

УДК 528.7+629.78

Мирмахмудов Э.Р.¹, Абдумуминов Б.О.², Ковалев Н.В.³¹Национальный университет Узбекистана, Ташкент, Узбекистан²Термезский государственный университет, Термез, Узбекистан³Ташкентский государственный технический университет, Ташкент, Узбекистан

АНАЛИЗ СЕГМЕНТАЦИИ ИЗОЛИНИЙ ТОПОГРАФИЧЕСКИХ КАРТ В ГИС “ПАНОРАМА” ДЛЯ ГОРНЫХ РАЙОНОВ СУРХАНДАРЬИНСКОЙ ОБЛАСТИ

Аннотация. В статье приведены цифровые модели рельефа (ЦМР) горной местности Сурхандарьинской области, построенные с помощью ГИС “Панорама”. Изложен оптимальный метод уточнения математической основы топографических карт. Описываются некоторые проблемы, связанные с проектированием дорожной сети на вершинах холмов и хребтов. Особое внимание уделяется высотам, полученным по геодезическим измерениям. Дается анализ метода интерполяции и сегментации изолинии при создании трансформированного растра. Описаны коэффициенты полинома сглаживания горизонталей топографических карт. Доказано, что уменьшение длины сегментации приводит к детальности графической формы рельефа. На примере двух карт доказано, что крупномасштабные цифровые модели являются более точными, чем мелкомасштабные. Разработанные цифровые карты могут быть использованы при инженерно-изыскательских работах на границах административных областей и сопредельных республик.

Ключевые слова: карта, рельеф, высота, интерполяция, полином, сегментация, ЦМР, ГИС

Mirmakmudov E.¹, Abdumuminov B.², Kovalev N.³¹National University of Uzbekistan, Tashkent, Uzbekistan²Termiz State University, Termiz, Uzbekistan³Tashkent State Technical University, Tashkent, Uzbekistan

ANALYSIS OF SEGMENTATION OF ISOLINES OF TOPOGRAPHIC MAP IN GIS “PANORAMA” FOR MOUNTAIN AREAS OF SURKHANDARYA REGION

Abstract. The article presents digital elevation models (DEM) of the mountainous terrain of the Surkhandarya region, built using the GIS "Panorama". The optimal method for refining the mathematical basis of topographic maps is outlined. Describes some of the problems associated with the design of the road network on the tops of hills and ridges. Particular attention is paid to the heights obtained from geodetic measurements. An analysis of the method of interpolation and segmentation of the isoline when creating a transformed raster is given. The coefficients of the polynomial for smoothing contours of topographic maps are described. It has been proven that a decrease in the length of segmentation leads to a more detailed graphic relief shape. On the example of two maps, it has been proven that large-scale digital models are more accurate than small-scale ones. The developed digital maps can be used in engineering and survey work on the borders of administrative regions and neighboring republics.

Key words: map, relief, height, interpolation, polynomial, segmentation, DEM, GIS

Введение и постановка проблемы. Известно, что горные и предгорные районы занимают 21.3% территории от общей площади Узбекистана [8], где установлены пункты государственной геодезической сети (ГГС), которые закреплены специальными металлическими (деревянными) пирамидами и турами. Координаты центров пирамид и знаков определены с помощью тригонометрического нивелирования, используя высокоточные теодолиты и тахеометры (рис. 1). Угловые и линейные

измерения горных хребтов выполняются геодезическими и геологическими организациями один раз в течение 5-10 лет. Это означает, что бумажные топографические карты этих районов требуют уточнения и обновления, применяя методы дистанционного зондирования Земли и наземного лазерного сканирования. Поскольку геодезические работы в этих местах отличаются от равнинной местности сложностью и точностью, то самым надежным и эффективным способом получения данных является аэрокосмическая съемка местности или же съемка с помощью беспилотных летательных аппаратов [9]. При этом важным параметром является высота и угол наклона съемки. Наиболее чувствительной к точности является значение высоты пункта ГГС, относительно которой наносятся горизонталы на топографическую карту. Следует отметить, что математическая основа таких карт не обновлялась до настоящего времени в виду сложности рельефа и ограниченности финансирования картографических организаций. По результатам измерений производится цифровая фотограмметрическая обработка. Естественно, точность разработанных ЦМР будет зависеть от надежности и детальности исходных карт.

