

Э. Р. Мирмахмудов^{1}, Д. Ш. Бахтиярова¹, М. Казахбаева¹*

О топографических картах для цифровой модели рельефа окрестности Сарезского озера

¹Национальный университет Узбекистана, г. Ташкент,
Республика Узбекистан
*e-mail: erkin_mir@mail.ru

Аннотация. В данной статье приведены сведения о способе изогипс на топографических картах горных районов для создания цифровой модели рельефа (ЦМР) местности. Анализируется погрешность нанесения изолиний на топографическую карту, используя методы фотограмметрии. Описывается точность математической основы карты, которая зависит от масштаба и высоты сечения рельефа. Основное внимание уделяется высотной составляющей, которая относится к главным элементам содержания карты при формировании пространственной ЦМР. Используется метод сегментации при векторизации горизонталей с использованием интерполяционного полинома. В результате по топографическим картам с помощью ГИС Панорама построена трехмерная цифровая карта окрестностей Сарезского озера. Произведена оценка степени аппроксимации при создании ЦМР.

Ключевые слова: ЦМР, ГИС, сегментация

E. R. Mirmakhmudov^{1}, D. SH. Bakhtiyarova¹, M. Kazakhbaeva¹*

On topographic maps for digital elevation model of the surroundings of Sarez lake

¹National University of Uzbekistan, Tashkent,
Republic of Uzbekistan
*e-mail: erkin_mir@mail.ru

Abstract. This article provides information about the contour lines of topographic maps of mountainous areas for creating a digital elevation model (DEM). The error of drawing isolines on a topographic map by photogrammetry methods is analyzed. The accuracy of the mathematical basis of the map, which depends on the scale and height of the relief section, is described. The main attention is paid to the high-altitude component, which is the main element in the formation of a spatial digital terrain model. The segmentation method is used when vectorizing contour lines using an interpolation. A three-dimensional digital map of the vicinity of Lake Sarez was built using topographic maps using the GIS "Panorama". An estimate of the degree of the approximation for the DEM has been made.

Keywords: DEM, GIS, segmentation

Введение

Горные районы Узбекистана представляют собой обширную часть Центральной Азии, разделенными между собой крупными тектоническими разломами. На большую часть этих районов отсутствуют цифровые карты, что создает проблему при проектировании инженерных сооружений и дорожной сети, по-

этому возникает задача о построении ЦМР и разработке объемного моделирования ситуаций в горах. Производство топогеодезических работ в этих местах существенно отличается от съемок в равнинах по времени и точности. Учитывая, что по поверхности гор проходят государственные и административные границы, дорожные сети и прочие важные объекты, то важность и актуальность проектирования ЦМР отдаленных горных областей является бесспорно животрепещущей задачей [6]. Следует отметить, что менее точной информацией в ЦМР является высота отдельного пункта, которая получена тригонометрическим нивелированием или фототеодолитной съемкой. На основе проведения полевых геодезических измерений составляется топографическая карта определенного масштаба. Карты горных районов Центральной Азии, составленные в 1960 – 1980 гг. прошлого века по материалам аэрофотосъемки не обновлялись до настоящего времени.

На современном этапе создание и обновление топографических карт выполняется на основе данных дистанционного зондирования Земли и наземного лазерного сканирования. Несмотря на то, что имеются современные спутниковые изображения Земной поверхности, полученные с помощью специальных фотокамер, топографические карты для построения ЦМР будут востребованы еще долгое время. Вопрос о точности ЦМР остается открытым и требует внимательного изучения. Особенно это касается горизонталей некоторых топографических карт горных районов, изображения которых нанесены с минимальным расстоянием друг от друга и представляют линии различной толщины с размытыми контурами, а это отрицательно влияет на процесс векторизации. В таких случаях графические работы, связанные с построением пространственных моделей рельефа и определением площадей, становятся приближенными. Корректировка и нанесение изогипс с помощью специальных программ приводит к большей эффективности для построения ЦМР картографируемого района. Одно из оптимальных решений этой проблемы – обработка отсканированных изображений с помощью специальных программных средств или же графических редакторов. Такие редакторы разработаны с учетом всевозможных цветовых или спектральных комбинаций, позволяющих улучшить качество исходного материала для решения прикладных задач.

