

СРАВНЕНИЕ ЦИФРОВЫХ МОДЕЛЕЙ РЕЛЬЕФА, ПОЛУЧЕННЫХ С ТОПОГРАФИЧЕСКИХ КАРТ МАСШТАБА 1:50000, 1:100000 И 1:200000 С ЦМР SRTM

© 2013 г. Г. Г. Ерицян

*Институт Геологических Наук НАН РА
0019, пр. Маршала Баграмяна 24а, Республика Армения,
E-mail: yeritsian@geocom.am
Поступила в редакцию 23.11.2012 г.*

В статье приведены результаты сравнительного анализа, проведенного для оценки точности цифровых моделей рельефа (ЦМР) м-бов 1:200000, 1:100000, 1:50000 и SRTM. С этой целью проведено попарное сравнение ЦМР (высот, уклонов, экспозиций) топографических карт с ЦМР SRTM. Исследования показали, что наиболее близки ЦМР SRTM и ЦМР, полученные по данным топокарты м-ба 1:100000. Таким образом, ЦМР SRTM может быть с достаточной точностью использована для картирования данного м-ба.

Цифровые модели рельефа в сочетании с ГИС-технологиями находят все большее применение для решения прикладных задач в геологии (Favalia, 1999; Font et al., 2010; Thurmonda et al., 2005). В частности, при морфометрическом анализе рельефа местности используется множество цифровых карт различного масштаба и методов их получения, и возникает необходимость оценки точности модели и выбора оптимальной ЦМР. Для решения конкретных задач часто используются ЦМР, построенные по данным высотной съемки 2000 г по программе Shuttle Radar Topographic Mission (SRTM). По указанной причине была изучена пространственная точность ЦМР, полученных оцифровкой топографических карт м-ба 1:200000, 1:100000 и 1:50000. В данной статье описаны результаты указанного исследования.

Для исследования выбрана территория в марзе Вайоц Дзор, характеризующаяся разнообразием форм рельефа – наличием как высокогорья с высокой степенью расчлененности рельефа, так и равнинных участков (рис. 1). В левом нижнем углу рисунка показаны точки GPS измерений на исследуемой территории.

Подготовка данных и построение ЦМР

В литературе приведено множество определений ЦМР (Carson & Reuterbuch, 1997; Podobhnikar, 2007; Maune et al., 2007). В данной работе мы будем пользоваться определением, данным Геологической службой США, по которому ЦМР – цифровое картографическое представление высот поверхности Земли в узлах релулярной сетки в направлениях x и y, вертикальное значение которого геопривязано к общему вертикальному datumу (Maune et al., 2007).

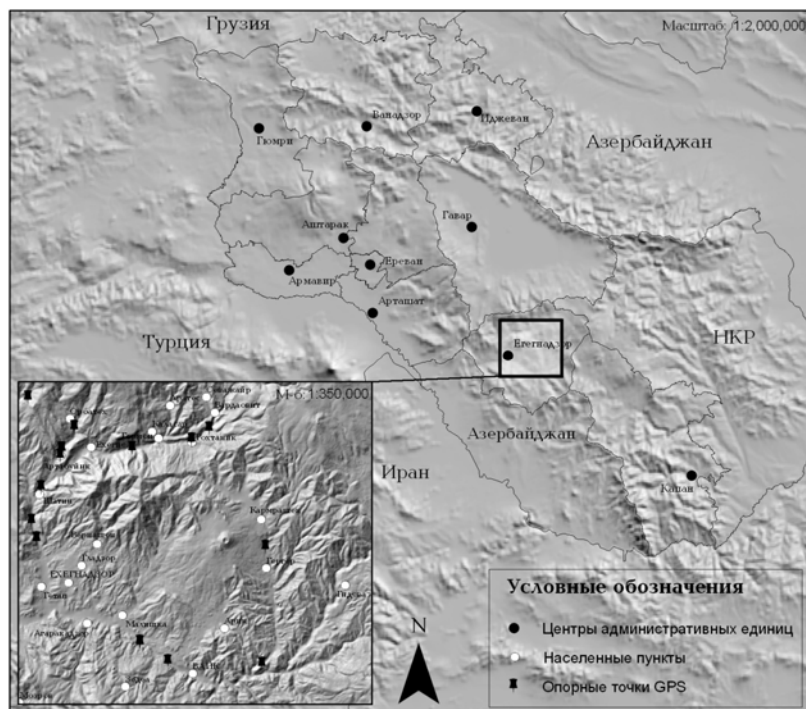


Рис. 1. Исследуемая территория и расположение опорных точек наблюдения GPS.

