

Казахский национальный исследовательский технический университет имени  
К.И. Сатпаева

УДК 528.41/.45 (21)

На правах рукописи

**СЫЗДЫКОВА ГУЛЬДАНА ДАУЛЕТОВНА**

**Совершенствование способов оценки морфометрических элементов  
топографической основы сложнорельефной местности**

6D 071100 - Геодезия

Диссертация на соискание степени  
доктора философии (PhD)

Научные консультанты  
доктор технических наук,  
профессор Курманкожаев А.К.  
доктор PhD,  
профессор EugeneLevin

Республика Казахстан  
Алматы, 2017

## СОДЕРЖАНИЕ

<b>НОРМАТИВНЫЕ ССЫЛКИ.....</b>	<b>4</b>
<b>ОПРЕДЕЛЕНИЯ .....</b>	<b>5</b>
<b>ОБОЗНАЧЕНИЯ И СОКРАЩЕНИЯ .....</b>	<b>6</b>
<b>1 ОСОБЕННОСТИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ                    МОРФОМЕТРИЧЕСКИХ</b>	
<b>ПРИЗНАКОВ СЛОЖНОГО РЕЛЬЕФА.....</b>	<b>11</b>
1.1 Анализ существующих способов определения высоты сечения рельефа.....	11
1.2 Существующие способы определения высоты сечения рельефа .....	13
1.3 Аналитический подход к распределению высот рельефа.....	17
1.4 Характеристика колеблемости и степени геометрических неровностей рельефа .....	20
1.5 Выводы по разделу.....	24
<b>2 МЕТОДИКА ГЕОИНФОРМАЦИОННОГО КАРТОГРАФИРОВАНИЯ</b>	<b>26</b>
2.1 Основные этапы развития методики геоинформационного картографирования .....	26
2.2 Основные отличительные особенности методики геоинформационного картографирования .....	31
2.3 Цифровая модель рельефа.....	35
2.4 Сферы и области применения методики геоинформационного картографирования .....	40
2.5 Выводы по разделу.....	43
<b>3 РАЗРАБОТКА РАЦИОНАЛЬНОЙ МЕТОДИКИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ</b>	
<b>ВЫСОТЫ СЕЧЕНИЯ РЕЛЬЕФА И РЕЗУЛЬТАТЫ ПРИМЕНЕНИЯ</b>	
<b>РЕКОМЕНДУЕМОЙ МЕТОДИКИ В УСЛОВИЯХ СЛОЖНОГО</b>	
<b>РЕЛЬЕФА МЕСТНОСТИ .....</b>	<b>45</b>
3.1 Описание общей схемы методики.....	45
3.2 Технологический порядок реализации методики .....	49
3.3 Определение исходных параметров определения высоты сечения рельефа по натурно - экспериментальным объектам местности .....	53
3.4 Сравнительная оценка рекомендуемой методики путем подсчета дифференцированных размеров сечения высоты рельефа и точности их определения по трем натурно - экспериментальным местностям различного масштаба .....	59
3.5 Аналитическая основа повышения оптимальности и дифференцированности высоты сечения рельефа в условиях местности со сложным рельефом, основанной на использовании геоиндикаторных характеристик морфометрии рельефа .....	63
3.6 Выводы по разделу.....	65
<b>4 СОЗДАНИЕ ЦМР НА ОСНОВЕ МЕТОДА ГЕОИНФОРМАЦИОННОГО</b>	
<b>КАРТОГРАФИРОВАНИЯ В УСЛОВИЯХ МЕСТНОСТЕЙ СО</b>	
<b>СЛОЖНЫМ РЕЛЬЕФОМ .....</b>	<b>67</b>
4.1 Источники данных для создания ЦМР .....	67
4.2 Алгоритм обработки космических снимков с помощью программы ERDAS Imagine.....	71

4.3 Общая схема методики .....	82
4.4 Практическое применение методики геоинформационного картографирования .....	84
4.5 Выводы по разделу.....	89
<b>ЗАКЛЮЧЕНИЕ .....</b>	<b>90</b>
<b>СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ .....</b>	<b>92</b>
<b>ПРИЛОЖЕНИЕ А.....</b>	<b>98</b>
<b>ПРИЛОЖЕНИЕ Б.....</b>	<b>100</b>

## НОРМАТИВНЫЕ ССЫЛКИ

В настоящей диссертации использовались следующие стандарты:

ГОСТ 7.1-2003 система стандартов по информации, библиотечному и издательскому делу. Библиографическая запись. Библиографическое описание. Общие требования и правила составления.

ГОСТ 7.32-2001 «Система стандартов по информации, библиотечному и издательскому делу. Отчет о научно-исследовательской работе. Структура и правила оформления».

ГОСТ 7.9-95 (ИСО 214-76) Система стандартов по информации, библиотечному и издательскому делу. Реферат и аннотация. Общие требования.

ГОСТ 7.12-93. Межгосударственный стандарт. Библиографическая запись. Сокращение слов на русском языке. Общие требования и правила.

ГОСТ 7.54-88 Система стандартов по информации, библиотечному и издательскому делу. Представление численных данных о свойствах веществ и материалов в научно-технических документах. Общие требования.

ГОСТ 8.417-81 Государственная система обеспечения единства измерений. Единицы физических величин.

ГОСТ Р 52572-2006 Географические информационные системы. Координатная основа. Общие требования

ГОСТ 22268-76 "Геодезия. Термины и определения"

ГОСТ 21667-76 "Картография. Термины и определения"

ГОСТ 7.32-2001 «Межгосударственный стандарт. Отчет о научно-исследовательской работе. Структура и правила оформления»

ГОСТ 2.105-95 «Межгосударственный стандарт. Единая система конструкторской документации»

## ОПРЕДЕЛЕНИЯ

В настоящей диссертации использованы ссылки на следующие определения:

**Высота сечения рельефа** - заданное расстояние между соседними секущими уровненными поверхностями при изображении рельефа горизонталями.

**Интерполяция** - возможность определять расстояние до горизонталей из прямо пропорциональной зависимости между превышением и горизонтальным проложением между точками с подписанными на плане высотами.

**Точность результата измерений** - одна из характеристик качества измерения, отражающая близость к нулю погрешности результата измерения.

**Горизонтали** - замкнутые кривые линии на карте, соединяющие точки земной поверхности с одинаковой абсолютной высотой и в совокупности передающие формы рельефа.

**Гипсографическая кривая** - кривая в прямоугольных координатах, показывающая распространённость на Земле различных высот (на суше) и глубин (на море).

**Унимодальность** - наличие у функции одного экстремума на заданном интервале. Для большинства случаев общие свойства функции распределения, а именно заметная асимметрия с правосторонней скошенностью. Унимодальность пределы области распределения позволили выдвинуть гипотезу логнормального закона распределения.

**Асимметричность** -отсутствие элементов симметрии в природных или теоретических объектах.

**Дисперсия** -наиболее употребительная мера рассеивания, то есть отклонения от среднего. Показатель разброса данных, соответственный среднему квадрату отклонения этих данных от средней арифметической. Равна квадрату стандартного отклонения.

**Модальное значение высот сечения рельефа** - значение вершинных высот рельефа, играет роль естественного структурного узлового параметра рельефа и выступает в качестве общего пространственно-статистического критерия разделяющим морфометрического поля на отдельные структурные части.

**Апертура** - действующее отверстие оптического прибора, определяемое размерами линз или диафрагмами.

## ОБОЗНАЧЕНИЯ И СОКРАЩЕНИЯ

ГИС - Геоинформационные системы  
РК - Республика Казахстан  
ЦМР - Цифровая модель рельефа  
ЦММ - Цифровая модель местности  
АО - Акционерное общество  
НК - Национальная компания  
РГКП - Республиканское государственное казённое предприятие  
СССР - Союз Советских Социалистических Республик  
США - Соединенные Штаты Америки  
ФРГ - Федеративная Республика Германии  
ДЗЗ - Дистанционное зондирование Земли  
ГК - Геоинформационное картографирование  
SYMAP - Synteny Mapping and Analysis Program  
SACS - Street Address Conversion Systems  
ESRI - Environmental Systems Research Institute  
ERDAS - Earth Resources Data Analysis System  
АЦПУ - Алфавитно-цифровые печатающие устройства  
ЭВМ - Электронно-вычислительная машина  
МГУ - Московский государственный университет  
АКС - Административно-командная система  
КБД - Картографическая база данных  
TIN - Triangular Irregular Networks  
SRTM - Shuttle Radar Topography Mission  
SIR-C - Spaceborne Imaging Radar C-band  
X-SAR - X-band Synthetic Aperture Radar.  
WGS - World Geodetic System  
EGM - Earth Geoid Model  
RPC - Rational Polynomial Coefficients  
ПВО - Параметры внутреннего ориентирования  
GCP - Ground Control Points  
СКО - Средняя квадратическая ошибка  
SSTL - Surrey Satellite Technology Limited

## ВВЕДЕНИЕ

**Актуальность темы исследований.** В условиях динамического развития экономики молодого государства появилась необходимость коренного пересмотра земельных отношений в стране, в Земельный кодекс Республики Казахстан постоянно вводятся изменения, в обществе остро обсуждается вопрос прозрачности процессов, связанных с землеустройством и землепользованием. Получение точных, достоверных и актуальных топографических данных по земельным и другим природным ресурсам в настоящий момент имеет высокое социально - экономическое общегосударственное значение. Во главу угла результативной деятельности топографической службы Республики ставится качество топографических, тематических карт и планов, основным предъявляемым требованием к которым является соответствие мировым стандартам и установленным нормативам.

Во многих отраслях экономики республики немаловажной составляющей является информация о местности, в связи с чем, наблюдается растущий спрос на качественные услуги с использованием геодезической и картографической продукции, нередко эта продукция является важным юридическим документом.

Изучение морфометрических характеристик рельефа земной поверхности за истекший полувековой отрезок времени получило существенное развитие как в методологической, так и практической сферах исследований. Значительные результаты совершенствования технологий и методов изучения геодезии и картографии придали резкий импульс в развитии сфер народного хозяйства, зависящих от инженерных изысканий. Вопросы исследования рельефа территорий республики могут успешно решаться на достигнутой методической основе с применением доступной технологии цифровой картографической информации.

Значительное изменение качественных показателей за счет улучшения технологии измерений плановых и высотных данных цифровой модели рельефа дало возможность улучшить производимые замеры ЦМР в отдельно взятых регионах и на всей территории Казахстана, значительно сократить время на создание карт масштаба, превышающих отношение 1:50 000 для местностей со сложным рельефом.

Применение результатов дистанционного зондирования земной поверхности с космических спутников, съемки с воздушных летательных аппаратов все больше становятся востребованными при изготовлении ЦМР, являющихся основными структурообразующими деталями обновляемого картографического материала.

Изыскательские работы по строению поверхности земли с использованием цифровых моделей местности на основе точных данных математического распределения точек высот, а также полученных производных значений углов, положений и углов склонов, плановых и высотных величин рельефа, геоморфологических данных всех измерений являются основой при создании карт местности.

Применение современных приборов систем фиксации деталей рельефа поверхности земли, создание новейших программных продуктов и технических решений по цифровизации получаемых данных при изыскательских работах дают возможность создавать информационный банк данных неограниченного объема, формировать хранилища для массивов данных измерений с многократной защитой от потерь информации цифровых моделей местности.

На сегодня в картографическом производстве используются различные источники данных измерений поверхности земли, применяются новейшие методы их интерполяции при проектировании непрерывающейся земной поверхности с высотными характеристиками, применение которых дают различные по точности цифровые модели рельефа. В связи с этим улучшение степени качества цифровой модели рельефа непременно будет являться одним из актуальных вопросов геодезической науки и картографического производства, нацеленного получать значительно точные измерения точек высот со значительно большим разрешением.

Геодезия как наука нацелена совершенствовать методику изысканий, совершенствовать систематизацию сбора и обработки данных точек высот, сейчас уже говорят об облаке точек, автоматизировать процесс описания и визуализации топографических элементов, значительно расширить методику изображения поверхности земли. Территория Казахстана по величине занимающая девятое место в мире, с рельефом, представляющим все географические элементы земного шара, является очень серьезным объектом для геодезического исследования.

Создание новых интеллектуальных компьютерных технологий, сверхточных измерительных приборов, получение данных ДЗЗ, создание сложнейших и надежных геоинформационных систем, освоение своей космической индустрии позволило создать условия совершенствования геодезических исследований рельефа территории Казахстана.

Изучение рельефа топографической основы местности со сложным рельефом является первостепенной задачей для научных и прикладных исследований в области геодезии и картографии, для практических целей навигации, строительства, добычи полезных ископаемых, при проведении поисково-разведочных работ, включая прокладку трубопроводов, а также развитие глобальных информационных систем, а именно создания нового поколения цифровых карт с высоким разрешением и большой степенью надежности.

Диссертационная работа выполнена на кафедре "Маркшейдерское дело и геодезия" Казахского национального исследовательского технического университета имени К.И. Сатпаева.

**Целью диссертационной работы** является совершенствование способов комплексной оценки морфометрических элементов топографической поверхности в условиях местности со сложным рельефом.

### **Основные задачи исследования:**

1. Разработка рациональной методики определения высоты сечения рельефа в условиях местности со сложным рельефом;
2. Изучение морфометрических характеристик рельефа земной поверхности с целью повышения оптимальности и дифференцированности высоты сечения рельефа.
3. Совершенствование методической основы создания ЦМР на основе эффективного использования разных источников информации: аэрокосмической, наземной, картографической.

**Объект и предмет исследования:** объекты выбраны по трем различным местностям Казахстана, реализуемые на основе распознавания по морфометрическим признакам рельефа.

**Методика исследований:** в основу методики исследований положен комплексный подход, который включает в себя: анализ метода теории оценки и вероятностных распределений и методику геоинформационного картографирования.

**Научная новизна работы** заключается в следующем:

1. Методика определения высоты сечения топографической поверхности разработана путем использования информативных и геоиндикаторных характеристик морфометрии рельефа.
2. Создана аналитическая основа повышения оптимальности и дифференцированности высоты сечения рельефа в условиях местности со сложным рельефом.
3. Обоснованы преимущества комплексного применения геоинформационного картографирования по созданию и обработке ЦМР с высокой детальностью, которые позволяет повысить эффективность топографической продукции и решать возникающие проблемы в ряде смежных областей науки и техники, где используется информация о рельефе.

### **Основные положения, выносимые на защиту**

- Разработка методики определения высоты сечения рельефа, путем использования информативных и геоиндикаторных характеристик обеспечивает точность и оптимальность параметров топографических карт и планов.

- Создание ЦМР на основе метода геоинформационного картографирования в условиях местностей со сложным рельефом обеспечит пользователей пространственных данных информацией с высокой степенью актуализации и точности.

**Практическая ценность и реализация работы** заключается в эффективности предложенных методов рациональной методики определения высоты сечения топографической поверхности и построения ЦМР в условиях местностей со сложным рельефом. В целесообразности применения материалов и результатов исследования при топографо-геодезических обследованиях в условиях сложного рельефа Республики Казахстан. Также материалы исследования могут быть использованы управленческими структурами,

проектными и научно-исследовательскими организациями и другими учреждениями, связанными с проблемами учета земельных ресурсов, природопользования, защиты окружающей среды, размещения и территориальной организации производства.

**Апробация работы.** Основное научное содержание диссертационной работы обсуждалось на научно-технических советах Казахского национального исследовательского технического университета им. К. Сатпаева, Комитета по управлению земельными ресурсами Министерства сельского хозяйства Республики Казахстан, АО «Национальная компания «Қазақстан Ғарыш Сапары».

Основные положения диссертации докладывались на:

- на 7-th International scientific conference European Conference on Innovations in Technical and Natural Science, Austria, Vienna 2015.

- на the International Conference on Geothics, Prague and Pribram, October 9 – 19, 2015

- на VIII Международной научно-практической конференции "Проблемы и перспективы современной науки", выпуск № 8, г.Москва,2016 г.стр.116-121.

**Публикации.** По результатам выполненных исследований опубликовано 10 работ (3 - на английском языке, 7 - на русском языке), включая 4 статьи в научных изданиях, рекомендованных Комитетом по контролю в сфере образования и науки МОН РК, 2- статьи опубликованы в базе Scopus, 4 - статьи в материалах в международных и зарубежных конференциях

**Объем и структура работы.** Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения и списка использованных источников (86 наименования, из них 7 на иностранных языках), и 5 приложений, содержит 100 страниц машинописного текста, включая 8 таблиц, 39 рисунков.

# 1 ОСОБЕННОСТИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ МОРФОМЕТРИЧЕСКИХ ПРИЗНАКОВ СЛОЖНОГО РЕЛЬЕФА

## 1.1 Анализ существующих способов определения высоты сечения рельефа

Существующие способы, направленные на изучение сложного рельефа и определение рациональной высоты сечения рельефа, обуславливают необходимость усовершенствования или разработки новых способов определения оптимальной высоты сечения рельефа, тем самым представляя определенный научный интерес. Высота сечения рельефа тесно связана и предопределяется масштабом, с ростом знаменателя масштаба увеличивается и высота сечения рельефа. Наиболее решающим для выбора рационального масштаба топографической основы является данный параметр. Результаты анализа свидетельствуют о методологической и практической важности, а также о новизне решения проблем определения рациональной высоты сечения при построении топографических карт и планов местностей различной морфометрической сложности.

Сложные рельефы и распределения их морфометрических признаков изучались разными исследователями. Впервые С.А. Николаев [1], М.М. Протодяконов [2], В.И. Ченцов [3] пришли к заключению, что распределения длин отрезков между перегибами рельефа, длин рек и площадей элементарных скатов близки к форме кривой показательного распределения вероятностей типа Пуассоновского распределения. В работе [4] авторы доказывают, что кривые распространения параметров описываются двухсвязной марковской цепью. Как видно, в этих работах изучены особенности характера распределения линейных и площадных значений параметров объектов.

Распределения высот неровностей рельефа изучались немногими исследователями [5-7]. В их работах авторами доказываются возможность удовлетворительного описания распределения высот, уклонов и элементарных площадей рельефа некоторыми теоретическими законами распределения. Нормальный Закон распределения для оценки морфометрических признаков, включая высот рельефа, использован И.П. Шараповым [5], Закон Циппа применен Ю.К. Неумывакиным [6], С.А. Николаев и другие считают близким эмпирические распределения высот рельефа к нормальному закону распределения и некоторым типам кривых Пирсона [1 - 6].

Результаты более детального исследования морфометрических признаков рельефов различной сложности освещены также в работах казахстанских исследователей, которые направлены на решение задач определения высоты сечения рельефа, где рассмотрены вопросы определения высоты сечения рельефа с учетом случайной составляющей природной изменчивости элементарных поверхностей рельефа (рисунок 1.1). Методика выбора оптимальной величины сечения рельефа основана на модельном представлении закономерности изменений его значений в заданном диапазоне, в зависимости от степени изменчивости высот элементарных рельефных неровностей с

помощью статистического критерия эффективности и композиционного распределения вероятностей [8].

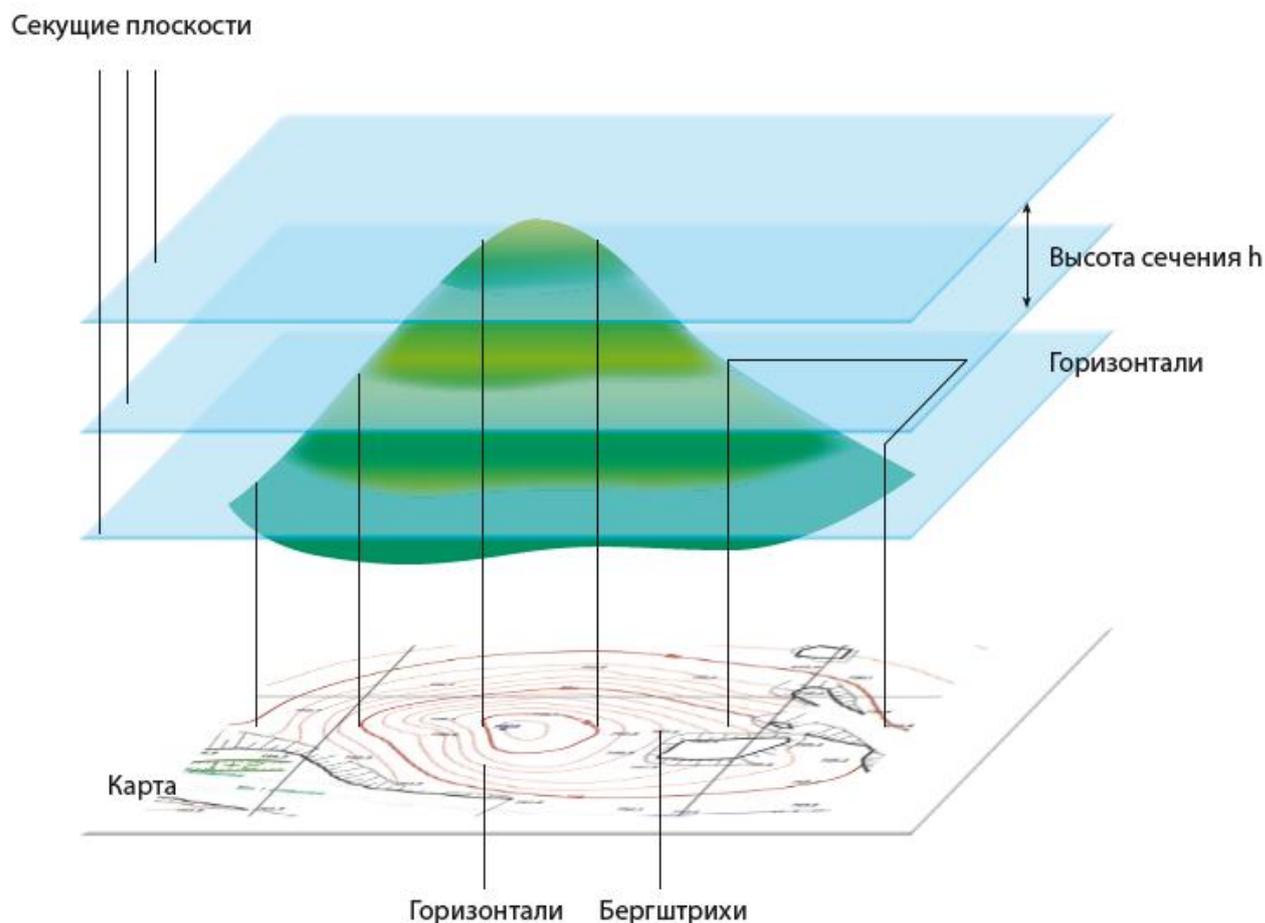


Рисунок 1.1 Высота сечения рельефа

Авторами установлено, что эмпирические распределения высот рельефа по местностям различной сложности описываются различной формой гипсографической кривой распределения. При этом эмпирическое распределение высот рельефа равнинной местности описывается унимодальной симметричной высот рельефа местностей сельскохозяйственного назначения, унимодальной колоколообразной несколько право-асимметричной средне-холмистого расчлененного рельефа местности, крайне лево- и право-асимметричной радиальной формами специального распределения [7]. Следовательно, для оценки площади рельефа под гипсографической кривой чередования его высот более рациональным следует использовать функции нормального, показательного и специального распределений (рисунок 1.2).

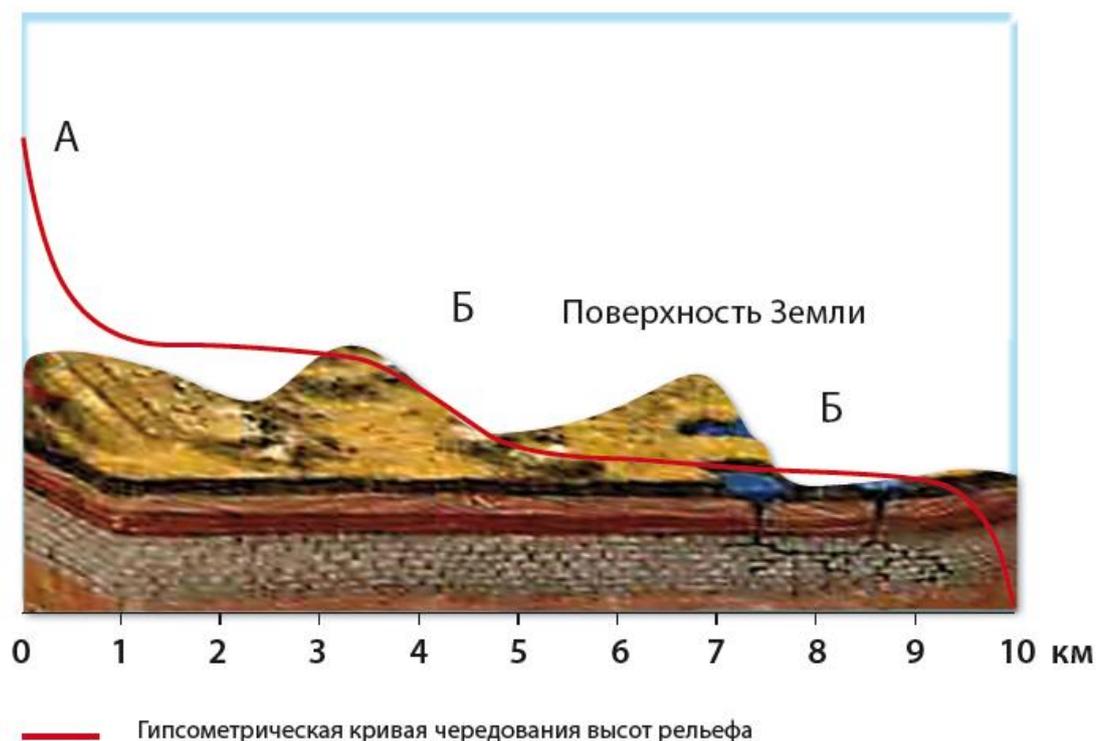


Рисунок 1.2 -Гипсометрическая кривая чередования высот рельефа

В сфере земной поверхности морфометрические показатели — это количественные показатели, характеризующие типы и формы рельефа местности, протяженности, площади и числа характерных точек рельефа, высоту, глубину прогибов, неровностей и величину градиента представляющего горизонтального расстояния между соседними характерными точками, размерных параметров выделяемых водных объектов, горных пиков, тальвегов, лощин, а также параметров уклона рельефа, размеров поперечника, длины и ширины вытянутых форм, азимутов простираения и падения, экспозиции крутых и пологих склонов и асимметричных форм. Наряду с этими представляют интерес некоторые относительные показатели: коэффициент вытянутости формы, коэффициент рельефности, коэффициент извилистости, масштабные коэффициенты высот характерных точек по рельефу, которые играют основную роль при решении картографических и других топографо-геодезических задач в целом, по их особенностям определяется величина высоты сечения, подразумеваемой как превышение между характерными точками рельефа [9].

### 1.2 Существующие способы определения высоты сечения рельефа

В настоящее время в топографо - геодезической литературе отражены различные способы определения рациональной высоты сечения рельефа, направленные на учет самых разнообразных факторов-показателей.

Таблица 1.1 - Существующие способы определения высоты сечения рельефа

Формулы определения высоты сечения рельефа	Обозначение исходных данных	Значение исходных данных подсчета	Вычисл. знач., м
$h = a \operatorname{tg} v = aM$	M – масштаб; $a$ - расстояние между горизонталями на карте (заложение); $v$ - угол наклона на местности.	$a = 0,2 \text{ мм}$ $M=5000$	1,0(0,5)
$h = A_{\min} \operatorname{tga}_{\max} = Na_{\min} i_{\max}$ $h = A_{\max} \operatorname{tga}_{\min} = Na_{\max} i_{\min}$	M- масштаб; $a_{\min}$ - минимальное заложение; $a_{\max}$ - максимальное заложение; $i_{\min}$ – минимальный уклон местности; $i_{\max}$ - максимальный уклон местности.	$a = 0,2i$ $N = 5000$ $i_{\max} = 1 \quad i_{\min} = 0$	1,0
$h = \frac{aM \operatorname{tg} v}{1000}$	M- масштаб; $a$ - заложение; $v$ - угол наклона на местности.	$a = 0,2i$ $M=5000$ $\operatorname{tg} v = \operatorname{tg} 45 = 1$	1,0
$h = \frac{aM \operatorname{ctg} v}{1000 K}$	M- масштаб; $v$ - угол наклона на местности, K- число горизонталей на карте.	$M=5000$	2,5
$h = l_{ni} \cdot i_{cp} \cdot M$	M- масштаб; $l_{ni}$ - расстояние между горизонталями $i$ - уклон местности:	$l = 0,02 \text{ см}$ $i = 1$ $M=5000$	1,0
$h = \frac{h_{\max \cdot \min}}{a}$ , где $h_{\max \cdot \min} = (H_{\max} - H_{\min})$	$h_{\max \cdot \min}$ - минимальное значение максимального уклона, определяемый на отрезке 2 см; $a$ - число горизонталей		1,0; 2,0
$\bar{h} = t \cdot \bar{N} \delta_{ko} \sqrt{0,67 i_{\max}^2 + i_0^2}$	$t$ – коэффициент, характеризующий точность съемки рельефа; $i_{\max}$ – максимальный уклон поверхности; $i_0$ – средний уклон поверхности; $\sigma$ – стандарт измерений.	$i_{\max} = 0.004$ , $i_0 = 0.02$ $\sigma = 0.0004 i$ , $t = 3$ $N = 5000$	0,87

В различных инструкциях [10-14] и положениях [15] по топографической съемке высоту сечения рельефа рекомендуется определять с учетом масштаба съемки и главнейших особенностей местности. При этом учитывается классическая формула оценки нормальной высоты сечения в виде [16]:

$$h = atgv, \quad (1.1)$$

где  $h$ - высота сечения рельефа;  $a$  - заложение, расстояние между горизонталями на карте;  $v$  - угол наклона местности.

Эта формула получена на основании геометрической связи элементов аналога-треугольника, хотя на физической поверхности Земли такие прямые линии – случай очень редкий. Табулированные значения высоты сечения по этой формуле приведены в таблице 1.2.

Таблица 1.2 - Рассчитанные по формуле (1.1) высоты сечения рельефа для карт различных масштабов и разных углов наклона местности

Угол наклона местности	Масштабы съемок				
	1:500	1:1000	1:2000	1:5000	1:10000
	Высота сечения рельефа, м				
0°-2°	0,50	0,5-1,0	0,5-1,0	1,0-2,0	2,5
2°-4°	0,5-1,0	1,0	1,0-2,0	2,0-5,0	5,0-10,0
4°-6°	1,0	1,0-2,0	2,0	5,0	10,0
св-6°	1,0	1,0-2,0	2,0	5,0	10,0

Высота сечения рельефа топографических планах устанавливается в соответствии с приведенной таблицей 1.2. В исключительных случаях топографические съемки могут выполняться с высотой сечения через 0,25 м, допускаемой при съемках площадей с углами менее 2°. Две высоты сечения рельефа разрешается применять на значительных по площади участках съемочного планшета, где преобладающие углы наклона местности (рисунок 1.3) различаются на 2°. Для изображения характерных деталей рельефа, не выражающихся горизонталями, в качестве основного сечения следует применять дополнительные (вспомогательные) горизонтали. Такие полу горизонтали обязательно проводят на участках, где расстояния между основными горизонталями превышают 2,5 см на плане.

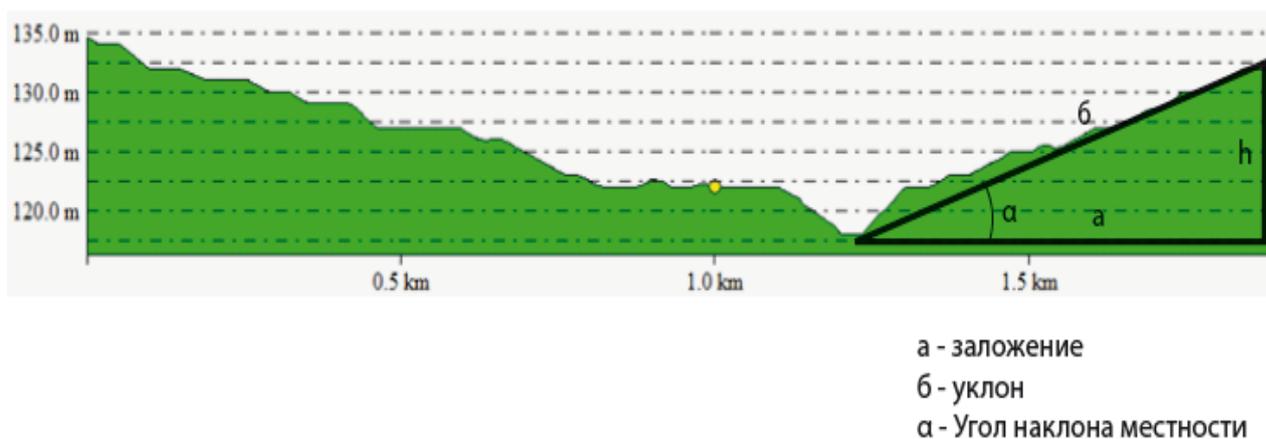


Рисунок 1.3 - Угол наклона местности

Способы определения высоты сечения в западноевропейских странах имеют свои особенности. В Германии в качестве основы для оценки высоты сечения по сей день используется классическая формула геометрической связи сторон треугольника. Высотой сечения или сечением подразумевается разность

целочисленных отметок двух соседних точек градуированной проекции прямой. Иначе, разность отметок соседних горизонталей называется сечением плоскости. За высоту сечения на практике принимают величины 0,1; 0,2; 0,25; 0,5; 1; 2; 5; 10; 20; 25; 50; 100 [17].