Появление новых технологий создания ЦМР – процесс непрерывный и закономерный. Каждая из новых разработок имеет определенный потенциал. В рассматриваемом случае речь идет о качественном скачке в технологии пространственного представления местности.



Рис. 1. Тахеометрическая съемка местности

Изученность проблемы. Пространственная цифровая модель местности представляет трехмерное графическое изображение определенной территории, состоящая из ЦМР и ситуации, полученные на основе дискретности точек с координатами x, y, h . Поскольку, маловероятно, что реальные высоты совпадут точно с вычисленными значениями высот, то необходимо произвести корректную связь между дискретными точками, которые представляют прямоугольные и географические координаты. Планово-высотная основа является метрическим фундаментом построения ЦМР, где при использовании горизонталы цифровую модель можно преобразовать в 3D модель с помощью ГИС [2,4]. Однако векторизация является задачей не простой, связанной с точностью сегментации изолиний. Сокращение длины сегмента и степени интерполяционного полинома связано с тем, что рельеф горного участка изображен горизонталями на карте с высокой плотностью из-за крутизны ската, которая задается в виде диаграммы. Такая градация позволяет нанести сплошные горизонталы в зависимости от угла наклона местности, заложения горизонталей и масштаба карты. Если использовать угол наклона местности, превышающий 40 градусов, то нанесенные горизонталы трудно будут различить на топографической карте. В случае превышения крутизны ската более 40°, изображения горизонталей наносятся в виде условных знаков как для обрывов (рис.2). На практике используют топографические карты масштаба 1:25000 для горной местности. Хотя масштаб 1:10000 должен быть точнее и детальнее, но при использовании этого масштаба в горной местности, контуры объектов нанесены

приближенно, что говорит о сложности разработки топографических карт таких масштабов.

