

Получена: 22.12.2017 г.

Приета: 28.05.2018 г.

## ТЕСТВАНЕ НА ЦИФРОВИ МОДЕЛИ НА РЕЛЕФА ЗА ЮЗ БЪЛГАРИЯ С ГНСС ИЗМЕРВАНИЯ

Л. Пашова<sup>1</sup>, Г. Николов<sup>2</sup>

*Ключови думи:* Цифров модел на релефа, SRTM, ASTER, GPS, ЮЗ България

### РЕЗЮМЕ

След реализиране на Satellite Radar Topography Mission (SRTM) през 2000 г., понастоящем за територията на България има свободно достъпни високоточни цифрови модели на релефа (Digital elevation model – DEM) с размери на клетката (пиксел) от порядъка на 1" (~30 m). Цифровите модели на земната повърхност намират широко приложение в научните изследвания, индустриални, оперативни, военни и други области. В статията са разгледани глобалните модели SRTM DEM v4.1 и ASTER GDEM v2. Проведено е изследване на качествата на двата цифрови модела за тестови високопланински район в ЮЗ България в граници  $41^{\circ}30' \leq \varphi \leq 42^{\circ}30'$ ,  $23^{\circ}00' \leq \lambda \leq 24^{\circ}00'$ . Направена е оценка на точността на надморските височини при сравнение с цифров топографски модел с размер на клетката от ~3,8" (~114 m), предоставен от Военно-географската служба на Българската армия (ВГС на БА) и с данни от GPS/нивелачни измервания на геодезически точки. Получените резултати в определяните височини от трите цифрови модела за тестовия район показват разлики от порядъка на няколко десетки метра, включително и при сравнение с данните от геодезическите измервания. Направени са някои препоръки относно приложимостта на разгледаните цифрови модели на релефа за различни цели.

---

<sup>1</sup> Любка Пашова, доц. д-р инж., департамент „Геодезия“, НИГГГ-БАН, ул. „Акад. Г. Бончев“ бл. 3, 1113 София, e-mail: bismall@bas.bg

<sup>2</sup> Григор Николов, докторант, инж., департамент „Геодезия“, НИГГГ-БАН, ул. „Акад. Г. Бончев“ бл. 3, 1113 София, e-mail: etgeonik@gmail.com

## 1. Въведение

Познанието за топографията на земната повърхност е от съществена важност за много научни, технически и други приложения. Цифровият модел на релефа (ЦМР) (Digital elevation model, DEM) е дискретно представяне на повърхнината на релефа чрез гريد или образна матрица, за която на всеки пиксел е присъединена стойност с определена надморска височина. Придобиването на ЦМР с голяма разделителна способност е сравнително скъпо начинание. Обикновено се приема, че ЦМР с по-висока разделителна способност (по-малък размер на пиксела) е по-точен [1], което предполага по-детайлно представяне на релефа на земната повърхност с желаната точност, особено при голяма вертикална разчлененост. За определени райони от света ЦМР с висока степен на подробност и детайлност все още не са налични по обективни причини или защото са създадени от военни геодезически / картографски агенции.

Съществуващите доскоро ограничения относно прекъснатостта (покрытие, разделителна способност, точност и референтна геодезическа система) и нехомогенността (построяване на ЦМР по данни от разнородни източници и чрез различни математически подходи) на ЦМР се преодоляват постепенно с напредъка на високотехнологичните производства и методите за автоматизирана обработка и анализ на данни от измервания. Основните методи при тяхното създаване включват извличане на данни чрез дигитализиране на топографски карти, полски измервания и обработка на въздушни снимки и/или спътникови изображения. Понастоящем, поради известни предимства на спътниковите технологии (цена, обхват, повтаряемост и бързина на заснемането, разделителна способност, изисквания за предварителна обработка), нови ЦМР се получават от обработка на спътниково и въздушно заснемане с определена пространствена, спектрална и времева разделителна способност.

Първите стереоскопични изображения на земната повърхност, от които са извлечени данни за ЦМР, са получени от спътника SPOT през 1986 г. [2]. През последните две десетилетия наличието на достъпни чрез интернет ЦМР и предоставянето им от международни агенции и изследователски центрове разширяват възможностите за тяхното използване в различни области. Глобалните цифрови модели на релефа, като GLOBE, ETOPO, Shuttle Radar Topography Mission (SRTM), Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer (ASTER) и др. осигуряват почти повсеместно покритие на земната повърхност. Тези модели се получават по спътникови данни от радарни алтиметрични (SRTM, TerraSAR-X и TanDEM-X), стереофотограметрични (ASTER, SPOT, PRISM and IRS-3P) и лидарни измервания (ICESat) [3, 4]. Точната информация за земната повърхност е от фундаментално значение за всички геонауки. ЦМР се използва при: картографиране; геоложки проучвания; мониторинг и изследване на геодинамични процеси; хидроложко моделиране; прогнозиране на времето; моделиране на геоида; дистанционно сондиране, съвместно с ГИС системи за коригиране на изображения и извличане на тематична информация и за много други научни приложения.

