

На правах рукописи



ПАНИДИ ЕВГЕНИЙ АЛЕКСАНДРОВИЧ
ОЦЕНКА МЕТРИЧЕСКИХ СВОЙСТВ КАРТОГРАФИЧЕСКИХ
ИЗОБРАЖЕНИЙ И КАРТОМЕТРИЯ СРЕДСТВАМИ ГИС

Специальность 25.00.35 – Геоинформатика

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Санкт-Петербург - 2012

Работа выполнена на кафедре картографии и геоинформатики федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Санкт-Петербургский государственный университет» (СПбГУ).

Научный руководитель:

кандидат географических наук
Щербаков Владимир Модестович

Официальные оппоненты:

Татарникова Татьяна Михайловна

доктор технических наук, доцент, профессор федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Российский государственный гидрометеорологический университет»;

Митько Арсений Валерьевич

кандидат технических наук, старший преподаватель федерального государственного военного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Военный учебно-научный центр Военно-Морского Флота «Военно-морская академия имени Адмирала Флота Советского Союза Н.Г. Кузнецова».

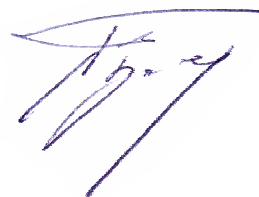
Ведущая организация – Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Санкт-Петербургский институт информатики и автоматизации Российской академии наук (СПИИРАН).

Защита диссертации состоится « 24 » мая 2012 года в часов минут на заседании диссертационного совета Д 212.197.03 при федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего профессионального образования «Российский государственный гидрометеорологический университет» по адресу: 195196, Санкт-Петербург, проспект Metallистов, дом 3, аудитория 102.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Российский государственный гидрометеорологический университет».

Автореферат разослан « » апреля 2012 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета Д 212.197.03
доктор технических наук, профессор



Бескид Павел Павлович

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследования. Широкое применение геоинформационных систем для обеспечения научных исследований связано, в том числе, с необходимостью проведения косвенных измерений на основе геоданных. Использование в ГИС различных геоизображений определяет необходимость применения, методов картометрии при определении метрических характеристик объектов, представленных на цифровых картографических материалах.

В картографии, разделом которой изначально является картометрия, для измерений по картам используются различные инструменты: циркули, курвиметры, планиметры. Подобные методы измерений детально описаны в литературе. Спектр применяемых в ГИС моделей геоданных очень широк, и не ограничен графическими моделями. Так цифровая карта в общем случае может быть обработана в аналитической форме без визуализации электронной карты на экране компьютера. Применение ГИС выводит картометрию на новый качественный уровень, характеризующийся расширением совокупности применяемых моделей и методов измерений, применением аналитических методов и средств взамен традиционных инструментов, а также возможностью использовать метрики, отличные от метрики плоского картографического изображения.

Это даёт возможность реализовать в ГИС средства для измерений в геодезическом координатном пространстве на поверхности эллипсоида вращения. Такой подход обладает очевидными преимуществами по сравнению с классическим, разработанным для плоских изображений в картографических проекциях. Использование эллипсоида позволяет исключить из измерений искажения проекций. Кроме того, поверхность эллипсоида обладает присущими и земной поверхности свойствами непрерывности и кривизны. В связи с этим, геодезическая система координат является наиболее естественной и универсальной для хранения геоданных, в отличие от картографических проекций, поддержка которых в различных ГИС реализована с существенными различиями. Однако, в современных ГИС лишь в единичных случаях имеются отдельные средства, для измерений в геодезической системе координат, а в литературе не удаётся найти развёрнутого описания методики и алгоритмов, позволяющих производить такие измерения в комплексе, по единой схеме, используя различные модели данных.

Целью диссертационного исследования является разработка методики косвенной оценки метрических свойств географических объектов на поверхности эллипсоида вращения в геодезической системе координат, позволяющей исключить использование картографических проекций при измерениях.

Для достижения поставленной цели были решены следующие **задачи**:

1. Анализ существующих методов, применяемых для оценки метрических свойств географических объектов;
2. Выявление возможностей и ограничений существующих методов и алгоритмов оценки метрических свойств географических объектов по картографическим изображениям;
3. Разработка комплекса методов для оценки метрических свойств объектов цифрового картографического изображения в геодезической системе координат;

4. Составление методики, позволяющей производить косвенную оценку основных метрических свойств географических объектов по цифровым картографическим изображениям;

5. Апробация предложенных методов и методики в форме алгоритмов, реализованных в прикладных программных средствах ГИС.

Объектом исследования являются цифровые пространственные данные. **Предметом исследования** – метрические свойства географических объектов и явлений, которые могут быть оценены на основе цифровых пространственных данных путём косвенных измерений.

Методы и средства исследования. Методы картографии, высшей геодезии, геоинформатики, математического и математико-картографического моделирования, вычислительной математики. В целях репрезентативности исследования были изучены российские и зарубежные публикации, описывающие методы измерений по картографическим материалам и на поверхности эллипсоида вращения. Были проанализированы измерительные средства современных универсальных ГИС. Используются разработанные автором прикладные программные средства «Топографический калькулятор» и «Картометрия».

Состояние изученности проблемы. По результатам изучения литературы и картометрических средств, имеющихся в современных российских и зарубежных универсальных ГИС, данная научная проблема представляется мало разработанной. Отдельные инструменты, позволяющие проводить измерения на поверхности эллипсоида, существуют лишь в некоторых ГИС (ArcGIS, Quantum GIS) и обладают достаточно ограниченной функциональностью. В частности, в указанных ГИС имеются инструменты для проведения некоторых измерений в интерактивном режиме на экране компьютера, но отсутствует возможность автоматического определения аналогичных параметров для объектов, представленных в виде заранее созданного набора пространственных данных. При этом даже в таких ограниченных пределах конкретные методы реализации подобных измерений в литературе практически не рассматриваются. Большинство публикаций, посвящённых картометрическим методам, упоминают классические методы инструментальных измерений, изначально разработанные для бумажных карт (Волков, 1950; Маслов, 1955; Маловичко, 1958; Знаменщиков, 1963; Берлянт, 1978; Maling, 1989 и др.).

Научная новизна работы заключается в том, что впервые разработаны система методов, комплекс алгоритмов и методика, позволяющие производить картометрические изыскания на поверхности эллипсоида вращения в геодезической системе координат, без перехода к плоскости картографической проекции, с целью измерения и вычисления метрических свойств географических объектов, представленных в среде ГИС на цифровых картографических материалах.

На защиту выносятся следующие результаты:

1. Система методов оценки метрических свойств объектов цифрового картографического изображения, отличающихся возможностью производить измерения в геодезической системе координат на поверхности земного эллипсоида;

2. Методика косвенной оценки метрических свойств географических объектов по цифровым картографическим материалам, позволяющая комплексно

выполнять картометрические определения в ГИС в геодезической системе координат без использования картографических проекций;

3. Комплекс алгоритмов для оценки метрических свойств географических объектов реализованный в виде пакетов прикладных программных средств ГИС, дающих возможность выполнять автоматическое определение метрических свойств географических объектов по цифровым картографическим материалам.

Теоретическая значимость исследования заключается в том, что:

1. Предложено расширенное определение объекта исследования картометрии как моделей географического пространства, включающих в себя, в том числе, географические карты. Это обосновано внедрением компьютерных методов в картометрию и широким использованием различных методов косвенных измерений на основе цифровых моделей в ГИС;

2. Обосновано выполнение измерений в ГИС в геодезическом координатном пространстве, на непрерывной и лишённой геометрических искажений, присущих картографическим проекциям, поверхности эллипсоида;

3. Предложена методика оценки метрических свойств географических объектов по картографическому изображению в геодезической системе координат.