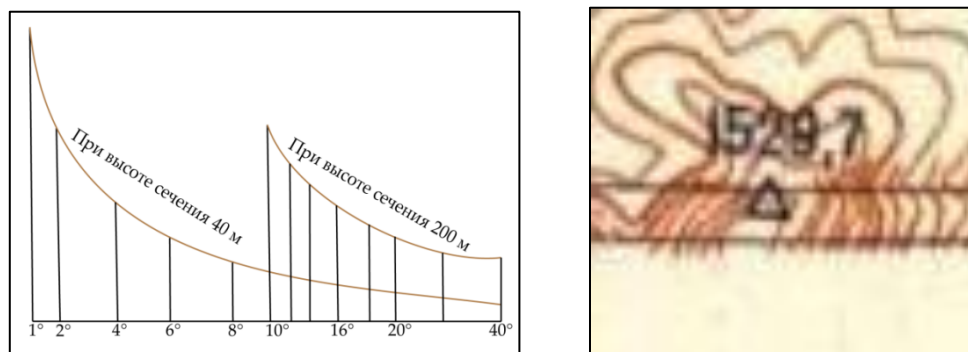


Рис. 2. Диаграмма заложения горизонталей

Созданные ЦМР обладают рядом преимуществ по сравнению с традиционными картами, а именно: реалистичностью отображения местности, включая учет освещенности солнцем в заданный период времени; возможностью визуализации объектов местности в трехмерном представлении; обеспечением эффекта присутствия наблюдателя на местности и доступа к рассмотрению объектов местности с произвольного направления; повышенной точностью привязки к элементам местности и взаимного положения объектов. Но для строительных работ основным параметром является сокращение затрат труда и времени. Во время инженерно-изыскательских и геодезических работ важную роль играет информация о рельефе местности, где необходимо проанализировать всю имеющуюся информацию с целью оперативно корректировать и просчитывать все варианты прогноза ситуаций. Отсутствие точных карт этих районов приводит к определенным проблемам при проектировании железных и шоссейных дорог. А если учесть, что по предгорным и горным массивам проходят границы нескольких государств, то задача приобретает особый статус и требует более точной векторизации изолиний (рис. 3). Следует подготовить все необходимые картографические данные и произвести предварительные расчеты на начальном этапе работы с помощью геоинформационных технологий для минимизации непредвиденных ситуаций. Оптимальным способом векторизации горизонталей и контурных линий является сегментация, которая получила широкую популярность при формировании ЦМР. Для эффективности выполнения работ предпочитают использовать специальные компьютерные программы и геоинформационные системы [3].

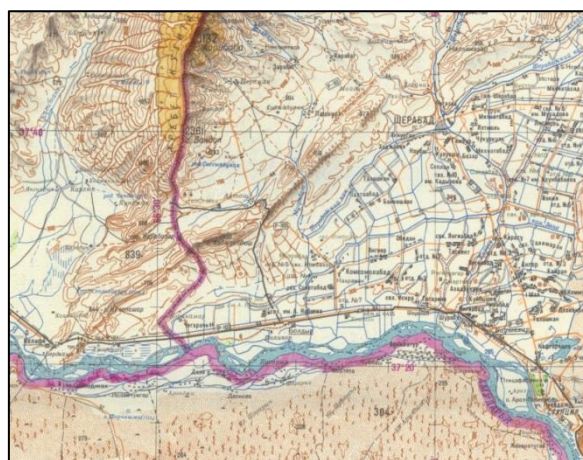


Рис. 3. Фрагмент топографической карты

Цели и задачи исследований. Целью данной работы является теоретический и практический анализ ЦМР Сурхандарьинской области по топографическим картам с помощью ГИС “Панорама”. Основной задачей является оценка качества сегментации изолиний при векторизации карт масштаба 1:500000 и 1:100000, а также выбор оптимального интерполяционного полинома. В результате должна быть создана цифровая карта, удовлетворяющая всем требованиям строительных работ в труднодоступных районах со всеми условиями видимости и надежности закрепления пунктов ГГС.

Материалы и методы. В ГИС трехмерная модель используется для отображения объемных фигур объекта в виде треугольников, которые можно описать с помощью трех векторов. Каждый вектор описывается тремя составляющими координатных осей, выражающими относительно точки, принятой за начало отсчета. Геометрические данные, содержащие информацию о положении поверхности, представляют треугольную грань (рис.4), которая может быть выражена в виде функции [5]:

$$h = F(x, y),$$

где h - высота; x и y - прямоугольные координаты в проекции Гаусса-Крюгера.

Высоты зависят от способа получения данных, например, для тахеометрической съемки в виде пикетных точек или же горизонталей. Если же значения точек распределены линейно или разбросаны вдоль результирующей оси, то необходимо использовать все типы интерполяции (рис.4).

