради ниската им разделителна способност. След успешното извеждане в орбита през 1999 г. на сателита IKONOS от Space Imaging се появиха и други фирми, предлагащи сателитни изображения с ПРС от порядъка на 1-2 m. Поради високата си цена (около 1500 долара минимална поръчка) тези изображения намериха по-голямо приложение в урбанизираните територии, където цената между 15 и 30 долара на km<sup>2</sup> е приемлива.

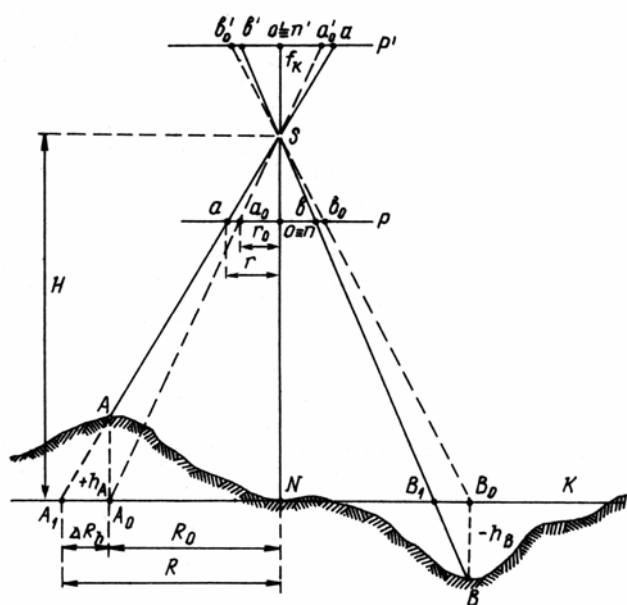
Българската топографска служба прави въздушни фотограметрични заснемания на дадена територия от България през около десетина години. Във втората половина на XX в. беше натрупан значителен архив аероснимки с ПРС под 1 m, който се съхранява във ВТС – Троян. Възможността да се закупят единични

бройки на цена от порядъка на десетки лева, представлява важно предимство при използване на аероснимки за картографиране на ландшафтните единици в даден ключов участък и изучаване на тяхната многогодишна динамика.

Важна особеност на аерокосмическите фотоснимки е тяхната централна проекция, при която проекционните лъчи се пресичат в една централна точка – центъра на фотографския обектив. За да може да се постигне точно картографиране е необходимо да се извърши трансформация от централната проекция на аероснимките към ортогоналната проекция на картите или т.нар. *орторектификация*. Подходите при извършването на геометрични корекции на аероснимките, тяхната допълнителна обработка и подготовка за ландшафтно картографиране са **предмет** на настоящия доклад.

## ОСОБЕНОСТИ НА ФОТОГРАМЕТРИЧНАТА СНИМКА

Важна особеност на фотограметричните снимки е тяхната централна проекция. При картите обикновено проекционните лъчи са перпендикулярни на земната повърхност и успоредни по между си, докато при аерокосмическата снимка те минават през една точка – оптичния център на обектива. Тъй като мащабът е равен на отношението между височината на заснемане и фокусното разстояние ( $m=H/f_k$ ), той е относително постоянен в цялата снимка само при надирно заснемане на равнинни територии (Желязков и др., 1992).



Фиг. 1 Влияние на релефа при аерозаснемане

Както се вижда на Фиг. 1 релефът влияе както върху мащабното число в рамките на една снимка, така и върху нейната геометрична деформация, дължаща се на хоризонталното изместване (паралакс). Например точка В вместо да се изобрази в точка  $B_0$  (където е ортогоналната и проекция) тя се измества и се проектира в точка  $B_1$ , същото се отнася и за точка А, но в обратна посока.

Деформациите нарастват от центъра към края на снимката. За снимки, направени с една и съща камера, те са пропорционални на мащаба. Деформациите, дължащи се на релефа са най-съществени при аероснимките, докато при космическите снимки те значително намаляват и трябва да се отчитат само в планинските райони (Книжников и др., 2004).