Практическая ценность результатов исследования определяется тем, что:

1. Разработанные методы доведены до состояния машинных алгоритмов и реализованы в виде прикладных программных средств;

2. Разработанные программные средства применены в производственной деятельности, научной работе и в учебном процессе;

3. Теоретические и методические выводы, полученные в рамках исследования, могут быть использованы для развития и совершенствования не только компьютерных методов картометрии, но и методов морфометрии и пространственного анализа с использованием ГИС.

Внедрение. Программные комплексы «Топографический калькулятор» и «Картометрия» использованы при решении производственных задач во ФГУНПП «Севморгео» и в ООО «Фирма «НИТА», при выполнении грантов РФФИ № 05-05-65317-а и 08-05-01037-а, а также при проведении занятий на кафедре картографии и геоинформатики СПбГУ, что подтверждается справками о внедрении.

Апробация работы выполнена в форме докладов на семинаре «Смирновские чтения» посвящённом памяти Л.Е. Смирнова (Санкт-Петербург, СПбГУ, 2008), и на международной конференции Европейского Союза по Геонаукам - «EGU General Assembly 2011» (Вена, Австрия, 2011). Также, отдельные результаты практического применения разработок представлены в рамках докладов по результатам выполнения гранта РФФИ № 08-05-01037-а на всероссийской научной конференции «Селиверстовские чтения» (Санкт-Петербург, 2009), международном симпозиуме «Экология арктических и приарктических территорий» (Архангельск, 2010), международной научной конференции «ESA Living Planet Symposium» (Берген, Норвегия, 2010), научно-практической конференции «Север, Арктика, природа, охрана окружающей среды в ГИС» (Санкт-Петербург, 2011).

Публикации. Содержание диссертации и некоторые примеры практического применения результатов исследования изложены в 11 публикациях, 3 из которых помещены в рекомендованных ВАК России журналах.

Объем и структура работы. Диссертация состоит из введения, трёх глав, заключения, и списка литературы. Содержит 146 страниц машинописного текста, 8 таблиц и 45 рисунков. Список литературы включает 119 наименований, в том числе иностранные публикации и Интернет-источники.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во **введении** обоснована актуальность темы, сформулирована научная проблема и выдвинут тезис о целесообразности проведения картометрических определений с использованием поверхности земного эллипсоида вместо плоскости картографической проекции, поставлена цель и определены задачи исследования.

В **первой главе** «**Современная практика применения методов классической и компьютерной картометрии**» предложено расширенное понимание картометрии как дисциплины, изучающей методы косвенного определения размеров, положения и ориентации объектов географического пространства на основе различных моделей этого пространства (аналоговых, цифровых, графических, математических и др.). Такое понимание необходимо, т.к. применяемые в современной науке вычислительные средства позволяют успешно реализовывать картометрические по сути процедуры на основе цифровых данных, не предполагая построения изображения. Также предлагается выделять три раздела в рамках картометрии: классическую (использующую аналоговые модели и ручные измерения), автоматизированную (применяющую средства автоматизации для работы с аналоговыми моделями, либо традиционные методы измерений при работе с цифровыми геоданными) и геоинформационную картометрию (использующую цифровые данные и приёмы, принятые в геоинформатике).

В главе также освещены примеры реализации картометрических функций в современном программном обеспечении ГИС: ArcGIS (www.esri.com), MapInfo (www.pbinsight.com), ГеоГраф ГИС (www.geocnt.geonet.ru), ГИС Карта (www.gisinfo.ru), Quantum GIS (www.qgis.org), SAGA (www.saga-gis.org).

В заключительной части главы указаны различия, возникающие при выполнении измерений на поверхности земного эллипсоида, на поверхности сферы и в плоскости картографической проекции, и обоснованы преимущества выполнения картометрических определений именно на поверхности эллипсоида.

Во **второй главе** «**Оценка метрических свойств цифровых картографических материалов и алгоритмизация картометрических определений**» изложены разработанные автором методы оценки метрических свойств объектов цифрового картографического изображения, представлены блок-схемы вычислительных алгоритмов и описана методика, позволяющая выполнять косвенные измерения, используя предлагаемые методы и алгоритмы.

Для **аппроксимации дуг на поверхности эллипсоида вращения**, вдоль которых производятся измерения, предложено применять универсальный метод аппроксимации моделируемого контура ломаной путём последовательных приближений, с контролем точности аппроксимации по разности длин ломаных, получаемых на каждой итерации. В работе предложено две реализации данного метода: для дуг геодезических линий и локсодромий на поверхности эллипсоида.

Для аппроксимации дуги геодезической линии предлагается выполнять известный из высшей геодезии метод нахождения промежуточных точек

геодезической линии (Закатов, 1976). Точки 1 и 2 на поверхности эллипсоида (Рис. 1), между которыми необходимо построить дугу, соединяются хордой. Из центра хорды к поверхности эллипсоида опускается нормаль. Точка пересечения, построенной нормали и поверхности эллипсоида 3 также будет лежать на дуге геодезической линии, соединяющей точки 1 и 2. Далее строятся хорды 1-3 и 3-2 и построения продолжают аналогично.

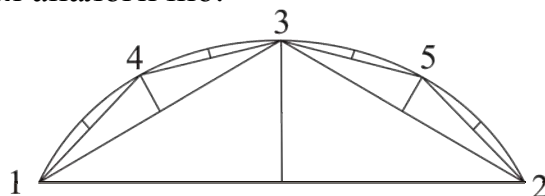


Рис.1 Схема построения дуги геодезической линии с помощью хорд

Алгоритм (Рис. 2), предложенный в работе для выполнения данного построения, дополнен этапом контроля точности аппроксимации. В качестве критерия точности принимается отклонение разности длин аппроксимирующих ломаных, получаемых на текущем и предыдущем шаге, от требуемой предельной абсолютной погрешности длины. Схожий алгоритм предложен для построения дуг локсодромий (Рис. 3), он предполагает построение в проекции Меркатора с последующим перепроецированием на поверхность эллипсоида.

Такой подход к представлению геодезических линий и локсодромий позволяет метрически корректно отображать в векторной форме объекты, описываемые или ограниченные данными линиями, в любой выбранной для электронной карты картографической проекции. В таблице 1 представлен пример аппроксимации.

Таблица 1

Аппроксимация геодезической линии в геодезической системе координат WGS-84

Номер шага аппроксимации	Число сегментов ломаной	Длина сегмента (м)	Вычисленная длина (м)	Абсолютная погрешность (м)
1	1	156895,59	156895,586	3,983
2	2	78449,66	156899,319	0,249
3	4	39224,88	156899,506	0,062
4	8	19612,44	156899,553	0,016
5	16	9806,22	156899,564	0,004
6	32	4903,11	156899,567	0,001
7	64	2451,56	156899,568	-

Из таблицы видно, что итерационный ряд достаточно быстро сходится, и уже на шестом шаге достигается точность аппроксимации длины не хуже 0,01 метра (с предельной абсолютной погрешностью 0,005 метра). При этом, при увеличении длины до 1965109 метров, т.е. почти в 10 раз, число итераций составляет 11.

Таким образом, предложенный метод обеспечивает не только выполнение картографического моделирования дуг на поверхности эллипсоида с использованием векторной модели данных, но и определение с контролируемой точностью длин этих дуг. При косвенном определении длин по карте, метод позволяет исключить проблему выбора картографической проекции, в любой из которых длины контуров в общем случае искажены.



