

ОШ МАМЛЕКЕТТИК УНИВЕРСИТЕТИНИН ЖАРЧЫСЫ

ВЕСТНИК ОШСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО УНИВЕРСИТЕТА

BULLETIN OF OSH STATE UNIVERSITY

ISSN 1694-7452 e-ISSN: 1694-8610

№2/2026, 461-476

**ТЕХНИКА**

УДК: 528.7+629.78

DOI: [10.52754/16948610\\_2026\\_2\\_34](https://doi.org/10.52754/16948610_2026_2_34)

**АНАЛИЗ ТОЧНОСТИ ВЕКТОРИЗАЦИИ ИЗОЛИНИЙ НА ТОПОГРАФИЧЕСКИХ  
КАРТАХ ОШСКОЙ И БАТКЕНСКОЙ ОБЛАСТЕЙ**

ОШ ЖАНА БАТКЕН ОБЛУСТАРЫНЫН ТОПОГРАФИЯЛЫК КАРТАЛАРЫНДАГЫ  
ИЗОЛИНИЯЛАРДЫ ВЕКТОРЛОШТУРУУНУН ТАКТЫГЫН ТАЛДОО

ANALYSIS OF THE ACCURACY OF VECTORIZATION OF ISOLINES ON  
TOPOGRAPHICAL MAPS OF OSH AND BATKEN REGIONS

**Абжапарова Динара Амалбековна**

*Абжапарова Динара Амалбековна*

*Abzharova Dinara Amalbekovna*

к.т.н., доцент, Ошский государственный университет

*т.и.к., доцент, Ош мамлекеттик университети*

*Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Osh State University*

[0777859505@mail.ru](mailto:0777859505@mail.ru)

ORCID: 0009-0008-1388-5270

---

**Мирмахмудов Эркин Рахимжанович**

*Мирмахмудов Эркин Рахимжанович*

*Mirmakhmudov Erkin Rakhimjanovich*

к.ф.-м.н., д.г.н., профессор, Национальный Университет Узбекистана

*ф.-м.и.к., г.и.д., профессор, Ўзбекистандын Улуттук университети*

*Candidate of Physical and Mathematical Sciences,*

*Doctor of Geographical Sciences, Professor, National University of Uzbekistan*

[erkin\\_mir@mail.ru](mailto:erkin_mir@mail.ru)

ORCID: 0000-0002-2389-6773

---

**Султанов Жанарбек Маматкулович**

*Султанов Жанарбек Маматкулович*

*Sultanov Zhanarbek Mamatkulovich*

старший преподаватель, Ошский государственный университет

*ага окутуучу, Ош мамлекеттик университети*

*Senior Lecturer, Osh State University*

[jsultanov@oshsu.kg](mailto:jsultanov@oshsu.kg)

---

**Токтосунов Жумашбек**

*Токтосунов Жумашбек*

*Toktosunov Zhumashbek*

преподаватель, Ошский государственный университет

*окутуучу, Ош мамлекеттик университети*

*Lecturer, Osh State University*

[geo-centre@bk.ru](mailto:geo-centre@bk.ru)

ORCID: 0009-0002-7196-1709

**Мамыров Умаралы Осмонович**

*Мамыров Умаралы Осмонович*

*Maturov Umaraly Osmonovich*

**преподаватель, Ошский государственный университет**

*окутуучу, Ош мамлекеттик университети*

*Lecturer, Osh State University*

[umaraly.mamyrov@mail.ru](mailto:umaraly.mamyrov@mail.ru)

ORCID: 0009-0004-1446-1913

## АНАЛИЗ ТОЧНОСТИ ВЕКТОРИЗАЦИИ ИЗОЛИНИЙ НА ТОПОГРАФИЧЕСКИХ КАРТАХ ОШСКОЙ И БАТКЕНСКОЙ ОБЛАСТЕЙ

### Аннотация

Актуальность. Современное развитие геоинформационных технологий и цифровой картографии обусловило возрастающую потребность в создании высокоточных цифровых моделей рельефа (ЦМР). Для горных регионов, к которым относятся Ошская и Баткенская области Кыргызской Республики, точность пространственных данных имеет ключевое значение при решении задач территориального планирования, мониторинга окружающей среды, проектирования инфраструктуры и оценки природных рисков. Одним из важнейших этапов построения ЦМР является векторизация горизонталей с топографических карт, при этом возникающие ошибки могут существенно повлиять на качество конечной модели. В статье приведены критерии точности нанесения изолиний на топографическую карту Баткенской и Ошской областей. Для топографических карт труднодоступных районов и горной местности целесообразно использовать навигационные измерения и результаты аэрофотосъемки. Описывается методика сканирования исходного материала для геоинформационных систем. Особое внимание уделяется векторизации и сегментации горизонталей в ГИС «ПАНОРАМА». Графически представлены результаты оцифровки сплайн методом с учетом степени полинома. Цифровую модель рельефа горной местности более оперативно можно построить на основе крупномасштабных карт. Цель исследования. Оценка точности векторизации изолиний с топографических карт Ошской и Баткенской областей и выявление основных факторов, влияющих на точность создаваемых цифровых моделей рельефа. Векторизация выполнялась с применением современных ГИС-программ с использованием как полуавтоматических, так и ручных методов оцифровки. Оценка точности проводилась путем сопоставления полученных данных с эталонными источниками, включая данные SRTM и другие цифровые модели рельефа. Для анализа использованы статистические методы, включая расчет средней квадратической ошибки (RMSE), средней абсолютной ошибки (MAE), а также пространственный сравнительный анализ. Было установлено что точность векторизации изолиний зависит от масштаба исходной карты, качества исходных материалов, выбранного метода оцифровки и квалификации оператора. Крупномасштабные карты обеспечивают более высокую точность, тогда как мелкомасштабные карты приводят к генерализации рельефа и увеличению погрешностей. Оптимальные результаты достигаются при сочетании автоматизированных методов и ручной корректировки. Результаты исследования могут быть использованы для совершенствования ГИС-моделирования и принятия решений в области управления территориями и инженерного проектирования.

