

*Э. Р. Мирмахмудов<sup>1\*</sup>, М. Г. Тастемирова<sup>1</sup>*

## **Об исходных данных цифровой модели рельефа города Ташкента**

<sup>1</sup>Национальный университет Узбекистана, г. Ташкент,  
Республика Узбекистан  
\*e-mail: erkin\_mir@mail.ru

**Аннотация.** В данной работе описаны параметры и точности исходных данных для создания цифровой модели рельефа (ЦМР) города Ташкента классическими и спутниковыми методами. Приведены топографо-геодезические работы, которые были редуцированы к Ташкентской системе координат. Изложены элементы математической основе топографических карт, которые являются фундаментом всех инженерно-строительных и кадастровых работ. Подчеркивается роль геоинформационных и цифровых технологий в процессе построения модели рельефа. Разработана геометрическая сетка для вычисления координат и превышений по стандартной программе. Построена ЦМР города с помощью программного обеспечения SURFER по результатам SRTM. Предлагается использовать БПЛА и наземное лазерное сканирование при построении более точной ЦМР.

**Ключевые слова:** ЦМР, ГИС, топографическая карта

*E. R. Mirmakhmudov<sup>1\*</sup>, M. G. Tastemirova<sup>1</sup>*

## **About the initial data of the digital elevation model of Tashkent city**

<sup>1</sup>National University of Uzbekistan, Tashkent,  
Republic of Uzbekistan  
\*e-mail: erkin\_mir@mail.ru

**Abstract.** This paper describes the parameters and accuracy of the initial data for creating a digital elevation model (DEM) of Tashkent city by classical and satellite methods. Topographic and geodetic works are given, which were reduced to the Tashkent coordinate system. The elements of the mathematical basis of topographic maps, which are the foundation of all engineering and construction and cadastral works, are outlined. The role of geoinformation and digital technologies in the process of building a relief model is emphasized. A geometric grid has been developed for calculating coordinates and elevations using a standard program. A DEM was built using the SURFER software based on the results of SRTM. It is proposed to use UAVs and terrestrial laser scanning when building a more accurate DEM.

**Keywords:** DEM, GIS, topographic map

### ***Введение***

Быстрый рост популяции и существенные реформы в градостроительстве Ташкента привели к изменению не только городской инфраструктуры, но и к пересмотру территории с точки зрения географического положения и топографо-геодезического обеспечения. В первую очередь, это изменение границы города, а также физико-географические характеристики, которые должны быть уточ-

нены на основе статистических данных и компьютерного моделирования с помощью геоинформационных технологий. При этом следует обратить внимание на геометрические параметры изменений, которые являются одними из важных компонентов математической основы топографических карт и планов крупного масштаба [12]. Эти карты были составлены по измерениям с помощью оптических теодолитов и нивелиров в системе принятого референц-эллипсоида и относительно уровенной поверхности. На основе их разрабатывались тематические карты и планы с учетом изменения численности населения и расширения границы города на определенном интервале времени. В настоящее время этот промежуток сократился из-за реформирования инженерно-строительных работ, что приходится прибегать к современным методам получения информации. А кадастровая и маркшейдерская съемка стала популярной и перспективной в связи со строительством подземных и надземных сооружений с помощью лазерного сканирования.

В последнее время стали использовать мобильные беспилотные летательные аппараты, которые автоматически строят ЦМР [16]. Однако, созданные ЦМР получены относительно среднего уровня моря (MSL), а высоты на топографических картах и планах получены в балтийской системе высот (БСВ), привязанная к мареографу Кронштадского футштока. В связи с этим возникает проблема перехода от одной уровенной поверхности к другой путем математического преобразования, учитывая уклонения отвеса от нормали или же использовать местную систему высот. Например, система высот Париийского используется в городских полигонометрических ходах города Ташкента. Следует отметить, что топографическая съемка крупных городов Республики Узбекистан была редуцирована к местной системе координат СК63, которая отличается от традиционной системы СК42 определенным сдвигом по осям координат и наклоном. Необходимо произвести несколько этапов преобразований координат с помощью стандартных алгоритмов или же вычислительных программ, составленных ведущими топографо-геодезическими центрами [17]. Самой сложной в этом вопросе является высотная составляющая, полученная геометрическим или же тригонометрическим нивелированием относительно уровенной поверхности геоида. Ниже на рисунке 1 приведена общая схема перевода координат из одной системы в другую, например в местную.