За да се използват за точно картографиране на ландшафтната структура в планинските територии, аероснимките трябва да се подложат на геометрична корекция, отчитаща влиянието на релефа. Влиянието на релефа върху паралаксното отместване на образите обаче има двойствен характер. Въпреки че прокарването на точни граници е невъзможно без предварителна обработка, благодарение на хоризонталния паралакс е възможно стерео наблюдение, което значително подпомага дешифрирането на обектите.

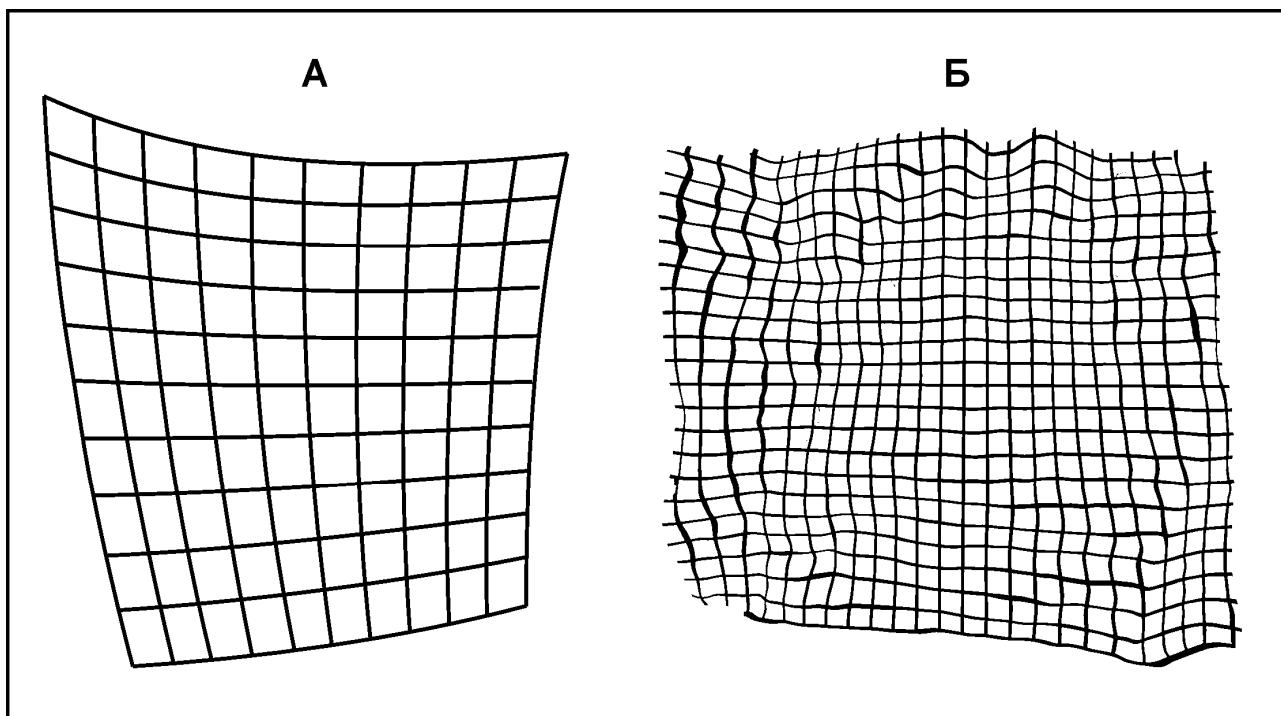
## МЕТОДИ ЗА ГЕОМЕТРИЧНО КОРИГИРАНЕ НА АЕРОСНИМКИ

За картографски цели в миналото са се ползвали графични, оптични и особено фото-механически способности за трансформиране на аероснимките. За изготвяне на ортофотопланове се е правила мозайка от неправилни части от предварително трансформирани снимки, като дори късането на парчетата се е извършвало на ръка.

Развитието на компютърната техника и особено средствата за съхраняване и запаметяване на големи количества информация, значително промениха технологиите за създаване на ортофото изображения, планове и схеми.

