



О построении цифровой модели рельефа горного участка по ГНСС-измерениям

Э.Р. Мирмахмудов¹✉, Б.Ш. Тошенов¹,
М.Г. Тастемирова¹, М.А. Казахбаева¹

АФФИЛИАЦИИ

¹ Национальный университет Узбекистана, Ташкент, Узбекистан
✉ erkin_mir@mail.ru

ЦИТИРОВАНИЕ

Мирмахмудов Э.Р., Тошенов Б.Ш., Тастемирова М.Г., Казахбаева М.А. О построении цифровой модели рельефа горного участка по ГНСС-измерениям // Пространственные данные: наука и технологии. 2024. Т. 15. № 3. С. 43–55. DOI:10.30533/scidata-2024-15-14.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

цифровая модель рельефа, геоинформационная система, государственная геодезическая сеть, ГНСС, CATS, DOP, SRTM

АННОТАЦИЯ

В данной работе приведена методика построения цифровой модели рельефа (ЦМР) холмистой местности Ташкентской области Республики Узбекистан. В качестве объекта исследования выбрана Ангрено-Алмалыкская промышленная зона, где установлены реперы Центрально-Азиатской тектонической сети. Детально описана топографическая съемка небольшого участка горного массива с ГНСС-приемником Trimble R4-3. Получены более 300 пикетных точек с прямоугольными координатами в окрестности базового приемника, установленного на пункте ALMA CATS. На изображении Google Earth зафиксированы номера пикетных точек в окрестности исследуемого участка. По результатам измерений создана пространственная ЦМР в геоинформационной системе «Панорама».

Произведен сравнительный анализ ЦМР по SRTM-данным, топографической карте и спутниковым навигационным измерениям. Построены вертикальные профили ЦМР между двумя условными точками, расположенными на разных вершинах холмов. Результаты ГНСС-измерений более корректно отражают геометрическую форму местности по сравнению с другими методами построения ЦМР. Доказывается, что при ГНСС-съемке холмистой местности более приемлем режим кинематики реального времени (Real Time Kinematic). Даны рекомендации по использованию ЦМР в строительных работах на границах сопредельных республик.

1 Введение

Горные районы составляют почти четвертую часть от общей площади Республики Узбекистан [1]. Точных данных о площади Узбекистана до сих пор нет из-за приближенного метода расчета, недостаточности полевых измерений и отсутствия детальной аэрофотосъемки. Разумеется, если при определении площади учитывать рельеф, то численное значение будет отличаться от справочной информации, которая получена классическим способом. Это означает, что численное значение площади нужно уточнить, используя современные цифровые технологии и спутниковые навигационные измерения. Целесообразность применения навигационных приемников обуславливается универсальностью обработки и повышением точности координат определяемых пунктов.

В последние годы межреспубликанской комиссией [2] произведены демаркационные работы на границах между Узбекистаном и сопредельными республиками, где расположены основные объекты и сооружения. Выполнение топографических работ в этих местах затруднено сложностью рельефа и отсутствием дорожной инфраструктуры. Топографические измерения должны опираться на пункты государственной геодезической сети (ГГС), координаты которых были определены на основе триангуляции и нивелирования¹. Использование высокоточных инструментов играет важную роль при проектировании опорной геодезической сети (ОГС), которая является фундаментальной основой построения сетей сгущения. Разумеется, перед проведением полевых работ рекомендуется произвести рекогносцировку местности и пунктов ГГС². Предварительное изучение местности и рельефа по картам является основным этапом планирования и топографо-геодезического обеспечения. В таких местах необходимо использовать крупномасштабные топографические карты. Поскольку

¹ ГКИНП-02-033-82. Инструкция по топографической съемке в масштабах 1 : 5000, 1 : 2000, 1 : 1000, 1 : 500. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://base.garant.ru/70369280> (дата обращения: 15.06.2024).