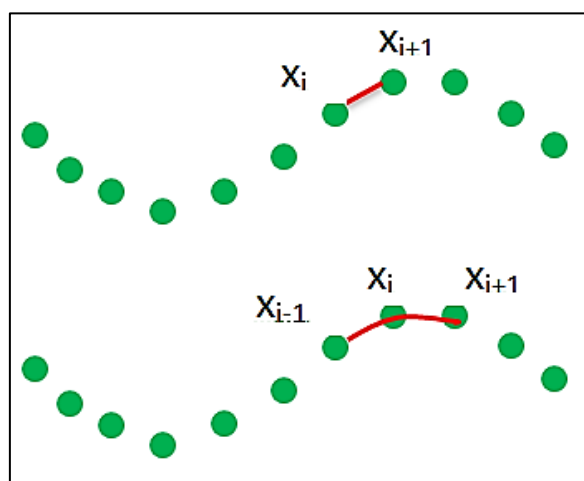


Рис. 4. Схема интерполирования

В линейном интерполировании узловые точки соединяются отрезками прямых линий, а при интерполяции квадратичными сплайнами происходит соединение кривой параболы. Необходимо знать об ограничениях функции, где линейные методы могут давать различные решения для одной и той же точки. Для построения ЦМР в ГИС “Панорама” используется сглаживание кубическими сплайнами, где через узловые точки проводят отрезки кубической параболы. В [12,16] анализируется, что точность зависит от самой местности, схемы измерений и плотности точек при оцифровке горизонталей. Интерполяция более высокого порядка прямо или косвенно учитывает соседние вершины, давая лучшую оценку линейных алгоритмов и которая может быть расширена до экстраполяции (рис.3). В результате получается модель, позволяющая описать рельеф путем по ограниченному числу дискретных точек [10]. Наиболее точным методом построения изолиний является аппроксимация полиномом первого или второго порядка (рис.5). В случае горных районов, где горизонталы нанесены очень близко друг к другу, целесообразно использовать полином “ n ” порядка [11,14]:

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

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.

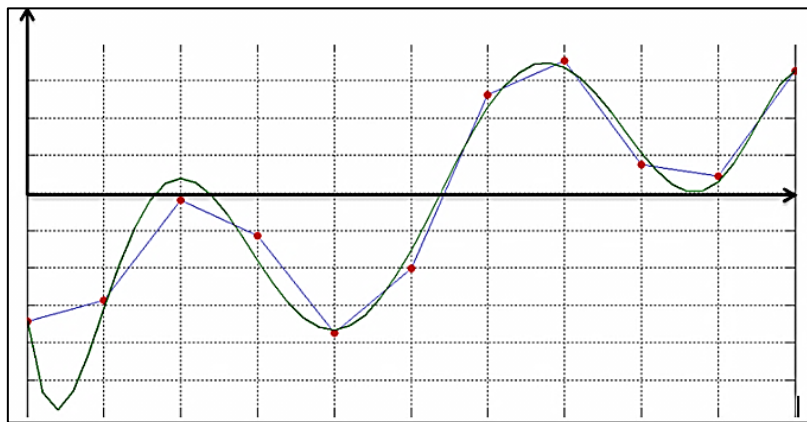


Рис. 5. Аппроксимация полиномом

Разработка модели представляет собой создание растрового изображения и векторизация элементов топографической карты массивом дискретных чисел, которые определяют местонахождение важных объектов. Какая бы модель не использовалась для хранения изображения, она всегда воспроизводится точками, но разбиение на точки приводит к искажению геометрических форм. В процессе векторизации топографических карт возникают ситуации, где контурные линии или горизонталы имеют разрывы в некоторых местах из-за технических ошибок (рис. 6). Тогда можно применять различные методы соединения линий с помощью интерполяции или экстраполяции (рис.4). Такая процедура работы должна основываться на данных, полученных геодезическими и аэрокосмическими измерениями [6].