Проблема определения оптимальной высоты сечения рельефа является важной также и для других иностранных государств. Подходы используемые зарубежными учеными для определения высоты сечения имеют аналогичный характер, и в основном сходятся с основами классической формулы подсчета высоты сечения. В большинстве зарубежных стран на топографических картах одного и того же масштаба устанавливаются не менее двух размеров высот сечения, а в странах с разнообразным характером рельефа это количество доходит до 3-4 и более (Италия, США, Канада). При таком подходе перехода к карте более мелкого масштаба с увеличением высоты сечения рельефа расстояния между горизонталями не меняются, а расстояния между остальными элементами (населенные пункты, дороги) резко уменьшаются. В результате этого создается диспропорция в нагрузке карты с горизонталями и остальными элементами, и местность кажется равниной [18].

Такой дифференцированный подход, не требует экономического обоснования высоты сечения рельефа, обеспечивающее допустимые погрешности при расчетах.

Несколько отличаются способы определения высоты сечения в западноевропейских странах. При этом величина применяется также равной 0,2 мм на карте. Высота сечения рассчитывается с учетом угла наклона местности ( $v$ ) большего, чем  $48^\circ$  [19].

Ниже приведены размеры высоты сечения рельефа установленных в условиях местностей различных стран [20].

1. Бельгии, Дании 8-9 метров на картах масштаба 1:25000 и близких ему (1:20000, 1:24000, 1:31680) высоты сечения 0,3-2,5 метров, районы с плоским низменным рельефом, 3-5 метров в странах и районах с равнинным и пересеченным рельефом.

2. В Индии, Японии, Югославии, Греции, Италии и других странах, и районах с сильно пересеченным горным рельефом высоты сечения 6-10 м. и более 10 м. находят применение в районах с очень сложным горным рельефом (Итальянские Альпы, Скалистые горы).

3. В Англии, Палестине, Бирме, США, Канаде, Голландии, Индонезии на картах масштаба 1:50000 и близких ему высота сечения более 25 м. объясняется применением их в районах с горным и высокогорным рельефом (США, Канада, Италия, английские карты Индии, Бирмы, голландские карты с Индонезией т.д.).

4. Карты масштаба 1 : 100000 и близких ему ряде странах создаются на малоисследованные территории при пониженной точности съемок, вследствие чего высоты сечения увеличиваются. Карты масштаба 1 : 200000 имеют в разных странах весьма различное назначение, поэтому диапазон применяемых на них высот сечений особенно велик - от 7,6 до 305 м. 20 м. и менее - на

топографических картах равнинных и среднепересеченных районов (Нидерланды, Франция), 25-50 м - на картах стран с сильно пересеченным и горным рельефом, 60 м и более - на обзорных картах (Англия, Италия) и рекогносцировочных (малоисследованные районы США, Канады).

### 1.3 Аналитический подход к распределению высот рельефа

К площадям Земной поверхности присущи разнообразные формы расчленения рельефа различной сложности, включая геометрии чередования элементарных прогибов, превышений и понижений. Оценка площади рельефа рассмотрена с привлечением интегральной функции распределения и гипсографической кривой частот чередования высот рельефа. Функция распределения частоты чередования вершинных превышений и понижений высот рельефа местности выражается через теоретическую плотность распределения в виде:

$$F(t) = \int f(t) dt \quad (1.2)$$

Соответственно площадь рельефа по данной местности, ограниченной гипсографической кривой, отражающей характер рассеяния его высотных неровностей с помощью интегральной функции, может быть представлена в виде:

$$S = \int_{t_{min}}^{t_{max}} f(t) dt \quad (1.3)$$

где  $f(t) dt$  - представляет собой функцию плотности распределения высот рельефа [21].

Обобщенные формулы определения площади  $S_T$  (1.3) с учетом плотности функции различной формы специальной модели распределения получены в виде:

для симметричного типа распределения высот:

$$S_{c.p} = \Phi_0 \int_0^{t_{max}} \frac{1}{ch^2 \beta (t_i - t_{m0})} dt, \quad (1.4)$$

для умеренно асимметричных распределений высот:

$$S_{ac.p} = \Phi_0 \int_0^{t_{max}} \frac{1}{ch \beta (t_i - t_{m0})} dt, \quad (1.5)$$

для радиального крайне – асимметричного типа распределения высот:

$$S_{p.ac} = \Phi_0 \int_0^{t_{max}} e^{-m(t_i - t_{m0})} dt, \quad (1.6)$$

где  $\beta, m$  - теоретические параметры специальной модели распределения;  $t_{mo}$  - мода признака  $t_i$ ;  $\Phi_0$  - модальная частота признака рельефа.

Аналогично для показательного распределения высот рельефа имеем:

$$S_{n,p} = A \int_0^{t_{max}} e^{-\lambda t} dt, \quad (1.7)$$

Для нормального распределения площадь, околтуренной гипсографической кривой этого распределения и ее проекцией на горизонтальную плоскость равна:

$$S_{лог} = \frac{nM}{\sqrt{2\pi}} \int_0^{\hat{t}_{max}} \frac{1}{\hat{t}} e^{-\frac{(\lg t - \hat{t})^2}{2\hat{\beta}^2}} dt, \quad (1.8)$$

где  $A, \lambda$  - теоретические параметры показательного распределения;  $\hat{\beta}$  - теоретический параметр нормального распределения;  $n$  - число наблюдений,  $M=0,431$ .

Приведенные формулы определения площадей (1.4) - (1.8) может быть приведены в рабочие виды при дальнейшем их преобразовании.

Аналитические оценки определения площади  $S_T$  околтуренной гипсографической кривой и ее горизонтальной проекцией в условиях радиальных асимметричных форм распределения высот (1.6) и (1.7) при преобразовании их получены в виде:

$$\begin{cases} S_T^c = \frac{\Phi_0}{m} [1 - e^{-m(t_{max} - t_{mo})}], \\ S_T^n = A\lambda(1 - e^{-\lambda t_{max}}) \end{cases} \quad (1.9)$$

Аналитическая оценка площади околтуренной кривой, огибающей вершинных высот рельефа и длиной его проекции, обоснована на использовании структурно-корреляционного анализа и получена в виде (1.9, 1.10)

$$S_{\mathcal{D}} = \frac{L_t}{2} (1 - e^{KV_t}) \cdot d, m^2 \quad (1.10)$$

здесь,  $L_t$  - длина горизонтальной проекции гипсографической кривой чередования высотных высот рельефа на плоскости, м.;  $V_t$  - показатель колебания чередования вершинных высот рельефа;  $K$  - статистический коэффициент;  $d$  - среднее значение вершинных высот (превышений) рельефа, м.

С привлечением формул функции распределения (1.3) и расчетного значения площади (1.10) представляется возможным составить базовое аналитическое равенство в виде:

$$\int_0^{t_{max}} f(t)dt = \frac{d}{2}(1 - e^{Kv_t})L_t \quad (1.11)$$

Для умеренно асимметричных видов распределений, описывающей специальной моделью (1.6) и радиальных асимметричных видов распределения, описывающей показательным распределение (1.7), базовое равенство площадей (1.11) принимают вид:

$$\frac{\Phi_0}{m} [1 - e^{-m(t_{max}-t_{mo})}] = \frac{d_i}{2}(1 - e^{K_i V_i})L_{t_i} \quad (1.12)$$

$$A \cdot \lambda(1 - e^{\lambda t_{max}}) = \frac{d_j}{2}(1 - e^{K_j V_j})L_{t_j} \quad (1.13)$$

Связи теоретических параметров распределения и показателя геометрической колеблемости  $V_t$  и среднего значения ( $d$ ) вершинных высот рельефа для видов распределений (1.6) и (1.7) может быть представлена выражениями в виде:

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{V_T^i}{d_i} = \omega_i(T_C), \\ T_i = f(L_i, m, t_{mo}) \end{array} \right. \quad (1.14)$$

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{V_T^j}{d_j} = \omega_j(T_I), \\ T_j = f(L_j, A, \lambda) \end{array} \right. \quad (1.15)$$

где  $V_T^i, V_T^j, d_i, d_j$  – показатели геометрической колеблемости и средние значения вершинных высот рельефа соответственно по  $i$ -ой и  $j$ -ой местности, вершинные высоты, которые описываются специальной моделью и показательными распределениями;  $\omega_i, \omega_j$  - эмпирические коэффициенты пропорциональности, определяемые для конкретных условий рельефа.

Оценка равенств (1.11) – (1.14) показывает, что связи параметров статистического распределения топографического признака и показателей морфометрии рельефа носит многопараметрический и неоднозначный характер. При этом в качестве структурообразующих показателей связи использованы теоретические параметры распределения, геометрическая колеблемость, протяженность и среднее значение вершинных высот рельефа.

Анализ полученных аналитических оценок позволяет заключить следующее:

- между средним значением, геометрическим показателем колеблемости и теоретическими параметрами распределения вершинных высот рельефа существует тесная взаимосвязь;

- размерные элементы расчленения элементарных поверхностей рельефа могут быть подсчитаны с привлечением теоретических параметров статистического распределения вершинных высот рельефа.

Зависимость между параметрами статистического распределения главного морфометрического признака и геометрического расчленения рельефа позволяет повысить достоверность и эффективность результатов прогноза, расчетов и освоения земельных ресурсов при их использовании в различных сферах проектирования и эксплуатации земельных ресурсов.

#### **1.4 Характеристика колеблемости и степени геометрических неровностей рельефа**

Руководящей концепцией служит вывод системы аналитических оценок, исходя из уравнений равенства площадей, вычисляемых путем использования теоретической гипсографической кривой распределения признака ( $S_T$ ) и фактической огибающей кривой вершинных высот рельефа ( $S_s$ ). Площадь  $S_T$  представляет площадь оконтуренной гипсографической кривой распределения вершинах высот рельефа и ее горизонтальной проекцией, а площадь  $S_s$  – площадь оконтуренной кривой огибающей фактических вершинных высот рельефа и ее горизонтальной проекцией. Если площадь  $S_T$  подсчитывается на основе теоретической кривой распределения изучаемого признака, то площадь  $S_s$  – на основе эмпирической кривой зависимости между кривым и огибающей и сглаживающей вершинных высот рельефа.

Аналитический вид этой концепции выражается в виде равенства площадей, представляемых теоретическим ее значением с привлечением интегральной функции распределения и эмпирическим значением, подсчитываемым исходя из корреляционной зависимости огибающей кривой вершинных высот рельефа от геометрических элементов его расчленения [22].

Основным параметром модельной оценки, использованной для оценки колеблемости высот рельефа (рисунок 1.4) при дифференциации ее размеров высоты сечения является структурный показатель, отражающий особенности геометрии элементарных поверхностей рельефа через последовательные разности. Развитие теории оценки зависимых наблюдений связано с последовательными разностями и находит широкое применение на практике.

Квадраты первых последовательных разностей использовались для оценки дисперсии ряда наблюдений, имеющего закономерную составляющую:

$$\sigma_1 = \sqrt{\frac{1}{1(n-1)} \sum_{i=1}^{n-1} (x_i - x_{i+1})^2} \quad (1.16)$$

Это выражение было применено для оценки шероховатости шлифованного профиля и Ю.В. Линником и А.П. Хусу [23].

Для обнаружения волнистости они использовали отношение суммы квадратов последовательных разностей  $(\Delta')^2$  к дисперсии в виде:

$$r = \frac{1}{2(n-1)} \sum_{i=1}^{n-1} (h_{i+1} - h_i)^2 / \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (h_i - \bar{h}_{cp})^2 \quad (1.17)$$

Для оценки точности гипсометрического плана квадраты вторых последовательных разностей Поповым Б. И. использованы в виде [24]:

$$\sigma_2 = \sqrt{\frac{1}{6(n-1)} \sum_{i=1}^{n-2} (x_i - 2x_{i+1} + x_{i+2})^2} \quad (1.18)$$

Последовательные первые и вторые разности использованы разными исследователями при оценке геометрии поверхности рельефа, в которых они привлечены в качестве меры случайности в виде суммы их квадратов [25].

Эти разностные величины в основном используются в форме:

$$\sigma_2 = \sqrt{\frac{1}{2(n-1)} \sum_{i=1}^n |\Delta'_i|^2} \quad (1.19)$$

где  $\Delta'$  - первые разности вершинных высот в  $i$ -ой и в  $(i+1)$  точках (пикетов);  $n$ -число точек (пикетов).

Гудков В.М. для характеристики общего варьирования ( $S_0$ ) показателя контактов руд и пород по залежам при расстояниях  $L$  предлагает формулу, выраженной через суммы квадратов первых разностей [26]:

$$S_0 = \frac{1}{4} \sum_{i=1}^n (h_i + h_{i+1})^2 \quad (1.20)$$

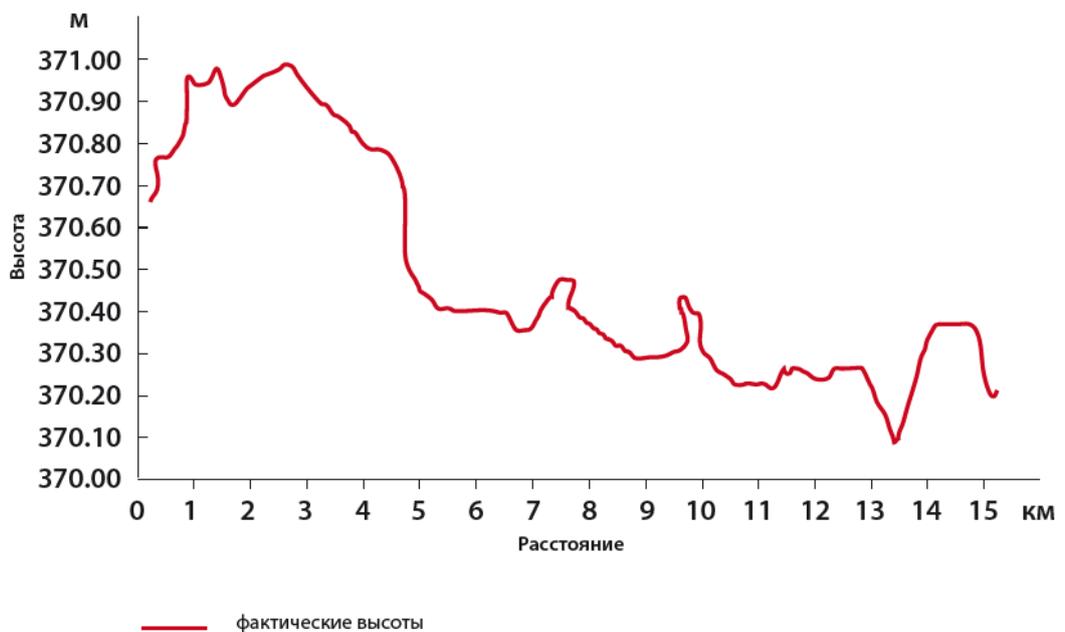


Рисунок 1.4 - Колеблемость высот рельефа

Приведенные аналитические оценки показывают, что первые и вторые последовательные разности вполне целесообразны для использования их при оценке различных типов колеблемости признаков геометрического объекта, вполне раскрывают характер амплитудных колебаний, вскрытых по данным точек наблюдений (съемки). Именно, абсолютная сумма первых последовательных разностей по рельефному полю оценивает сумму вскрытых амплитуд колебаний и при этом с увеличением величины возрастает по линейному закону.

Сравнительный подход к выбору характеристики колеблемости позволяет считать, что при дифференциации высоты сечения поверхности для обеспечения достоверности оценки колеблемости высот рельефа через первые последовательные разности является вполне обоснованным.

Оценка определения влияния колеблемости и степени геометрических неровностей (изгибов) поверхностей рельефа на размер высот сечения рельефа. Эта оценка введена в общую структуру модели сечения в виде безразмерного параметра ( $\gamma$ ), выражаемого через суммы последовательных разностей высот оцениваемого в долях длины или площади рассматриваемого поля высот.

Параметр  $\gamma$  отражает степени геометрической колеблемости вершинных высот рельефа и в виде численного коэффициента равен сумме первых последовательных абсолютных разностей соседних значений вершинных высот, приходящей к единице их протяженности по изучаемому морфометрическому полю рельефа:

$$\gamma_k = \frac{1}{L} \sum_{i=1}^n |\Delta'_i| \quad (1.21)$$

Соответственно для поверхности рельефа для которых присущи значения вершинных высот, которые ниже и выше значения модальной высоты, формула (1.21) принимает вид:

$$\begin{cases} \gamma_k = \frac{1}{L_H} \sum_{i=1}^k |\Delta'_i| \\ \gamma_b = \frac{1}{L_b} \sum_{i=1}^{n-k} |\Delta'_i| \end{cases} \quad (1.22)$$

где  $\gamma_i, \gamma_a$  - коэффициенты отражающих геометрической колеблемости соответственно в частях поверхности рельефа при которых  $h_i < h_{mo}$  и при  $h_i > h_{mo}$   
 $L_i, L_a$  - средние параметризованные длины поверхности рельефа соответственно по частям при которых  $h_i < h_{mo}$  и которых  $h_i > h_{mo}$ ;  $\sum_{i=1}^{n-k} |\Delta''_i|$  - сумма абсолютных первых последовательных разностей высот рельефа, при которых  $h_i < h_{mo}$  ( $\Delta''_L$ ) и при которых  $h_i > h_{mo}$ ;  $k, (n-k)$  числа первых разностей соответственно по

поверхностям рельефа соответственно при котором  $h_i < h_{mo}$  ( $k$ ) и при котором  $h_i > h_{mo}$  ( $n - k$ );  $n$ -общее число первых разностей по общей поверхности рельефа.

Коэффициент  $\gamma$  позволяет судить о наличии геометрической колеблемости, так как если амплитудное колебание высот рельефа совершенно случаен т.е. сигнализирует о наличии колеблемости, то значение этого коэффициента  $\gamma \approx \max$ , если наоборот, то  $\gamma \approx \min$ .

Случайность размещения вершинных высот рельефа выражается через среднее значение первых последовательных разностей по формуле:

$$\bar{\Delta}' = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n |\Delta'_i| = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n |\Delta h'_i| \quad (1.23)$$

где  $\Delta'_i$  - абсолютное  $i$ -ое значение первых последовательных разностей;  $\Delta h'_i$  - абсолютное значение разницы первых разностей по высоте рельефа.

Среднее значение первых последовательных разностей вершинных высот по размерам превышающих модальной высоты ( $h_i > h_{mo}$ ):

$$\bar{\Delta}_b^1 = \frac{1}{k-1} \sum_{i=1}^k (H_i^b - H_{i+1}^b)' \quad (1.24)$$

Среднее значение первых последовательных разностей вершинных высот по размерам не превышающих модальной высоты:

$$\bar{\Delta}_H^1 = \frac{1}{n-k} \sum_{i=1}^{n-k} (H_i^H - H_{j+1}^H)' \quad (1.25)$$

где  $H_i^b, H_j^H$  - размеры вершинных высот рельефа, которые соответственно в случаях, когда ( $H_i^b > H_{mo}$ ) и ( $H_j^H < H_{mo}$ ).

В соответствии с (1.24), (1.25) имеем:

$$\begin{cases} \gamma_H = \frac{\bar{\Delta}_H^1}{L_H} (K-1) \\ \gamma_B = \frac{\bar{\Delta}_B^1}{L_B} (n-K) \end{cases} \quad (1.26)$$

Величина уклона топографической поверхности тесно связана с высотой сечения и регуляционными параметрами как масштабообразующий показатель топографических планов. Согласно традиционному геоморфологическому способу значения величин уклона можно получить соотношение, при котором появляется возможность изображения на топографической основе превалирующих (доминирующих), максимальных и минимальных уклонов

скатов, которые при инженерном проектировании большое значение имеет правильное их отображение.

Взаимосвязь между рекомендуемым показателем колеблемости высот ( $\gamma$ ) и уклоном рельефа ( $\beta$ ) вытекает из геометрической их связанности ( $tg\beta_i = \frac{\Delta h_i}{l_i}$ ).

$$\begin{cases} \gamma_H = \frac{1}{L_H} \sum_1^K l_{H_i} tg\beta_{H_i} \\ \gamma_B = \frac{1}{L_B} \sum l_{B_i} tg\beta_{B_i} \end{cases} \quad (1.27)$$

где  $l_{H_i}$ ,  $l_{B_i}$  - расстояние между соседними значениями высот, соответственно по нижней ( $h_i < h_{mo}$ ) и верхней ( $h_i > h_{mo}$ ) частей поверхности рельефа.

Способ оценки среднего по модальным характеристикам морфометрического признака основан на использовании зависимостей между статистическими характеристиками распределения и модальными значениями признака. Модальная характеристика признака – структурный высокоинформативный показатель, который тесно связан с остальными статистическими параметрами распределения (амплитудной изменчивостью, стандартом, средним, коэффициентом вариации). Модальный признак определяется и путем использования гистограммы, и путем подсчета наблюдаемых особенностей распределения изучаемого показателя с привлечением известных формул статистики [27].

Вытекает вывод, что концепция использования модальной характеристики ( $X_{mo}$ ) и амплитудной колеблемости размещения ( $\gamma$ ) высот рельефа в качестве главных пространственно-статистических параметров представляется прогрессивной и приемлемой для создания рациональной композиционной структуры модельной оценки определения высоты сечения рельефа.

### 1.5 Выводы по разделу

В известных способах определения высоты сечения топографических поверхностей в качестве классической основы выступают показатели масштаба, уклона и заложения; присутствуют эмпирические аналоги между масштабами графиков, углами наклона и величинами заложения, отражающих геометрии геопризнаков по земным участкам и рудным залежам; методической основой аналитических оценок определения высоты сечения топографических поверхностей по объектам георесурсов служат положения графоаналитических и статистических подходов, а также преобладают недостаточность использования приемлемых положений методов информационного и структурного анализов, по которым создается возможность повысить дифференцированности и достоверности оценки высоты сечения рельефа. Зависимость между параметрами статистического распределения главного

морфометрического признака и геометрического расчленения рельефа позволяет повысить достоверность и эффективность результатов прогноза, расчетов и освоения земельных ресурсов при их использовании в различных сферах проектирования и эксплуатации земельных ресурсов.

## 2 МЕТОДИКА ГЕОИНФОРМАЦИОННОГО КАРТОГРАФИРОВАНИЯ

### 2.1 Основные этапы развития методики геоинформационного картографирования

Геоинформационное картографирование — программно-управляемое картографирование. Оно аккумулирует достижения дистанционного зондирования, космического картографирования, картографического метода исследования и математико-картографического моделирования. В своем развитии геоинформационное картографирование использует опыт комплексных географических исследований и системного тематического картографирования. Благодаря этому в конце XX в. геоинформационное картографирование стало одним из магистральных направлений развития картографической науки и производства [28].

Методический подход в современной картографии претерпел существенные изменения, которые заключаются в интеграции с основами геоинформатики. Сутью геоинформационного картографирования является информационно-картографическое моделирование цифровых картографических данных.

Основными характеристиками геоинформационного картографирования, свидетельствующими о переходе на существенно новый уровень картографирования, являются (рисунки 2.1):

- высокая степень автоматизации, опора на базы цифровых картографических данных и базы географических знаний;
- системный подход к отображению и анализу геосистем;
- интерактивность картографирования, обеспечивающая тесное сочетание методов создания и использования карт;
- оперативность, приближающаяся к реальному времени, в том числе, с широким использованием данных дистанционного зондирования;
- многовариантность, допускающая разностороннюю оценку ситуаций и спектр альтернативных решений;
- многосредность позволяющая сочетать иконические, текстовые, звуковые отображения;
- применение новых графических изобразительных средств и дизайна;
- создание геоизображений новых видов и типов (электронных карт, трехмерных компьютерных моделей и анимаций, иконокарт и др.);
- преимущественно проблемно-практическая ориентация картографирования, нацеленная на обеспечение принятия [29].

Большой вклад в развитие цифровой картографии и геопространственного моделирования, в разработку принципов, технологий и методов геоинформационного картографирования объектов местности и территории внесли ученые и практики Берлянт А.М., Васмут А.С, Бугаевский Л.М., Портнов А.М., Коновалова Н.В., Капралов А.В., Кошкарев А.В., Карпик А.П., Лисицкий Д.В., Середович В.А., Тикунов В.С., Халугин Е.И.,

Жалковский Е.А., Жданов Н.Д., научные труды, которых составили теоретическую основу разработки современных методов картографии [30-38].

## ОСНОВНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ГЕОИНФОРМАЦИОННОГО КАРТОГРАФИРОВАНИЯ

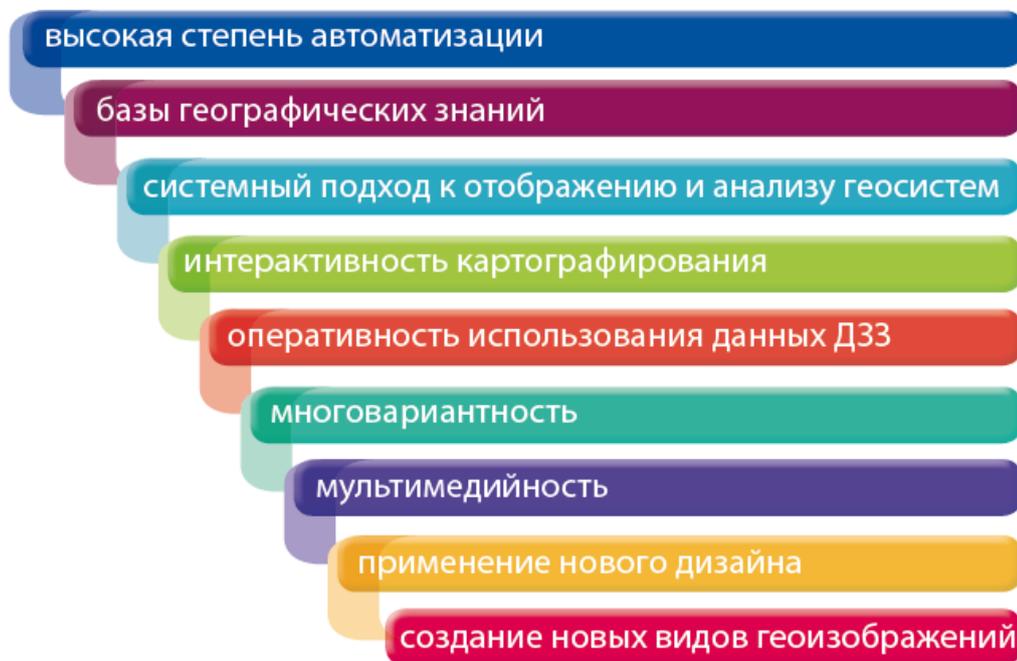


Рисунок 2.1 - Основные характеристики геоинформационного картографирования

ГК сформировалось как узловая дисциплина на пересечении автоматизированной картографии и ГИС, системного картографирования и аэрокосмических методов в широком понимании, включая дистанционное зондирование, дешифрирование и цифровую фотограмметрию. Как это часто бывает, импульсом для возникновения и формирования ГК, как узловой дисциплины послужило внедрение новой, быстро прогрессирующей ГИС-технологии [39, с. 5].

Использование ГИС - технологий в картографировании полностью изменило традиционный подход к составлению карт. Новый подход в программно управляемом картографировании обусловил развитие электронной картометрии, методы которой позволяют без особых затрат времени и ресурсов переводить карты из одной проекции в другую, масштабировать и вводить новые данные, проводить операции по подсчету математических величин и преобразовывать карты.

Внедрение электронно-вычислительных машин и развитие системных методов программирования в конце 50-х годов обусловило развитие нового направления автоматизированной картографии. В числе первых были американские исследователи института географии Вашингтонского университета. Далее этим направлением заинтересовались научные сообщества, занимающиеся моделированием и картографированием. Первым значительным

пакетом программ для этих целей стал SYMAP, выпущенный в 1967 г. Гарвардской лабораторией машинной графики и пространственного анализа. SYMAP разрабатывался с 1964 года как пакет программ общегеографического картографирования [40]. Вывод результатов осуществлялся только на почтаточно-печатающее устройство, карты имели низкое разрешение и плохое качество. Пакет был функционально ограничен, однако прост в использовании, особенно для пользователей, не имеющих картографической подготовки. Это была первая наглядная демонстрация возможности автоматизированного картографирования, которая пробудила огромный интерес к ранее неизвестным технологиям.

В конце 60-х годов появился пакет GRID – первый опыт растровых ГИС, в котором для вывода растровых карт использованы способы, аналогичные SYMAP, однако в нем уже были реализованы идеи ГИС- технологии оверлея.

Для работы с данными переписи населения в 1970 г. возникла потребность в методах точной географической привязки данных переписей – адресное геокодирование для перевода почтовых адресов в географические координаты и привязки к переписным зонам. В результате впервые были созданы массивы цифровой пространственной информации. В 1964 г. была опубликована работа Dial's Street Address Conversion Systems (SACS) Роберта Дизла одного из будущих отцов-создателей системы GBF/DIME. Сразу после переписи 1970 года стали создаваться атласы городов, несложные компьютерные карты которых использовались для целей маркетинга, организации розничной торговли, но в то же время стимулировали разработку современных программ статистического картографирования [41-42].

В институт исследования систем окружающей среды ESRI, который был основан Джеком Данжермондом в 1969 году, шло постепенное развитие растровых и векторных систем на базе теоретических идей и методов, разработанных в Гарвардской лаборатории и других организациях. В начале 80 - х гг. появилось программное средство ГИС – система ARC/INFO, в которой реализованы идеи Канадской ГИС о разделении информации – пространственной и атрибутивной составляющих данных, осуществлено соединение стандартной реляционной методики управления табличными базами данных (INFO) со специализированной программой ARC манипулирования объектами, хранящимися в виде набора дуг. Это первый ГИС - и картографический пакет, использующий преимущества персональных компьютеров [43-44].

Примером успешного опыта национальной ЦМР может служить *ЦМР Дании*. Первая цифровая модель рельефа Дании была создана в 1985 г. для решения задачи оптимального размещения трансляторов сети мобильной связи и представляла собой массив высотных отметок в узлах регулярной сети 50×50 м, полученных путем цифрования горизонталей топографической карты масштаба 1:50 000 с сечением 5 м. Однако разрешение этой ЦМР не позволяло отобразить типичные для территории Дании мелкие положительные и отрицательные формы моренного и флювиогляциального рельефа, и

Кадастрово - топографической службой Дании было принято решение о создании новой ЦМР, которая будет строиться на основе цифровой карты масштаба 1:25 000 с сечением 2,5 м с привлечением аэрофотосъемочных материалов для уточнения модели на отдельных участках. При этом для новой версии ЦМР с разрешением 25x25 м оцифровываются не только горизонтали, но и береговая линия внутренних водоемов, водотоки, дороги, высотные отметки отдельных объектов, реализуя тем самым структурный подход к ее построению [45].

На начальных этапах становления, во второй половине 80-х годов, геоинформационное картографирование воспринималось как процесс автоматизированного воспроизводства карт. Дальнейший этап развития связан с разработкой теории и методов создания картографических баз данных и математико-картографического моделирования, создания картографических моделей как физических явлений, например, цифровых моделей рельефа (ЦМР), так и моделей картографического изображения для представления карт на стандартных листах АЦПУ универсальных ЭВМ.

Развитие ГИС на территории бывшего СССР связано с созданием технических и организационных условий и всё более чёткого понимания необходимости в геоинформационных системах не только в среде профессиональной географии, но и в области информационного обеспечения важных народнохозяйственных задач, рационального использования природных ресурсов.

На географическом факультете МГУ в 1987 году создана система АКС МГУ, ориентированная, прежде всего, на нужды тематического картографирования (рисунок 2.2). Весь пакет программ предназначен для:

- 1) подготовки данных, куда включено цифрование картографических материалов, а также пространственная привязка тематической информации;
- 2) управление данными – их загрузка и вызов для обработки, корректировка данных;
- 3) логико-математическая переработка данных, перекодировка, математико-статистический анализ;
- 4) конструирование систем картографических знаков.