Рис.2 Аппроксимация дуги геодезической линии

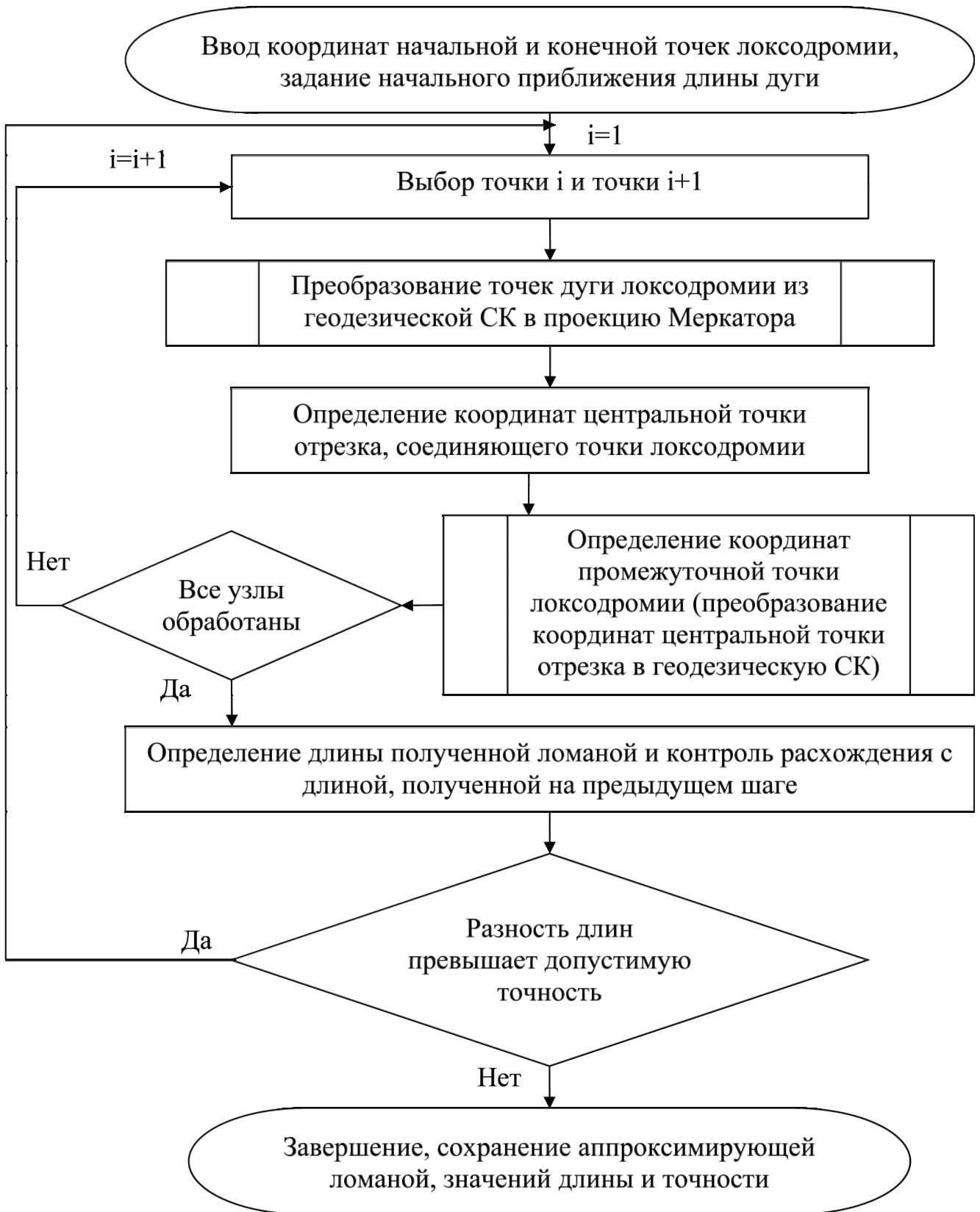


Рис.3 Аппроксимация дуги локсодромии

Оценка картометрических характеристик на поверхности эллипсоида вращения. Методы оценки метрических свойств объектов в ГИС необходимо рассматривать в совокупности с применяемыми моделями данных. В исследовании рассмотрены две наиболее распространённых в современных ГИС модели – векторная и растровая. При этом принимается, что геометрия объектов описывается геодезическими координатами – широтой, долготой и высотой, измеряемой вдоль нормали к поверхности эллипсоида.

Для определения координат объектов при использовании векторной модели, не требуется производить измерений и вычислений, так как объекты уже параметризованы координатами.

Определение длин и ориентирных углов. На поверхности эллипсоида кратчайшие расстояния между точками определяются вдоль дуг геодезических линий. Длина такой дуги выражается с помощью определённого интеграла:

$$D = a \int_{u_1}^{u_2} \frac{\cos u du}{V \sqrt{\cos^2 u - h^2}}, \quad (1)$$

где a - большая полуось эллипсоида, V - вспомогательная величина, h – постоянная геодезической линии, u – приведённые широты точек

Аналитическое определение длины кривой в данном случае достаточно трудоёмко, и в литературе, как правило, приводятся алгоритмы для исчисления геодезических линий только малой длины. Метод последовательных приближений, предложенный В.П. Морозовым (Морозов, 1969), позволяет вычислять длины геодезических линий произвольной длины и их ориентирные углы, но предполагает использование в вычислениях коэффициентов, определяемых путём разложения в ряд, что затрудняет строгую оценку точности вычислений и требует дополнительного анализа необходимого количества элементов в рядах. В связи с этим, предлагается для определения расстояний на поверхности эллипсоида использовать приведённый выше метод аппроксимации дуг геодезических линий, позволяющий наряду со значением длины получать и значение погрешности данного определения. Вместе с тем, метод Морозова может быть применён как альтернативный, но при условии уточнения вычислительных выражений, а также для определения азимутов на поверхности эллипсоида.

Определение длин извилистых линий. При определении длин извилистых линий предлагается использовать известный из литературы (Щербаков и др., 1988) метод аппроксимации извилистой линии ломаной линией с постоянным шагом. При этом, аппроксимация выполняется дважды, с разным шагом m_1 и m_2 . По двум измеренным длинам строится график зависимости длины D от величины шага ломаной m . Две точки, заданные координатами (D_1, m_1) и (D_2, m_2) , могут быть аппроксимированы параболой. Наиболее вероятное значение длины кривой определяют, вычисляя значение функции при нулевом аргументе. Проведение повторных измерений, позволяет оценить сходимость и точность измерения.

Определение площадей. Для определения площади сфероидического многоугольника, ограниченного дугами геодезических линий, в работе предложен метод, позволяющий искать указанную площадь как абсолютное значение алгебраической суммы площадей сфероидических четырёхугольников, каждый из

которых образован одной из сторон многоугольника, дугой экватора и двумя дугами меридианов, дополняющими фигуру до четырёхугольника (алгоритм представлен на Рис. 4). Для определения площади каждого такого четырёхугольника рекомендуется использовать метод средних прямоугольников, позволяющий приближенно вычислять площадь криволинейной трапеции ограниченной графиком подынтегральной функции, как суммы конечного числа узких прямоугольников:

$$\int_a^b f(x) \approx f\left(\frac{a+b}{2}\right) \cdot (b-a), \quad (2)$$

где a и b – стороны прямоугольников.

При этом вместо площади прямоугольника следует вычислять площадь сфероидической трапеции на поверхности эллипсоида [2]:

$$S = \frac{(L_2 - L_1)b^2}{4e} \left(\ln \frac{j \cdot u}{i \cdot v} + \frac{2p}{i \cdot j} - \frac{2q}{u \cdot v} \right), \quad (3)$$

где b - малая полуось эллипсоида, e - первый эксцентриситет, $q = e \sin B_1$, $p = e \sin B_2$, $u = 1 - q$, $v = 1 + q$, $i = 1 - p$, $j = 1 + p$, L - долготы границ трапеции, B – широты границ.