² Яковлев Н.В. Высшая геодезия: учебник для вузов. М.: Недра, 1989. 445 с.

местность является холмистой, то оптимальным методом определения высот точек является тригонометрическое нивелирование с помощью электронно-оптического тахеометра [3]. Это очень важно при проведении кадастровых работ и гидрологических измерений вдоль линейных сооружений, расположенных на границах нескольких государств (рис. 1, 2).

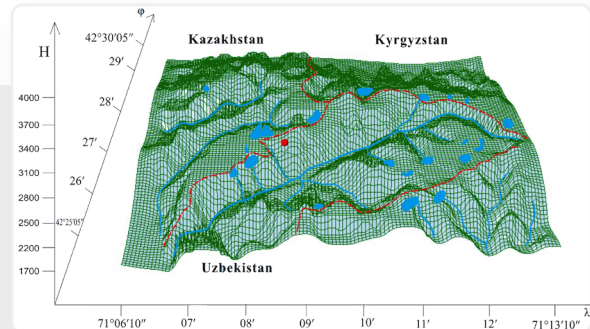
Рис. 1 Фрагмент топографической карты

Fig. 1 Fragment of a topographic map



Рис. 2 Фрагмент пространственной модели

Fig. 2 Fragment of a spatial model



Для решения вышеописанных проблем следует учесть геодезические работы корпуса военных топографов бывшего Туркестанского военного округа³, которые были первыми исследователями в области топографии и картографии. Географические исследования производились военными топографами и специалистами Ташкентской астрономической обсерватории (ТАО) с 1867 по 1919 год для картографирования и создания ОГС. Были получены уникальные результаты полевых геодезических и гравиметрических измерений территории Средней Азии, которые опубликованы в научных трудах и циркулярах⁴.

Целью данной работы является анализ построения цифровой модели рельефа (ЦМР) по SRTM, топографической карте и результатам ГНСС-измерений [4]. Достижению обозначенной цели служат следующие задачи:

- 1) рекогносцировка местности;
- 2) геодезическая съемка с GNSS Trimble R4-3;
- 3) вычисление координат;
- 4) построение ЦМР и вертикального профиля рельефа местности.

³ Полный каталог астрономических пунктов Туркестанского военного округа и прилегающих к нему земель / сост. П.К. Залесский. 2-е изд. Ташкент: Туркестан. отд. Рус. имп. геогр. о-ва, 1914. 227 с.

⁴ Астрономическому институту АН УзССР 100 лет. Ташкент: Фан, 1973. 144 с.

2 Материалы и методы

В качестве тестирования были выбраны некоторые районы Ангрено-Алмалыкской промышленной зоны (рис. 3) и Таваксайского геодинамического полигона (рис. 4). Выбор этих районов связан с тем, что на территории данной зоны и полигона установлены три пункта Центрально-Азиатской тектонической сети (Central Asian Tectonic Science — CATS) специалистами Потсдамского центра наук о Земле (GeoForschungsZentrum) для исследования тектонических смещений микроплит. В процессе обработки вычислены точные значения широты, долготы и высоты (табл. 1) относительно общеземного эллипсоида WGS84⁵. Полученные значения координат служат математической основой для ЦМР в форматах 2D и 3D.