Настоящата статия цели да се акцентира върху оценката на качествата на свободно достъпните глобални ЦМР, които се използват за решаване на научни и приложни задачи. Разгледани са накратко последните реализации на глобалните модели SRTM DEM v4.1 и ASTER GDEM v2. Анализирани са техните качества за тестови район в ЮЗ България в граници  $41^{\circ}30' \leq \varphi \leq 42^{\circ}30'$ ,  $23^{\circ}00' \leq \lambda \leq 24^{\circ}00'$  (вж. фиг. 1). Той се характеризира с голяма вертикална разчлененост и разлики в надморските височини между равнинските и планинските части, достигащи до 2700 m. Двата глобални модела за тестовия регион са сравнени с референтен ЦМР, предоставен от Военно-географската служба (ВГС) на БА. Оценени са разликите в надморските височини, определени от трите ЦМР с височини на

контролни точки, определени по данни от GPS / нивелачни измервания. Анализирани са резултатите от сравнението на трите цифрови модела за тестовия район по отношение на представителността на топографските характеристики и тяхната точност. Направени са някои препоръки относно целесъобразното използване на свободно достъпните глобални ЦМР.

## **2. Глобални ЦМР и оценяване на техните качества**

Преди 2000 г. с отворен достъп са глобалните ЦМР GTOPO-30 (Global 30 Arc-Second Elevation Data Set) и GLOBE (Global Land 1 km-Base Elevation Project) с хоризонтална разделителна способност от 1 km [5]. В последните години научноизследователски международни агенции и центрове разработват значително по-точни глобални ЦМР. Техните последователни реализации (версии) непрекъснато се подобряват чрез използване на допълнителна информация и нови методи за обработка на първичните данни. Тези институции предоставят достъп до глобални модели, като SRTM и ASTER с хоризонтална разделителна способност (размер на пиксела) от 1" (~30 m на екватора) и 3" (~90 m на екватора) [3, 4, 6]. С новите версии на глобални ЦМР до голяма степен се преодоляват проблеми, свързани с пространственото покритие на земната повърхност, повишаване на хоризонталната и вертикалната точност, разработване на маска на водните обекти и отстраняването на липсващи пиксели и систематични грешки. През последното десетилетие са публикувани значителен брой изследвания на качествените характеристики на общодостъпните глобални ЦМР и сравнения между последователните им версии за различни приложения: анализи за територии на отделни държави и тестови региони [4, 7 ÷ 10]; анализ на морфометрични параметри, извлечени от глобалните ЦМР [11, 12]; моделиране на геоида [13, 14]; хидроложко моделиране [15, 16] и др.

За територията на България са известни няколко приложения на SRTM ЦМР с пространствена разделителна способност (размер на пиксела) 3", като особено широко приложение този модел намери при изработване на картите на заплахата и риска от наводнения в изпълнение на Рамковата директива за водите 2000/60/ЕС [17]. Използването на общодостъпните глобални ЦМР, обаче, не винаги е съобразено с конкретните изисквания за вертикална точност, особено за целите на хидроложкото моделиране в районите, определени за потенциално застрашени от риск от наводнения, за които се изисква високоточен ЦМР [18]. При изготвянето на такива специализирани карти чрез ГИС, редица автори не отчитат разликите между геодезическите референтни системи за географски координати и надморски височини на SRTM ЦМР при съвместното му използване с едромашабни топографски карти на страната, за чието изработване са използвани други геодезически системи. В някои случаи, хоризонталната и вертикалната точност на последователните версии на SRTM модела е напълно достатъчна за моделни изследвания, например при геоложки проучвания на сеизмогенни зони [19].