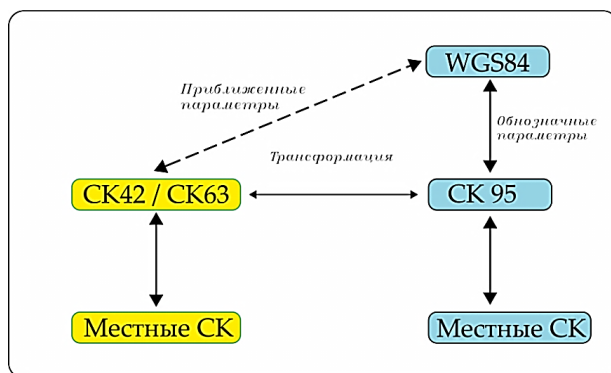


Рис. 1. Схема трансформации в местную систему координат

Поскольку Ташкент является столицей Республики Узбекистан, где бурно меняется система конфигурации объектов и сооружений, то нами была предпринята попытка произвести анализ исходных данных для построения ЦМР с помощью различных методов и графических документов, опубликованных в открытой печати. Разработка цифровой модели геоида является задачей не простой, т.к. должны быть учтены основные элементы математической основы топографических карт и материалы топографо-геодезического обеспечения. Наиболее простым и доступным источником информации является топографическая карта различного масштаба. Что касается математической основы в виде прямоугольных координат и высот, то их можно получить в специальном архиве.

Первая топографическая карта города Ташкента была составлена в конце XIX века сотрудниками ташкентской астрономической обсерватории и офицерами военно-топографического отдела Туркестанского военного округа. Была разработана локальная модель геоида Ферганской долины по результатам геодезических измерений, выполненных Померанцевым И.И. [5,14] Все геодезические работы были редуцированы к референц-эллипсоиду Бесселя. В 1940 году был разработан новый референц-эллипсоид Красовского и введена система координат СК42. Параллельно велись гравиметрические измерения с целью определения отклонения отвеса от нормали к эллипсоиду. С 1940 по 1980 годы проводились измерения планово-высотного обоснования методами триангуляции и нивелирования для картографирования территории и составления топографических карт масштаба 1 : 50 000 и 1:100 000. Аэрогеодезическим предприятием создавались карты масштабов 1:5 000 - 1:25 000. До 1977 года на топографических картах были приведены ортометрические высоты пунктов триангуляции и реперов нивелирования, которые отсчитывались относительно геоида [9]. В качестве математической основы использовался и до сих пор используется прямоугольная поперечно-цилиндрическая (конформная) проекция Гаусса-Крюгера. Данные о координатах пунктов триангуляции хранятся в специальном архиве государственного геодезического надзора. Тем не менее, прямоугольные геодезические координаты и нормальные высоты составляют фундаментальную основу всех инженерно-изыскательских и строительных работ, выполняемых в Республике Узбекистан. Закрепленные геодезические пункты в виде деревянных (металлических) пирамид и реперов используют в качестве исходных или опорных точек при проведении городской полигонометрии и тахеометрической съемки [2,3]. В зависимости от высоты и конструкции знака, а также конфигурации геодезической сети, придается соответствующий номер класса триангуляции и нивелирования. Эти пункты нанесены на топографическую карту, хотя некоторые уже деформировались или отсутствуют на местности. Например, в Ташкенте установлены и используются 4 пункта триангуляции I-II класса и 80 реперов нивелирования I-II класса. Выполнено переуравнивание геодезической сети в Ташкентской системе координат. Позже стали использовать систему СК63 и СК42 (рис.2) с целью составления топографических карт крупного масштаба, которые были исходным материалом для издания карт среднего и мелкого масштабов [10].

