ПОСТРОЕНИЕ ЦИФРОВОЙ МОДЕЛИ ГОРНОГО УЧАСТКА ПО ТОПОГРАФИЧЕСКИМ КАРТАМ

Мирмахмудов Э.Р.[1], Абдумуминов Б.А.[2]

[1]Мирмахмудов Эркин Рахимжанович - кандидат физико-математических наук, доцент, кафедра геодезии и геоинформатики, Национальный университет Узбекистана, г. Ташкент;
[2]Абдумуминов Баходир Одинаевич - преподаватель, кафедра географии, Термезский государственный университет, г. Термез, Республика Узбекистан

Аннотация: *в статье рассмотрена методика создания цифровой модели рельефа (ЦМР) на основе классических топографических карт. Дается краткое описание геоинформационных систем, используемых в Узбекистане. В работе анализируется сегментация и векторизация изолиний карт с помощью геоинформационной системы ПАНОРАМА для горных районов. Особое внимание уделяется вопросам редукции математической основы цифровой модели рельефа (ЦМР) к географической системе координат.*
Ключевые слова: *ЦМР, ЦММ, ГИС, ЦА, СК42, WGS84, сегментация.*

На современном этапе развития геоинформационных систем (ГИС) и отображения пространственных данных возникает задача о разработке новых методов анализа цифровой информации о местности. Цифровая модель местности со сложным рельефом является неотъемлемой частью исследований в области геологии, прикладной геодезии, картографии, гидрогеологии и других дисциплин, связанных с Землей. Особенно это относится к горным районам, где пространственная информация мало изучена, а топографические карты составлены по материалам аэрофотосъемки и полевых измерений. Отсутствие пространственных цифровых карт этих районов создает проблему при проектировании инженерных сооружений. В свою очередь, возникает задача о построении ЦМР и разработке объемного моделирования ситуаций и явлений. Для того чтобы создать ЦМР необходимо произвести реформирование существующей геодезической системы координат и уточнение математической основы топографических карт. Однако, в данной работе выполнено построение ЦМР на основе топографических карт без модернизации систем координат, которая должна быть произведена путем комбинации классических и спутниковых методов определений координат.

Горные районы Центральной Азии (ЦА) представляют собой наиболее высокую часть региона, с большими контрастами высот и системами хребтов, разделенными между собой крупными тектоническими разломами [1]. Соответственно, производство топогеодезических работ в этих местах существенно отличается как по точности, так и по времени. Наиболее чувствительными к точности координат являются высоты пунктов, полученные тригонометрическим нивелированием [2]. Известно, что точность определения координат объектов на карте составляет 0.1 - 0.2 мм [3]. С течением времени координатная сетка проекции Гаусса - Крюгера деформировалась из-за глобальных, локальных и других геодинамических процессов [4]. Согласно инструкции о топографических картах, обновление должно быть произведено спустя 5 или 10 лет, используя данные повторных полевых измерений и результаты аэрофотосъемки [5]. Карты горных районов ЦА были составлены в 1960 – 1980 гг., которые не обновлялись и не редактировались до настоящего времени в виду сложности рельефа. Это привело к вопросу о пересмотре системы составления картографического материала [6].

С 2010 года некоторые республики ЦА приняли общеземную систему координат WGS84, отличающейся от классической системы координат СК42. Несмотря на стереотипный переход к системе координат WGS84, который был произведен без строгого учета 7 коэффициентов преобразования между двумя системами координат, классические карты используются до сих пор во всех топогеодезических организациях и покрывают всю территорию ЦА.

Применение радиометрических методов позволяет оперативно и широкомасштабно охватить труднодоступные участки региона. Спектрозональную информацию о местности можно получить методами дистанционного зондирования Земли (аэрофотосъемка, космические снимки и т.д.) [7], но классические данные (тахеометрическая съемка, GPS измерения, полевое картирование и др.) не утратили своего значения и будут востребованы не один год. Данные дистанционного зондирования, как правило, требуют фотограмметрической обработки и использования специальных программных комплексов. В этом случае следует обратить внимание на геометрические данные, содержащие информацию о пространственном положении поверхности. Под поверхностью подразумевается треугольная грань (рис. 1), расположенная в трехмерном пространстве и представленная в виде функции двух переменных [8]:

$h = F(x, y)$,

где h - высота; x и y - прямоугольные координаты.

