

Бакинский Государственный Университет

Р.А.Бабаев

**ИССЛЕДОВАНИЕ СПОСОБОВ ИЗМЕРЕНИЯ
ДЛИН ИЗВИЛИСТЫХ ЛИНИЙ
И УГЛОВ НАКЛОНА
МЕТОДОМ МОДЕЛИРОВАНИЯ**

*Монография утверждена на
заседании научного совета
Географического факультета БГУ
(протокол № 5, от 26.12.2008)*

M.F.Axundov adına
Azərbaycan Milli
Kitabxanası

Баку - 2009

Автор выражает глубокую благодарность профессорам М.А.Муσειбову, А.М.Берлянту, Р.Я.Кулиеву и другим известным ученым географам-картографам за близкое знакомство с его научно-практическими исследованиями и считает своим долгом вспомнить добрыми словами своего первого учителя в области картометрии и морфометрии Н.М.Волкова, а также профессоров Р.Х.Пириева, Б.М.Балина, А.С.Девдариани, В.А.Червякова и С.Н.Сербенюка

Редактор: Кандидат географических наук, доцент
А.Т.Талыбов

Рецензенты: Доктор географических наук, профессор
Ф.А.Иманов
Доктор технических наук, профессор
М.Г.Годжамапов
Кандидат географических наук, доцент
Р.М.Ахлиманов

Бабаев Р.А. Исследование способов измерения длин извилистых линий и углов наклона методом моделирования. Для картографов, геодезистов, гидрологов и географов. Баку. «БГУ», 2009, 228 стр., табл. 35., рис.15.

Монография посвящена разработке и исследованию способов измерения длин извилистых линий и углов наклона по картам и имеет своей целью, в определенной мере, восполнить пробелы в картометрии и морфометрии. Ценность монографии заключается в разработке новых, менее трудоемких и более точных приемов измерения длин извилистых линий (как циркулем-измерителем, так и графоаналитическими способами) и приемов определения средних углов наклона земной поверхности.

ПРЕДИСЛОВИЕ

В основе изучения физико-географических объектов лежит определение их местоположения и размеров. При первоначальном ознакомлении с объектом большой точности в указании его размеров не требуется, и обычно бывает достаточно ограничиться самыми общими сведениями; но при детальном изучении приходится прибегать ко все более и более точным количественным характеристикам, как с целью сравнения, так и с целью более глубокого познания структуры и взаимодействия с другими объектами.

Единственным источником для получения данных о размерах географических объектов были и остаются карты. Разительные расхождения в длинах какой-либо реки, в площадях одного и того же материка и т.д., опубликованных в литературе, лишь отчасти могут быть объяснены неодинаковой точностью измерений; главная причина этих расхождений заключается в том, что измерения производились разными исследователями по картам неодинакового масштаба, отражающим, кроме того, различный уровень топографической изученности местности.

Точность измерений площадей и длин географических объектов находится в зависимости от уровня развития методов этих измерений. На основе разработки методов измерений возникло новое направление – картометрия, имеющая свой предмет изучения, свою историю и находящаяся в тесной связи с рядом смежных дисциплин.

Картометрические исследования заключаются в измерении и исчислении по картам количественных характе-

ристик явлений с оценкой точности получаемых результатов. Диапазон картометрических работ необычайно широк. Они могут сводиться к измерениям отдельных объектов (например, длины какой-либо реки) или быть массовыми (включать все реки), иметь локальный характер, или распространяться на значительные пространства, или даже иметь глобальное значение.

Картометрия в традиционной разработке ограничивала свои интересы топографическими характеристиками, получаемыми по общегеографическим и морским навигационным картам. Между тем, многие отрасли знания - науки о Земле и её биосфере, экономическая и социальная география и другие – теперь нуждаются в получении по картам разнообразных абсолютных и относительных пространственных показателей, характеризующих формы явлений, их мощность, плотность и интенсивность, количественную структуру и градиенты, отношения соседства и доступности. Выбор показателей относится к задачам названных наук, но в основе определения показателей лежат картометрические измерения по соответствующим тематическим картам. Естественно, что разработка принципиальных положений, рациональных приемов и техники таких измерений, оценка их точности, обоснование выбора карт входят в задачи картометрии в ее широком современном применении.

Было время, когда картометрия занималась исключительно измерением площадей. Постепенно в круг ее задач вошли измерения длин (рек, береговых линий, границ и

т.д.), наконец, исчисления самых различных морфометрических характеристик (средних высот и глубин, средних уклонов, площадей сечений, объемов, размеров физической поверхности и т.д.). Постепенно некоторые разделы картометрии обособились в отдельные ветви, как-то: орометрию, занимающуюся количественной характеристикой всех форм рельефа в самом общем виде, морфометрию рельефа суши, морфометрию рек, озер, морей и других географических объектов. При всем внешнем сходстве морфометрических характеристик каждая из них имеет свою специфику, обусловленную, в свою очередь, спецификой самого географического объекта. Отсюда следует, что методы измерений и исчислений по картам ни в коем случае не могут быть оторваны от изучаемого объекта.

На протяжении всей истории картометрии было предложено много способов измерений по картам, различных морфометрических показателей и способов их исчислений. Многие из них потеряли свое значение вследствие своей примитивности и малой точности, другие, построенные на формалистических принципах, должны быть отвергнуты в силу полной их оторванности от практики. В корне изменился также и взгляд на значение морфометрических характеристик в географии и во многих других дисциплинах. Из области отвлеченной науки они перешли в область практического использования и с этой стороны также должны быть пересмотрены.

Современная картометрия резко отличается от картометрии прошлого. Если раньше ставился вопрос лишь об

измерении того, что изображено на карте, то теперь измерение неразрывно связано с географическим анализом данного изображения, отражающего реальный природный объект в конкретных условиях его существования. В прошлом описательная география удовлетворялась результатами непосредственных измерений по картам, без их анализа. В настоящее время, ставя во главу угла изучение ландшафтов и процессов, их формирующих, физическая география не может обойтись без сочетания качественных характеристик изучаемых явлений с количественными, и наоборот. Понятно, поэтому настоятельная необходимость знания точных размеров географических объектов. Отсюда к современной картометрии предъявляются новые ответственные требования по разработке методов, обеспечивающих высокую точность измерений, получение действительных размеров географических объектов.

Настоящая монография посвящена разработке и исследованию способов измерения длин извилистых линий и углов наклона по картам и имеет своей целью, в определенной мере, восполнить пробелы в картометрии. Ценность монографии заключается в разработке новых, менее трудоемких и более точных приемов измерения длин извилистых линий (как циркулем-измерителем, так и графо-аналитическими способами) и приемов определения средних углов наклона земной поверхности.

Результаты указанных исследований дают возможность заменить трудоемкие картометрические работы по измерению длин извилистых линий более простыми

методами, доступными для самого широкого применения в географических исследованиях. Точность проведенных измерений автором намного больше, чем точность предыдущих методов измерения длин извилистых линий. По этим исследованиям намечаются пути автоматизации картометрических и морфометрических работ.

*Заслуженный деятель науки,
профессор М.А.Мусеилов*

ВВЕДЕНИЕ

При решении многих важнейших вопросов экономики, науки и культуры широко привлекаются результаты географических исследований. Эти исследования направлены на всестороннее изучение географической среды в целом и отдельных её компонентов (рельефа, гидрографии, почв, климата, растительного покрова и т. п.) в целях рационального их использования. В решении указанных задач важное значение имеют географические, в частности, топографические карты, так как при выполнении ряда теоретических и практических задач они во многих случаях являются основным источником для получения всевозможной громадной и разнообразной качественной и количественной информации о географической среде.

Следует отметить, что информацию с карты можно получить как визуальным способом, так и путем измерения. Информация, полученная с карты по результатам измерений (картометрических работ), характеризует объект и явления с количественной точки зрения. В настоящее время этому вопросу в картографии уделяется особое внимание, так как тенденция математизации географических наук, особенно морфометрические исследования, невозможны без количественных данных. Сбор количественных данных о рельефе и гидрографии является одним из наиболее сложных и актуальных вопросов современной картометрии. Результаты этих измерений могут иметь как самостоятельное значение, так и являться одним из основных параметров в формулах для вычисления соответствующих морфометрических

характеристик рельефа местности: средних углов наклона земной поверхности, горизонтального и вертикального расчленения и т. п. Поэтому точность определения морфометрических характеристик в основном зависит от точности картометрических работ, в частности, измерения длин извилистых линий. Следует отметить, что существует множество разных публикаций по картометрии извилистых линий. Однако эти работы не всегда совершенны по своей методике и не всегда обеспечивают необходимую точность. Основным недостатком предложенных способов - их трудоемкость. Отсюда следует, что изыскание более совершенных способов, в том числе и автоматизация измерения длин извилистых линий по картам, являются чрезвычайно актуальными и имеют большое научное и практическое значение в картографии и в целом в географии.

Настоящая монография посвящена разработке и исследованию способов измерения длин извилистых линий и углов наклона по картам и имеет своей целью, в определенной мере, восполнить пробелы в картометрии.

При решении данного вопроса автор ставит следующие задачи:

А) повысить точность результатов измерения длин извилистых линий по картам;

Б) заменить трудоемкие картометрические работы, предложив более простые приемы измерения углов наклона и извилистых линий с использованием вероятностно-статистических методов.

В) определить возможные пути автоматизации в процессе измерения длин извилистых линий.

Основными материалами для указанных исследований послужили различные крупномасштабные топографические карты и нитяные макеты с различной степенью извилистости (всего 54 образца). Исследования основываются на больших экспериментальных работах, проведенных как по нитяным макетам, так и вероятностно-статистическими методами. В результате проведенных исследований мы получили возможность:

1. Проанализировать и сопоставить способы измерения длин извилистых линий по картам и определить их точность и трудоемкость.

2. Установит теоретические и эмпирические оптимальные параметры в графоаналитических способах измерений.

3. Предложит формулы для измерения длин извилистых линий циркулем (формула 2.31) и графоаналитическими способами (формулы 2.42; 2.43; 2.44; 2.45;).

4. Предложить формулы для определения средних углов наклона земной поверхности графоаналитическими способами (формулы 3.10; 3.11; 3.12; 3.13) и вероятностно-статистическим методом (формула 3.53).

Ценность монографии заключается в разработке новых, менее трудоемких и более точных приемов измерения длин извилистых линий (как циркулем, так и графоаналитическими способами) и приемов определения средних углов наклона земной поверхности

Результаты указанных исследований дают возможность заменить трудоемкие картометрические работы по измерению длин извилистых линий более простыми методами, доступными для самого широкого применения в географических исследованиях. Точность указанных измерений намного больше, чем точность существующих методов измерения длин извилистых линий, а затраченное время меньше. По этим исследованиям намечаются пути автоматизации картометрических и морфометрических работ.

Разработанные методы и приемы измерения длин извилистых линий (как циркулем, так и графоаналитическими способами) и приемы определения средних углов наклона земной поверхности имеют большие научные и практические значения. Предложенные приемы дают возможность с заранее известной точностью измерения при меньшей затрате времени получить с карты необходимую количественную информацию об исследуемом объекте, пригодных не только для определения протяженности измеряемых линейных объектов (длины рек, горизонталей, береговых линий и т.п.), но и для получения по результатам измерения многих ценных производных от них сведений. К этим сведениям в основном относятся количественные (морфометрические) показатели. Например: в гидрологии – количественные показатели необходимы для установления зависимости между стоком воды и элементами рельефа, в ландшафтных исследованиях – для объективной характеристики природных комплексов, в геоморфологии – для изучения расчлененности земной поверхности, для

определения интенсивности новейших и современных тектонических движений; в геологии – для выявления тектонических структур; в гидроэнергетике – необходимы данные об уклонах рек, входящие во многие расчетные формулы по определению гидроэнергетических запасов, пропускной и транспортирующей способности рек, проектной мощности гидроэлектростанции; в сельскохозяйственных – для целесообразного освоения земель, для борьбы с эрозией почв, проектирования и выполнения мелиоративных, транспортных и других работ и т.п.

Предложенные теоретические оптимальные параметры сканирования могут быть применены в ЭКП (электронных картографических планиметрах). Эти параметры, несомненно, уточнят и повысят точность и эффективность автоматизации процесса измерений длин извилистых линий и площадей.

С целью апробирования полученных результатов произведены многочисленные картометрические работы как по нитяным макетам, так и по топографическим картам.

В монографии рассматриваются современные тенденции развития картометрических и морфометрических методов измерений. Дается понятие о моделировании и о сканирующих автоматических устройствах, применяемых в современной картометрии.

В монографии очень детально изучены вопросы исследования способов измерения длин извилистых линий по картам. Наряду с общими вопросами по анализу и классификации существующих способов измерения длин

извилистых линий, так же рассматриваются вопросы учета извилистости измеряемой линий, оценка точности и характер ошибок измерений и их зависимость от величины растора циркуля и извилистости длин линий. С целью облегчения трудоемких картометрических работ и замены их более простыми приемами измерений предложены новые формулы и методы измерений. Рассчитаны теоретические оптимальные параметры сканирования, обеспечивающие автоматизацию измерения длин извилистых линий. Вычислены эмпирические параметры для построения часовой палетки с целью практического измерения длин извилистых линий по картам.

Отдельная глава в монографии посвящена вопросам исследования углов наклона земной поверхности. Дается анализ некоторых ранее существовавших способов определения средних углов наклона в пределах равнинных, предгорных и горных территорий (по ключевым участкам). Предложены формулы для определения средних углов наклона земной поверхности, как графоаналитическим, так и вероятностно-статистическими способами.

Путем анализа и сравнения с другими способами (способы Финсьервальдера, Бусалаева) на многочисленных примерах доказываемся эффективность разработанных нами способов. В целях апробирования предложенных формул составлены карты средних углов наклона по ключевым участкам для различных типов рельефа земной поверхности (наклонной равнины, расчлененного, всхолмленного и холмистого районов, предгорного и высокогорного

районов). Карты составлены по способу изолиний, а для среднегорных и высокогорных районов – карта составлена по способу картограммы.

При выполнении данной монографии автор постоянно придерживался научной связи с учеными разных специальностей: картографами, геоморфологами, геодезистами, гидрологами и др. и считает своим долгом выразить им свою благодарность.

Г Л А В А I КРАТКИЙ ОБЗОР КАРТОМЕТРИЧЕСКИХ И МОРФОМЕТРИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Тенденция развития картометрических и морфометрических исследований

Современное развитие картометрических и морфометрических исследований карт, по нашему мнению, следует рассмотреть по трем направлениям:

1. применение традиционных (классических) методов исследований;
2. применение вероятностно-статистического метода;
3. автоматизация картометрических и морфометрических исследований.

Первое направление: Известные нам традиционные картометрические методы отличаются трудоемкостью получения числовых показателей (данных) путем сплошного измерения линейных и площадных объектов. При этом многие исследователи с целью облегчения процесса измерительных работ пользуются способом квадратов (Муравейский, 1948). Следует отметить, что такой подход намного облегчает процесс измерения (в частности по площадным объектам) в морфометрических исследованиях, однако он связан с некоторыми недостатками (см. Глава II, § I). Несмотря на эти недостатки и трудоемкость картометрических приемов, традиционные методы до сих пор

применяются для небольших территорий (в основном на ключевых участках).

К этой категории относятся многочисленные картометрические и морфометрические исследования, выполненные традиционными методами: М.М.Протоdjяконов (1925); А.С. Чеботарев (1926); Б.М.Вахтин (1930, 1931); М.П.Сироткин (1937); В.Н.Ченцов (1948); И.В.Измайлова (1948, 1954); Н.М.Волков (1949, 1950); М.М.Алиев (1956); В.А.Дементьев (1958); В.П.Философов (1960, 1967, 1971); Г.И.Знаменщиков (1955); Р.Х.Пириев, М.М.Гасанов (1963); Г.В.Агапова (1965); Е.М.Николаевская (1968, 1970а, 1970 б); Р.Х.Пириев (1968, 1985, 1986); А.М.Гусейнов (1973) и многие другие.

Следует отметить, что морфометрические методы изучения рельефа земной поверхности по вышеуказанному направлению получили широкое развитие в практических изысканиях при изучении рельефа и связанных с ним эрозионных процессов (Девдариани, 1966, 1967; Кайтмазова, 1967; Мусеибов, Агаев, 1968; Пириев, 1968; Борсук, Симонов, 1968 и др.). При анализе рельефа в физико-географических и структурно-геоморфологических исследованиях (Мещеряков, 1967, Будыко, Котляков, Мещеряков, 1970 и др.); при проектировании инженерных сооружений (Космин, 1967); при анализе рельефа морского дна, вычисление площадей океанов, морей, озер, при определении форм островов (Агапова, 1965; Белоусов, Козлов, Янпольский, 1966; Ларина, 1968; Гусейнов, 1973 и др.), при поисках тектонических структур в геолого-геоморфологических

исследованиях (Философов, 1960, 1971; Ласточкин, 1967; Берлянт, 1967; Ананьева, 1966 и др.).

Второе направление: Вероятностно-статистические приемы в картометрических и морфометрических исследованиях применяются в широких масштабах. Это прежде всего связано с тем, что методы математической статистики более применимы к морфометрии, так как «... общие законы строения рельефа Земли вследствие обширности и сложности объекта исследования имеют статистический характер» (Девдариани, 1966).

Математико-статистический подход к любым явлениям, отображающимся на топографических картах в виде дискретного или непрерывного распространения, преследует, главным образом, цель выявления характера зависимости между элементами географической среды и взаимосвязи морфометрических характеристик. Для этой цели, в основном, пользуются теорией корреляции. Методика корреляционного анализа применительно к компонентам географической среды подробно освещена в работах: Робинсона, 1970; В.А.Червякова, 1964, 1966; М.К.Бочарова, 1971 и др.

Приемами математической статистики были определены эмпирические зависимости между средней высотой и средними значениями экстремальных высот (Бочаров, Николаев, 1957; Иванов, 1963; Пириев, 1966, 1969 и др.), а также между относительными высотами и углами наклона земной поверхности (Пириев, 1968; Гусейнов, 1971).

Математико-статистические приемы часто используются с целью анализа вертикального и горизонтального

расчленения рельефа (Иванов, 1964, 1965; Цветкова, 1972), для исследования густоты речной сети (Бочаров, Николаев, 1957; Пириев, 1958; Каминская, Червяков, 1972 и др.); для изучения по картам различных характеристик и функции распределения с целью районирования территории и т.д. (Бусалаев, 1966; Червяков, 1966, 1967, 1968, 1970; Пириев, 1966, 1971; Шаратов, 1967; Сорокин, 1967; Берлянт, 1970, 1975; Вергасов, 1971 и др.).