В качестве объекта исследования выбран район вокруг Сарезского озера и его окрестностей, расположенная на территории Республики Таджикистан. Озеро образовано в результате произошедшего землетрясения весной 1911 года силой 7.1 балла, когда река Мургаб была перекрыта огромным оползнем, образовав при этом естественную плотину высотой 567 метров. Окрестность озера представляет горную цепь с различными высотами, уклонами и крутизной склонов. Это означает, что проведение полевых геодезических работ в этих местах достаточно сложная и трудная работа, требующая немала экономических и временных затрат. Тем не менее, имеются топографические карты, составленные геодезическими подразделениями Главного управления геодезии и картографии (ГУГК) по результатам проведенных полевых работ и аэрофотосъемки. Обновление и уточнение ситуаций выполнялись по спутниковым данным, а повторное

измерение геодезической сети и ситуации не производилось в связи с произошедшими изменениями в регионе.

Методика и материалы

Основными элементами топографической карты при построении пространственной ЦМР являются высоты пунктов государственной геодезической сети и превышения между горизонталями, то в данной работе уделяется внимание именно высотной составляющей. Прежде всего, растровая карта должна быть отсканирована с разрешением не менее 400 точек на дюйм (dpi), при основном условии привязки к системе координат [4]. Погрешность нанесения горизонталей колеблется в диапазоне 0,1 – 0,8 мм, допустимое среднее смещение составляет 0,5 мм высоты сечения рельефа. Точность создаваемой модели зависит от масштаба карты и сложности рельефа. Для таких поверхностей применяется метод интерполяции, которая представляется как функция двух переменных x, y . На практике исходный рельеф задается в виде пикетных точек, полученных с помощью тахеометрической съемки. В программах ГИС существует модуль, обеспечивающий преобразование изолиний в регулярную сетку или триангуляционную сеть [2, 3], используя метод векторизации и сегментации (рис.1).

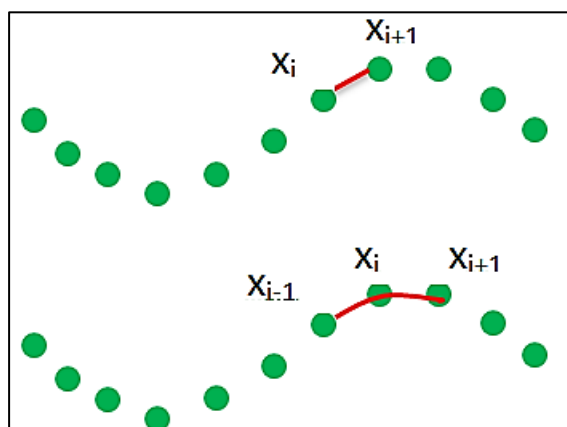


Рис. 1. Векторизация изолиний

В аэрогеодезических предприятиях горизонтали наносятся стереофотограмметрическим способом, используя результаты полевых геодезических измерений и данные аэрофотосъемки. Эта процедура нанесения горизонталей достигла такого совершенства и автоматизма, что стали все меньше обращать внимание на систему относимости. На некоторых картах горизонтали нанесены без соответствующего контроля, а восстановление или редактирование их можно провести путем повторного измерения или же с использованием данных Earth Map (рис.2). В первую очередь, следует учесть плотность проведения горизонталей, которая зависит от наклона рельефа и крутизны ската склона.

Топогеодезическое обеспечение окрестности Сарезского озера представляется топографическими картами различного масштаба и планово-высотным

обоснованием, выполненным аэрофотосъемкой геодезическими подразделениями предприятия. Например, топографическая карта масштаба

1 : 500 000 подготовлена и издана в 1978 году, где сплошные горизонталы проведены через 100 метров [8, 17]. На рисунке 3 приведен фрагмент этой карты с изображением Сарезского озера.