Для работы на персональных компьютерах предназначен пакет «МАГ», позволяющий строить электронные карты с различными способами картографического изображения [46].



Рисунок 2.2 -Предназначение пакета программ системы АКС при тематическом картографировании

Бурное развитие электронно-вычислительной техники, в частности персональных компьютеров, значительное увеличение их оперативной и дисковой памяти и повышение качества графических устройств работы с картографической информацией стали основной причиной прогресса в области геоинформатики конца 80-х – начала 90-х гг. Появились доступные программные средства мирового уровня. Крупные фирмы-производители программных средств ГИС – ESRI Inc., ERDAS Inc., IntergraphCorp., MapInfoCorp. США разработали программные продукты профессионального уровня, допускающие их многовариантное использование: ArcGIS, ErdasImagine, GeoMedia, MapInfo. Если прежде основные силы были направлены на получение цифровых карт и обработку больших объемов информации, то теперь, освободившись от необходимости программирования рутинных процедур управления вводом и выводом данных, картографы переключились на методы анализа, проектирования и составления, создания и использования карт в ГИС, базах данных и знаний, экспертных методиках [40].

Существенные изменения роли и сущности картографии в мире требует переосмысления ее основных понятий и введения новых понятий. Так, новое понятие – геоинформационное картирование, по определению А.М.Берлянта

«информационно-картографическое моделирование геосистем, автоматизированное создание и использование карт на основе ГИС и баз картографических данных и знаний» [39, с. 3].

Геоинформационное картирование развивается как комплексное и системное картографирование в новой среде информационных технологий, на пересечении автоматизированной картографии и геоинформатики, и имеет некоторые особенности:

- применение геоинформационных технологий;
- высокая степень автоматизации, опора на базы картографических данных и географических знаний;
- оперативность получения картографических изображений, приближающаяся к реальному времени;
- гибкость в представлении конкретного картографического изображения в части проекции, масштаба, содержания и оформления;
- многосредность, позволяющая сочетать иконические, текстовые, звуковые отображения с картографическим материалом [47].

## **2.2 Основные отличительные особенности методики геоинформационного картографирования**

Геоинформационное картографирование (ГК) - это автоматизированное создание и использование карт на основе ГИС и баз картографических данных и знаний. ГК интегрирует в себе ряд научных направлений современной картографии, поднимая их на более высокий технологический уровень [39, с. 3].

Основные отличительные особенности систем ГК и ГИС содержатся в подсистемах хранения, обработки и вывода информации [48]. Они связаны с содержанием базы данных и набором программ для моделирования, анализа и отображения информации с целью создания карт. Цифровая картографическая информация организуется в картографические базы данных (КБД). Они представляют упорядоченное множество взаимосвязанных цифровых карт – цифровая модель карты, созданная путем цифрования картографических источников, фотограмметрической обработки данных дистанционного зондирования, цифровой регистрации данных полевых съемок или иным способом; в отличие от цифровых пространственных данных в ГИС и цифровых моделей местности.

Другое отличие системы геоинформационного картографирования и ГИС заложено в блоке обработки информации – наборе программных функций. В системе геоинформационного картографирования программные функции обеспечивают автоматизированное создание карт и их воспроизведение в бумажной форме, но могут не обладать развитыми возможностями пространственного анализа и моделирования, необходимого для ГИС.

Современная тенденция проявляется в использовании в обеих системах одних и тех же программных комплексов – ГИС пакетов, а также распространенных графических пакетов программ, что снимает необходимость

создания специализированных систем геоинформационного картографирования. Чаще это понятие применяют, когда хотят подчеркнуть основную задачу – создание компьютерной карты в традиционном виде и наличие устройств вывода такой карты. Методика проектирования картографических баз данных строится на основе методик проектирования атласов комплексного картографирования территории [49].

Один из первых удачных опытов использования принципа комплексирования т.е. совмещения и наложения, пространственных данных с помощью согласованного набора карт датируется XVIII веком. Французский картограф Луи-Александр Бертье использовал прозрачные слои, накладываемые на базовую карту для показа перемещения войск в сражении под Йорктауном [50].

Геоинформационное картографирование сформировалось на ряде научных направлений современной картографии, поднимая их на более высокий технологический уровень. Прежде всего, его начало положено комплексным картографированием, ставившим во главу угла программно-координированное создание согласованных, сопоставимых и взаимно дополняющих серий карт и атласов природы и социально-экономических явлений. Комплексное картографирование представляет метод разностороннего, многоуровневого познания действительности различными картографическими средствами. Идеи и методики комплексного подхода сформировало синтетическое картографирование, которое выдвинуло на первый план целостное отображение геосистем путем интеграции параметров, отношений и свойств слагающих их элементов. Особенно это касается оценочно-прогнозного картографирования, задачей которого – интегральная оценка геосистем и их компонентов, дальнейшее их развитие в пространстве и во времени. Это дало толчок к развитию рекомендательных карт, содержание которых составляет размещение предлагаемых мер по реализации принимаемых решений [51].

Далее – развитие методики геоинформационного картографирования, которое сосредотачивается на целостном отображении геосистем и их подсистем, иерархии, взаимосвязей, функционирования и динамики. Системный подход проявляется в новых методах картографического моделирования и в системной организации процесса картографирования. Для этого потребовалось развитие математических методов и автоматизированных технологий, а это дало толчок к созданию автоматизированных комплексных систем и ГИС (рисунок 2.3).

ГИС:

- интегрирует пространственную и любые иные типы информации;
- предлагает единую концептуальную, методическую и технологическую основу для организации географически координированных данных;
- позволяет рассматривать данные, основанные на признаках географического взаиморасположения объектов, близости либо удаленности, в реальном окружающем нас мире;

- предлагает новые, более близкие к аналоговым и потому легко воспринимаемые, способы манипулирования и отображения данных, посредством картографических образов [52].



Рисунок 2.3 - Возможности ГИС

Наиболее эффективной и современной, отвечающей всем выше перечисленным требованиям, в настоящее время является ГИС-технология на базе таких известных программных продуктов как Arc/Info, ArcView, MapInfo, WinGIS, GeoGraf, ГИС ПАРК и др. Географическая информационная система рассматривается как автоматизированная аппаратно-программная система, осуществляющая сбор, хранение, обработку, отображение и распространение пространственно-координатных данных [53].

Геоинформационное картографирование имеет важное значение при оперативном создании карт, анимационном, виртуальном, мультимедийном моделировании, а в ряде случаев полностью заменяет традиционные методы проектирования, составления, издания и использования карт.

Геоинформационное картографирование может быть отраслевым и комплексным, аналитическим и синтетическим. В соответствии с принятыми классификациями выделяют виды и типы картографирования. Например,

социально-экономическое, экологическое или инвентаризационное, оценочное геоинформационное картографирование и т.п.

Назначение картографического изображения в геоинформационном картографировании обусловлено тем, что оно не является единственным информационным продуктом. В геоинформационном картографировании создаются и используются 3 вида информационных продуктов: геоинформационные модели местности, геоинформационные картографические изображения и другие некартографические компьютерные геоизображения [54].

Геоинформационная модель местности обеспечивает модельное представление местности в цифровой форме и предназначено для непосредственной цифровой обработки и пространственного анализа в среде геоинформационных систем. Она содержит координированную информацию о расположении, форме, размерах и заданных характеристиках географических объектов местности, природных явлений, природных и техногенных процессов и событий, происходящих на рассматриваемой территории. Она подлежит накоплению, хранению и обновлению в территориальных банках данных. На этой модели решаются различные пространственные задачи и вырабатываются пространственные решения.

Геоинформационные картографические и некартографические изображения также обеспечивают модельное представление местности в компьютерной форме, но предназначены они для непосредственного восприятия человеком, что в свою очередь обеспечивает участие человека в геоинформационной обработке и анализе данных, решении пространственных задач, подготовке и принятии пространственных решений. При этом они уже не являются непосредственным источником информации для решения пространственных задач в процессе геоинформационной обработки, либо служат средством визуализации содержания баз данных и/или выработанных пространственных проектов - картографические изображения, либо являются дополнительной образной информацией - аэрокосмические снимки, фото, видео, перспективные изображения.

Геоинформационные картографические изображения занимают особое, главное место среди компьютерных геоизображений. Они, как и все картографические изображения, обеспечивают целостное модельное представление больших территорий, имеют метрический характер, отражают значительное число семантических характеристик объектов местности в образно-знаковом виде, содержат картографические отображения визуально невидимых объектов территории. Они могут быть сгенерированы в результате геоинформационной обработки и воспроизводить образ реально несуществующей местности, например, прогнозируемое состояние земной поверхности. Однако при этом, как уже отмечалось ранее, компьютерные картографические изображения в геоинформационном картографировании отличаются от традиционных карт тем, что уже являются не объектом непосредственной ГИС-обработки, а средством визуализации результатов этой

обработки. Отсюда следует, что используемые в геоинформационном картографировании картографические изображения должны иметь специфические особенности [55].

### 2.3 Цифровая модель рельефа

Базовым понятием, с которым связан вводимый в работе термин «ГИС-модели рельефа» является «цифровая модель рельефа» (ЦМР), под которой понимается - средство цифрового представления трехмерных пространственных объектов в виде трехмерных данных, образующих множество высотных отметок и иных значений аппликат в узлах регулярной или нерегулярной сети или совокупность записей горизонталей [56-57].

Цифровая модель рельефа — это набор точек с координатами  $x$ ,  $y$ ,  $z$ , моделирующих топографическую поверхность (рисунок 2.4). Точность ЦМР зависит от количества и расположения таких точек. Для создания ЦМР используют различные источники данных: топографические карты, космические снимки и данные геодезической съемки [58, с. 197].

Точность этих данных определяется в первую очередь разрешением т.е. расстоянием между точками образца. Другие влияющие на точность факторы - это тип данных, целочисленные или с плавающей точкой и фактической выборкой поверхности при создании оригинальной ЦМР [59].



Рисунок 2.4 - Цифровая модель рельефа

Цифровые модели рельефа могут быть растровыми и векторными.

Растровые модели. Растровая ЦМР представляет собой матрицу, в каждой ячейке которой хранится единственное значение высоты, соответствующее

области, которую покрывает данная ячейка. Точность моделирования в этом случае зависит от разрешения матрицы и сложности рельефа.

**Векторные модели.** Векторная ЦМР отличается от растровой тем, что значения высоты в этой модели содержатся в узлах равномерной сетки. Если данные распределены неравномерно, для построения ЦМР чаще всего используют нерегулярную триангуляционную сеть, образованную неравносторонними треугольниками с вершинами в точках измерений. Узлы нерегулярной триангуляционной сети (TIN) соответствуют горным пикам, впадинам и перевалам, а стороны треугольников — хребтам и долинам. Для каждого треугольника можно определить его площадь, наклон, и ориентацию. Значения этих параметров сохраняются в качестве атрибутов TIN и используются при последующем анализе данных [58, с. 198].

Потребность в новой цифровой модели рельефа возникает, если старые данные перестают удовлетворять требованиям к качеству и разрешению или если появляется новый источник информации. Наиболее быстрый способ создания модели с более высоким разрешением заключается в том, чтобы обновить уже существующую модель, добавив в нее новые данные [58, с. 226].

Наиболее распространенными способами цифрового представления рельефа является растровое представление и особая модель пространственных данных, основанная на сети TIN и аппроксимирующая рельеф многогранной поверхностью с высотными отметками в узлах треугольной сети. Процесс цифрового моделирования рельефа включает создание ЦМР, их обработку и использование [60].

В триангуляционной модели рельефа поверхность представляется набором соприкасающихся треугольников, вершины которых проходят через точки с исходными данными. Это свойство TIN позволяет, например, строить более точные модели водосбора, решать ряд других задач, связанных с каркасом изучаемой поверхности [61-62]. Однако такая модель представления рельефа достаточно сложна и совсем не приспособлена к математическому аппарату, работающему с непрерывными поверхностями. В диссертации используются оба формата ЦМР. Следует отметить, что в современных ГИС легко реализуется преобразование данных из одной модели в другую [63].

Цифровые модели рельефа позволяют производить следующие операции:

- быстрое получение информации о морфометрических показателях (высота, угол наклона, экспозиция склона) в любой точке модели;
- анализ крутизны и экспозиций склонов, построение «на лету» соответствующих карт;
- генерация горизонталей;
- построение профилей поперечного сечения рельефа по направлению прямой или ломаной линии;
- анализ поверхностного стока;
- генерация сети тальвегов и водоразделов;
- расчёт объёмов;
- расчёт площадей поверхности;

- расчёт уровней и площадей затопления;
- построение трёхмерных моделей рельефа с возможностями рендеринга и драпировки поверхности как векторными объектами (гидросеть, дороги, населённые пункты, ландшафтные карты и т.п.), так и растровыми слоями (топокарты, данные дистанционного зондирования);
- создание видеоизображения «пролёта» над поверхностью модели по заданному маршруту - системы виртуальной реальности;
- анализ зон видимости с заданной точки или точек обзора и построение соответствующих карт или трёхмерных моделей;
- трансформация исходной модели путём добавления новых данных [64].

Из ЦМР можно получить также значения атрибутов, необходимых для геоморфологического анализа (рисунок 2.5). В частности, к таким атрибутам относятся локальные параметры рельефа, густота гидрографической сети и статистические оценки наклона и геодезической выпуклости. Расчет значений топографических и геоморфологических атрибутов является обычной промежуточной задачей при моделировании рельефа [58, с. 227].



Рисунок 2.5 - Последовательность создания ЦМР

Способ построения ЦМР по нерегулярной сети точек требует постановки задачи восстановления поверхности и пересчета сети на регулярную. В настоящее время существует много методов, позволяющих решать эту задачу. Среди них - интерполяция на основе триангуляции Делоне, средневзвешенная интерполяция, кригинг и многое другое. Кратко остановимся на методах, имеющих наибольшее распространение при решении широкого круга задач.

Интерполяция на основе триангуляции Делоне при условии достаточно равномерного расположения точек в точности моделирует действия человека при построении рельефа в горизонталях и вычислении высот точек, в результате чего достигается наиболее привычная картина рельефа. При этом сначала строится система неперекрывающихся треугольников, вершинами которых являются исходные точки. Поверхность представляется как многогранник с треугольными гранями, где проекция каждой грани на картографируемую плоскость - суть соответствующий треугольник триангуляции, а высоты равны значениям  $z(i)$  в  $i$ -х точках. Из множества точек на плоскости могут быть образованы различные сети триангуляции, и в соответствии с этим будут получаться разные поверхности. Оказывается, что оптимальной для моделирования является триангуляция Делоне, в которой во избежание изломов изолиний на ребрах полигонов для каждой исходной точки строится локальный полином первой или второй степени, и по триангуляции эти локальные полиномы “склеиваются” в одну гладкую поверхность.

Средневзвешенная интерполяция, метод Гаусса, основывается на решении уравнения вида:

$$f(P_0) = \sum_{i=1}^N w_i z_i, \quad (2.1)$$

где  $z_i$  - значения аппликаты, высоты;  $w_i$  — нормированные веса, вычисляемые по формуле  $w_i = 1/\Gamma^k$ ;  $k$  - степень весовой функции,  $\Gamma$  - расстояние между точками.

Кригинг в общем виде использует ту же самую весовую функцию, но вместо весов применяются специальные коэффициенты, получаемые по вариограмме. Последняя представляет собой экспериментальную кривую, строящуюся следующим образом: в поле точек на графике вдоль оси  $X$  откладывается расстояние между каждыми двумя исходными точками, а вдоль оси  $Y$  - разность  $Z$  между ним. Затем строится кривая, соответствующая средним значениям разности по  $Z$ . Кригинг позволяет учесть эффект “самородка”, когда в какой-либо из точек случайно возникают очень высокие значения. При учете этого эффекта кригинг превращается из интерполяционной функции в экстраполяционную. Кригинг в качестве интерполяционной функции незаменим при расположении исходных точек с очень большой неоднородностью, например, в случае использования исходных данных, расположенных по профилям.

Если при обновлении ЦМР используется интерполяция, очень важно понимать, что выбор того или иного интерполяционного метода зависит от географических размеров цифровой модели. Если ЦМР охватывает небольшую область, можно применять как глобальные, так и локальные методы интерполяции, однако для создания больших национальных ЦМР многие глобальные методы кригинг становятся практически неприменимыми из-за гигантского количества точек, которые необходимо одновременно обрабатывать [58, с. 226].

Существует также метод построения ЦМР по изолиниям; для каждой изолинии строятся гладкие поверхности, которые опираются, в зависимости от модификации метода, на две или несколько соседних. Затем происходит “сшивание” всех поверхностей с использованием полиномов. В отличие от методов построения ЦМР по точкам, этот метод позволяет учитывать положительные и отрицательные экстремумы поверхности при отсутствии точек, задающих их высоту в явном виде [65, с. 6].

Набор применяемых методов зависит также и от рельефа территории, ее положения в географическом пространстве. Ведь то, что является значительным фактором для горной территории, например, экспозиция склонов, применительно к равнинной местности может не иметь решающего значения. С другой стороны, в зависимости от широтного положения исследуемой территории значительно изменяется вклад в прогреваемость почвы между экспозицией и высотой, и на первый план может выйти высотная поясность [65, с. 14].

На основе ЦМР, в свою очередь, возможно быстрое создание серии тематических карт важнейших морфометрических показателей: гипсометрической карты, карт крутизны и экспозиций склонов, а на их основе и карт эрозионной опасности, направлений поверхностного стока, геохимической миграции элементов, устойчивости ландшафтов и т.п.

Цифровые модели рельефа - основа автоматизированного создания его производных карт. К ним, в первую очередь, относятся карты углов наклона и экспозиции склонов, отражающие одну из основных морфометрических характеристик рельефа. Важным вопросом является выбор метода автоматизированного картографического представления углов наклона и экспозиции склонов [65, с. 25].

Цифровые модели рельефа и производные от них морфометрические карты могут быть применены в самых разных направлениях, научных исследований и областях народного хозяйства. Изучение подобных характеристик позволяет обнаружить и уточнить проявление таких природных динамических процессов и явлений, как снежные лавины, сели, оползни, камнепады, развитие различных форм эрозии. Автоматизированное составление карт углов наклона представляет широкие возможности для их использования в географических исследованиях, при планировании, проектировании и других целях [65, с. 12].

Традиционно цифровые модели рельефа использовались для изучения водосборных бассейнов и других задач гидрологии. В настоящее время сфера применения ЦМР существенно расширилась, прежде всего, благодаря использованию ГИС в самых разнообразных областях науки и техники [58, с. 227].

## 2.4 Сферы и области применения методики геоинформационного картографирования

ГИС технологии породили новое направление — оперативное картографирование, т. е. создание и использование карт в реальном или близком к реальному масштабе времени. Появилась возможность быстро, а точнее сказать, своевременно информировать пользователей и воздействовать на ход процесса. Иначе говоря, при картографировании в реальном времени поступающая информация немедленно обрабатывается и составляются карты для оценки, мониторинга, управления, контроля за процессами и явлениями, изменяющимися в том же темпе [66].

Методика геоинформационного картографирования, как система и ее методология совершенствуется и развивается, ее развитие осуществляется в следующих направлениях (рисунок 2.6):

- развитие теории и практики геоинформационных систем;
- изучение и обобщение опыта работы с пространственными данными;
- исследование и разработка концепций создания системы пространственно-временных моделей;
- совершенствование технологии автоматизированного изготовления электронных и цифровых карт;
- разработки технологий визуальной обработки данных;
- разработки методов поддержки принятия решений на основе интегрированной пространственной информации;
- интеллектуализации геоинформационных систем [67].



Рисунок 2.6 - Направления развития геоинформационного картографирования

Оперативные компьютерные карты предупреждают (сигнализируют) о неблагоприятных или опасных процессах, позволяют следить за их развитием, давать рекомендации и прогнозировать развитие ситуаций, выбирать варианты стабилизации или изменения хода процесса. Такие ситуации создаются, например, при возникновении в тайге лесных пожаров, когда приходится оперативно следить за их распространением и быстро принимать меры по ликвидации пожара. В период таяния снегов и во время катастрофических ливней приходится отслеживать разливы рек и наводнения, а в чрезвычайных ситуациях — изменения экологического состояния территории. В период ликвидации Чернобыльской аварии картографы день и ночь не отходили от компьютеров, составляя оперативные карты перемещения облаков радиоактивного загрязнения над территориями, прилегающими к очагу катастрофы [68]. Так же ведут слежение за развитием политических событий и военными действиями в горячих точках планеты.

Исходными данными для оперативного геоинформационного картографирования служат материалы аэрокосмической съемки, непосредственные наблюдения и замеры, статистические данные, результаты опросов, переписей, референдумов, кадастровая информация. А эффективность оперативного картографирования определяются следующими факторами (рисунок 2.7):

- надежностью автоматической системы, которая, в свою очередь, зависит от скорости ввода и обработки данных, организации баз данных и системы доступа к ним, быстродействия вычислительных и периферийных устройств;
- хорошей читаемостью и воспринимаемостью самих оперативных карт, простотой их внешнего оформления, адекватным подбором знаков и шкал, обеспечивающими эффективное зрительное восприятие в условиях оперативного анализа ситуаций;
- оперативностью распространения карт и доставки их потребителям с использованием для этого телекоммуникационных сетей [69].

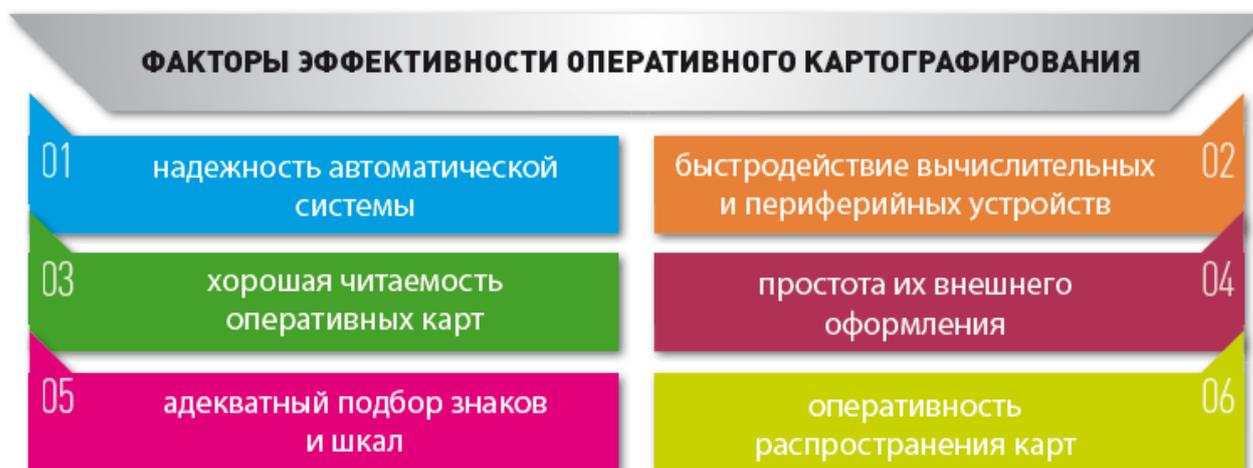


Рисунок 2.7 - Факторы эффективности оперативного картографирования

Картографирование возможно в любых областях деятельности от «геологии до идеологии», поэтому составить полный список сфер и областей применения ГК, практически невозможно [70]. Перечислим основные (рисунок 2.8):

- развитие средств связи и средств телекоммуникации;
- поиск и рациональное использование природных ресурсов и условий;
- территориальное и отраслевое управление и планирование транспортом, сельским хозяйством, промышленностью, энергетикой, финансами и проч.;
- мониторинг экологического состояния и природного риска, оценка техногенных воздействий на окружающую среду и ликвидация их последствий, обеспечение экологической безопасности и устойчивого развития территорий, экологическая экспертиза;
- контроль условий жизни и занятости населения, здравоохранение, социальное обслуживание населения и др.;
- динамика образования и культуры;
- научные исследования и прогнозирование;
- оборона страны и работа правоохранительных органов и силовых структур;
- деятельность органов законодательной и исполнительной государственной власти, политических партий, средств массовой информации.



Рисунок 2.8 - Основные области применения геоинформационного картографирования

Основные области применения аэрокосмических снимков в географических исследованиях, ГИС и ГК — инвентаризация земель, эколого-географическая оценка территорий, исследование динамики природных и антропогенных объектов и явлений, создание оперативных и прогнозных карт. Составление топографических и тематических карт, создание городского и земельного кадастра сегодня немислимы без использования снимков. Применение ГИС— технологий, картографических баз данных и снимков позволяет по новому подойти к решению этих задач, расширить их круг и методы практической реализации (рисунок 2.9). ГИС—технологии способствуют максимально эффективному использованию разных источников информации: оперативной аэрокосмической, наземной, картографической [71].



Рисунок 2.9 - Преимущества ГИС технологий при компьютеризации картографии

## 2.5 Выводы по разделу

1. В обозримом будущем перспективы развития картографии в науках о Земле связываются, прежде всего, и почти целиком с геоинформационным картографированием, когда отпадает необходимость готовить печатные тиражи

карт: по запросу можно будет всегда в режиме реального времени получить на экране компьютера изображение изучаемого объекта или явления. Некоторые картографы полагают, что внедрение электронных технологий «означает конец трехсотлетнего периода картографического черчения и издания печатной картографической продукции». Взамен карт и атласов пользователь сможет затребовать и сразу получить все необходимые данные в машиночитаемом или визуализированном виде [72].

2. К примерам удачного использования геоинформатики в картографическом производстве можно отнести возможность проведения сложных математических действий. Если это было главной сложностью и трудно решимыми задачами в привычной картографии, то сегодня ГИС технологии стали преимуществом при компьютеризации картографии. Начали использоваться ЦМР - цифровые модели рельефов и территорий в выполнении различных морфометрических и картометрических действий;

- стали оцениваться и анализироваться значения генерализации, стали учитываться ее эффекты в картографии, стало возможным находить и применять те карты, в которых данные параметры есть в допустимых величинах;

- стало возможным делать анализ и учитывать искажения, создаваемые картографическими проекциями при исследовании среднемасштабных и мелкомасштабных карт территорий;

- стал интересным учет и выявление деформации карт на бумажной основе;

- стала возможной аппроксимация плавными кривыми линий, принятых ломаными линиями;

и главное, стало возможным разрабатывать элементы картометрии исключительно в подходящих проекциях прямо на эллипсоиде земли независимо от первоначальных исходных картографических материалов.

Таким образом, геоинформационные системы в настоящее время представляют собой современный тип интегрированной информационной системы, применяемой в разных направлениях. Она отвечает требованиям глобальной информатизацией общества.

Геоинформационные системы являются системой способствующей решению управленческих и экономических задач на основе средств и методов информатизации, т.е. способствующей процессу информатизации общества в интересах прогресса.

### **3 РАЗРАБОТКА РАЦИОНАЛЬНОЙ МЕТОДИКИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ВЫСОТЫ СЕЧЕНИЯ РЕЛЬЕФА И РЕЗУЛЬТАТЫ ПРИМЕНЕНИЯ РЕКОМЕНДУЕМОЙ МЕТОДИКИ В УСЛОВИЯХ СЛОЖНОГО РЕЛЬЕФА МЕСТНОСТИ**

#### **3.1 Описания общей схемы методики**

Рекомендуемая методика основана на концепцию определения дифференцированных размеров высоты сечения рельефа путем использования свойств главных информативных и геоиндикаторных характеристик распространения вершинных высот рельефа местности, по которым обеспечивается учет морфометрических особенностей характерных частей поверхности рельефа. Сущность методики заключается в обосновании эффективных значений высоты сечения рельефа по установленным дифференцированным структурным участкам морфометрического поля рельефа, представляющих три отдельные множества фактических значений вершинных высот рельефа по данной местности. При этом учтено, что рельеф местности как морфометрическое поле высот представляет собой скрытую поверхность топографического порядка, которая вскрывается только в определенных узлах со значениями разбросанного случайного характера по площади. В ней отдельно взятый структурный параметр может носить более скрытый характер, что вытекает из «системности» формообразования структуры распределения признака, тем самым может служить естественной и адекватной характеристикой распространения признака рельефа.

Для выделения различных частей поля аналогично определению поверхностного тренда по морфометрическому полю вполне осмысленной и практически полезной является привлечение информативных и главных геоиндикаторных характеристик. Такими специфическими характеристиками высот рельефа являются модальные значения и амплитудная колеблемость высот рельефа, которые реально отражают пространственно-статистические закономерности, присущих к морфометрии рельефа. Присущие им свойства: геоиндикаторная выделяемость, функциональная связь с основными морфометрическими признаками рельефа, высокая информативность и достоверность отображения генетических особенностей и закономерности распределения признака, которые вытекают из самой пространственно-статистической сущности и теоретико-прикладного их назначения.

Базовой основой дифференциации высоты сечения рельефа служит концепция геометрического разделения морфометрического поля высот на отдельные структурные части, отличающихся по абсолютным значениям вершинных высот, выделяемых относительно общего модального значения высот рассматриваемой поверхности рельефа.

Сущность дифференциации сводится к разделению ожидаемых размеров высоты сечения рельефа на три базовые уровневые значения: главный уровень вершинных высот пространственно описываемый модальной высотой сечения; второй уровень представляющий выделяемой части поля, на которых значения

высоты сечения ниже модальной высоты; третий уровень представляющий выделяемой части поля, на которых значения высоты сечения выше модальной высоты. Этим самым выделяются три главные оптимизируемые размеры высоты сечения, геометризующиеся через модального, ниже модального и выше модального значения высот рельефа. Здесь модальная высота играет роль естественного структурного узлового параметра рельефа и выступает в качестве общего пространственно-статистического критерия разделяющим морфометрическое поле на отдельные структурные части исходя из абсолютных значений вершинных высот и их колеблемости в пространстве рельефа. Эти устанавливаемые три дифференцированных участка морфометрического поля рельефа служат структурными объектами, по которым устанавливаются соответственно три дифференцированных значения высоты сечения рельефа местности.

1 Выбор моды признака в качестве основной геоиндикаторной характеристики для контурной дифференциации морфометрического поля рельефа осуществлен исходя из присущих ему особенных свойств. Мода является самым информативным значением признака рельефа, доля в общем множестве распределения вершинных высот рельефа которой составит 60-70%. Результаты исследования показали, что распределения вершинных высот рельефа независимо от различной его сложности описывается крайне-асимметричными радиальными типами в виде показательного и вероятностно-структурного распределения [73].

Расчет по их данным показал, что доля модального значения высоты рельефа в них в множестве его возможных значений колеблется в пределах 42-60%. В таких случаях редко встречаемые большие значения высот ураганного типа не имеют существенной роли при решении аналогичных задач топокартографии. Мода в меньшей степени подвержена всяким погрешностям, более устойчива в выборках с эксцессом, может быть определена при некоторых неопределенностях, сохраняет неизменчивость при преобразовании случайной величины. По ней формируется пересечение различных линейных структур, вокруг которые группируются главные значения частот определяющие характера распространения признака.

Соотношение моды и среднего отражают вид и степень асимметрии развития геометрии вероятностных частот признака, что является важным параметрическим тестом, характеризующим заданную эмпирическую выборку. Модальных точек распределения, как точек переключения по сущности можно относить к структурным узлам, в которых происходят изменение функции, тренда, вид кривых распределения: унимодальность, асимметричность предопределяются места положением модальных параметров. Мода функционально связана со всеми основными параметрами распространения переменного, включая среднего, амплитудной колеблемости, медианы, асимметрии, эксцесса.

Область дифференциации высоты сечения рельефа в пространстве морфометрического поля рельефа представлена в виде:

$$\begin{cases} h_1 \in Q_{(h_{mo})}, S_1 = h_{mo} \\ h_2 \in Q_{(h_i < h_{mo})}, S_2 = \sum_{h_{min}}^{h_{mo}} h_2^i, \\ h_3 \in Q_{(h_i > h_{mo})}, S_3 = \sum_{h_{mo}}^{h_{max}} h_3^i \end{cases} \quad (3.1)$$

где  $h_{mo}, h_{min}, h_{max}$  - модальное, минимальное и максимальное значения вершинных высот рельефа;  $h_1, h_2, h_3$  - ожидаемые эффективные значения высоты сечения рельефа, устанавливаемых дифференцированно по трем выделяемым частям морфометрического поля рельефа местности;  $Q_{(h_{mo})}, Q_{(h_i < h_{mo})}, Q_{(h_i > h_{mo})}$  - геометрические области распространения вершинных высот рельефа для которых соответственно имеет место:  $h_i \approx h_{mo}, h_i < h_{mo}, h_i > h_{mo}$ ;  $S_1, S_2, S_3$  - сумма абсолютных значений вершинных высот соответственно по трем выделяемым частям морфометрического поля рельефа.