**Ключевые слова:** точность, топографическая карта, сканирование, векторизация, горизонталы, ГИС, ЦМР.

*Ош жана Баткен облустарынын топографиялык карталарындагы изолинияларды векторлоштуруунун тактыгын талдоо*

*Analysis of the accuracy of vectorization of isolines on topographical maps of Osh and Batken regions*

**Аннотация**

Маанилүүлүк. Геомаалыматтык технологиялардын жана санариптик картографиянын заманбап өнүгүшү жогорку тактыктагы санариптик рельеф моделдерин (СРМ) түзүүгө болгон талапты күчөттү. Кыргыз Республикасынын Ош жана Баткен сыяктуу тоолуу аймактарында мейкиндик маалыматтарынын тактыгы аймактык пландаштыруу, айлана-чөйрөнү мониторингдөө, инфраструктураны долбоорлоо жана табигый коркунучтарды баалоодо өзгөчө мааниге ээ. СРМ түзүүнүн маанилүү этаптарынын бири болуп топографиялык карталардагы горизонталдарды (изолинияларды) векторлоштуруу эсептелет, ал эми бул процессте пайда болгон каталар акыркы моделдин сапатына олуттуу таасир этет.

Макалада Баткен жана Ош облустарынын топографиялык карталарындагы изолинияларды түшүрүүнүн тактык критерийлери каралган. Тоолуу жана жетүүгө кыйын аймактар үчүн навигациялык өлчөөлөрдү жана аэрофототартуунун жыйынтыктарын колдонуу максатка ылайыктуу экени белгиленген. Геомаалыматтык системалар үчүн баштапкы материалдарды сканерлөө ыкмасы сүрөттөлгөн. Өзгөчө көңүл ГИС «ПАНОРАМА» программасында горизонталдарды векторлоштурууга жана сегментациялоого бурулган. Сплайн ыкмасы жана полином даражасын эске алуу менен санариптештирүүнүн жыйынтыктары графикалык түрдө көрсөтүлгөн. Тоолуу аймактар үчүн санариптик рельеф моделин ири масштабдагы карталардын негизинде ыкчам түзүүгө мүмкүн экендиги аныкталган. Изилдөөнүн максаты. Ош жана Баткен облустарынын топографиялык карталарынан алынган изолинияларды векторлоштуруунун тактыгын баалоо жана санариптик рельеф моделдеринин сапатына таасир этүүчү негизги факторлорду аныктоо. Векторлоштуруу заманбап ГИС программаларынын жардамы менен жарым автоматтык жана кол менен санариптештирүү ыкмаларын колдонуу аркылуу жүргүзүлгөн. Тактыкты баалоо алынган маалыматтарды эталондук булактар, анын ичинде SRTM жана башка санариптик рельеф моделдери менен салыштыруу жолу менен жүргүзүлгөн. Анализ үчүн орточо квадраттык ката (ОКК), орточо абсолюттук ката (ОАК) жана мейкиндиктик салыштыруу ыкмалары колдонулган. Изолинияларды векторлоштуруунун тактыгы карта масштабына, баштапкы материалдардын сапатына, тандалган ыкмага жана аткаруучунун квалификациясына көз каранды экендиги аныкталды. Ири масштабдагы карталар жогорку тактыкты камсыз кылат, ал эми майда масштабдагы карталар рельефти жалпылоого жана каталардын көбөйүшүнө алып келет.

**Ачык сөздөр:** тактык, топографиялык карта, сканерлөө, векторлоштуруу, горизонталдар, ГИС, санариптик рельеф модели (СРМ).

**Abstract**

Relevance. The modern development of geoinformation technologies and digital cartography has led to an increasing demand for high-precision digital elevation models (DEMs). In mountainous regions such as the Osh and Batken regions of the Kyrgyz Republic, the accuracy of spatial data plays a crucial role in solving tasks related to territorial planning, environmental monitoring, infrastructure design, and natural hazard assessment. One of the most important stages in DEM generation is the vectorization of contour lines from topographic maps, where errors may significantly affect the quality of the final model.

The article presents criteria for assessing the accuracy of contour line representation on topographic maps of the Osh and Batken regions. For topographic mapping in hard-to-reach and mountainous areas, it is advisable to use navigation measurements and aerial survey data. The methodology for scanning source materials for use in geographic information systems is described. Particular attention is paid to the vectorization and segmentation of contour lines in the GIS "PANORAMA" environment. The results of digitization using the spline method, taking into account the polynomial degree, are graphically demonstrated. It is shown that digital elevation models of mountainous terrain can be generated more efficiently using large-scale maps. Research objective is to evaluate the accuracy of contour line vectorization from topographic maps of the Osh and Batken regions and to identify the main factors affecting the accuracy of the resulting DEMs. Vectorization was carried out using modern GIS software, applying both semi-automatic and manual digitization methods. Accuracy assessment was performed by comparing the obtained data with reference datasets, including SRTM and other digital elevation models. Statistical methods such as root mean square error (RMSE), mean absolute error (MAE), and spatial comparative analysis were used. The results showed that the accuracy of contour line vectorization depends on the map scale, the quality of source materials, the selected digitization method, and the operator's qualifications. Large-scale maps provide higher accuracy, whereas small-scale maps lead to terrain generalization and increased errors. Optimal results are achieved by combining automated methods with manual verification and correction. The findings of the study can be used to improve GIS-based modeling and support decision-making in land management and engineering design.