В цифровата фотограметрия съществуват редица методи за геометрично коригиране. Полиноминалните корекции служат за редуциране на вътрешните (например пространствена дисторзия) и външни (например наклон на оста на камерата и др.) грешки. При полиномния модел не се отчитат деформациите, дължащи се на релефа, затова този метод има приложение главно за равнинните територии. По-често се прилага при ректификация на сателитни сканерни изображения. Обикновено се използват полиноми от първи и от втори порядък. Използването на полиноми от по-висок порядък изисква голям брой земни контролни точки, а с отдалечаване от тях деформациите нарастват значително (фиг.2 А).

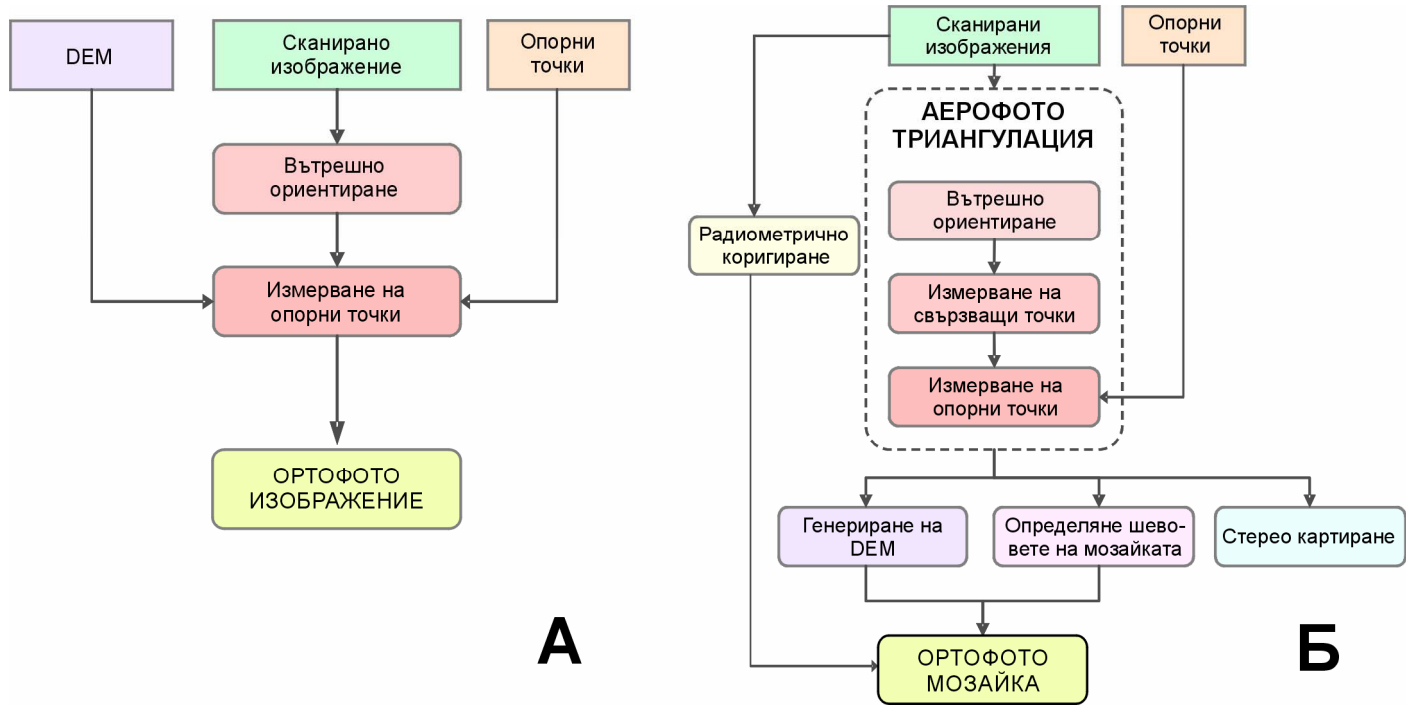
При орторектификацията се извършват сложни трансформации, така че всеки пиксел от изображението да заеме своето правилно място в дадена ортогонална проекция. Заедно с трансформирането на централната проекция в ортогонална, става и редуциране на влиянието на релефа – в частите на изображението, попадащи над референтната повърхнина се получава известно свиване, а в тези под – нея разтягане, така че в резултат изображението като че ли се разстила върху релефната повърхност (фиг.2 Б).