Рис. 3 Пункты Angr и Alma CATS

Fig. 3 Angr and Alma CATS points



Рис. 4 Схема пунктов ГГС

Fig. 4 Scheme of GGS points

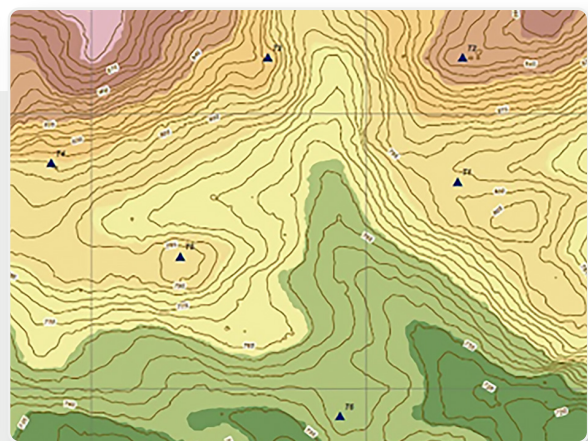


Таблица 1 Координаты пунктов

Table 1 Coordinates of points

Обозначение	B_{wgs84}	L_{wgs84}	X_{42}	Y_{42}	$H, м$
CICR	41°34'20".8	69°39'39".0	4 604 435,44	12 555 188,07	771,2
ALMA	40°49'42".9	69°43'49".0	4 521 870,11	12 561 673,58	737,9
ANGR	41°06'07".7	70°04'53".7	4 552 556,30	12 590 931,53	1 307,3

Не обязательно использовать конкретную уровенную поверхность, т. е. достаточно иметь любую поверхность, относительно которой можно вычислить

⁵ Department of Defense World Geodetic System 1984 – Its Definition and Relationship with local geodetic Systems, DMA TR 8350.2. 2nd ed. Washington, DC: Headquarters, Defence Mapping Agency, 1991. 170 p.

превышения между точками. Тем не менее, чтобы произвести анализ ЦМР, следует сравнить конфигурации изображения вертикального профиля [5, 6].

В 2018–2022 годах были определены предварительные координаты точек Центрально-Азиатской геодинамической сети с мобильным навигатором. После выполнения обследования местности и геодезических пунктов координаты были уточнены с приемником GNSS Trimble R4-3 [7]. Позже, в 2023 году, вновь произведены повторные измерения и вычисления координат с использованием стандартного программного обеспечения. В процессе ГНСС-съемки базовая станция была размещена на точке ALMA CATS, а ровер с ГНСС-приемником устанавливался в наиболее характерных местах исследуемого рельефа. Вся территория была покрыта 333 пикетами, координаты которых были вычислены по навигационным измерениям, выполненным в режиме реального времени (**рис. 5**). Первоначальным критерием точности навигационных измерений является значение геометрического фактора PDOP [8]. Значение PDOP варьировалось от 1,2 до 1,8, что говорит о хорошей конфигурации спутников. В процессе работы выяснилось, что установка ГНСС-приемника на пикетных точках является эффективной в тех местах, где имеются возвышенности и впадины.

Рис. 5 Схема ГНСС-точек вблизи пункта ALMA CATS

Fig. 5 GNSS points diagram near the ALMA CATS point



3 Результаты

Вычисление координат выполнено с помощью встроенных вычислительных модулей геоинформационной системы (ГИС). В современных ГИС имеется подпрограмма, которая автоматически сглаживает дискретные точки изолиний путем интерполяции, т. е. создается комбинированная модель для сложных рельефов⁶.

⁶ Лурье И.К. Геоинформационное картографирование. Методы геоинформатики и цифровой обработки космических снимков: учеб. пособие. М.: Изд-во КДУ, 2008. 424 с.

Такая модель наиболее пригодна для исследования труднодоступных районов, где можно учесть изменения поверхности и неровности.

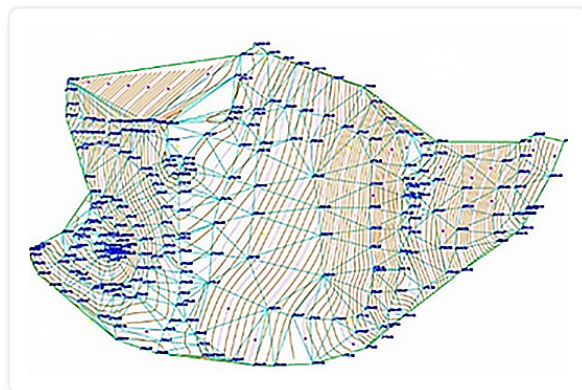
В последние годы стали использовать специальные программы, которые позволяют создавать пространственную ЦМР любого участка. В данной работе были построены ЦМР в равноугольной поперечно-цилиндрической проекции с помощью вышеуказанных ГИС. Современные системы создают модели в любой системе координат путем линейного преобразования. Эта методика является приближенной, если неизвестны углы разворота между системами координат.

