

**XXVIII INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON
MODERN TECHNOLOGIES, EDUCATION AND PROFESSIONAL PRACTICE
IN GEODESY AND RELATED FIELDS**

Sofia, 08 - 09 November 2018

**XXVIII МЕЖДУНАРОДЕН СИМПОЗИУМ
“СЪВРЕМЕННИТЕ ТЕХНОЛОГИИ, ОБУЧЕНИЕТО И ПРОФЕСИОНАЛНАТА
ПРАКТИКА В ГЕОДЕЗИЯТА И СВЪРЗАНИТЕ С НЕЯ ОБЛАСТИ”**

София, 08 - 09 Ноември 2018

ЦМР ЗА ТЕРИТОРИЯТА НА БЪЛГАРИЯ – РАЗВИТИЕ И ПРИЛОЖЕНИЯ

Григор Николов (BG)

РЕЗЮМЕ:

Целта на настоящата статия е да се направи преглед на наличната информация за цифрови модели на релефа (ЦМР) за територията на България. Разгледани са методи за събиране на данни, тяхната обработка и картографското изобразяване на релефа. Направен е кратък исторически преглед на източниците за създаване на ЦМР в няколко институции в страната, обработката на данните, наличните цифрови модели на релефа, използваните референтни данни и тяхното приложение.

1. Въведение

Моделът на релефа е дискретно представяне на повърхнината на релефа чрез грид или образна матрица, т. нар. ЦМР, за която на всеки пиксел е присъединена стойност с определена надморска височина. Приема се, че ЦМР с по-висока разделителна способност (по-малък размер на пиксела) е по-точен, което предполага по-детайлно представяне на релефа на земната повърхност с желаната точност, особено при голяма вертикална разчлененост.

Цифровият модел на релефа 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 приложения.

Развитието на съвременните технологии за събиране на геопространствени данни позволи получаването на данни за релефа и местността със висока степен на подробност и детайлност. Независимо от това, изработването на ЦМР с високо качество (голяма точност и разделителна способност, т.е. детайлност на релефните форми) е относително скъпа дейност. Създаването на съвременни ЦМР се извършва по данни и информация, получена от геодезически измервания, дигитализация на картографски материали, заснемане с дрон, лидарни измервания или посредством GPS. В последните десетилетия наличността на ЦМР драматично нарасна благодарение на спътниковите наблюдения с различни сензори. Тези

модели имат голямо пространствено и непрекъснато покритие, които се получават от обработка на радарни (чрез интерферометрия) или оптични (стерео-фотограметрични) спътникови/въздушни снимки.

Целта на настоящата статия е да се направи кратък преглед на наличната информация за цифрови-модели на релефа за територията на страната. Разгледани са методи за събиране, обработка и изобразяване на релефа. Проследено е историческото развитие на методите и източниците за създаване на ЦМР в няколко институции в страната, използваните референтни данни и тяхното приложение.

2. Кратък исторически преглед

Първите модели на релефа, изобразявани върху топографски карти са създадени по време на Балканската война (1912 г.) по аерофотоснимки за разузнавателни цели (Маджарова, 2009). По време на Първата световна война също са изработвани аерофотоснимки за изобразяване на релефа, които са използвани предимно за военни цели.

Първият триизмерен модел на малка територия от България, около с. Банкя (град Банкя), Софийско, е изработен през 1928 г. чрез фотограметрично заснемане на площ около 1,5 km² с фототеодолит на фирмата "WILD" и е извършено от инж. Бетрхолд и инж. Асен Райков (Петров, 2013). Извършеното картографиране в мащаб 1:10 000 е изпълнено от Военно Картографската Служба в завода WILD в Швейцария с картировъчен апарат за земни фотоснимки Автограф А-2. Тази релефна-топографска карта в височинна система "Черноморска" е била със сечение на релефа 5 m и с относителна точност от около 5-10 m за височините.

През началото на 60-те години на миналия век в страната започва кампания за изработване на Едромашабна топографска карта (ЕТК), която да покрива цялата територия на България (Петров, 2013). За целта, в края на 1954 г. за Геопланпроект е доставен Стереопланиграф С-4 на Цайс-Оберкохен, с който е извършено картирането на терена. Въведена е въздушната стереофотограметрия, която е един бърз и ефективен фотограметричен метод за изработване на ЕТК. Карта на страната се изготвят в мащаби 1:5000 и 1:10 000 с височина на сечението 1m и 5m съответно за равнинните и хълмисти и за високопланинските райони в координатна система 1970г. и височинна система "Балтийска". Точността на изобразените изолинии на релефа е около 3-5 m. Изработването на ЕТК е възложено на ГУГКК с постановление №48 на Министерски съвет от 1957 г. и за изработването е спазвана инструкция (Инструкция за ..., 1985) на тогавашното Министерство на строителството и селищното устройство от 1985 г. Съхранявали са се в Дирекция "Централен кадастър", като са изработвани

- за интензивни райони – 1:5000;
- за неинтензивни, предимно планински и гористи райони – 1:10000.
- за специални нужди, по заявка на отделни ползватели, предимно в промишлени райони са се изработват карти в М 1:2000.