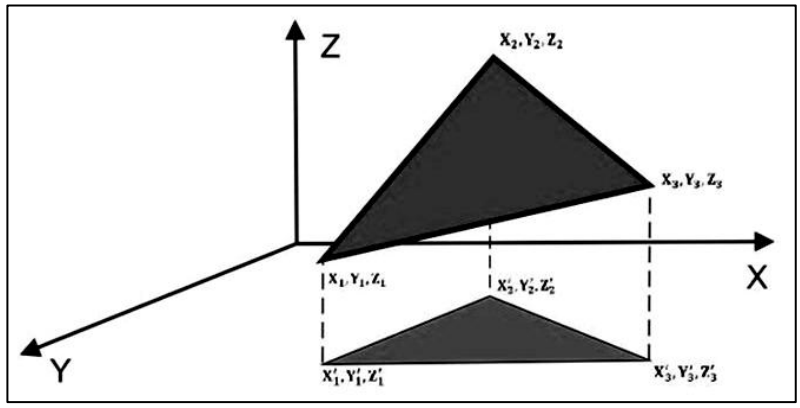

Рис. 1. Грань моделируемой поверхности

Основой ГИС является цифровая модель местности, позволяющая описать рельеф путем интерполяции или аппроксимации. В процессе построения ЦМР интерполяция изолиний производится по ограниченному числу дискретных точек. Наиболее точным методом построения изолиний является аппроксимация полиномом первого или второго порядка. В случае горных районов, где горизонтали представлены сложными кривыми, целесообразно использовать полином "n" порядка:

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

где a_i (i=0, 1, 2 …..n) - коэффициенты полинома;

x^k*(k=1, 2, 3 ……n)* - переменные, зависящие от координат точек.

Коэффициенты a_i определяются методом наименьших квадратов, соблюдая условие минимума измеренных и вычисленных значений [9].

ЦМР имеет ряд преимуществ по сравнению с традиционными картами, прежде всего, это значительное сокращение затраты труда и времени, визуализация местности в различных конфигурациях [10, 11]. Это наглядно видно к объектам, имеющих протяженные размеры (трасса дороги, длина тоннеля, заповедные зоны),

где оценивается объем работ, трудозатраты, фактор безопасности и комфортность движения [12].

На первых этапах создания цифровых карт в 1991-1998гг. были реализованы собственные разработки специалистов профильных организаций Узбекистана с помощью стандартной программы SURFER [13] и вычислительной программы, составленной на алгоритмическом языке высоко уровня. Оригинальный программный комплекс “ОАЗИС” был составлен аэрогеодезическим предприятием Республики Узбекистан под руководством главного инженера Мантрова А.В. Это первая многофункциональная программа в ЦА, предназначенная решать основные геодезические и картографические задачи. К сожалению, из-за ограниченности финансирования и несовместимости формата геодезических данных, работа была временно приостановлена. Параллельно, на кафедре геодезии и картографии национального университета Узбекистана выполнялись тестовые работы по созданию цифровых карт. Отсутствие современных вычислительных машин привели к временному прекращению работ по цифровым моделям, хотя были неплохие теоретические предпосылки к построению электронных карт.

С внедрением современных геоинформационных технологий (INTERGRAPH, TERRA VISTA, PHOTOMOD, ARCGIS, PANORAMA [14] и другие) процесс подготовки и создания цифровых карт стал более универсальным. Весь технологический цикл, от полевых измерений до получения цифровых карт, занимает минимум времени по сравнению с традиционными методами.

Исходными данными для построения ЦМР были бумажные карты, составленные по карте масштаба 1:200000 и изданные в 1986 г. В периодических изданиях эти карты не публикуются, но их можно получить из глобальной сети. В качестве предварительных данных использованы карты масштаба 1: 500 000, хотя крупномасштабные карты являются более точными и информативными. Однако, из-за ограниченности доступа к архивам топогеодезических подразделений, эти карты не приведены в данной работе. Обычно горизонтали на 1:25000-1:50000 нанесены стереофотограмметрическим способом. Следовательно, ортометрические или нормальные высоты этих горизонталей нельзя считать строго точными, а производить по ним оцифровку рельефа является задачей не простой и весьма трудоемкой. В процессе выполнения оцифровки изолиний основное внимание уделялось степени сегментации, которая позволяет оценить соответствие построенной цифровой модели с реально существующим рельефом. Также необходимо учитывать не только масштаб, но и картографическую проекцию. В таких случаях наиболее оптимальным способом получения данных является использование аэрокосмических снимков. Чем больше дискретных точек зафиксировано на горизонтали, тем точнее представляется ЦМР (рис. 2).

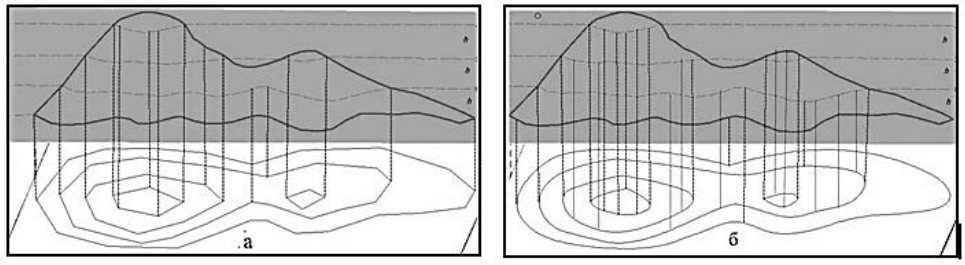

Рис. 2. Оцифровка изолиний: а - грубая; б – точная

Поскольку исследуемый район представляет горную местность, где горизонтали на картах мелкого масштаба нанесены с высотой сечения рельефа 100 м и более, то для визуализации можно использовать утолщенные горизонтали. Векторизация утолщенных горизонталей на топографической карте указанного участка выполнено

с учетом кривизны изолиний и физико-географических условий. В результате создается матрица высот и математическая модель, обеспечивающая пространственную модель исследуемого участка. Создание ЦМР не простая задача, требующая определенного навыка и подготовки работы с геоинформационными технологиями. Математической основой цифровых карт является геодезическая привязка объектов и сооружений к определенной системе координат. Ниже на рисунке 3 приведено ЦМР горного участка Ташкентской области, где по осям X,Y,Z отложены географические и прямоугольные координаты.