**Keywords:** accuracy, topographic map, scanning, vectorization, contours, GIS, DEM.

## Введение

Современное развитие геоинформационных технологий (Лурье, 2008) и цифровой картографии значительно расширило возможности анализа и моделирования геопространственных данных, а высокоточные цифровые модели рельефа (ЦМР) становятся ключевым инструментом для территориального планирования, инженерного проектирования (Титовская, 2021), мониторинга окружающей среды и оценки природных рисков. Для горных регионов, таких как Ошская и Баткенская области Кыргызской Республики, создание достоверных ЦМР особенно важно из-за сложного рельефа, крутых склонов и труднодоступных территорий, которые затрудняют традиционные методы полевых измерений и картографирования (Салишев, 1987). Одним из основных этапов построения ЦМР является векторизация горизонталей с топографических карт, позволяющая перевести графическое изображение рельефа в цифровой формат, пригодный для анализа в ГИС. При этом неизбежно возникают ошибки, зависящие от масштаба карты, качества исходных материалов, используемых методов оцифровки и квалификации оператора. Современные подходы включают полуавтоматическую и автоматическую оцифровку с применением сканирования карт, сплайн-интерполяции, сегментации контуров и интеграции навигационных и аэрофотосъёмочных данных, что ускоряет процесс создания ЦМР и повышает их точность (Ершова & Фролова, 2015). Ручная корректировка остаётся важной, поскольку автоматизированные методы не всегда корректно отражают локальные особенности рельефа и плотность горизонталей. Цель данного исследования - анализ точности векторизации изолиний на топографических картах Ошской и Баткенской областей, выявление основных факторов, влияющих на точность создаваемых ЦМР, а также разработка рекомендаций по оптимизации процессов оцифровки. Для этого применялись современные ГИС-программы, статистические методы оценки ошибок и пространственный сравнительный анализ с эталонными моделями, включая SRTM. Полученные результаты могут быть использованы для совершенствования методов ГИС-моделирования, повышения точности цифровых моделей рельефа и поддержки принятия решений в области территориального планирования, инженерного проектирования и управления природными ресурсами.

Цифровые модели рельефа стали востребованными с начала 1990-1995 годов, благодаря появлению геоинформационных систем и цифровых технологий. Цифровые карты играют важную роль при проектировании крупных инженерных сооружений и объектов, а также в процессе исполнительной топографической съёмки. Следует отметить, что при геоморфологическом анализе рельефа местности используют множество цифровых карт различного масштаба. Однако, в последнее время, для решения прикладных задач возникает необходимость оценки точности ЦМР, построенной по данным Shuttle Radar Topographic Mission (SRTM) (Трофимов, 2014). Ограниченность разрешений в 30 м/dpi не позволяет выявить некоторые детали рельефа. В таких случаях наиболее надёжным считается крупномасштабная топографическая карта.

В 1960-1990 годы были разработаны методы создания топографических карт на основе полевых геодезических измерений и результатов аэрофотосъёмки (Shukina et al., 2012). Были разработаны универсальные методы создания и обновления топографических карт. В настоящее время такая процедура достигла такого высокого уровня и совершенства, что стали забывать о непредсказуемых ситуациях и явлениях на местности, которые должны быть учтены при обновлении топографических планов. В этих местах имеющая технология не

всегда может дать однозначного ответа и решить поставленные задачи. Тогда приходится искать другие пути получения информации, используя весь арсенал математических и геоинформационных разработок. Прежде чем использовать ГИС, необходимо произвести сбор и подготовку имеющихся графических и цифровых материалов. Процесс первичной обработки и получения пространственных данных является утомительным и занимает много времени. Однако, в наибольшей степени, успех работы зависит не только от количества данных, но и от качества результатов. Существует огромное разнообразие информации, полученных в ходе предварительных измерений и наблюдений. Предварительные результаты обычно получают через непосредственные наблюдения географических объектов и явлений. Они могут быть получены через топографические измерения, проведенные непосредственно в поле (тахеометрическая съемка, GPS измерения, полевое картографирование и др.). Также могут быть получены, используя методы дистанционного зондирования (аэрофотосъемка, космические снимки и т. д.). Принципиальным аспектом полевых измерений является то, что они могут быть интерпретированы непосредственно исследователем. Материалы, полученные методами дистанционного зондирования, чаще всего требуют фотограмметрической обработки, предполагающей определенной базы знаний (Берлянд и др., 1988). Это может привести к возникновению различных систематических ошибок. Следует отметить, что непрямой метод получения данных является общим и включает ручную оцифровку, автоматическое и полуавтоматическое сканирование топографических карт и векторизация (Рис.1, 2).

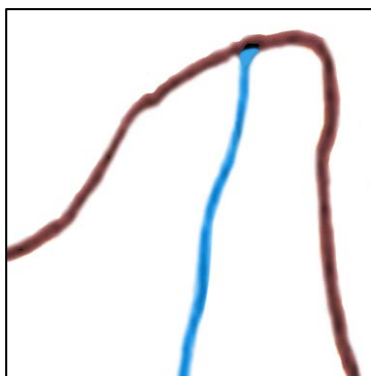


Рис.1. Отсканированная горизонталь.



Рис.2. Векторизация.

Для ручной оцифровки бумажной топографической карты достаточно иметь разрешение не менее 400 dpi. Автоматическая и полуавтоматическая оцифровка аэрофотоснимков может быть произведена в ограниченных случаях с разрешением 800 dpi (Мирмахмудов & Гулямова, 2020). После сканирования, полученное изображение может быть улучшено при помощи различных технологий обработки изображения, которая может включать в себя коррекцию цвета, яркости, контраста, удаление шумов, заполнение пропусков или сглаживание линий.

Создание карт, планов, схем и географический анализ не являются чем-то абсолютно новым. Однако технология ГИС предоставляет новый, современный, более эффективный, удобный и быстрый подход к анализу проблем и решению задач, стоящих перед человечеством в целом и конкретной организацией или группой людей. Она автоматизирует процедуру анализа и прогноза. До начала применения ГИС лишь немногие обладали

искусством обобщения и полноценного анализа геопространственной информации с целью обоснованного принятия оптимальных решений, основанных на современных подходах и средствах. Эту технологию применяют практически во всех сферах человеческой деятельности - будь то анализ таких глобальных проблем, как перенаселение, загрязнение территории, сокращение лесных угодий, природные катастрофы, решение частных задач, таких, как поиск наилучшего маршрута между пунктами, подбор оптимального расположения нового офиса, поиск дома по его адресу, прокладка трубопровода на местности, различные муниципальные задачи и землепользование.