База данни за релефа на територията на страната е създадена още през периода 1987-1992 г от Геопланпроект (Петров, 2013), като е спазвана инструкцията на ГУГКК от 1985г. През 1987 г. се е пристъпило към изпълнение на тогава възприетата програма по създаване на база данни за релефа чрез оцифряване (дигитализиране) на картоиздателски оригинали на релефа за топографски карти в мащаби 1:50 000 и частично за 1:25 000. Дигитализирането е поето от служители на тогавашния Военно-картографски институт (ВКИ) в гр. Троян, като за целта е създадено отделно звено "Отдел за цифрови топографски карти". За времето си дигитализирането е било една от най-модерните технологии за получаване на геопространствени данни в цифров вид. Работило се е с 16 Вт компютри в среда на DOS. Във ВКИ е инсталирана електронно-изчислителна машина ИЗОТ 1016С-СМ-4, произведена в заводите на ИЗОТ, гр. София, която е била прототип на американската PDP-11 със сменяеми дискови пакети по 29 МВ и магнетофон за четене на записи от данни. Използвани са програми на Fortran7 за обработка на данните. За целта е използван прецизен плотер

AvioTAB -Ta2, като връзката между устройствата се е осъществявала с магнитни ленти и перфокарти, като допълнение използван прецизен координатограф Wild. На база електронно-изчислителната техника се създаде технология за създаване на база данни за релефа чрез дигитализиране. Точността на дигитализиране е $1 \text{ km} = 0.25 \text{ mm}$. По тази технология през периода 1987-1992 г. са дигитализирани 1300 картни листа в мащаб 1:50 000 и 20 картни листа в мащаб 1:25 000 за проходите през Стара планина покриващи обща площ около 2000 km^2 . Като краен резултат е създадена база данни за релефа разпределена по картни листове в мащаб 1:50 000 с променлива плътност на точките съобразно хоризонталната разчлененост на релефа, средна грешка на височината 3- 5 m в координатна система гаусова-1942 г. През 1998 г. е изработен цифров модел на един картен лист в К-5-31-Б-г-2 в мащаб 1:10000 с височина на хоризонталите 1m (източник: Геокартфонд, АГКК). За целта е използвана среда на МКАД с Z координата; изработени са и цифрови модели на картни листове 1:5 000 с номера: К-5-31-(79),(80),(95) и (96), всички за Хасковска област в координатна система 1970 г. и височинна система "Балтийска".

3. Източници на ЦМР в България

За територията на България има създаден ЦМР с база данни по разработвания от МРРБ проект "Оптимизиране на геопространствена информационна система (ГИС) на МРРБ" по програма "Административен капацитет" (Петров, 2013). За изработването на релефа е използвана програма за картиране на земната повърхност към NASA - SRTM V2 (Suttle Radar Topography Mission), която съдържа модел на релефа с размер на клетката 90 m.

Военно-географска служба (ВГС) е орган на Министерството на отбраната за извършване на всички необходими дейности за създаване на геоинформационни продукти (карти, графики, анализ на терена, цифрови данни за района и друга географска информация) и предоставянето им на въоръжените сили и публичните власти, както и предоставяне на специализирана техническа помощ. ВГС към МО предоставя на българските въоръжените сили и на страните-членки на НАТО географска информация, особено при планирането, обучението и изпълнението на всички видове военни операции. Поради тази причина е изработен ЦМР, който да служи на въоръжение към МО. Този ЦМР е декласифициран и е достъпен за граждански цели през геопортала на МО: www.gis.armf.bg. Създаден е ЦМР по фотограметричен метод, апроксимиран върху земната повърхност с размер на клетката 6 x 6 m и цифров модел на релефа, апроксимиран върху земната повърхност с размер на клетката от 3 x 3 до 5 x 5 m (Markov, 2018). Получените модели са с вертикална точност 1 m. Създадени са със софтуер ESRI ArcGis със следните характеристики:

1. Точност - покрива изискванията за създаване на картографски материали в мащаб 1:25000
2. Координатна система - WGS 84, географски координати (B, L);
3. Вертикална координатна система - EVRS 2007;
4. Модел на данните - вътрешноотделна база на DIGEST 7074 –стандарт на НАТО

Стандартът за дигитална географска обмяна на информация (DIGEST) е разработен от Работната група за цифрова географска информация (DGIWG), която подпомага ефективния обмен на информация за цифровата географска информация между държавите, производителите на данни и потребителите на данни.