Применение вероятностно-статистических методов в картометрических и морфометрических исследованиях существенно упрощает процесс работы и позволяет дать оценку точности результатов исследований. Одним из таких способов в статистике является выборочный метод исследования, который в настоящее время широко применяется в картографии, ландшафтоведении и вообще в географии (Захаров, 1954; Чернин, 1969, 1970; Пешатаев, 1970 и др.). Следует отметить, что предложенный М.К.Бочаровым (1971) выборочный метод для определения суммарной длины изолиний с помощью сетки квадратов облегчает картометрические работы, а статистические формулы среднего угла наклона (Зиновьева, Ситников, 1967; Кудрновская, 1968; Бабаев, 1972) - определение морфометрических характеристик.

Имеется весьма перспективное направление для анализа и оценки условий территории с помощью подбора оптимальных размеров репрезентативных в статистическом отношении территориальных ячеек, обеспечивающих репрезентативные данные в соответствии с масштабом

используемой карты. Такой подход дает хорошие результаты в основных орографических типах рельефа (Ohmгог, 1972; Николаевская, Цветкова, 1972; Чернин, 1957, 1970 и др.).

Третье направление: В настоящее время странах СНГ и за рубежом, прежде всего в США, Англии, Канаде, Швейцарии, Японии, ФРГ и ряде других стран, уделяется большое внимание внедрению в картографическое производство достижений автоматики и электронно – вычислительной техники, что отвечает современному этапу развития науки и технического прогресса (Васмут А.С.; Катус Г.П.; Комиссаров В.В.; Мартыненко А.Н.; Терещенко С.С.; Тикунов В.С.; Павлова А.А.; Расположенский Н.А.; Салищев К.А.; Свентэк Ю.В.; Сербенюк Н.С.; Сухов В.И.; Krcho J; Idelsohn Y.M; Möller S.G; Simon Y.C.; Gigas E.E.; Stine G.E. и др.).

Учитывая ряд достижений автоматики и электроники на производстве, ведется усиленная работа над созданием новых приборов, считывающих и обрабатывающих картографическую информацию, которые способствуют резкому повышению производительности труда в картометрических и морфометрических работах (Берлянт, 1984).

Следует отметить, что дальнейшие перспективы картометрических и морфометрических исследований имеют непосредственную связь с полной автоматизацией этих работ. Поэтому считаем нужным рассматривать тенденцию развития этих вопросов в отдельности.

Автоматические и полуавтоматические картометрические приборы имеют узкое и специализированное

назначение. Они предназначаются для решения задач измерения длин извилистых линий и площадей.

Прибор, предложенный А.В.Бородиным (1967) для измерения длин извилистых линий по картам, является первым полуавтоматическим прибором, работающим по принципу сложения результатов автоматического пройденного пути обводной иглы по измеренной линии. Принцип работы заключается в том, что при измерении вращающийся обтюратор проходит одинаковый путь с обводной иглой. Внизу под обтюратором расположена лампочка подсчета, а под ним располагается фотодиод. При движении обводного рычага по измеряемой длине извилистых линий происходит вращение механического обтюлятора, свет через прорези на нем падает на фотодиод. В результате этого в цепи фотодиода возникают электрические импульсы, которые поступают в электронный блок с электронным счетчиком. Каждый импульс соответствует определенному пути обводной иглы, зависящему от величины интервала между прорезями в обтюраторе. Скорость измерения этим прибором более чем в 10 раз превышает скорость измерения циркулем.

В.М.Чернин (1967) сконструировал «импульсный курвиметр», позволяющий преобразовать линейные величины (длины извилистых линий) в импульсы тока, счет которых ведется электронно-магнитным счетчиком.

Подсчитана средняя квадратическая ошибка одного импульса, которая составляет $\pm 0,3$ мм, что обеспечивает достаточно высокую точность измерения длин извилистых линий.

В настоящее время ведется большая работа по автоматическому считыванию картографической информации, в частности параметров площадей. Для примера укажем автоматическую считывающую планиметр Стенли. Этот прибор представляет собой усовершенствованный полярный планиметр. Принцип работы планиметра Стенли и Бородина один и тот же. Разница в том, что в первом случае параметры прибора рассчитаны для определений площадей, а во-вторых – длин извилистых линий.

Следует отметить, что относительная квадратическая ошибка измерения контуров этим планиметром в 1,5 раза меньше, чем у российских полярных планиметров ПП-ГК (МИИЗ) и ПП, хотя в планиметре «Стенли» остался ручной обвод контуров и им нельзя мерить площади в $0,5 \text{ см}^2$ и менее.

Недостатком вышеуказанных полуавтоматических картометрических приборов, в основном, является ручное обводное приспособление и трудоемкость технологии подготовки картометрических материалов к работе (в частности в планиметре «Стенли»), что помешало массовому использованию этих приборов в картометрии.

Цифровые планиметры японского производства типа «Кимото» - фотоэлектрический (1960) и электрический (Ebata Tatsuo, Marimtsn Takso, Kanazawa Kci, 1968), в отличие от планиметра «Стенли» не требуют ручного обвода контуров и имеют высокую точность измерения (вычисление площади любой поверхности размером до

30x30 см² планиметром производится за 4 мин. с относительной ошибкой менее 0,1%)

Трудности использования этих планиметров связаны с предварительным вырезанием каждого контура и его индивидуальным измерением.

В настоящее время разрабатываются более прогрессивные методы сбора информации с карт, базирующихся на автоматике, т.е. преобразовании исходной картографической информации в цифровую форму, логическая обработка информации на ЭВМ и выводе ее в графическом виде. В последние годы был достигнут значительный прогресс в создании автоматических координатографов (Кингиматик, Гербер, Картимат и др.), предназначенных для преобразования графических моделей в цифровые, а цифровых – в графические.

Учеными разных стран создан ряд различной аппаратуры из электронного и механического оборудования, которые составляют вычислительную машину и вспомогательные устройства для управления автоматизированной системой (Курбатов В.М., 1968; Комиссаров В.В., Расположенский Н.А., 1973, 1974; Ширяев Е.Е., 1967, 1968, 1973, 1976; Shepherd W.H., 1968; Edson D.T., 1973 и др.).

Следует отметить, что при цифровании графических моделей отдельные их участки могут рассматриваться как отрезки прямых, кривых различного радиуса, или совокупности точек с известными координатами. Для последующей обработки на ЭВМ информация в виде линий значений некоторой функции может быть представлена

матрицей значений этой функции в узлах сетки квадратов (до 0,1 мм), наложенной на карту. Сами линии могут быть сосчитаны с помощью методов развертывающего (сканирования) или следящего преобразования.

В преобразовании картографического изображения с помощью сканирующих устройств картографические изображения рассматриваются на каждом элементарном участке карты как переменная величина. Эти устройства автоматического типа основаны на принципе построочного сканирования (развертки) исходного изображения с одновременной записью на программноносителе. Они предназначены преимущественно для считывания специальной нагрузки карты, как например, для определения длины извилистых линий, горизонталей, береговых линий, площадей и т.д.

При преобразовании картографического изображения с помощью следящей развертки картографическое изображение выражается в параметрической форме. Рисунок знака обозначается соответствующим кодом. К системам слежения по контуру можно отнести приборы для измерения координат точек и текущих координат линий, прослеживаемых при помощи их ручной обводки с автоматической записью координат и кода линейного знака на магнитной ленте или перфоленте.

Действующие в настоящее время автоматические цифровые преобразователи сильно различаются по своему устройству и принципу работы, но все они имеют одинаковую цель – сбор и преобразование картографических

данных в цифровую форму, пригодную для использования в автоматизированных системах.

Для примера укажем некоторых из них, получившие применение в картометрических работах.

1) Автоматический цифровой преобразователь горизонталей (Automatic Contour Digitizer-ACD), разработанный фирмой Concord Control Inc – США. Процессе преобразования графических высотных данных (горизонталей, отдельных высот и т.д.) в цифровую форму включает следующие четыре операции: опознавание, считывание, преобразование в цифровую форму, формирование в запись цифровых данных. АСД выполняет автоматически три операции, за исключением опознавания, которые выполняется оператором. Имеется а) блок считывания для снятия информации с исходного картографического материала; б) пульт оператора для визуального опознавания считываемых объектов; в) ЭВМ для автоматического управления операциями считывания и преобразования высотных данных в цифровую форму. Считывающее сканирующее устройство в виде барабана состоит из электрооптической обводной головки, фотоумножителя и запоминающего устройства.

Исходная карта, на которой предварительно должны быть «подняты» горизонтали, чтобы конкретно выделялись на белом фоне основы, закрепляется на барабане, и сканирующая головка выполняет автоматически считывания изображения, т.е. снятие координат точек горизонталей по участкам.

Весь процесс считывания, преобразования данных из графической в цифровую форму, формирования и записи кодов выполняется автоматически по заданной программе, за исключением выбора участков. Преобразование горизонталей общей длиной около 38 тыс. км в пределах трапеции карты формата 60x71,2 см выполняется за 8 рабочих часов (Shepherd Wesley, 1968).

2) Одним из новшеств в картометрии является прибор АГА-Геотрейсер модель 326 (Швеция), который предназначен для преобразования графической информации, представленной в виде карт, диаграмм, рисунков и т.д. в цифровую форму, пригодную для прямого ввода в ЭВМ, а также для записи на перфорационную и магнитную ленту. Геотрейсер в своей основе состоит из двух подвижных рычагов равной длины, двух оптических угловых дешифраторов с высокой разрешающей способностью, оптической считывающей головки, кнопки регистрации и управляющего блока, содержащего все электронные схемы, а также цепи электропитания с переключателями и индикацией на лицевой панели.

Считывание осуществляется на ведением марки оптической головки на желаемую точку и нажатием кнопки регистрации. Каждая точка представляется парой углов, заданных в цифровой форме. Оптический угловой дешифратор содержит стеклянный диск, посаженный на ось, по краю которого расположены две дорожки радиальных штрихов. Свет от источника проходит сквозь диск к системе из двух транзисторных детекторов. Когда диск поворачивается, две

дорожки штрихов проходят под фототранзисторами и вырабатывает два потока импульсов, различающихся по фазе на 90° . Отставание или опережение по фазе определяет направление вращения. Прежде чем попасть в управляющий блок Геотрейсера, импульсы усиливаются и преобразуются в прямоугольную форму внутренними интегральными схемами угловых дешифраторов. Импульсы от угловых дешифраторов преобразуются в импульсы мультиплексора, позволяя тем самым увеличить разрешающую способность системы. Затем они попадают в схему, определяющую направление поворота диска. В зависимости от информации, полученной из схемы, определяющей направление (увеличение или уменьшение углов), импульсный сигнал передается на двоичный вход счетчика. С выхода двоичного счетчика сигнал проходит через временный накопитель в мультиплексор, где от двух дешифраторов он считывается попеременно и, представленный пятью цифрами в двоично-десятичном коде, подается на выход мультиплексора.

Мультиплексер управляется ЭВМ типа HP9820A; Olivetti – 652; Wand – 600 и т.д., перфоратором или магнитным накопителем через цепи управляющего блока сигналом «запрос данных». Сигнал «данные готовы» вырабатывается нажатием микровыключателя считывающей головки (тем самым запирая информацию во временном накопителе) для считывания ЭВМ, перфоратором или магнитным накопителем.

В зависимости от применяемых программ, исходная информация будет соответствующим образом обработана и

результаты распечатаны. Стандартная программа обеспечивает расчет координат x , y уклонов, площадей и длин линий. Для расчетов уклона, расстояния или площади как минимум должны быть считаны две точки. Площадь находится, как площадь между считанными точками и осью x . Когда работа осуществляется в режиме автоматического считывания, расстояние между последовательными точками (шаг считывания) является временной функцией и зависит от скорости, с которой оператор двигает считывающую головку по измеряемой длине извилистых линий.

Координаты x , y , полученные для всех точек графической информации, могут быть переработаны с помощью ЭВМ в зависимости от особенностей используемых специальных программ.

3) Для автоматического считывания информации с карты Ширяев Е.Е. (1967, 1968) разработал «метод растровой дискретизации» который обеспечивает возможность для осуществления полной автоматизации считывания информации с карт любого содержания.

При автоматическом считывании информации с карт методом растровой дискретизации условные знаки проектируются по параметрам систем растров. Это обеспечивает непосредственную дискретизацию на карте непрерывной информации. Каждому параметру линий раstra присваивается какая-либо характеристика. Толщина линий берется как функция от плотности явления, а в отдельных случаях они могут характеризовать качественные различия.

Предлагается показывать качественные характеристики различными цветами обычных или люминесцентных красок.

Для того чтобы автоматическая система обеспечила возможность считывания площади распространения явления по числу импульсов, необходимо такое построение линии раstra, которое при преобразовании суммы импульсов, считанных с ширины на единицу деления давало бы площадь, ограниченную первыми линиями раstra данной и последующей серии по ходу сканирования. Толщина линий раstra, а также интервалы между осевыми линиями и сериями берутся в соответствии с длительностями импульсов, временными интервалами и частотой, установленными в селекторах анализаторов.

Анализатор предназначен для обработки картографической информации. Устройство содержит сканер в виде вращающегося барабана и двух фотоэлектронных считывающих головок, связанных между собой через редуктор. Сигналы с выходов считывающих головок через усилительно-формирующие каскады в виде узкого дучка падают на карту, укрепленную на барабане. Излучение с карты падает на фотокатод, который посылает пульсирующий фототок. Импульсы тока поступают на временные селекторы, затем на селекторы, у которых параметром служит число импульсов и, наконец, на счетчики импульсов, которые отражают искомую величину в цифрах (Ширяев Е.Е., 1973, 1976).

В основу метода растровой дискретизации положен принцип дискретной интерпретации передаваемой информа-

ции на основе системы линейных растров различных параметров, имеющих строгое математическое обоснование.

Метод позволяет с достаточно высокой точностью измерения по картам произвести автоматическое считывание информации, содержащейся в линейных и площадных объектах.

В нашей стране пока нет производства серийных автоматических картографических устройств, хотя в этом направлении ведется большая работа в ряде организаций, которая представляет определенный интерес по снятию информации с карт с помощью сканирующих считывающих устройств, следящего устройства «Фотоглаз», методом растровой дискретизации и методом фотоэлектронного суммирования интегральной яркости люминесценции и т.д. Основными направлениями автоматизации являются:

1. Создание автоматизированных картографических информационно-поисковых систем.
2. Сбор и преобразование картографических данных в цифровую форму, пригодную для использования в автоматизированных устройствах.
3. Автоматизация картосоставительских и оформительских процессов.

На основе действующих методов отображения информации на картах и способов ее машинного считывания, представляется возможным автоматизировать многие процессы научных исследований в картографии.

Автоматизация в морфометрии в последние годы развивается интенсивно. Одной из характерных черт

современной картографии является широкое применение в процессе создания карт самых разных автоматических устройств. Внедрение автоматизации в картосоставительских работах в нашей стране наблюдается при составлении топографических и общегеографических карт, а также тематических карт аналитического и синтетического типа. Однако имеются некоторые трудности, которые связаны со сложностью решения большого числа важных в техническом отношении задач. (Васмут, 1983).

Более сложные задачи решаются с помощью компьютеров при создании синтетических карт, разработка которых, как правило, базируется на гораздо более обширной информации, чем при составлении аналитических карт.

Составления морфометрических карт с помощью компьютеров пока нет, но в этом направлении открываются новые перспективы. Примером могут быть различные исследовательские работы по распознаванию формы рельефа. В.Л.Грейсх (1967) впервые дал методику образного описания форм рельефа, которые можно выразить в виде кода, и тем самым создать образ. Последнее дает возможность в дальнейшем заставить машину распознавать типы рельефа на основе образующихся из совокупностей форм функциональных зависимостей, вычислить статические характеристики типов рельефа и т.д. (Девдариани, 1967). Автоматическому распознаванию форм и типов рельефа местности посвящены и другие работы зарубежных авторов (Simon, 1969; Idelsohn, 1970 и др.).

Следует подчеркнуть, что практическое использование метода аппроксимации при выборе вариантов трассы железной дороги по условиям рельефа местности впервые рассматривается в статье В.В.Космина (1967). Опыт, проделанный В.В.Косминым еще раз доказал возможность решения различных морфометрических задач на ЭВМ.

Предлагается методика создания карт уклонов местности, основанная на принципе электрического моделирования рельефа, которая позволит автоматизировать процесс составления карт уклонов местности (Свентак, 1973).

Создание морфометрических карт с применением ЭВМ и АК (типа «кингматик») нашло свое дальнейшее развитие в работах Krcho Jozef, (1971), Е.Е.Ширяева (1973а, 1973б); В.М.Чернина (1973) и др.

Способ, предложенный Е.Е.Ширяевым «автоматического составления карт плотности линейных объектов» относится к одному из современных направлений в картографии, связанных с преобразованием картографической информации. На примере составления морфометрических карт (карты густоты речной сети, карты расчлененности рельефа и т.д.) и площадей плотности, исследуются принципы автоматического считывания и преобразования информации о линейных объектах дифференцированным и интегральным способами. Намечается возможность полной автоматизации процесса составления карт (Салищев, 1987, Жуков, Сербенюк, Тикунов, 1980).

Определение длин извилистых линий и площадей по картам с помощью автоматических сканирующих устройств

В настоящее время намечаются некоторые пути усовершенствования методов измерения длин извилистых линий и площадей по картам с помощью сканирующих устройств. Сканирующие системы обладают большой разрешающей способностью для более быстрого считывания графической информации, что является реальной предпосылкой использования их для автоматического измерения по картам линейных (Пурсаков, 1970; Ширяев, 1976) и площадных (Ширяев, 1976; Керша, 1974; Комиссаров, Расположенский, 1974 и др.) объектов.

Считывание сканированием заключается в последовательной развертке площадных или же линейных объектов изображения в строку. При этом происходит преобразование непрерывных сигналов в дискретные с заданной величиной шага. Затем производится дешифрирование развернутого изображения, т.е. опознавание изображения путем логических операций и кодирование его в форме, пригодной либо для воспроизведения, либо для повторной обработки ЭВМ по специальной программе. Метод сканирования позволяет не только считывать картографическую информацию, но и получать текущие координаты точек считываемого изображения в целях дальнейшей их обработки в зависимости от характера поставленной задачи. (Анисимов, 1987)

Сканирующие устройства, используемые для автоматического считывания графической информации, могут

быть разделены на два вида.

1. Устройства с электромеханической разверткой изображения;
2. Устройства с электронной разверткой изображения.

Основу устройства первого вида составляют оптико-механические генераторы светового пятна для сканирования всего кадра (рис.1). Достоинствами этих генераторов является высокая разрешающая способность, а также высокий уровень яркости светового пятна, который дает возможность сканировать изображения с малой контрастностью. Существенным недостатком таких генераторов являются значительная сложность механических систем и трудность управления положением светового пятна.

Существующие устройства, используемые для автоматического считывания графической информации с электронной разверткой изображения, резко отличаются от электромеханической развертки. В устройствах второго вида в качестве генератора светового пятна используются электронно-лучевые трубки (ЭЛТ), которые позволяют получить значительно большее быстродействие, чем при электромеханической развертке изображений. Однако, системы с электронной разверткой в настоящее время еще не позволяют разбивать изображение на столь большое число элементов, какое возможно при помощи использования электромеханических развертывающих систем. Причиной этого является низкий уровень яркости ЭЛТ с магнитным управлением.