Результаты навигационных измерений были обработаны в стандартном программном обеспечении ТВС, вычислены предварительные прямоугольные координаты, а также высоты пикетных точек. Произведено графическое построение ЦМР исследуемых поверхностей по координатам точек в программном обеспечении Credo (рис. 6), Surfer (рис. 7) и ГИС «Панорама» (рис. 8).

Рис. 6 ЦМР полигона Таваксай в 2D и 3D

Fig. 6 DEM of the Tavaksay polygon in 2D and 3D

2D



3D

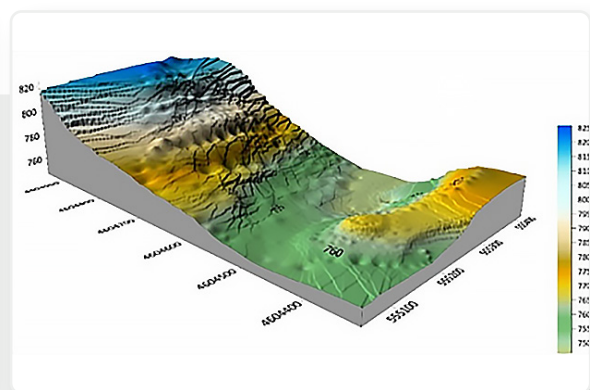


Рис. 7 ЦМР Сурхандарьинской области в Surfer

Fig. 7 DEM of Surkhandarya region in Surfer

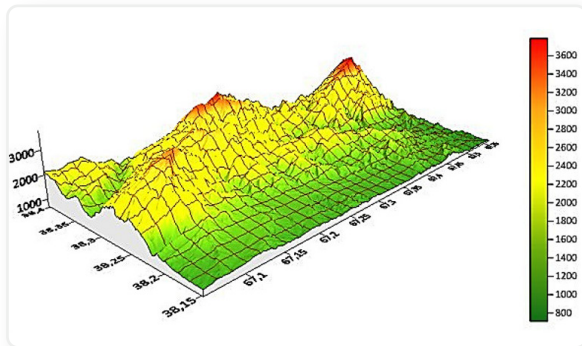
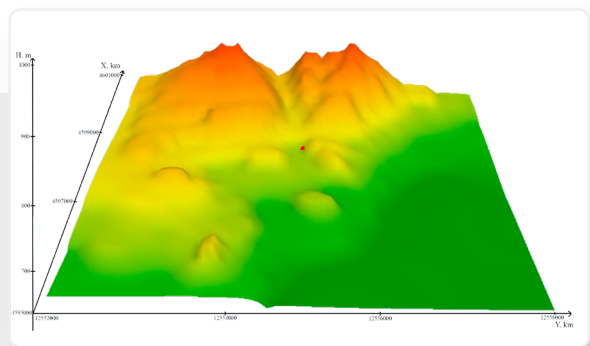


Рис. 8 ЦМР в ГИС «Панорама»