Основната част от дейностите на ВГС има за цел да създаде, поддържа и актуализира основната географска база данни (GDB 25 - Географска база данна, М 1:25000).

Например, Динков (2018) в дисертационния си труд създава ЦМР за територията на Природен парк „Врачански балкан”. Създаден е 3D модел с големина на пиксела 30 m като са използвани спътникови изображения от ALOS World 3D, ASTER(GDM), SRTM мисията, данни от фотограметрично заснемане и БЛС. Полученият облак от точки се генерира в 3D облак след това реконструира повърхнината и я визуализира.

Дигитални модели на терена за някои части на София са създавани от "ГИС-София" ЕООД, както и 3D модели на сгради, построени след заснемане с дигитални камери (Маджарова,

2009). Използва се софтуер PHOTOMOD на Ракурс, Русия, като повърхнината на терена се представя чрез неправилна мрежа от триъгълници (TIN). Автоматично ЦМР се създава чрез алгоритми: правилен модел, неправилен, плавен, модел от векторизирани данни или комбинация от тях. Изчертаването на хоризонталите със зададено сечение на релефа и на цифровия височинен модел (DEM) е автоматично, които се използват за основа при ортофототрансформиране на снимки. Софтуерът PHOTOMOD има възможност за редактиране на мрежата от триъгълници (TIN) и на хоризонталите.

Глобални цифрови модели на релефа за територията на страната от различни спътникови мисии, които са свободно достъпни с размер на пиксела 90m или 30m са например: ALOS World 3D, ASTER(GDM), SRTM и др.

За територията на България има свободно достъпни високоточни глобални цифрови модели на релефа:

- Първите стереоскопични изображения на земната повърхност, от които са извлечени данни за ЦМР, са получени от спътника **SPOT** през 1986 г.
- **SRTM DEM** - създаден през 1999 г с размери на клетката (пиксел) от порядъка на 3'' (~90m), а впоследствие в различни версии с p-p 3'' (~90m) и 1'' (~30m).
- **ГТОРО30 DEM** създаден през 1996 г с размери на клетката (пиксел) от порядъка на 30'' (~900m).
- **ЕТОРО2 DEM** създаден през 2001 г с размери на клетката (пиксел) от порядъка на 2' (~3600m).
- **ЕТОРО5 DEM** създаден през 2001 г с размери на клетката (пиксел) от порядъка на 5' (~9 km).
- **Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer ASTER - DEM** с размери на клетката (пиксел) от порядъка на 1'' (~30m).
- **TanDEM-X** (TerraSAR-X add-on for Digital Elevation Measurements) с размер на пиксела 3'' (~90m).

Съществуват национални ЦМР, които се изработват и предоставят от различни институции:

- ВГС към Министерство на отбраната. ЦМР е създаден по фотограметричен метод, апроксимиран върху земната повърхност с размер на клетката 6 x 6 m и ЦМР, апроксимиран върху земната повърхност с размер на клетката от 3 x 3 до 5 x 5 m.
- Агенция по геодезия картография и кадастър АГКК
- Частни фирми (ГИС-София, МАРЕХ и др.), НПО и др..

Развитието на съвременните технологии за събиране на геопространствени данни позволява получаването на данни за релефа и местността със висока степен на подробност и детайлност. Директива INSPIRE на Европейската комисия 2007/2/ЕО определя общи правила за създаване на инфраструктурата за пространствена информация в Европейската общност. В рамките на тази инфраструктура от държавите-членки се изисква да предоставят на разположение масиви от данни във връзка с едно или няколко от приложенията към Директива 2007/2/ЕО и съответните услуги за пространствени данни в съответствие с техническите разпоредби за оперативната съвместимост и, когато е приложимо, с хармонизацията на масиви от пространствени данни и услуги. В Анекс 2 по Директивата, първата тема е Височини (https://inspire.ec.europa.eu/documents/Data_Specifications/INSPIRE_DataSpecification_EL_v3.0.pdf), чрез която се дефинират изискванията за ЦМР и съответните точности на моделите за различни приложения.

Референтните данни се предоставят от официални източници, като държавни геодезически институции по определен нормативен документ - закон, постановление и т.н. Такива референтните данни се предоставят от ВГС към МО и АГКК. Правилата са регламентирани с Наредба № V-12-1720 от 13 май 2014 г., в която са описани технологичните изисквания за

точност, условия и ред за създаване и поддържане на ЕТК и Електронен цифров модел (ЕЦМ). В тази Наредба е описан и редът за изработване и създаване на ЕТК, която се създава за територията на Република България и за района на българската база в Антарктика.