Следует отметить, что одной из трудностей сканирующего устройства при автоматическом считывании инфор-

мации с карт является распознавание объекта измерений. Последнее может быть решено на основе кодирования картографической информации. Для кодирования картографической информации с целью ее автоматического считывания предлагается использовать краски с различными спектрами люминесценции (Ширяев, Маслаков, Комиссаров, 1970 и др.).

В настоящее время для решения различных картометрических задач ведется большая работа над созданием сканирующих устройств как с электронной разверткой изображения, так и электромеханической разверткой.

В проблемной лаборатории комплексного картографирования и атласов географического факультета МГУ разработана лабораторная модель электронного картографического планиметра (ЭКП) с электромеханической разверткой изображения, выполненное на базе фототелеграфного аппарата типа «Ладоба». Для примера ниже излагаются краткая характеристика и принцип работы сканирующего устройства с электромеханической разверткой изображения.

А. Характеристика сканирующего устройства:

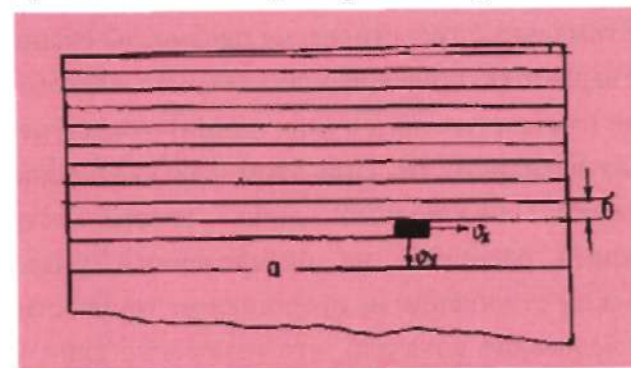
1. Наибольшая ширина считываемого изображения (длина строки развертки) равна 480 мм, полезная длина равна $456\text{мм} \pm 4\text{мм}$.

2. Имеется три скорости развертки: 60, 90 и 120 стр./мин и две подачи (т.е. шаг развертки), равные 0,265 мм/стр. и 0,53 мм/стр.

3. Имеется ручная протяжка карты и ручное перемещение светового пятна вдоль строки.

Б. Принцип работы. Считывание сканированием заключается в последовательной развертке площади изображения в строку. Роль светового пятна заключается в том, чтобы двигаясь последовательно по полю зрения, освещать отдельные детали знака через определенные промежутки, т.е. световое пятно не считывает знака, а пробегая вниз по сканирующему участку и затем возвращаясь в положение, находящееся немного правее исходного, сканирует участок. В итоге луч рисует извилистые сетки. Считывание знака производится при каждом движении светового пятна фотоэлектронными умножителями, установленными таким образом, чтобы на них падал отраженный от страницы свет. Так что при пересечении светового пятна зачерненного участка рисунка в цепи фотодиода возникают электрические импульсы, которые поступают в счетно-решающее устройство, где они суммируются и переводятся в метрическую систему. Результаты измерения площадей выдаются на световое табло, выполненное на цифровых лампах.

Принцип линейной развертки изображения.



а – строка развертки; б – шаг развертки. Рис. 1.

Следует отметить, что рассчитанные параметры (0,265 мм/стр. и 0,53мм/стр.) сканирующего устройства типа «Ладога» предназначены для определения площадей лишь с одним сканированием с точностью измерения $\pm 0,5\%$ и применение их при измерении длины извилистых линий связано со следующими недостатками: во-первых, полученные результаты из счетчика сканирующего устройства после каждого измерения длин извилистых линий следует умножить на коэффициент, равный 0,41605 (вычислено по формуле 2.36), который можно ввести в импульсные пересчетные устройства для того, чтобы на счетчике импульсов регистрировались результаты, не требующие дополнительных обработок при измерении длин извилистых линий; во-вторых, одно сканирование недостаточно для измерения длин извилистых линий с мелкими извилинами менее 0,53 мм. В таких случаях мелкие извилины могут оказаться между шагом развертки и не будут подлежать дискретизации, что приводит к заниженному результату измерения.

Поэтому, учитывая эти недостатки, нами были рассчитаны оптимальные теоретические параметры сканирования при 4-х вариантах, пригодных для автоматического измерения длин извилистых линий (или линии) с самой различной степенью извилистости. При этом для увеличения числа сканирования необходимо лишь ввести устройство, изменяющее развертки на определенный угол, что в техническом отношении не представляет трудности.

Исследование показало, что измерение длин извилистых линий с любой извилистостью достаточно произвести

с 2 или 3 приемами сканирования. При этом направление строк развертывается на определенный угол, которое прямо пропорционально от величины шага развертки. В целом процесс измерения длин извилистых линий с помощью автоматических сканирующих устройств состоит в том, что подсчитывается сумма точек пересечения извилистых линий со сторонами развертки (при установленных направлениях). В результате чего в счетчике сканирующего устройства появляется цифра, показывающая искомую длину извилистых линий в мм (в масштабе карты).

Особенности моделирования картометрических работ

Метод моделирование, как один из важнейших методов познания реальной действительности используется в науке давно. Особенно в наше время метод моделирования широко вошел в практику научного эксперимента и стал основным направлением, добывающим ценную информацию об изучаемом объекте в различных отраслях науки и техники. Без использования моделей трудно представить себе какую-либо науку. Моделирование широко используется в математике, физике, химии, биологии, медицине, геологии, географии, картографии и т.д. Сущность моделирования заключается в том, что исследователь для изучения объекта (оригинала) использует другой объект, находящийся в отношении сходства с оригиналом и выступающий в качестве модели его (Берлянт, 1978, 1985, 1986).

Модель создается для удобства выполнения тех или иных операций или исследования процессов и явлений, которые трудно, а иногда даже невозможно изучить непосредственно лабораторным или каким-либо другим опытным путем. Необходимость моделирования возникает на определенной ступени познания, когда дальнейшие исследования упираются в методологические трудности и требуют использования вспомогательных средств (Вахрамеева, 1986).

Именно так и случилось в картометрии, когда предложенные разными авторами способы и методы измерения длин извилистых линий потребовали более точной оценки. Поэтому необходим был новый подход к получению на

картах достаточно точных длин извилистых линий, которые могли бы использоваться в качестве эталонов при производстве оценки точности линейных измерений по картам. Учитывая необходимость моделирования в картометрии Г.И.Знаменщиковым (1957) впервые был применен метод моделирования для получения на картах точных длин извилистых линий (рек и горизонталей). В качестве модели Г.И.Знаменщиков применял нитяные металлические макеты.

Сущность этого метода заключается в том, что, измерив контрольной линейкой длины тонких и гибких металлических проволочек, их тщательно наклеивают ацетоновым клеем на рисунки извилистых линий (рек и горизонталей) на заранее изготовленных синих копиях, а оставшиеся после наклейки обрезки проволочек вновь измеряются контрольной линейкой. Таким образом, вычислив разность между первоначальными длинами наклеенных проволочек и их остатками после наклейки, определяют действительные – истинные (условно истинные) длины извилистых линий на фотокопиях. Эти фотокопии с наклеенными на них металлическими проволочками представляют собой нитяные макеты. Перед измерением фотокопии вновь фотографируются и изготавливаются рабочие макеты с известными длинами рек и горизонталей, которые подлежат измерению. (Салищев, 1987)

Полученные таким образом длины извилистых линий дают возможность дать оценку точности известных способов измерения длин извилистых линий по картам и разработать

методику учета наиболее реальных изменений длин извилистых линий в связи с извилистостью и генерализацией. (Жуков, Сербенюк, Тикунов, 1980.)

Предложенный нами метод моделирования также основывается на применении нитяных макетов, которые однако заметно отличаются от метода Г.И.Знаменщикова как по изготовлению нитяных макетов, так и по решаемым с их помощью задачам.

Сущность предлагаемой нами методики заключается в следующем:

1. Измеряются по контрольной линейке одинаковые по размеру длин тонких и гибких малодеформирующихся металлических проволочек при постоянном их натяжении. Размеры нитяных проволочек устанавливаются исследователем (в наших примерах длина проволочки принята равной 300 мм).

2. Из измеренных металлических проволочек изготавливаются модели, аналогичные извилистым линиям с самой различной степенью извилистости (изгибание проволочек производится произвольно).

3. Для удобства измерений модели-аналоги путем контактного фотографирования печатаются на фотобумаге¹. Эти фотокопии с изображением извилистых линий представляют собой нитяные макеты, длина которых заранее известна.

4. Перед измерением на каждом макете подсчитывается число извилин и проставляют нумерацию на маке-

¹ Деформации фотобумаги при фотографической обработке изготовления нитяных макетов из-за незначительности ошибки (0,31%) не учитывались.

тах так, чтобы порядковые номера макетов соответствовали возрастанию их числа извилин. Этот процесс необходим для установления ряда закономерностей между длиной извилистой линии и их извилин.

Изготовленные таким образом нитяные макеты подвергались исследованию. Измерение на макетах произведено циркулем-измерителем и графоаналитическими способами. Полученные результаты дали возможность решить следующие вопросы, характерные для моделируемого объекта, а именно:

1. Установить величину ошибки при прямых и обратных направлениях измерений.

2. Определить степень уменьшения длины измеряемой извилистой линии в зависимости от извилистости.

3. Определить величину поправки за извилистость длины измеряемой линии.

4. Дать оценку точности ранее предложенных способов измерений.

5. Установить взаимосвязь между измеряемой длиной линии и числом извилин.

6. Вывести формулы для измерения длин извилистых линий.

Следует отметить, что выбор правильной модели не является еще полным залогом успеха в разрешении тех или иных научных вопросов, поэтому необходимо также выбрать или разработать соответствующие методы исследования и правильно интерпретировать полученные на модели информации.

ГЛАВА II

ИССЛЕДОВАНИЕ СПОСОБОВ ИЗМЕРЕНИЯ ДЛИН ИЗВИЛИСТЫХ ЛИНИЙ ПО КАРТАМ

Анализ существующих способов измерения длин извилистых линий

Измерение длин извилистых линий по топографическим картам имеет важное теоретическое и практическое значение. Изыскание и проектирование различных гидротехнических, дорожных, энергетических и др. сооружений, а также исследования по геоморфологии, геологии, геодезии, почвоведению, картографии и т.д. требуют точных данных о длинах горизонталей, различных географических объектов: рек, характерных структурных линий, береговых линий и т.д.

При решении этих задач географическая карта является основным источником, содержащим необходимую информацию о рельефе местности. Следует отметить, что с карты соответствующую информацию в виде числового материала можно получить лишь при помощи измерений, которые в свою очередь характеризуют «... непосредственно количественную сторону явлений, происходящих в природе и обществе» (Чеботарев, 1968).

Однако, измерение длины извилистых линий по картам отличается от истинных их значений. Исследования Ю.М.Шокальского (1930), Н.М.Волкова (1950), А.К.Маловичко (1951), Г.И.Знаменщикова (1963), В.П.Философова (1967), Р.А.Бабаева (1974) и др. показали, что искомую длину извилистых линий невозможно получить даже по

наиболее точным крупномасштабным топографическим картам из-за отсутствия методов, учитывающих влияния картографической генерализации и извилистости изображения, а также несовершенства инструментов и приборов, применяющихся в картометрии. Преодоление этих недостатков является основной задачей современной картометрии.

Исследованию данного вопроса посвящены работы Ю.М.Шокальского (1930), Штейнгауза (Steinhaus, 1930, 1954), Н.М.Волкова (1949, 1950, 1952, 1968, 1972), А.К.Маловичко (1951), Ф.А.Черняевой (1950), Г.И.Знаменщикова, Н.Н.Пархоменко (1957), Г.И.Знаменщикова (1959, 1961, 1963, 1964), Ю.С.Фролова (1964), И.В.Бусалаева (1966), С.И.Пурсакова (1969, 1970), Перкаля (Perkal, 1958), Малинга (Malinq, 1958, 1965, 1968), Р.А.Бабаева (1974, 1975) и др.

При измерении длин извилистых линий по картам одной из трудных задач является учет извилистости. Учет извилистости измеряемых длин извилистых линий в одних способах (способы Шокальского и Гидрометслужбы) осуществляется визуально, посредством специально составленных шкал извилистости, в других (способы Волкова, Черняевой, Знаменщикова, Бабаева и др.) – аналитическим путем с применением соответствующих формул.

Рассмотрим наиболее известные из существующих способов измерений длин извилистых линий по картам.

Сущность способа Ю.М.Шокальского (1930) учета извилистости реки заключается в следующем. Рассматривая на основании больших экспериментальных работ результаты измерения длин рек Виллой и Моньеро по карте Азиат-

ской России в масштабе 100 верст в одном дюйме (1:4200000), произведенного циркулями с девятью различными растворами (0,250; 0,200; 0,150; 0,100; 0,075; 0,050; 0,040; 0,030; 0,020 дюйма), Ю.М.Шокальский построил график, изображающий зависимость измеренных длин от величины раствора циркуля. Анализ по графику показал, что нарастание длины реки вместе с уменьшением раствора циркуля подчиняется известной закономерности. Это обстоятельство, пишет Ю.М.Шокальский «... Указывает, что, если бы было возможно работать с отверстием циркуля близким к нулю, то тогда возможно было бы найти и точную длину кривой, изображающей на карте реку. Следовательно, нужно было решить, какой характер нарастания длины этих двух рек с уменьшением растворения циркуля». С целью решения этой задачи графически, Ю.М.Шокальским были проведены сглаживающие кривые по графикам и продолжены до пересечения оси ординат. Таким образом, Ю.М.Шокальский нашел те значения длин, которые получились бы при измерении длин извилистых линий с нулевым раствором циркуля.

Определив по нулевой оси ординат величины нарастания длин рек Виллой (13,0% и 4,0%) и Моньеро (7,0% и 2,2%) соответственно при растворах циркуля 0,05 дм и 0,02 дм, Ю.М.Шокальский обнаружил, что отношение первого результата ко второму приблизительно равно 1,8, т.е. нарастание длин обеих рек одинаково, следовательно Ю.М.Шокальский принимает эту величину как некоторый постоянный коэффициент.

После этого Ю.М.Шокальский выбрал на карте пять участков рек, отличающихся по степени извилистости, и каждый из них измерил циркулем с различными растворами (0,05; 0,04; 0,03 и 0,02 дюйма). Построив по этим измерениям графики, он нашел величины зарастаний длин пяти рек в процентах, подобно тому, как это было сделано для рек Виллой и Моньеро, и полученное число умножил на коэффициент 1,8, чтобы привести от измерения циркуля в 0,05 дюйма (1,3 мм) к измерению циркулем с нулевым раствором. В результате этого получилось для пяти образцов рек поправочные коэффициенты, которыми сам Ю.М.Шокальский был неудовлетворен, так как шкала коэффициентов получилась неравномерной. С целью уточнения поправочных коэффициентов Ю.М.Шокальский вновь измерил те же образцы извилистости по увеличенным в 10 раз фотографиям. Благодаря этому наименьший раствор удалось довести как бы до 0,002 дм (0,05 мм). Коэффициенты получились следующие I - 1,054; II - 1,030; III - 1,074; IV - 1,346; V - 1,78.

Таким образом, учет извилистости реки по способу Ю.М.Шокальского производится в следующем порядке:

1. При измерении реки разбивают на участки по степени извилистости.
2. Каждый отрезок (участок) реки визуально, путем сличения приравнивается по шкале с образцами извилистости и выбирается для каждого участка реки в отдельности соответствующий коэффициент.
3. Производится измерение длин рек циркулем с раствором 1,3 мм (0,05 дюйма).

4. Измеренная длина рек умножается на поправочный коэффициент выбранной по шкале извилистости.

Способ Ю.М.Шокальского определения извилистости реки не дал желаемого результата из-за малого количества шкал и неравномерности поправочного коэффициента вычисленных для пяти образцов рек. По этому поводу Ю.М.Шокальский пишет. «... Теперь совершенно ясен путь, каким надо идти для нахождения более совершенной шкалы. Следует на карте избирать не пять образцов, а много больше и исследовать их при помощи нашего второго способа (фотографического увеличения). Затем уже из большого числа образцов подобрать равномерную шкалу извилистости».

В 1949 году в системе Управления «Гидрометслужбы» уточнен способ Ю.М.Шокальского: увеличено количество шкал по извилистости до двенадцати градаций; проведены измерения длин извилистых линий рек по топографическим картам масштаба 1:100000 и крупнее. Сущность способа «Гидрометслужбы» заключается в том, что измеряемые извилистые линии разбивают на участки с различной степенью извилистости. Затем циркулем с раствором равным одному миллиметру, измеряют длину каждого участка реки и полученные данные умножают на соответствующий коэффициент, выбранной шкалы извилистости (см. рис.2).

Г.И.Знаменщиков (1959) определил, что среднее квадратическое отклонение результатов измерений по способу «Гидрометслужбы» составляет 2,1-2,5% от длин линий нитяных макетов.

Однако способ «Гидрометслужбы» имеет ряд существенных недостатков:

а) определение степени извилистости линий субъективно;

б) выбор поправочного коэффициента по шкале извилистости приблизителен, так как между поправочными коэффициентами по шкале извилистости не предусмотрены промежуточные значения;

в) способ измерения трудоемок.

В дальнейшем способы измерения длин извилистых линий с учетом поправок на извилистость разработались Н.М.Волковым (1949, 1950), А.К.Маловичко (1951), Ф.А.Черняевой (1958), Г.И.Знаменщиковым (1963), Ю.С.Фроловым (1964), Р.А.Бабаевым (1974) и др.

Анализируя исследования Ю.М.Шокальского (1930), Н.М.Волков (1949, 1950) установил, что между предельной длиной линии $L_{пр}$ и измеренной длиной L и величиной раствора циркуля d существует определенная закономерность, которая выражается формулой

$$L_{пр} = L + \beta \sqrt{d}, \quad (2.1.)$$

где $L_{пр}$ – длина извилистой линии со всеми её извилинами, которая получилась бы, если бы измерения производились циркулем с раствором (d), стремившимся к нулю:

β – некоторый коэффициент.

Величину $L_{пр}$ Н.М.Волков предложил вычислять из системы уравнений, которую можно получить путем измерений длин извилистых линий дважды L_1 и L_2 соответствующими растворами d_1 и d_2 .

Составив два уравнения:

$$L_{пр} = L_1 + \beta \sqrt{d_1},$$

$$L_{пр} = L_2 + \beta \sqrt{d_2}.$$

Н.М.Волков исключил из них величину коэффициента β и тем самым предложил формулу для измерения длин извилистых линий с учетом поправок на извилистость, т.е.

$$L_{пр} = L_1 + (L_1 - L_2) K, \quad (2.2.)$$

Где
$$K = \frac{\sqrt{d_1}}{\sqrt{d_2} - \sqrt{d_1}}.$$

Словесная формулировка этого правила вычисления длин извилистых линий на карте такова: длина извилистой линии по карте равна её длине, полученной с меньшим раствором циркуля, плюс поправка на извилистость, равная произведению коэффициента K^1 на разность длин, полученных измерением двумя циркулями (Волков, 1950).