### **2.1. Цифров модел на релефа SRTM DEM v4.1**

Топографското заснемане на повърхността на Земята е извършено чрез радарна интерферометрия съвместно от НАСА, Националната агенция за геопропространствено разузнаване, немската и италианската космически агенции с космическата совалка Endeavour в периода 11 – 22 февруари 2000 г. [20]. Данните за релефа покриват около 80% от земната суша и са в границите 60° N ÷ 56° S географски ширини. Целта на мисията е да се постигне абсолютна вертикална точност в рамките на 16 m (90% доверител-

на вероятност), като данните са верифицирани чрез различни изследвания с използване на GPS. В резултат е получен модел с глобално покритие във вид на GRID с хоризонтална разделителна способност от 3" (размер на пиксела). Оценката за вертикалната грешка е под  $\pm 16$  m за данните, представени в отделни фрагменти (блокове) с размери по географска дължина и географска ширина  $5^\circ \times 5^\circ$ , т. нар. тайлове. Геодезическата референтна система за географските координати е WGS'84, а за височините – глобалният геопотенциален модел на геоида EGM96. През 2003 г. НАСА реализира поредна версия SRTM v3 на глобалния ЦМР с предоставен свободен достъп до данните за определени територии с хоризонтална разделителна способност от 1". От август 2015 г. данни в двата честотни обхвата – C-Band (C30) (4,0 ÷ 8,0 GHz) and X-Band (X30) (8,0 ÷ 12,0 GHz) – са достъпни за цялата земна повърхност. Подробна информация за техническите характеристики на мисията SRTM може да се намери на сървърите на НАСА (NASA JPL, 2013). Данните за ЦМР SRTM във вид на GRID могат да се изтеглят от Earth Explorer в три файлови формата:

- Цифров модел на терена (DTED) в стандартен формат за картиране, разработен от Националната агенция за геопространствено разузнаване. Всеки файл съдържа матрица със стойности на височината в географски координати;
- ЦМР в бинарен растрер формат (BIL) с придружаващ заглавен файл, който описва оформлението и форматирането на файла;
- ЦМР в GeoTIFF формат с включена географска информация.

SRTM данните в C-честотния обхват с хоризонтална разделителна способност  $\sim 90$  m са широко използвани през последните две десетилетия за различни приложения, но е установено, че вертикалната точност не е еднородна и се нуждае от допълнителни систематични изследвания [4, 21]. Една от последните оценки за вертикалната точност на данните от SRTM мисията в двата честотни обхвата, в сравнение с данни от GNSS станции на IGS службата, е публикувана от Mukul et al. [21]. Сравненията показват, че ср.кв.гр. за SRTM данните в честотния обхват X-Band и C-Band са съответно  $8,2 \pm 0,7$  m и  $6,9 \pm 0,5$  m, като разликите между височините на IGS станциите и получените от SRTM модела в двете честотни ленти имат изразен систематичен характер относно териториалното им разпределение. За европейски IGS станции са установени по-големи разлики във височините от целта, която е поставена с SRTM мисията.

За настоящото изследване е използван моделът SRTM V4, C-Band с размер на клетката 1" ( $\sim 30$  m). Данните за територията на ЮЗ България са изтеглени по тайлове от интернет адрес <https://earthdata.nasa.gov/>. Характеристиките на модела за тестовия район са представени в табл. 1.

## 2.2. Цифров модел на релефа ASTER GDEM v2

Глобалният ЦМР ASTER е реализиран чрез съвместен проект на Министерството на икономиката, търговията и промишлеността на Япония и НАСА през м. юни 2009 г. [3]. Той е генериран от радиометрични и оптични данни и има покритие на сушата в граници от  $83^\circ$  N до  $83^\circ$  S. ЦМР ASTER v.1 се състои от 22,600 тайлове с размери  $1^\circ \times 1^\circ$  [22]. Геодезическата референтна система е съответно WGS'84 за географските координати и глобалният геопотенциален модел на геоида EGM96 – за височините. ASTER GDEM е представен с географски координати в GeoTIFF формат. Вертикалната точност на ЦМР ASTER GDEM за територията на САЩ се оценява на 7 – 14 m. Подробна документация и техническата спецификация на ASTER GDEM могат да бъдат намерени на сървъра на

Японската агенция за аерокосмически изследвания [23]. Подобрена версия на модела във вид на растерно изображение с пространствена разделителна способност  $30 \times 30$  m размер на клетката (грид) е налична от м. октомври 2011 г. ASTER GDEM v2 се състои от 22,702 тайлове и се разглежда като един от най-точните ЦМР сред общодостъпните глобални модели. За отделни зони все още се установяват грешки, които могат да затруднят използването му за конкретни приложения, напр. при хидроложко моделиране на ниво речен басейн. Данните за модела са достъпни през интернет портала на НАСА: <http://reverb.echo.nasa.gov/reverb/>. Количествени характеристики за тестовия район в ЮЗ България са дадени в табл. 1.