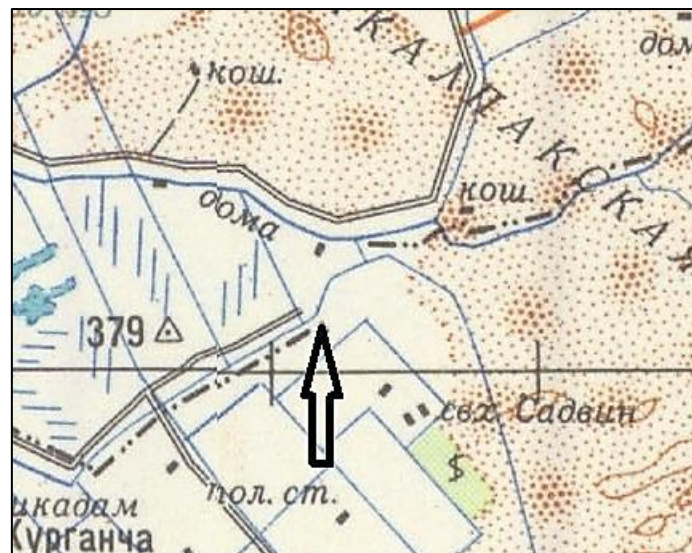


Рис. 6. Линия границы

Основная часть. Известно, при разработке ЦМР в ГИС используется TIN модель (Triangulated Irregular Network), которая состоит из треугольников. Ребро каждого элемента – это часть соседствующей фигуры, а вершины представляют точки координат с известным значением, которые соединяются по принципу триангуляции Делоне [7]. Недостатком является погрешность из-за неполных данных, но это самый быстрый способ интерполирования, которая подходит для описания сложных районов, где

математические вычисления помогают распознать неожиданные изменения поверхности. Здесь используется не один, а несколько методов интерполяции, где учитывают возможность непредвиденного появления неровностей, которые наглядно видно на вертикальном профиле рельефа (рис.7) .

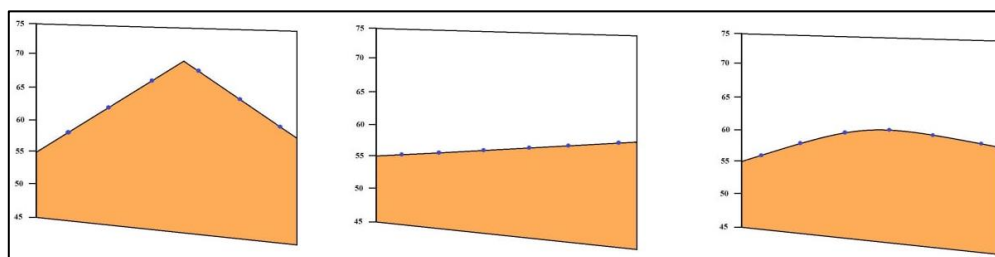


Рис. 7. Сегментация изолиний при вертикальном профиле

В качестве тестирования метода сегментации были использованы топографические карты 1: 500 000 и 1: 100 000 Сурхандарьинской области, на которых нанесены границы с Таджикистаном, Туркменией и Афганистаном. С помощью ГИС “Панорама” произведена векторизация изолиний горных участков с измененным количеством дискретных точек. При этом особое внимание уделено на крутизну склона горного участка. Показано, что уменьшение длины сегментации приводит к более точному графическому изображению формы рельефа. На рисунке 8 изображены ЦМР для двух масштабов, где наглядно видно, что крупномасштабный вид рельефа отображается детальнее по сравнению с мелкомасштабной картой [13].