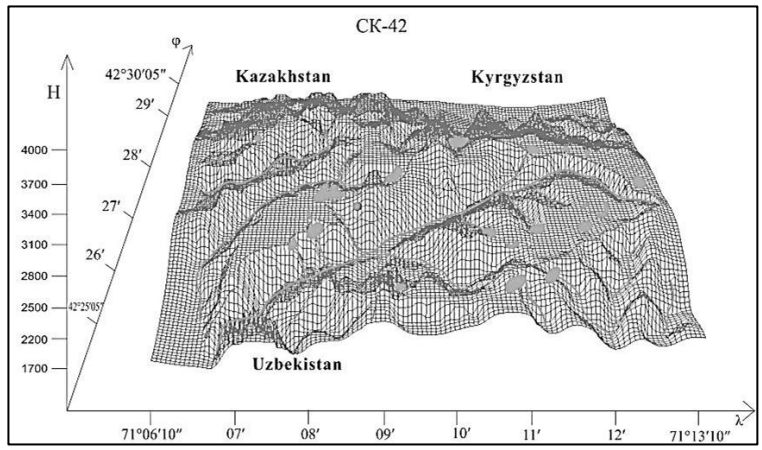

Рис. 3. ЦМР Бостанлыкского района, Ташкентской области

Таким образом, построенная цифровая модель позволяет произвести визуализацию местности и выполнить инженерные расчеты, связанные с вычислением площади и объема, зоны затопления, высоты гидротехнических сооружений, а также провести мониторинг движения оползней и селевых потоков [15].

Список литературы

1. *Уломов В.И.* О роли горизонтальных тектонических движений в сейсмогеодинамике и прогнозе сейсмической опасности/В.И. Уломов.// Физика Земли, 2004. № 9. С. 14-30.
2. *Яковлев Н.В*. Высшая геодезия. Учебник для вузов/Н.В. Яковлев. М.: Недра, 1989. 445 с.
3. Справочник по картографии / А.М. Берлянд, А.В. Гедымин, Ю.Г. Кельнер и др. М.: Недра, 1988. 430 с.
4. *Mirmakhmudov E.* Modification of the reference frame of Uzbekistan topographic maps based on the GNSS/E. Mirmakhmudov // Coordinates, 2017. Vol. XIII. № 04. Pp. 7-12.
5. *Салишев К.А.* Проектирование и составление карт / К.А. Салишев. М.: Изд-во МГУ, 1987. 240 с.
6. *Базлов Ю.А.* Параметры связи систем координат [Text] / Ю.А. Базлов, А.П. Герасимов, Г.Н. Ефимов, К.К. Насретдинов // Геодезия и картография, 1996. № 8. С. 6-7.
7. *Лурье И.К.* Геоинформационное картографирование. Методы геоинформатики и цифровой обработки космических снимков / И.К. Лурье. М.: Изд-во КДУ, 2008. 424 с.
8. *Leberl F.* Interpolation in Square Grid DTM/ E.Leberl//The ITC Journal. Graz University of Technology, 1973. № 5. Pp. 75-807.

9. *Большаков В.Д.* Теория математической обработки геодезических измерений / В.Д. Большаков, П.А. Гайдаев. М.: Недра, 1977. 368 с.
10. *Ершова Н.В.* Подготовка ГИС данных: учебно-методическое пособие / Н.В. Ершова, Г.П. Фролова. Бишкек: КРСУ, 2015. 44 с.
11. *Хромых В.В.* Цифровые модели рельефа. Учебное пособие / В.В. Хромых, О.В. Хромых. Томск: Изд-во «ТМЛ-Пресс», 2007. 178 с.
12. Лабораторный практикум по инженерной геодезии: учебное пособие для студентов строительных вузов / В.Ф. Лукьянов, В.Е. Новак, И.Н. Борисов и др. М.: Недра, 1990. 336 с.
13. *Боровикова Л.Н.* Построение цифровой модели земной поверхности / Л.Н. Боровикова и др. // Космические исследования, технологии и конверсия: сб. статей. Ташкент, 1997. С. 52-53.
14. *Mirmakhmudov E.* Digital elevation models based on the topographic maps/ E. Mirmakhmudov, L. Gulyamova, M. Juliev // Coordinates, 2019. Vol. XV. № 1. Pp. 31-37.
15. *Ниязов Дж.* Исследование селеопасного участка сая теболай (Таджикистан) с применением ГИС технологий / Дж.Б. Ниязов, С.М. Саидов, К.Ф. Имомов // Известия географического общества Узбекистана. Ташкент. Специальный том, 2018. С. 69-72.