Рис. 2. Изображение Сарезского озера и ее окрестности по данным Google Earth [16]

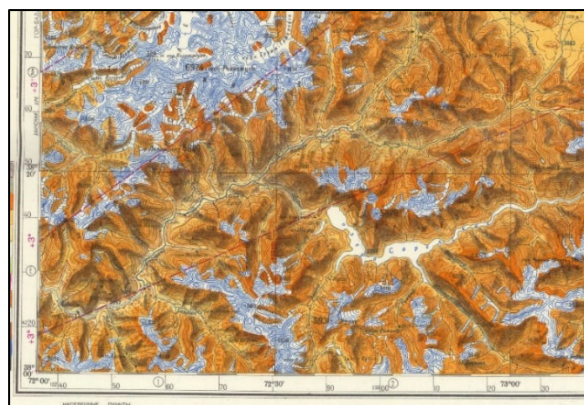


Рис. 3. Фрагмент топографической карты номенклатуры J -43-А

Отсканированную карту со всеми элементами и легендой можно обрабатывать с помощью геоинформационной системы, предназначенной специально для решения геодезических и картографических задач. Разработано множество ГИС ведущими организациями и аналитическими центрами обработки данных. В топогеодезических организациях Республики Узбекистан наиболее популярными и востребованными стали ГИС «Панорама» и ArcGIS [1, 5]. Во всех высших учебных заведениях Республики Узбекистан также используются указанные ГИС при проведении лабораторных и практических занятий.

На первых этапах создания цифровых карт в Узбекистане реализованы собственные разработки специалистов геодезических организаций и использованы модули стандартной программы SURFER. Оригинальный программный комплекс «ОАЗИС» составлен аэрогеодезическим предприятием Республики Узбе-

кистан. Эта первая многофункциональная программа в Центральной Азии, предназначенная решать основные геодезические и картографические задачи. ПО «ОАЗИС» еще не реализован до конца из-за несовместимости форматов с другими международными программными продуктами.

С внедрением современных геоинформационных технологий (INTERGRAPH, TERRA VISTA, PHOTOMOD, ArcGIS, Панорама и другие) процесс подготовки стал более универсальным. Весь технологический цикл, от полевых измерений до получения конечного результата, занимает минимум времени по сравнению с традиционными методами. При этом используют современные широкоформатные плоттеры, с помощью которых можно распечатать цифровую топографическую карту заданного региона хорошего качества. Поскольку в мелкомасштабных картах горных районов горизонтали проведены близко друг к другу, то распечатка в крупном масштабе позволит оценить некоторые аспекты инженерных работ, связанных с проектированием особо важных сооружений.

Результаты

Векторизация изогипс показала, чем сложнее рельеф местности, тем больше точек оцифровки приходится использовать в ГИС. В результате получается ЦМР, которая соответствует реальной местности. Если изолинии изображены расплывчато, то приходится использовать возможности графических редакторов (рис.4). Выбранный участок, который расположен на соответствующей номенклатуре, должен быть в одной координатной системе. Это позволит более корректно составить схему проектирования инженерно-строительных сооружений в горной местности.

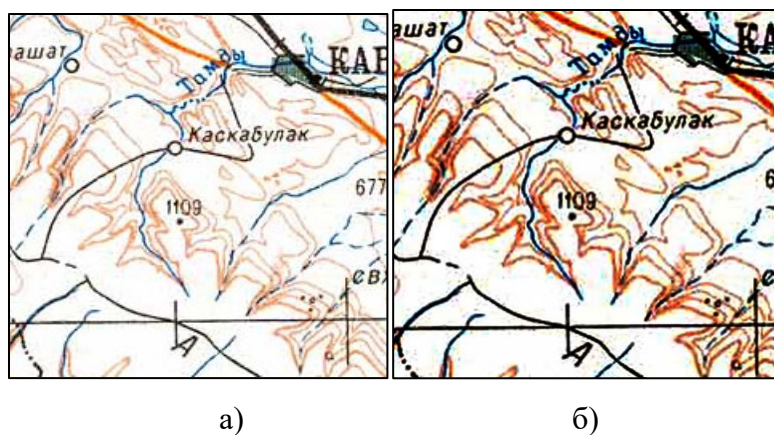


Рис. 4. Высотная составляющая и горизонтали: а-оригинал, б – обработка PHOTOSHOP

Из рисунка видно, что фрагмент карты, обработанный с помощью PHOTOSHOP [7], лучшего графического качества, изолинии четкие и яркие по сравнению с оригиналом карты и процесс векторизации занимает меньше времени и более эффективный.

Известно, что при разработке ЦМР в ГИС используется модель Triangulated Irregular Network (TIN), состоящая из треугольников. Ребро каждого элемента – это часть соседней фигуры, а вершины представляют точки координат с известным значением, которые соединяются по принципу триангуляции Делоне. Недостаток этого метода – погрешность из-за неполных данных, но это самый быстрый способ интерполирования, который подходит для описания сложных районов, где математические вычисления помогают распознать неожиданные изменения поверхности [14, 15]. Здесь используется не один, а несколько методов интерполяции, где учитывается возможность непредвиденного появления неровностей, которые наглядно видно на веритакльном профиле рельефа (рис.5).