Любая ГИС работает с данными двух типов данных - пространственными и атрибутивными, следовательно, программное обеспечение должно включить систему управления базами тех и других данных (СУБД), а также модули управления средствами ввода и вывода данных, систему визуализации данных и модули для выполнения пространственного анализа.

Что касается топографических карт горных районов Кыргызстана, то они представляют собой наиболее высокую часть региона, с большими контрастами высот и системами хребтов, разделенными между собой крупными тектоническими разломами. Известно, что основную площадь территории Республики Кыргызстан составляют горные массивы, где сосредоточены различные формы рельефа, возникшие в результате геологических и геофизических процессов. Тектонические смещения локальных плит и землетрясения, связанные с продолжающимся горообразованием, обуславливают высокую сейсмичность территории (Bragin, 2007; Мазуров & Абжапарова, 2016). В результате этих процессов происходят различные чрезвычайные ситуации и явления, которые оказывают влияние на жизнедеятельность населения, а климатические и гидрологические факторы приводят к активизации оползневых процессов (Mirmakhmudov et al., 2024). Соответственно, выполнение топографической съемки и геодезических измерений на возвышенностях сопровождается большими трудностями и значительными финансовыми расходами. Несмотря на указанные проблемы, полевые геодезические работы в таких районах, где расположены особо важные протяженные объекты, выполняются с соблюдением всех нормативных требований и инструкций. Если по этим местам проходят административно-территориальные границы, пути сообщения и установлены гидротехнические сооружения, то роль полевых топографических работ приобретает особый статус. Особенно это относится к горным областям исследуемой территории.

При решении задач с использованием плана возникает необходимость определения взаимной видимости точек местности. При определении взаимной видимости точки наблюдения и точек рассматриваемого участка местности формируется так называемая зона видимости. Зона видимости представляет собой растровое изображение сектора обзора с вершиной в точке наблюдения. Невидимые области внутри сектора обзора изображаются цветом, задаваемым в диалоге построения. Рассматриваемый участок местности может быть накрыт несколькими пересекающимися секторами обзора. Зона видимости в области пересечения секторов может быть построена с соблюдением условий:

- точка местности должна быть видна из всех точек наблюдения;
- точка местности должна быть видна хотя бы из одной точки наблюдения.

В настоящее время проектируются современные инженерно-технические сооружения и объекты на территории Кыргызстан, где на начальном этапе строительства выполняется исполнительная съемка местности с цифровыми геодезическими инструментами. При этом, в

качестве исходной системы используется плано-высотная основа геодезической сети, которая заложена была несколько десятков лет назад. Естественно, возникает вопрос о надежности топографо-геодезического обеспечения или необходимости повторных линейно-угловых измерений. Известно, что периодические полевые измерения на пунктах геодезической сети проводятся каждые 3-4 года согласно утвержденной инструкции. Однако, с реформированием профильных организаций республик Центральной Азии, включая геодезические подразделения Кыргызстана, периодичность топографических работ была нарушена. Видимо, это было связано с ограниченностью финансирования полевых работ. Это привело к тому, что необходимо произвести анализ координатно-высотной основы геодезической сети Республики Кыргызстан. Для предварительного исследования были выбраны две южные области, где на вершинах холмов установлены пункты триангуляции и пункты Центрально-Азиатской Геодинамической сети (CATS- Central Asian Tectonic Science).

В последние годы картографированию Ошской и Баткенской областей стали уделять особое внимание из-за того, что указанные регионы имеют общую границу с Таджикистаном, Узбекистаном и Китаем. Для решения поставленной задачи необходимо иметь надежную координатную основу геодезической сети. Естественно, такая сеть, построенная в конце XX века на территории Центральной Азии, должна была быть стабильной в течение длительного времени. Соответственно, производство топографо-геодезических работ в этих местах существенно отличается по точности и времени. Наиболее чувствительными к точности координат являются высоты пунктов геодезической сети, полученные тригонометрическим, геометрическим нивелированиями, а также высоты горизонталей, полученные на основе стереофотограмметрической обработки. Известно, что точность определения координат объектов и сооружений на карте составляет 0.1 - 0.2 мм. Следует отметить, что с течением времени координатная сетка проекции Гаусса - Крюгера деформировалась из-за глобальных, локальных и других геодинамических процессов. Согласно утвержденной инструкции о топографических картах, традиционное обновление должно быть произведено спустя 5 лет, используя повторные полевые измерения и результаты аэрофотосъемки. Топографические карты горных районов 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 и точности нанесения изолиний.

## **2. Материалы и методы исследования**

В работе использованы бумажные топографические карты некоторых участков юго-восточной части Ферганской долины (Баткенская и Ошская области), которые имеются во многих топографо-геодезических организациях. Особенно это касается крупномасштабных карт и планов горных районов, где проложены границы, пути сообщения, перевалы, линии электропередач, тоннеля, гидрологические сооружения и заповедные зоны. Для таких участков топографическая карта приобретают особый статус, но возникает вопрос о надежности и достоверности таких материалов для горной местности.

В качестве исходных данных были использованы классические топографические карты, цифровые модели местности, координаты пунктов ГГС, координаты реперов Центрально-Азиатской Геодинамической сети (Reigber et al., 1999) и данные SRTM исследуемого региона. Также были использованы навигационные измерения, выполненные на горе Сулейман Тоо с помощью GNSS приемника South в 2025 году. Для указанных

областей имеются топографические карты масштаба 1 : 500 000 с номенклатурами К – 42 – Г, К – 43 – В, J – 42 – Б, J – 43 – А и 37 трапедий масштаба 1 : 100 000.

Традиционные геодезические пункты, установленные на территории Баткенской и Ошской областей, были вычислены в системе координат СК63. Эти пункты являются составной частью ГГС, но со смещением по прямоугольной координате Гаусса-Крюгера от относительно СК42. Параметры референц-эллипсоида Красовского остаются без изменений, тем самым, упрощается процедура преобразования координат между СК63 и СК42 (Гиенко, 2001).