Точность является одной из важнейших характеристик качества модели, которая может быть оценена ее соответствием оригиналу. Это соответствие или точность ЦМР определяется по выборочным оценкам среднеквадратичных погрешностей значений высот. Точность ЦМР обуславливают следующие факторы - характер источника и точность исходных данных, технология преобразования данных, точность восстановления функции высоты при преобразовании множества исходных данных, полученных цифрованием изогипсов в их регулярный набор (например, точность процедур интерполяции), тип и параметры модели данных, используемой при создании ЦМР (например, заданного пространственного разрешения). М. Хатчинсон (Hutchinson, 1996) показал, что погрешности высотных значений на ЦМР зависят от пространственного разрешения и топографии местности, т.е. с увеличением размера грид ячейки и в районах с более расчлененным рельефом погрешность ЦМР увеличивается.

Данные SRTM с разрешением 3-х угловых секунд доступны в интернете, на сайте <http://e0srp01u.ecs.nasa.gov>. Предварительно с помощью программы Global Mapper данные были обработаны, выполнена мозаика и экспорт данных в USGS DEM формат. Затем с помощью модуля "Replace Bad Data" программы ENVI 4.4 были дополнены грид ячейки, в которых данные отсутствовали. Изолинии геопривязанных к координатной системе

(Пулково, 1942 г.) топографических карт масштаба 1:200000, 1:100000, 1:50000 были оцифрованы в ArcGIS 9.2. Далее, данные были перепроецированы в координатную систему UTM Zone 38N/Datum WGS 84. Для перепроецирования был использован метод геоцентрической трансформации, где $dx=28.000$, $dy=-130.000$ и $dz=-95.000$.

В данной работе для построения ЦМР использовался метод интерполяции значений высот (ANUDEM), разработанный М. Хатчинсоном в 1988 г. (Hutchinson, 1988). Данный метод, несмотря на некоторые свои недостатки (не учитывается топологическая структура изолиний, время расчета может быть довольно большим), является наиболее популярным в настоящее время, т.к. в процессе моделирования используются объекты гидрографической сети и устраняются локальные ошибки интерполяции на уже построенной модели с целью создания гидрографически корректных ЦМР. В настоящее время этот метод интегрирован в пакет ArcGIS под названием «Topo to Raster».

Построение ЦМР производилось двумя способами: первый непосредственно из изогипсов с разрешением в 93 м и второй способ – растреризация с разрешением в 10, 20, 40 м соответственно для топокарт м-бов 1:50000, 1:100000 и 1:200000 с последующей растреризацией до 93 м.

В данной работе рассматриваются ЦМР, созданные вторым способом, т.к. при первом способе часть рельефа генерализируется вследствие чего точность модели оказывается ниже. Описанным способом были созданы четыре ЦМР: масштаба 1:200000, 1:100000, 1:50000 и SRTM.

Для оценки пространственной точности рельефа использовались данные Trimble GeoXT, горизонтальная точность которых составляет ± 0.5 м, а вертикальная точность достигает 1 м. В данной работе точки определения GPS приемников использовались в качестве опорных точек, высотные значения которых принимались соответственно истинному рельефу. Измерения проводились при ясной погоде и полной видимости спутников, находящихся в орбите (в зависимости от местности число спутников колебалось от 6 до 9). Далее, точки измерений в географической системе WGS 84 были конвертированы в проецированную координатную систему UTM Zone 38N/Datum WGS 84 для последующего сравнения с ЦМР. Карта GPS измерений показана на рис.1.