Фиг.2 Влияние на деформациите: А – при полиноминални корекции от 3 степен в Северозападна Рила; Б – при орторектификация на силно разчленен терен в Централна Рила.

Възможна е ортеректификация на единичен кадър или на цял блок от застъпващи се аероснимки (фиг.3). За осъществяване на успешна орторектификация е необходимо извършването на вътрешно и външно ориентиране на снимката и цифров модел на релефа (DEM). При вътрешното ориентиране се определя положението на образната равнина (снимката) спрямо проекционния център (обектива). Състои се от две трансформации: трансформиране от координатната система на цифровото изображение (колони и редове), към образните координати на снимката и трансформация, дефинирана от геометричния модел на камерата (фокусно разстояние и позиция на главната точка на снимката

$f, x_0, y_0$ ), както и стойности за дисторзия на обектива (Manual of Photogrammetry, 2004).



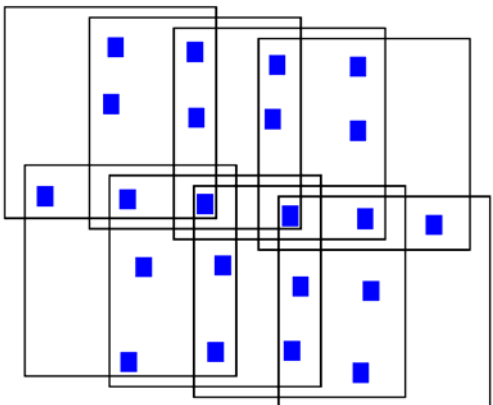
Фиг. 3. Принципни схеми при орторектификация на единичен кадър (А) и блок (Б)

Координатите на главната точка се определят чрез измерване на рамковите марки на снимката. Образните координати  $x$  и  $y$  на рамковите марки и техните стойности  $X$  и  $Y$  в координатната система на изображението се използват за определяне параметрите на трансформация за всеки пиксел от изображението (ERDAS Field Guide, 2002).

При външното ориентиране се възстановява положението на снимката в момента на заснемане в пространството. Параметрите на външно ориентиране са три ъгли  $\Omega, \varphi, K$  – ъглите на завъртане по трите координатни оси и три линейни  $X_s, Y_s, Z_s$  координатите на проекционния център в момента на заснемане.

Съществуват много методи за определяне на параметрите на външно ориентиране. Всички те изискват наличието на минимум три опорни точки. При определяне на елементите на външно ориентиране на единична снимка се използва изключително метода *space resection by collinearity* (Wolf, 2000). При този метод едновременно се определят шестте елемента на външно ориентиране.

Обикновено аерофото заснемането се извършва по блокове, състоящи се от ивици от застъпващи се 60% снимки, а застъпването между ивиците е 30%. Това



Фиг. 4. Зони на Грюбер

дава възможност орторектификацията да се извърши за целия блок наведнъж. Използват се *свързващи* и *опорни* точки. Свързващите точки са с неизвестни координати но добре разпознаваеми на изображенията. Достатъчни са 9 точки на снимка, попадащи в зоните на застъпване на съседни изображения и ивици (зони на Грюбер) Фиг.4. Техните координати се определят при процеса на аерофото триангулация.

Свързващите точки се използват с цел взаимно ориентиране на снимките от блока.

Абсолютното ориентиране на целия блок се извършва чрез опорните точки с известни координати. Измерването на опорни точки представлява опознаването им на снимката и въвеждането на техните абсолютни координати.

По време на аерофото триангулация се извършва съвместно снопово-блоково изравнение. От получения фотограметричен модел може да се генерира цифров модел на релефа (DEM). После се определят линиите на съединяване на съседните снимки, което може да стане автоматично или интерактивно. При интерактивния начин е възможно линиите да се прокарат по пътища или долини, така че да бъдат възможно най-малко забележими. За създаването на едно цяло изображение, без видими шевове на свързване, допринася и предварителното радиометрично коригиране на снимките, с цел намаляване на винетния ефект (ефект на слънчевото петно).