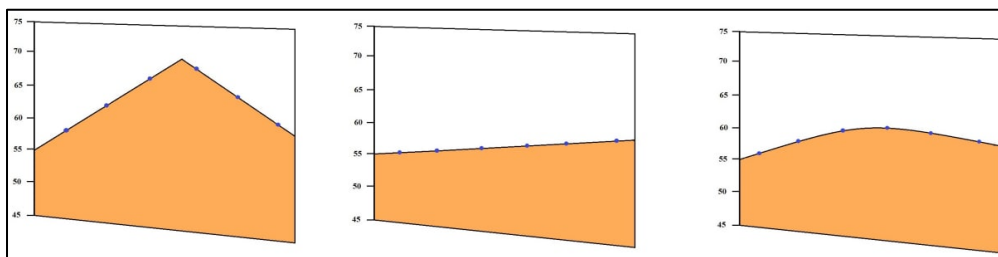


Рис. 5. Вертикальный профиль векторизации

Использование метода интерполяции высокого порядка приводит к сглаживанию поверхности, тем самым сокращая разрыв между вычисленной и условно обозначенной линией, проходящей по горным местам. При этом наиболее подходящим уравнением для вычисления будет кубический полином, где горизонталь в ГИС «Панорама» строится методом сплайна, добиваясь близости дискретной точки к изогипсе. В таких случаях корректный способ представления линии – это процедура аппроксимации горизонталей (рис.6).

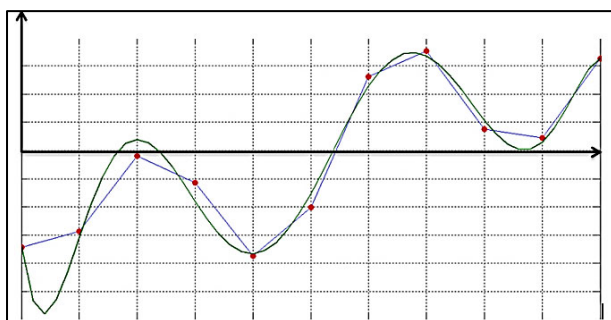


Рис. 6. Интерполяция изолиний

Интерполяция более высокого порядка прямо или косвенно учитывает соседние вершины, давая лучшую оценку линейных алгоритмов и которая может быть расширена до экстраполяции [10, 11]. В результате получается модель, позволяющая описать рельеф путем ограниченного числа дискретных точек. Наибо-

лее точным методом построения изогипс является аппроксимация полиномом первого или второго порядка (рис.6). В случае горных районов, где горизонтали нанесены очень близко друг к другу, целесообразно использовать полином “ n ” порядка:

$$h(x) = a_0 + a_1 x^1 + a_2 x^2 + \dots a_n x^n - \text{полином } n - \text{го порядка,}$$

где a_i ($i=0, 1, 2 \dots n$) - коэффициенты полинома, которые определяются методом наименьших квадратов; x^k ($k=1, 2, 3 \dots n$) - переменные, зависящие от координат точек.

Обсуждение

Сравнительный анализ сегментации показал, что сокращение длины приводит к детальности и четкости графического представления рельефа горных вершин. В таком случае надо заботиться об уменьшении объема памяти компьютерных средств, используя модифицированные ГИС QGIS и TGRID [13]. С другой стороны, цифровая модель должна быть гибкой и комфортабельной. Если ЦМР загружена в ГИС, то работать с ней удобно во многих САПР, т.к. она поддерживает большинство форматов. Разработанные ЦМР позволяют по конечному набору выборочных точек определять особенности местности с пиками и впадинами. При выборе же маршрута движения вдоль хребта, ЦМР дает возможность произвести анализ зон видимости путем построения вертикального профиля исследуемого региона.

Исходя из вышесказанного, рельеф окрестности Сарезского озера представляет горный массив с резкими перепадами и крутыми склонами. Для построения ЦМР использована топографическая карта масштаба 1 : 500 000, где в качестве высотной основы выбраны утолщенные горизонтали, полученные относительно координат пунктов ГГС. Оцифровка произведена с помощью ГИС «Панорама» путем трансформации растровой карты. Эта стандартная процедура используется при создании цифровых карт и моделей в формате 2D и 3D. Полученная матрица высот Сарезского озера – первая цифровая модель, построенная в ГИС «Панорама» (рис.7).