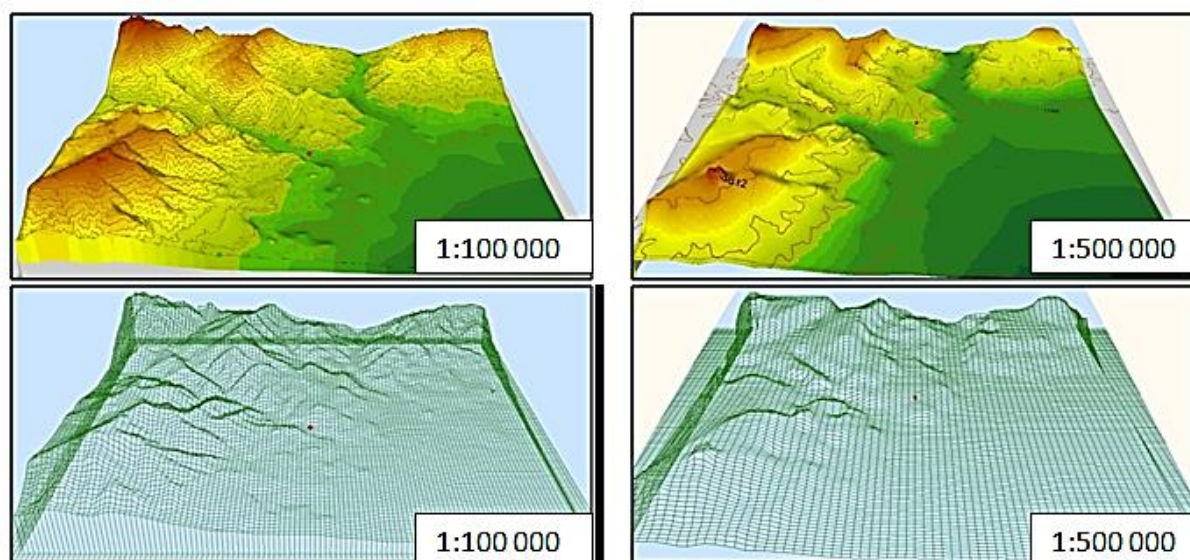


Рис. 8. ЦМР Сурхандарьинской области для масштабов 1:100000 и 1:500000

Анализ полученных результатов показывает, что перед созданием ЦМР следует произвести предварительную оценку имеющихся данных на наличие достоверности и надежности. Следует подобрать оптимальный алгоритм и программный комплекс, отвечающий современным требованиям проектных изысканий. ГИС “Панорама” [1] и “ARGIS” являются универсальными, многофункциональными и соответствующими мировым стандартам по обмену информацией. Полученные ЦМР должны быть наглядными с точки зрения детальности и наглядности. 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. С другой стороны, цифровая модель должна быть гибкой и комфортабельной. Если ЦМР загружена в ГИС, то работать с ней будет 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. ЦМР позволяет предварительно оценить объем земляных работ при проектировании коммуникационной инфраструктуры (рис.9).

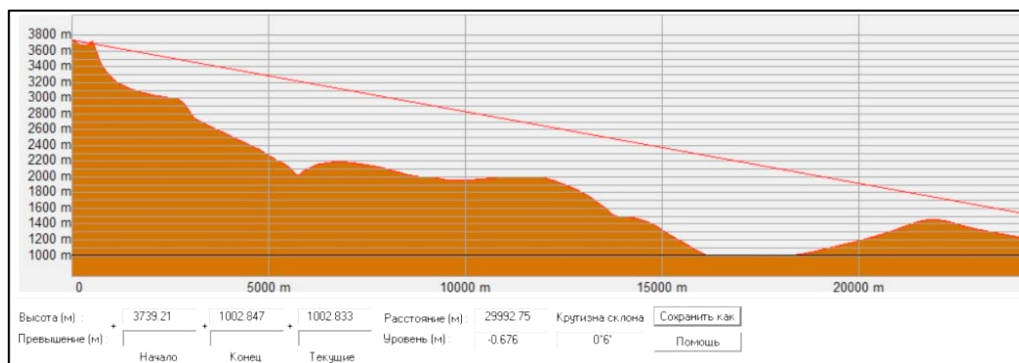


Рис. 9. Зона видимости с учетом рельефа местности

ЦМР представляет собой результат сложения всех работ на местности и дистанционного зондирования, редуцированной к двумерной или трехмерной системе координат, т.е. необходимо произвести редукцию ЦМР к прямоугольной и географической системе координат для объемной визуализации исследуемого участка.

Выводы. Таким образом, можно сделать вывод, что использование метода интерполяции высоко порядка приводит к сглаживанию поверхности, тем самым сокращая разрыв между вычисленной и условно обозначенной линией, проходящей по горным местам [15]. При этом наиболее подходящим уравнением является кубический полином, где горизонталы в ГИС “Панорама” строятся методом сплайна, добываясь близости дискретной точки к изолинии. В таких случаях корректным способом представления линии является процедура аппроксимации горизонталей. Уточнение математической основы карты создаст оптимальные условия вычисления объема земляных работ вдоль, связанных с инженерно-изыскательскими исследованиями. Описанные выше методы сегментации можно отнести не только к горным районам, но и к другим труднодоступным участкам территории Республики Узбекистан, а также к местам, где производятся поиски полезных ископаемых.