Установлен характер изменения значений  $h_{mo}, h_i, h_a$  условиях:

– простых равнинных форм расчленения рельефа местности (рисунок 3.1 а), включающие плоскоравнинные, ступенчатые, волнистые, увалистые, мелкохолмистые формы рельефа имеет место  $h_i - h_{mo} \approx h_a < h_{mo}$ ;

– несложных холмистых форм расчленения рельефа местности (рисунок 3.1 б), включающие различные по высоте холмов крупнохолмистые, среднехолмистые и мелкохолмистые виды рельефа  $h_i - h_{mo} < 0, h_a - h_{mo} > 0$ .

– гористых форм расчленения рельефа местности (рисунок 3.1 в), включающие высокогорные, среднегорные и низкогорные типы рельефа  $h_i - h_{mo} < 0, h_a - h_{mo} > 0$ .

– при случаях когда эмпирическому распределению высот рельефа присущи симметричная форма нормального типа  $h_{mo} \approx h_{nd}$  а при случаях когда эмпирическому распределению высот рельефа присущи асимметричный тип распределения  $h_{mo} < h_{nd}$ .



а)



б)



Рисунок 3.1 Формы рельефа местности а) равнинный тип рельефа Жамбылский район б) всхолмленный мелкохолмистый тип рельефа Глубоковской район с) пересеченно – холмистый тип рельефа Жаулинский район

Преимущество этой методики по сравнению с приведенными выше способами заключается в том, что среднее значение ( $Z_{cp}$ ) и дифференцированные составляющие природной колеблемости ( $\sigma_{\bar{n}\bar{e}}, \sigma$ ) высот элементарных поверхностей как основные факторы, влияющие на размер высоты сечения рельефа, в качестве исходных базовых величин по рекомендуемой методике обеспечивают полноту и достоверность выбора искомого значения высоты сечения рельефа. Однако следует отметить, что данная методика определения оптимальной высоты сечения дает более достоверные результаты в основном в условиях местности со сложным рельефом, а в иных условиях точное определение отношения  $\frac{\sigma_{\bar{n}\bar{e}}}{\sigma}$  очень затруднительно и может привести к значительным допущениям [74].

В качестве натурально – экспериментальных объектов и данных при изучении морфометрии земной поверхности использованы фактические измеренные и вычислительные значения вершинных высот элементарных поверхностей рельефа по материалам съемки и топографических планов различного масштаба Жамбылскому району Жамбылской области (М-1:500), Глубоковскому району Восточно-Казахстанской области (М-1:1000) и Жаулинскому району Жамбылской области (М-1:2000).

Для типологизации морфометрических полей поверхностей земных участков по этим натурно – экспериментальным объектам использованы классические типы рельефа местности выделяемые по шкале: плоскоравнинный, равнинный, мелкохолмистый, холмистый, горный, высокогорный. Предварительное геоморфологическое изучение специфических особенностей рельефа трех натурно- экспериментальных объектов относительно этой школы типологизации и результаты вычисленных значений показателей сложности геометрии распространения вершинных высот рельефа:

среднеквадратического отклонения, коэффициента вариации и амплитудного отклонения позволили установить:

– первому объекту земной поверхности по Жамбылскому району Жамбылской области (М 1:500) присущи плоско равнинный тип; с углами наклона до  $2^{\circ}$ ;

– второму объекту земной поверхности по Глубоковскому району Восточно -Казахстанской области (М 1:1000) – всхолмленный мелкохолмистый тип; с углами наклона до  $2^{\circ}$ ;

– третьему объекту земной поверхности по Жаулинскому району Жамбылской области (М 1:2000) пересеченно – холмистый тип морфометрического поля рельефа с углами наклона  $4^{\circ}$ .

По результатам первого этапа работ уточняются масштаб топографического плана, тип морфометрического поля земного участка, показатель колеблемости вершинных высот рельефа. По результатам второго этапа, исходя из вариационного ряда разности отметок вершинных высот, определяются их модальные значения по дифференцируемым частям морфометрического поля изучаемой местности. В третьем этапе работ с привлечением настенных значений исходных величин, предусмотренных по рекомендуемой методике, проводится расчет дифференцированных размеров высоты сечения рельефа для выделенных частей морфометрического поля изучаемого земного участка. При необходимости может быть подсчитано число главных горизонталей, проводимых соответственно установленной высоты сечения по отдельным выделенным частям морфометрического поля, а также расчет точностных характеристик достоверности всех дифференцированных размеров высоты сечения рельефа.

### **3.2 Технологический порядок реализации методики**

Расчет дифференцированных размеров высоты сечения рельефа по разработанной методике для сравнительной их оценки проведен по данным трем натурно- экспериментальных объектов, выбранных по различным местностям Казахстана. Первый объект представляет местность Жамбылского района, данные которые получены из результатов топографической съемки и плана масштаба 1:500. Объекту присущи равнинный тип рельефа местности, коэффициент вариации высот элементарных поверхностей рельефа не превышает 40-42%, средняя высота элементарных поверхностей  $h_{ce} = 6,2$  м, амплитудный размах высот  $d = 28,2$  м. Второй объект – местность Глубоковского района данные получены из результатов топографической съемки и плана масштаба 1:1000. Этому объекту присущи холмистый тип рельефообразования местности, коэффициент вариации высот элементарных поверхностей рельефа равен  $v = 63\%$  при среднем значении высот элементарных неровностей  $H_{cp} = 10,3$  м и амплитудном размере  $d = 3,76$  м. Третий объект – местность Жаулинского района, которому присущи пересеченный предгорный рельефообразования местности, коэффициент вариации высот элементарных поверхностей рельефа равен 72.5%, среднее –

значение высот элементарных поверхностей  $h_{cp} = 12,3$  м. и амплитудный размах  $d = 57,2$  м, масштаб съемки и топографического плана М - 1:2000.

Реализация и конкретное применение методики определения дифференцированной высоты сечения рельефа содержит следующий технологический порядок, включающий следующие этапы:

- первый этап – изучение геометрии изучаемого объекта и определение типа морфометрического поля, оценки сложности рельефа местности;

- второй этап – оценка вида статистического распределения и определение модального значения и статистических характеристиками расположения фактических вершинных высот рельефа местности;

- третий этап – расчет рациональных дифференцированных высот сечения рельефа местности, определение масштаба, показателей учета геометрической колеблемости и первых разностей в пределах конкретной протяженности земной поверхности по рассматриваемому участку местности.

По результатам полученными этими тремя этапами проводится реализация методики. Технологический порядок реализации методики включает базовый этап проведения горизонталей. Начальной этап является базовым и отправным, при котором осуществляется проведение главной горизонтали - вспомогательной горизонтали по поверхности рельефа. Главная горизонталь проводится по модальному значению вершинных высот рельефа, при котором охватывается не менее 40-50% всех значений вершинных высот рельефа. Это подтверждено как приведено выше с фактом, что статистические распределения высот рельефа описываются крайне асимметричным радиального типа распределением, где модальные значения занимают более 50% от всех множеств значений высот рельефа. Высокая информативность и потенциальная достоверность обнаружения, присущих к моде вершинных высот, позволяет горизонталь, проходящая через его значения, принять в качестве главной горизонтали поверхности рельефа. Тем самым традиционное положение, что главные горизонтали должны проходить через высоты характерных точек рельефа, принимает более содержательное значение. Значения вершинных высот близких к модальной высоте для проведения главной горизонтали подлежат к осреднению. Для этой цели рекомендуются использовать среднеарифметический способ скользящего осреднения по формуле:

$$\Phi = (xy) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n h_i \quad (3.2)$$

где  $n$  - количество усредняемых групп вершинных высот рельефа, значения которых близки к модальной высоте.

По первому объекту топографический план является крупномасштабным, и по категории местности - равнинным, по второму объекту топографический план является мелкомасштабным, по категории местности – холмистым по третьему объекту топографический план является среднемасштабным, по

категории рельефа – среднехолмистым предгорьем. Соответственно, степень разнообразия и колебания вершинных высот элементарных поверхностей рельефа по этим объектам различные. Первый объект, геодезические данные которые использованы в качестве натурно- экспериментальных показателей – Жамбылский район, Жамбылская область РК, топографический план масштаба 1:500. Этому объекту присущи равнинный тип рельефообразования местности, коэффициент вариации высот элементарных поверхностей рельефа не превышает 40-42%, при среднем значении высот элементарных поверхностей  $h_{ce} = 6,2$  м и амплитудного размаха высот  $d = 28,2$  м. Фактические данные геодезических измерений по объекту:  $M - 1:500$ ,  $N=149$  ед.,  $N_H=52$  ед.,  $N_e=97$  ед.,  $h_{mo} = 0,75$ ,  $L'_{max} = 100$  м,  $S_i = \mu \cdot L'_{max} = 0,64 \cdot 100 = 64$  м;  $L_H = N_H \cdot S_i = 3328$  м,  $L_B = N_H \cdot S_i = 6208$  м,  $\sum_1^k \Delta' = 24,15$ ,  $\sum_1^{n-k} |\Delta'| = 424,4$ . Расчетные результаты по методике:  $\gamma_H = 0,007$ ,  $\gamma_B = 0,068$ ,  $\Delta h_H = \gamma_H (N/1000) = 0,36$  м,  $\Delta h_b = \gamma_B (N/1000) = 0,40$  м,  $h_H = h_{mo} - \gamma_H \left( \frac{N}{1000} \right) = 0,39$  м,  $h_b = h_{mo} - \gamma_B \left( \frac{N}{1000} \right) = 0,25$  м.

Установленные размеры высот сечения, по которым должны быть проведены:

- главная единая горизонталь по модальной высоте рельефа;
- текущие горизонталы по участкам высоте сечения, размеры которые ниже модельной высоты  $h_{b,c} = h_H = 0,39$  м, число горизонталей – 3 ;
- текущие горизонталы по участкам поверхности рельефа, размеры высоты сечения которые выше модальной высоты -  $h_{b,c} = h_H = 0,25$  м, число горизонталей - 16.

Всего по топографическому плану будут проведены 20 горизонталей, в т.ч. 1 - главная горизонталь, 3 горизонталы с высотой сечения ниже модальной высоты, 16 - горизонталы с высотой сечения выше модальной высоты.

Второй объект: Глубоковский район Восточно-Казахстанской области РК. топографический план масштаба 1:1000. Этому объекту присущи среднегорнистый тип рельефообразования местности, коэффициент вариации высот элементарных поверхности рельефа  $v=63\%$  при среднем значении высот элементарных неровностей  $H_{cp} = 103,8$  м и амплитудном размахе  $d = 376$  м. Расчет проведен аналогично. И использованные данные и полученные результаты:  $M - 1:1000$ ,  $N_{OB}=88$ ,  $N_H=25$ ,  $N_B=63$ ,  $h_{mo}=0,75$ ,  $l_{max} = 150$  м,  $l_H = 2400$  м,  $l_B = 6048$  м,  $\sum_1^k |\Delta'| = 15,0$ ,  $\sum_1^{n-k} |\Delta'| = 229,2$ ,  $\gamma_H = 0,011$ ,  $h_H = 0,45$  м,  $h_b = 0,52$  м.

Всего число горизонталей – 21 в т.ч.: по нижней части рельефа размеры высоты которые ниже модальной - 2 горизонталы с  $h_{b,c} = h_H = 0,45$  м, по верхней части рельефа, размеры которые выше модальной высоты - 18 горизонталей с  $h_{b,c} = h_H = 0,52$  м, 1 - главная горизонталь с высотой сечения  $h_{b,c} = h_{mo}$ .

Третий объект: Жуалинский район, Жамбылская область РК, топографический план масштаба 1:2000.

М - 1:2000,  $N_{OB}=92$ ,  $N_H=17$ ,  $N_B=75$ ,  $l_{max} = 2001$  м,  $l_H = 1360$  м,  $l_B = 6001$  м,  $\sum_1^k |\Delta'_H| = 8,5$ ,  $\sum_1^{n-k} |\Delta'_B| = 360,0$ ,  $\gamma_H = 0,006$ ,  $\gamma_B = 0,061$ ,  $h_b = 1,2$  м,  $h_{mo} = 0,25$ ,  $h_H = h_{mo} = 0,25$  м,  $h_b = 1,2$  м.

Результаты расчета дифференцированных размеров высоты сечения рельефа по трем натурно - экспериментальным объектам сведены в таблицу 3.1.

Таблица 3.1 - Результаты расчета высот сечения рельефа по рекомендуемой методике по местностям различного масштаба и сложности

Объект и масштаб	Модальное значение, $h_{mo}$ , м	Число высот сечения по элементар ным поверхно стям рельефа		Средне е расстоя ние между съемоч ными пикета ми $S_{0-1}$ , м	Длины расчетн ых профиле й по поверхн ости рельефа. м		Сумма первых разностей		Коэффиц иент колеблем ости высот рельефа, дол- ед.		Установленные высоты сечения рельефа		
		$N_H$	$N_B$		$L_H$	$L_B$	$\sum_1^n \Delta'_H$	$\sum_1^{n-k} \Delta'_B$	$\gamma_v$	$\gamma_B$	$h_o$	$h_H$	$h_b$
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Равнинная	0,64	52	97	64,0	33	62	24	425,	0,0	0,0	0,7	0,3 6	0,4 0
(Жамбылский р-н, М 1:500)					28	08	5	4,4	07	64	0,5	$k_2=2$	$k_2=15$
Равнинно-холмистая (Глубоковский район, М-1:1000)	0,52	25	63	96,0	24 00	60 48	15, 0	229, 2	0,0 10	0,03 7	0,55	0,4 9 $k_2=2$	0,5 2 $k_2=19$
Мелкохолмистая (Жуалинский район, М-1:1000)	0,67	17	75	80,0	13 60	60 00	8,5	360, 0	0,0 06	0,09	0,67	0,9 5 $k_2=2$	1,3 $k_2=8$

Всего по топографическому плану масштаба 1:500 будут проведены 20 горизонталей, в т.ч. 1 - главная горизонталь с высотой сечения  $h_0=0,64$  м., 2 - горизонтали с высотой сечения ниже модальной высоты  $h_H=0,39$  м., 15 - горизонтали с высотой сечения выше модальной высоты с  $h_b=0,25$  м. По топографическому плану масштаба 1:1000 число горизонталей - 21 в т.ч.: по нижней части рельефа 2 горизонтали с  $h_H=0,49$  м, по верхней части рельефа – 19 горизонталей с  $h_b=0,52$  м, 1- главная горизонталь, горизонталей с высотой сечения  $h_0=0,55$ . По топографическому плану масштаба 1:2000 число горизонталей - 20. в т.ч.: 1 - главная горизонталь ( $h_0=0,67$  м), 2 - горизонтали по нижней части рельефа с высотой сечения  $h_H=0,95$  м, 8 - горизонталей по верхней части рельефа, высоты которые выше модальной с высотой сечения  $h_b=1,2$  м [75].

### **3.3 Определение исходных параметров определения высоты сечения рельефа по натурно - экспериментальным объектам местности**

Масштаб объекта установлен согласно фактических его размеров, принятых при съемке и составлении топографических планов по выше приведенным трем местностям. Следовательно, были приняты, для первого объекта 1:500; второго объекта – 1:1000; третьего объекта – 1:2000, которые использованы при определении высот сечения рельефа по этим трем местностям.

На практике также распространен выбор масштаба методом последовательных приближений с привлечением расчетных формул. Предварительно задавшись знаменателем  $M$  стандартного масштаба топографического плана или съемки, на основе принятых значений погрешностей, минимальной площади, числа предметов и отдельных точек местности, вычисляется расчетный знаменатель ( $M_p$ ) численного масштаба. При использовании этого метода встречаются случаи, когда  $M_p > M$ , что требует дополнительного расчета для достижения последовательного приближения к оптимальному результату.

Проведены исследования по определению масштаба планов в зависимости от их назначения при инженерно-строительных работах. При этом было обращено внимание на условия создания и использования топографических планов в процессе изысканий, проектирования, строительства и эксплуатации инженерных сооружений. Рассмотрены основные масштабообразующие факторы, в зависимости от которых выбирается масштаб плана, решаются вопросы точности и формального содержания его (полноты, детальности, рельефа местности) [76].

Учитывая большое внимание, которое уделяется промышленному и гражданскому строительству, при изучении и обобщении теоретических исследований, необходимых для целей проектирования, при выборе масштаба топографического плана основными масштаб образующими факторами можно

считать: вид и стадии проектирования; ситуационную характеристику местности; характер рельефа; характер проектно-изыскательской нагрузки; способ проектирования. Кроме того, в некоторых случаях масштаб образующим фактором становится площадь территории, т.е. учитывается формат топографической основы.

Доминирующим фактором во всех случаях являются вид и стадия проектирования. Именно это определяет в основном один-два смежных масштаба, из которых по остальным факторам он уточняется. Вид и стадия проектирования определяют ряд условий, которым должна удовлетворять топографическая основа. Количественно эти условия выражаются полнотой, детальностью, точностью, масштабом плана и съемки, высотой сечения рельефа. Использование этих величин в качестве масштаб образующих факторов и способы получения их определяют методы обоснования масштабов. При этом, как правило, используется универсальная формула [77]:

$$\frac{1}{N} = \frac{a}{A}, \quad (3.3)$$

где  $N$  - знаменатель численного масштаба плана;  $a$  - длина отрезка линии на плане;  $A$  - соответствующая ему длина отрезка линии на местности.

Для расчета масштаба плана исходят из  $A_{\min}$  и  $a_{\min}$ , т.е.

$$N = \frac{A_{\min}}{a_{\min}} \quad (3.4)$$

Анализ универсальной формулы показал, что  $A_{\min}$  и  $a_{\min}$ , зависят от характера местности и требований проектирования.

Модальное значение высот сечения рельефа определялись исходя из построенных видов эмпирических их распределений по трем натурно - экспериментальным объектам. Были определены: для первого статистического распределения фактических высот сечения по первому объекту -  $h_{mo} = 0,75i$ , по второму объекту -  $h_{mo} = 1,75i$ , по третьему объекту  $h_{mo} = 0,5i$ . Установленные значения моды высот рельефа по трем натурно - экспериментальным объектам определено по данным вариационных рядов эмпирических распределении вершинных высот рельефа приведены в таблице 3.2. Вариационные ряды распределения высот по этим объектам составлены с привлечением традиционных приемов по статистическим совокупностям фактических значений вершинных высот (превышений) рельефа вычисленных исходя из данных топографических съемок и планов различного масштаба ( $M - 1:500$  (рисунок 3.2),  $M - 1:1000$  (рисунок 3.3),  $M - 1:2000$  (рисунок 3.4)).

В следующих этапах технологии реализации методики осуществляется структурная дифференциация, при которой по разработанной аналитической оценке определяются искомые высоты сечения по выделенным частям морфометрического поля, где значения вершинных высот рельефа

соответственно ниже ( $h_i < h_{mo}$ ) и выше ( $h_i > h_{mo}$ ) своего модального значения. Проведение горизонталей по обеим частям морфометрического поля высот ведутся по установленным высотам сечения с привлечением традиционного способа (рисунок 3.5).

Таблица 3.2 – Сводные результаты вариационных рядов эмпирических распределений вершинных высот рельефа по трем натурно - экспериментальным объектам

Равнинно - холмистая местность, топографическая съемка масштаба 1:500			Холмистая местность, топографическая съемка масштаба 1:1000			Предгорная местность, топографическая съемка масштаба 1:2000		
Классы, м.	Среднее, м.	Частота, дол. ед.	Классы, м.	Среднее, м.	Частота, дол. ед.	Классы, м.	Среднее, м.	Частота, дол. ед.
0,1-0,6	0,3	34	0,1-0,5	0,25	17	0,1-0,5	0,25	16
0,6-1,2	0,9	31	0,5-1,0	0,75	13	0,5-1,0	0,75	15
1,2-1,8	1,5	22	1,0-1,5	1,25	10	1,0-1,5	1,25	5
1,8-2,4	2,1	21	1,5-2,0	1,75	11	1,5-2,0	1,75	6
2,4-3,0	2,7	10	2,0-2,5	2,25	5	2,0-2,5	2,25	2
3,0-3,6	3,3	6	2,5-3,0	2,75	2	2,5-3,0	2,75	5
3,6-4,2	3,9	3	3,0-3,5	3,25	3	3,0-3,5	3,25	2
4,2-4,8	4,5	2	3,5-4,0	3,75	2	3,5-4,0	3,75	1
N=129	$h_{mo} = 0,64$		N=63	$h_{mo} = 0,50$		N=52	$h_{mo} = 0,67$	

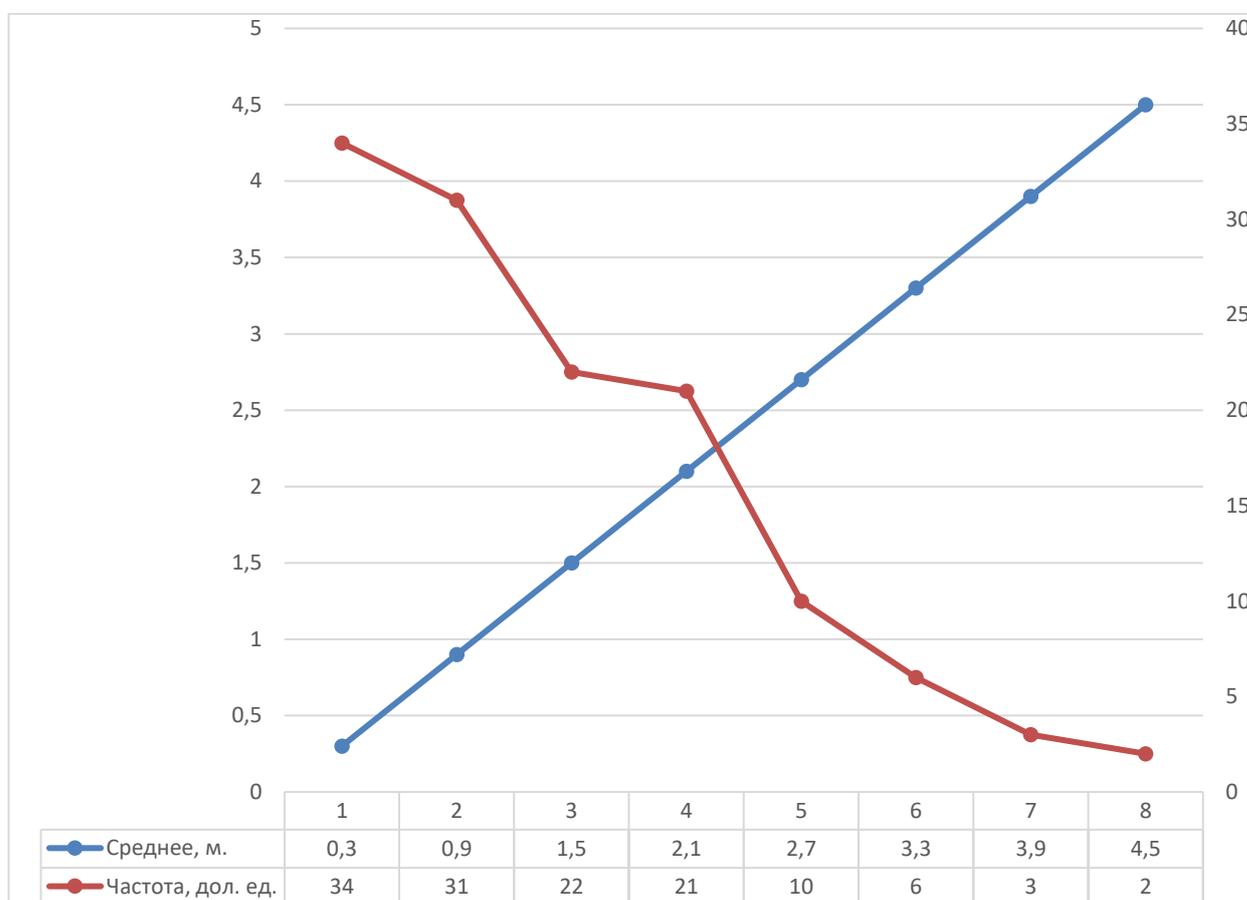


Рисунок 3.2 - Равнинно - холмистая местность, топографическая съемка масштаба 1:500

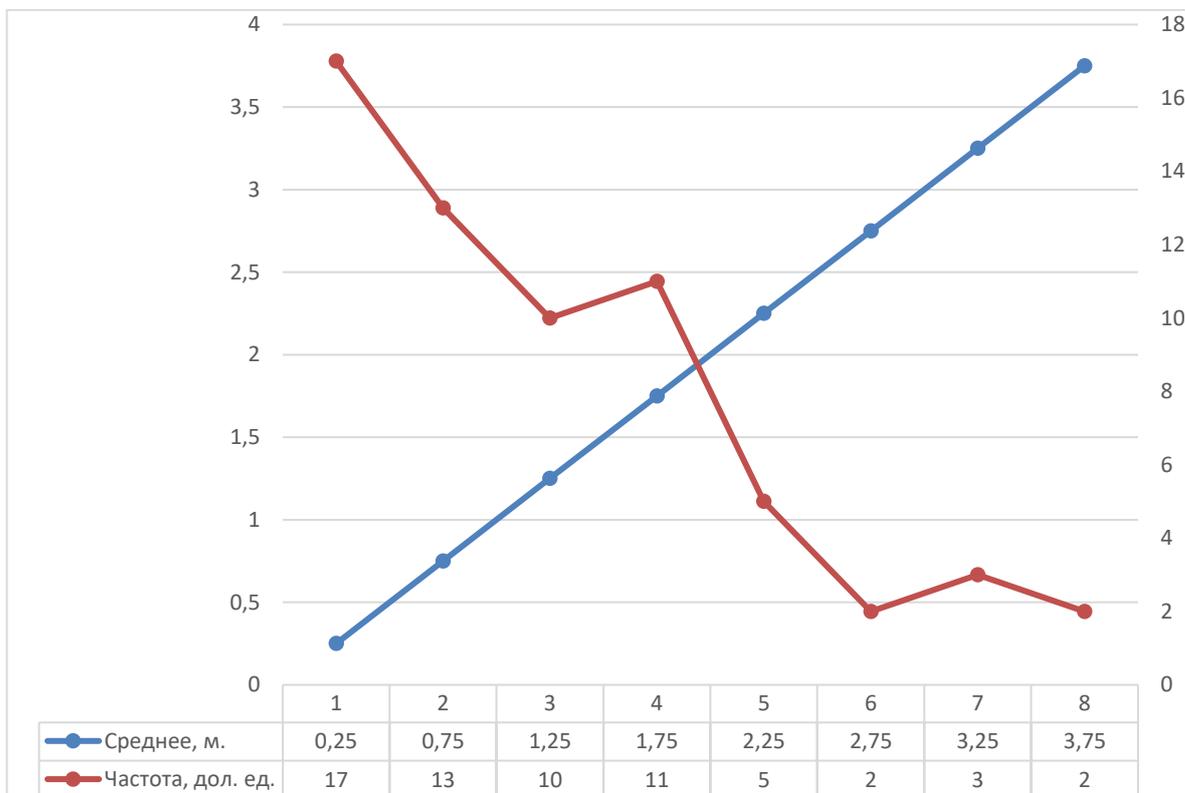


Рисунок 3.3- Холмистая местность, топографическая съемка масштаба 1:1000

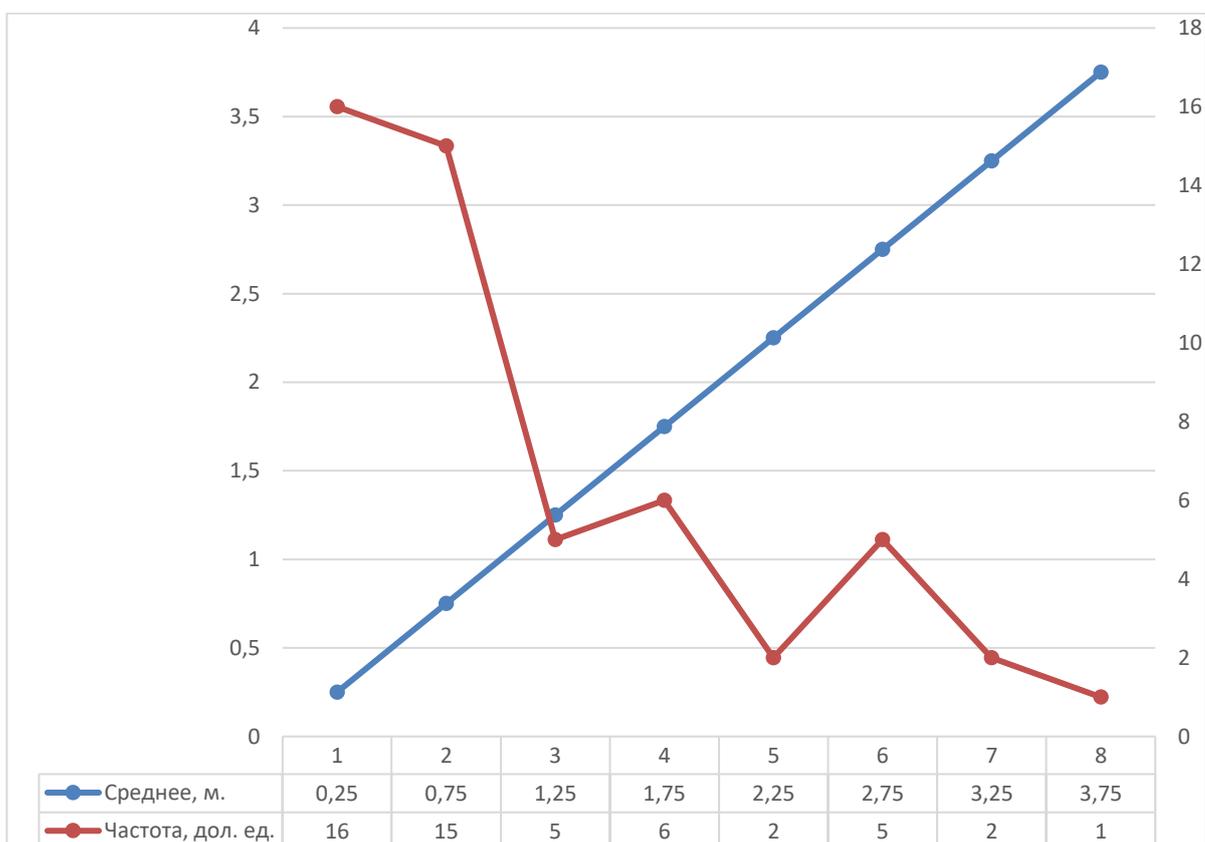


Рисунок 3.4 - Предгорная местность, топографическая съемка масштаба 1:2000

Таблица 3.3 – Морфометрические характеристики распределения вершинных высот (превышений) рельефа по трем объектам

Параметр	Морфометрические характеристики расположения вершинных высот (повышении)					
	Кол-во данных, n	Среднее значение, x	Модальное значение, x <sub>0</sub>	Среднеквадратическое отклонение, σ	Коэффициент вариации, V %	Амплитудная изменчивость, дол. ед.
I. По объекту 1:500						
Высота сечения	76	7,7	1,75	3,9	50,7	7,0
II. По объекту 1:1000						
Высота сечения	108	17,05	0,55	6,8	38,6	18,5
III. По объекту 1:2000						
Высота сечения	192	3,7	0,75	1,5	41,0	7,3
Всего по трем объектам						
Высота сечения	376	4,96	0,5 ÷ 1,75	1,8 ÷ 0,8	40,1 ÷ 51	7,0 ÷ 19

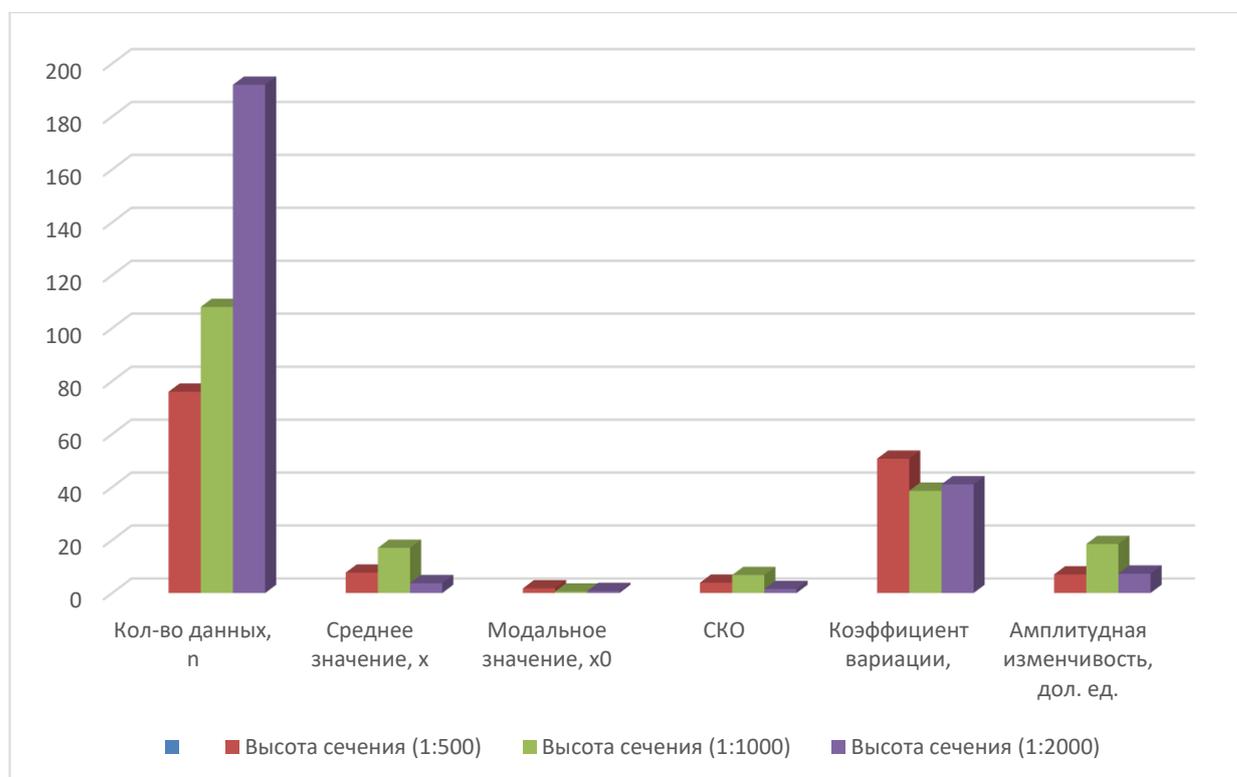


Рисунок 3.5 - Морфометрические характеристики расположения вершинных высот (повышении)

Как видно из вариационных таблиц распределения высот сечения рельефа присущи экспоненциально – радиальный характер развития частот.