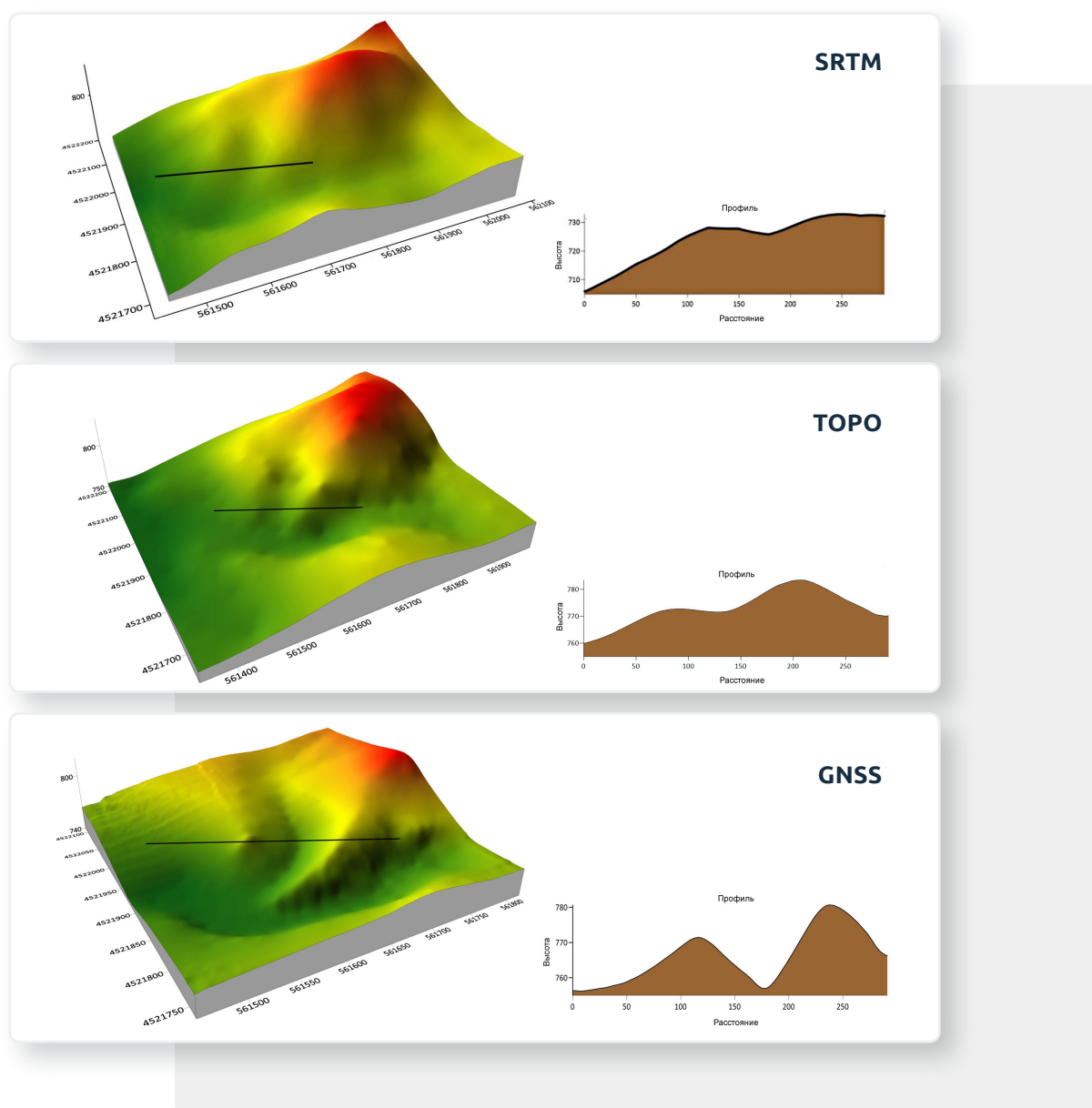
Fig. 8 DEM in GIS "Panorama"



Что касается анализа геометрической поверхности местности, то корректной интерпретацией является графическая модель, построенная комбинированным методом. В последние годы стали применять беспилотные летательные аппараты различной модификации и конструкции, а также лазерные сканеры. Не каждая организация или кафедра может приобрести цифровые сканеры из-за ограниченного финансирования. В связи с этим были использованы средства и методы, имеющиеся на кафедре геодезии и геоинформатики Национального университета Узбекистана. Построены три ЦМР горного участка вблизи города Алмалыка по данным SRTM, топографической карты и навигационным измерениям (рис. 9).