Анализ данных

Для оценки точности построенных ЦМР были сравнены высотные отметки ЦМР масштабов 1:100000, 1:200000 и SRTM в точках измерений GPS. Так как для ЦМР масштаба 1:50000 было всего одно измерение GPS, сравнение ЦМР карты 1:50000 с данными GPS не проводилось. Во-первых, были сравнены отметки всех ЦМР с данными измерений GPS, а также ЦМР топокарт с ЦМР SRTM. Были также сравнены уклоны и экспозиции склонов ЦМР масштабов 1:50000, 1:100000 и 1:200000 с данными SRTM.

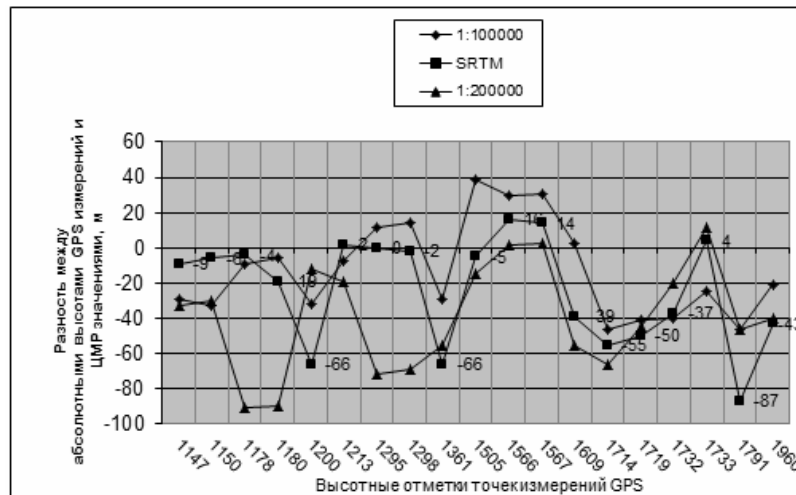


Рис. 2. Отклонения высот SRTM и ЦМР м-бов 1:100000 и 1:200000 от GPS измерений.

Сравнительные данные GPS измерений и ЦМР значений показаны на рис. 2, где на оси абсцисс отложены абсолютные высоты в точках GPS измерений, а на оси ординат – разности значений высот в данной точке между GPS измерениями и значениями ЦМР м-ба 1:200000, 1:100000 и SRTM. Из сравниваемых ЦМР, наименее отклоняются от GPS измерений данные SRTM (12 из 19 точек измерений для м-ба 1:200000 и 11 из 19 для м-ба 1:100000). В то же время стандартные отклонения SRTM по отношению к измерениям GPS не являются наименьшими. Так, для ЦМР м-ба 1:200000 и SRTM они составляют 30, а для ЦМР м-ба 1:100000 - 27. Высокая величина среднеквадратического отклонения объясняется резким расхождением значений высот на отметках 1200, 1361, и 1791 м (рис. 3).

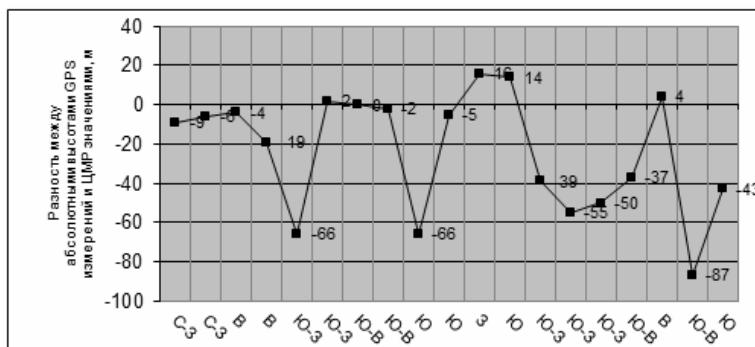


Рис. 3. Распределение разностей GPS измерений и SRTM значений на карте экспозиций

Дальнейшее рассмотрение карты экспозиций показало, что эти точки расположены на южных склонах, где отклонение антенны спутника SRTM от вертикали достигает 59° , что приводит к возрастанию ошибки сканирования поверхности земли (Farr et al., 2007). При исключении SRTM значений на южных склонах стандартное отклонение снижается до 19, т. е. имеет наименьшее отклонение по отношению к GPS измерениям.