В южной части Киргизии установлены 12 пунктов ГГС I – IV класса, координаты которых даны в СК63. В основе СК63 лежит топографическая карта масштаба 1:100 000, в которой используется 3-х градусная картографическая зона масштаба 1:10 000. Для установленных пунктов ГГС выполнено преобразование прямоугольных координат из СК63 в геодезические  $B_{СК42}$ ,  $L_{СК42}$  (Табл.1) и прямоугольные координаты  $X_{42}$ ,  $Y_{42}$ .

**Таблица 1.** Координаты пунктов ГГС южного региона Кыргызстана.

ГГС	$X_{СК63}$ (м)	$Y_{СК63}$ (м)	$H$ (м)	$B_{СК42}$	$L_{СК42}$
4	4489467,25	316872,16	1089	40,518867°	72,839164°
9	4552181,78	305597,73	2430	40,180797°	72,717572°
16	4385379,81	301082,86	2950	39,578583°	72,684919°
17	4433890,21	557443,87	1195	40,036611°	69,673039°
19	4470250,98	437206,94	2720	40,363664°	74,260744°
29	4471086,77	368153,98	2121	40,363136°	73,447826°
30	4418971,68	617158,38	2524	39,895222°	70,369839°
33	4446640,01	739823,97	1972	40,119214°	71,813103°
42	4391064,52	349247,47	3223	39,639594°	73,243900°
49	4497388,99	496744,80	3326	40,610405°	74,961536°
53	4456011,54	249730,02	1217	40,200461°	72,060881°
65	4539880,24	324008,77	1238	40,974072°	72,909153°
66	4420628,20	667950,31	1963	39,902500°	70,963881°
71	4378085,98	263684,11	2630	39,503503°	72,252681°

Система координат СК42 традиционных карт отличается от современного WGS84 не только геометрическими параметрами эллипсоида, которые определяются в результате обработки массива измерений, выполненных различными инструментами, но и картографической проекцией. Переход от одной системы координат в другую может осуществляться разными способами, но применение различных дат приводит к тому, что одна и та же точка земной поверхности имеет различные координаты (Базлов, 1996). Существуют формулы связи систем координат и разработаны программные обеспечения, которые используются в топографо-геодезических организациях и высших учебных заведениях.

На практике стремятся к максимальному упрощению и удобству при выборе системы координат, особенно это касается крупных линейных объектов. На объектах и сооружениях устанавливаются опорные знаки и репера, координаты которых редуцируются к определенной системе координат и уровенной поверхности. В таких случаях наиболее оптимальной является местная или условная система координат, начало которой может быть произвольной. В

некоторых районах и поселках областного подчинения Республики Кыргызстан до сих пор используется 3-х градусная картографическая зона для топографо-геодезических работ масштаба 1 : 10 000 и 1 : 25 000.

Пункты на местности закреплены деревянными сигналами и пирамидами, позже стали использовать металлические конструкции. Некоторые из установленных пирамид демонтированы или утеряны, но центры знаков сохранились. Эти пункты с нормальными высотами отмечены на топографических картах, координаты их можно определить относительно координатной сетки.

В связи с переходом на новые технологии, некоторые республики Центральной Азии перешли на общеземную систему координат WGS84. Переход от одной системы координат к другой это сложный и трудоемкий математический процесс, учитывающий комбинацию традиционных и спутниковых данных (Mirmakmudov et al., 2019). Наиболее быстрым и оперативным оказался метод Молоденского, где углы наклона между двумя системами равны нулю, тогда достаточно иметь 3 линейных параметра преобразования.

Специалистами германского центра изучения Земли (GFZ, Потсдам) совместно с подразделениями Республик Узбекистана и Киргизии была проведена международная научная программа CATS с 1992 по 1998 годы по определению вертикальных и горизонтальных смещений верхней части литосферы Центральной Азии. Горная территория размером 1200x1800 км была покрыта региональной сетью этой программы. Результаты спутниковых данных были использованы для сравнения сейсмических данных (Djenaliev et al., 2018) и предварительной оценки движения микроплит за 100 лет. Была определена новая депрессионная модель, состоящая из 79 блоков для Тянь-Шаньского региона и прилегающих областей на основе установленных 90 GPS наземных пунктов. На территории Кыргызстана были установлены 26 GPS пунктов CATS сети, где 7 пунктов из этой сети расположены в Ошской и Баткенской областях. Для повышения точности цифровой модели рельефа применялись навигационные измерения и результаты аэрофотосъемки, а также пункты государственной геодезической сети (ГГС) и репера CATS. Карты сканировались с использованием методики, обеспечивающей сохранение геометрической точности и корректную интеграцию в геоинформационные системы (ГИС).

**Таблица 2.** Координаты пунктов CATS Ошской и Баткенской областей в WGS84.

№	обозн	$L$	$B$	$H_{(м)}$	$X_{(м)}$	$Y_{(м)}$	$Z_{(м)}$
8	ANDA	69,515278°	39,736917°	1873,4	1719297,302	4602210,172	4056763,448
13	KARA	70,962528°	39.958888°	1421,5	1597247,089	4608905,630	4075400,666
18	CAUV	72,089639°	40,198722°	1054,7	1500524,923	4642843,800	4095544,786
57	OSCH	72,777750°	40,530056°	1047,7	1437861,821	4638603,487	4122546,189
63	DARA	72,286083°	39,406139°	2736,6	1498554,041	4691655,653	4043280,890
64	SAUK	72,247777°	39,438611°	3052,4	1504655,825	4699915,637	4031981,401
77	KOKD	73,243250°	39.639777°	3193,0	1418705,203	4711829,767	4049303,326

Векторизация горизонталей выполнялась в ГИС «Панорама» с применением как полуавтоматических, так и ручных методов оцифровки, при этом особое внимание уделялось сегментации контуров и учёту степени полинома при сплайн-интерполяции. Точность векторизации оценивалась путём сопоставления полученных данных с эталонными источниками, включая SRTM и другие цифровые модели рельефа, с использованием среднеквадратической ошибки, средней абсолютной ошибки и пространственного сравнительного анализа для выявления зон максимальных отклонений.