### **2.3. ЦМР за ЮЗ България, предоставен от ВГС на БА**

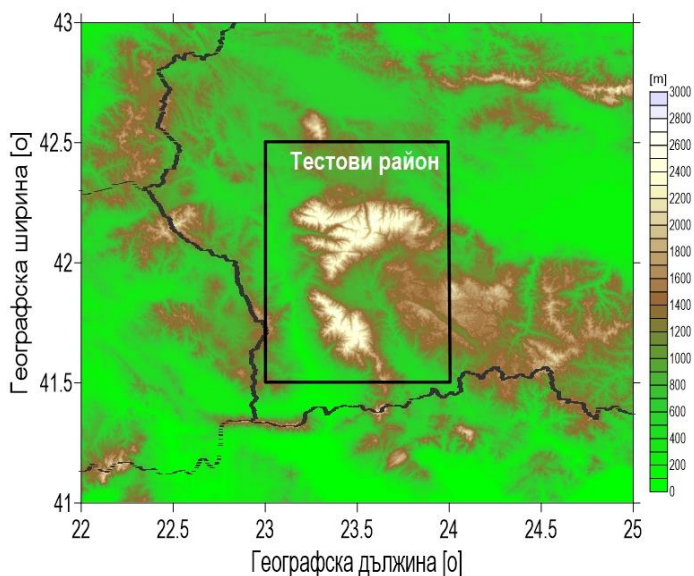
Понастоящем за територията на страната има налични цифрови модели на релефа от няколко източника и с различно качество. Една от първите бази данни за релефа е създадена през 90-те години на миналия век от ВГС на БА чрез дигитализиране и оцифряване на топографски карти с различен мащаб [24]. Създадената база от данни за релефа е разпределена по картни листове в мащаб М 1:50000 с характеристики: 1) променлива плътност на точките съобразно хоризонталната разчлененост на релефа; 2) средна грешка на височините от 3 m – 5 m; 3) геодезическа координатна система – Гаусова 1942. ВГС на БА предоставя данни за цифрови модели на релефа с различен размер на грида при определени условия, които са публикувани на интернет адрес: <http://mgs.armf.bg>. За целите на сравнителното изследване за тестовия район в ЮЗ България са използвани данни от локален ЦМР, условно обозначен SWBG\_L [25]. Моделът е представен в двумерна матрица с размер на клетката от  $\sim 3,8''$  ( $\sim 114$  m на екватора). Данните са в геодезическа координатна система WGS84, като информация за системата височини не е налична. Статистиките за ЦМР SWBG\_L също са представени в табл. 1.

## **3. Анализ на ЦМР за района на ЮЗ България**

Топографията на сухоземната територия на страната се характеризира с надморски височини, вариращи от 0 до 2925 m, като доминират релефни форми са хълмистите и планинските райони. Тестовият район в ЮЗ България, с площ от  $\sim 10000$  km<sup>2</sup> (вж. фиг. 1), обхваща територия с речни долини, котловини и високопланински масиви с голяма вертикална и хоризонтална разчлененост и стръмни планински склонове. Средната надморска височина е около 860 m. Тези топографски характеристики оказват съществено влияние върху качествата на всеки ЦМР, получен при обработката на данни във вид на грид от различни източници.

Статистическите оценки за данните от трите ЦМР за изследвания район от табл. 1 показват, че ср.кв.гр. на надморските височини от модела SWBG\_L в сравнение с ASTER GDEM v2 и SRTM DEM v4.1 са най-ниски, създадени по данни за релефа от топографски карти. Разликите между максималните височини между SRTM v4.1 и ASTER v2 са помалки – до 6,89 m, в сравнение с минималните, които се различават с 35.84 m между SWBG\_L и ASTER v2; разликата между средните стойности на надморските височини, получена като статистическа оценка от извадките за двата модела SRTM v4.1 и ASTER v2 достига до 11,7 m. Данните от глобалните ЦМР са приведени в същия размер на грида за тестовия район, като е приложена бикубична сплайн интерполация за привеждане на двата глобални ЦМР в грид с размер на клетката 3,8". Установяват се по-близки стойности на височините, определени от глобалния модел ASTER v2 с тези на локалния

SWBG\_L, отколкото с височините, определени от ЦМР SRTM v4.1. Височинните разлики при сравнение на всеки два ЦМР са преобладаващо отрицателни. Графично разликите между двата глобални модела SRTM v4.1 и ASTER v2 с локалния SWBG\_L са представени на фиг. 2. Числовите резултати от сравненията са представени в табл. 2.