Способ Н.М.Волкова предполагает, что для получения достаточно точного результате необходимо вычислить редуцированную длину в масштабе 1:1. Для этого необходимо воспользоваться двумя картами разного масштаба так, чтобы на каждой из них был изображен объект, длину которого надо измерить. Одна из этих карт должна быть, по возможности, более крупного масштаба, а вторая по масштабу должна быть мельче первой в 4 раза. Затем, на каждой карте в отдельности, измерив длину извилистой линии с двумя разными растворами циркуля, отличающимися между собой в 4 раза, определяют по формуле (2.2) предельную длину искомой линии с учетом поправок на извилистость. При таком соотношении растворов циркуля d коэффициент «К» приравнивается к единице и процесс вычисления облегчается.

Предельная длина извилистой линии является лишь

¹ Н.М.Волковым составлена специальная таблица для определения значения «К» (Волков, 1950, стр. 109).

размером изображения этого объекта на данной карте и всегда отличается от действительных размеров этого объекта в природе. Приближение результатов измерений к действительности осуществляется путем учета влияния генерализации. Процесс этот в картометрии принято называть редуцированием.

Для определения редуцированных длин извилистых линий в масштабе 1:1, результаты измерения по двум картам L'_{np} и L''_{np} , вычисленные по формуле (2.2), подставляются в следующую формулу

$$L_{ред} = L'_{np} + (L'_{np} - L''_{np})t, \quad (2.3)$$

где
$$t = \frac{\sqrt{M_1}}{\sqrt{M_2} - \sqrt{M_1}},$$

L'_{np} - длина извилистой линии, вычисленная по формуле (2.2) на основании результатов измерения по карте более крупного масштаба 1: M_1 ;

L''_{np} - длина извилистой линии, вычисленная по формуле (2.2) на основании результатов измерения по карте более мелкого масштаба 1: M_2 ;

t - коэффициент, который зависит от соотношения масштабов карт и берется из таблицы (Волков, 1950, табл. 39, стр. 115).

Определение редуцированной длины линий по способу Н.М.Волкова в свою очередь приводит к дополнительным четырехкратным измерениям (с учетом

контроля до восьми), что значительно увеличивает объем картометрических работ и их трудоемкость.

А.К.Маловичко (1951) считает, что формула (2.2) является ошибочной, так как между величиной раствора циркуля d и измеренной длиной L существует не параболическая, а линейная зависимость. Основываясь на чисто теоретических рассуждениях, А.К.Маловичко предложил следующую формулу:

$$L^{\circ} = L_1 + (L_1 - L_2) \frac{d_1}{d_2 - d_1}, \quad (2.4)$$

где L° - длина извилистой линии с поправкой на извилистость (остальные обозначения те же, что и в формуле 2.2).

Исследования Г.И.Знаменщикова (1961) показали, что при измерении длин извилистых линий формула (2.4) дает несколько лучшие результаты, чем формула (2.2), но она так же, как и в способе Н.М.Волкова, основана на двойном измерении длин извилистых линий на карте.

При исследовании длин извилистых линий Г.И.Знаменщиковым (1963) были применены нитяные макеты, в результате чего им был предложен монограммный метод, суть которого заключается в том, что в измеренную длину извилистых линий (с меньшим раствором циркуля) вводится поправочный коэффициент $(1 + 0,01 K_{ред})$, учитывающий совместное влияние извилистости и картографической генерализации. С этой целью длины извилистых линий измеряются на карте дважды (L_1 и L_2) с двумя

растворами циркуля (d_1 и d_2). Затем по формуле:

$$Q = \frac{L_1 - L_2}{L_1} 100\% \quad (2.5)$$

определяется коэффициент укорачивания длин извилистых линий в процентах. Далее по значениям Q находят редуцированную поправку ($K_{ред}$) по номограмме, откуда $L_{ред}$ определяется по формуле:

$$L_{ред} = L_1 + (1 + 0,01K_{ред}), \quad (2.6)$$

где $L_{ред}$ – длина извилистых линий с учетом генерализации и извилистости.

Способ Г.И.Знаменщикова, как и предыдущие способы, требует двойных измерений, что в свою очередь увеличивает объем картометрических работ при определении длины извилистых линий.

Многие исследователи отдают предпочтение измерению длин извилистых линий (в том числе горизонталей) по картам методом палетки: Штейнгауз (Steinhaus, 1930, 1954), М.К.Бочаров и С.А.Николаев (1957); Перкал (Perkal, 1958); Малинг (Malinq, 1965); Л.Красаускас (Krasauskas, 1966); И.В.Бусалаев (1966); С.И.Пурсаков (1969, 1970); Р.А.Бабаев (1975) и др.

Теоретическое обоснование метода измерения длин извилистых линий графоаналитическим способом, непосредственно применением палетки впервые разработано польским математиком Штейнгаузом, который, основываясь на теории Крофтона (1968), нашел зависимость меж-

ду количеством пересечений извилистых (кривых) линий с прямыми линиями палетки и их длиной (Malinq, 1965). Штейнгауз вычислил число пересечений с палеткой, на которой нанесены прямые линии, находящиеся на определенном расстоянии друг от друга. После каждого подсчета числа пересечений M , палетка поворачивается на угол Π/N и процесс повторяется.

Для практического определения длин извилистых линий им рекомендована палетка «Лонгиметр», построенная по данным $q=3,82$ мм и $N=6$ (рис.3а и 3б) и формула в виде:

$$\Sigma l = \frac{\pi q}{2N} M, \quad (2.7)$$

где M – число точек пересечения измеряемой линии со сторонами квадратной сетки лонгиметра;

q – расстояние между прямыми параллельными линиями на палетке;

N – число приемов измерения при разных положениях палетки.

Лонгиметр Штейнгауза состоит из трех сеток квадратов со сторонами 3,82 мм, совмещенных под углом 30 и 60°. При измерении извилистых линий лонгиметр накладывается на карту так, чтобы концы измеряемой линии оказались внутри сетки. Затем подсчитывается число сторон квадратов при трех положениях сеток, пересекаемых извилистыми линиями, которое дает искомую длину измеряемой линии в мм (в масштабе карты).

Рис. 3а.

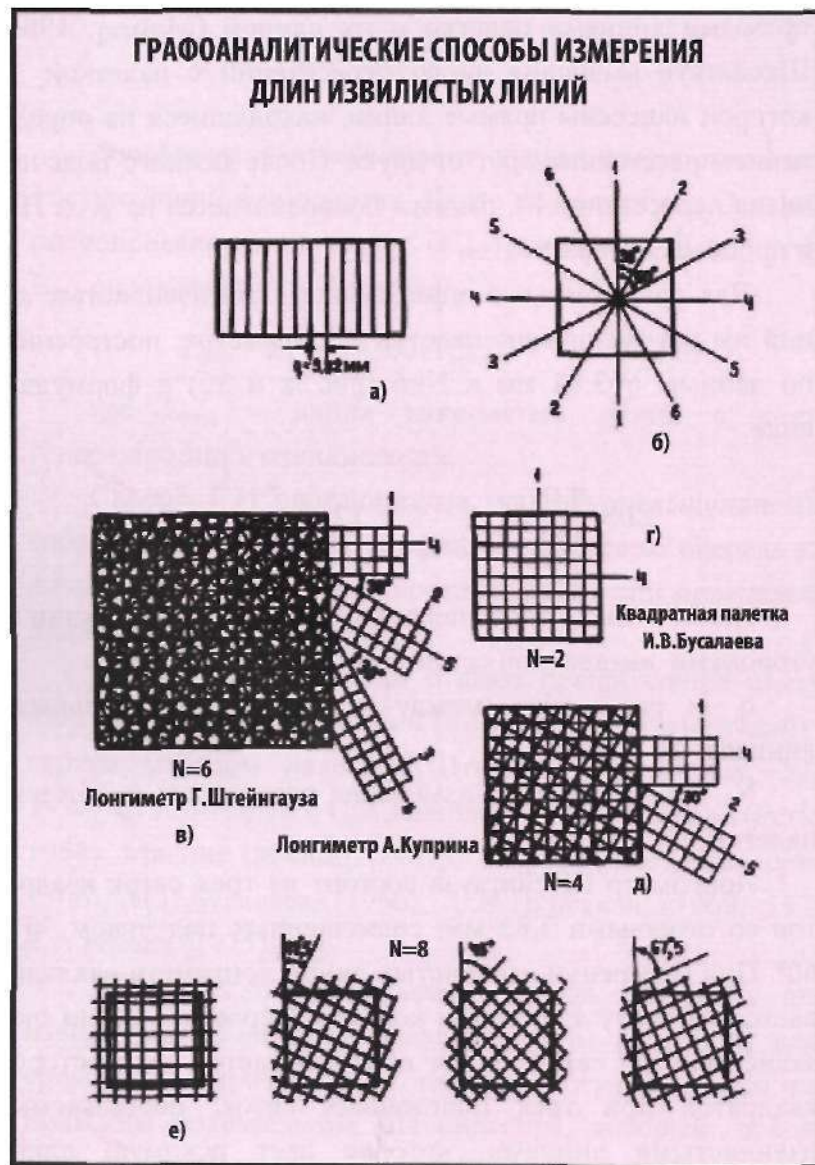
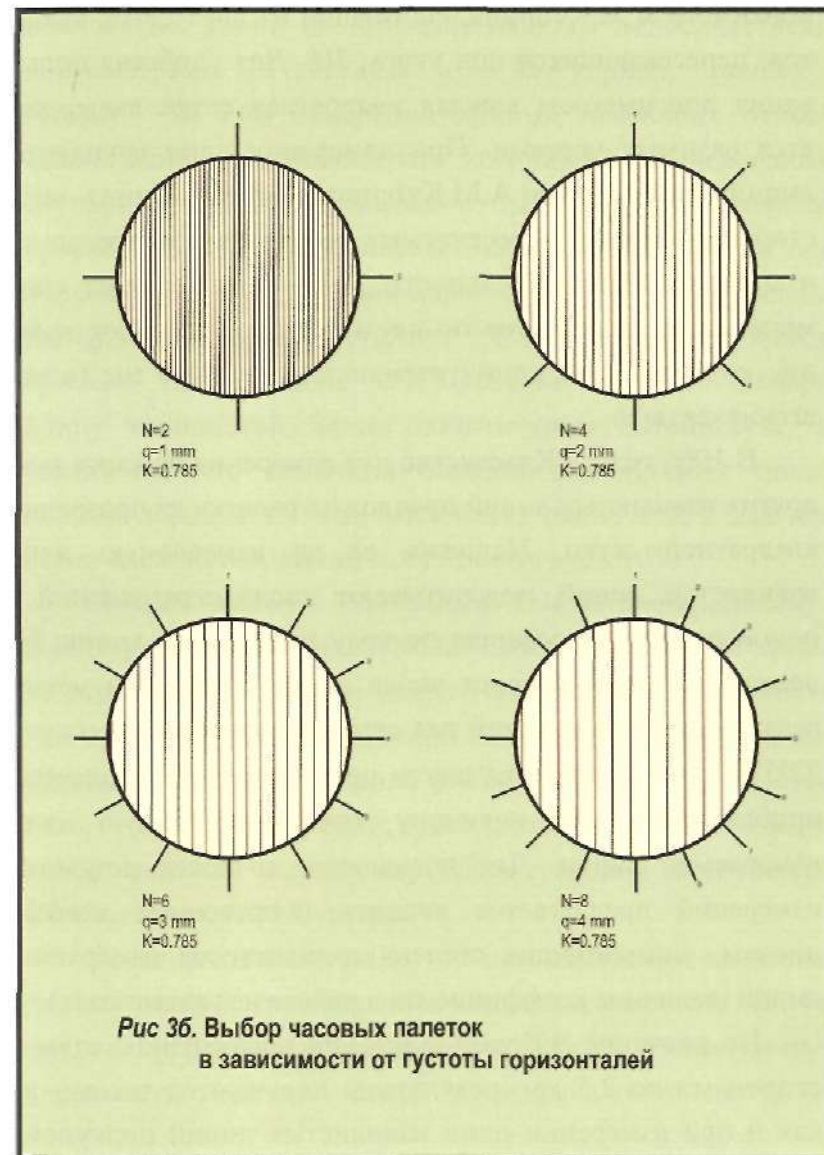


Рис. 3б.



По принципу лонгиметра Штейнгауза был построен лонгиметр А.М.Куприна, состоящий из двух сеток квадратов, пересекающихся под углом 30° . Для удобства пользования лонгиметром каждая квадратная сетка вычерчивается разными цветами. При измерении длин извилистых линий лонгиметром А.М.Куприна подсчитывается число сторон квадратов, пересекаемых по сетке квадратов одного и другого цвета в отдельности. Далее берут среднее арифметическое из отсчетов по двум сеткам, утроенное значение которого дает длину извилистых линий в мм (в масштабе карты).

В 1966 году Л.Красаускас для измерения на карте рек и других извилистых линий предложил палетку из прозрачной квадратной сетки. Наложив её на измеряемую длину извилистых линий, подсчитывают число перемещений из одной палетки в соседнюю по ходу измеряемой линии. Положение сетки и подсчет числа шагов производят четыре раза; каждый следующий раз сетка поворачивается на угол $22^\circ 5'$. Сумма количества шагов по всем четырем подсчетам приближению дает величину, пропорциональную длине измеряемой линии. Для повышения точности результата измерений предлагается вводить поправочные коэффициенты, учитывающие степень извилистости измеряемых линий (величина коэффициента в работе не указывается).

По расчетам Л.Красаускаса при применении сетки со сторонами по 2,5 мм, результаты получаются такими же, как и при измерении длин извилистых линий циркулем с раствором 1 мм.

Г.И.Знаменщиков (1965), производив измерение длин извилистых линий по нитяным макетам непосредственно лонгиметрами Штейнгауза и А.М.Куприна, пришел к выводу, что при измерении кривых, имеющих относительно меньшую извилистость, истинные ошибки являются случайными и не превышают 3,1%, а при измерении кривых с большей извилистостью истинные ошибки приобретают систематический характер за счет укорачивания измеренных длин и достигают 9,1%. К такому же выводу привело исследование С.И.Пурсакова (1970). Измерив длину извилистой линии лонгиметром Штейнгауза, он установил, что величина ошибки для прямых линий, длиной порядка 150 мм, составляет около 1%, а для наиболее извилистых линий могут достигнуть 10%.

Однако выводы сделанные Г.И.Знаменщиковым и С.И.Пурсаковым (относительно более извилистых линий) не подтвердились после нашего измерения длин извилистой линии по видоизмененной палетке (часовой палетке)¹ Штейнгауза и А.М.Куприна (Бабаев, 1975). Следует отметить, что при измерении длин извилистой линии по часовой палетке мы не нарушали условий лонгиметров Штейнгауза и А.М.Куприна.

Исследование показало, что при измерении длин извилистых линий графоаналитическими способами (в том числе лонгиметрами) выявляются случайные ошибки из-за неточности подсчета числа M , а выявление системати-

¹ Принцип работы часовой палетки подробно изложен в главе II § 26.

ческих ошибок за счет извилистости во все отсутствует. Это объясняется тем, что чем больше извилистая линия подвергается измерению лонгиметрами, тем труднее становится подсчет числа M_1 из-за сложности совмещения измеряемой линии с линиями лонгиметров, состоящих из очень сложных сочетаний переплетения прямых линий (рис. 3. в, д). Поэтому измерение длины извилистой линии такими сложными палетками (лонгиметрами), безусловно, порождают ошибки, величина которых связана с непрерывным подсчетом числа сторон квадратов, пересекаемых с измеряемой извилистой линией. Например, чем больше извилины, тем труднее подсчитывать число M . А неправильный подсчет M увеличивает ошибки измерений, так как между M и $\Sigma \ell$ существует прямая зависимость (формула 2.7). Кроме того, измерение суммарной длины каких-либо объектов (например, горизонталей, орографических линий, водостоков и т.п.) лонгиметрами является утомительным, иногда даже невозможным из-за трудности подсчета числа M . Именно этот факт явился причиной непригодности лонгиметров для широкого применения их в картометрии. Указанные недостатки частично устранены в лонгиметре А.М.Куприна за счет разрежения сетки и изображения её двумя цветами.

Учитывая трудоемкость и низкую точность измерения длин извилистых линий циркулем-измерителем, И.В.Бусалаевым (1966) предлагается графоаналитический (вероятностный) способ измерения с помощью квадратных палеток (рис. 3.г). Теоретическое обоснование этого способа

автор дал исходя из задачи Бюффона. Формула, предложенная И.В.Бусалаевым (1966) имеет вид:

$$\Sigma \ell = \frac{1,57q}{2} M', \quad (2.8)$$

где M' - общее число пересечений извилистых линий со сторонами квадратной сетки.

Сущность работы по методу И.В.Бусалаева заключается в том, что исследуемый участок накладывается квадратная сетка и подсчитывается число точек пересечения сторон квадратов с измеряемой линией. Подсчитав полученные данные в формуле (2.8) нетрудно вычислить искомую длину линий в мм. Следует отметить что расстояние между прямыми параллельными линиями сетки q (т.е. длина сторон квадратов) И.В.Бусалаевым в работе указаны в км (4,6 и 12 км) при различных высотах сечения карты (20, 40 и 80 м). Поэтому установить оптимальный размер q нам не удалось.

Произведя большие экспериментальные работы по измерению длин рек и горизонталей в пределах 15 бассейнов рек Казахстана, И.В.Бусалаев установил, что точность измерения длин извилистых линий (рек и горизонталей) по квадратной палетке (формула 2.8) колеблется от 0 до 12,5%.

Формула, предложенная С.И.Пурсаковым (1969) для измерения длин извилистых линий графоаналитическим способом, имеет более общий вид, чем формулы (2.7) и (2.8).

$$\Sigma \ell = \frac{\pi q}{2N} \sum_{i=1}^N M_i, \quad (2.9)$$

где M_i - число точек пересечения извилистых линий с прямыми параллельными линиями на палетке (при N поворотах палетки на угол π/N).

Словесная формулировка формулы (2.9) заключается в том, что если M_i есть число точек пересечения извилистых линий с некоторой системой (N), состоящих их прямых параллельных линий со сторонами q , то $\Sigma \ell$ представляет общую длину извилистых линий. Это свойство графоаналитического способа позволяет определить общую длину извилистых линий, минуя измерение каждой из них в отдельности, что выгодно, например, при определении общей длины речной сети, горизонталей на участке карты, необходимых для вычисления ряда морфометрических показателей (Пурсаков, 1970).

С.И.Пурсаков (1969) впервые показал возможность автоматизации измерения длин извилистых линий с помощью автоматических сканирующих устройств. В качестве сканирующих систем С.И.Пурсаковым предложено анализирующее устройство фототелеграфного аппарата с плоскостной разверткой (ФТАП) в сочетании с электронным счетчиком импульсов, регистрирующие число пересечений измеряемых длин линий со строками развертки - M_i .