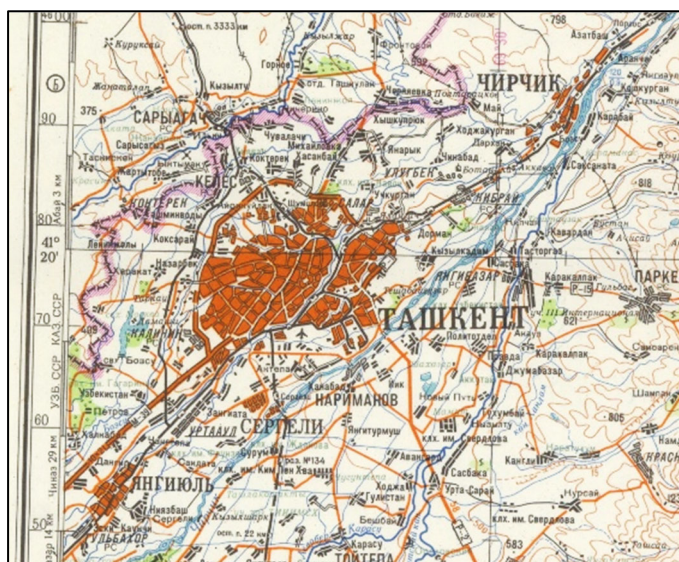


Рис. 2. Фрагмент топографической карты

Поскольку появились современные навигационные спутниковые приемники, которые позволяют определять координаты с высокой точностью в системе WGS84, то координаты традиционных сигналов и пирамид остаются востребованными для ориентирования и связи параметров между двумя системам координат [1].

С внедрением цифровых технологий и геоинформационных систем появилась возможность геометрически строить модель рельефа в двух или трехмерном формате и более точно определять величину отклонения геоида от эллипсоида. Для этой цели целесообразнее использовать топографическую карту крупного масштаба и спутниковые данные на исследуемую территорию [4,11]. Но ГНСС измерения в городских условиях получаются менее точными, чем тахеометрическая съемка, т.к. здания и сооружения создают помехи при приеме сигналов со спутников. В таких случаях самым оптимальным является тахеометрическая съемка или наземное лазерное сканирование.

### *Методика и материалы*

Детальные геодезические измерения были произведены специалистами отдела геодинамики Ташкентского аэрогеодезического предприятия под руководством Ройзмана А.П. на интервале с 1966 по 2000г. Хотя основной целью этих работ было выявление параметров смещений координат геодезических пунктов и контрольных точек нивелирного хода (рис.3), тем не менее, результаты вычислений можно использовать для оценки параметров преобразования координат и редактирования карт. Для составления карт были использованы измерения, выполненные в 1992-1993 и 2000-2002 годах. Практически вся описываемая территория характеризуется незначительным опусканием и достигает величины 2 мм в год. Более подробно об этих исследованиях приведены в материалах конференций и научных статьях [6].

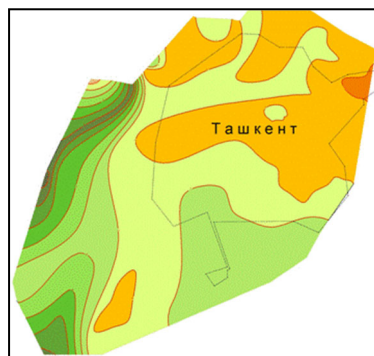


Рис. 3. Карта вертикальных движений Ташкента

Использование GNSS приемников стал популярным и мобильным, что иногда организаторы забывают об основных требованиях к геодезическим измерениям. Поэтому приходится искать пути оптимального решения проблемы, используя различные методы получения данных и оценки их при формировании цифровой модели геоида [13,15].