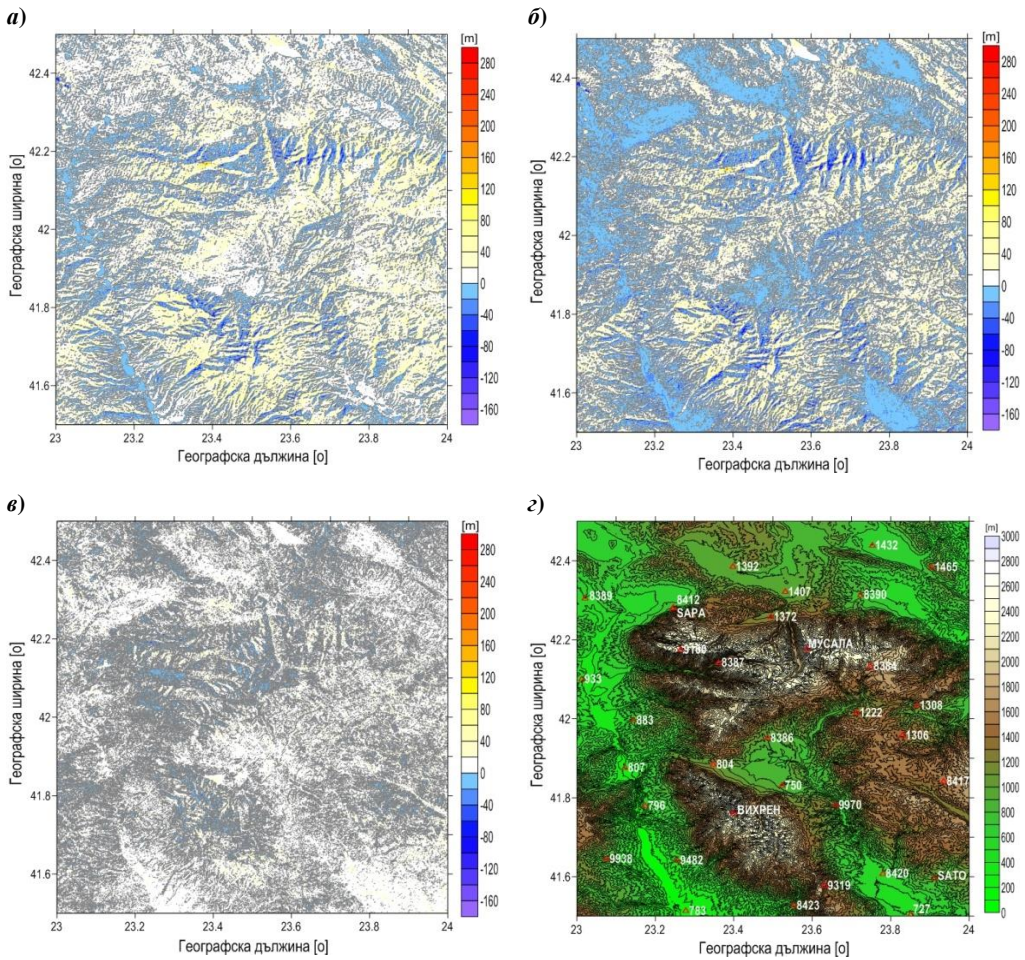
Фиг. 1. Тестови район в ЮЗ България (ЦМР е SRTM v4.1)

Таблица 1. Статистически данни за ЦМР за тестовия регион в ЮЗ България

ЦМР	Формат на файла	Размер на данните	Редове / Колони	Max m	Min m	Mean m	RMSE m
SRTM v4.1	HGT, DTED, BIL, GeoTIFF	1°×1° тайл	3601 × 3601	2920.02	90.93	871.98	±534.85
ASTER v2	GeoTIFF	1°×1° тайл	3601 × 3601	2913.13	64.16	860.28	±535.69
SWBG_L	ESRI Shapefile	1°×1°	951 × 951	2919.93	100	866.68	±533.02

Таблица 2. Статистически данни за разликите между ЦМР за тестовия регион

Разлика ЦМР1 – ЦМР2	Max m	Min m	Mean m	RMSE m
SRTM v4.1 - ASTER v2	139.12	-128.60	5.77	±8.00
SRTM v4.1 - SWBG_L	269.82	-161.24	8.18	±18.76
ASTER v2 - SWBG_L	252.92	-165.41	2.42	±19.94



**Фиг. 2. Разлики между надморските височини, представени чрез:**  
*a) SRTM v4.1 – SWBG\_L; б) ASTER v2 – SWBG\_L; в) SRTM v4.1 – ASTER v2;*  
*г) топография с контролни ГНСС точки*

#### 4. Оценка на точността на ЦМР чрез контролни точки

Височинната точност на всеки ЦМР за тестовия район в ЮЗ България е оценена чрез сравнение с височините на контролни точки, определени от GPS / нивелачни измервания. За целта са използвани географските координати на 32 контролни точки от Държавната GPS мрежа от различен клас и триангулационни точки вр. Мусала и вр. Вихрен (вж. фиг. 2г). Разположението на ГНСС точките по брой в различните височинни пояси за тестовия район на ЮЗ България са представени в табл. 3. Височините са интерполирани по географски координати чрез идентифициране на пикселите за всеки от трите ЦМР, в които попадат точките. Резултатите от сравненията са представени в табл. 4.