Такой же характер в виде закономерной тенденции присущи к эмпирическим распределениям, построенным по рассмотренным выше местностям высокогорного, среднегорных, равнинного типов рельефа и масштабов 1:500, 1:2000, 1:10000. Все вариационные ряды и кривых и эмпирических распределении значений микросъемочных сечений, приведенных в таблице 3.3 – присущи экспоненциально – радиальная форма распределения.

Это закономерное положение вытекает из результатов подсчета суммы первых разностей и среднего расстояния между съемочными пикетами, показателя учета геометрической колеблемости распространения вершинных высот колеблемости распространения вершинных высот рельефа (таблица 3.3).

Следовательно, имеет место экспериментальное подтверждение, что дифференциация морфометрического рельефного поля местности через моды переменного позволяет выделять количественно и качественно неоднородных его частей, и тем самым создается базовая основа для определения дифференцированных размеров высоты сечения рельефа. Здесь следует учесть, отличительные различия свойств присущих к формам (симметричным, асимметричным и т.д.) распределений вероятностей.

С целью учета характера и геометрии морфометрических полей использованы совокупность фактических значений вершинных высот (отметок) рельефа, вычисленные по ним размеры превышения между высотами соседних съемочных пикетов, принятые в качестве высот сечения рельефа по вышеприведенным трем натурно - экспериментальным объектам. В качестве признаков типологизации этих объектов служили особенности и отличия геометрического рельефа отличия масштаба съемки. В связи с чем в качестве статистических совокупностей использованы совокупности фактических значений высот сечения рельефа по местностям, отображенным на топографических планах изучаемого земельного участка в масштабах 1:500, 1:1000 и 1:2000. Изучение геометрии расположения вершинных высоты по данным съемочных пикетов по трем натурно – экспериментальным объектам проведено по результатам подсчета фактических значений превышений по вершинным высотам съемочных пикетов по этим трем различным по морфометрическому поля и масштабу натурно – экспериментальным объектам. По данным совокупности фактических данных вычислены среднее значение, среднеквадратическое отклонение, коэффициент вариации, амплитудная колеблемость значений признака с привлечением способа моментов.

Результаты показывают, что для всех трех морфометрических полей присущи широкое распространение малых значений и незначительные изменения больших значений превышений высот рельефа. Значительность диапазона изменения присуща превышениям 0,1 м до 25 м, и в том числе: по первому объекту от 0,1 м до 8,0 м, по второму – от 0,25 м до 7,5 м, по третьему – от 0,5 м до 20 м. Соответственно коэффициенты вариации колеблются от 40% до 51% и примерно близко по трем объектам. Динамике изменения показателям

вариационной и амплитудной изменчивости присущи тенденции уменьшения их величин по степени сложности и установленного масштаба съемки.

### 3.4 Сравнительная оценка рекомендуемой методики путем подсчета дифференцированных размеров сечения высоты рельефа и точности их определения по трем натурно - экспериментальным местностям различного масштаба

Сравнительная оценка дифференцированных размеров высоты сечения рельефа по трем натурно - экспериментальным местностям различного рельефообразования и масштаба полученных по методике проведены относительно с известными размерами высоты сечения рельефа для аналогичных объектов тех же масштабов и уклонов, установленных согласно действующих инструкций с привлечением расчетных данных (таблица 3.2). Использованы расчетные результаты определения высоты сечения рельефа по рекомендуемой методике (таблица 3.4) и размеры высоты сечения рельефа по табличной шкале установленных действующей инструкцией [13], [15].

Таблица 3.4 - Сводные результаты расчета размеров высоты сечения рельефа по установленной табличной шкале и подсчитанных по рекомендуемой методике

Рельеф с максимально преобладающими углами наклона	Масштаб съемки			Масштаб съемки		
	1:500	1:2000	1:1000 (1:500)	1:500	1:2000	1:1000
	Установленные высоты сечения рельефа по инструкции, м			Расчетные высоты сечения рельефа по рекомендуемой методике, м ( $h_{mo}, h_H, h_B$ )		
Равнинный, с углами наклона до 2°	0,5	0,5	0,5	0,64; 0,40; 0,36		
		(1-0)				
Всхолмленный, с углами наклона до 4°	0,5	0,5	0,5			
		1,0				
Пересеченный, с углами наклона до 6°	0,5	2,0	0,5	0,55; 0,49; 0,52		
	1,0	(1,0)	1,0			
Горный и предгорный, с углами наклона более 6°	1,0	2,0	1,0	0,67; 0,95; 1,3		
		2,0				

Комплексный показатель учета статистическо - геометрической колеблемости фактических высот сечения рельефа определяется по значениям абсолютных размеров первых последовательных разностей ( $\sum|\Delta^i|$ ) и

протяженность (длины) поверхности земельного участка  $L$ , определяемых по трем натурно – экспериментальным объектам.

Поведение поверхности и вид модели его описания, зависит лишь от равномерности изменения склонов, но не от их схождения к центру, и не зависит от формы поверхности. При этом равномерность или регулярность проявляется и у самых сложных структур и легко распознается при анализе заложений между изменениями вдаль любого направления.

Среднее расстояние между пикетами, при съемке равно:

$$S_{0.1} = \mu_k^{A_k} \cdot l_{\max}, \quad (3.5)$$

где  $l_{\max}$  - максимальное расстояние между пикетами, (интервального заложения) которое допускается инструкцией по топографической съемке [13];  $\mu_k^{A_k}$  - коэффициент случайного влияния, равный средней квадратической погрешности обобщения рельефа при съемках. Для  $S_0=1$  и зависит от характера отображаемого рельефа при (об 0,010 до 0,020) на основе результатов проведенного дисперсионного анализа экспериментальных данных, опубликованных в значениях коэффициента  $\mu$  подсчитаны в работе для различных топографических условий местности (таблица 3.5).

Таблица 3.5 - Значения коэффициента  $\mu$  для различных топографических условий местности

Типы рельефа	Значения коэффициента $\mu_k$	Характеристика сложности рельефа
а) Разнообразие форм рельефа, элементы которых имеет равномерных скаты	0,012	до 15
б) Разнообразие форм рельефа, элементы которых имеют скаты	0,015	до 40
в) Совокупность форм рельефа, элементы которых имеют неравномерного скаты и форм рельефа	0,19	свыше 40

Для двух участков местности с различным по сложности рельефам, отображение которого производится в одном и том же масштабе с единой высотой сечения рельефа  $h_o$  и при  $\sigma_{1.i\dot{a}} = \sigma_{2.i\dot{a}}$  с учетом широко известной формы среднеквадратической погрешности обобщения рельефа  $\sigma_{i\dot{a}} = \mu_k \sqrt{S_o}$  можем написать:

$$\frac{\mu_1}{\mu_2} = \sqrt{\frac{S_{0,2}}{S_{0,1}}} \quad (3.6)$$

Следовательно с учетом (3.6) имеем:

$$S_{0,1} = \left(\frac{1}{\mu_k}\right)^2 l_{\max} \quad (3.7)$$

Геодезическо-маркшейдерские сети создаются на поверхности земли с учетом организации и технологических особенностей их построения и использования при производстве исходя из назначения.

Сводные результаты определения среднего расстояния между съемочными пикетами для условия съемки масштабов 1:500, 1:1000, 1:2000 предусмотренных по трем рассматриваемым объектам приведены ниже (таблица 3.6).

Таблица 3.6- Сводные результаты определения среднего расстояния между съемочными пикетами

Топографические планы разными масштабами	Максимальная длина линии, $l_{\max}$ , м	коэффициент, $\lambda$	Среднее расстояние, $S_{0,1}$
1:500	100	0,64	$S_H = 64,0$
1:1000	150	0,64	$S_H = 96,0$
1:2000	200	0,40	$S' = 80,0$

По полученным значениям параметров  $S_{0,1}$  и  $l_{\max}$  определено масштабирование размера длины поверхности Земного участка, по которым подсчитаны первые разности по формуле  $L_i = K_i \cdot S_{0,1}$  ( $k_i$  – число первых разностей по объектам): по первому объекту  $L_1 = 0,64$  м, по второму объекту  $L_2 = 10$  м, по третьему объекту  $L_3 = 104$  м. ( $L_{cp} = 1777,11, \bar{L}_{cp} = 9,0i$ ).

Комплексный показатель учета колеблемости высот рельефа определяется исходя от полученных значений величин суммы первых последовательных разностей  $\sum |\Delta'_i|$  и приведенной масштабированной длины  $L_i$  по формуле

$$\gamma_i = \frac{1}{L_i} \sum_{i=1}^{k_i} |\Delta'_i| \quad (3.8)$$

Сумма абсолютных значений первых последовательных разностей подсчитана по фактическим значениям высот (отметок) съемочных пикетов по

трем объектам: по первому объекту -  $\sum_{i=1}^{k=192} |\Delta'| = 26,9$  ,  
 $\sum_{i=1}^{k=76} |\Delta'| = 646,7$  по обоим объектам -  $\sum_{i=1}^{k=108} |\Delta'| = 672,71$ . При этом использована

формула расчета первых разностей в виде  $\Delta h_i = H_{i+1} - H_i$ , где  $H_{i+1}, H_i$  - абсолютные соседних  $i$ -ой и  $i+1$ -ой соседних съемочных пикетов;  $\Delta h$  - абсолютное значение превышения (разности отметок) между отметками соседних съемочных пикетов (т.е. фактическое значение высоты сечения приходящей на значения двух соседних съемочных пикетов).

Протяженность поверхности земного участка ( $L$ ), приходящей последние разности, определяется через среднее и максимальное расстояние между съемочными пикетами ( $S_{0,1}$ ) и коэффициента случайного влияния погрешностей на расстояние между наблюдениями ( $\mu$ ).

Полученные фактические результаты при сравнительной оценке показали следующее:

1) Дифференцированные размеры высоты сечения рельефа полученных по рекомендуемой методике для равнинного, (0,64; 0,36; 0,40), пересеченного всхолмленного (0,55; 0,49; 0,52) и предгорного типов рельефообразования (0,67; 0,25; 1,3) не выходят за пределы высот сечения установленных с управлением геодезии и картографии[15] для топографических карт крупных масштабов (0,5 ÷ 5,0 м), а также за пределы часто применяемые на картах высот сечения рельефа (0,25 ÷ 10,0 м), устанавливаемых по инструкциям, однако они существенно отличаются в разных дифференцированных диапазонах.

2) Влияние масштаба топоосновы (1:500, 1:1000, 1:2000) на размеры высоты сечения рельефа носит пропорциональный характер и отличается различной значимостью в зависимости от сложности рельефа ( $\gamma_i$ ).

3) Изменение дифференцированных размеров высоты сечения происходит обратно- пропорционально к амплитудной колеблемости вершинных высот рельефа ( $\gamma_H, \gamma_B$ ), высоким их значениям соответствуют малые размеры высоты сечения и наоборот.

4) Частотная доля распространения значений модальной высоты рельефа в множествах их значений по натурно - экспериментальным объектам колеблется в пределах от 48 до 61%; для меньших размеров модальной высоты соответствуют меньшие значения колеблемости вершинных высот и меньшие размеры высоты сечения рельефа, и наоборот; такая прямо пропорциональная связь имеет место в условиях всех трех натурно - экспериментальных объектов; Эти закономерности не противоречат вышеприведенным известным аналитическим оценкам их взаимосвязи.

### 3.5 Аналитическая основа повышения оптимальности и дифференцированности высоты сечения рельефа в условиях местности со сложным рельефом, основанной на использовании геоиндикаторных характеристик морфометрии рельефа

Аналитические основы оценки определения высоты сечения рельефа по рекомендуемой методике созданы применительно к условиям местности. Основные требования, предъявляемые к аналитической оценке и использованию изменчивости высот рельефа такие как: приемлемость, полнота, достоверность, дифференцированность и реальность результатов обеспечиваются за счет комплексного учета главных предопределяющих пространственной изменчивости морфометрических параметров расчленения рельефа: протяженности площади, высотных превышений и угла наклона рельефа а также последовательных взаимоотношений высот рельефа, модифицированных комплексно с учетом закономерной и случайной составляющих общей фактической пространственной изменчивости [78].

Аналитический оценки определения высоты сечения рельефа согласно рекомендуемой методике представлена в виде системы оценок, содержащие модального вершинных высот элементов рельефа в виде:

$$\varphi(h) = f(h_{mo}, h_n, h_e), \begin{cases} h_0 = h_{mo} \\ h_i = h_{mo} - \gamma_i \left( \frac{M}{1000} \right) \\ h_{\hat{a}} = h_{mo} + \gamma_{\hat{a}} \left( \frac{M}{1000} \right) \end{cases} \quad (3.9)$$

где  $h_{mo}$  - модальное значение вершинных высоты рельефа;  $\gamma_i, \gamma_{\hat{a}}$  - коэффициенты учета колеблемости высоты сечения по двум частям, в которых значения вершинных высот соответственно ниже и выше модального значения, дол. ед.; М-знаменатель численного масштаба.

Здесь, вершинными высотами рельефа подразумевается превышения конкретных точек рельефа от горизонтальной плоскости нижнего уровня;  $h_i$  - абсолютное значение искомой высоты сечения для участков морфометрического поля в пределах которые высоты рельефа не превышают модальной высоты ( $h_i < h_{mo}$ );  $h_{\hat{a}}$  - абсолютное значение высоты сечения рельефа, для участков в пределе которые высоты превышают модальной высоты ( $h_i > h_{mo}$ ).

Привлечение нового ряда параметров для вывода аналитической оценки определения высоты сечения рельефа, как показывает анализ, не обеспечивает требуемой точности и тем самым остаются неучтенными значимость и взаимосвязь этих привлекаемых параметров.

Дифференцированный подход к принимаемой высоте сечения для топографической основы эффективен в условиях сложных и больших

земельных участков и, несомненно, вызывает определенный научный интерес. Кроме того, не менее важной в этом аспекте является возможная дифференцируемость размера масштаба в некотором диапазоне, что вытекает из многофакторности и многоаспектности (назначения и т.д.) величины масштаба, а также часто проявляемая неостребованность однозначного ответа решения при его определении.

Определение модальных значений осуществляется легко и просто, как по отдельной поверхности, так и по общей поверхности по гистограмме, а также путем подсчета или визуально по наблюдаемым особенностям распределения высот рельефа по местности. При достаточности объема информации эмпирическое значение моды определяется по гистограмме или по вариационному ряду по формуле [80]:

$$X_0 = X_{o_{i.a.}} + \Delta X \frac{\ddot{I}_{ii} - \ddot{I}_{ii-1}}{(\ddot{I}_{ii} - \ddot{I}_{ii-1}) + (\ddot{I}_{ii} - \ddot{I}_{ii+1})} \quad (3.10)$$

где  $\tilde{O}_{i.a.}$  - нижняя граница модального интервала;  $\ddot{I}_{ii}$  - частота модального интервала;  $\ddot{I}_{ii-1}$  - частота интервала, предшествующего модальному;  $\ddot{I}_{ii+1}$  - частота интервала, последующего за модальным;  $\Delta\tilde{O} = h$  - интервальная разность.

Расчетные формулы определения моды выведены по ряд теоретическим распределениям вероятностей.

– при нормальном распределении мода равно среднему:

$$X_{mo} = \bar{X} \quad (3.11)$$

– при нормальном распределении:

$$X_{mo} = \frac{1}{n} \sum \lg X 10^{\frac{\sigma^2}{m}} \quad (3.12)$$

– при гамма – распределении:

$$X_{mo} = \alpha \cdot \beta \frac{\sigma_x^2}{(\alpha + 1)} \quad (3.13)$$

Здесь  $\alpha = \left(\frac{M_x}{\sigma_x}\right)^2 - 1$ ;  $\beta = \frac{\sigma_x^2}{M_x}$ ;  $M_x = \beta(\alpha + 1)$ , где  $\alpha, \beta$  - теоретические параметры гамма – распределения;  $M_x$  - среднее значение.

– при распределении Пирсона [80] (V - тип):

$$X_{mo} = \frac{V}{P} \quad (3.14)$$

где  $V, P$  - параметры распределения Пирсона.

– при вероятности – структурном распределении:

$$x_{mo} = \bar{x}_{cp} - \frac{d_2 th(x_2 - x_0) - d_1 th(x_1 - x_0)}{th(x_2 - x_0) - th(x_1 - x_0)}, \quad (3.15)$$

где  $x_0, x_2, x_1$  - модальное, максимальное, минимальное значения признака;  $thx$  - гиперболический тангенс  $d_2 = x_2 - x_0, d_1 = x_1 - x_0$ .

### 3.6 Выводы по разделу

1. Рекомендуемая методика определения дифференцированных размеров высоты сечения рельефа отвечает ниже перечисленным основным требованиям:

- высота сечения получается больше минимального сечения горизонталей;
- точность подсчета объема земляных работ и других проектно-изыскательских работ получается выше, чем точность при случаях использования на практике рекомендуемой высоты сечения по методике;
- высота сечения по рекомендуемой методике соответствует точностям исходных данных и заданным границам;

2. Концепция использования модальной характеристики и амплитудной колеблемости размещения высот рельефа в качестве главных пространственно-статистических параметров представляется прогрессивной и приемлемой для определения высоты сечения рельефа. Аналитическая оценка входящей в модельную структуру рекомендуемой методики отражает степень амплитудной колеблемости характерных природных высот (возвышений), впадины (ложбины и т.д.) и равнины земного участка, в ней учитываются выбираемый масштаб и пространственная протяженность размещения и изменения значений высот рельефа.

3. Методика содержит аналитические определения дифференцированных размеров высоты сечения рельефа, структурообразующими исходными параметрами которые являются главные естественные геоиндикаторные пространственно-статистические характеристики морфометрического поля земной поверхности: модальная высота, масштаб и показатель колеблемости вершинных высот рельефа.

4. Дифференциация высот сечения осуществляется путем разделения морфометрического поля рельефа на две отдельные части, в контурах которые значения высот соответственно ниже ( $h_i < h_{mo}$ ) и выше ( $h_i > h_{mo}$ ) модальной высоты; для этих частей обоснованы аналитические оценки расчета показателей колеблемости вершинных высот и размеры высоты сечения рельефа.

В основу выбора сечения положено требование соответствия степени изученности функции и точности изображения.

5. Проведена сравнительная оценка рекомендуемой методики путем подсчета дифференцированных размеров сечения высоты рельефа и точности их определения по трем натурно - экспериментальным местностям различного масштаба и сложности, по результатам, которые подтверждены: достоверность расчетных размеров высоты сечения рельефа дифференцированных по рекомендуемой методике для топографических планов масштабов 1:500, 1:1000, 1:2000, а также сопоставимость их с размерами высот сечения-рельефа, установленных согласно инструкции [13] и опыта картографических работ.

## **4 СОЗДАНИЕ ЦМР НА ОСНОВЕ МЕТОДА ГЕОИНФОРМАЦИОННОГО КАРТОГРАФИРОВАНИЯ В УСЛОВИЯХ МЕСТНОСТЕЙ СО СЛОЖНЫМ РЕЛЬЕФОМ**

### **4.1 Источники данных для создания ЦМР**

Подбор исходных данных для создания цифровой модели местности обусловлен поставленными задачами и предъявляемыми требованиями к целям и задачам исследований, а также характерной особенностью рельефа территорий. Источником геометрических данных для построения ЦМР рельефа местности служат топографические карты крупных масштабов, результаты спутниковых и воздушных исследований поверхности Земли, и данные наземных измерений высокоточными геодезическими приборами.

Такие источники данных как оцифрованные топографические карты, основанные на материалах полевых съемок все меньше становятся единственным источником для создания ЦМР, уступая более передовым методам получения цифровой информации о рельефе как компьютерная обработка данных дистанционного зондирования земной поверхности.

Данные дистанционного зондирования (ДЗЗ) — важнейший источник оперативной и современной информации о природной среде для создания тематических слоев БД ГИС, тематических карт, для поддержания данных в актуальном состоянии и других целей. Тематическое картографирование с давних пор является одним из основных потребителей аэрокосмической информации: ее применение и компьютерная обработка стали важным стимулом для прогресса картографии [71, с. 329].

Фотограмметрическая обработка космических снимков KazEOSat-1 выполнялась с использованием специального программного обеспечения Erdas Imagine.

Первый в истории Казахстана спутник ДЗЗ создавался по заказу Аэрокосмического комитета Министерства оборонной и аэрокосмической промышленности РК, АО «НК «ҚазақстанҒарышСапары», французской компанией AirbusDefenceandSpace. Снимки, получаемые с космического аппарата «KazEOSat-1» (KazakhstanEarthObservationSatellite - казахстанский спутник наблюдения Земли) имеют высокое пространственное разрешение в 1 метр, полосой захвата - 20 км, производительность спутника ДЗЗ - 220 тыс. квадратных километров в течение суток.

Первый космический аппарат был запущен 30 апреля 2014 года с космодрома Куру во Французской Гвиане европейской ракетой-носителем «Вега». KazEOSat-1 выведен на солнечно-синхронную орбиту и на данный момент система проходит орбитальные и комплексные тесты для приема в производственную эксплуатацию. Срок службы КА на орбите - более 7 лет, масса казахстанского КА ДЗЗ составляет массой 900 кг.

Второй казахстанский спутник ДЗЗ «KazEOSat-2», был выведен на орбиту ракетой-носителем «Днепр» с российского космодрома «Ясный» 20 июня 2014 года, который, также проходит весь комплекс испытаний. Снимки с данного

спутника имеют среднее пространственное разрешение в 6,5 метра и производится в пяти мультиспектральных каналах, с полосой захвата в 77 км. Производительность спутника ДЗЗ KazEOSat-2 - 1млн. квадратных километров в течение суток, срок службы на орбите - более 7 лет. Изготовлен по заказу Казкосмоса британской компанией SurreySatelliteTechnologyLimited (SSTL), входящей в состав крупнейшего французского концерна AirbusDefenceandSpace [81].

Создание карт рельефа и производных карт на основе ЦМР —наиболее используемая картографическая функция в ГИС, ЦМР применяют для построения линейных карт и трехмерных изображений поверхности, показа рельефа методом аналитической отмывки или в виде гипсометрических слоев, отображения морфометрических характеристик рельефа.

При построении высокоточных топографических карт и планов необходимо помнить, что ЦМР - растровое представление рельефа поверхности и следует, прежде всего, проверять, достаточно ли разрешение модели для создания таких карт [71, с. 298].

В процессе выполнения задачи (получение ЦМР) необходимо выполнить следующие виды работ (рисунок 4.1):

- Подготовка космических снимков;
- Получение исходных опорных данных перед началом работ;
- Триангуляционное уравнивание блока;
- Получение параметров коррекции геометрических искажений.
- Создание цифровой модели рельефа;
- Редактирование ЦМР в стереорежиме;
- Конвертирование продукта ЦМР в растровый формат;
- Ортотрансформирование космических снимков.



Рисунок 4.1 - Получение ЦМР (цифровой модели рельефа)

Перед началом работ по фотограмметрической обработке космических снимков, существует необходимость вычисления и уравнивания гистограмм растровых изображений (панхроматического канала, т.к. включает в себя информацию во всем видимом диапазоне света 450-750 Нм), которые при этом делаются более светлыми и читаемыми (рисунок 4.2 б), т.к. в оригинале ввиду специфики их получения исходные снимки являются достаточно темными (рисунок 4.2 а) и это создает затруднения при работе модуля автоматического генерирования связующих точек, позволяющих выполнять взаимное ориентирование блока космических снимков на этапе уравнивания блока.

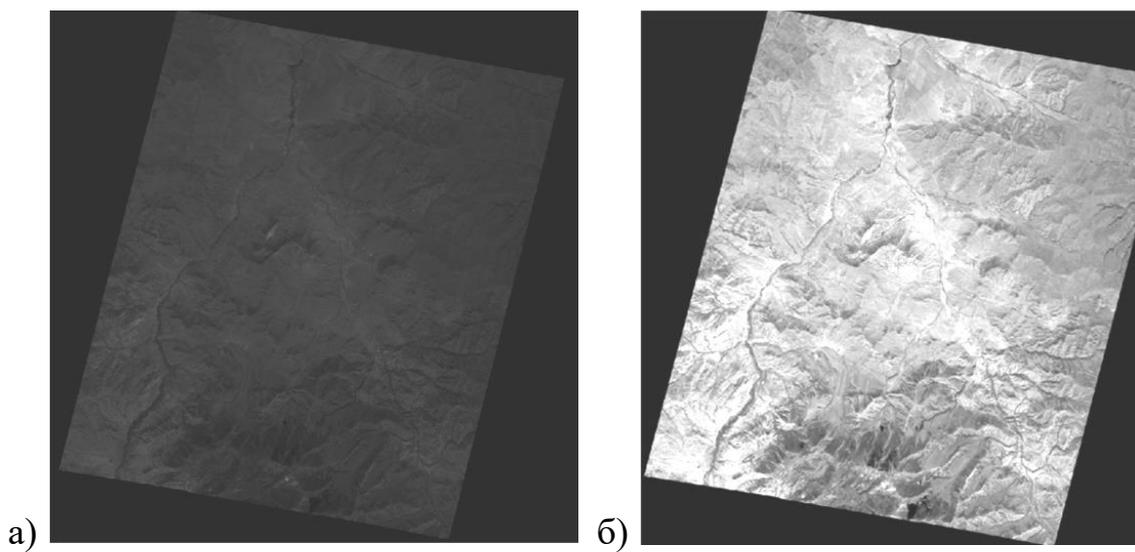


Рисунок 4.2 - а) Исходный космических снимок;  
б) Снимок после коррекции гистораммы

В ПО ErdasImagine данный вид работ выполняется при помощи соответствующих модулей в следующем порядке:

- Построение пирамид и расчет гистограмм выполняется с помощью модуля EditMetadata;

- Пересчет гисторамм с использованием шаблонной растяжки от белого до черного StandardDeviation, выполняется модулем Radimetric/Rescale, в результате работы которого получаем скорректированный до читаемого вида растровый файл, исходные данные остаются не тронутыми (рисунок 4.3) - модуль радиометрического преобразования снимка.

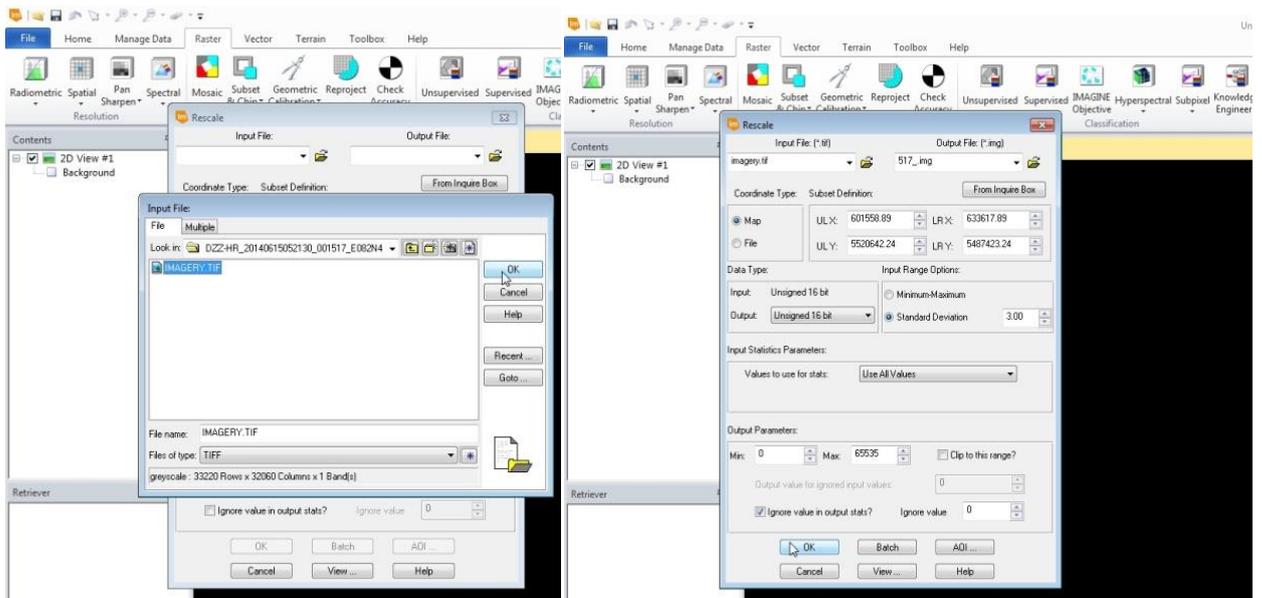


Рисунок 4.3 - Радиометрическое выравнивание гистогрмм космических снимков

В качестве опорных данных с целью получения наиболее точных продуктов необходимо использовать ЦМР из открытых источников отвечающим минимальным требованиям. К таким продуктам относится ЦМР полученный в рамках американской программы SRTM (рисунок 4.4).