Из вышеизложенного следует, что измерение длин извилистых линий является очень трудоемким процессом, поэтому и исследовательская мысль направляется на упрощение способов измерения и на их автоматизацию (Вольков, 1968).

Предложенные полуавтоматические приборам А.В.Бо-

родина (1967), В.М.Чернина (1967), В.И.Анисимова (1985, 1987) для измерения длин извилистых линий построены на принципах накопления результатов измерений. Пока эти приборы массового применения не получили и поэтому до сих пор пользуются циркулями с постоянными растворами и графоаналитическими способами измерений.

Оценка точности измерения длин извилистых линий методом моделирования

а) Способ измерения длин извилистых линий по картам циркулем

Учитывая трудоемкость измерительных работ и малую точность ранее предложенных способов измерения длин извилистых линий циркулем, нами поставлена задача, как можно точнее исследовать данный вопрос с помощью нитяных макетов, изучить точность ранее предложенных способов, рассчитать величину поправки за извилистость, установить закономерность между измеряемой длиной линии и числом извилин и т. д.

При решении вышеуказанных задач циркулем мы использовали 37 образцов нитяных макетов (рис. 4), отличающихся между собой самой различной степенью извилистости (от 3 до 96 извилин). Длина каждого макета измерена неоднократно металлической линейкой и тем самым определены истинные (условно истинные) размеры извилистых линий на макетах ($L_0 = 300$ мм).

Измерение по нитяным макетам проведено циркулем с раствором $d = 1$ мм, 2 мм, 3 мм и 4 мм. Каждая изви-

листая линия измерялась 10-12 раз в прямом и обратном направлениях. Таким образом, количество измерений всех извилистых линий превышает 1500. Исследования показывают, что результаты прямых и обратных измерений отличаются друг от друга: при растворе циркуля $d=1$ мм и 2 мм расхождение между измеренной и истинной длинами достигает порядка 1 – 1,5% в зависимости от степени извилистости, а при $d = 3$ мм и 4 мм указанная ошибка вдвое увеличивается и доходит до 3%. Для учета ошибок прямого к обратного измерений вычислены их средние арифметические значения по формуле:

$$\bar{L}_{из} = \frac{L_{из}^{(1)} + L_{из}^{(2)} + \dots + L_{из}^{(n)} + L_{из}^{(1)} + L_{из}^{(2)} + \dots + L_{из}^{(n)}}{2N_1} = \frac{\sum_{j=1}^N L_{из}^{(пр)} + \sum_{j=1}^N L_{из}^{(обр)}}{2N_1} \quad (2.10)$$

где n – количество извилистых линий по макетам;
 N_1 – число прямых и обратных измерений.

Вычислив по формуле (2.10) среднее арифметическое значение длин измеренных линий по макету, определяем истинную ошибку измеренного значения $\bar{D}_{из}$ в процентах по формуле

$$\Delta_{из} = \frac{L_0 - \bar{L}_{из}}{L_0} 100\% \quad (2.11)$$

где L_0 - истинная длина извилистой линии по макету.

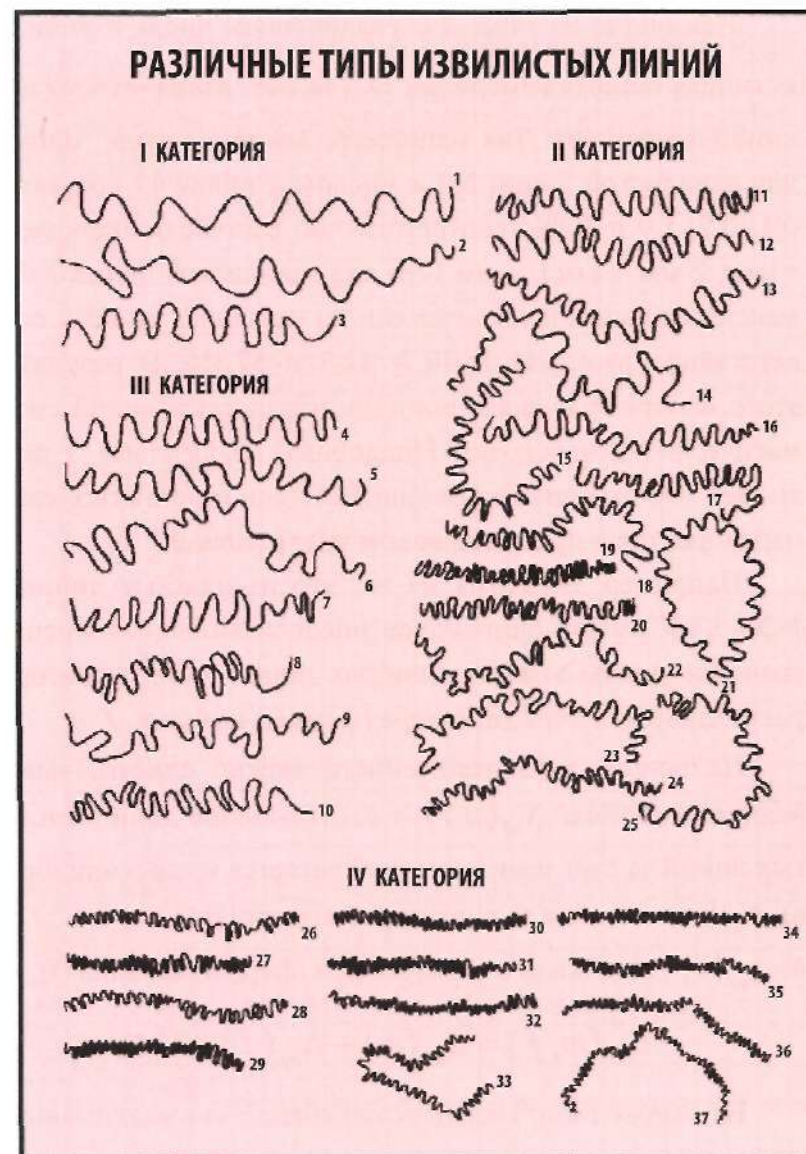


Рис 4.

Как видно из табл. 1 с увеличением числа извилин m истинная ошибка измерения Δ_{nd} за счет извилистости длин линий возрастает. Так например, величина этой ошибки для извилистой линии №1 с числом извилин 17 составляет 0,3; 0,7; 1,0 и 3,3% (соответственно растворам циркулей $d = 1$ мм, 2 мм, 3 мм и 4 мм.), то для извилистой линии №37 с максимальным числом извилин 96 указанная ошибка соответственно равна 18,0; 30,7; 41,3 и 57,3%. В результате этого измеренные значения длин извилистых линий систематически уменьшаются. Подробный анализ табл. 1 показывает, что относительные ошибки длин извилистых линий наблюдаются и при одинаковом числе извилин.

Например, несмотря на то, что извилистые линии за №№ 7,8,9 имеют одинаковое число извилин, измеренное значение длины этих извилистых линий имеет некоторые расхождения за счет характера (формы) извилин f .

На основе вышеизложенного можно сделать вывод: величина ошибки $\Delta_{nd}(m, f)$, т.е. отклонение длин извилистых линий за счет извилистости складывается из двух ошибок:

- а) $\Delta_{nd}(m)$ - ошибки за счет числа извилин (m);
- б) $\Delta_{nd}(f)$ - ошибки за счет характера (формы) извилин (f), т.е.

$$\Delta_{nd}(m, f) = \Delta_{nd}(m) + \Delta_{nd}(f) \quad (2.12)$$

На основе табл. 1 нами установлено, что максимальное отклонение длин извилистых линий по нитяному макету за счет числа (m) и характера (f) извилин достигает следующих значений (табл. 2).

Таблица 1.

Отклонение $\Delta_{nd} = \frac{L_0 L_{nd}}{L_0} \cdot 100$ в % в диаметрах значений длин извилистых линий от истинных их значений по нитяным макетам

№№ Извилистых линий	Число извилин	Частота извилин	Отклонение Δ_{nd} в % при d равно				Отклонение Δ_{nd} в % при d равно			
			1 мм	2 мм	3 мм	4 мм	1 мм	2 мм	3 мм	4 мм
1	17	0,057	-0,3	-0,7	-1,0	-3,3	-8,7	-14,0	-17,3	-22,0
2	18	0,060	-1,0	-3,3	-5,0	-8,0	-5,7	-10,0	-14,0	-20,0
3	18	0,060	-0,7	-1,3	-2,3	-5,3	-6,3	-10,0	-14,0	-22,7
4	19	0,063	-1,0	-2,0	-2,7	-5,3	-5,0	-9,7	-13,3	-20,0
5	21	0,070	-1,3	-3,3	-4,0	-9,3	-10,7	-15,7	-23,0	-26,7
6	22	0,073	-2,0	-4,0	-4,3	-8,3	-13,3	-20,0	-26,0	-32,0
7	23	0,077	-2,3	-4,3	-8,2	-13,3	-12,0	-20,0	-26,0	-31,3
8	23	0,077	-2,0	-4,0	-4,3	-12,7	-14,0	-20,7	-26,0	-36,0
9	23	0,077	-2,0	-3,3	-4,3	-6,7	-14,0	-20,7	-26,7	-36,0
10	24	0,080	-2,3	-3,3	-6,0	-10,7	-14,3	-24,8	-27,3	-40,7
11	25	0,083	-4,0	-6,7	-8,0	-14,0	-15,3	-24,0	-28,0	-39,3
12	26	0,087	-4,3	-6,7	-8,0	-12,3	-15,3	-24,7	-29,0	-39,7
13	27	0,090	-3,3	-5,3	-8,0	-10,7	-16,7	-25,7	-30,0	-40,0
14	28	0,093	-3,7	-7,3	-8,0	-13,3	-15,7	-26,7	-32,3	-45,3
15	30	0,100	-4,7	-6,7	-10,0	-18,7	-16,0	-27,7	-32,0	-48,0
16	31	0,103	-7,3	-12,7	-13,3	-20,0	-16,7	-28,3	-32,3	-50,0
17	33	0,110	-6,7	-11,3	-13,0	-20,0	-17,3	-29,3	-36,0	-52,0
18	35	0,117	-7,7	-12,7	-14,7	-21,3	-18,9	-30,7	-41,3	-57,3
19	36	0,120	-7,7	-11,3	-14,0	-20,0	-	-	-	-

Таблица 2.

Максимальное отклонение длин в ‰

Виды ошибок	Максимальное отклонение ошибок в ‰ при различных растворах циркуля d равное			
	1 мм	2 мм	3 мм	4 мм
$\Delta_{nd}(m)$	18.0	30.7	41.3	57.3
$\Delta_{nd}(f)$	3.0	4.0	3.9	6.0
$\Delta_{nd}(m)\%$	6.00	7.67	10.59	9.55
$\Delta_{nd}(f)\%$	0.167	0.130	0.094	0.105

Процентное соотношение указанных ошибок, т.е. $\Delta_{nd(max)}(m)\%$ $\Delta_{nd(max)}(f)\%$ показывает, что (третья строка, табл. 2.) при измерении длин извилистых линий основной и преобладающий вид ошибок – это ошибка за счет числа извилин m . Учитывая, что это основной источник ошибок, вычисляем для каждой извилистой линии в отдельности (при $d = 1\text{ мм}$, 2 мм , 3 мм и 4 мм) величину ошибки (в мм), приходящуюся на одну извилину, по формуле:

$$\delta_{nd}(m) = \frac{L_0 - \bar{L}_{nd}}{m} \quad (2.13)$$

Суммируя полученное значение ошибок по формуле

(2.13) при различных растворах циркуля ($d = 1\text{ мм}$, 2 мм , 3 мм и 4 мм), определяем среднее арифметическое их значение по формуле:

$$\bar{\delta}_d(m) = \frac{\delta_{1d}(m) + \delta_{2d}(m) + \dots + \delta_{nd}(m)}{n} = \frac{\sum_{n=1}^n \delta_{nd}(m)}{n} \quad (2.14)$$

Подставив формулу (2.13) в (2.14), имеем:

$$\bar{\delta}_{nd}(m) = \frac{\sum_{n=1}^n \frac{L_0 - \bar{L}_{nd}}{m}}{n} \quad (2.15)$$

Умножив среднее значение $\bar{\delta}_{nd}(m)$ на число извилин m можно рассчитать величину ошибки для любой извилистой линии за счет числа их извилин, т.е.

$$\Delta_{nd}(m) = m \bar{\delta}_{nd}(m) \quad (2.16)$$

Подставив значения $\bar{\delta}_{nd}(m)$ в (2.16), получим

$$\Delta_{nd}(m) = m \frac{\sum_{n=1}^n \frac{L - L_{nd}}{m}}{n} \quad (2.17)$$

Вычислив по табл. 1 при различных растворах циркуля $d = 1\text{ мм}$, 2 мм , 3 мм и 4 мм среднее значение $\bar{\delta}_{nd}(m)$, определяем по формуле (2.17) величину ошибки в следующем виде:

$$\begin{aligned}
\text{при } d = 1 \text{ мм;} & \quad \Delta_{nd}(m) = 0,51m, \\
\text{при } d = 2 \text{ мм;} & \quad \Delta_{nd}(m) = 0,85m, \\
\text{при } d = 3 \text{ мм;} & \quad \Delta_{nd}(m) = 1,25m, \\
\text{при } d = 4 \text{ мм;} & \quad \Delta_{nd}(m) = 1,64m.
\end{aligned} \tag{2.18}$$

Следует отметить, что по аналогичной формуле (2.16) можно вычислить и ошибки, полученные за счет характера (формы) извилин (f):

$$\Delta_{nd}(f) = \bar{\delta}_{nd}(f) \cdot m \tag{2.19}$$

Значение $\bar{\delta}_{nd}(f)$ определяется по формуле:

$$\bar{\delta}_{nd}(f) = \bar{\delta}_{nd}(m) \frac{\Delta_{nd(\max)}(f)\%}{\Delta_{nd(\max)}(m)\%}, \tag{2.20}$$

где $\bar{\delta}_{nd}(f)$ - среднее арифметическое значение ошибок (в мм), приходящееся на одну извилину за счет характера (формы) извилин.

Подставив формулу (2.20) в (2.19) имеем:

$$\Delta_{nd}(f) = m \bar{\delta}_{nd}(m) \frac{\Delta_{nd(\max)}(f)\%}{\Delta_{nd(\max)}(m)\%}. \tag{2.21}$$

Значение $m \bar{\delta}_{nd}(m)$ есть ни что иное, как величина ошибки за счет извилин и определяется по формуле (2.16). Поэтому, подставив формулу (2.16) в (2.19), получим:

$$\Delta_{nd}(f) = \Delta_{nd}(m) \frac{\Delta_{nd(\max)}(f)\%}{\Delta_{nd(\max)}(m)\%}. \tag{2.22}$$

Производя соответствующие вычисления по формуле (2.22), при различных значениях $d = 1$ мм, 2 мм, 3 мм и 4 мм определяем величину ошибки за счет характера (формы) извилин, т.е.:

$$\begin{aligned}
\text{при } d = 1 \text{ мм;} & \quad \Delta_{nd}(f) = 0,09m, \\
\text{при } d = 2 \text{ мм;} & \quad \Delta_{nd}(f) = 0,11m, \\
\text{при } d = 3 \text{ мм;} & \quad \Delta_{nd}(f) = 0,12m, \\
\text{при } d = 4 \text{ мм;} & \quad \Delta_{nd}(f) = 0,17m.
\end{aligned} \tag{2.23}$$

Подставляя формулы (2.17) и (2.22) в (2.12), определяем величину ошибок за извилистость, т.е.:

$$\Delta_{nd}(m, f) = m \left[1 + \frac{\Delta_{nd(\max)}(f)\%}{\Delta_{nd(\max)}(m)\%} \right] \frac{\sum_{n=1}^n \frac{L_0 - \bar{L}_{nd}}{m}}{n}, \tag{2.24}$$

Откуда:

$$\begin{aligned}
\text{при } d = 1 \text{ мм;} & \quad \Delta_{nd}(m, f) = 0,60m \approx 0,6m, \\
\text{при } d = 2 \text{ мм;} & \quad \Delta_{nd}(m, f) = 0,96m \approx m, \\
\text{при } d = 3 \text{ мм;} & \quad \Delta_{nd}(m, f) = 1,37m \approx 1,4m, \\
\text{при } d = 4 \text{ мм;} & \quad \Delta_{nd}(m, f) = 1,81m \approx 1,8m.
\end{aligned} \tag{2.25}$$

Учитывая, что искомая длина извилистых линий с

учетом извилистости есть не что иное, как измеренная длина линий плюс поправка за извилистость, можно написать следующую формулу:

$$L = L_d + \Delta_{nd}(m, f) \quad (2.26)$$

подставив вычисленные значения ошибок (2.24) в (2.26), получаем следующие формулы, определяющие длины извилистых линий с учетом поправок за извилистость при различных растворах циркуля $d=1$ мм, 2 мм, 3 мм и 4 мм:

$$\text{при } d=1 \text{ мм; } L = L_d + 0,6m, \quad (2.27)$$

$$\text{при } d=2 \text{ мм; } L = L_d + m, \quad (2.28)$$

$$\text{при } d=3 \text{ мм; } L = L_d + 1,4m, \quad (2.29)$$

$$\text{при } d=4 \text{ мм; } L = L_d + 1,8m. \quad (2.30)$$

Как видно из формул (2.27), (2.28), (2.29) и (2.30), с увеличением раствора циркуля d ошибка (т.е. поправка) на извилистость систематически увеличивается. При этом значение каждого коэффициента от своего предыдущего значения отличается на 0,4. Поэтому, произведя простое арифметическое преобразование, указанные эмпирические формулы можно написать в общем виде:

$$L = L_d + (0,2 + 0,4d)m. \quad (2.31)$$

Следует отметить, что выведенная нами эмпирическая формула (2.31) для определения длин извилистых линий с учетом поправок на извилистость отличается от ранее предложенных формул своей простотой и не требует сложных вычислений. (Берлянт, 1978, 1985, 1986, 1988.)

В табл.3 приводятся отклонения длин извилистых линий в процентах от истинных их значений, вычисленных по формулам (2.27), (2.28), (2.29) и (2.30).

Как видно из табл. 3, максимальная ошибка вычисленных значений длин извилистых линий от истинных их значений по нитяным макетам не превышает $\pm 7,2\%$. Указанная ошибка при растворах циркуля $d=1$ мм составляет $\Delta l \leq \pm 3,7\%$ а при $d=2$ мм - $\Delta l \leq \pm 5,3\%$; $d=3$ мм - $\Delta l \leq \pm 6,9\%$; $d=4$ мм - $\Delta l \leq \pm 7,2\%$. Таким образом, более 69,8% вычисленных значений длин извилистых линий по нитяному макету определено с точностью до $\pm 4\%$, что можно считать вполне удовлетворительным для поставленной задачи (см. табл.4).