Получените резултати показват, че ЦМР SRTM v4.1 за тестовия район е по-точен в сравнение с другите два. Получената по-голяма средна стойност на разликите за модела ASTER v2, въпреки по-малката ср.кв.гр., е показател за наличието на систематични

разлики. Големите разлики на височините на контролните точки с тези от локалния SWBG\_L модел могат да се обяснят с методите за извличане на данни от топографските карти при построяването на ЦМР, размера на пиксела, остатъчни систематични и случайни грешки и други фактори. Установени са по-големи разлики в интерполираните височини по пиксели за контролните ГНСС точки, разположени в подножието на планинските вериги – в низинен и равнино-хълмист височинен пояс. При по-голяма гъстота и равномерно разпределение на контролни точки във всички височинни пояси може да се търси обяснение на причините за появата на систематични отклонения в ЦМР. Следва да се уточни и видът на височинната система на локалния ЦМР SWBG\_L. Височините на контролните GPS точки от Държавната мрежа в EVRS2007 се различават от Балтийска височинна система от порядъка на 2 – 3 dm за тестовия район в ЮЗ България.

**Таблица 3. Брой ГНСС контролни точки в тестовия район**

34 контролни точки		Max $\Delta H^n$ m	Min $\Delta H^n$ m	$\Delta H_{max}^n - \Delta H_{min}^n$ m	Mean m	RMSE m
ЦМР	SRTM v4.1	32.30	-4.82	37.12	5.04	$\pm 7.52$
	ASTER v2	32.11	-0.56	32.67	12.33	$\pm 6.54$
	SWBG_L	53.29	-2.14	55.42	17.07	$\pm 14.17$

**Таблица 4. Статистически данни за контролните ГНСС точки**

№	Височинен пояс	Надморска височина m	Брой ГНСС точки
1	Низинен	0 – 200	1
2	Равнинно-хълмист	200 – 600	4
3	Нископланински	600 – 1000	15
4	Среднопланински	1000 – 1600	10
5	Високопланински	над 1600	4

## 5. Заключение

В това изследване за тестови район в ЮЗ България е оценена вертикалната точност на глобалните ЦМР SRTM DEM v.4.1, ASTER GDEM v2 и локален ЦМР SWBG\_L, който е получен от топографски карти. Сравнението е извършено при еднакъв размер на клетката (пиксел) на грида 1" за двата глобални модела, които са сравнени с локалния при размер на клетката 3,8". За тестовия район резултатите показват, че моделът SRTM v4 е по-точен в сравнение с ASTER v2. Установената точност на ЦМР SRTM DEM v.4.1 и ASTER GDEM v2 за тестовия район е в съответствие с резултати, представени в подобни изследвания за други територии от света [8, 10, 21].

Получените резултати показват, че глобалните ЦМР могат да се използват за геопространствени приложения при използване на ГИС за картографиране, дистанционни изследвания и др., ако точността, която се установява в това изследване е приемлива за конкретните цели. При необходимост от по-висока точност следва да се използват ЦМР, които отговарят на съответните изисквания. За територията на България са необходими детайлни изследвания за различните височинни пояси, които касаят: установяване на

хоризонталната точност на географските координати на контролните ГНСС точки за идентифициране на пикселите от ЦМР при различен гريد; оценка на представителността на ЦМР по морфометрични показатели за равнинни, хълмисти и планински райони; сравнение с достъпните за научни изследвания ЦМР от новите спътникови мисии с висока вертикална и хоризонтална точност с размер на пиксела 5 – 30 m, напр. TanDEM-X (TerraSAR-X add-on for Digital Elevation Measurements) [26] и други високоточни ЦМР за територията на страната.

## Благодарности

Авторите изказват своята благодарност на ВГС на БА за предоставения локален ЦМР на ЮЗ България за целите на сравнителното изследване. Глобалните ЦМР SRTM и ASTER са извлечени от достъпните онлайн ресурси, предоставени от Активния разпределен архивен център за земни процеси (LP DAAC) на НАСА и Центъра за наука и наблюдение на ресурсите на Земята (EROS) на Американската геоложка служба (USGS), Сиукс Фолс, Южна Дакота ([https://lpdaac.usgs.gov/data\\_access/data\\_pool](https://lpdaac.usgs.gov/data_access/data_pool)).