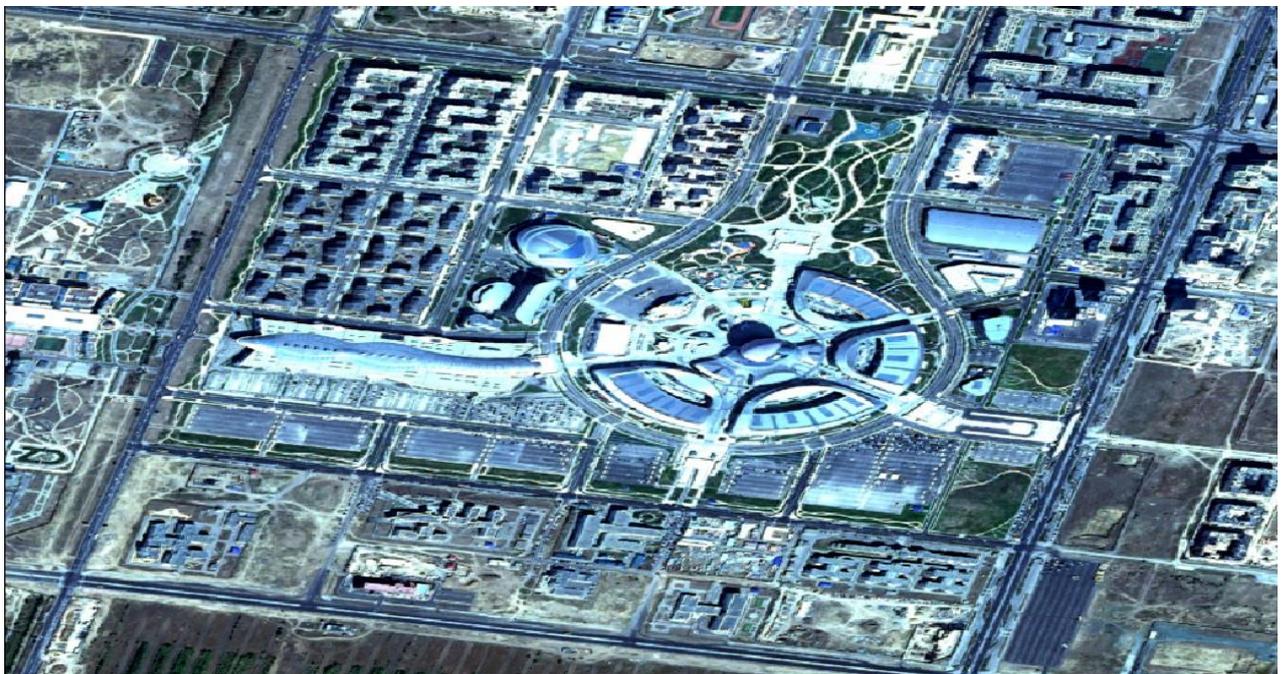


Рисунок 4.4 - Способ получения SRTM

Успешной попыткой реализации интерферометрической радиолокационной съемки в целях получения широкоохватных высотных данных о рельефе Земли относительно высокого пространственного

разрешения стала миссия SRTM. SRTM – проект радиолокационной интерферометрической съемки поверхности земного шара, осуществленной в феврале 2000 г. с борта космического корабля многоразового использования [82]. В качестве активного излучателя был использован сенсор SIR-C/X-SAR - радар с синтезированной апертурой, излучающий сигналы в X-диапазоне (с длиной волны порядка 3 см) и в C-диапазоне (с длиной волны около 5,6 см). В результате миссии удалось получить высотные данные о 80 % поверхности Земли между 60° с.ш. и 56° ю.ш с пространственным разрешением порядка 30 м. Согласно документации проекта, среднеквадратичная ошибка определения высот ЦМР с вероятностью 90% не превышает 16 м ( $LE_{90}=16$  м) [83]. Достаточно широкий охват съемки, приемлемый показатель пространственного разрешения, а также открытый доступ к данным в Internet обусловили живой интерес пользователей ДЗЗ к проекту SRTM .

Таким образом ЦМР получен с интернет источника с размером ячейки 1x1 арксекунд (около 30 метров) точность которого не хуже 12 метров для горных территорий. Система координат WGS-84 и система высот EGM-96 (EarthGeoidModel 1996 года), которая может быть конвертирована на любую другую систему так как является универсальной.

#### **4.2 Алгоритм обработки космических снимков с помощью программы ERDASImagine**

Начало работы в ПО ERDAS Imagine начинается с открытия самой программы. Для открытия фотограмметрического приложения на панели инструментов выбираем инструмент «Toolbox» (ящик инструментов) .

Открывается основное окно приложения, где надо указать местоположение, имя и тип проекта. Далее создается новый фотограмметрический проект нажатием кнопки на панели инструментов (рисунок 4.5). После того, как мы создаем фотограмметрический проект, выбираем модель съемочной аппаратуры. Съемочная аппаратура – это часть бортового комплекса системы ДЗЗ, устройство для регистрации электромагнитного излучения от объектов зондирования. Оптико-электронная съемочная аппаратура - регистрирует электромагнитное излучение в ультрафиолетовом, видимом или инфракрасном диапазоне электромагнитного спектра.

В зависимости от спектрального разрешения оптико-электронная съемочная аппаратура делится на панхроматическую и мультиспектральную, для проведения съемки в панхроматическом или мультиспектральном диапазонах. Панхроматический диапазон - это весь видимый диапазон спектра. Мультиспектральный диапазон, это совокупность нескольких чувствительных элементов которые снимают в диапазонах видимого света по отдельным цветам, т.е. диапазонах синего, зеленого, красного и ближнего инфракрасного цветов.

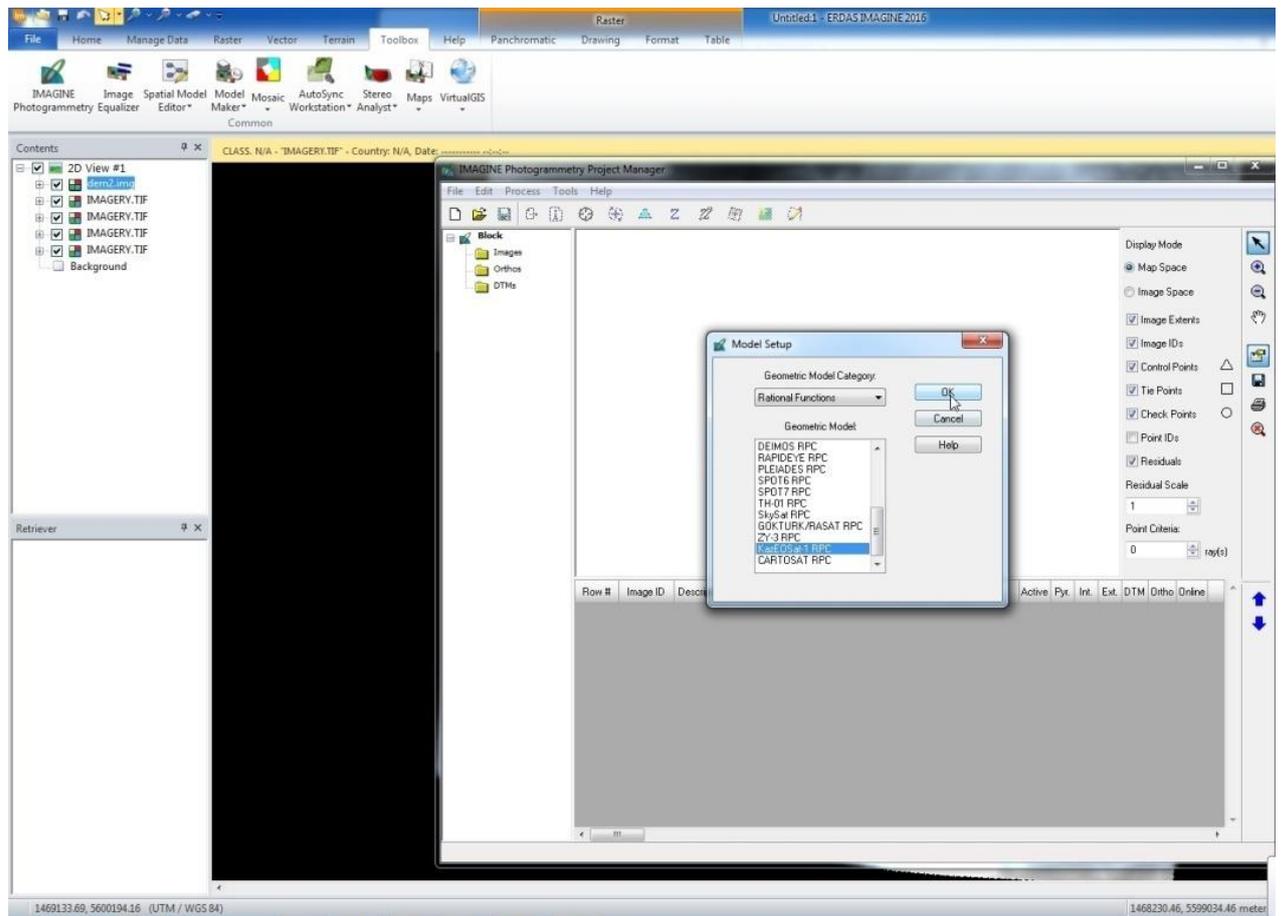


Рисунок 4.5 - Создание проекта фотограмметрической обработки и определение параметров проекта

После того, как выбрали модель съемочной аппаратуры спутника, далее настраиваем систему координат (рисунок 4.6). В поле «Номер зоны» окна «Системы координат» вводим нужный номер зоны, в соответствии с координатами объекта.

После выбора системы координат и зоны, в фотограмметрический проект добавляем исходные панхроматические снимки. После добавления снимков загружаем RPC коэффициенты каждого снимка, несущие информацию о параметрах снимка и съемки, RPC коэффициенты обычно хранятся в той же папке, где и снимок.

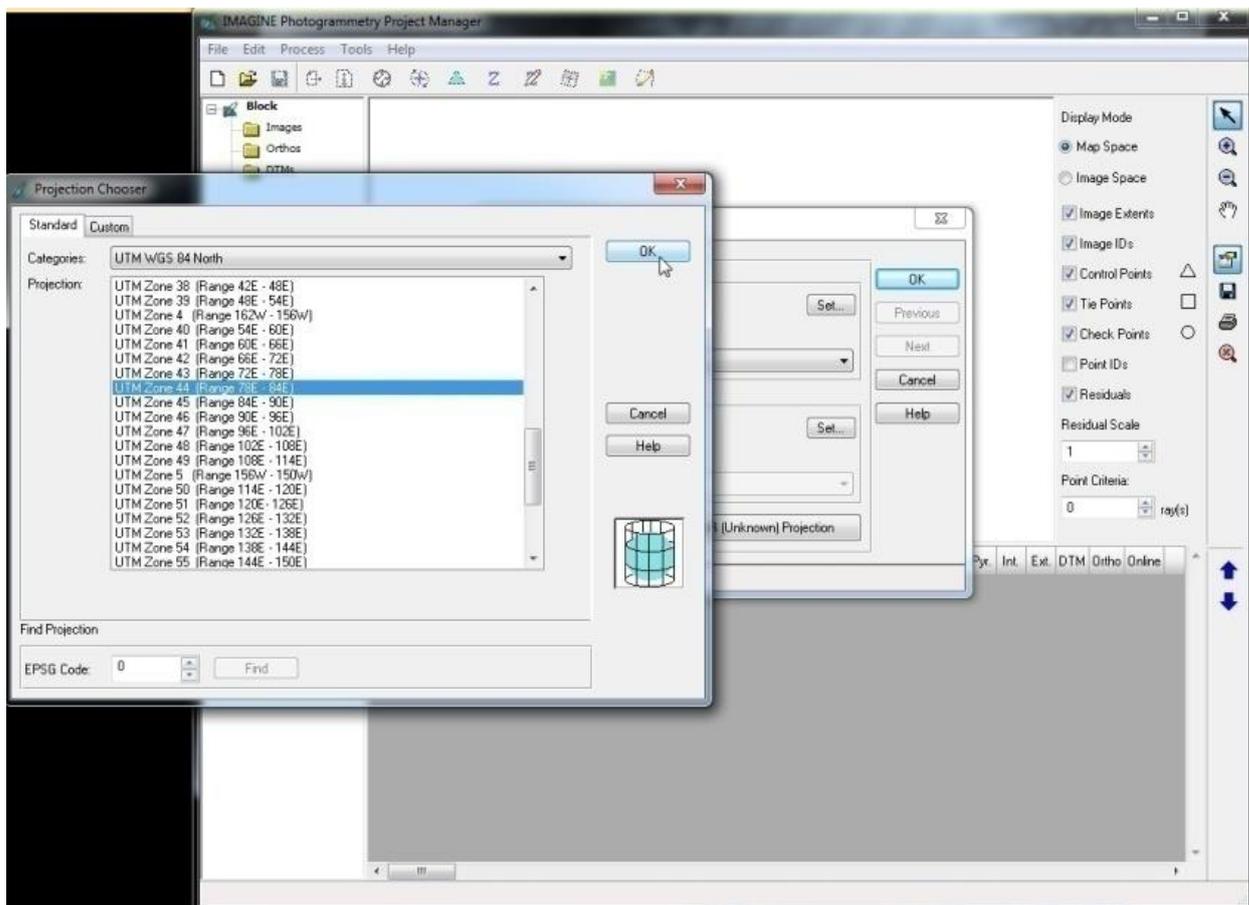


Рисунок 4.6 - Выбор системы координат проекта

Модель камеры спутника в виде обобщенных аппроксимирующих функций (рациональных полиномов) можно считать одной из обобщающих моделей, используемых вместо строгих моделей уже более десяти лет. Она выражает отношения между объектом и координатами изображения с помощью коэффициентов многочленов. Эти коэффициенты называются коэффициентами рационального многочлена (RPC – Rational Polynomial Coefficients).

Для конечного пользователя доступность RPC и программного обеспечения, основанного на них, облегчает точную геометрическую обработку изображений и позволяет обрабатывать данные, полученные от разнообразных датчиков, без необходимости добавлять новые модули к своему программному обеспечению.

### **Пространственная триангуляция – уравнивание блока.**

Уравнивание блока – это основной этап цифровой фотограмметрической обработки. Блок – это группа снимков ДЗЗ имеющих перекрытие между собой и обрабатываемая в едином проекте. Уравнивание блока используется при ортотрансформировании снимков ДЗЗ, которые в последующем должны быть сшиты в единое изображение большой площади или мозаику. Уравнивание блока – это процесс триангулирования снимков на основе точек создаваемых на перекрытиях, импортируемых точек ПВО (параметры внутреннего ориентирования) и моделью камеры. Оно состоит из трех частей:

Связующие точки – обеспечивает взаимное ориентирование между изображениями и создается автоматически (указанием параметров поиска и последующей фильтрацией).

Наземные опорные точки – Географическая привязка снимков в пространстве в системе координат (используются полевые точки либо опорная ортомозаика и точная ЦМР).

Триангуляция – вычисляет трансформацию путем минимизации и распределения ошибок по изображениям и опорным точкам.

#### **Точки, используемые в уравнивании блока.**

Опорные точки необходимо планировать на плоских участках, определяя их на четко опознаваемых долговременных контурах. Нельзя выбирать точки рядом с вертикальными объектами (здания, сооружения), на крутых склонах, затенённых участках оврагов и лощин. Опорные точки должны располагаться рассредоточено не менее 3 штук, но максимальное количество не ограничено.

Связующие точки располагаются на перекрытиях между снимками для обеспечения взаимного ориентирования. Автоматическое генерирование точек выполняется путем определения точки на одном снимке и поиска по гистограмме заданного окна поиска (Н-р: 21x21 пиксель) на перекрываемом снимке.

Для выполнения данной задачи запускается модуль Pointmeasurementtool (рисунок 4.7).

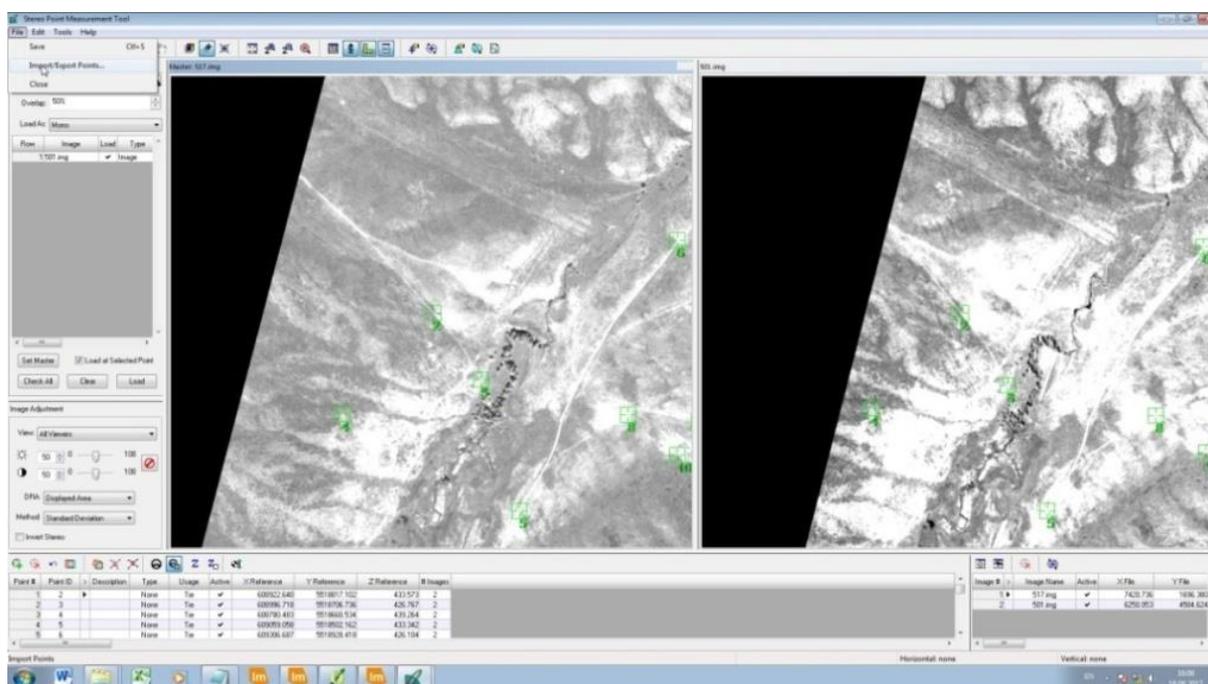


Рисунок 4.7 - Инструмент блочного уравнивания по точкам

После запуска инструмента производится импортирование полевых опорных точек ПВО (рисунок 4.8, 4.9) с указанием системы координат и системы высот, а затем столбцов соответствующих координатам ID, X, Y, Z (таблица 4.1).

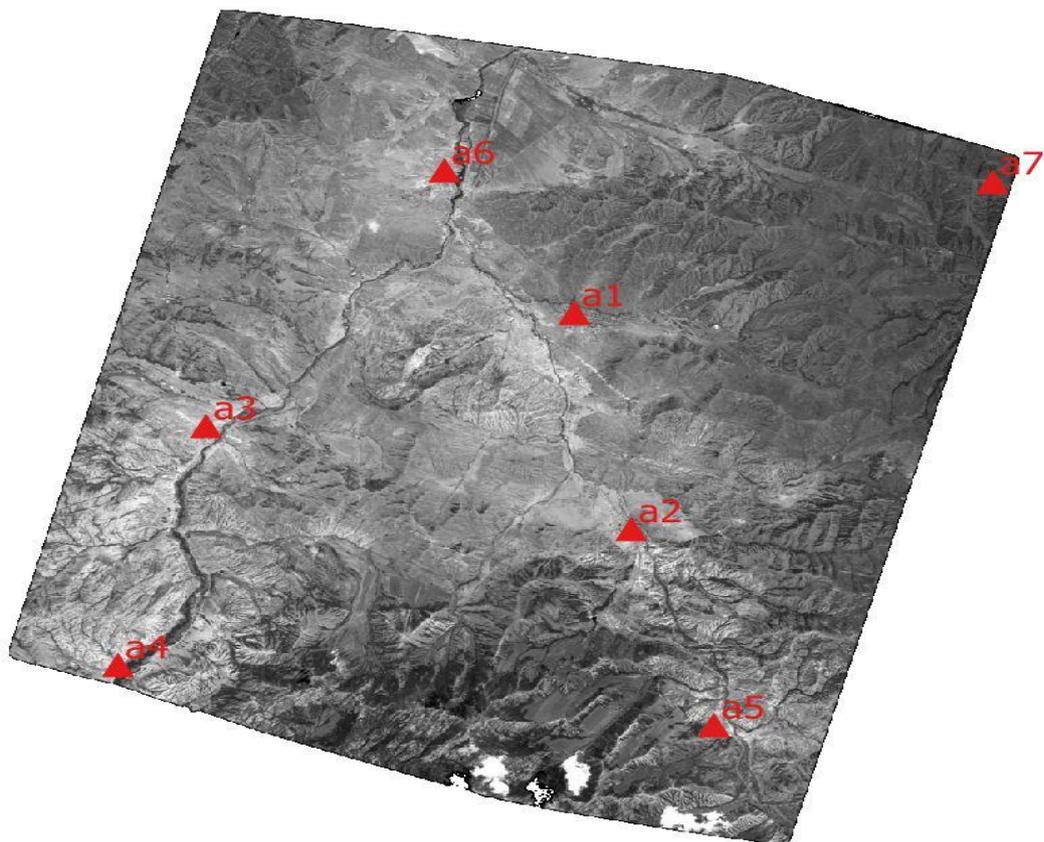


Рисунок 4.8 – Опорные точки – точки ПВО

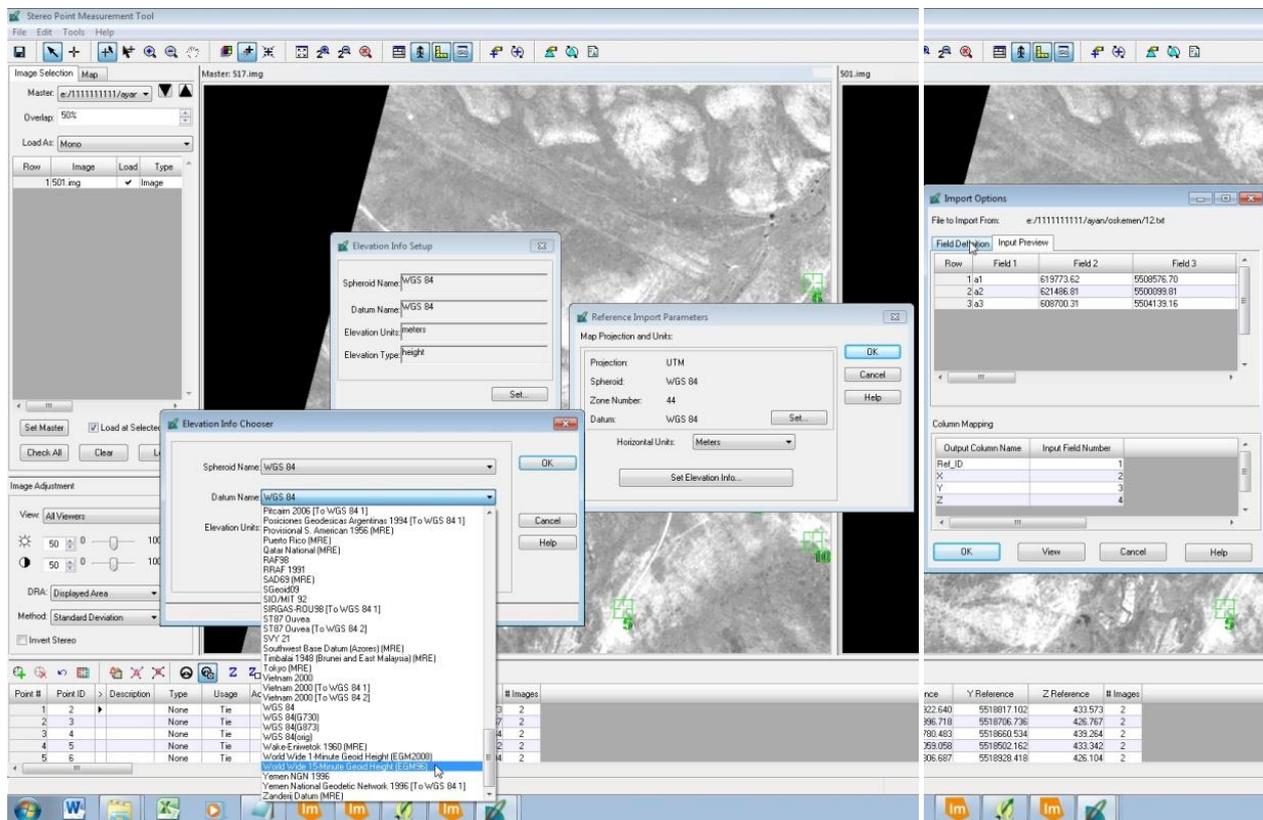


Рисунок 4.9 - Импорт полевых опорных точек

Таблица 4.1 – координаты опорных точек ПВО (GCP)

ID	X	Y	Z
a1	619776.62	5508574.70	459.39
a2	621480.81	5500101.81	520.95
a3	608709.31	5504135.16	470.20
a4	606049.00	5494768.00	517.72
a5	623977.21	5492412.98	631.11
a6	615859.01	5514150.07	401,01
a7	632359.86	5513732.86	678.09

Далее импортированные точки необходимо вручную определить на космических снимках (так как используется стереопара со 100% перекрытием - все точки должны быть определены на обоих снимках) и указать при помощи соответствующего инструмента (рисунок 4.10, 4.11), это позволит определить среднюю плоскость на зону интереса, устранить общую ошибку смещения блока относительно реальных координат на местности и в результате является основой для получения абсолютной геопривязки.

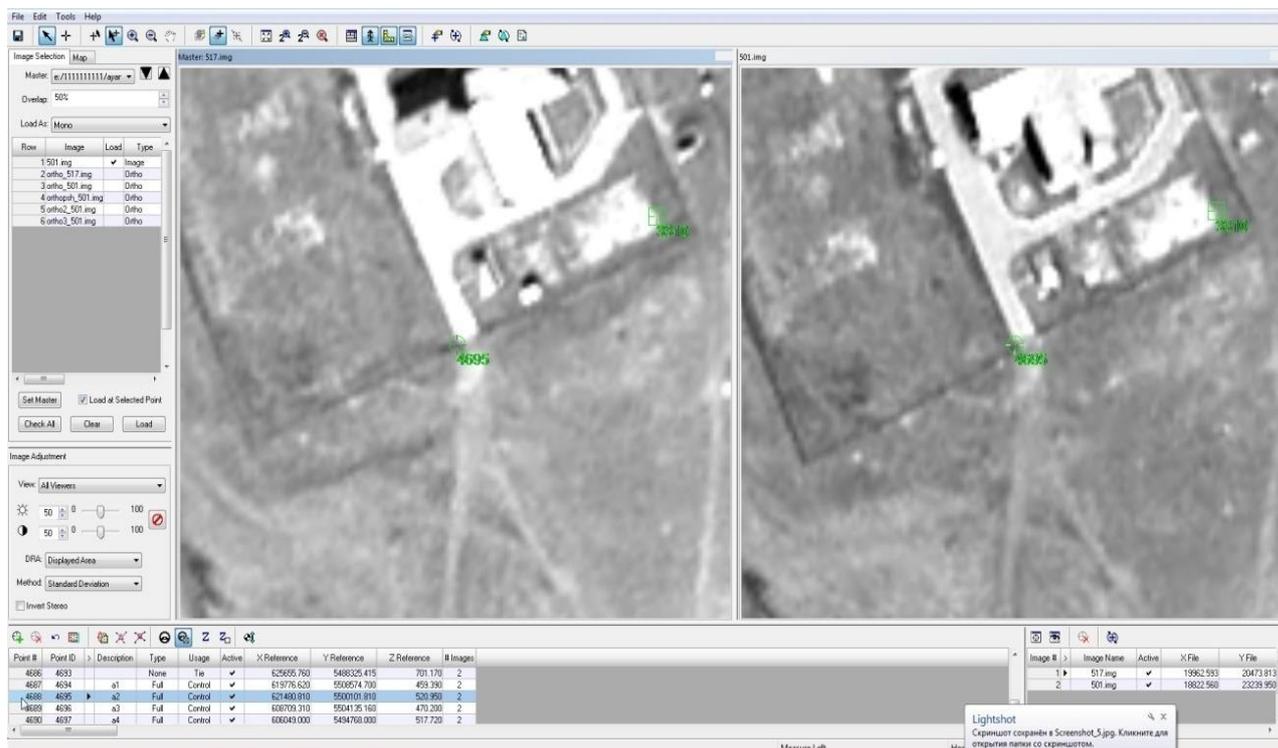


Рисунок 4.10 - Определение опорных точек на снимке

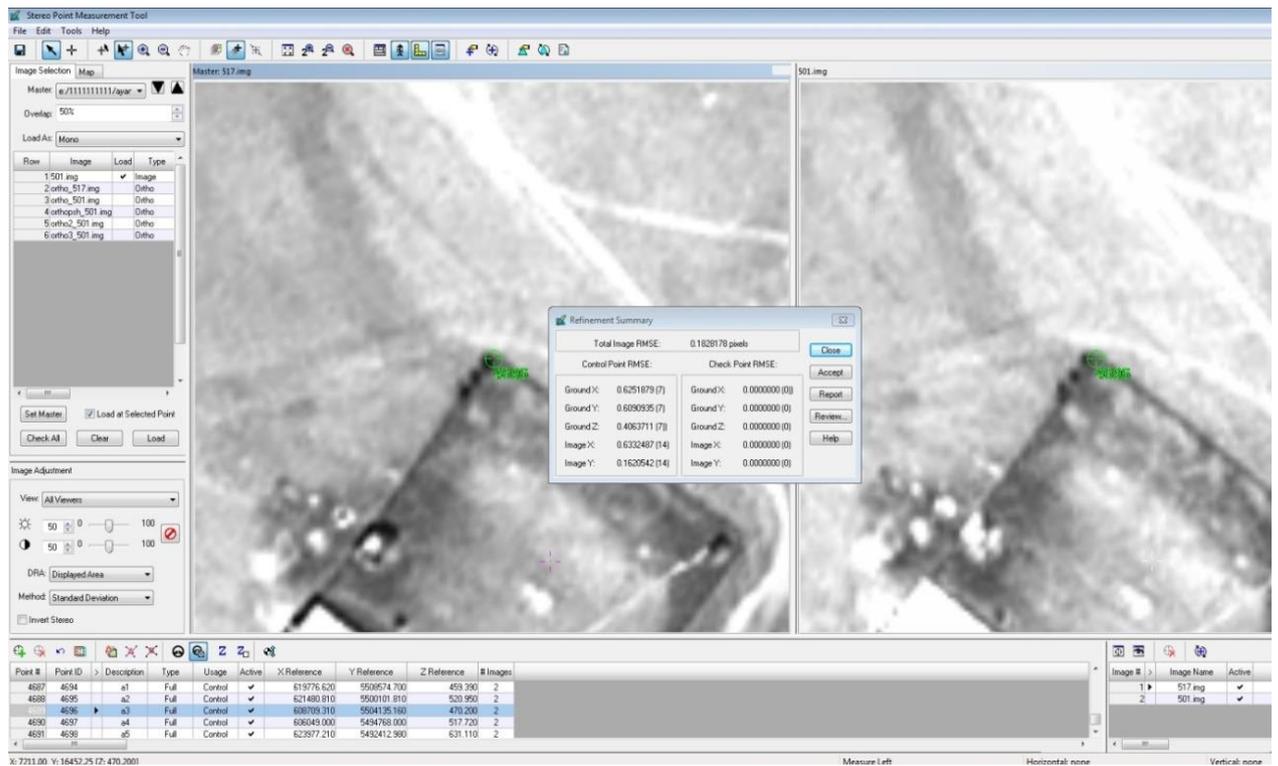


Рисунок 4.11 – Уравнивание блока, вычисление среднеквадратической ошибки

Далее запускается автоматическое генерирование связующих точек с предварительными настройками, таких как плотность и тип создаваемых точек (рисунок 4.12).

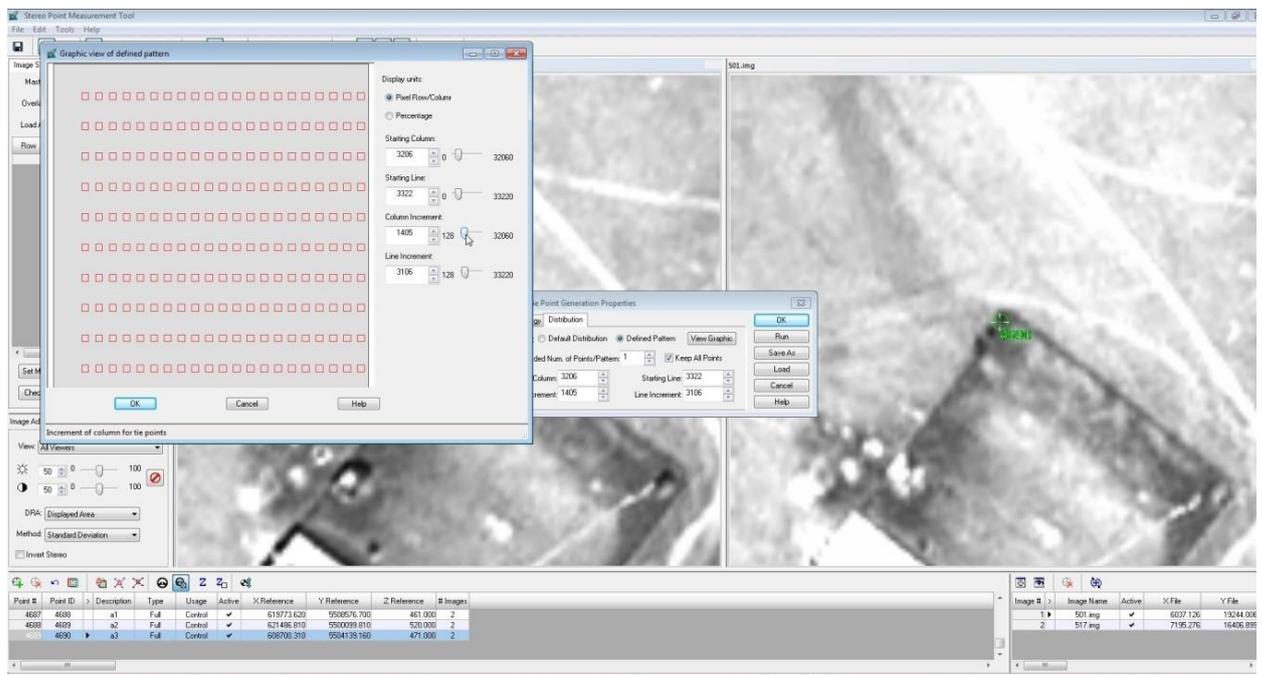


Рисунок 4.12 – Настройка и запуск автоматического генерирования связующих точек

По результатам работ будет получено облако точек, которые необходимо проконтролировать и при необходимости фильтровать по корректности (рисунок 4.13, 4.14).