В качестве первичного проекта цифровой модели геоида были использованы стандартные программы национального агентства по изображению и разведке США. Вся территория Ташкента была покрыта сетью, где по координатам этих узлов вычислены скалярное значение геоидальной высоты относительно эллипсоида. При этом была принята гипотеза о минимальности отклонения отвеса от нормали, которая не сказывается на геометрической форме и конфигурации цифровой модели рельефа. Всего произведено вычисление отклонения для 284 узловых точек, расположенных с интервалом 1 минута по широте и долготе, т.к. рельеф города Ташкент почти пологий с незначительным уклоном в южном направлении и не имеет крутых склонов, впадин. Полученные координаты и высоты представляют первичные данные для оценки визуализации ЦМР и расчета оптимального проектирования зданий и сооружений.

Параллельно были использованы данные Google Earth [18], с помощью которых получены координаты и высоты поверхности Ташкента в общеземной геодезической системе координат WGS84. Для этой цели вся территория города была разделена на пикеты с интервалом одна минута дуги. Всего нанесено 315 точек, координаты которых были представляю широту, долготу и высоту. Ниже на рисунке 4 приведена схема расположения пикетов на поверхности города, полученной с помощью программного обеспечения Google Earth.

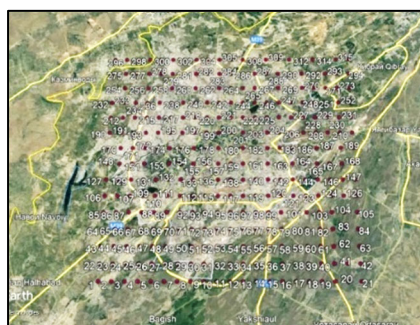


Рис. 4. Схема расположения пикетов

## *Результаты*

Самый быстрым и оперативным способом построения ЦМР является использование данных SRTM, но из-за ограничения точности по координатам, можно построить цифровую модель в первом приближении [7,8]. Для более точного представления пространственной модели следует увеличить метрическое разрешение пикселей на порядок и более. В первую очередь, точность вертикальной составляющей должна быть на уровне 10-15 см, т.к. изменение высот поверхности города составляет 20-30м. На рисунке 5 представлено пространственное изображение ЦМР по данным SRTM, где по осям отложены долготы, широты и высоты.

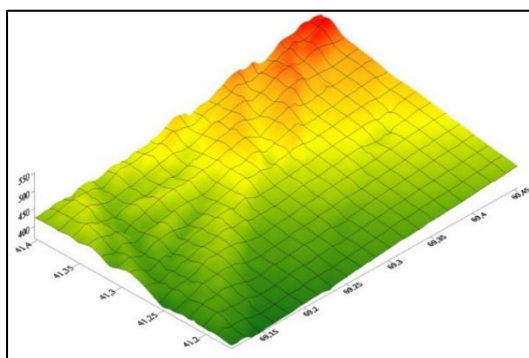


Рис. 5. Цифровая модель рельефа Ташкента

Из рисунка 5 видно, что территория Ташкента имеет возвышение в северо-восточном направлении. Самый пологий рельеф получается для Чиланзарского района. Возвышенности начинаются в направлении г. Чирчик и Ходжикента. Высоты горизонталей на топографических картах подтверждают вывод о постепенном возвышении в северо-восточном направлении.

## *Обсуждение*

Созданная цифровая модель рельефа города Ташкента, построенная с использованием современных геоинформационных систем и цифровых технологий, является предварительной и приближенной. В настоящее время специалисты аэрогеодезического предприятия Республики Узбекистан также начали работу по созданию цифровой модели поверхности города Ташкента. Использование ГНСС измерений и цифровых нивелиров позволит уточнить существующие пункты триангуляции и полигонометрии. К сожалению, до сих пор не разработаны цифровые топографические карты и пространственные модели рельефа города. Самый оптимальный и быстрый путь - это использование спутниковых и данных Google Earth.

## *Заключение*

Таким образом, разработка ЦМР играет важную роль в связи с изменениями, происходящими в градостроительстве и социально-экономической сфере.