В таблице 2 представлены результаты определения площади векторного полигона в системе координат WGS-84 на поверхности эллипсоида и в ряде равноплощадных проекций, полученных на основе WGS-84, в том числе, в равноплощадной проекции на поверхность сферы.

Таблица 2

Определение площади в различных системах координат

	Площадь (км ²)	Абсолютная погрешность (км ²)	Относительная Погрешность (%)
Эллипсоид	6155,069	-	-
Сфера	6155,067	0,003	0,000
Проекция Гаусса-Крюгера	6154,857	0,213	0,004
Проекция Альбертса	6154,697	0,372	0,007
Проекция Ламберта	6154,619	0,450	0,008
Цилиндрическая проекция	6154,232	0,838	0,014

Из таблицы видно, что даже в проекциях эллипсоида, сохраняющих площади объектов, в действительности площади объектов искажаются, что, скорее всего, вызвано разницей в метрике систем координат проекций и геодезической системы координат. Несмотря на то, что расхождения в результатах измерений в относительной мере не велики, предложенный в данной работе метод определения площади на поверхности эллипсоида, позволяет исключить необходимость подбора проекции для проведения измерений и дополнительное преобразование данных в выбранную проекцию. Кроме того, так как предложенный метод предусматривает определение площади с заранее заданной точностью, и контроль точности выполняется в процессе вычислений, на каждой итерации, он позволяет оценить и точность других методов определения площадей, для которых в ГИС традиционно инструменты контроля и оценки точности не предусматриваются.

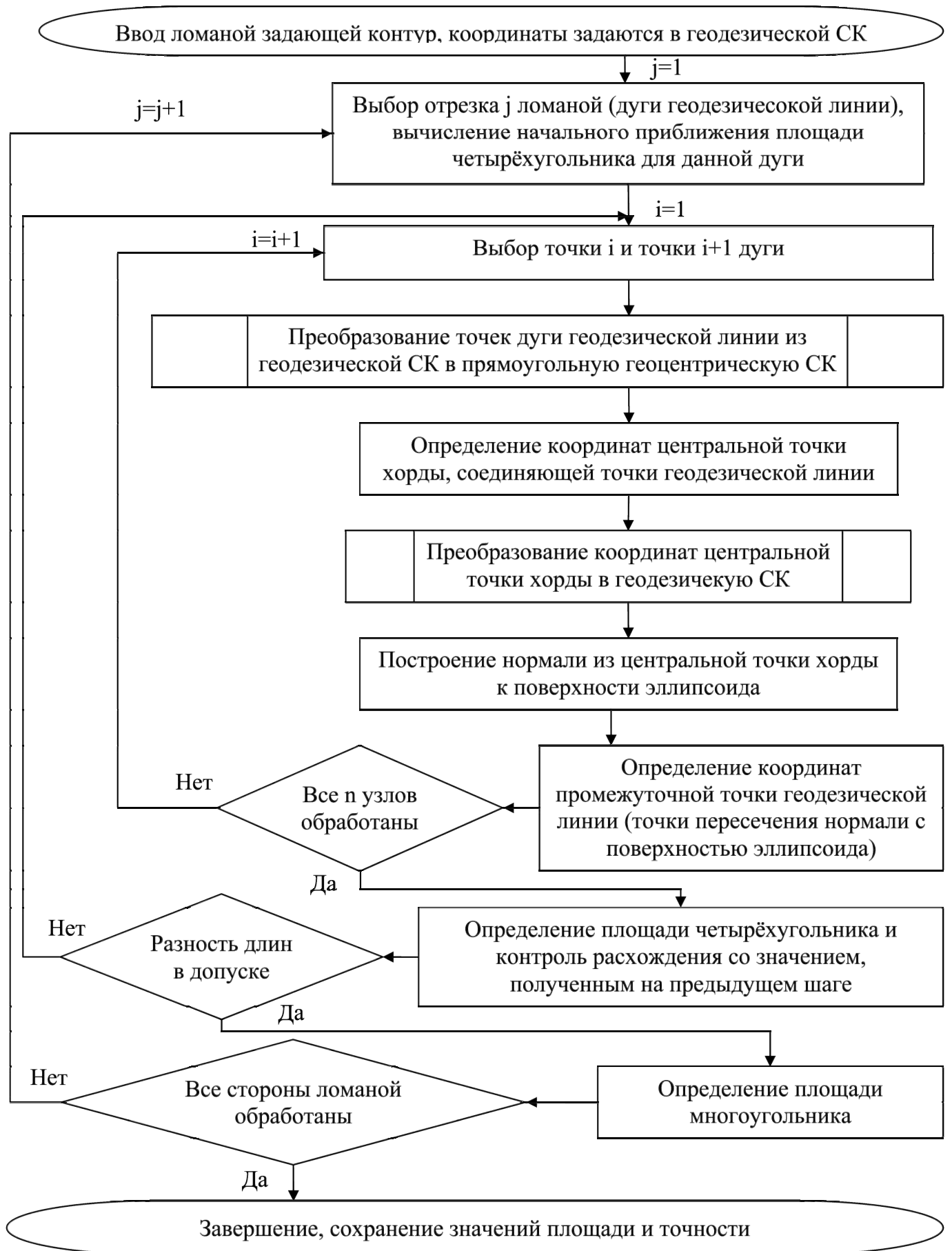


Рис. 4. Определение площади сферического многоугольника

Особенности использования растровых данных для картометрических определений. Для определения геодезических координат выбранного элемента разбиения (пикселя) растрового массива требуется, зная пиксельные координаты элемента и пространственное разрешение массива, перейти к геодезическим координатам. После того как определены геодезические координаты всех требуемых точек, задача определения расстояний решается идентично векторной модели. Определение площадей объектов реализуется на порядок проще, площадь каждого элемента разбиения может быть определена как площадь сфероидической трапеции. В свою очередь, площадь любого составного объекта определяется как сумма площадей входящих в него пикселей.

Некоторые трудности связаны с подготовкой данных для измерений:

Перепроецирование. Процесс перепроецирования растра, предлагается разделить на три этапа:

- вычисление размеров результирующей матрицы;
- определение пространственного разрешения результирующей матрицы;
- создание результирующей матрицы и заполнение её ячеек значениями.

Для того чтобы исключить незаполнение отдельных ячеек результирующей матрицы значениями при перепроецировании, в работе предложено использовать обратное проецирование, определяя значения в ячейках результирующей матрицы путем их пересчёта в координатное пространство исходной матрицы.

Вычисление оптимального пространственного разрешения. Для определения разрешения результирующей матрицы при преобразовании из проекционной системы координат в геодезическую предлагается рассчитывать разрешение с учётом особенностей изменения градусного выражения размеров ячейки исходной матрицы вдоль меридиана и на различных параллелях в пределах матрицы. Разрешение в градусах долготы следует рассчитывать на ближайшей к экватору границе матрицы, а в градусах широты – на ближайшей к полюсу границе.

Интерполяция. В связи с тем, что при перепроецировании размеры исходной и результирующей матриц в общем случае не совпадают, для определения значений в результирующей матрице следует использовать методы интерполяции, позволяющие рассчитывать значение в ячейке результирующей матрицы по наиболее пространственно близким к ней ячейкам исходной. Для решения этой задачи следует применять традиционные методы, такие как метод ближайшего соседа, билинейная интерполяция, бикубическая интерполяция.