Рис. 9 ЦМР по данным SRTM, карты и ГНСС

Fig. 9 DEM based on SRTM data, maps and GNSS



4 Обсуждение

Из вышеописанного можно сделать вывод, что точность построения ЦМР зависит не только от крутизны рельефа местности и площади участка, но и от метода измерений [9]. При этом особое внимание необходимо уделять измерениям с ГНСС-приемником вдоль дорог, границ лесохозяйственных угодий и гидрологических объектов. Безусловно, в таких местах количество пикетных точек будет намного больше, чем в равнинной местности. Однако при проектировании дорожной трассы или линейных объектов полезно иметь вертикальный профиль с целью выработки оптимальных путей планирования строительных работ. Из рис. 9 видно, что построенный в ГИС «Панорама» рельеф представляет собой сглаженную кривую, полученную методом аппроксимации. Что касается профиля между двумя точками в ЦМР, то он наглядно отражает геометрию верхней части участка тремя методами.

5 Выводы

В данном исследовании предпринята первая попытка построить ЦМР небольшого участка горной местности Ташкентской области по результатам ГНСС-измерений. В процессе работы была выявлена целесообразность применения ГНСС-приемников в труднодоступных районах и на возвышенностях. Определение точных границ фермерских хозяйств и лесных угодий в холмистой местности с помощью цифровых технологий и геоинформационных систем приводит к оценке кадастровых карт. Более детальная привязка координат цифровой модели местности зависит от математической основы топографических карт и планов.

Таким образом, ЦМР является результатом полевых топографических, геодезических и аэрокосмических работ, а также использования геоинформационных технологий. Такая модель предоставляет вспомогательную информацию для планирования и контроля объема строительных и гидрологических работ [10].

БЛАГОДАРНОСТИ

Авторы выражают свою благодарность доктору философии по географическим наукам А.С. Рузиеву, соискателю Н.А. Муминовой и докторанту кафедры геодезии и геоинформатики Национального университета Узбекистана А.У. Нуратдинову за помощь, оказанную при оформлении текста статьи и выполнении навигационных измерений в горной местности.

БИБЛИОГРАФИЯ

1. Belolipov I.V., Zurov D.E., Eisenman S.W. The Geography, Climate and Vegetation of Uzbekistan // Medicinal Plants of Central Asia: Uzbekistan and Kyrgyzstan. S. Eisenman, D. Zurov, L. Struwe (eds). New York: Springer, 2013. P. 5–7.
2. Карабазов С.А. Совершенствование обеспечения топогеодезической и картографической информацией при делимитации и демаркации государственной границы: дис. ... д-ра философии по техническим наукам. Ташкент, 2022. 96 с.
3. Филатова А.И., Поздышева О.Н., Арутюнян А.О. Изучение процессов работы геодезического оборудования при строительстве дорог: монография. Тамбов: ООО «Консалтинговая компания Юком», 2017. 94 с.
4. Павлова А.И., Павлов А.В. Анализ методов коррекции цифровых моделей рельефа, построенных по спутниковым данным // Автометрия. 2018. Т. 54. № 5. С. 25–32. DOI:10.15372/AUT20180503.
5. Абдумуминов Б.О. Разработка ЦМР по топографическим картам (на примере Сурхандарьинской области): дис. ... д-ра философии по географическим наукам. Ташкент, 2023. 123 с.
6. Костин А.В. Цифровые модели рельефа (методы создания и направления использования) // Наука и техника в Якутии. 2011. Т. 1. № 20. С. 23–28.
7. Мирмахмудов Э.Р., Рузиев А.С., Тошенов Б.Ш. и др. Анализ точности расстояний между двумя пунктами в горной местности // Геодезия, картография и геоинформатика. 2024. № 1. С. 44–49.
8. Антонович К.М. Использование спутниковых радионавигационных систем в геодезии: в 2 т. М.: Картгеоцентр, 2005. Т. 1. 346 с.
9. Трофимов А.А. Оценка точности матрицы высот SRTM по материалам топографических съемок // Геопрофи. 2014. № 6. С. 13–17.
10. Энтин А.Л. Методы повышения достоверности ЦМР для гидрологического моделирования и картографирования: дис. ... канд. геогр. наук. М., 2019. 106 с.