Пути повышения точности координат объектов и сооружений приобретает первостепенное значение при инженерно-изыскательских и строительных работах. Так как рельеф территории остался без существенных изменений, то использование топографических карт крупного масштаба в качестве исходных данных для ГИС даст более наглядную и детальную цифровую модель поверхности города Ташкента. Использование современных цифровых и геоинформационных технологий создает предпосылки к более корректному изучению поверхности. Особенно это относится к данным лазерного сканирования и БПЛА.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Антонович К.М. Использование спутниковых радионавигационных систем в геодезии. М.: Картгеоцентр, 2005, т.1,2.
2. Бекбаев Г.К., Белевич С.В. Геодезическая сеть Республики Узбекистан и ее совершенствование с использованием приборов спутникового позиционирования // Геология, Геохимия, Геодезия. Ташкент, 2007, № 29.
3. Временная инструкция по обследованию и восстановлению пунктов и знаков государственной геодезической и нивелирной сетей.-М.: РИО ВТС,1970. - 23с.
4. Герасимов А.П., Тюлькин В.В. Определение высот спутниковыми методами // Геодезия и картография. 2006, №11. С.37-39.
5. Залесский П.К. Полный каталог астрономических пунктов Туркестанского военного округа и прилегающих к нему земель. Ташкент.1914.
6. Корешков Н.А., Пискулин В.А., Райзман А.П. Некоторые результаты геодезических исследований современных движений земной поверхности на геодинамических полигонах Узбекистана / Тезисы докладов VII Всесоюзного совещания по изучению современных движений земной коры. Львов, 16-21 мая 1977 г., кн.2, Москва, 1968 г.
7. Лурье И.К. Геоинформационное картографирование. Методы геоинформатики и цифровой обработки космических снимков. М.: Изд-во КДУ, 2008. 424с.
8. Мирмахмудов Э.Р., Абдумуминов Б.О. Построение цифровой модели горного участка по топографическим картам // Наука, образование и культура. 2020.№2 (46) С.78-82.
9. Мирмахмудов Э.Р. Тастемирова М.Г., Жумадилаева Ж.Н. Об исходной системе координат топографических карт Узбекистана / Вестник науки. Сборник статей по материалам II - Международной научно-практической конференции. Уфа, 15 мая 2020. С.324-333.
10. Мирмахмудов Э.Р., Гулямова Л.Х., Щукина О.Г. О точности исходных данных для построения цифровой модели рельефа / Вестник науки. Сборник статей по материалам II - Международной научно-практической конференции. Уфа, 3 июля 2020.С.76-86.
11. Мирмахмудов Э.Р., Абдумуминов Б.О. Построение 3D модели рельефа в ГИС ПАНОРАМА по топографическим картам. Методическое указание.Ташкент.: Университет. 2021.-38с.
12. Мирмахмудов Э.Р., Ковалев Н.В., Олтибоев Ж. Анализ математической основы топографических карт горных районов Республики Узбекистан // Международный научно-практический журнал. Глобальные науки и инновации 2021. Нурсултан, Казахстан. 2021.С.24-28.
13. Мирмахмудов Э.Р., Тастемирова М.Г. Об использовании спутниковой альтиметрии в геодезии Узбекистана // Вестник науки. Инновационные научные исследования, г. Уфа. №12-2(14), 2021. С.146-161.
14. Померанцев И. И. О фигуре геоида в районе Ферганской области. Записки ВТО, 1897, ч. LIV.
15. Mirmakhmudov E., Gulyamova L., Juliev M // Digital elevation models based on the topographic map. COORDINATES. Volume XV, Issue 1, 2019.

16. Щукина О.Г. Цифровая фотограмметрия и дистанционное зондирование Земли. Ташкент. 2021.-216 с.
17. Clifford J. Mucnier. Grid and Datum of the Republic of Uzbekistan // Photogrammetric Engineering & Remote Sensing Vol. 82, No. 7, July 2016. Pp. 473–474. 0099-1112/16/473–474. © 2016 American Society for Photogrammetry and Remote Sensing. doi: 10.14358/PERS.82.7.473
18. Программное обеспечение Google Earth Pro. 2022.

© Э. Р. Мирмахмудов, М. Г. Тастемирова, 2023