Методы оценки производных количественных характеристик. На практике при использовании карт для измерений, полученные картометрические свойства объектов картографического изображения в дальнейшем используются для расчёта производных количественных показателей. В работе предложены примеры подобных методов, использующих измерения на поверхности эллипсоида.

Определение коэффициента извилистости с построением «стягивающей ломаной». Для определения коэффициента извилистости кривая аппроксимируется ломанной, с использованием векторной модели данных. Длину получившейся ломанной принимают за длину кривой l_1 . После этого строится вспомогательная ломаная, отрезки которой соединяют центральные точки отрезков первой ломанной – l_2 . Тогда коэффициент извилистости может быть вычислен по формуле:

$$J = \frac{l_1 - m}{l_2}, \quad (4)$$

где m - половина суммы длин начального и конечного отрезков ломаной.

Для прямой линии коэффициент J будет равен единице. Во всех остальных случаях показатель будет больше единицы.

Определение коэффициента извилистости с использованием формулы энтропии. Второй способ определения извилистости основан на формуле информационной энтропии, он позволяет оценивать извилистость разомкнутых и замкнутых контуров, аппроксимированных ломаными линиями:

$$U = 1 - \frac{-\sum_{i=1}^n \left(\frac{\beta_i l_i}{n\pi} \cdot \log_2 \frac{\beta_i l_i}{n\pi} \right)}{\log_2 n}, \quad (5)$$

здесь n – количество узлов ломаной, i – номера узлов от 1 до n , β_i – угол между отрезками $[i-1, i]$ и $[i, i+1]$, $l_i = 1 + \left(\frac{|d_i - d_{i-1}|}{d_i + d_{i-1}} \right) \cdot \left(\frac{\pi}{\beta_i} - 1 \right)$ - весовые коэффициенты для углов β_i отражающие неравное влияние на извилистость прилегающих отрезков ломаной, в случае если длины этих отрезков различаются, d – длины отрезков ломаной, пронумерованные от 1 до $n-1$.

Данный коэффициент будет возрастать с увеличением извилистости контура, изменяясь от 0 до 1. При этом 0 будет соответствовать прямой линии.

Оба метода разработаны впервые и могут быть применены для автоматической оценки извилистости как разомкнутых, так и замкнутых контуров на поверхности эллипсоида (блок-схемы алгоритмов представлены на Рис. 5 и 6).

Сравнительный анализ методов оценки извилистости.

Таблица 3

Коэффициенты корреляции между рядами измерений извилистости.

	По стягивающей 1	Энтропийная 1	По стягивающей 2	Энтропийная 2
Метод ГГИ	0,961	0,932	0,950	0,927
По стягивающей 1		0,987	0,979	0,975
Энтропийная 1			0,971	0,985
По стягивающей 2				0,991

Оба коэффициента были определены дважды для 13 эталонных контуров, предложенных Государственным Гидрологическим Институтом (ГГИ). В таблице 3 приведены коэффициенты корреляции между рядами проведённых измерений. Достаточно высокая корреляция как между результатами, полученными двумя методами, в том числе, при повторных измерениях, позволяет предположить, что предложенные методы оценки извилистости, обладают хорошей сходимостью. Это позволяет использовать их при проведении автоматизированных сравнительных классификаций географических объектов на основе анализа цифровых картографических материалов. Использование других методов (Волков, 1950; Маловичко, 1951; Знаменщиков, 1961; метод ГГИ) в последнем случае затруднительно, в связи со сложностью исключения искажений картографических проекций.

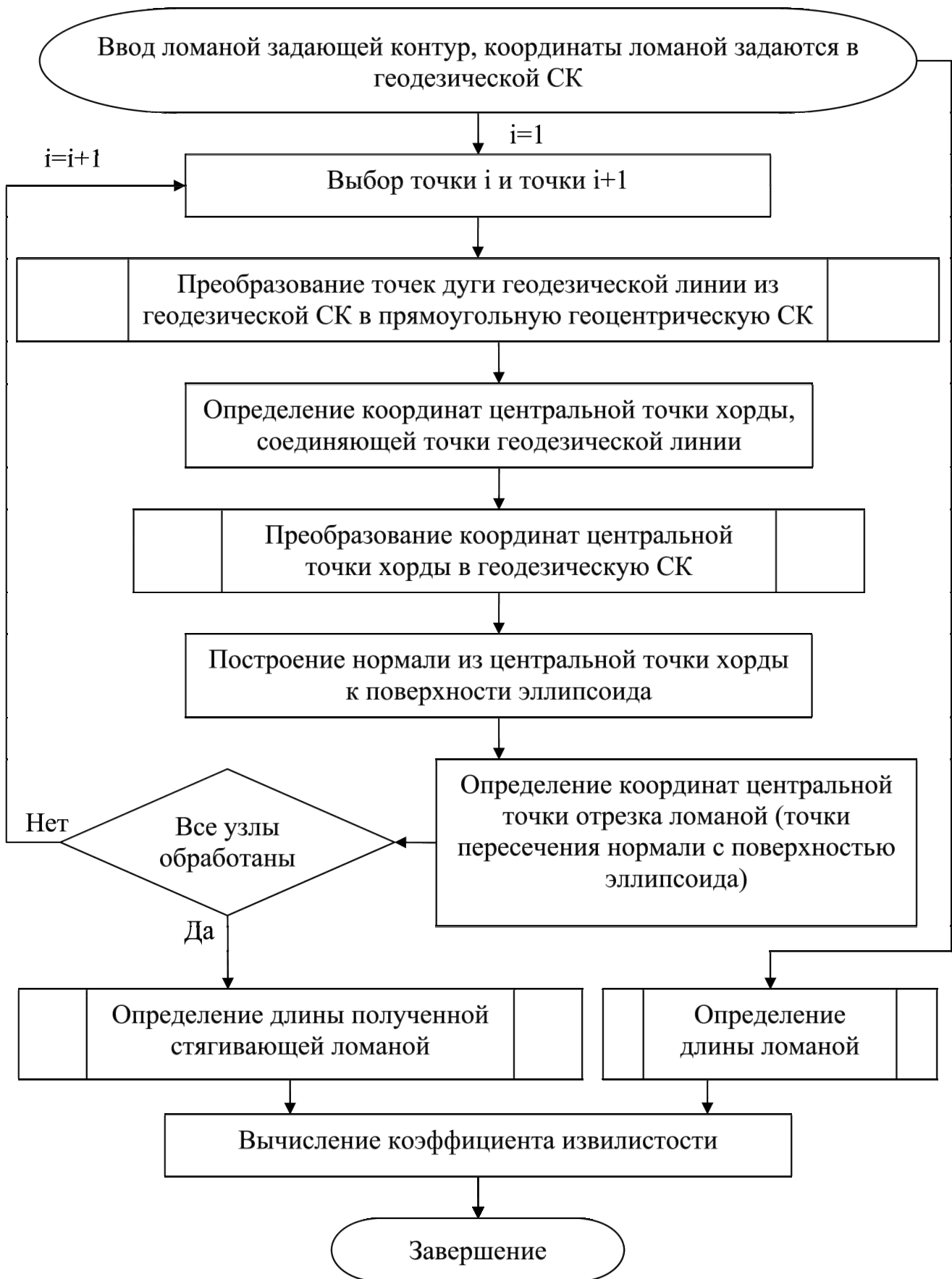


Рис. 5. Определение коэффициента извилистости с использованием «стягивающей ломаной»