Сравнение ЦМР высот, уклонов и экспозиций топокарт и SRTM

Для указанного в заглавии сравнения выполнено пространственное вычитание значений высот ЦМР топографических карт из значений высот SRTM. В итоге получена карта разностей (табл.) и вычислены параметры статистического распределения разностей высот.

Таблица

Статистические параметры карты разностей высот ЦМР топокарт и SRTM

	Масштаб 1:50000	Масштаб 1:100000	Масштаб 1:200000
Минимальное значение	-121	-172	-285
Максимальное значение	124	143	207
Среднее значение	-0.58	-1.81	3.47
Стандартное отклонение	30	21	43

Из всех построенных карт разностей наименьшее стандартное отклонение и коэффициент вариации (табл.) имеет карта ЦМР масштаба 1:100000, что свидетельствует о том, что эта ЦМР имеет самые близкие значения к SRTM. Об этом также свидетельствует гистограмма разностей высот ЦМР (рис. 4), которая была составлена путем группировки значений карт разностей ЦМР до -40 м, от -40 до 40 м и выше 40 м. Величины от -40 до 40 м, (которые являются интервалом изолиний самых мелких из исследуемых топокарт), были приняты в качестве допустимого диапазона колебаний значений. В случае с 1:100000 масштабом суммарный процент значений, находящихся в допустимых пределах, составляет 93.6%, между тем как для топографической карты м-ба 1:50000 он составляет 83.7%, а для 1:200000 – 69.5%.

Указанным выше способом была построена карта и гистограмма распределения разностей уклонов ЦМР топокарт и SRTM (рис. 5). Значения в интервале от -3° до 3° можно считать практически совпадающими.

В этом интервале наибольшее число значений имеет ЦМР м-ба 1:100000, а наименьшее число значений – ЦМР м-ба 1:200000. Таким образом, по совпадению величин уклонов ЦМР м-ба 1:000000 является самой близкой к SRTM.

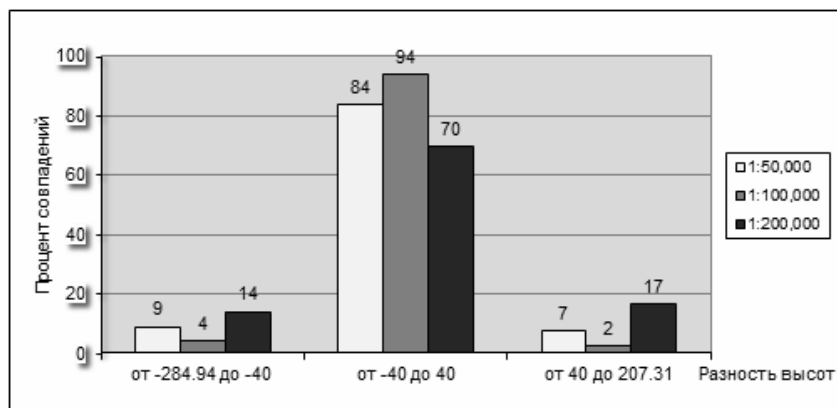


Рис. 4. Разность высот ЦМР топографических карт и SRTM

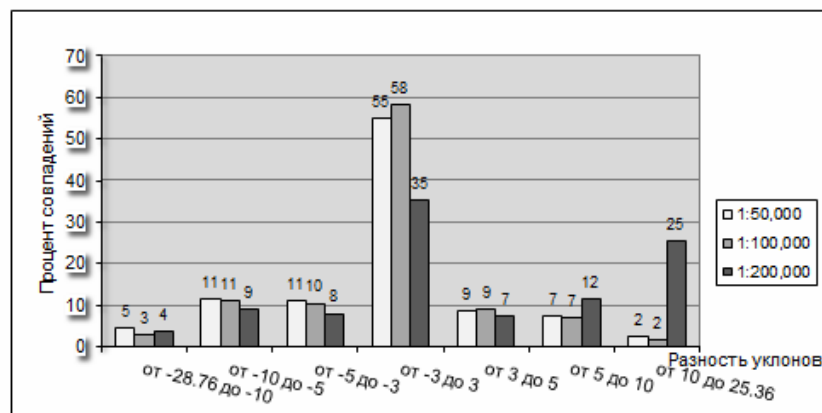


Рис. 5. Разность уклонов ЦМР топографических карт и SRTM

Для сравнения ЦМР топокарт и SRTM рассмотрены также экспозиции склонов. На спайдер-диаграмме нанесено число грид ячеек с совпадающими значениями в процентах от их общего числа.