4. Обработка на данните за построяване ЦМР

Основни методи за изработване на ЦМР са цифровата и аналогова фотограметрия, при която се използва софтуер за обработка на фотограметрични изображения за извличане на ЦМР (Маджярава, 2009). Един от тях е Erdas Imagine v11, който позволява да описват повърхнини на терена с помощта на неправилна мрежа от триъгълници (TIN). Тя се създава автоматично по един от следните алгоритми: правилен модел, неправилен модел (плавен), модел от векторизирани данни, като предварително се задава приблизително гъстота на върховете от триъгълници. От TIN модела автоматично може да се извличат данни за изчертаване на хоризонтали със зададено сечение на релефа и да се генерира височинен модел на релефа (DEM).

Реконструкция на повърхнина може да се извършва с Poisson Surface Rekonstruktion, а визуализация с Meshlab или Blender с отворен код, или Agisoft PhotoScan и Pix4D, когато се използва 3D облак от точки (Динков, 2018).

Фотограметричното въздушно заснемане с Безпилотна Летателна Система (БЛС) - мултикоптер се обработва със софтуер за планиране и управление на полетите, а получените изображения се използва пакет Pix4Dmapper. При GPS измервания се използва софтуер за изчисляване на процес-вектори GNSS Solutions или Leica Geo Office.

За изработване на ЕТК се прилага Наредба № V-12-1720 от 13 май 2014 г. (2014). С Наредбата се уреждат изискванията за създаване, поддържане и използване на единен цифров модел (ЕЦМ) за изработване на ЕТК, отговарящ по съдържание и точност за мащаб 1:5000 и 1:10 000.

5. Приложения на ЦМР

ЦМР намират широко приложение в различни научни и приложни задачи. Поради свободния достъп версиите на глобалния ЦМР SRTM, този модел се използва за прогнози на времето, моделиране на геоида, ГИС за корекции на спътникови/въздушни изображения, извличане на тематична информация и други приложения. 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. Често, не се извършва оценка/контрол на качеството на данните от глобални ЦМР и не се отчитат изходните референтни геодезически повърхнини, спрямо които са представени надморските височини в ЦМР, например в (Попов и Димитров, 2016). Трябва да се има предвид, че релефът на някои места се е променил съществено и ЕТК, изработени в мащаби М 1:5000 и 1:1000, отпечатани през 90-те, не са с актуално съдържание.

За територията на България са необходими детайлни изследвания на нлични свободно достъпни глобални ЦМР, установяване хоризонталната точност на географските координати за различни размери на грида, оценка на техните качества чрез сравнение с контролните ГНСС точки, количествен и качествен анализ на последователни версии на едни и същи ЦМР от различните спътникови мисии (Пашова и Николов, 2018). Допълнително предстои да се извършат изследвания и сравнения за територията на страната с достъпни за научни изследвания TanDEM-X ЦМР с различен размер на клетката на грида.

Литература:

1. Инструкция за изработване на едромашабни топографски карти в мащаби 1:10000, 1:5000 и 1:2000 и за обновяване на едромашабната топографска карта в мащаби 1:10000 и 1:5000" на "Министерство на строителството и селищното устройство" от 1985 г.
2. Наредба № v-12-1720 от 13 май 2014 г. за едромашабната топографска карта (ЕТК) издадено от "Министерството на инвестиционното проектиране" в сила от 10.06.2014г., ДВ бр.48/10.06.2014.
3. *Петров, Д.* (2013) Бази данни за релефа на територията на република България създадена по топографски карти 1:50 000 и 1:25 000, сп. "Геомедия", бр. 6, 37-41.
4. *Динков, Д.* (2018) " Разработване на 3D модел на природен парк " Врачански Балкан " за интегриране в система за мониторинг, Дисертация, НИГГГ-БАН, 164 стр.
5. *Маджарова, Т.* (2009) Дигиталната фотограметрия в "ГИС-София" ЕООД, сп. "Геомедия", бр. 3, 35-39.
6. *Попов, А., С. Димитров* (2016) Оценка и визуализация на качеството на цифровите модели на терена (DTM) при картографиране на заплахата и риска от наводнения, Сб. доклади от научна конференция „Географски аспекти на планирането и използването на територията в условията на глобални промени”, гр. Вършец, 23-25.09.2016г., 9 стр.
7. *Марков, М.* (2018) "Геопространствените възможност, порпространствени данни и услуги предоставени от Военно географската служба",
8. *Пашова, Л., Г. Николов* (2017) Тестване на цифрови модели на релефа за ЮЗ България с ГНСС измервания, Доклад на Международна юбилейна научна конференция „75 години УАСГ“, 1-3 ноември 2017г., <http://conference2017.uacg.bg/>

Адрес на автора:

Инж. Григор Николов, НИГГГ-БАН, ул. Акад. Г. Бончев, бл. 3, GSM:0888 848 901, E-mail: etgeonik@gmail.com