### **ИЗПОЛЗВАНИ ИЗОБРАЖЕНИЯ**

Основната цел при използването на аероснимките беше да се картографира морфологичната ландшафтната структура в Рила планина. С оглед големия хипсометричен диапазон в планината са се формирали няколко ландшафтни пояса. Затова бяха подбрани снимки в различни части на планината, в чиито кадър попадат два или повече ландшафтни пояса.

Основният аерофото архив, който е на разположение в института и е използван по време на изследването е от площно заснемане на планината на 8-ми юли 1988 г. от 207 хартиени снимки. Височината на полета е между 7150 и 7500 m височина, камерата е Wild RC10 с фокусно разстояние на обектива  $F=152.77$  mm, размер на кадъра 23/23 cm. Рамковите марки са 4, разположени в ъглите на кадъра, като разстоянието между тях е 212 mm. Мащабът варира между 1:36 000 и 1:40 000. Всичките снимки са панхроматични. Поради факта, че имаше възможност да се сканират само контактни копия, а не негативи беше решено да се сканират при резолюция 800 dpi, при което се получава размерност на пиксела около 1,1-1,2 .m.

### **ОРТОРЕКТИФИКАЦИЯ**

Ортотрансформации бяха приложени както на единични снимки, така и на една ивица от 13 снимки. Първоначално при вътрешното ориентиране бяха използвани фабричните параметри на камерата – фокусно разстояние 152,77 mm и отстояние от централната точка по x и y по 106 mm. По-късно бяха намерени и калибровъчни данни за конкретната камера, но те се отличаваха до 4 хилядни от милиметъра, което не оказва съществено влияние, ако се има предвид, че на контактните копия координатите на ъгловите марки се различаваха значително повече – по x -0,35 mm, а по y +1,25 mm. Това вероятно се дължи на разтягането на хартията по време на проявяването и в следствие поради продължителното ползване на снимките.

След първите опити за орторектификация на единични кадри стана ясно, че при използване на опорни точки от карти, дори в по-едър мащаб – 1:25 000 и 1:10 000 (за високопланинската част от Рила няма карти в 1:5 000) не може да се постигне висока точност. По-нататък работата по външното ориентиране продължи с използването на GPS точки от ръчен приемник – Garmin eTrex Vista, а при блоковата орторектификация и с използване на опорни точки от точки от геодезически мрежи с местно предназначение (ГММП), трансформирани в UTM зона 35. Проблемът при тях е, че макар и да са висока точност, те са много трудно разпознаваеми на аероснимките, а някои от по-старите не могат да са открити дори и на терена, както стана ясно в района на селата Бели Искър и Говедарци. GPS точките са с по-ниска точност (статистическа точност 4-6 m), но те за взети от ясно разпознаващи се обекти на снимката.

При орторектификацията на отделни кадри за цифров модел на релефа беше използван този, създаден при мисията на космическата совалка през февруари 2000 г., който се разпространява свободно по интернет и е известен като SRTM (Shuttle Radar Topography Mission). Размерът на клетката е 90 m, но вертикалната точност е много добра. За изходяща проекция на снимките беше зададена UTM зона 34, елементите на ориентиране, като **Ω**, **φ**, **К**, x, y и z на оптичката ос на кадъра са неизвестни и са оставени така по време на операцията.

Най-високата точност при орторектификация на единичен кадър е постигната на снимката, обхващаща района на Боровец и части от долината на Бели Искър и Марица – Total RMS 4,7 m. Използвани са 10 опорни точки, от които 4 GPS точки, а останалите са от карта в М 1:10 000. При трансформация на кадър, обхващащ района на с. Елешница бяха използвани 27 точки от карта в М 1:25 000, като резултатът е Total RMS 7,1 m.