АВТОРЫ

Мирмахмудов Эркин Рахимжанович

Национальный университет Узбекистана, Ташкент, Узбекистан
кафедра геодезии и геоинформатики, факультет географии и ГИС
д-р геогр. наук, доцент

 0000-0002-2389-6773

Тошенов Бекзод Шермамат угли

Национальный университет Узбекистана, Ташкент, Узбекистан
кафедра геодезии и геоинформатики, факультет географии и ГИС
преподаватель

Тастемирова Мунира Галиевна

Национальный университет Узбекистана, Ташкент, Узбекистан
кафедра геодезии и геоинформатики, факультет географии и ГИС
магистрант

Казахбаева Мехрибан Ауесбай кизи

Национальный университет Узбекистана, Ташкент, Узбекистан
кафедра геодезии и геоинформатики, факультет географии и ГИС
магистрант

Поступила 30.06.2024. Принята к публикации 20.09.2024. Опубликовано 27.09.2024.

UDC 528.7

DOI:10.30533/scidata-2024-15-14



On the consruction of a mountain area dem based on the GNSS measurement

Erkin R. Mirmakhmudov¹✉, Bekzod Sh. Toshonov¹,
Munira G. Tastemirova¹, Mekhriban A. Kazakhbaeva¹

AFFILIATIONS

¹ National University of Uzbekistan, Tashkent, Uzbekistan

✉ erkin_mir@mail.ru

CITATION

Mirmakhmudov E.R., Toshonov B.Sh., Tastemirova M.G., Kazakhbaeva M.A. On the consruction of a mountain area dem based on the GNSS measurement. *Spatial Data: science, research and technology*. 2024;15(3): 43–55. DOI:10.30533/scidata-2024-15-14.

KEYWORDS

digital elevation model, geographic information system, state geodetic networks, CATS, GNSS, DOP, SRTM

ABSTRACT

This paper presents a methodology for constructing a digital elevation model (DEM) of the hilly terrain of the Tashkent region, Uzbekistan. The Angren and Almalyk industrial zone, where the benchmarks of the Central Asian Tectonic Network were installed, was chosen as the object of study. The topographical survey of a small section of a mountain range with a global satellite navigation receiver GNSS Trimble R4-3 is presented in detail. More than 300 picket points with rectangular coordinates were obtained in the vicinity of the base receiver installed at the ALMA CATS benchmark. The Google Earth image shows the numbers of picket points

in the vicinity of the study area. A digital relief model was created in the GIS “Panorama” based on measurement results. A comparative analysis of the DEM was carried out using SRTM data, topographic map and satellite navigation measurements. Vertical DEM profiles were constructed between two conventional points located on different hilltops. It has been proven that the results of GNSS measurements more accurately reflect the geometric shape of the terrain compared to other methods. It is proven that real time kinematic (RTK) is considered more suitable for GNSS surveying of hilly terrain. Recommendations are given for the use of DEMs during construction work on the borders of neighboring republics.

ACKNOWLEDGEMENTS

The authors express their gratitude to PhD in Geography A.S. Ruziev, applicant N.A. Muminova and doctoral student A.U. Nuratdinov of the Mirzo Ulugbek National University of Uzbekistan for their assistance in preparing the text of the article and performing navigation measurements in mountainous areas.