## ЛИТЕРАТУРА

1. *Saran S., Sterk, G., Peters, P., Dadhwal, V. K.* Evaluation of digital elevation models for delineation of hydrological response units in a Himalayan watershed. *GeoCarto Int.* 25:105–122, doi: 10.1080/10106040903051967, 2009.

2. *Day, T., Muller, J-P.* Quality assessment digital elevation models produced by automatic stereo matchers from SPOT image pairs, In *Proceedings of the 16th International Congress of the International Society for Photogrammetry and Remote Sensing, Kyoto, Commission III*, 148-159, 1998.

3. *NASA JPL*, Global Digital Elevation Model, [https://www.nasa.gov/multimedia/imagegallery/image\\_feature\\_1545.html](https://www.nasa.gov/multimedia/imagegallery/image_feature_1545.html), 2009.

4. *Feng, L., Muller, J-P.* ICESAT validation of TANDEM-X I-DEMs over the UK, *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, Volume XLI-B4, 2016, XXIII ISPRS Congress, 12–19 July 2016, Prague, Czech Republic, doi:10.5194/isprsarchives-XLI-B4-129-2016, 2016.

5. *Sefcik UG., Alkan M.* Advanced analysis of differences between C and X Bands using SRTM data for mountainous topography. *J Indian Soc Remote Sens.* 37:335–349. doi: 10.1007/s12524-009-0044-4, 2009.

6. *Gesch, D. B., Oimoen, M. J., & Evans, G. A.* Accuracy assessment of the U.S. Geological Survey National Elevation Dataset, and comparison with other large-area elevation datasets – SRTM and ASTER: U.S. Geological Survey Open-File Report 2014-1008, 10 p., <http://dx.doi.org/10.3133/ofr20141008>. 2014, 2014.

7. *Hayakawa Y.S., Oguchi T., Lin Z.* Comparison of new and existing global digital elevation models: ASTER G-DEM and SRTM-3. *Geophysical Research Letters*, 35, L17404, doi: 10.1029/2008GL 035036, 2008.

8. *Rexer, M., Hirt, C.* Comparison of free high-resolution digital elevation data sets (ASTER 1 GDEM2, SRTM v2.1/v4.1) and validation against accurate heights from the Australian National 2 Gravity Database; *Australian Journal of Earth Sciences*, pp 1-15, DOI: 3 10.1080/08120099.2014.884983, 2014.

9. *Bildirici, I. O., Abbak, A. R., Ulugtekin, N.* ASTER GDEM AND SRTM DEM in Turkish Territory: An Evaluation in Terms of Height Accuracy and 3D Visualization”, Proceedings of 6th International Conference on Cartography and GIS, Albena, Bulgaria, ISSN: 1314-0604, Eds: Bandrova T., Konecny M., pp. 266-272, 13-17 June 2016, 2016.

10. *Hu, Z., Peng, J., Hou, Y., Shan, J.* Evaluation of Recently Released Open Global Digital Elevation Models of Hubei, China, *Remote Sens.*, 9, 262; doi:10.3390/rs9030262, 2017.

11. *Hirt, C., Filmer, M. S. & Featherstone, W. E.* 'Comparison and validation of the recent freely available ASTER-GDEM ver1, SRTM ver4.1 and GEODATA DEM-9S ver3 digital elevation models over Australia', *Australian Journal of Earth Sciences*, 57: 3, 337-347. DOI: 10.1080/08120091003677553, 2010.

12. *Sleszynski, P.* A geomorphometric analysis of Poland based on the SRTM-3 data. *Geographia Polonica* 85(4), 45–59, 2013.

13. *Vergos G. S., Grigoriadis V. N., Kalampoukas G., Tziavos I. N.* Accuracy assessment of the SRTM 90m DTM over Greece and its implications to geoid modelling. In: Tregoning P., Rizos C. (eds) *Dynamic Planet. International Association of Geodesy Symposia*, vol 130. Springer, Berlin, Heidelberg, 2007.

14. *Oshchepkov, I. A.* RuDTM2014: New digital terrain model for Russia and its effect on the prediction of mean gravity anomalies, Poster, International Symposium on Gravity, Geoid and Height Systems, 19–23 September 2016, Thessaloniki, Greece, 2016.

15. *Thomas J., Joseph S., Thrivikramji K., Arunkumar K.* Sensitivity of digital elevation models: The scenario from two tropical mountain river basins of the Western Ghats, India, *Geoscience Frontiers*. 5(6), 893–909, 2014.

16. *Verdin, K. L.* Hydrologic Derivatives for Modeling and Applications (HDMA) database: U.S. Geological Survey data release, <https://doi.org/10.5066/F7S180ZP>, 2017.