Использованная литература:

1. Геоинформационная система «Панорама»: руководство пользователя. Версия 11 [Электронный ресурс]. Ногинск: КБ Панорама, 1991–2010. 139 с.
2. Ерицян Г.Г. Сравнение цифровых моделей рельефа, полученных с топографических карт масштаба 1: 50000, 1: 100000 и 1: 200000 с ЦМР SRTM // Известия НАН РА. Науки о Земле. 2013. Т. 66. №1. С. 39-47.
3. Ершова Н.В., Фролова Г.П. Подготовка ГИС данных: учебно-методическое пособие. Бишкек: КРСУ, 2015. 44 с.
4. Мирмахмудов Э.Р., Олтибоев Ж.М., Каримова М.З. Об изолинии высот топографических карт горных участков Республики Узбекистан // 7 Universum. 2022. №1 (94). С. 83-86.
5. Мирмахмудов Э.Р., Абдумунинов Б.О. Построение цифровой модели горного участка по топографическим картам // Проблемы науки, образования и культуры. 2020. №2. С. 59-63.

6. 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, 2020. С. 76-86.
7. Скворцов А.В. Триангуляция Делоне и ее применение. Томск: ТГУ, 2002. 128 с.
8. Хасанов И.А., Никадамбаева Х.Б. Физическая география Узбекистана. Ташкент: Университет, 2017. 252 с.
9. Щукина О.Г. Фотограмметрия и дистанционное зондирование Земли. Ташкент: Университет, 2022. 214 с.
10. Crain I.K. (1970), Computer Interpolation and Contouring of Two-Dimensional Data: A Review, *Geoexploration*, Vol. 8, pp.71-86.
11. Kidner D.B., Smith D.H. (1992), Compression of Digital Elevation Models by Huffman Coding, *Computers & Geosciences*, Vol. 18, No. 8, pp. 1013-1034.
12. Leberl F. (1973), Interpolation in Square Grid DTMs, *ITC Journal*, Issue 5, pp. 756-807.
13. Mirmakhmudov E., Gulyamova L., Juliev M. (2019), Digital elevation models based on the topographic maps, *Coordinates*, Vol. XV, No. 1, pp. 31-37.
14. Petrie G. (1987), Terrain Modelling in Surveying and Civil Engineering, *Computer-Aided Design*, Vol. 19, No. 4, pp. 171-187.
15. Russell W.S. (1995), Polynomial Interpolation Schemes for Internal Derivative Distributions on Structured Grids, *Applied Numerical Mathematics*, Vol. 17, pp. 129-171.
16. Schut G.H. (1976) Review of Interpolation Methods for Digital Terrain Models, *Canadian Surveyor*, Vol.30, No. 5, pp. 389-412.

References:

1. Geoinformation system "Panorama": user manual. Version 11 (1991-2010), [Electronic resource]. Noginsk, 139 p. (In Russ.).
2. Yeritsyan G.G. (2013), Comparison of digital elevation models obtained from topographic maps at scales 1:50000, 1:100000 and 1:200000 with SRTM DEM, *News of NAS RA. Earth sciences*, Vol. 66, No. 1, pp. 39-47. (In Russ.).
3. Yershova N.V., Frolova G.P. (2015), *Preparation of GIS data: a teaching aid*, Bishkek, 44 p. (In Russ.).
4. Mirmakhmudov E.R., Oltiboev Zh.M., Karimova M.Z. (2022), On the isoline of heights of topographic maps of mountainous areas of the Republic of Uzbekistan, *7 Universum*, No. 1 (94), pp. 83-86. (In Russ.).
5. Mirmakhmudov E.R., Abdumuminov B.O. (2020), Construction of a digital model of a mountain area using topographic maps, *Problems of science, education and culture*, No. 2, pp. 59-63. (In Russ.).
6. Mirmakhmudov E.R., Gulyamova L.Kh., Shchukina O.G. (2020), On the accuracy of the initial data for building a digital elevation model, *Vestnik nauki // Bulletin of science. Collection of articles based on materials of the II-International Scientific and Practical Conference*, Ufa, pp. 76-86. (In Russ.).
7. Skvortsov A.V. (2002), *Delaunay triangulation and its application*, Tomsk, 128 p. (In Russ.).
8. Khasanov I.A., Nikadambayeva Kh.B. (2017), *Natural geography of Uzbekistan*, Tashkent, 252 p. (In Russ.).
9. Shchukina O.G. (2022), *Photogrammetry and remote sensing of the Earth*, Tashkent, 214 p. (In Russ.).
10. Crain I.K. (1970), Computer Interpolation and Contouring of Two-Dimensional Data: A Review, *Geoexploration*, Vol. 8, pp.71-86.
11. Kidner D.B., Smith D.H. (1992), Compression of Digital Elevation Models by Huffman Coding, *Computers & Geosciences*, Vol. 18, No. 8, pp. 1013-1034.
12. Leberl F. (1973), Interpolation in Square Grid DTMs, *ITC Journal*, Issue 5, pp. 756-807.
13. Mirmakhmudov E., Gulyamova L., Juliev M. (2019), Digital elevation models based on the topographic maps, *Coordinates*, Vol. XV, No. 1, pp. 31-37.
14. Petrie G. (1987), Terrain Modelling in Surveying and Civil Engineering, *Computer-Aided Design*, Vol. 19, No. 4, pp. 171-187.
15. Russell W.S. (1995), Polynomial Interpolation Schemes for Internal Derivative Distributions on Structured Grids, *Applied Numerical Mathematics*, Vol. 17, pp. 129-171.

16.Schut G.H. (1976) Review of Interpolation Methods for Digital Terrain Models, *Canadian Surveyor*, Vol.30, No. 5, pp. 389-412.

Сведения об авторах:

Мирмахмудов Эркин Рахимжанович – Национальный университет Узбекистана имени Мирзо Улугбека (Ташкент, Узбекистан), кандидат физико-математических наук, доцент. E-mail: erkin_mir@mail.ru.

Абдумуминов Баходир Одинаевич – Термезский государственный университет (Термез, Узбекистан), преподаватель. E-mail: abdumuminov.2017@mail.ru.

Ковалев Никита Владимирович – Ташкентский государственный технический университет имени И.А.Каримова (Ташкент, Узбекистан), старший преподаватель. E-mail: nv-kovalev@mail.ru.

Information about authors:

Mirmakhmudov Erkin – National University of Uzbekistan named after Mirzo Ulugbek (Tashkent, Uzbekistan), Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Associate Professor. E-mail: erkin_mir@mail.ru.

Abdumuminov Bakhodir – Termez State University (Termez, Uzbekistan), lecturer. E-mail: abdumuminov.2017@mail.ru.

Kovalev Nikita – Tashkent State Technical University named after I.A.Karimov (Tashkent, Uzbekistan), senior lecturer. E-mail: nv-kovalev@mail.ru.

Для цитирования:

Мирмахмудов Э.Р., Абдумуминов Б.О., Ковалев Н.В. Анализ сегментации изолиний топографических карт в ГИС “Панорама” для горных районов Сурхандарьинской области // Центральноазиатский журнал географических исследований. 2022. № 1-2. С. 101-109.

For citation:

Mirmakhmudov E., Abdumuminov B., Kovalev N. (2022), Analysis of segmentation of isolines of topographic map in GIS “Panorama” for mountain areas of Surkhandarya region, *Central Asian journal of the geographical researches*, No. 1-2, pp. 101-109. (In Russ.).