REFERENCES

1. Belolipov IV, Zaurov DE, Eisenman SW. The Geography, Climate and Vegetation of Uzbekistan. *Medicinal Plants of Central Asia: Uzbekistan and Kyrgyzstan*. Eisenman S, Zaurov D, Struwe L (eds). New York: Springer; 2013: 5–7.
2. Karabazov SA. *Sovershenstvovaniye obespecheniya topogeodezicheskoy i kartograficheskoy informatsiyey pri delimitatsii i demarkatsii gosudarstvennoy granitsy* [Improving the provision of topogeodetic and cartographic information during the delimitation and demarcation of the state border] [dissertation]. Tashkent; 2022. 96 p. (In Russian).
3. Filatova AI, Pozdysheva ON, Arutyunyan AO. *Izucheniye protsessov raboty geodezicheskogo oborudovaniya pri stroitel'stve dorog* [Study of the processes of operation of geodetic equipment during road construction] [monograph]. Tambov: Consulting company Ucom; 2017. 94 p. (In Russian).
4. Pavlova AI, Pavlov AV. Analiz metodov korrektsii tsifrovyykh modeley rel'yefa, postroyennykh po sputnikovym dannym [Analysis of methods for correcting digital elevation models constructed from satellite data]. *Avtometriya*. 2018;54(5): 25–32. (In Russian). DOI:10.15372/AUT20180503.
5. Abdumuminov BO. *Razrabotka DEM po topograficheskim kartam (na primere Surkhandar'inskoy oblasti)* [Development of DEM on topographic maps (Surkhandarya region)] [dissertation]. Tashkent; 2023. 123 p. (In Russian).
6. Kostin AV. Tsifrovyye modeli rel'yefa (metody sozdaniya i napravleniya ispol'zovaniya) [Digital terrain models (methods of creation and directions of use)]. *Science and technology in Yakutia*. 2011;1(20): 23–28. (In Russian).
7. Mirmakhmudov ER, Ruziyev AS, Toshonov BSh, et al. Analiz tochnosti rasstoyaniy mezhdu dvumya punktami v gornoy mestnosti [Analysis of the accuracy

- of distances between two points in mountainous terrain]. *Geodesy, cartography and geoinformatics*. 2024;1: 44–49. (In Russian).
8. Antonovich KM. *Ispol'zovaniye sputnikovyykh radionavigatsionnykh sistem v geodezii* [Use of satellite radio navigation systems in geodesy]. In 2 v. Vol. 1. Moscow: Kartgeotsentr; 2005. 346 p. (In Russian).
 9. Trofimov AA. *Otsenka tochnosti matritsy vysot SRTM po materialam topograficheskikh s'yemok* [Evaluation of the accuracy of the SRTM height matrix based on topographic survey data]. *Geoprofi*. 2014;6: 13–17. (In Russian).
 10. Entin AL. *Metody povysheniya dostovernosti TSMR dlya gidrologicheskogo modelirovaniya i kartografirovaniya* [Methods for increasing the reliability of DEM for hydrological modeling and mapping] [dissertation]. Moscow; 2019. 106 p. (In Russian).

AUTHORS

Erkin R. Mirmakhmudov

National University of Uzbekistan, Tashkent, Uzbekistan
Department of Geodesy and Geoinformatics,
Faculty of Geography and Geoinformation Systems
Dr. of Sci. (Geography), Associate Professor
 0000-0002-2389-6773

Beksod Sh. Toshonov

National University of Uzbekistan, Tashkent, Uzbekistan
Department of Geodesy and Geoinformatics,
Faculty of Geography and Geoinformation Systems

Munira G. Tastemirova

National University of Uzbekistan, Tashkent, Uzbekistan
Department of Geodesy and Geoinformatics,
Faculty of Geography and Geoinformation Systems

Mexriban A. Kazakhbaeva

National University of Uzbekistan, Tashkent, Uzbekistan
Department of Geodesy and Geoinformatics,
Faculty of Geography and Geoinformation Systems

Submitted: June 30, 2024. Accepted: September 20, 2024. Published: September 27, 2024.