17. *Димитров, Д., Няолов, И., Балабанова, С., Лисев, Н., Кошинчанов, Г., Корчева, А., Марински, Й., Пашова, Л., Гроздев, Д., Василев, В., Божилев, Б., Цветкова, Н.* Методика за оценка на заплахата и риска от наводнения, съгласно изискванията на Директива 2007/60/ЕС”, Окончателен отчет, Черноморска басейнова дирекция, Договор № Д-30-62, 357 стр., 2013.

18. *Pashova, L., Kortcheva, A., Galabov V.* Vulnerability of high-risk coastal areas due to future Black sea level rise, storm surge events and climate scenarios, CMDR COE International seminar “CLIMATE CHANGE”, 30 March – 1 April 2015, Sofia, Bulgaria [http://cmdrcoe.org/menu.php?m\\_id=8&f\\_id=249](http://cmdrcoe.org/menu.php?m_id=8&f_id=249), 2015.

19. *Radulov, A., Yaneva, M., Nikolov, N., Kiselinov, H. Donkova, Y., Nikolov, G.* Geological data on the source of the 2012 Mw 5.6 Pernik earthquake, SW Bulgaria. 10.13140/2.1.2714.6566, 2014.

20. *Farr, T. G. and Kobrick, M.* Shuttle radar topography mission produces a wealth of data; *T. Am. Geophys. Union* 81, 583–585, 2000.

21. *Mukul, M., Srivastava, V., Mukul, M.* Analysis of the accuracy of shuttle radar topography mission (SRTM) height models using international global navigation satellite system service (IGS) network. *Journal of Earth System Science*. 124(6), 1343–1357, 2015.

22. *Abrams, M., Bailey, B., Tsu, H., Hato, M.* The ASTER global DEM: Photogrammetric Engineering & Remote Sensing, v. 76, no. 4, p. 344–348. 2010.

23. *ASTER.* The Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer. [http://www.jspacesystems.or.jp/en\\_project\\_aster/](http://www.jspacesystems.or.jp/en_project_aster/), 2017.

24. Петров, Д. Бази данни за релефа на територията на Република България, създадени по топографски карти 1:50000 и 1:25000. // Сп. Геомедия, бр. 6, 37-41, 2013.

25. Паилова, Л. Сравнение на цифрови модели на релефа за района на Югозападна България. Геонауки'2006, 376 стр. [http://www.bgd.bg/CONFERENCES/Geonauki\\_2006/Sbornik/pfd\\_files/91.pdf](http://www.bgd.bg/CONFERENCES/Geonauki_2006/Sbornik/pfd_files/91.pdf), 2006.

26. Hennig, S. D., Koppe, W., Kiefl N., Janoth, J. Validation of Radargrammetric Digital Elevation Models (DEMs) Generated with TerraSAR-X Data, 8th European Conference on Synthetic Aperture Radar, Aachen, Germany, 1-4, 2010.

## DEM TESTING USING GNSS MEASUREMENTS IN SW BULGARIA

L. Pashova<sup>1</sup>, G. Nikolov<sup>2</sup>

*Keywords: Digital Elevation Model, SRTM, ASTER, GPS, SW Bulgaria*

### ABSTRACT

After the release of the high-resolution Satellite Radar Topography Mission (SRTM) in 2000, currently for the territory of Bulgaria there are freely available digital elevation models (DEMs) with cell (pixel) sizes of 1" (~30 m). Digital terrestrial models are widely used in research studies, industrial, operational, military and other fields. The paper focuses on the quality of the vertical accuracy of global models SRTM DEM v4.1 and ASTER GDEM v2. A study of the qualities of the two DEMs for the test region with rough topography in SW Bulgaria is carried out in the range  $41^{\circ}30' \leq \varphi \leq 42^{\circ}30'$ ,  $23^{\circ}00' \leq \lambda \leq 24^{\circ}00'$ . A vertical accuracy is evaluated when compared to the digital topographic model supplied by the MTS of the Bulgarian Army with grid cell (pixel) ~3,8" (~ 114 m) and with GPS / levelling data. The results obtained at the determined elevations of the three digital models for the test area show differences in the order of several tens of meters, including when compared to the geodetic measurements. Some recommendations are outlined regarding the applicability of the DEMs considered for different purposes.

---

<sup>1</sup> Lyubka Pashova, Assoc. Prof. Dr. Eng., Dept. "Geodesy", NIGGG-BAS, Acad. G. Bonchev St., Bl.3, Sofia 1013, e-mail: bismall@bas.bg

<sup>2</sup> Grigor Nikolov, PhD Student, Eng., Dept. "Geodesy", NIGGG-BAS, Acad. G. Bonchev St., Bl.3, Sofia 1013, e-mail: etgeonik@gmail.com