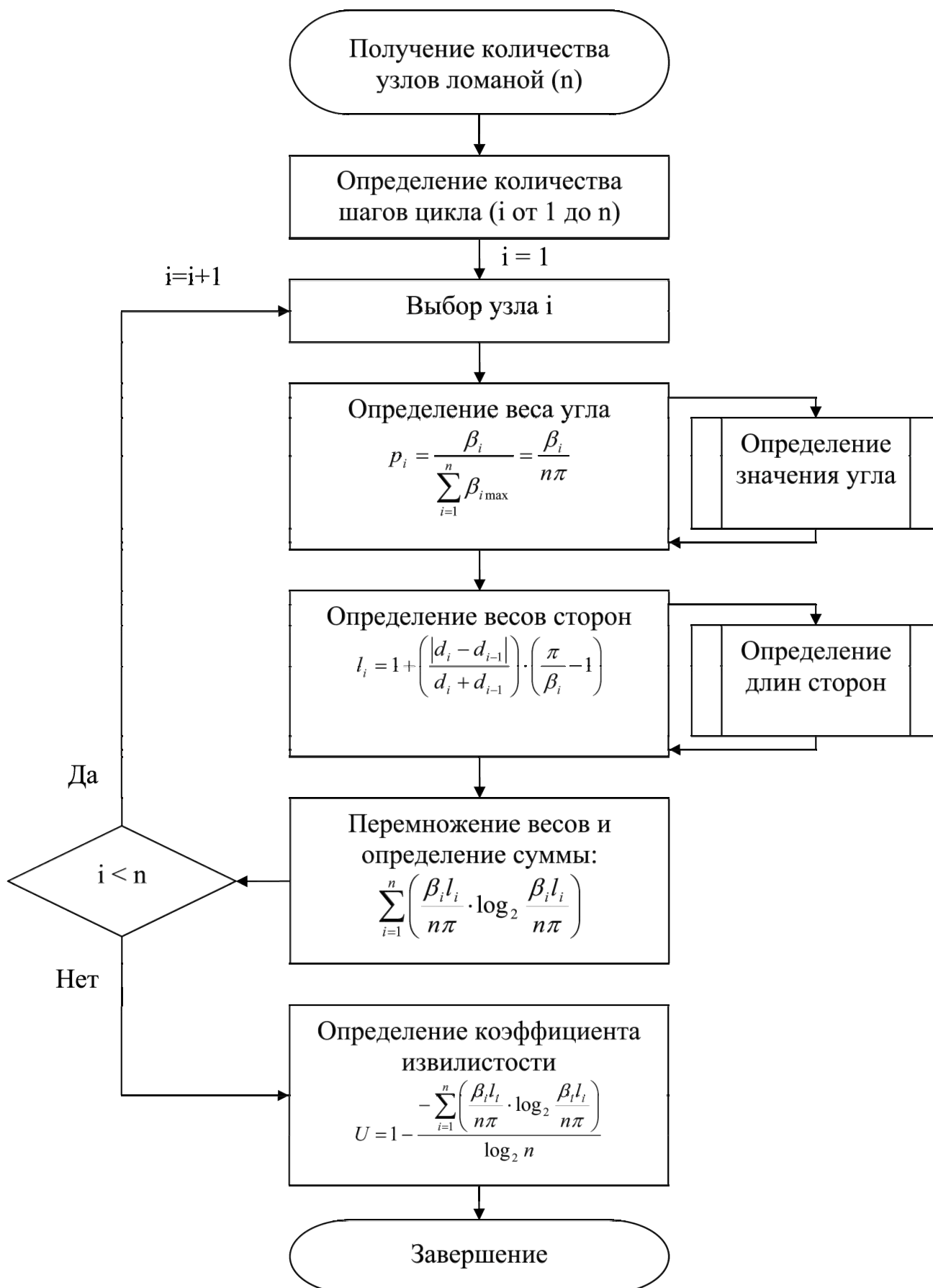


Рис. 6. Определение коэффициента извилистости с использованием формулы энтропии

Моделирование полей видимости. Одна из задач, решаемых в ГИС при анализе цифровых моделей рельефа – расчёт видимости. В большинстве ГИС эта задача решается в плоскости проекции, а в качестве источника высот используется цифровая модель рельефа (ЦМР), при этом кривизна Земли не учитывается.

В работе предложен метод построения полей видимости с учётом кривизны поверхности земного эллипсоида. Для учёта влияния рельефа используется ЦМР, представленная в геодезической системе координат. Блок-схема соответствующего алгоритма расчетов представлена на рис. 7. Метод позволяет определять видимость до воздушной цели на заданной постоянной абсолютной высоте, что недоступно для аналогичных средств, имеющихся в современных универсальных ГИС.

Методика косвенной оценки метрических свойств географических объектов по цифровым картографическим материалам. Конечной целью при оценивании метрических свойств объектов картографического изображения является оценка свойств реальных объектов, в качестве которой принимаются метрические свойства их цифровых моделей. В работе приведена методика получения таких оценок. Предлагаемая методика предполагает определение, прежде всего, картометрических свойств как базовых метрических характеристик объектов исследования и предусматривает расширение для оценки производных метрических свойств объектов. В качестве примера оценки последних в неё включены этапы оценки извилистости контуров. Методика представляет собой систему автоматизированной оценки базовых и производных, от базовых, метрических свойств географических объектов с использованием прикладных программных средств ГИС, и в наиболее общем виде состоит из следующих шагов:

Блок подготовки данных.

1. Определение модели исходных данных (векторная, растровая, другая).
2. Конвертация в векторную или растровую модель, при необходимости.
3. Определение системы координат исходных данных (геодезическая (ГСК), система координат картографической проекции).
4. Перепроецирование из картографической проекции в ГСК, если необходимо.
5. Перепроецирование в другую ГСК, при необходимости.

Блок оценки базовых метрических свойств.

6. Определение геодезических координат объектов.
7. Определение длин объектов на основе координат узловых точек контуров объектов, полученных на этапе 6, с использованием метода аппроксимации геодезической линии ломаной (АГЛЛ).

8. Определение углов между направлениями, задаваемыми полученными на этапе 6 координатами объектов по методу Морозова.

9. Определение площадей объектов по координатам узловых точек контуров площадных объектов (этап 6), с использованием методов вычисления площади сфероидического многоугольника и сфероидической трапеции.

Блок оценки производных метрических свойств.

10. Оценка извилистости при помощи построения «стягивающей» ломаной по координатам узловых точек объекта (этап 6), с использованием метода АГЛЛ.

11. Оценка извилистости с использованием формулы энтропии, на основе длин отрезков контура и величин углов между отрезками, полученных на этапах 7 и 8.