### 3. Результаты и обсуждения

Наиболее точным методом построения изолиний является аппроксимация полиномом второго и третьего порядка. В случае горных районов, где горизонталы нанесены очень близко друг к другу, целесообразно использовать полином “n” порядка (Leberl, 1973):

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

где  $a_i$  ( $i=0, 1, 2, \dots, n$ ) - коэффициенты полинома;  $x_i$  ( $k=1, 2, 3, \dots, n$ ) - переменные, зависящие от координат точек. Коэффициенты  $a_i$  определяются методом наименьших квадратов, соблюдая условие минимума измеренных и вычисленных значений.

Точность изолиний является одной из важнейших характеристик качества модели, которая может быть оценена ее соответствием оригиналу. Она определяется по выборочным оценкам среднеквадратичных погрешностей значений высот (Мирмахмудов & Абдумуминов, 2020).

Обычно разработка топографической карты для труднодоступных районов и горной местности исследуемого района основана на современных навигационных измерениях и аэрофотосъемке, где основное внимание уделяется рельефу, ситуации, объектам и сооружениям, которые имеют специальные условные обозначения. Применение современных технологий, таких как LiDAR и беспилотные летательные аппараты, позволяют получать точные и подробные материалы о горной местности. Известно, что горный рельеф характеризуется резкими перепадами высот, который влияет на степень нанесения горизонталей на топографическую карту. Конечно же, это зависит от крутизны и площади поверхности, где производятся инженерно-изыскательские работы. При этом, немаловажный фактор имеет картографическая проекция, нанесенная относительно пунктов триангуляции 1-4 класса (Рис.3).



Рис. 3. Пункты триангуляции I-IV класса.

Поскольку основным элементом при формировании границ и горизонталей является линия в виде пунктира или сплошной линии, то здесь описаны методы нанесения горизонталей и программные средства, используемые при фотограмметрических работах. Отсканированная карта, которая представляется в виде растра, должна отвечать требованиям, предъявляемым к стандартному формату изображений. Погрешность нанесения горизонталей колеблется в диапазоне 0.1 - 0.8 мм, допустимое среднее смещение составляет 0.5мм сечения. Точность модели определяется масштабом и сложностью рельефа, что требует решения задачи об интерполяции ее поверхности, которая представляется как функция двух переменных  $x, y$  (Гулямова и др., 2021). На практике исходный рельеф задается в виде пикетных точек, полученных с помощью тахеометрической съемки. В ГИС существует модуль, обеспечивающий преобразование изолиний в регулярную сетку или триангуляционную сеть, используя метод сегментации (рис.4).

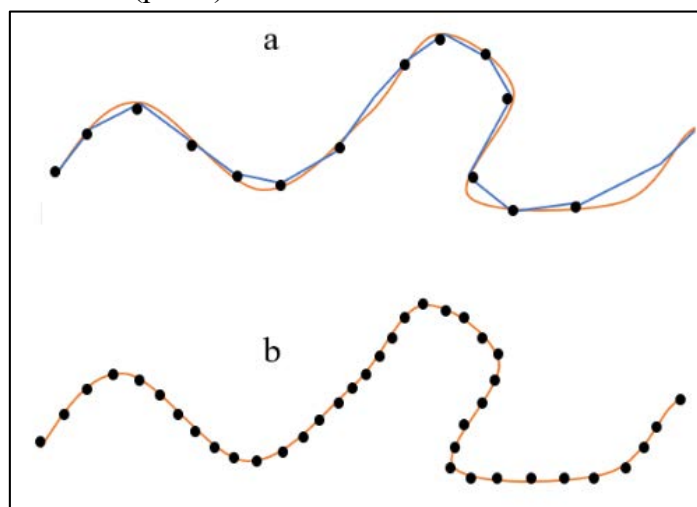


Рис.4. Сегментация изолиний.

В аэрогеодезических предприятиях горизонтали наносятся стереофотограмметрическим способом по результатам полевых геодезических измерений и

материалам аэрофотосъемки. Восстановление или редактирование границы возможно в том случае, если известны координаты точек, находящихся между двумя районами. Для этого наиболее эффективным способом является использование данных Earth Map. В первую очередь, следует учесть плотность проведения горизонталей, которая зависит от наклона рельефа и крутизны ската. Эта зависимость в виде диаграммы или графика представлена на топографических картах масштаба 1:100 000–1:500 000 (рис.5).