Исследования, проведенные Г.И.Знаменщиковым, Н.Н.Пархоменко (1957) по нитяным макетам показали, что по формуле (2.2) Н.М. Волкова (1950) значения ошибок при измерении длин линий в зависимости от их извилистости всегда завышенные и составляют «от 1,7 до 24,7%, причем ошибки более 10% имеют место для 7 кривых из двадцати». Указанные ошибки по формулам: (2.4) А.К.Маловичко заниженные и составляют «от 0 до 6.0%» (Знаменщиков, Пархоменко, 1957).

Таблица 3.

Отклонение длин извилистых линий (в %), вычисленные по формулам (2.27), (2.28), (2.29), (2.30) от истинных их значений

№№ извилистых линий	Истин. значение для извилистых линий	Отклонение длин извилистых линий (в %), вычисленные по формулам (2.27), (2.28), (2.29), (2.30) от истинных их значений L_0 , т.е.				№№ извилистых линий	Истин. значение для извилистых линий	Отклонение длин извилистых линий (в %), вычисленные по формулам (2.27), (2.28), (2.29), (2.30) от истинных их значений L_0 , т.е.			
		$\Delta L = L_0 - L_{изв} / L_0 \cdot 100\%$						$\Delta L = L_0 - L_{изв} / L_0 \cdot 100\%$			
		(2.27)	(2.28)	(2.29)	(2.30)			(2.27)	(2.28)	(2.29)	(2.30)
1	300	-3,1	-5,0	-6,9	-6,9	20	300	+0,9	+1,0	-0,9	-0,7
2	300	-2,6	-2,7	-3,4	-2,8	21	300	+2,1	-3,0	-4,2	-2,7
3	300	-2,9	-4,7	-6,1	-5,5	22	300	-1,7	-3,3	-4,7	-1,3
4	300	-2,8	-4,3	-6,2	-6,1	23	300	-2,0	-3,7	-5,3	-4,0
5	300	-2,9	-3,7	-5,3	-3,3	24	300	+1,5	+0,3	+1,5	-0,9
6	300	-2,4	-3,3	-5,9	-4,9	25	300	+3,3	+3,3	+2,7	+2,3
7	300	-2,3	-3,3	-3,1	-0,5	26	300	+1,8	+3,0	+2,2	+0,9
8	300	-2,6	-3,7	-6,4	-1,1	27	300	+3,6	+3,3	+1,7	+4,8
9	300	-2,6	-4,3	-6,4	-7,1	28	300	+3,4	+3,0	+1,9	+4,2
10	300	-2,5	-4,7	-5,2	-3,7	29	300	+3,1	+5,3	+1,2	+7,1
11	300	-1,0	-1,7	-3,1	-1,0	30	300	+3,7	+4,7	+0,9	+4,5
12	300	-0,9	-2,0	-4,3	-3,3	31	300	+3,1	+2,7	-1,8	+0,1
13	300	-2,1	-3,7	-4,6	-5,5	32	300	+2,3	+3,3	-1,3	-0,2
14	300	-1,9	-2,0	-5,1	-3,5	33	300	+2,1	+4,0	+0,6	+4,5
15	300	-1,3	-3,3	-4,0	-0,7	34	300	+2,4	+5,0	+0,3	+7,2
16	300	+1,1	+2,3	-1,1	+1,4	35	300	+1,7	+3,3	-2,6	+5,0
17	300	+0,1	+0,3	-2,4	+0,2	36	300	+0,5	+1,3	-3,1	+1,6
18	300	+0,7	+1,0	-1,7	+3,3	37	300	-1,2	-1,3	-0,5	-0,3
19	300	+0,5	-0,7	-2,8	-1,6	-	-	-	-	-	-

Таблица 4.

Число извилистых линий, отклонившихся от истинных значений их длин по нитяным макетам

Раствор циркуля d, мм	$L = L_0 + (0,2 + 0,4d)m$															
	Накопленные значения															
	$\leq \pm 1\%$	$\leq \pm 2\%$	$\leq \pm 3\%$	$\leq \pm 4\%$	$\leq \pm 5\%$	$\leq \pm 6\%$	$\leq \pm 7\%$	$\leq \pm 8\%$	$\leq \pm 1\%$	$\leq \pm 2\%$	$\leq \pm 3\%$	$\leq \pm 4\%$	$\leq \pm 5\%$	$\leq \pm 6\%$	$\leq \pm 7\%$	$\leq \pm 8\%$
d=1мм	7	9	14	7	-	-	-	7	16	30	37	-	-	-	-	
d=2мм	5	5	6	13	7	1	-	5	10	16	29	36	37	-	-	
d=3мм	5	8	5	5	4	5	5	5	13	18	23	27	32	37	-	
d=4мм	10	5	3	6	6	2	2	3	10	15	18	24	30	32	34	

Сравнительная характеристика точности измерения извилистых линий различными способами приводится в табл. 5.

Таблица 5.

Отклонения ошибок за извилистость линий, измеренных различными способами по нитяным макетам в %%

Способы измерений	Измерение длин извилистых линий произведено по формулам:	Раствор циркуля d, мм			
		при d=1мм d=2мм	при d=1мм d=3мм	при d=1мм d=4мм	
Способ Н.М. Волкова	$L_{np} = L_1 + (L_1 - L_2)K$ $K = \frac{\sqrt{d_1}}{\sqrt{d_2} - \sqrt{d_1}}$	От 0% до 12,6%	0,6%-13,9%	2,7%-21,3% [1,7%-24,7%] ¹	
Способ А.К. Маловичко	$L^0 = L_1 + (L_1 - L_2) \frac{d_1}{d_2 - d_1}$	0% - 7,3% [0 - 6,0%]	0 - 9,0%	0,1% - 7,7%	
Способ Г.И. Знаменщикова (метод номограмм)	$L_{ред} = L_1(1 - 0,01K_{ред})$ $Q = \frac{L_1 - L_2}{L_1} \cdot 100\%$	0,1% - 9,7%	0 - 11,3%	0,1% - 7,7%	
Способ Р.А. Бабаева	$L = L + (0,2 + 0,4d)m$	d=1 мм 0,1-3,7%	d=2 мм 0,1% - 5,3%	d=3 мм 0,3-6,9%	d=4 мм 0,1-7,2%

Как видно из табл. 5, предлагаемый нами способ определения длин извилистых линий, по сравнению со способами Н.М.Волкова, А.К. Маловичко и Г.И.Знаменщикова, дает несколько лучшие результаты. К тому же величину этих ошибок можно еще более уменьшить, группируя извилистые линии по категориям их извилистости. Это объясняется тем, что предложенная формула (2.31) для измерения длин извилистых линий за № 1-15 (табл. 3), имеющих сравнительно меньшее количество извилин (при различных растворах циркуля d), дает несколько завышенные

¹ В квадратных скобках указаны результаты Г.И.Знаменщикова, Н.Н.Пархоменко (1957).

результаты, а для более извилистых линий (№ 16-37) – в основном заниженные результаты. Это свидетельствует о наличии в полученных данных систематических ошибок, имеющих разные знаки. Этого следовало и ожидать, так как формула (2.31) выведена по данным средних арифметических значений длин извилистых линий. Поэтому вполне закономерно, что наилучшие результаты при измерении длин дают линии со средним количеством извилин (см. табл. 3).

Исходя из изложенного, мы предлагаем распределить извилистые линии по степени их извилистости на 4 категории (рис. 4) и пользоваться соответствующими формулами.

I категория. Линии, имеющие очень слабую извилистость

$$L = L_d + 0,4dm \quad (2.32)$$

II категория. Линии со слабой извилистостью

$$L = L_d + (0,1 + 0,4d)m \quad (2.33)$$

III категория. Линии со средней извилистостью

$$L = L_d + (0,2 + 0,4d)m \quad (2.31)$$

IV категория. Линии с сильной извилистостью

$$L = L_d + (0,3 + 0,4d)m \quad (2.34)$$

Формулы (2.32), (2.33), (2.34) представляют собой разновидности предложенной нами формулы (2.31).

Проведенные нами дополнительные экспериментальные работы подтверждают, что с увеличением значения постоянного «0,2» в формуле (2.31) длина извилистых линий ближе подходит к истинному значению линии, имеющие более извилистую форму (IV категория, рис. 4), а при уменьшения – наоборот.

Степень извилистости длин извилистых линий не-трудно установить по результатам отклонения длин линий, вычисленных по формулам (2,27), (2,28), (2,29), (2,30), от истинных их значений в процентах (см. табл. 3). При измерении длин извилистых линий по картам (т.е. при практических работах) степени их извилистости – категории можно определить на глаз. При неправильном установлении степени извилистости длин измеряемой линии, величина поправки не превышает $\pm 1,0\%$.

Для оценки точности формулы (2.24) при различных растворах циркуля ($d=1$ мм, 2 мм, 3 мм и 4 мм) вычислено среднее квадратическое отклонение $m_{\Delta l}$ по формуле

$$m_{\Delta l} = \pm \sqrt{\frac{[\Delta^2 nd]}{v}} \quad (2.35)$$

Результаты вычислений приводятся в табл. 6

Таблица 6.

Среднее квадратическое отклонение в %

Формулы		Растворы циркуля			
		d = 1 мм	d = 2 мм	d = 3 мм	d = 4 мм
L = L _д + (0,2 + 0,4d) m	L = L _д + 0,6 m,	± 2,24			
	L = L _д + m,		± 3,33		
	L = L _д + 1,4 m,			± 3,83	
	L = L _д + 1,8 m.				± 3,87

Как видно из табл. 6 значения среднего квадратического отклонения измеренных длин линий по формулам (2.27), (2.28), (2.29) и (2.30) отличаются друг от друга незначительно и можно сказать, что они практически имеют одинаковую точность определения поправок за извилистость и свидетельствуют от достаточной надежности способа вывода эмпирических формул с использованием исходных уравнений вида (2.31). Таким образом, применение формулы (2.31) эффективно не только в отношении затраты времени, но и в отношении точности полученных результатов (см. табл. 5 и 6).

б) Точность измерения длин извилистых линий по картам графоаналитическими способами

Существуют различные способы измерения длин извилистых линий по картам: механический, аналитический, графоаналитический, автоматический и др. Однако эти способы не всегда совершенны по своей методике и не всегда обеспечивают необходимую точность (Ю.М.Шокальский, 1930; Н.М.Волков, 1950; Г.И.Знаменщиков, 1968 и др.).

Учитывая трудоемкость картометрических работ, картографы отыскивают новые методы для упрощения способов по их автоматизации. Одним из таких методов является графоаналитический способ измерения.

Следует отметить, что многие исследователи: Штейнгауз (Steinhaus, 1954); Перкал (Perkal, 1958); Малинг (Malinq, 1965); Л. Красаускас (Krasauskas, 1966); И.В.Бу-

салаев (1966); С.И.Пурсаков, (1970); Р.А.Бабаев (1975); А.М.Берлянт (1976) и др. считают, что способ палетки является наиболее эффективным способом измерения длин извилистых линий по картам по затрате времени и точности работ. Поэтому графоаналитический способ измерения длин извилистых линий все время совершенствуется и является актуальным и по сей день.

Все предложенные в разные годы формулы для измерения длин извилистых линий графоаналитическими способами основываются на идее Штейнгауза. Поэтому их можно привести к общему виду (Пурсаков, 1970):

$$\Sigma \ell = \frac{\pi q}{2N} \sum_{i=1}^N M_i .$$

Следует отметить, что существующие графоаналитические способы измерения длин извилистых линий отличаются между собой лишь количеством совмещенных квадратных сеток, т.е. по числу приемов N, применяемых в том или другом способе измерений. Это наглядно видно в табл. 7 и на рис. 3.

Как видно из формулы (2.9), определение длин извилистых линий графоаналитическими способами в основном зависит от числа приемов N и расстояния q между прямыми линиями палетки. Меняя эти значения можно добиться того, чтобы коэффициент $\pi q/2N$ равнялся единице (табл. 8).

Таблица 7

Основные параметры графоаналитических способов измерения длин извилистых линий

Способы	Параметры			Кол-во квадратов
	N (раз) (число приемов)	q мм	π / N	
Л.Красаускаса (N=8)	8	2,5	22°5	4
Г.Штейнгауза (N=6)	6	3,82	30°	3
А.М.Куприна (N=4)	4	3,82	принято 30°	2
И.В.Бусалаева (N=2)	2	3-4	«-----» 90°	1
Сканирующая система С.И.Пурсакова	16	1	11°25	-

Таблица 8

Величина коэффициента

N	1	2	3	4	5	6	7	8	-	-	-	-	16
q мм	0,65	1,26	1,92	2,55	3,20	3,82	4,85	5,10	-	-	-	-	10,19

Беря значения N и q из таблицы 8, можно добиться того, чтобы длина измеряемой линии была численно равна количеству точек $\sum_{i=1}^N M_i$ независимо от масштаба карты.

Это свойство графоаналитического способа измерений позволяет определить длину не одной извилистой линии, а систему извилистых линий, минуя измерение каждой из

них в отдельности, что выгодно, например, при определении общей длины речной сети, горизонталей на участке карты, необходимых для вычисления ряда морфометрических показателей.

Некоторые исследователи (Красаускас, Пурсаков и др.) считают, что точность измерения длин извилистых линий графоаналитическими способами прямо пропорциональна точности подсчета среднего значения N (т.е.

$\sum_{i=1}^N M_i / N$). Поэтому они предлагают увеличить число

приемов N до определенного предела, уменьшая одновременно расстояние q между прямыми линиями на палетке. Так, Л.Красаускас (1966) число N увеличивает до 8 приемов при $q = 2,5$ мм, а С.И.Пурсаков (1970) до $N = 10$ при $q = 0,44$ мм или же $N = 16$ при $q = 1$ мм, что соответствует наибольшей средне-квадратической ошибке 1-1,5%.

По нашему мнению, при таком подходе увеличивается и без того большой объем картометрических работ при морфометрических исследованиях, а точность определения длин извилистых линий остается такой же, как при максимальном значении $N = 6$ и $q = 3,82$ мм.

Для доказательства этого положения нами были проведены методом моделирования исследования на основе большого числа экспериментальных работ по оценке и усовершенствованию графоаналитических способов измерений.

Учитывая, что число приемов N полностью характеризует тот или иной графоаналитический способ измерения, для удобства изложения будем ограничиваться лишь указа-

нием на число приемов N . Следует отметить, что измерение длин извилистых линий графоаналитическими способами произведено при следующих приемах $N = 2, 3, 4, 5, 6, 7$ и 8 .

При исследовании длин извилистых линий графоаналитическими способами измерений нами использованы 17 образцов нитяных макетов с самой различной степенью извилистости (рис. 5). Количество извилин на макетах колеблется от 3 до 66. Длина каждой проволоочки (300 мм) заранее измерена по методике, указанной в главе I.

Измерение длин извилистых линий по нитяному макету (при способах $N = 2, 3, 4, 5, 6, 7$ и 8) произведено видоизмененной нами палеткой, условно названной «часовой палеткой» (рис. 6а). Часовая палетка была изготовлена на прозрачной основе с равно отстоящими параллельными линиями. Линии на палетке вычерчены через $q = 3,82$ мм (по расчетам Г.Штейнгауза). Направления на палетке вычерчены под углом π/N , пронумерованы по порядку 1-1; 2-2; 6-6 (согласно числу приемов N) и отмечен центр. Таким образом, изготовленная нами палетка с шестью направлениями приемлема при способах $N = 2, 3, 4$, и 6 . Аналогичным образом можно изготовить палетки с 5, 7, 8-ю и более направлениями.

Использование часовой палетки осуществляется в следующей последовательности:

1. На карте в произвольном направлении выделяется линия и точка (рис. 6б), либо в пределах элементарного участка (квадрата, бассейна, склона и т.д.), либо вблизи

извилистых линий (реки, дороги, береговой линии и т.д.), подлежащих самостоятельному измерению.



Рис 5.

2. Часовая палетка накладывается на измеряемую линию (или линий) так, чтобы концы последней оказались внутри палетки с учетом совмещения двух центров и направления 1-1 со стрелкой, указанной на карте (рис. 6в).

3. Производится подсчет числа пересечений M .

4. Повернув палетку на угол π/N , совмещаем направление 2-2 со стрелкой на карте и вновь производим подсчет числа пересечений M (рис. 6в).

5. Поворачивая каждый раз палетку на угол π/N , получаем новые значения $M_1, M_2, M_3, \dots, M_{N=6}$.

При шести значениях M сумма $\sum_{i=1}^{N=6} M_i$ равняется

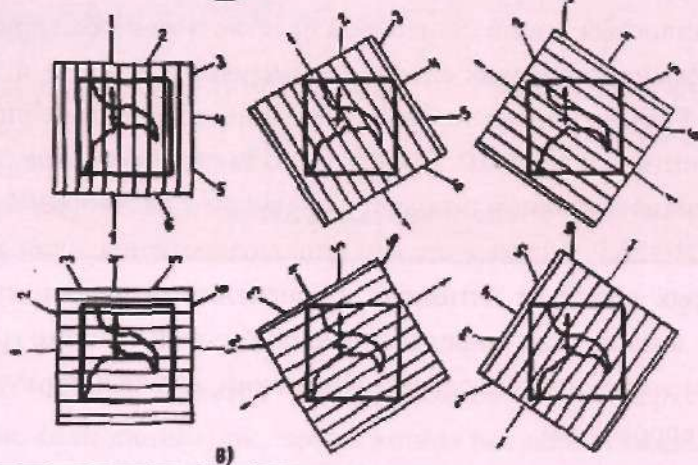
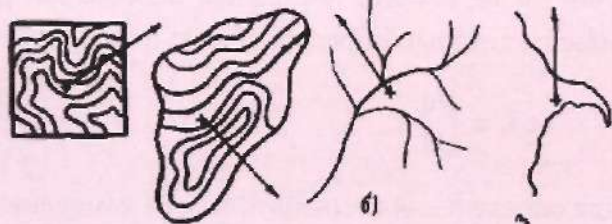
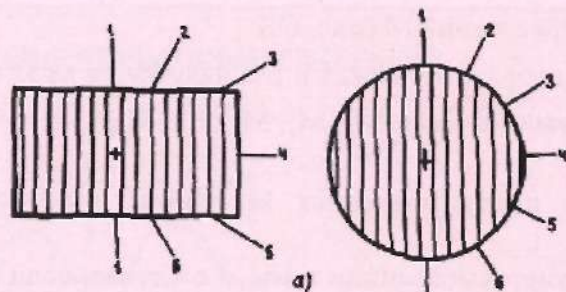
длине измеряемой линии в мм, а в случае, если $N > 6$ или $N < 6$, число M следует умножить на соответствующий коэффициент, который определяется по формуле:

$$K = \frac{\pi q}{2N} \quad (2.36)$$

Для определения степени точности измерения длин извилистых линий по часовой палетке и точности других графоаналитических способов измерений ($N = 2, 3, 4, 5, 6, 7$ и 8) было проведено измерение длин извилистых линий по нитяным макетам. Произведено также измерение длин извилистых линий по макету циркулем с раствором 1 мм.