Спайдер-диаграмма (рис. 6

Рис. 6) показывает, что наиболее близки экспозиции склонов ЦМР м-ба 1:100000 и SRTM. Наиболее совпадают западные экспозиции - 65%, а на юго-восточных склонах это соотношение составляет около 60%. Менее совпадают экспозиции ЦМР м-ба 1:50000, совпадения значений меньше, но в принципе та же тенденция, что и в случае с ЦМР м-ба 1:100000 –

самые большие совпадения на западных склонах, а самые меньшие – на юго-восточных склонах. Иная картина в случае с ЦМР м-ба 1:200000. Здесь максимальный процент совпадений приходится на южные склоны (около 45%), а меньший – на северо-восточные склоны (около 40%).

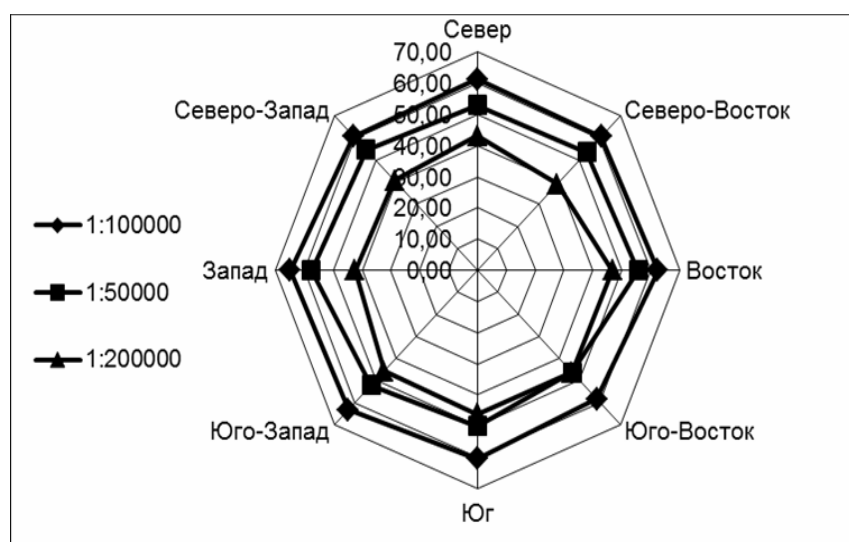


Рис. 6. Диаграмма совпадающих экспозиций (в %) ЦМР топокарт и SRTM

Заключение

Сравнительный анализ показал, что наиболее близкими к SRTM значениями являются цифровые модели высот, уклонов и экспозиций, полученные с топокарт м-ба 1:100000. Этот факт дает основание считать, что данные SRTM можно использовать для геологического и геоморфологического картирования м-ба 1:100000. При этом значения ЦМР топокарт 1:200000 имели наибольшее отклонение от ЦМР SRTM (стандартное отклонение – 43 м), а стандартное отклонение ЦМР топокарт 1:50000 составило 30 м.

Сравнение величин ЦМР топокарт и SRTM с измерениями GPS в опорных точках показало, что стандартные отклонения ЦМР м-ба 1:200000 и SRTM составляют 30 м, а ЦМР м-ба 1:100000 – 27 м, т.е. пространственная точность топокарт м-ба 1:100000 выше. Высокое стандартное отклонение SRTM данных от GPS значений объясняется резким отклонением некоторых значений на ЦМР SRTM. Наложение этих точек на карте экспозиций показало, что они находятся на южных склонах.