Съвместно снопово-блоково изравнение беше приложено на 13 снимки, обхващащи ивица от Северозападна Рила от Дупница на запад до долината на р. Марица на изток. Вътрешното ориентиране на снимките е извършено като са измерени четирите рамкови марки и са въведени параметрите на камерата. Резултатът от вътрешното ориентиране е ~ 1,5 пиксела. Външното ориентиране е проведено на два етапа: *1 взаимно ориентиране* – използван е автоматичен метод за генериране и измерване на свързващи точки, след което са добавени допълнителен брой точки на местата, където техният брой не е бил достатъчен. Измерени са минимум две свързващи точки с максимален брой измервания (лъчи) във всяка грубер зона. Резултатът от снопово-блоково изравнение на измерванията на свързващите точки е със средна квадратна грешка +/- 0,663 пиксела; *2 абсолютно ориентиране* – извършено е като са измерени опорни точки с известни координати. Използвани са точки от различни източници: точки от ГММП, отчетни от карта и измерени с GPS.

Точките от ГММП са с виска точност, но както беше посочено трудно разпознаваеми на изображенията. Имайки в предвид графичната точност на отчитане от карта 0.5 mm, точките отчетени от карти в мащан М 1:10 000 са с точност 5 m. Точките, измерени с GPS са със средна точност 5 m. Резултатът след провеждане на съвместно блоково изравнение е: RMS x ==> 4,51 m; RMS y ==> 4,20 m; RMS z ==> 6,37 m; Total RMS ==> 8,456 m.

От получения фотограметричен модел беше генериран Цифров Модел на Релефа (ЦМР). Полученият резултат е нерегулярен модел на релефа от триъгълници с минимална триъгълникова страна 10 m. Той е коригиран интерактивно от груби грешки, след което е трансформиран в регулярен модел на релефа, с размер на клетката 10 m.

За получаване на безшевна мозайка от орто изображения е извършено полутоново коригиране на яркостта и контраста в изображенията. Изображенията са разделени с матрица от 25 клетки (5x5). Всяка клетка е коригирана със средна стойност на хистограмата получена от всички изображения. По този начин е намален ефектът на слънчево петно за всяка снимка и са изравнени яркостта и контраста на всички снимки от ивицата.

Фотограметричният модел и ЦМР са използвани за генерирането на линии на шевове в мозайката. Използван е автоматичен радиометричен метод. Линиите са генерирани по границите на естествени обекти (гори, пътища). Фотограметричният модел, ЦМР, коригираните изображения и шевните линии са използвани за генериране на ортофото мозайка с ПРС 1,2 m и площ 310 km<sup>2</sup>.

Постигнатата точност не е голяма в сравнение с подобни трансформации, правени за територията на България, макар и при използване на по-едромащабни

снимки (Маринов и др., 2002). Въпреки това, тя е задоволителна и е подходяща за целите на ландшафтното картографиране. Тя би се подобрила при използване на по-точни опорни точки и негативи, а не на контактни копия.

### **ДОПЪЛНИТЕЛНА ОБРАБОТКА НА ИЗОБРАЖЕНИЯТА**

Както е известно, цветните изображения имат много по-високи дешифровъчни характеристики от черно-белите. Аероснимките са от 08.07.1988 г., заснети на панхроматичен филм. С цел подобряване на четемостта на черно-белите снимки за някои орторектифицирани изображения беше приложена обработка за оцветяване. За тази цел беше използвано изображение от Landsat TM, заснето през същата година, около месец по-късно – на 5 август. За съжаление, най-високите части на Рила в тази сцена са скрити от облаци.

Оцветяването беше извършено чрез използване на функцията за сливане на изображения с различна ПРС, известна с термините “merge”, “fusion” и още синергизъм на изображения (Книжников и др., 2004). Тази функция обикновено се прилага за подобряване на ПРС на мултиспектрални изображения, като пикселите на панхроматичното изображение получават цвят. Идеално условие е мултиспектралното и панхроматичното изображение да са заснети едновременно и съотношението между тях да е 1 към 2. Такива характеристики имат редица сателитни сензори със средна и висока ПРС (Landsat ETM+, Spot, Ikonos Quick Bird и др.). Тъй като разликата между ПРС на изображението от Landsat и аероснимките е значително по-голяма, качеството на получените производни цветни изображения с ПРС на аероснимките – 1 m не е добро. От друга страна обемът на файловете е необосновано голям. Затова тяхната ПРС беше редуцирана до 5 m, при което изображенията имаха оптимален баланс между обем и отчетливост на обектите по форма и по цвят.