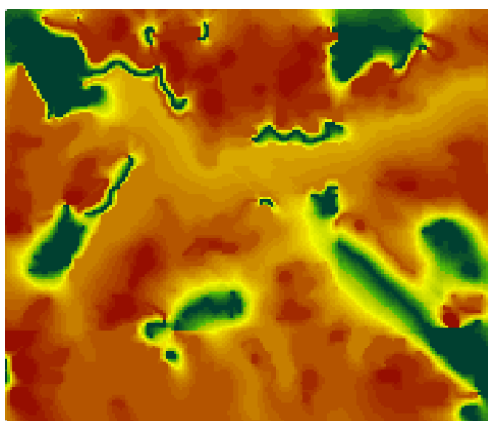


Рис. 7. Матрица высот ЦМР

Заключение

В заключении можно сделать вывод о том, что использование топографических карт крупного масштаба позволит построить пространственную цифровую модель рельефа горного участка с помощью ГИС технологий [12]. Применение интерполяционных полиномов высокой степени порядка приведет к более точной детализации формы рельефа горного участка, а уменьшение площади сегмента путем векторизации изолиний сведет к минимуму разностей отрезка между теоретическими и вычисленными дискретными точками. Построенная цифровая модель Сарезского озера является экспериментальной версией для визуализации и создания цифровой топографической карты этого района.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Абдумуминов Б. О, Назирова Д.Ш., Миртолипов Р. Анализ сегментации при проектировании цифровой модели рельефа // Вопросы науки и образования.2020, №15.
2. Кошкарёв А.В. Цифровое моделирование рельефа // Морфология рельефа (под ред. Д.А. Тимофеева и Г.Ф. Уфимцева). М.: Научный мир. – 2004. – С.103–122.
3. Лурье И.К. Геоинформационное картографирование. Методы геоинформатики и цифровой обработки космических снимков. – М.: Изд-во КДУ, 2008. – 424с.
4. 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.
5. Мирмахмудов Э.Р., Абдумуминов Б.О. Построение 3D модели рельефа в ГИС ПАНОРАМА по топографическим картам. Методическое указание. Ташкент. 2021.-38с.
6. Мирмахмудов Э.Р., Ковалев Н.В., Олтибоев Ж. М. Анализ математической основы топографических карт горных районов Республики Узбекистан // Международный научно-практический журнал. Глобальные науки и инновации 2021. Нурсултан, Казахстан. 2021.
7. Скотт К. Adobe Photoshop CS6: Справочник по цифровой фотографии. Изд. Диалектика.-464с.
8. Составление и подготовка к изданию топографических карт масштабов 1:200 000, 1:500 000. – М.: Редакционно-издательский отдел ВТС, 1980. – 132с.
9. Crain I.K. Computer Interpolation and Contouring of Two-Dimensional Data: A Review // Geospatial.1970. Vol.8. Pp.71-86.
10. Kidner D.B., Smith D.H. Compression of Digital Elevation Models by Huffman Coding //Computers & Geosciences. 1992.Vol.18, № 8. Pp.1013-1034.
11. Leberl F. Interpolation in Square Grid DTM // The ITC Journal.1973.
12. Mirmakhmudov E., Gulyamova L., Juliev M. Digital elevation models based on the topographic maps //Coordinates. 2019. Vol.XV, №1. Pp.31-37.
13. Petrie G. Terrain Modelling in Surveying and Civil Engineering // Computer-Aided Design. 1987. Vol.19, №.4. Pp.171-187.
14. Russell W.S. Polynomial Interpolation Schemes for Internal Derivative Distributions on Structured Grids // Applied Numerical Mathematics. 1995. Vol. 17. Pp. 129 - 171.
15. Schut G.H. Review of Interpolation Methods for Digital Terrain Models// Canadian Surveyor, 1976. Vol.30, № 5. Pp.389-412.
16. Software Google Earth.
17. <https://satmaps.info/genshtab.php>.

© Э. Р. Мирмахмудов, Д. Ш. Бахтиярова, М. Казахбаева, 2023