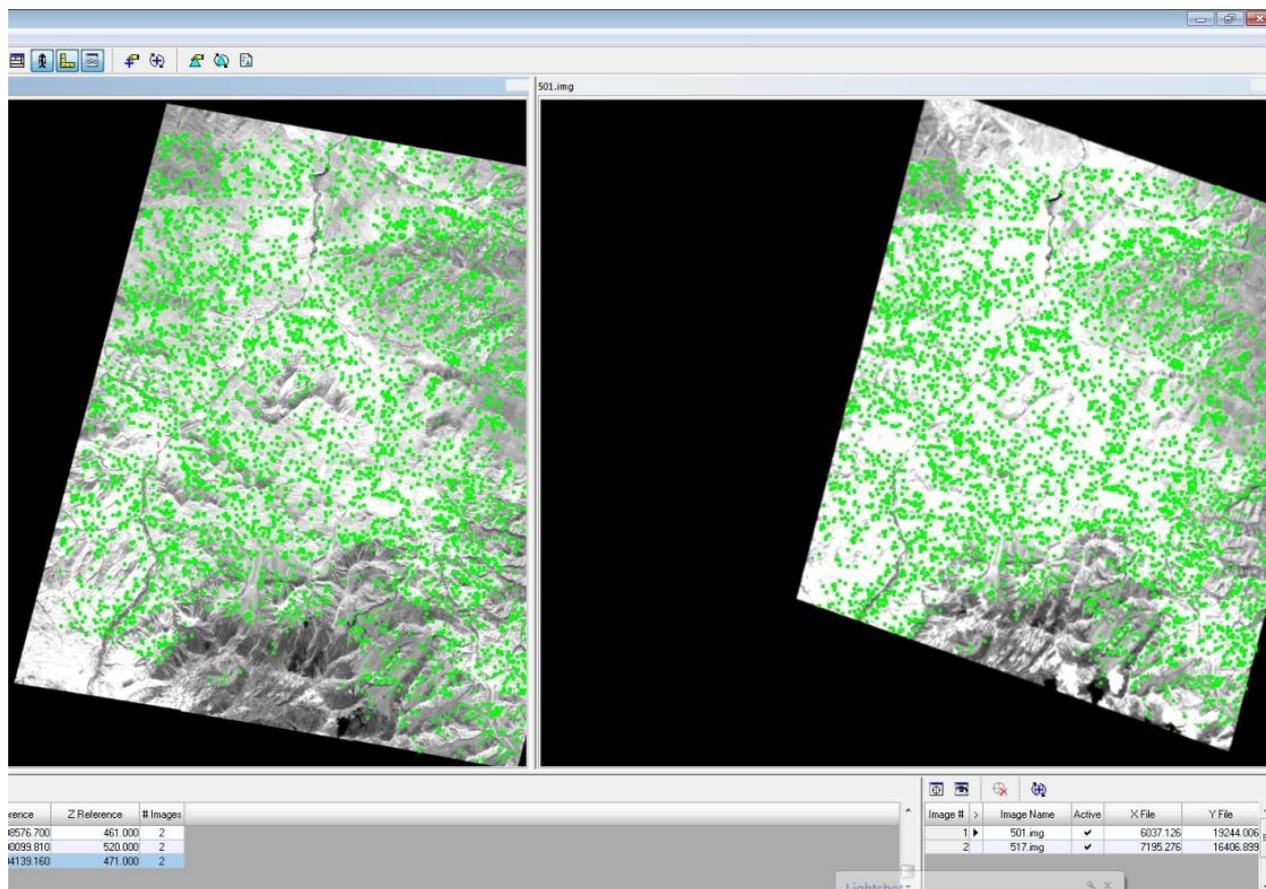


Рисунок 4.13 – Полученное облако точек путем автоматического генерирования

По результатам внешнего ориентирования выводится таблица распределения невязок на опорных и контрольных точках. Далее выбираются и корректируются точки с погрешностями, превышающими допустимые значения. После запускается уравнивание триангуляции. Данная итерация повторяется до тех пор, пока значения погрешностей точек будут соответствовать допустимым значениям. Результаты уравнивания должны удовлетворять требованиям инструкции по фотограмметрическим работам при создании цифровых карт и планов [11]. В соответствии с требованиями СКО (средняя квадратическая ошибка) в плане не должна превышать на опорных точках  $1/3$  сечения пикселя, а на контрольных точках погрешность координат 2-3 пикселя.

Row #	Point ID	Image ID	Active	X	Y	Rx	Ry	Total RMSE
1	8	1	✓	7420.736	1696.380	-0.312	-0.075	0.321
2	9	1	✓	7497.081	1802.225	-0.464	-0.112	0.478
3	10	1	✓	7276.907	1856.833	-0.433	-0.104	0.445
4	11	1	✓	7557.367	2011.247	-0.350	-0.084	0.360
5	12	1	✓	7807.411	1580.074	-0.470	-0.113	0.483
6	13	1	✓	8111.008	1739.455	-0.392	-0.095	0.404
7	14	1	✓	7730.140	1858.168	-0.377	-0.091	0.388
8	15	1	✓	7841.724	1872.539	-0.345	-0.083	0.355
9	16	1	✓	7808.145	1922.889	-0.345	-0.083	0.355
10	17	1	✓	8383.727	1551.292	-0.335	-0.081	0.344
11	18	1	✓	8595.688	1574.063	-0.461	-0.111	0.475
12	19	1	✓	8549.530	1600.173	-0.345	-0.083	0.355
13	20	1	✓	8251.185	1699.476	-0.368	-0.089	0.378
14	21	1	✓	8308.158	1955.108	-0.413	-0.099	0.424
15	22	1	✓	8933.753	1892.831	-0.373	-0.090	0.383
16	23	1	✓	9633.260	1617.999	-0.420	-0.101	0.432
17	24	1	✓	9529.235	1650.239	-0.385	-0.093	0.396
18	25	1	✓	9252.338	1916.490	-0.319	-0.077	0.328
19	26	1	✓	11658.656	1819.798	-0.292	-0.070	0.301
20	27	1	✓	12675.866	1839.986	-0.275	-0.066	0.283
21	28	1	✓	12977.579	1616.177	-0.239	-0.058	0.246
22	29	1	✓	14078.710	1866.240	-0.230	-0.056	0.237
23	30	1	✓	14108.850	1922.280	-0.176	-0.042	0.181
24	31	1	✓	14698.406	1626.887	-0.183	-0.044	0.188
25	32	1	✓	15573.141	2042.700	-0.167	-0.040	0.172
26	33	1	✓	16610.293	1745.708	-0.069	-0.017	0.071
27	34	1	✓	16879.189	1876.105	-0.195	-0.037	0.160
28	35	1	✓	16665.857	1910.628	-0.112	-0.027	0.115
29	36	1	✓	17279.010	1940.532	-0.028	-0.007	0.029
30	37	1	✓	17681.646	1948.174	-0.146	-0.035	0.150
31	38	1	✓	17845.229	1943.257	-0.045	-0.011	0.046
32	39	1	✓	18153.348	1951.463	-0.018	-0.004	0.019
33	40	1	✓	7283.672	2110.152	-0.334	-0.080	0.343
34	41	1	✓	7638.155	2313.403	-0.270	-0.065	0.278
35	42	1	✓	7485.304	2396.333	-0.354	-0.085	0.365
36	43	1	✓	7753.316	2307.400	-0.297	-0.072	0.305
37	44	1	✓	8485.923	2076.131	-0.271	-0.065	0.279
38	45	1	✓	8531.126	2192.923	-0.311	-0.075	0.320
39	46	1	✓	8627.384	2232.043	-0.098	-0.024	0.101
40	47	1	✓	9184.801	2207.567	-0.224	-0.054	0.231
41	48	1	✓	9090.573	2433.216	-0.245	-0.059	0.252
42	49	1	✓	8965.783	2492.767	-0.253	-0.061	0.260
43	50	1	✓	9055.718	2508.116	-0.271	-0.065	0.279
44	51	1	✓	9689.972	2216.854	-0.233	-0.056	0.240
45	52	1	✓	9876.037	2392.007	-0.265	-0.064	0.273
46	53	1	✓	10232.679	2411.312	-0.228	-0.055	0.235
47	54	1	✓	10095.358	2526.358	-0.322	-0.078	0.331
48	55	1	✓	10401.950	2095.280	-0.397	-0.096	0.408
49	56	1	✓	11151.692	2464.080	-0.247	-0.060	0.254
50	57	1	✓	10800.646	2490.436	-0.260	-0.063	0.267
51	58	1	✓	11137.790	2512.599	-0.279	-0.067	0.287
52	59	1	✓	11741.854	2076.924	-0.185	-0.045	0.191
53	60	1	✓	11384.116	2155.010	-0.319	-0.077	0.328
54	61	1	✓	11442.923	2440.198	-0.313	-0.075	0.322
55	62	1	✓	11507.552	2590.698	-0.284	-0.068	0.292

Рисунок 4.14 – Просмотр и фильтрация по значениям СКО всех точек блока

Движения действительных марок учитываются, что позволяет измерять координаты и параллаксы точек стереопары.

Редактирование в ПО Erdas производится с помощью модуля TerrainEditor (рисунок 4.15), который имеет широкий спектр возможности отображения и изменения продукта высотными значениями, таких как (рисунок 4.16):

- инвертирование стереоэффекта;
- изменение гистограмм «на лету» при визуализации стереопар;
- стилизация и фильтрация вида отображения облака точек для удобства работы (в виде точек, триангуляционная аппроксимационная сеть, горизонтали, бергштрихи);
- редактирование одной или группы точек (смещение, сглаживание, удаление, выравнивание и т.д.).

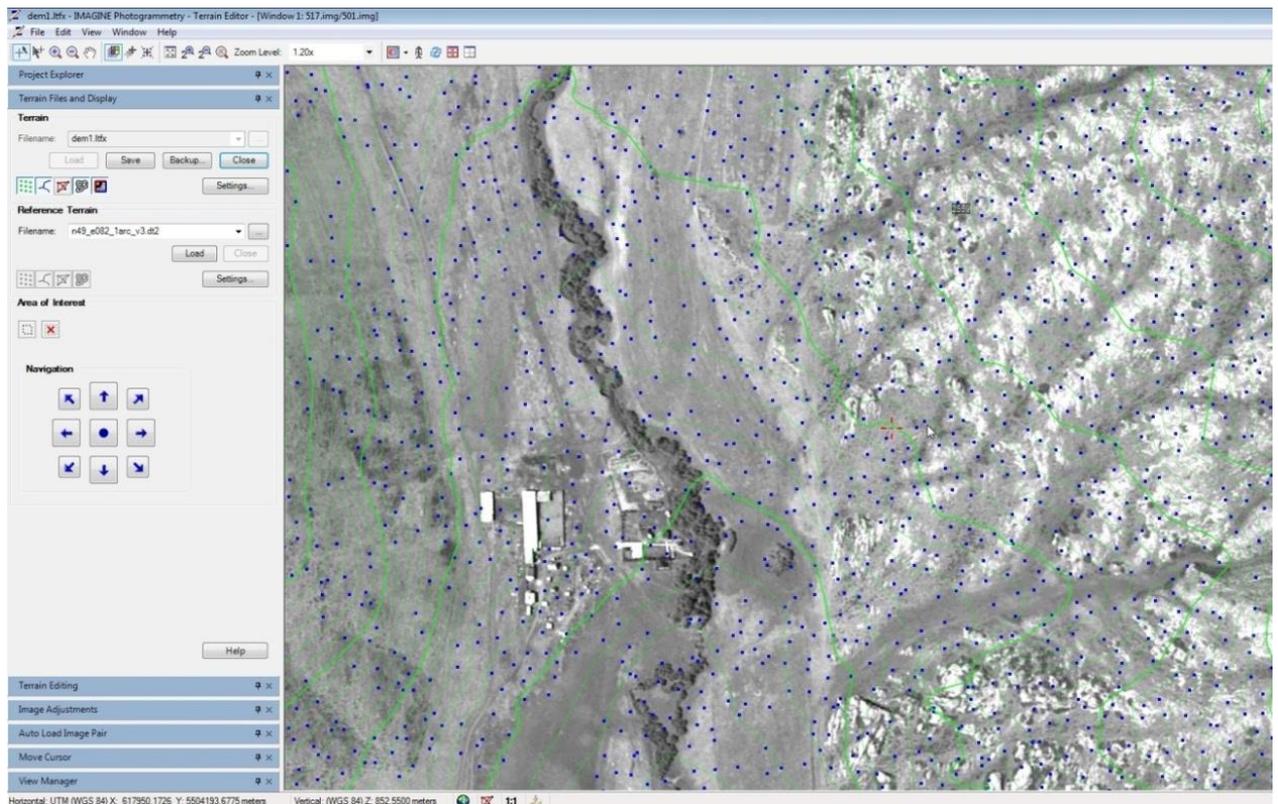


Рисунок 4.15 – Модуль редактирования ЦММ TerrainEditor

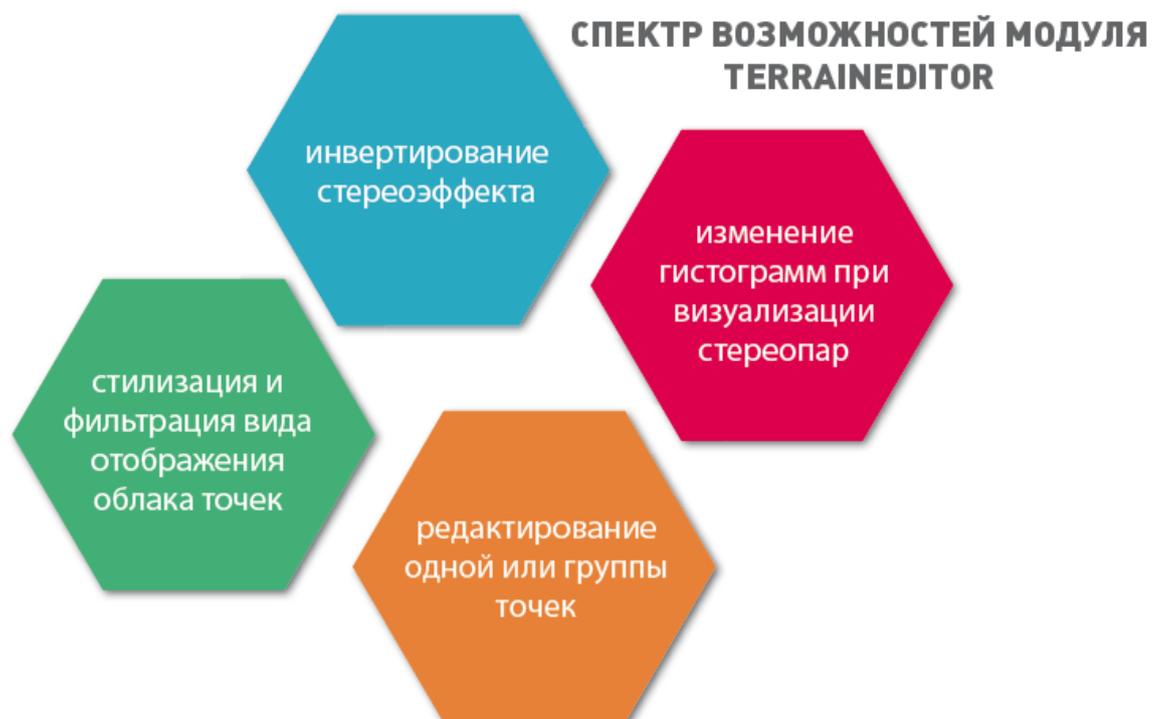


Рисунок 4.16- Спектр возможностей модуля TerrainEditor

После длительной и рутинной работы по редактированию точек «повисших в воздухе» и описывающих объекты не входящие в состав рельефа,

файл сохраняется и конвертируется в другие форматы удобные для решения последующих задач.

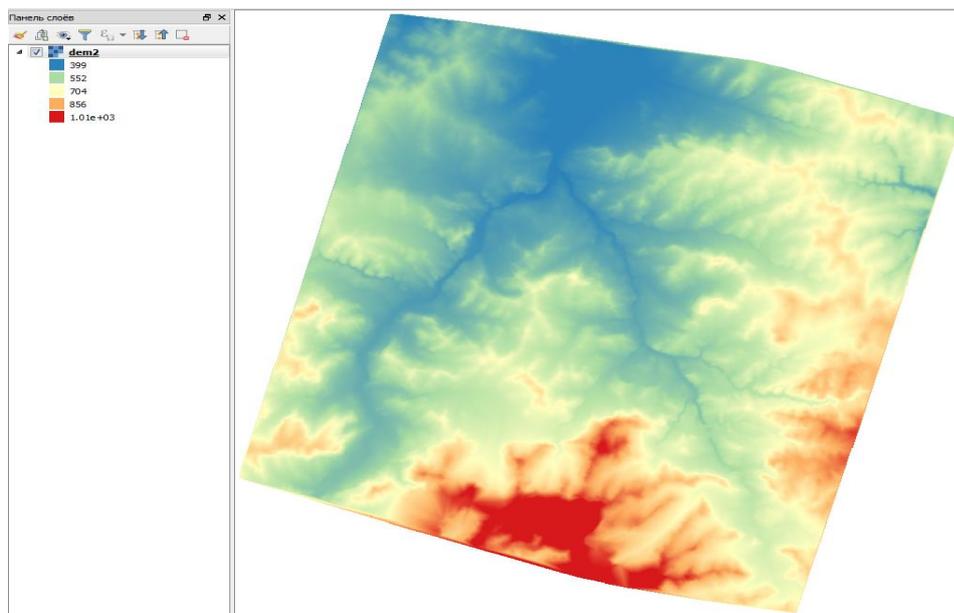


Рисунок 4.17 – Полученный ЦМР, высотные значения территории от 366 м до 1328 м в системе высот эллипсоид WGS-84

Соблюдение требований, ставящихся к изображениям, а также к технологии их фотограмметрической обработки на основе разновременных космических снимков высокого и сверхвысокого пространственного разрешения делает возможным формирование стереографических моделей, а значит и автоматизированного построения ЦМР.

#### **Построение ортофотопланов и 3D-моделей**

Сложность представления трехмерных объектов на картах, «трехмерного картографирования» исторически породила множество способов картографического изображения рельефа: система изолиний, отметки высот, совокупность точечных, линейных, площадных знаков, дополняющих изображение рельефа горизонталями (знаки оврагов, обрывов, сухих участков рек, скал, ледников и т.д.), но не всегда уточняющих его метрику [84].

По исходным материалам ДЗЗ с учетом ЦМП создается ортофотоплан - сшитая мозаика исходных изображений, скорректированных за рельеф и характеризующихся одинаковыми фотометрическими свойствами. Путем наложения ортофотоплана на ЦМР или ЦМП может быть создана 3D-модель. В отличие от традиционной карты, она создает объемное восприятие местности и характеризуется дополнительной глубиной пространства на плоскости. Помимо ЦМР или ЦМП, лежащих в основе 3D-модели, в нее могут быть включены трехмерные модели оцифрованных в стереорежиме антропогенных объектов, площадные и линейные объекты гидрографии, шоссейные и грунтовые дороги, элементы растительности. Все эти контуры

приобретают объем после автоматического опускания боковых граней до поверхности ЦМР (ЦМП) (рисунок 4.18).

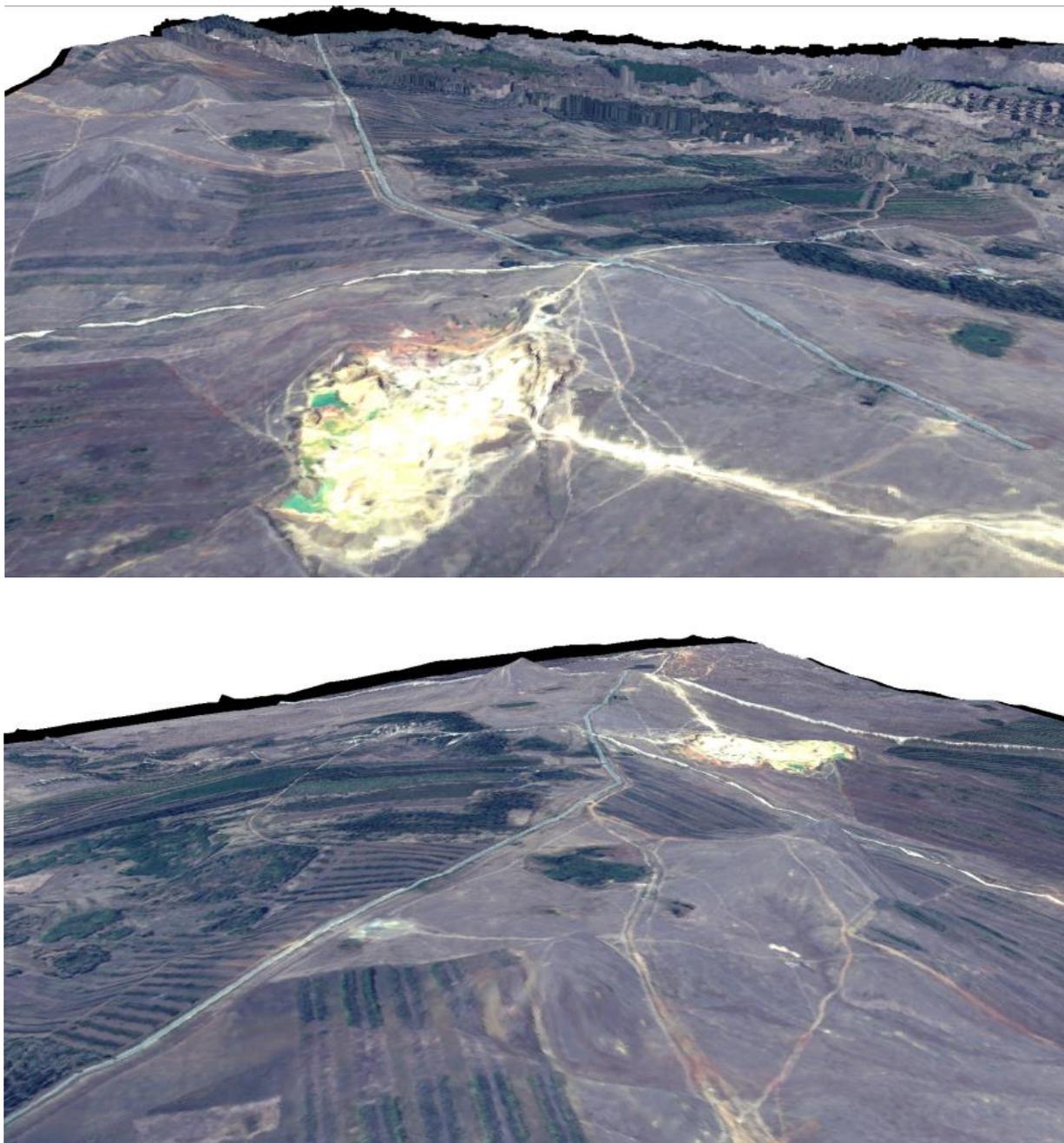


Рисунок 4.18 - Поверхности ЦМР лежащие в основе 3D-модели

#### **4.3 Общая схема методики**

Существующий метод геоинформационного картографирования базируется на использовании пространственных баз данных применяемых в ГИС для выполнения пространственного анализа и моделирования создания моделей местности в основном на классических примерах аэрофотосъемок и космических снимков. Основное внимание уделено критериям подбора материалов ДЗЗ, механизму обработки материалов полученных с помощью новейших технологий дистанционного зондирования, произведенных в разное время снимков изображений поверхности земли. основополагающий характер

действующей методики обусловил заметное проявление акцентов при ее изложении. Практические использования цифровых моделей явились вторичными по отношению к их свойствам, оценкам и визуализациям, методам их построения.

В связи с изложенным выше, представляется целесообразным внести в уже существующие методики совместного использования фотограмметрических и геоинформационных технологий ряд принципиальных уточнений и дополнений, которые позволят предложить комплексное решение и существенно автоматизировать процесс создания карт характеристик рельефа для решения различных географо-картографических задач [85].

Рекомендуемый метод геоинформационного картографирования с характерным рельефом рассматривают в комплексе: материалы зондирования и фотограмметрическую обработку как один из методов создания ЦМР наряду с топографической, лазерной съемками и оцифрованными топографическими картами.

Комплексность данного метода обусловлена разнообразием его составных частей. Это характер исследуемых рельефов, применяемые типы материалов ДЗЗ: классические аэрофотоснимки, материалы с беспилотных летательных аппаратов, классические и разновременные съемки с космических спутников, полевые съемки; критерии подбора снимков для решения географических и картографических задач: время съемок, пространственное разрешение, процент облачности; используемые средства с алгоритмом обработки материалов съемки - фотограмметрия, геоинформатика, а также создаваемые тематические карты.

Понятие «комплексное» в геоинформационном и фотограмметрическом моделировании рельефа является новым термином в картографии. В связи с этим необходимо уточнить решающие детали и моменты определяющие положительную сторону комплексности вопроса.

Во-первых, приводится усовершенствованная методика такого моделирования; во-вторых, сформулированы критерии подбора материалов дистанционного зондирования земной поверхности, зависящих от задач картографии; в-третьих, определены особенности фотограмметрического создания ЦМР как по данным традиционной воздушной и космической съемки, так и по данным съемки из космоса в разные временные периоды, съемки с беспилотных аппаратов и по данным полевых съемок в стерео режиме малоформатными цифровыми камерами и в-четвертых, изложены основные критерии обработки геоинформационных материалов ЦМР по наземным топографическим съемкам.

С целью получения высокоточных результатов исследований пользуются наземными современными приборами измерений обеспечивающих миллиметровую точность. Технический прогресс в создании измерительных приборов активно продвигается к автоматизации и роботизации создаваемого инструментария при условии повышения требований к их точности.

Необходимо отметить, что при рассматривании этих вопросов особое внимание уделяется классификации картографических задач и относящимся к рассматриваемой местности характеристикам рельефа, специфике геоинформационной модели.

В связи с изложенным выше, внесение в существующие методы совмещения фотограмметрии и геоинформатики несколько принципиальных решений дало положительный результат для автоматизации процесса создания карт и характеристик рельефа более точно и реалистично показывающих поверхность земли (рисунок 4.19).



Рисунок 4.19 - Схема комплексного применения геоинформационных и фотограмметрических методов при создании тематических карт местности

Усовершенствование методов обработки фотограмметрических данных ДЗЗ и геоинформационного создания ЦМР позволило улучшить традиционные технологии геоинформационного картографирования при моделировании рельефа для решения различных задач.

#### 4.4 Практическое применение методики геоинформационного картографирования

Предлагаемая методика успешно внедрена в производство при обновлении карты территории столицы Республики Казахстан города Астаны как объекта практического применения способа оценки морфометрических элементов

топографической основы местности со сложным рельефом. Вместе с тем необходимо отметить, что на территории города Астаны и прилегающих районов Акмолинской области редко встречаются ландшафты со сложным рельефом. Данный земельный массив был выбран как уникальный объект, активно подвергшийся за сравнительно короткий промежуток времени антропогенным факторам на окружающую среду и рельеф местности.

Основной целью данного исследования, является изучение воздействия жизнедеятельности человеческого общества на изначальный рельеф местности с практически равнинным ландшафтом. Часть территории города была активно освоена за небольшой период времени в неполных три десятилетия и увеличилась с 30000 гектар 1997 года до 75000 гектар в 2005 году. Население за этот период времени выросло в два раза. При численности населения страны в 16 миллионов человек, в городе Астане количество жителей в 2017 году достигла одного миллиона.

Сравнительно небольшая территория была активно застроена уникальными объектами передовой технологии. За строительством новой столицы молодого государства следил весь мир. Отечественным спутником KazEOSat-1, французским спутником Airbus и другими аппаратами государств мира производилась постоянная космическая съемка.

В 2008 году РГКП «Астана топография» произвела аэрофотосъемку города Астаны, материалы которой использованы в данной работе. РГКП Казгеодезия в 2017 году с целью обновления картографического материала территории города Астаны произвело аэрофотосъемку территории города фотоаппаратом ADS-40. Расшифровка данных, и обработка материалов воздушной съемки находится на стадии завершения. В связи с чем, с целью совершенствования методов создания карт территорий, что является основной задачей предприятия Сыздыковой Г.Д. предложено совместно с РГКП «Казгеодезия» продолжить исследовательские работы в данном направлении.

Предложенная методика диссертационного исследования предусматривает сравнительный анализ материалов дистанционного зондирования земли с космических и воздушных аппаратов, а также материалов наземной топографической съёмки высокоточными приборами GPS и тахеометрами с анализом оценки морфометрических элементов топографической основы территории города Астаны, который при сравнении с материалами дистанционного зондирования той же территории дает возможность определения погрешностей дистанционной съемки. Тем самым материалы трех уровней съемок взаимно нивелируют и уточняют и главное дополняют результаты инженерно-исследовательских работ. Так, при анализе оценки морфометрических элементов топографической основы наземной съемки произведенной высокоточными приборами нескольких объектов со сложным рельефом выясняется, что производство съемки зачастую усложнено физической недоступностью необходимых точек характерных для данного рельефа. Этот неудобный момент компенсируется материалами дистанционного воздушного и космического зондирования, которые в свою

очередь являются иногда единственными источниками данных о рельефе местности.

Так, по результатам исследования за 20 лет активного строительства неузнаваемо изменилась картина территории города, осушено заболоченных земель площадью свыше 35000 гектар, строится пятая очередь реконструкции русла реки Есиль делающая ее судоходной, построено пять водорегулирующих дамб, расширяется и углубляется русло реки Сарыбулак, высажено 75000 гектар деревьев различных пород. Подобные структуроизменяющие ландшафт местности искусственные мероприятия сильно влияют на природный первоначальный рельеф территорий. Научные работы по изучению рельефа местности подвергающегося активному воздействию человека должны обрести статус мероприятий государственного значения с целью контроля за изменениями окружающей среды. Комплексный метод съемки территорий станет существенным фактором в развитии картографии и геодезии как одной из отраслей экономики государства.

Цифровые модели рельефа (ЦМР) получили широкое применение в последние два десятилетия и используются в основном, для описания топографической поверхности и модельных соотношений между различными компонентами ландшафта. ЦМР– могут быть созданы несколькими способами, к ним относятся методы активной и пассивной сенсорной съемки с последующей фотограмметрической обработкой.

Какой бы метод не использовался, для оценки ЦМР всегда будут затронуты несколько источников ошибок (выборка, измерение, интерполяция и т. д.). Ошибка может быть определена как отклонение между измерениями, сделанными при полевой съемке в указанном месте, и соответствующая оценка ЦМР. Поскольку исходные данные ЦМР и методы производства не идеальны последующее несоответствие будет происходить между наблюдениями за значениями высот.

Эти несоответствия могут быть измерены в контрольных или калибровочных точках высот определяемых с использованием устройств измерения высокой точности, таких как устройство GPS или лазерное оборудование. Тогда локальная точность может быть определена в любом месте в пределах поля трехмерной модели и обычно измеряется как функция координат (X,Y,Z) в пределах области исследования. Традиционно ошибки ЦМР составляются в сводную статистику, используя одно значение, такое как среднеквадратичная ошибка (СКО), которая определяет среднее отклонение между наземным наблюдением и значением ЦМР на заданных контрольных точках. Однако такие статистические данные являются глобальными мерами точности ЦМР и являются не относящимися к конкретному местоположению. Поэтому пользователь должен предположить, что коэффициенты ошибок являются одинаково везде, от самых высоких подрайонов до самых плоских. Более того, они не могут дать любые признаки того, где ошибки ЦМР более вероятны. Такая ситуация возникает из-за необходимости применения дискретных методов статистического анализа, при этом разброс ошибки

разносится по всему полю модели. В связи с этим, методы статистического анализа отклонений требуют наличия возможности редактирования ЦМР, так как наличие возможности исключения наиболее ошибочных пикетов из общего числа исчисляемых точек измерений повышают вероятность максимального правдоподобия полученной модели. На сегодняшний день, существуют три основных метода редактирования ЦМР, в первую очередь это редактирование в режиме анаглифа, второй метод редактирование в стереорежиме методом прямого сопряжения стереопар и наконец третий способ относительно новый, он основывается на редактировании облака точек и в основном применяется для лазерных съемок. Кроме этого, существуют методы радарных съемок, однако методы редактирования радарных данных не являются фотограмметрическими [86].