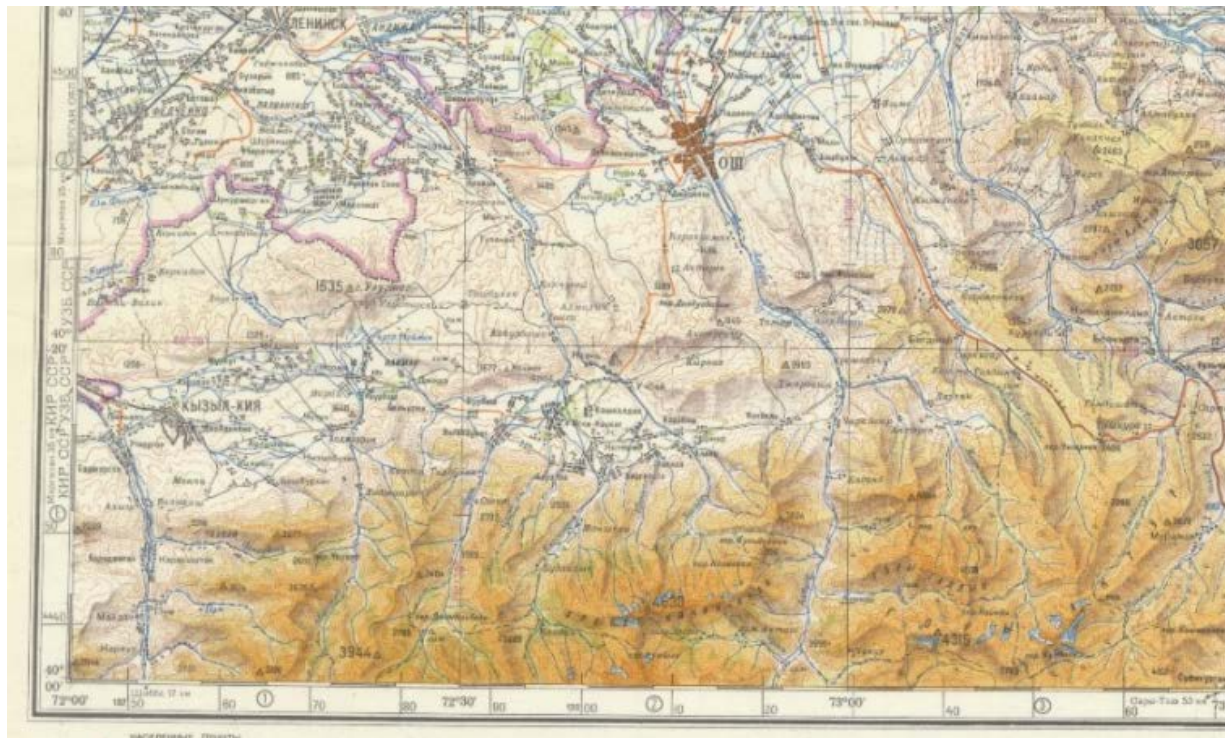


Рис. 5. Фрагмент топографической карты Ошской и Баткенской областей.

На первых этапах создания цифровых карт были реализованы собственные разработки специалистов геодезических организаций и использованы модули стандартной программы SURFER. С внедрением геоинформационных технологий (INTERGRAPH, TERRA VISTA, PHOTOMOD, ARCGIS, Панорама и другие) процесс подготовки стал более универсальным. Весь технологический цикл, от полевых измерений до получения конечного продукта, занимает минимум времени по сравнению с традиционными методами. Для выполнения подготовительных работ используют современные плоттеры широкого формата, с помощью которых можно распечатать цифровую топографическую карту заданного региона. Поскольку в мелкомасштабных картах горных районов горизонталы проведены близко друг к другу, то распечатка в крупном масштабе позволит оценить некоторые аспекты инженерных работ, связанных с проектированием особо важных сооружений. Анализ результатов векторизации изолиний высот показал, что, чем сложнее рельеф местности, тем больше точек оцифровки приходится использовать в ГИС. В результате получается ЦМР, которая соответствует реальной местности. Например, если же использовать грубую сегментацию, то изолинии будут ломанными кривыми (рис.6), не отражающими геометрию рельефа. Если изолинии изображены расплывчато, то приходится использовать возможности “Photoshop CC”. Выбранный участок, который расположен на соответствующей номенклатуре, должен быть в одной координатной системе. Это позволит более корректно составить схему проектирования инженерно-строительных сооружений в гористой местности (Abzharova et al., 2025).

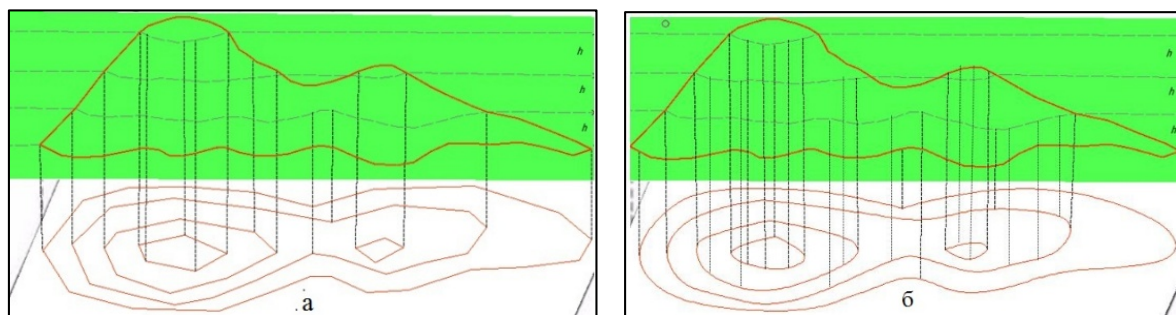


Рис. 6. Результаты векторизации( а- грубая, б – точная).

Таким образом, можно отметить, что ЦМР Баткенской и Ошской областей более оперативно можно построить с помощью ГИС по топографическим картам необходимого масштаба. Для предварительного контроля следует использовать результаты космической миссии SRTM. Если цифровая модель рельефа загружена в ГИС, то работать с ней будет удобно во многих САПР, т.к. она поддерживает большинство форматов. Обычно в ГИС используются стандартные SHP и ASCII файлы для векторизации объектов на топографических или тематических картах. С помощью этих файлов легко и детальнее можно отобразить рельеф, линии коммуникаций и границы объектов.

## Выводы

В заключении можно сделать вывод, что топографические карты еще долго будут востребованы для построения ЦММ из-за детальности ситуаций. А математическая основа является наиболее достоверной и точной с точки зрения вычисления объемов земляных работ, связанных с инженерно-изыскательскими исследованиями.

Следует отметить, что на территории Кыргызстан проявлен широкий спектр экзогенных геологических процессов, которые являются опасными. К этой категории можно отнести оползневые, селевые, карстовые, абразионные процессы и явления. Снижение геологической опасности, ее прогноз требует наличия достоверных данных о развитии экзогенных геологических процессов, данных о динамике факторов, влияющих на их активность. Для исследования указанных процессов используют ГИС-технологий, а также для мониторинга глубинных геологических процессов, таких, как сейсмические, гидротермальные, которые также представляют большую опасность для населенных пунктов.