В табл. 9 приводятся частные отклонения длин извилистых линий от истинных их значений по нитяному макету в процентах, определенные по часовой палетке графоаналитическими способами измерений, а также циркулем с раствором 1 мм.

**МЕТОДЫ ИЗМЕРЕНИЯ ДЛИН ИЗВИЛИСТЫХ ЛИНИЙ
ПО ЧАСОВОЙ ПАЛЕТКЕ**



При определении степени точности графоаналитических способов измерений по нитяным макетам учитывалось известное положение способа наименьших квадратов о том, что при оценке точности каких-либо измерений «... достаточно надежные результаты дает ряд в 100 измерений» (Чеботарев, 1958).

С этой целью нами произведено шестикратное измерение длин извилистых линий по нитяному макету при различных положениях измеряемой линии. В результате чего получено по 102 измерения. Учитывая недостаточность числа приемов N , при $q = 3,82$ мм в способах $N = 2, 3, 4$ и 5 произведены для контроля дополнительные измерения (названные вариантом). Результаты этих вычислений также приведены в табл. 9.

Как видно из табл. 9, при измерении длин извилистых линий по нитяным макетам графоаналитическими способами получают определенные ошибки, которые носят случайный характер.

Приведенные в табл. 9 данные о величине отклонения измеренных значений длин извилистых линий от истинных их значений, определенные по нитяным макетам, не оставляет сомнений, что как по отдельным графоаналитическим способам измерений, так и для всех графоаналитических способов в целом, выявляются следующие закономерности: 1) положительные и отрицательные ошибки встречаются, примерно, в одинаковом числе; 2) чем больше абсолютная величина ошибки, тем она реже встречается;

рис 6.

Таблица 9.

Отклонение $\Delta L_i = \frac{L_{0i} - L_{0i}^{теор}}{L_{0i}} \cdot 100\%$ в % измеренных значений длины квантовых линий от истинных значений по пятивым макетам

Модель	№ вычислительной линии	Число измерений	Число вычислений	Число вычислений на квантовой линии	Отклонение вычислительной линии от истинных значений	Графический способ измерения																	
						N=8		N=7		N=6		N=5		N=4		N=3		N=2					
						I	II	I	II	I	II	I	II	I	II	I	II	L	II	III			
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18						
1	1	1	1	1	+1,3	+0,5	-0,3	+1,7	+2,0	-1,6	+4,0	+3,5	-1,3	+5,3	+2,0	+6,0	-3,0						
2	2	2	2	2	+2,0	0	+2,5	+1,0	+1,2	-2,8	-1,0	+3,5	0	+2,0	-4,0	-1,0	+5,0						
3	3	3	3	300	+1,7	0	+0,6	+2,7	+1,2	0	+1,0	+1,0	+6,0	+4,0	+1,0	+1,0	+1,0						
4	4	4	4	4	+1,3	+0,2	-1,1	+2,0	+3,2	0	-0,5	+5,5	+4,7	+1,7	-3,0	+2,0	+9,0						
5	5	5	5	5	+0,7	+0,2	0	+3,0	0	+4,0	-2,0	+1,3	-2,0	+4,7	+1,0	-5,0	+8,0						
6	6	6	6	6	+1,0	+0,5	+1,1	+1,3	+1,6	+1,6	+5,5	-0,5	+2,7	+3,3	+5,0	+6,0	-7,0						
7	7	7	7	7	+1,3	-0,5	+0,3	+1,0	-0,4	+0,4	+3,5	0	+3,3	0	+5,0	+2,0	-2,0						
8	8	8	8	8	+0,7	0	-1,7	+1,3	-2,4	-0,4	+0,5	+1,0	+3,1	+0,7	0	+1,0	+6,0						
9	9	9	9	9	+0,3	+0,7	+0,3	+0,7	+1,8	+1,6	+0,5	+0,5	+1,7	+1,7	+1,0	-2,0	+3,0						
10	10	10	10	10	+1,0	+0,7	+2,3	+1,0	+1,8	+0,8	+1,5	+0,5	+0,7	0,3	+1,0	+2,0	0						
11	11	11	11	11	+0,7	+0,2	+1,0	-0,3	+0,4	+0,8	0	-1,5	-0,7	0	+2,0	-2,0	+1,0						
12	12	12	12	12	+0,3	+2,0	-0,8	+0,3	+0,8	-0,4	-1,0	-0,5	+0,7	-0,5	+2,0	-4,0	+3,0						
13	13	13	13	13	-2,3	0	+1,7	-0,3	-1,6	+0,8	+2,0	-2,0	+0,3	-4,0	+3,0	+1,0	-5,0						
14	14	14	14	14	-2,7	0	+2,0	+0,3	-1,6	-1,2	-1,5	+0,5	-0,5	+0,7	0	-3,0	+4,0						
15	15	15	15	15	-2,3	-1,5	-1,4	+0,3	+1,2	-1,2	-2,0	-2,5	-0,7	-2,3	-4,0	0	-5,0						
16	16	16	16	16	-2,3	-1,0	0	+0,7	+0,4	-1,2	-0,3	-1,5	-2,0	+0,3	+1,0	-2,0	-1,5						
17	17	17	17	17	-1,7	+1,0	-0,8	-1,7	-0,4	+0,8	-0,3	-1,3	-1,3	+1,3	+1,0	-2,0	-4,0						
18	18	18	18	18	-2,0	-0,5	+2,0	+1,0	-0,8	+1,5	-0,5	+1,7	-1,0	+1,0	+1,0	+2,0	-3,0						
19	19	19	19	19	-3,7	-1,0	-0,8	-1,7	+2,4	-0,8	-2,0	-0,5	0	-2,0	-5,0	+1,0	-2,0						
20	20	20	20	20	-3,7	0	-0,8	+1,0	-2,0	+0,4	+0,5	+1,0	-0,7	+0,3	+1,0	0	+2,0						
21	21	21	21	21	-3,3	+1,7	0	+1,7	-1,5	+1,2	+2,5	+2,0	+2,3	-0,7	+1,0	+4,0	0						
22	22	22	22	22	-3,3	-2,0	-0,3	0	-0,4	+0,8	-0,3	-1,0	-0,3	-1,3	+2,0	+3,0	+1,0						
23	23	23	23	23	-3,3	-1,2	-0,6	0	-0,4	+0,4	+2,0	+0,5	+0,3	-0,3	-1,0	+5,0	-4,0						
24	24	24	24	24	-2,7	0	+0,3	-1,0	0,4	-1,2	-2,0	-0,5	0	-1,0	-2,0	-3,0	+4,0						

25	25	25	25	25	-4,0	0	-0,8	0	+1,2	+1,6	-0,5	+1,5	+0,3	+3,0	-2,0	+1,0	+2,0
26	26	26	26	26	-4,0	-1,7	-1,7	0	+0,8	-1,6	+4,0	+2,0	+2,7	+0,7	+6,0	+2,0	0
27	27	27	27	300	-3,0	+2,2	-2,0	-0,7	+0,3	-0,4	-1,5	-2,0	+1,0	+0,3	+2,0	-5,0	+1,0
28	28	28	28	28	-2,7	-1,2	-0,3	+0,7	-0,4	0	0	+1,0	+2,0	-1,0	-1,0	+1,0	+1,0
29	29	29	29	29	-3,7	-1,0	-0,3	-0,3	-0,4	-0,4	0	0	+1,0	-1,3	+1,0	-1,0	-1,0
30	30	30	30	30	-2,3	-1,0	+0,6	+0,7	+1,6	-3,6	0	+1,5	0	+0,7	-1,0	+1,0	+2,0
31	31	31	31	31	-3,7	+1,0	0	-0,7	-1,2	+1,2	-1,2	-1,0	+1,3	+1,7	-2,0	0	-2,0
32	32	32	32	32	-4,7	+1,7	+0,9	+1,7	0	+1,6	+3,0	0	-1,3	+2,7	+4,0	+2,0	+2,0
33	33	33	33	300	-4,0	-0,5	-0,3	-2,0	+0,4	+0,4	-4,0	-2,0	+1,0	-3,0	-2,0	-6,0	-2,0
34	34	34	34	34	-4,3	-0,5	+0,9	-0,7	-0,4	+0,4	-1,0	0	-7,3	-0,7	-2,0	0	0
35	35	35	35	35	-3,7	-2,5	-2,8	+0,3	-0,8	+0,8	+1,5	-1,0	+0,7	-0,3	+4,0	-1,0	-2,0
36	36	36	36	36	-4,0	0	-0,8	-0,7	-0,8	-1,2	-1,5	+2,0	+0,3	-1,3	-7,0	+4,0	0
37	37	37	37	37	-4,0	-0,2	-0,3	-1,0	-2,0	+1,6	-2,0	-0,5	-0,7	+6,7	-2,0	+2,0	+1,0
38	38	38	38	38	-4,3	+0,2	0,3	-1,3	0	-2,8	-2,0	+3,0	-2,3	-0,3	-9,0	+5,0	+1,0
39	39	39	39	39	-4,7	-1,0	-0,8	+0,3	-1,6	-1,2	-1,5	-0,5	-3,3	-1,0	+2,0	+1,0	-2,0
40	40	40	40	300	-4,0	-0,5	+0,3	-1,0	-1,6	-1,2	-3,0	-2,5	-3,0	+2,0	+1,0	-7,0	+2,0
41	41	41	41	41	-4,3	0	+0,9	+1,7	+4,5	+0,4	+1,0	+1,5	-4,0	-1,3	+2,0	0	+3,0
42	42	42	42	42	-4,7	0	+0,8	+1,0	0	+0,4	-0,5	+2,5	-1,0	+1,3	-2,0	+1,0	+4,0
43	43	43	43	43	-5,0	-0,7	-0,8	-1,0	-0,8	-0,8	-2,0	-1,5	-1,3	-0,7	0	-4,0	+1,0
44	44	44	44	44	-5,0	-0,5	-2,0	+1,0	0	+2,0	+2,5	+0,5	-1,0	-4,3	+2,0	+3,0	-2,0
45	45	45	45	300	-4,7	-1,7	+1,1	-2,0	-1,2	-2,0	+0,5	-4,5	-6,0	+3,7	+3,0	-2,0	-7,0
46	46	46	46	46	-4,0	-1,7	-0,8	+0,7	+0,4	-2,4	+0,5	0	+1,0	+3,3	+2,0	-1,0	+1,0
47	47	47	47	47	-4,0	+1,2	0	+3,0	+0,4	0	+2,5	+3,0	+0,7	-2,0	+3,0	+2,0	+4,0
48	48	48	48	48	-4,3	+1,0	0	+0,3	-1,2	0	+1,0	-1,5	+0,3	+1,7	+4,0	-2,0	-1,0
49	49	49	49	49	-6,7	+0,2	-0,6	-1,0	+0,8	+0,4	-1,0	-2,5	+1,3	+1,3	+2,0	-4,0	-1,0
50	50	50	50	50	-6,0	+0,2	+2,0	+1,3	+0,8	+0,8	-0,5	+1,0	+1,3	-2,7	+2,0	-3,0	+5,0
51	51	51	51	300	-6,7	+1,0	-0,6	+1,7	+1,2	+3,2	+0,5	+1,0	+1,7	-4,7	+3,0	-2,0	+4,0
52	52	52	52	52	-5,7	0	+0,6	+0,7	-1,6	+1,2	+2,0	0	-1,0	-3,0	+2,0	+2,0	-2,0
53	53	53	53	53	-5,3	0	+1,4	-1,0	+0,4	+0,8	-0,5	-0,5	-3,7	+5,0	-2,0	-1,0	-2,0
54	54	54	54	54	-5,3	0	+0,6	-0,3	+0,4	+1,6	-2,5	+0,5	+1,0	+2,7	-2,0	-3,0	+4,0

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	
55		1			-7.0	-1.0	+0.9	-0.7	-2.0	-1.6	+2.5	-3.0	+4.0	+0.3	+4.0	+1.0	-7.0	
56	X	2			-6.7	+1.0	+0.9	+0.3	0	-1.4	+2.0	+1.5	0	+4.0	-2.0	+6.0	-3.0	
57		3	27	300	-6.7	+1.2	-2.0	-0.7	-4.0	+4.0	-1.5	-6.0	-3.0	-1.3	+1.0	-4.0	-9.0	
58		4			-6.3	+1.7	0	-0.3	-0.4	-1.2	+1.0	-1.5	+1.0	-1.3	+2.0	0	-3.0	
59		5			-5.7	+2.2	+0.6	-0.7	-0.4	-0.8	-0.8	-1.0	-0.5	-1.0	+4.7	-1.0	0	
60		6			-5.7	-1.2	-0.6	-0.3	-0.8	-0.8	-0.8	-0.5	+0.5	-0.7	+1.7	-2.0	+1.0	0
61		1			-7.0	-1.5	-0.3	-2.0	+0.4	-0.4	-0.4	-4.0	0	-2.7	+1.7	-6.0	-2.0	+2.0
62	XI	2			-7.7	+1.7	+0.3	+1.0	-1.6	-2.0	-1.5	-1.0	+2.3	+3.3	+5.0	-8.0	+6.0	
63		3	32	300	-7.3	+1.2	+0.3	+1.3	-1.6	+1.6	+3.0	+2.0	-4.7	-0.3	0	+6.0	-2.0	
64		4			-8.0	+1.0	+1.4	+0.7	+1.6	+0.5	-2.5	-2.5	+1.0	-0.3	-3.0	-2.0	-3.0	
65		5			-7.3	0	-0.8	-1.0	+1.2	+1.2	+1.2	-0.5	-2.0	+1.0	+4.3	+1.0	-2.0	-2.0
66		6			-6.7	0	-3.0	-1.3	-1.2	0	+1.6	-3.0	-3.5	+0.3	+2.3	-1.0	-5.0	-2.0
67		1			-8.3	-0.2	+0.6	-2.7	0	+1.6	-0.8	-1.0	+2.5	+0.7	-1.3	-7.0	+5.0	0
68	XII	2			-8.7	+0.2	+2.0	-2.3	-0.4	-2.8	0	+4.5	0	+1.3	-6.0	+6.0	+3.0	
69		3	39	300	-9.0	+0.2	+0.9	+1.7	+0.4	+1.6	-1.5	-5.0	-3.0	+1.7	+7.0	-4.0	-6.0	
70		4			-9.0	+1.0	+0.9	-0.7	-0.8	-0.8	-1.0	+2.5	+0.7	-1.3	-7.0	+5.0	0	
71		5			-9.0	-1.2	-0.8	+0.3	+0.4	-0.8	0	+0.5	-0.3	+3.3	0	0	+1.0	
72		6			-9.0	-0.5	+1.7	-1.7	0	+1.6	-1.0	-1.0	0	-1.0	-1.3	-5.0	-3.0	-3.0
73		1			-9.7	+0.7	-0.3	-0.7	-0.8	-0.8	-0.8	+2.5	-3.0	+0.7	-1.3	+4.0	+1.0	-7.0
74	XIII	2			-10.0	+0.5	0	-0.7	+1.2	-0.8	+1.5	-3.5	-0.7	+1.3	+1.0	+2.0	-5.0	
75		3	50	300	-9.7	-0.2	-0.3	-1.0	+1.2	-2.0	+1.5	+4.5	-3.0	+7.5	-2.0	+5.0	+4.0	
76		4			-10.0	-0.2	-0.6	+1.3	-0.4	0	+1.0	+3.5	-0.7	+1.7	-2.0	+4.0	+2.0	
77		5			-9.0	-1.0	+0.9	+2.0	0	0	+3.0	+3.5	-2.0	-2.0	-1.0	+7.0	0	
78		6			-9.7	0	+0.9	+0.3	-0.4	-0.4	-0.4	-1.5	+2.5	+0.3	-2.0	-3.0	0	+4.0
79		1			-11.3	-0.2	+0.9	0	-0.8	-0.4	-0.8	-0.5	+2.5	+1.0	+0.3	-5.0	+4.0	3.0
80	XIV	2			-10.0	-1.5	+2.6	0	-0.8	-0.4	+2.0	+1.5	-1.0	+2.3	-3.0	+7.0	-4.0	
81		3	52	300	-11.0	0	+0.9	+1.0	+2.4	+0.4	+0.5	+2.5	-6.3	-0.7	-2.0	+3.0	+2.0	
82		4			-10.0	+1.5	0	+0.7	+0.4	-1.6	-3.5	+5.0	-0.7	-1.3	-8.0	+1.0	+9.0	
83		5			-9.7	-1.0	-2.7	-0.3	+2.0	+0.4	0	0	0	+0.3	-5.3	-1.0	+1.0	-1.0
84		6			-9.3	-3.0	0	-1.0	-0.4	-2.4	0	0	-2.0	-4.0	+1.7	+1.0	-1.0	-3.0

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	
85		1			-10.7	+1.5	-0.8	-0.7	-1.2	+1.2	+0.5	+9.5	-0.3	+2.0	-3.0	+4.0	-3.0	
86	XV	2			11.7	+2.5	0	+0.7	+1.6	+1.2	+6.0	+1.5	+2.3	-0.3	+9.0	+5.0	-2.0	
87		3	53	300	-11.3	-2.0	+1.1	0	-1.6	-0.4	-2.0	-0.5	-3.0	+2.7	+3.0	-7.0	+4.0	
88		4			-11.7	-0.5	+1.1	-0.3	-1.8	-4.0	+0.5	+1.0	+0.7	+0.3	-3.0	+4.0	-2.0	
89		5			-10.7	-0.2	-0.8	-0.7	+0.8	+0.4	+1.0	-1.5	+0.7	+0.3	+3.0	-1.0	-2.0	
90		6			-11.3	-1.5	-1.5	-0.3	-0.7	-0.8	-1.6	-2.5	-0.5	+1.0	+5.0	-1.0	-4.0	+3.0
91		1			-16.0	0	+2.9	-1.0	+2.4	+4.4	+4.4	-1.5	0	+2.7	+3.0	-3.0	0	0
92	XVI	2			-16.0	-1.0	-0.3	0	+1.2	-1.6	+1.5	-2.0	0	+0.7	+2.0	+1.0	-5.0	
93		3	56	300	-15.7	-0.5	0	+0.7	+0.4	0	+1.5	-1.5	0	+1.3	+5.0	-2.0	-1.0	
94		4			-15.0	-1.5	-0.3	-0.3	+1.2	+1.6	+4.0	-3.5	+0.7	-5.7	0	-8.0	+1.0	
95		5			-14.7	+1.0	-1.4	+2.3	+2.8	+1.2	+2.8	-4.0	+0.5	+6.7	-2.0	-3.0	+2.0	-1.0
96		6			-15.3	-1.0	+1.4	-1.0	-2.0	-2.8	-4.0	0	-7.3	+2.3	-3.0	-5.0	+5.0	+5.0
97		1			-17.3	-0.2	-1.1	+1.0	-0.3	+2.8	-1.6	-1.5	+1.5	+4.7	-1.7	-5.0	+2.0	+1.0
98	XVII	2			-17.3	0	-0.8	+1.0	-4.0	-0.4	+0.5	+1.5	+7.3	-3.3	0	0	+2.0	
99		3	66	300	-16.0	-0.2	-0.8	-0.7	-3.2	-1.6	-5.5	-5.0	-2.7	-2.7	-2.0	-2.0	-1.0	-1.0
100		4			-16.0	+0.7	-2.3	+0.7	+2.8	+1.6	+1.5	+1.0	+0.7	+0.7	-4.0	0	0	-1.0
101		5			-15.7	-1.0	+6.0	-1.7	+1.2	+1.2	-3.2	-4.5	-1.0	-6.7	0	-3.0	-3.0	+4.0
102		6			-15.0	0	-0.8	-1.7	+1.6	+1.6	+1.6	-0.5	-4.0	+1.3	+2.7	+3.0	+3.0	-4.0

3) среднее из ошибок мало по сравнению с самими ошибками; 4) ошибки по абсолютной величине не превосходят определенного предела. (Большаков, 1965).