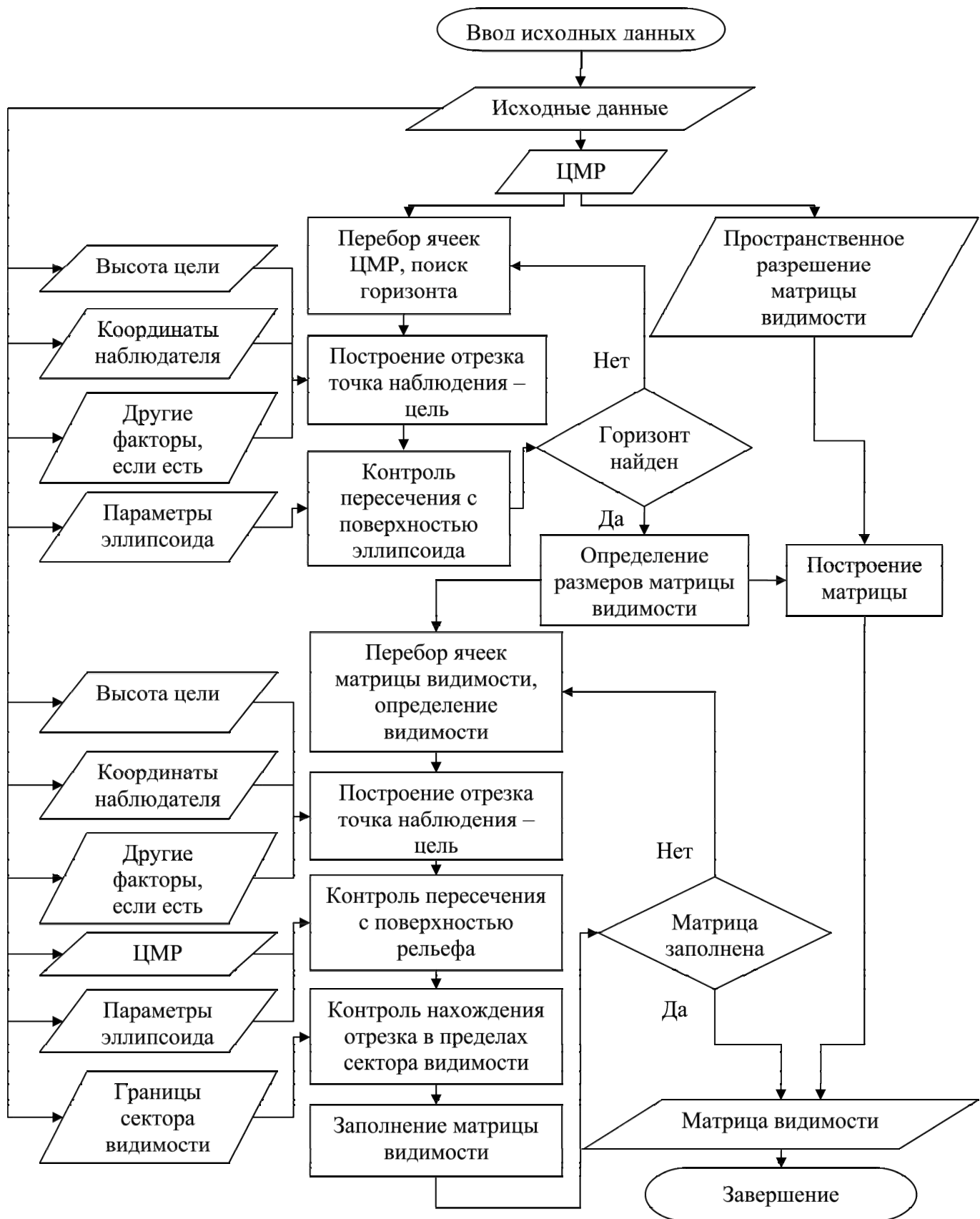


Рис. 7. Построение матрицы видимости

Третья глава «Прикладная геоинформационная картометрия» посвящена описанию реализации программных средств «Топографический калькулятор» и «Картометрия», которые разработаны автором с использованием алгоритмов, предложенных в данной работе. Дополнительно рассмотрены некоторые примеры практического применения диссертационных разработок.

«Топографический калькулятор» выполнен в виде независимого программного комплекса с собственным интерфейсом, он позволяет работать с данными в открытых обменных форматах, таких как обменный формат MapInfo (MID/MIF), обменный формат AutoCAD (DXF) и текстовых файлы с разделителями. Программный комплекс «Картометрия» реализован на языке программирования C# и выполнен в виде динамически подключаемой библиотеки (DLL). Он представляет собой приложение к ArcGIS, интегрированное в интерфейс ArcMap.

Картографирование государственной границы на основе построения геодезических линий и локсодромий. Приведён пример использования метода аппроксимации дуг геодезических линий и локсодромий при картографировании линии разграничения морских пространств между РФ и США в Беринговом проливе, так называемой «линии Шеварнадзе – Бейкер», определённой «Соглашением между Союзом Советских Социалистических Республик и Соединёнными Штатами Америки о линии разграничения морских пространств» от 1 июня 1990 года.

Определение площади морского льда. Приведён пример использования ПК «Картометрия» для определения площади морского льда при создании ледово-климатической ГИС Арктического бассейна. Применение «Картометрии» в данном случае было обусловлено тем, что представление данных в ГИС осуществлялось в стереографической проекции, искажающей площади, а для хранения данных использовалась геодезическая система координат WGS-84, в которой определение площадей другими доступными средствами было невозможно, и без применения «Картометрии» необходимо было бы дополнительно перепроецировать данные.

Оптимизация хранения результатов обработки космических снимков. Приведён пример использования ПК «Картометрия» для накопления банка данных космических снимков, в котором в качестве системы координат для хранения данных используется геодезическая система координат. В данном случае «Картометрия» применена, прежде всего, как средство оптимизации данных, позволяющее путём вычисления оптимального разрешения сохраняемых снимков, сокращать объём хранимых данных, не ухудшая их качества.

Моделирование зон видимости для оптимизации размещения радиолокационных средств системы управления воздушным движением. С помощью приложения «Картометрия» выполнено моделирование зон видимости радиолокаторов в целях оптимизации размещения инфраструктуры системы управления воздушным движением Боливии.

Первоначально было выбрано 18 возможных позиций станций на территории существующих аэродромов. После чего, с использованием модели рельефа GTOPO30 (Kerski, 2004 и др.), для каждой позиции были построены зоны видимости радиолокатора при стандартных высотах полёта и проведена оптимизация размещения позиций (Рис. 8).