Друга възможност за подобряване на дешифровъчните качества на изображенията е създаването на анаглифни стереоизображения. Те могат да се използват само за стерео наблюдение на релефните форми, но не и за картографиране.

### **КАРТОГРАФИРАНЕ НА ЛАНДШАФТИТЕ**

Характерните съчетания от закономерно повтарящи се местности (микрорландшафти) създават по-големите природни териториални комплекси (ПТК), наречени от Н. А. Солнцев ландшафти. При детайлните ландшафтни изследвания се изучават именно елементарните ПТК. Докато при теренните проучвания се картира предимно вертикалната структура и геомасите използването на аероснимки дава възможност за картографирането на хоризонталната структура.

Най-добри резултати се получават, когато работата на терен е предшествана от съставянето на предварителна ландшафтна карта по дистанционни материали или поне от внимателно наблюдение на аерофотоснимки. Съставя се маршрут за обхождане, определят се местата за подробно теренно ландшафтно картиране и се набелязват възможните ландшафтни профили.

По време на теренната картировка става събирането на основната информация, необходима за попълване на съдържателната част на ландшафтните единици. Орторектифицираните аероснимки се използват главно за оконтуряване на елементите от морфологичната ландшафтна структура. Върху тях лесно се разпознават типове земно покритие, което представлява основна част от физиономичната характеристика на даден ПТК. Дори при по-едър мащаб (около 1:15 000) би могло да се измери мощността на вертикалната структура, но важни характеристики, като фитомаса и продуктивност, особености на вертикалната структура могат да се получат само по време на теренна работа.

Необходимата точност при орторектифицирането на аероснимките за целите на ландшафтното картографиране е значително по-ниска от тази за геодезически цели. Така например, точност от порядъка на няколко метра за използваните снимки на Рила в М 1:36 000 – 40 000 е приемлива за ландшафтното картографиране, докато изискваната точност за кадастрални цели е 0,2 m. Това се дължи на факта, че за разлика от изкуствените граници, които са резки, природните обикновено имат значително по-постепенен характер. В по-голяма степен това се отнася за границите от по-висок ранг (например между типове ландшафти), формиращи една преходна ивица.

### **ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

Предложените способности за обработка на аероснимки дават възможност аероснимките да бъдат подготвени за едромащабно ландшафтното картографиране. При възможност винаги трябва да се предпочита сканирането на негативите пред това на контактните копия, като то се осъществи на фотограметричен скенер, а разделителната способност да е 25-16 микрона (1000-1500 dpi). Това е едното условие за точна орторектификация. Другото е – използването на надеждни опорни точки. Идеалният случай би се получил при взимането на координати на пресечени точки от аероснимките с диференциален високоточен GPS приемник. При липса на възможност, за орторектификация на отделни аероснимки в по-дребни мащаби (35 000 – 40 000), е допустимо и използването на точки от едромащабни карти и ръчен GPS апарат, но трябва да се има предвид, че грешката е в рамките на няколко метра.

### **ЛИТЕРАТУРА**

Желязков, Й., Ю. Тепелиев. Фотограметрия и дистанционни методи. Изд. „Мартилен“. С. 1992

Книжников, Ю., В. Кравцова, О. Тутубалина. Аэрокосмические методы географических исследований. Изд. „Академия“. М. 2004

Маринов, Б., М. Данаилова, К. Иванова. Технология за дигитално фототрансформиране с използване на системата Ortho Engine на PCI Geomatics за кадастър на извънселищни територии. Сборник Международен симпозиум „Пространствена информация – технологии, придобиване, обработване и ефективно прилагане“, София 7-8 ноември 2002

Недков, С. Особенности на структурата и динамиката на нископланинските ландшафти в Западна Средна България. Дисертация, С., 2002

Петров, П. Ландшафтознание. С., Изд. на СУ, 1990

ERDAS Field Guide – Sixth Edition, ERDAS Inc., 2002

Manual of Photogrammetry – Fifth Edition ASPRS, 2004

Wolf, P. R., B. A. Dewitt. Elements of Photogrammetry with Applications in GIS. 3rd edition, McGraw - Hill Companies, 2000