ЛИТЕРАТУРА

- Bliss, N.B.; Olsen, L.M., 1996. Development of a 30-arc-second digital elevation model of South America. In: Pecora Thirteen Symposium, Human Interactions with the Environment - Perspectives from Space, August 20-22, 1996, Sioux Falls, South Dakota, USA. Available in: <http://edcdaac.usgs.gov/GTOPO30/papers/olsen.asp>
- Farr, T. et al, 2007, The Shuttle Radar Topography Mission, Reviews of Geophysics, Vol. 45, p. 33
- Favallia, M; Innocenti, F; Pareschia, M. T.; Pasquarè, G.; Mazzarinia, F.; Brancad, S.; Cavarraa, L.; Tibaldi, A.; The DEM of Mt. Etna: Geomorphological and structural implications, Geodinamica Acta, Volume 12, Issue 5, 1999, pp. 279–290
- Font, M; Amorese, D; Lagarde, J-L., DEM and GIS analysis of the stream gradient index to evaluate effects of tectonics: The Normandy intraplate area (NW France), Geomorphology, Volume 119, Issues 3–4, 2010, pp. 172–180
- Hutchinson, M.F., A new procedure for gridding elevation and stream line data with automatic removal of spurious pits. *Journal of Hydrology*, 106 (1989), pp.211-232.
- Maune, D.F., Kopp, S.M., Crawford, C.A. & Zervas, C.E., 2007, Introduction, 2nd edn, Digital Elevation Model Technologies and Applications: The DEM Users Manual, American Society for Photogrammetry and Remote Sensing, Maryland.
- Moore, I. D.; Grayson, R. B.; Ladson, A. R., 1991. Digital terrain modelling: A review of hydrological, geomorphological, and biological applications. *Hydrological Processes* 5(1):3-30.
- Mulligan, M., 2003. Modelling catchment hydrology. In: Wainwright, J.; Mulligan, M. (eds.). Environmental modelling: Finding the simplicity in complexity. Wiley, GB. p. 107-121
- Thurmonda, J. B.; Drzewieckib, P.A; Xua X., Building simple multiscale visualizations of outcrop geology using virtual reality modeling language (VRML), Computers & Geosciences, Volume 31, Issue 7, 2005, pp. 913–919

Рецензенты **Х. Б. Меликсетян**

Д. Г. Аракелян

1:50000, 1:100000 եւ 1:200000 Մ-ԲԻ ՏՈՂՈՔՐԱՖԻԱԿԱՆ ՔԱՐՏԵԶՆԵՐԻՑ ՍՏԱՅՎԱԾ ՌԵԼԻԵՖԻ ԹՎԱՅԻՆ ՍՈՂԵԼՆԵՐԻ (ՌԹՄ) ՀԱՄԵՄԱՏՈՒՄԸ SRTM ՌԹՄ ՀԵՏ

Հ.Հ. Երիցյան

Ամփոփում

Հոդվածում բերված են 1:200000, 1:100000, 1:50000 և SRTM ռելիեֆի թվային մոդելների (ՌԹՄ) համեմատական վերլուծության արդյունքներն այդ տվյալների ճշգրտության գնահատման նպատակով: Համեմատական վերլուծությունն իրականացվել է տոպոքարտեզների և SRTM ՌԹՄ-ների (բարձրությունների, լանջերի թեքությունների, կողմնադրությունների) զույգերի համեմատության միջոցով: Հետազոտությունները զույգ տվեզին, որ SRTM ՌԹՄ իր ճշգրտությամբ ավելի մոտ է 1:100000 մ-բի տոպոքարտեզներից ստացված ՌԹՄ-ին և կարող է օգտագործվել այդ մ-բի քարտեզների կառուցման համար:

COMPARISON OF THE DEMS GENERATED FROM 1:50000, 1:100000 AND 1:200000 TOPO-MAPS WITH THE SRTM DEM DATA

H.H. Yeritsian

Abstract

The article discusses results of the comparative analysis of the DEMs generated from 1:200,000, 1:100,000, 1:50,000 topo-maps and the SRTM data carried out for the purposes of accuracy assessment. The analysis was performed pair-wise, by comparing the topo-map DEMs (elevations, slope gradients, exposures) with the SRTM DEM data. The research has shown that by its accuracy the SRTM DEM best matches the DEM derived from 1:100,000 scale topo-maps and can be applied for development of maps at this scale.