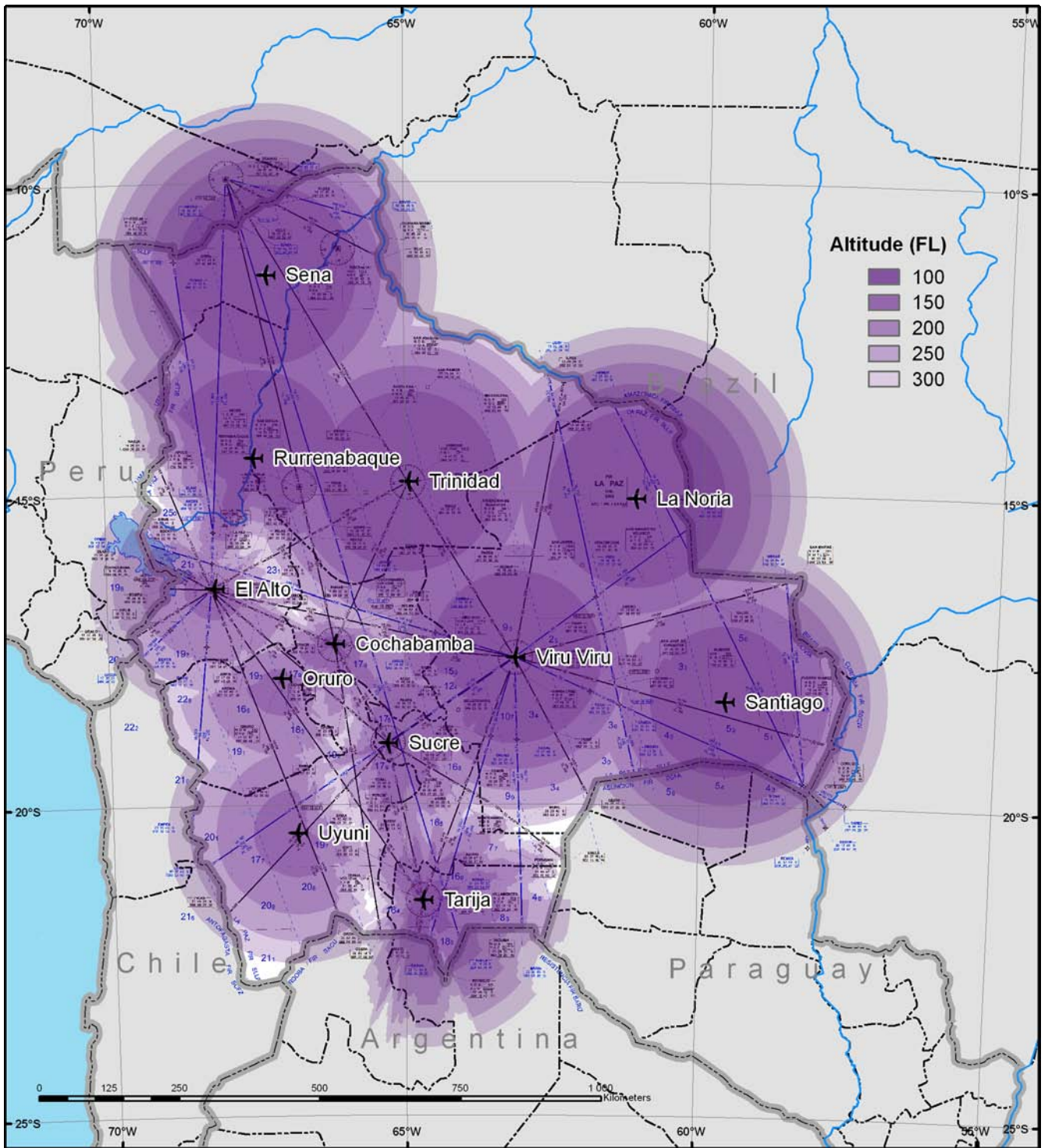


Рис. 8 Пример карты зон видимости радиолокационных станций

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В рамках диссертационного исследования выполнены теоретическое обоснование и практическая разработка методики оценки метрических свойств географических объектов, представленных на цифровых картографических материалах в геодезической системе координат. Предложены варианты совершенствования методов, позволяющие выполнять измерения в геодезической системе координат с учётом специфики применения прикладных программных средств ГИС. Приведены примеры алгоритмизации разработанных методов при решении прикладных задач.

Основные методические выводы:

1. Пространственные данные целесообразно хранить в геодезических системах координат, которые не вносят в данные геометрических искажений, присущих картографическим проекциям, а также поддерживаются в подавляющем большинстве программного обеспечения ГИС;
2. Необходимо контролировать геометрическую корректность отображения данных, хранимых в геодезической системе координат, в плоскости картографических проекций, в частности аппроксимируя геодезические линии ломаными;
3. Определение метрических характеристик географических объектов возможно и целесообразно производить в геодезической системе координат;
4. Аналитические средства ГИС, возможно и целесообразно реализовывать с использованием определений в геодезической системе координат.

Основные теоретические и практические результаты работы:

1. Проанализированы методы косвенного оценивания метрических характеристик географических объектов по картографическим материалам в классической картографии и в современных программных средствах ГИС;
2. Определено положение компьютерных средств картометрии в структуре картометрии как научной дисциплины и предложено уточнённое определение объекта исследования картометрии;
3. Разработан метод аппроксимации дуг геодезических линий и локсодромий, позволяющий сохранять полученные объекты в векторной форме;
4. Разработан метод моделирования полей видимости с учётом поверхности рельефа и кривизны земной поверхности, являющийся более функциональным по сравнению с аналогичными средствами универсальных ГИС;
5. Впервые разработан метод оценки извилистости контуров, основанный на формуле энтропии, позволяющий оценивать извилистость контуров, аппроксимированных ломаной с переменным шагом;
6. Обоснована и предложена методика косвенной оценки метрических свойств объектов в геодезической системе координат;
7. Разработаны вычислительные алгоритмы и оригинальные программные средства, основанные на подходах и методах, предложенных в работе.

Проведённое исследование методов измерений в геодезическом координатном пространстве позволяет говорить о широких перспективах их применения для развития морфометрии и ГИС-анализа.

Основные положения и некоторые результаты их практического применения изложены в следующих работах автора:

Статьи в изданиях, рекомендованных ВАК:

1) Паниди Е.А. Алгоритм перепроецирования растровых изображений средствами программного комплекса «Топографический калькулятор» // Вестник СПб ун-та. Сер.7.Вып.3. 2008. с.141-146.

2) Паниди Е.А., Голубков С.Н., Павлова О.А., Щербаков В.М. Автоматизированная система для анализа основных метрических свойств картографического изображения // Вестник СПб ун-та. Сер.7.Вып.4. 2008. с.188-193.

3) Паниди Е.А. Моделирование полей видимости в среде ArcGIS средствами приложения «Картометрия» // Вестник СПб ун-та. Сер.7.Вып.1. 2012. с.121-129.

Статьи и другие публикации:

4) Афанасьев В.А., Павлова О.А., Паниди Е.А., Щербаков В.М. Автоматизированная система генерации номенклатуры российских топографических карт и пересчёта координат между различными системами//Теория и практика эколого-географических исследований. – СПб.: ТИН, 2005. с.563-570.

5) Паниди Е.А., Цепелев В.Ю., Бобков А.А. Опыт разработки ГИС «Ледовые ландшафты Арктики» для анализа их изменчивости // География и геоэкология на современном этапе взаимодействия природы и общества. Мат-лы Всеросс. научн. конф. «Селиверстовские чтения». – СПб, 19-20. нояб.2009. – СПб: изд. С.-Петербург. гос. ун-та. 2009. с.806-811.

6) Паниди Е.А., Цепелев В.Ю., Бобков А.А. Визуализация ледовых ландшафтов Арктики средствами ГИС // Экология арктических и приарктических территорий. Мат-лы Межд. симпозиума. Архангельск, 6-10 июня 2010. с.103-106.

7) Panidi E.A., Tsepelev V.Yu., Bobkov A.A. 2010. Visualization of the Arctic landscapes in geoinformation system // Proceedings of ESA Living Planet Symposium 27 June - 2 July, 2010, Bergen, Norway, ESA SP-686, ISBN 978-92-9221-250-6, ISSN 1609-042X - Published by ESA Communications. ESTEC, PO Box 299, 2200 AG Noordwijk, The Netherlands, Desember 2010.

8) Паниди Е.А. Разработка пользовательских ГИС-приложений на примере ArcGIS//Современная картография: наука и практика. – СПб.: ВВМ, 2010. с.175-184.

9) Паниди Е.А., Щербаков В.М. Оценка длин и извилистости линий в среде ArcGIS средствами приложения «Картометрия» // География в системе наук о земле: современные проблемы науки и образования. – СПб.: ВВМ, 2011. с. 351-358.

10) Evgenii Panidi. Software instruments for investigation of landscape metric features // Geophysical Research Abstracts (GRA) Vol. 13, eISSN: 1607-7962 – on-line publication (http://www.geophysical-research-abstracts.net/gra_volume_13.pdf), 2011.

<http://meetingorganizer.copernicus.org/EGU2011/EGU2011-2226-1.pdf> ,
http://presentations.copernicus.org/EGU2011-2226_presentation.pdf

11) Valery Tsepelev and Eugeni Panidi. Analysis of climate changes of Arctic tundra zone with help of Virtual Globe // Geophysical Research Abstracts (GRA) Vol. 13, eISSN: 1607-7962 – on-line publication (http://www.geophysical-research-abstracts.net/gra_volume_13.pdf), 2011.

<http://meetingorganizer.copernicus.org/EGU2011/EGU2011-9416.pdf> ,
http://presentations.copernicus.org/EGU2011-9416_presentation.pdf