К примеру, затраты на создание ортофотоплана г. Астана (масштаб 1:2000, площадь 750 кв. км.) существующим методом создания планово-картографических материалов составляет  $Z_1 = 22\,000\,000$  тенге. Себестоимость создания 1 кв. км. ортофотоплана составляет 29 333 тенге.

При применении предлагаемого комплексного метода геоинформационного картографирования, предполагается проведение анализа материалов трех уровней съемок, уточнение результатов инженерно-исследовательских работ и широкое использование материалов дистанционного, воздушного и космического зондирования для компенсации наземных съемок при отсутствии доступа или достаточности качества материалов ДЗЗ. Это существенно снижает затраты труда и сроки производства, что в итоге приводит к снижению себестоимости работ. По предварительной оценке себестоимость снизится на 30% и составит 20 533 тенге на 1 кв. км. Затраты на создание ортофотоплана г. Астана методом комплексного геоинформационного картографирования составят:

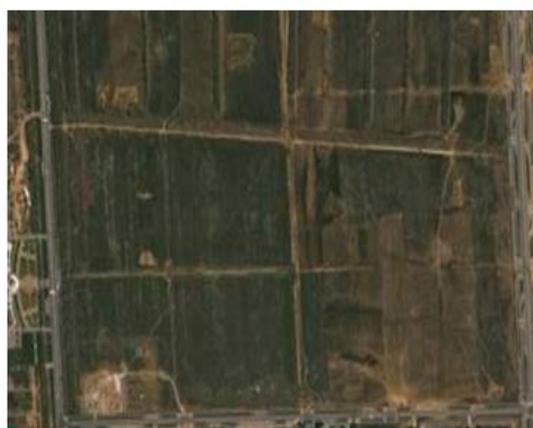
$$Z_2 = 20\,533 \times 750 \text{ кв. км.} = 15\,399\,750 \text{ тенге}$$

В итоге общий экономический эффект создания ортофотоплана г. Астана комплексным методом составит:

$$\Delta = Z_1 - Z_2 = 22\,000\,000 - 15\,399\,750 = 6\,600\,250 \text{ тенге.}$$

Исходя из вышесказанного, в диссертации были применены методы смежного анализа по контрольным точкам.

В качестве области исследования были выбраны стереопары на территорию города Астана, в части интенсивной застройки, район - ЭКСПО (рисунок 4. 20, 4.21).



2013



2014



Рисунок 4.20 - Архивные снимки территории Экспо, города Астаны



Рисунок 4.21 - Использованные стереопары для анализа ЦМР фрагмента г.Астаны 2015 г.

Результаты статистического анализа на основе автоматического подсчета среднеквадратического разброса значений пикетов в ПО ErdasImagine

показывают средний показатель 15 метров по плановым координатам и 17 метров по высоте. Методы применения контрольных точек позволяют повысить планово-высотные значения стереопар до 3 метров в плане и 5 метров по высоте.

Дальнейшие операции по статистическому улучшению планово-высотных параметров ЦМР не принесли значимых результатов.

Далее, для корреляции планово-высотных значений ЦМР полученного методом фотограмметрической обработки с данными полевых измерений были использованы планово-высотные значения топографической съемки данной территории в масштабе М 1 : 2000 со сгущением высотных значений через каждые 15-20 метров в плане.

Результаты полученные методом полевых – GPS съемок позволили получить ЦМР с планово-высотными отклонениями 10 см в плане и 12 см по высоте.

В результате разница между фотограмметрическим методом ЦМР и полевыми методами измерения составили в среднем один порядок.

#### **4.5 Выводы по разделу**

В результате практического применения вышеописанного метода, достигаются следующие показатели эффективности:

- повышается точность и детальность материалов геоинформационного картографирования;
- снижается общее время и трудоемкость создания и обновления планово-топографических материалов;
- существенно сокращается себестоимость производства материалов геоинформационного картографирования.

Таким образом, комплексный метод геоинформационного картографирования позволяет снизить расходы на производство материалов геоинформационного картографирования от 30 до 50 % в зависимости от типа создаваемого планово-топографического материала и сложности рельефа.

Также прогнозируется последующий мультипликативный экономический эффект. Снижение затрат на создание планово-картографических материалов сократит общие затраты на проектирование объектов архитектуры, инженерно-транспортной инфраструктуры и т.д., а также обеспечит пользователей пространственных данных информацией с высокой степенью актуализации и точности.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Выполненные научные разработки, являются завершенными и обеспечивают полноту и достоверность результатов решения, поставленных задач по теме диссертации.

1. Разработана новая методика определения высоты сечения рельефа, позволяющая дифференциацию ее размеров по дискретно выделяемым участкам земной поверхности, чем обеспечиваются точность и оптимальность параметров топографических карт и планов. Методика содержит аналитические оценки определения дифференцированных размеров высоты сечения рельефа, структурообразующими исходными параметрами которых, являются главные естественные пространственно - статистические характеристики морфометрического поля земной поверхности; концепция использования модальной характеристики и амплитудной колеблемости размещения высот рельефа с учетом масштаба.

2. Наиболее распространенными точностными характеристиками достоверности результатов оценки высоты сечения рельефа, которые используются многими авторами исследования остаются показатели среднеквадратической погрешности, арифметического среднего, случайной погрешности, а также погрешности интерполирования, стандарт погрешности измерений, ошибки обобщения:

- установлено, основные требования к дифференциации размеров высота сечения;

- точность подсчета объема земляных работ и других проектно-изыскательских работ должна быть выше, чем точность в случаях использования принятых высот сечения;

- расстояние между горизонталями должно обеспечивать наглядность;

- высота сечения топографической функции должна соответствовать точностям исходных данных и заданным границам;

- в основу выбора сечения топографической поверхности должно быть положено требование соответствия степени изученности функции и точности изображения;

- для оценки величины высоты сечения не обязательно пользоваться только одной расчетной формулой и принимать равные ее размеры одной величиной.

3. Проведена сравнительная оценка рекомендуемой методики путем подсчета дифференцированных размеров сечения высоты рельефа и точности их определения по трем натурно - экспериментальным местностям различного масштаба и сложности, которые подтвердили:

- достоверность расчетных размеров высоты сечения рельефа дифференцированных по рекомендуемой методике для топографических планов масштабов 1:500, 1:1000, 1:2000, а также сопоставимость их с размерами высот сечения рельефа, установленных согласно инструкциям;

– повышение уровня точности, детальности, наглядности и удобства использования топографических карт и планов при применении дифференцированных размеров высоты сечения рельефа, определяемых по рекомендуемой методике.

Установлено, что точность топографических карт и планов, и аналогичных тематических геометрических графиков по разработанной методике обеспечиваются за счет использования дифференцированных размеров сечения рельефа путем проведения системы: в виде единого главного по модальной высоте, и как структурообразующие -по участкам морфометрического поля, вершинные высоты, которые ниже и выше модальной высоты.

4. При применении предлагаемого комплексного метода геоинформационного картографирования предполагается проведение анализа материалов трех уровней съемок, уточнение результатов инженерно-исследовательских работ и широкое использование материалов дистанционного воздушного и космического зондирования для компенсации наземных съемок при отсутствии доступа или достаточности качества материалов ДЗЗ. Это существенно снижает затраты труда и сроки производства, что в итоге приводит к снижению себестоимости работ.

5. Совершенствование методической основы создания ЦМР путем эффективного использования разных источников информации: аэрокосмической, наземной, картографической, позволяет повысить эффективность топографической продукции и решать возникающие проблемы в ряде смежных областей науки и техники, где используется информация о рельефе: при строительстве железных дорог, каналов, линий связи, при проектировании систем управления летательными аппаратами; поэтому необходимо для каждой отрасли разработать технические требования к определению масштаба, высоты сечения рельефа и точности топографических карт и планов.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

- 1 Николаев С.А. О закономерностях строения рельефа. Сборник статей по картографии. Вып. 7. М., Геодезиздат, 1954.
- 2 Протодяконов М.М. Числовые характеристики топографических условий местности, исчисление эксплуатационных расходов и приложение их к экономике. М., Транспечать, 1925.
- 3 Ченцов В.Н. Морфометрические показатели на геоморфологической карте мелкого масштаба. «Труды ин-та географии АН СССР», вып. 39, 1941.
- 4 Nordin C.F., Algert J.H. Spectral analysis of sand waves. J. Hydraul. Div. Proc. Amer Soc. Civ. Engrs, v. 92, (N 5, 1966)
- 5 Шарапов И.П. Функция распределения высот рельефа. Сб. статей «Рельеф Земли и математика» М., Мысль, 1967, с.72-79.
- 6 Неумывакин Ю.К. Обоснование точности топографических съемок для проектирования. М., Недра, 1976, 159 с.
- 7 Курманкожаев А., Оспанов С.Р. Квалиметрические основы современной картографии. Теория и методы. Монография. Алматы, КазНТУ, 2006г., с. 314.
- 8 Омиржанова Ж.Т. Вероятностно-статистическая оценка распределения регуляционных параметров в условиях сложнорельефной местности. Алматы, Вестник КазГАСА, №8, 2002г. с.140-145.
- 9 Сыздыкова Г.Д. Графоаналитические основы отображения изотопографических поверхностей земных участков и твердых ископаемых // EuropeanConferenceonInnovationsinTechnicalandNaturalScience. 7 th International scientific conference. – Austria; Vienna, 2015. - P.55-61.
- 10 Инструкция по фотограмметрическим работам при создании цифровых карт и планов. - М.: ЦНИИГАиК, 2002. – 49 с.
- 11 ГЕОДЕЗИЧЕСКИЕ, КАРТОГРАФИЧЕСКИЕ ИНСТРУКЦИИ, НОРМЫ И ПРАВИЛА. ГКИНП-02-033-79. Инструкция по топографической съемке в масштабах 1:5000, 1:2000, 1:1000 и 1:500.
- 12 Инструкция по созданию цифровых топографических планов масштабов 1:5 000, 1:2 000 по материалам цифровой аэросъемки; Приказ КУЗР №5-04/45 от 3 июля 2014 года.
- 13 Инструкция по топографической съемке в масштабах 1:5000, 1:2000, 1:1000, 1: 500 (на государственном и русском языках); Приказ №222-П от 15 декабря 2009 года.
- 14 Руководство по картографическим и картоиздательским работам. Часть 1 "Составление и подготовка к изданию топографических карт масштаба 1:25 000, 1:50 000, 1:100 000" (на государственном и русском языках); Приказ №222-П от 15 декабря 2009 года.
- 15 Основные положения по созданию и обновлению топографических карт масштабов 1:10 000, 1:25 000, 1:50 000, 1:100 000, 1:200 000, 1:500 000, 1:1 000 000 ГКИНП-08-003-07.
- 16 Нуржумин Е.К., Оспанов Б.С., Аукажиева Ж.М. Способы определения высоты сечения рельефа [Электронный ресурс] - Режим доступа:

[http://repository.enu.kz/bitstream/handle/123456789/5228/Nurzhumina\\_EK-sposobi%20opredelenie%20st-6%20.pdf?sequence=1](http://repository.enu.kz/bitstream/handle/123456789/5228/Nurzhumina_EK-sposobi%20opredelenie%20st-6%20.pdf?sequence=1)

17 Сыздыкова Г.Д. Учет погрешностей при оценке высоты сечения изопографической поверхности при геометрическом моделировании природного объекта. // Вестник КазНТУ. – 2015. - №4 (110). - С. 335-339.

18 Омиржанова Ж.Т. Совершенствование методологии выбора регуляционных параметров топографических планов сложнорельефной местности: дис. ... канд. техн. наук: 25.00.32.- Алматы: КазГАСА, 2004.- 118 с.

19 Сыздыкова Г.Д. Комплексная оценка способов оценки высоты сечения изопографических поверхностей по объектам георесурсов // Вестник КазНТУ. – 2015. - №4 (110). - С. 339-345

20 Сыздыкова Г.Д., Курманкожаев А. Section Height Determination Methods of the Iconographic Surface in a Complex Terrain Relief // International Journal of Environmental and Science Education. – Turkey, 2016. - Vol.11, issue 12. - P.5221-5236.

21 Сыздыкова Г.Д. Функция распределения морфометрического признака с учетом геометрических параметров расчленения рельефа // Вестник КазНТУ. - 2015. - №4 (110). - С. 70-74.

22 Сыздыкова Г.Д. Связи параметров статического распределения морфометрического признака и геометрических элементов расчленения рельефа // Austrian Journal of Technical and Natural Sciences. - Austria; Vienna, 2015. - P. 16-19

23 Линник Ю.В., Хусу Л.Ю. Некоторые соображения по поводу статистического анализа поверхностей шлифанного профиля. Взаимозаменяемость, точность и метод измерения в машиностроении. – М.: Машгиз, 1958. С.65-69.

24 Каморный В.М., Коцева А.И. Определение параметров и оценка точности и положения горизонталей при выполнении топографической съемки шельфа // Труды ЦНИИ геодезии, аэросъемки и картографии. 1981. № 277. С. Т22-28.

25 Дунин-Барковский И.В. 1964, Девдариани В.С. 1966, Неумывакин Ю.К. 1976.

26 Гудков В.М. Исследование изменчивости и распределения основных признаков полезных ископаемых: Автореф. докт. дис. М, 1979. 32 с.

27 Курманкожаев А., Байдаулетова Г. К., Бастаубаева Д. Ж., 2013 Казахский национальный технический университет имени К. И. Сатпаева, г. Алматы Особенности распространения морфометрических признаков рельефа в различных регионах Казахстана. - С. 35-34

28 Геоинформационное картографирование [Электронный ресурс] - Режим доступа: [https://studopedia.ru/18\\_29786\\_geoinformatsionnoe-kartografirovanie.html](https://studopedia.ru/18_29786_geoinformatsionnoe-kartografirovanie.html)

29 Основы и методы геоинформационного картографирования [Электронный ресурс] Режим доступа: [https://revolution.allbest.ru/geology/00549018\\_0.html#text](https://revolution.allbest.ru/geology/00549018_0.html#text)

- 30 Васмут, А. С. Автоматизация и математические методы в картосоставлении Текст. / А. С. Васмут, Л. М. Бугаевский, А. М. Портнов.- М.: Недра, 1991.- 390 с.
- 31 Коновалова, Н. В. Введение в ГИС Текст. / Н. В. Коновалова, Е. Г. Капралов.- Петрозаводск: Изд-во Петрозаводск. ГУ, 1995.- 147 с.
- 32 Кошкарёв, А.В. Понятия и термины геоинформатики и ее окружения Текст.: учебно-справ. пособие / А.В. Кошкарёв; РАН Ин-т географии. М.: ИГЕМ-РАН, 2000.-76 с.
- 33 Карпик, А. П. Методологические и технологические основы геоинформационного обеспечения территорий Текст.: монография / А. П. Карпик. Новосибирск, 2004. - 260 с.
- 34 Лисицкий, Д. В. Основные принципы цифрового картографирования местности Текст. / Д. В. Лисицкий.- М.: Недра, 1988.- 259 с.
- 35 Лисицкий, Д. В. Особенности геоинформационного картографирования Текст.: материалы конф. / Д. В. Лисицкий.- Иркутск, 2006.
- 36 Разработка технологии и исполнительная съёмка коридоров коммуникаций масштаба 1: 5000: отчет о НИР (заключит.)/ Сиб. гос. геодез. акад.; рук. В. А. Середович.; исполн.: В. А. Калюжин, - Новосибирск, 2003.- 130с.- № ГР 01 2002.16965.- Инв. № 022004.01079.
- 37 Основы геоинформатики Текст.: кн. 2 / под ред. В. С. Тикунова.-М.: Academia, 2004.- 480 с.
- 38 Халугин, Е. П. Цифровые карты Текст. / Е. И. Халугин, Е. А. Жалковский, Н. Д.Жданов.- М.: Недра, 1992.- 419 с.
- 39 Берлянт А.М. Б 49 Геоинформационное картографирование. М.: 1997. - 64 с.
- 40 Геоинформационное картографирование (ГК) [Электронный ресурс] - Режим доступа: <http://www.lomonosov-fund.ru/enc/ru/encyclopedia:0133948>
- 41 Тимонин С.А., Анискина Т.А., Пьянкова А.И. Возможности использования геоинформационных технологий в переписи населения в России// ArcReview. №4(67).-2013 г.- [https://www.esri-cis.ru/news/arcreview/detail.php?ID=11166&SECTION\\_ID=288&print=Y](https://www.esri-cis.ru/news/arcreview/detail.php?ID=11166&SECTION_ID=288&print=Y).
- 42 Holtzheimer P. An Introduction to GBF/DIME// Computers and Planning. P.145; Huxhold W.E. An Introduction to Urban GIS. New York: Oxford University Press, 1991. (Рус. пер. Обнинск, 1996).
- 43 Основные этапы развития геоинформатики и ГИС [Электронный ресурс] - Режим доступа: [https://studopedia.ru/3\\_104208\\_osnovnie-etapi-razvitiya-geoinformatiki-i-gis.html](https://studopedia.ru/3_104208_osnovnie-etapi-razvitiya-geoinformatiki-i-gis.html)
- 44 Догерти К. ГИС – лучшее решение для моделирования и отображения нашего мира //Геопрофи.-№ 6. 2005.- С.4-6.
- 45 Морфология рельефа, 2004], Хромых В.В., Хромых О.В. Цифровые модели рельефа: Учебное пособие. Томск: Изд-во «ТМЛ-Пресс», 2007, 164 с.
- 46 Основные черты развития ГИС в бывшем СССР [Электронный ресурс] - Режим доступа: <https://lektsii.org/6-23420.html>

- 47 Лисицкий Д.В., Кацко С.Ю. Назначение и особенности цифрового картографического изображения в геоинформационном картографировании//Интерэкспо Гео-Сибирь.-2005- [Электронный ресурс] - Режим доступа:<https://cyberleninka.ru/article/n/naznachenie-i-osobennosti-tsifrovogo-kartograficheskogo-izobrazheniya-v-geoinformatsionnom-kartografirovanii>
- 48 Ковин Р.В., Марков Н.Г. Геоинформационные системы: учебное пособие.- Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2008.-175 с.
- 49 Геоинформационное картографирование [Электронный ресурс] - Режим доступа:[http://yaneuch.ru/cat\\_15/geoinformacionnoe-kartografirovanie/104776.1599036.page3.html](http://yaneuch.ru/cat_15/geoinformacionnoe-kartografirovanie/104776.1599036.page3.html)
- 50 Луи-Александр Бертье [Электронный ресурс] - Режим доступа: <http://saygotakamori.livejournal.com/104355.html>
- 51 Лекции. «Геоинформационное картографирование» [Электронный ресурс] - Режим доступа: <http://docplayer.ru/27268394-Lekcii-geoinformacionnoe-kartografirovanie-8-semestr.html>
- 52 Дмитриев А.Н., Шитов А.В. Введение в геоинформационное картографирование. уч.-метод. пособие.- Горно-Алтайск,2001/ <http://e-lib.gasu.ru/eposobia/gis/>
- 53 Межеловский Н.В. Артамонов М.А., Гостев Н.П., Рихтер Д.Г. Использование материалов аэрокосмических съемок при геологических исследованиях: состояние и основные тенденции развития. М., ВИЕМС, 1987., Thomas G. Lane. ArcView GIS v 3.1. The Geografhic Information Sustem for Everyone. EnvironmentalSustemsResearchInstitute, Inc. 1998, p. 40.
- 54 Лисицкий Д.В. Общность и различие понятий “цифровая модель местности”, “цифровая карта” и “электронная карта” / Д.В. Лисицкий // Современные проблемы геодезии и оптики. III научно-техн. конф., 16-19 апреля 2001 года. Тезисы докл./ Новосибирск: СГГА, 2001. - С. 143-144.
- 55 Е.Г. Капралов, А.В. Кошкарёв, В.С. Тикунов и др.; Под ред. В.С. Тикунова. Основы геоинформатики: В 2 кн. Кн. 1: Учеб. пособие для студ. вузов - М.: Издательский центр “Академия”, 2004. - 352 с.
- 56 Геоинформатика: Учеб. для студ.вузов / Е.Г.Капралов, А.В.Кошкарёв, В.С.Тикунов и др.; Под ред. В.С.Тикунова. - М.: Издательский центр «Академия», 2005.- 480 с.
- 57 Кошкарёв А.В., Тикунов В.С. Геоинформатика/ Под.ред. Д.В.Лисицкого. - М.: «Картгеоцентр» - «Геодезиздат», 1993.-213 с.
- 58 Чандра А.М., Гош С.К. Дистанционное зондирование и географические информационные системы. Москва: Техносфера, 2008, - 312 с.
- 59 Что такое цифровые модели рельефа[Электронный ресурс] - Режим доступа:<http://desktop.arcgis.com/ru/arcmap/10.3/tools/spatial-analyst-toolbox/exploring-digital-elevation-models.htm>
- 60 Цифровая модель рельефа [Электронный ресурс] - Режим доступа: <http://www.gisa.ru/13555.html>

- 61 DeVantier B. A. and Feldman A. D. Review of GIS applications in hydrologic modeling// J. Water Resources Planning and Management (ASCE). - 1993. - Vol. 119, No. 2.-P. 246-261.
- 62 Meijerink A.M.J., de Brower H.A.M., Mannaerts CM., Valenzuela C Introduction to the use of Geographic Information Systems for practical hydrology, UNESCO-ITC publication, 1994, N 23,273 p.
- 63 Постнова И. С. Разработка ГИС- моделей рельефа для гидрологических расчетов. Дис. к.т.н. Барнаул, 2007. 141 с.
- 64 Хромых В.В., Хромых О.В. Цифровые модели рельефа: Учебное пособие. Томск: Изд-во «ТМЛ-Пресс», 2007, 164 с.
- 65 Новаковский Б.А., Прасолов С.В., Прасолова А.И. Цифровые модели рельефа реальных и абстрактных геополей. М.: Науч. мир, 2003. — 64 с.
- 66 Геоинформационное картографирование. Взаимодействие геоинформатики и картографии стало основой для формирования нового направления — геоинформационного картографирования [Электронный ресурс] - Режим доступа: [https://studopedia.su/18\\_25692\\_geoinformatsionnoe-kartografirovanie.html](https://studopedia.su/18_25692_geoinformatsionnoe-kartografirovanie.html)
- 67 Специализированные учебные геоинформационные системы [https://otherreferats.allbest.ru/programming/00636770\\_1.html](https://otherreferats.allbest.ru/programming/00636770_1.html)
- 68 Географические информационные системы [Электронный ресурс] - Режим доступа: <https://geographyofrussia.com/geograficheskie-informacionnyye-sistemy/>
- 69 Оперативное картографирование [Электронный ресурс] - Режим доступа: <https://megalektsii.ru/s152270t5.html>
- 70 Методика геоинформационного картографирования коммуникаций нефтегазового комплекса [Электронный ресурс] - Режим доступа: <http://niscu.ru/work/867334/Methodika-geoinformacionnogo-kartografirovaniya-kommunikacij>
- 71 Лурье И.К. Геоинформационное картографирование: методы геоинформатики и цифровой обработки космических снимков. – М.: КДУ, 2008. – 424 с.]
- 72 Устойчивое развитие территорий: теория ГИС и практический опыт. Материалы Международной конференции Белокуриха, Денпасар декабря 2011 г. [Электронный ресурс] - Режим доступа: <http://docplayer.ru/57590837-Ustoychivoe-razvitie-territoriy-teoriya-gis-i-prakticheskiy-opyt-materialy-mezhdunarodnoy-konferencii-belokuriha-denpasar-dekabrya-2011-g.html>
- 73 Сыздыкова Г.Д. Evaluation of extremely asymmetric types of distributions of geofeatures values // Geodesy and Cartography. – Lithuania, 2015.- Vol.41, issue 3. - P.131-136.
- 74 Барвит А.Ф. Разработка эффективной методики оценки среднего значения признака и интегральной сложности топографического массива: автореф. ... канд. техн. наук. - Алматы, 2010.- 135 с.

- 75 Сыздыкова Г.Д. Анализ результатов расчета методики оценки высоты сечения рельефа по районам Республики Казахстан // International Scientific and Practical Conference "WORLDSCIENCE". – Dubai:UAE, 2016. -P. 28-31
- 76 Черников В.Ф. О выборе масштаба съемки и высоты сечения рельефа при инженерно-строительных работах//Геодезия и картография.- 1974.N11. С.39-43
- 77 Видуев Н.Г., Полищук Ю.В. Сечение рельефа и масштаб топографической карт //Инженерная геодезия. – Киев: Будівельник. 1973. – Вып. 14. – С.131-137.
- 78 Сыздыкова Г.Д., Курманкожаев А., Ержанкызы А. Комплексная характеристика пространственной изменчивости высот рельефа // VIII Международная научно-практическая конференция "Проблемы и перспективы современной науки". - М., 2016. - №8. - С. 116-121.
- 79 Определение моды и медианы. [Электронный ресурс] - Режим доступа: <http://univer-nn.ru/zadachi-po-statistike-primeri/opredelenie-mody-i-mediany/>
- 80 Распределение Пирсона. [Электронный ресурс] - Режим доступа: <https://ru.wikipedia.org/wiki/>
- 81 Сыздыкова Г.Д. Развитие методов и технологий обработки данных дистанционного зондирования Земли в Республике Казахстан // Земельные ресурсы Казахстана. - 2014. - №4. - С. 29-31.
- 82 Farr T.G., Hensley S., Rodriguez E. et al. The shuttle radar topography mission // CEOS SAR Workshop. Toulouse 26-29 Oct. 1999. Noordwijk, 2000. P. 361-363
- 83 Nikolakopoulos, K. G.; Kamaratakis, E. K; Chrysoulakis, N.SRTMvsASTER elevationproducts. ComparisonfortworegionsinCrete, Greece. International Journal of Remote Sensing, 2006. Vol. 27
- 84 Сербенюк С.Н., Кошель С.М., Мусин О.Р., 1991
- 85 Пермяков Р.В. Комплексное геоинформационно - фотограмметрическое моделирование рельефа в целях картографирования: - дис. ... канд. геогр. наук. – Москва, 2017. - 36 с.
- 86 АО «НК «ҚазақстанҒарышСапары» — gharysh.kz. Фотограмметрия

## ПРИЛОЖЕНИЕ А

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ  
АУЫЛ ШАРУАШЫЛЫҒЫ МИНИСТРЛІГІ  
ЖЕР РЕСУРСТАРЫН БАСҚАРУ  
КОМИТЕТІ

Республикалық мемлекеттік  
қазыналық кәсіпорын  
«Казгеодезия»



МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА  
РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН  
КОМИТЕТ ПО УПРАВЛЕНИЮ  
ЗЕМЕЛЬНЫМИ РЕСУРСАМИ

Республиканское государственное  
казенное предприятие  
«Казгеодезия»

010000, Астана қ., Бөгенбай батыр даңғылы 3/3,  
тел.: +7 (7172) 31-97-01 факс: +7 (7172) 31-93-22  
e-mail: info@kazgeodeziya.kz, http://www.kazgeodeziya.kz

2017 ж. 26. 10

010000, г. Астана, пр. Бөгенбай батыра, 3/3  
тел.: +7 (7172) 31-97-01 факс: +7 (7172) 31-93-22  
e-mail: info@kazgeodeziya.kz, http://www.kazgeodeziya.kz

№ 1060

### Акт внедрения

в производство разработанной научной методики геоинформационного картографирования форм и типов рельефа с использованием материалов съемок и топографических планов различного масштаба по теме «Совершенствование способов оценки морфометрических элементов топографической основы местности со сложным рельефом» предложенной на основе диссертационного исследования докторанта Сыздыковой Г.Д.

Объектом для внедрения в производство разработанной научной методики Сыздыкова Г. предложила выбрать территорию столицы Республики Казахстан город Астану, как объект практического применения способа оценки морфометрических элементов топографической основы местности со сложным рельефом. Вместе с тем на территории города Астаны и прилегающих районов Акмолинской области редко встречаются ландшафты со сложным рельефом.

Основная цель данного исследования, предложенная Сыздыковой Г. является изучение антропогенного воздействия человека на рельеф местности с практически равнинным ландшафтом. Данный объект исследования был выбран как территория, подвергшаяся активному воздействию человека за небольшой период времени в неполных три десятилетия. Территория города в 30000 гектар с 1997 года увеличилась до 75000 гектар. Население за этот период времени выросло в два раза.

Сравнительно не большая территория была активно застроена объектами передовой инженерной мысли. За строительством новой столицы молодого государства следил весь мир. Отечественным спутником KazEOSat-1, французским спутником Airbus и другими аппаратами государств мира производилась постоянная космическая съемка.

В 2008 году РГКП «Астанатопография» произвела аэрофотосъемку города Астаны, материалы которой использованы в данной работе. РГКП Казгеодезия в 2017 году с целью обновления картографического материала территории города Астаны произвело аэросъемку территории города

000521

цифровой камерой ADS-40. Расшифровка данных, и обработка материалов воздушной съемки находится на стадии завершения. В связи с чем с целью совершенствования методов создания карт местностей, которое является основной задачей нашего предприятия Сыздыковой Г.Д. предложено совместно с РГКП Казгеодезия продолжить исследовательские работы в данном направлении.

Предложенная методика диссертационного исследования предусматривает сравнительный анализ материалов дистанционного зондирования земли с космических и воздушных аппаратов, а также материалов наземной топографической съемки высокоточными приборами GPS и тахеометрами. Для этого произведен анализ оценки морфометрических элементов топографической основы территории города Астаны, который при сравнении с материалами дистанционного зондирования той же территории дает возможность определения погрешностей наземной съемки. Тем самым материалы трех уровней съемок взаимно нивелируют и уточняют результаты инженерно-исследовательских работ. Так, при наземной топографической съемке высокоточными приборами с субсантиметровой точностью нескольких объектов со сложным рельефом производство анализа оценки морфометрических элементов топографической основы иногда усложнено физической недоступностью необходимых точек съемки характерных для данного рельефа. Этот неудобный момент компенсируется материалами дистанционного воздушного и космического зондирования, которые в свою очередь являются основным источником данных антропогенного воздействия человека на рельеф местности.

Так по результатам исследования за 20 лет активного строительства неузнаваемо изменилась картина территории города, осушено заболоченных земель площадью свыше 35000 гектар, строится пятая очередь реконструкции русла реки Есиль делающая ее судоходной, построено пять водорегулирующих дамб, расширяется и углубляется русло реки Сарыбулак, высажено 35000 гектар деревьев различных пород. Подобные структуроизменяющие ландшафт местности искусственные мероприятия сильно влияют на природный первоначальный рельеф территории города.

Учитывая вышесказанное считаем, что внедрение в производственный процесс научного метода исследований рельефа местности особенно активно осваиваемых человеком, предложенного Сыздыковой Г.Д., является нужным методом исследования для развития картографии и геодезии как отрасли экономики государства.

**Заместитель генерального директора  
-главный инженер**



**Койшубаева Р.А.**

## ПРИЛОЖЕНИЕ Б

«Утверждаю»

Первый заместитель

Председателя Правления

АО «КАТУ им. С. Сейфуллина»

 Абдыров А.М.



» октябрь 2017 год

### АКТ

**внедрения научно-исследовательской работы на  
тему: «Совершенствование способов оценки морфометрических  
элементов топографической основы местности со сложным рельефом»**

Настоящим актом подтверждается, что результаты научно-исследовательской работы «Совершенствование способов оценки морфометрических элементов топографической основы местности со сложным рельефом», выполненной Сыздыковой Г.Д. в рамках обучения докторантуры Phd, на кафедре «Маркшейдерское дело и геодезия» Казахского национального исследовательского технического университета им. К. Сатпаева, были внедрены в учебный процесс по дисциплине «Автоматизация топографо-геодезических работ» специальности 5В071100-«Геодезия и картография» для студентов третьего курса землеустроительного факультета Казахского национального университета имени Сакена Сейфуллина.

По данной теме из объема учебного процесса было проведено 100 часов лекционных и 40 часов практических занятий, по итогам которых проведен рубежный контроль полученных студентами знаний.

Декан землеустроительного факультета  Абельдина Р.К.

Заведующий кафедрой  
«Геодезия и картография»  Кусаинова Г.Д.

Преподаватель, доцент  Игильманов А.А.