Так как исследуемая территория наиболее разнообразна в геологическом аспекте, то важные задачи решаются с помощью геоинформационных технологий при мониторинге геологической среды. Процессы обработки месторождений полезных ископаемых существенно изменяют характер окружающей среды в худшую сторону. Эта проблема стоит особенно остро для крупных горнопромышленных районов, где формируются многочисленные техногенные образования: отвалы карьеров и шахт, хвостохранилища, отстойники шахтных вод и т.д. Оптимальное планирование для размещения этих объектов и систематические наблюдения за ними для выяснения влияния на окружающую среду выполняются с применением ГИС-технологий.

Помимо выше указанных проблем, возникает задача моделирования зоны затопления. Построение зоны затопления выполняется в пределах заданного участка линейного или

площадного объекта гидрографии. Необходимо выбрать на плане участок объекта гидрографии, вокруг которого предполагается построение зоны затопления. Для линейного объекта участок задается двумя точками, для площадного - тремя. Если необходимо проанализировать реку, представленную несколькими объектами карты, или несколько взаимосвязанных объектов, то необходимо предварительно создать объединенный объект.

Описанные выше проблемы относятся не только к горным районам, но к местам, где выполняются поиски полезных ископаемых. Анализ точности векторизации изолиний на топографических картах Ошской и Баткенской областей показал, что масштаб исходной карты существенно влияет на качество цифровой модели рельефа: крупномасштабные карты обеспечивают более высокую точность, тогда как мелкомасштабные приводят к генерализации рельефа и увеличению погрешностей. Важным фактором является квалификация оператора, особенно при обработке сложных горных районов с высокой плотностью горизонталей. Наиболее оптимальные результаты достигаются при комбинировании автоматизированных методов с ручной корректировкой, что обеспечивает баланс между скоростью обработки и точностью.

### Список литературы:

1. Базлов, Ю. А., Герасимов, А. П., Ефимов, Г. Н., & Насретдинов, К. К. (1996). Параметры связи систем координат. *Геодезия и картография*, (8), 6–7.
2. Берлянд, А.М., Гедымин, А.В., Кельнер, Ю.Г., и др. (1988). *Справочник по картографии*. Москва: Недра.
3. Гиенко, Е. Г. (2001). Результаты численных экспериментов по определению параметров трансформирования локальных геодезических сетей. В *Современные проблемы геодезии и оптики: Тезисы докладов 51-й научной конференции преподавателей СГГА* (с. 15). Новосибирск.
4. Гулямова, Л. Х., Мирмахмудов, Э. Р., & Олтибоев, Ж. (2021). Создание трехмерных моделей рельефа окрестности рудника Ауминзо-Амантайтау. *Вестник науки*, 4(10), 152–162.
5. Ершова, Н.В., & Фролова, Г.П. (2015). *Подготовка ГИС данных: Учебно-методическое пособие*. Бишкек: КРСУ.
6. Лурье, И.К. (2008). *Геоинформационное картографирование: Методы геоинформатики и цифровой обработки космических снимков*. Москва: КДУ.
7. Мазуров, Б. Т., & Абжапарова, Д. А. (2016). Изучение геодинамики Центральной Азии геодезическими методами. В *Интерэкспо Гео-Сибирь*, Т.1, №2, 42–46.
8. Мирмахмудов, Э. Р., & Абдумуминов, Б. О. (2020). Построение цифровой модели горного участка по топографическим картам. *Проблемы науки, образования и культуры*, (2), 59–63.
9. Мирмахмудов, Э.Р., & Гулямова, Л.Х. (2020). О точности исходных данных для построения цифровой модели рельефа. В *Вестник науки: Сборник статей II Международной научно-практической конференции* (с. 76–86). Уфа.
10. Салишев, К.А. (1987). *Проектирование и составление карт*. Москва: Издательство МГУ.

11. Титовская, М.А. (2021). Построение цифровой модели местности как основа разработки информационных моделей транспортных сооружений. *Universum: Технические науки*, (6), 88–90.
12. Трофимов, А.А. (2014). Оценка точности матрицы высот SRTM по материалам топографических съемок. *Геопрофи*, (6), 13–17.
13. Abzhararova, D., Mirmakhmudov, E., Toshonov, B., Sultanov, Z., & Muhtarov, D. (2025). Development of a DEM in the GIS “PANORAMA” based on a topographic map for the southern territory of the Fergana Valley. *Journal of Environmental & Earth Sciences*, 7(8), 16–21. <https://doi.org/10.30564/jees.v7i8.10001>
14. Bragin, V.D. (2007). The Kyrgyz Seismic Network (KNET). In *Book of Abstracts, Spring Meeting, American Geophysical Union*, pp. 42–46.
15. Djenaliev, A., Kada, M., Chymyrov, A., Hellwich, O., & Muraliev, A. (2018). Spatial statistical analysis of earthquakes in Kyrgyzstan. *International Journal of Geoinformatics*, 14(1), 11–20.
16. Leberl, F. (1973). Interpolation in square grid DTM. *ITC Journal*, (5), 75–807.
17. Mirmakhmudov, E., Abzhararova, D., Tashbaltaeva, Sh., Mamadaminova, B., & Xakimova, M. (2024). Geophysical research on a landslide-prone slope in the vicinity of the village of Ayusay in the Republic of Kyrgyzstan. *E3S Web of Conferences*, 590, 03007, 1–8.
18. Mirmakhmudov, E., Gulyamova, L., & Juliev, M. (2019). Digital elevation models based on the topographic maps. *Coordinates*, 15(1), 31–37.
19. Reigber, Ch., Angermann, D., Michel, G., Klotz, J., Galas, R., & the CATS-Team. (1999). GPS constraints on the distribution of deformation of the Tien Shan and N-Pamirs and behavior of the Tarim. In *14th Himalaya-Karakorum-Tibet Workshop. Terra Nostra*, (127).
20. Shukina, O., Muborakov, K., Ruziev, A., Yakubov, G., & Ergashev, M. (2012). Using digital photogrammetry to create large-scale topographic maps and plans in Uzbekistan. *International Journal of Geoinformatics*, 18(1), 37–42.