Исследование показало, что в графоаналитических способах измерений, нижний предел случайных ошибок соответствует нулю, а верхний – максимальной ошибкой, величина в которой зависит от числа приемов N . Проведенные дополнительные измерения в различных вариантах доказали то, что как бы ни было велико измерение, эти ошибки колеблются в небольших пределах. Величина этого предела определяется условиями, в которых производятся измерения (табл. 10).

Таблица 10

Максимальная ошибка измерений в графоаналитических способах в %%

Критерий оценки	По графоаналитическим способам измерения											Ошибка измерений длин извилистых линий циркулем с раствором $d=1\text{мм}$, в %%			
	N=8		N=7		N=6		N=5		N=4		N=3		N=2		
	I	II	I	II	I	II	I	II	I	II	I		II	I	II
максимальная ошибка измерений Δl_{max} в %%	+3,0	+3,0	+3,0	+4,5	+4,4	+6,0	+6,0	+7,3	+7,5	+9,0	+8,0	+9,0			-17,3
Число измерений	102	102	102	204	204	204	204	204	306					102	

Как видно из табл.10, максимальная ошибка измерений в способах $N = 3, 4$ и 5 как в 1, так и во 2 варианте

оказалась почти одинаковой (с разницей 0,2%), а в способе $N = 2$ она имеет значения $\pm 8,0\% \div \pm 9,0\%$. Это объясняется тем, что независимо от положения палетки относительно измеряемой линии величина ошибки, присущая тому или другому графоаналитическому способу измерений, не может превосходить по абсолютной величине определенного предела. Например, в способе $N = 2$ абсолютная величина ошибки колеблется в пределах от 0 до $\pm 9,0\%$, а в способе $N = 6$ от 0 $\div \pm 3,0\%$ и т.д.

Мы уже условились длину извилистой линии по нитяному макету называть истинными значениями. Поэтому в исследованиях под случайной ошибкой измерений подразумевается разность между действительным, истинным значением величины и её измеренным значением. Таким образом, случайные ошибки состоят из истинных (абсолютных) величин.

В дальнейших исследованиях будем пользоваться термином истинная величина ошибки.

Проведенные графоаналитическими способами измерения по нитяным макетам (табл. 9) показали, что истинные величины ошибок не зависят от степени извилистости измеряемых линий. Например, при $N = 6$ истинная величина ошибки для линии № 1, с числом извилин 3, дает максимальную ошибку $\pm 3\%$, а для линии № XV, с числом извилин 53, ошибка колеблется (при шестикратном измерении) от 0 до $\pm 0,7\%$. Для наглядности в табл. 11 приводятся минимальные и максимальные значения истинных величин ошибок.

Как видно из табл. 9 при любых графоаналитических способах измерений длин извилистых линий максимальное и минимальное значения истинной ошибки не зависят от числа извилины, так как истинные ошибки в данном случае являются случайными и не превышают при способах $N = 6, 7$ и $8 - \pm 3\%$. По нашему мнению, величина ошибки в основном зависит от точности самой палетки и от точности подсчета M (т.е. количества точек пересечения извилистых линий с прямыми линиями палетки). Следует подчеркнуть, что при способах $N = 5, 4, 3$ и 2 величина истинной ошибки соответственно увеличивается от $\pm 4,5$ до $\pm 9\%$ за счет уменьшения числа приемов N . При увеличении числа приемов $N = 6$ указанная ошибка получает постоянное значение $\pm 3\%$, т.е. происходит постоянство ошибок, являющихся ошибками самого исследователя. Однако, в способах $N = 7$ и 8 наблюдается стремление величины ошибок к нулю. Появляется больше совпадений измеренной величины с истинными данными измеряемых линий, чем в способе $N = 6$. Это наглядно видно из табл. 11.

Таблица 11

Экстремальные значения истинных величин ошибок в %

№№ извилистых линий по количеству изгибов у палетки	Число изгибов в	Величина ошибки измеренной длины извилистых линий циркулем с радиусом $r = 1$ мм		По графоаналитическим способам измерений																		
		min	max	N=5		N=4		N=3		N=2		Варианты										
				I	II	I	II	I	II	I	II	I	II	I	II							
I	3	+0,7	+2,0	00	0	+3,0	0	00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
II	8	+0,3	+1,0	0																		0
III	18	-1,7	-2,7	00	0																	0
IV	18	-2,7	-3,7	00	0	00	0	00	0	0	00	0	0	00	0	0	00	0	0	0	0	0
V	20	-2,3	-4,0	0	0	00	0	0	00	0	0	0	0	00	0	0	00	0	0	0	00	00
VI	22	-3,7	-4,0	0	0	00	0	00	0	00	0	0	0	00	0	0	00	0	0	0	00	00
VII	22	-4,3	-4,7	00																		0
VIII	23	-4,0	-5,0	00	0	+3,0	0	00	0	0	0	0	0	00	0	0	0	0	0	0	0	0
IX	25	-5,3	-6,7	000																		0
X	27	-5,7	-7,0		0																	0
XI	32	-6,7	-8,0	00	0	-8,0	0	00	0	0	0	0	0	00	0	0	0	0	0	0	0	0
XII	39	-8,3	-9,0																			0
XIII	50	-9,7	-10,0	0	0																	0
XIV	52	-9,3	-10,3	0-3,0	00	00	0	0	0	0	0	0	0	00	0	0	0	0	0	0	0	0
XV	53	-10,7	-11,7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
XVI	56	-14,7	-16,0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
XVII	66	-15,0	-17,3	0	0																	0

00 показывает, сколько раз из шести случаев измерения величина совпадает с истинной длиной измеряемых линий.

Величина истинной ошибки при измерениях длин извилистых линий циркулем с раствором 1 мм, в отличие от графоаналитических способов измерений, носит систематический характер (Р.А.Бабаев, 1974). В зависимости от количества извилин указанная ошибка увеличивается и при максимальном количестве извилин (в нашем примере их 66) достигает 17,3% от истинных их значений на нитяном макете.

Сгруппировав (см. табл. 9) величины истинных ошибок $\Delta \ell$ по положительным и отрицательным их значениям через 1% (табл. 12), можно построить гистограмму опытного распределения $\Delta \ell$ для каждого графоаналитического способа измерений в отдельности. Для примера нами были построены гистограммы опытного распределения $\Delta \ell$ для следующих графоаналитических способов измерений $N = 2, 4, 6$ и 8 (см. рис. 7).

Теоретические кривые нормального распределения вычислены для тех же интервалов по формуле:

$$y = \frac{1}{\sigma \sqrt{2\pi}} \ell^{\frac{(\Delta \ell_i - \Delta \bar{\ell})^2}{2\sigma^2}}, \quad (2.37)$$

где $\Delta \ell_i$ - величина ошибки в % (в нашем примере отклонение длин извилистых линий от истинных их значений по нитяному макету);

y - частоты $\Delta \ell_i$, приходящиеся на соответствующий интервал изменений;

$\Delta \bar{\ell}$ - среднее арифметическое значение ошибки в %,

вычисленное для каждого графоаналитического способа измерений в отдельности;

σ - среднее квадратическое отклонение $\Delta \ell_i$ от $\Delta \bar{\ell}$.

Гистограммы практического распределения достаточно хорошо согласуются с теоретической кривой нормального распределения.

Нами вычислен критерий согласия по А.Н.Колмогорову

$$\lambda = \frac{D}{\sqrt{n}}, \quad (2.38)$$

Таблица 12

Число измерений, отклонившихся от истинных значений длины по нитяным макетам

Способы измерений	Число измерений							Число измерений
	N=8	N=7	N=6	N=5	N=4	N=3	N=2	
±1%	+32	+32	+35	+48	+43	-44	+58	+292
	-42	-39	-39	-53	-47	-42	-39	-301
	±74	±71	±74	±101	±90	±86	±97	±593
±2%	+10	+14	+11	+40	+30	+26	+36	+167
	-13	-10	-11	-38	-29	-22	-44	-167
	±23	±24	±22	±78	±59	±48	±80	±334
±3%	+3	+4	+4	+5	+15	+14	+18	+63
	-2	-3	-2	-8	-13	-14	-21	-62
	±5	±7	±6	±13	±28	±28	±39	±126
±4%				+3	+7	+9	+20	+39
				-6	-8	-9	-13	-36
				±9	±15	±18	±33	±75
±5%				+2	+3	+7	+12	+24
				-1	-4	-4	-12	-21
				±3	±7	±11	±24	±45
±6%				+3	+3	+7	+12	+12
				-2	-2	-5	-10	-10
				±5	±5	±12	±22	±22
±7%						+2	+3	+5
						-2	-8	-10
						±4	±11	±15
±8%						+2	+1	+3
						-2	-4	-6
						±4	±5	±9
±9%							+3	+3
							-2	-2
							±5	±5
Число измерений	102	102	102	204	204	204	306	1224

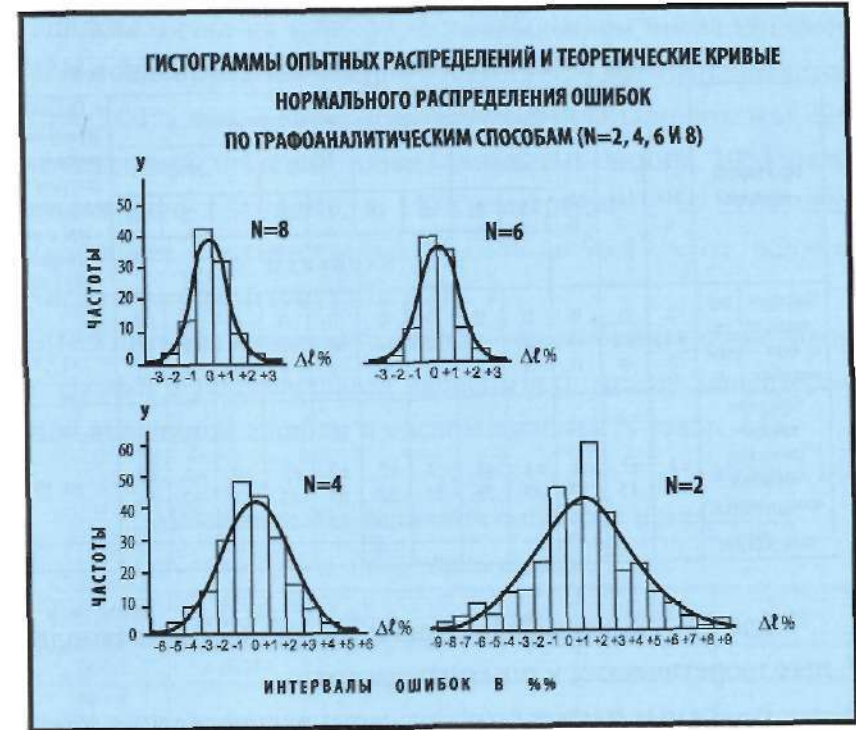


рис. 7.

Таблица 13

Средняя квадратическая ошибка измерений в %/о

Критерий оценки	По графоаналитическим способам измерений											Ошибка измерений для извилистых линий циркулем с раствором $d=1$ мм	
	N=8	N=7	N=6	N=5		N=4		N=3		N=2			
				I	II	I	II	I	II	I	II		III
Экстремальные ошибки	$\begin{matrix} 0 \\ \pm 3 \\ 0 \end{matrix}$	$\begin{matrix} 0 \\ \pm 3 \\ 0 \end{matrix}$	$\begin{matrix} 0 \\ \pm 3 \\ 0 \end{matrix}$	$\begin{matrix} 0 \\ \pm 4 \\ 5 \end{matrix}$	$\begin{matrix} 0 \\ \pm 4 \\ 4 \end{matrix}$	$\begin{matrix} 0 \\ \pm 6 \\ 0 \end{matrix}$	$\begin{matrix} 0 \\ \pm 6 \\ 0 \end{matrix}$	$\begin{matrix} 0 \\ \pm 7 \\ 3 \end{matrix}$	$\begin{matrix} 0 \\ \pm 7 \\ 5 \end{matrix}$	$\begin{matrix} 0 \\ \pm 9 \\ 0 \end{matrix}$	$\begin{matrix} 0 \\ \pm 8 \\ 0 \end{matrix}$	$\begin{matrix} 0 \\ \pm 9 \\ 0 \end{matrix}$	$\begin{matrix} (+0,3); -1,7 \\ -17,3 \end{matrix}$
Средняя квадратическая ошибка измерений в %/о $m_{\Delta t}$	$\pm 1,04$	$\pm 1,15$	$\pm 1,17$	$\pm 1,48$	$\pm 1,56$	$\pm 2,13$	$\pm 2,25$	$\pm 2,61$	$\pm 2,62$	$\pm 3,48$	$\pm 3,52$	$\pm 3,56$	18,13

где D – максимальное значение разностей, накопленных теоретических и опытных частот;

p – сумма частот практического распределения (число измерений).

Итак, ошибки Δl имеют нормальное распределение.

Результаты вычисления показывают, что вероятность $P(\lambda)$ не только больше 0,05, но и близки к 1, т.е. $P(\lambda)$ 0,9972 (при $N=8$); 1,000 (при $N=6$); 0,9639 (при $N=4$); 0,5441 (при $N=2$), что свидетельствует о достаточно хорошем согласии практических и теоретических распределений.

Средняя квадратическая ошибка измеренных значений длин извилистых линий определяется по формуле (2.35).

Результаты вычислений приводятся в табл. 13.

Как видно из табл. 13, с уменьшением числа приемов N значение средней квадратической ошибки увеличивается от $\pm 1,04\%$ до $\pm 3,56\%$. Исследование показало, что из 1224 измеренных значений длин извилистых линий, 1053 дали отклонение $\leq \pm 3,0\%$, а 1175 измерений $\leq \pm 5,0\%$, что составляет соответственно 86,03% и 95,83% от общего числа измерений (см. табл. 12).

Учитывая вышеизложенное нами была установлена обратная функциональная зависимость между максимальной величиной ошибки и числом приемов N (табл. 14).

Таблица 14.

Максимальная величина ошибки в измерениях

Способы измерений	Число приемов				
	N=6,7,8	N=5	N=4	N=3	N=2
N=6	$\pm 3,0\%$				
N=5		$\pm 4,5\%$			
N=4			$\pm 6,0\%$		
N=3				$\pm 7,5\%$	
N=2					$\pm 9,0\%$

Чтобы выразить эту зависимость в виде уравнения, необходимо подобрать функциональную зависимость, руководствуясь при этом таблицей кривых, представленных в справочниках по математике (Бронштейн, Семендяев, 1957). Выбор функциональной зависимости осуществляется путем сравнения их графика с графиками заданной функции.

Воспользовавшись этим приемом отыскания функциональной зависимости при изучении максимальной

величины ошибки в числа приемов N , нами было выбрано уравнение в следующем виде:

$$\Delta \ell_{\max} = \frac{a + \delta N}{c + eN}, \quad (2.39)$$

где a , δ , c и e - численные параметры.

Подставив из табл. 14 значение $\Delta \ell_{\max}$ и N в (2.39), получаем следующую систему уравнений:

$$\left\{ \begin{array}{l} 3c + 18e = a + 6\delta, \\ 4,5c + 27e = a + 5\delta, \\ 6c + 24e = a + 4\delta, \\ 9c + 18e = a + 2\delta, \end{array} \right.$$

откуда

$$a = -8\delta; \quad c = -\frac{2}{3}\delta; \quad e = 0.$$

Решив указанную систему уравнений, получим следующую формулу:

$$\Delta \ell_{\max} = 12 - 1,5N \quad (2.40)$$

где 12 - есть произведение πq ; где q - является расстоянием между прямыми параллельными линиями на палетке и равно 3,82 мм, т.е. $12 = 3,14 \times 3,82 = \pi q$

$$\Delta \ell_{\max} = \pi q - 1,5N \quad (2.41)$$

Таким образом, на основании данных, представленных в табл. 14, нами выведена эмпирическая формула для

расчета величины максимальной ошибки в графоаналитических способах измерений (при различных значениях N и q). По формуле (2.41) можно определить степень точности измерения длин извилистых линий при графоаналитических способах и определить оптимальные эмпирические и теоретические параметры сканирования N и q (при условии наименьшей затраты времени или наименьшем объеме работ при автоматическом сканировании).

Выбор оптимальных параметров для графоаналитического способа измерения длин извилистых линий по картам

Определение оптимальных параметров графоаналитических способов измерений N и q , как теоретических по формуле (2.7), так и эмпирических по формуле (2.33) с точностью средней квадратической ошибки измерения $< \pm 1\%$ приводится в табл. 15.

Для проверки точности полученных результатов произведено измерение длин извилистых линий по нитяному макету (по 17 образцам извилистых линий) согласно эмпирическим параметрам N и q . С этой целью были изготовлены соответствующие часовые палетки при различных значениях N и q и определен коэффициент $\Pi q/2N$, равный 0,785.

Таблица 15

Оптимальные параметры графоаналитических способов измерения

Средняя квадратическая ошибка измерений в %	Число присмов N	Параметры q :	
		Эмпирическое	Теоретическое
		По формуле (2.41)	По формуле (2.9)
$< \pm 1\%$	2	0,96 мм (≈ 1 мм)	1,26 мм
	4	1,91 мм (≈ 2 мм)	2,55 мм
	6	2,87 мм (≈ 3 мм)	3,82 мм
	8	3,82 мм (≈ 4 мм)	5,10 мм

Результаты измерений приводятся в табл. 16.

Из табл. 16 видно, что результаты измерений по предложенным нами параметрам N и q имеют высокую точность. Наибольшая средняя квадратическая ошибка измерений не превышает $\pm 1,16\%$ от истинного её значения по нитяному макету, а затраты времени в 10-12 раз меньше, чем при измерениях длин извилистых линий циркулем с раствором 1 мм. Еще больший эффект может быть получен на основе быстродействующих сканирующих устройств.

При этом следует пользоваться теоретическими параметрами графоаналитических способов измерений, так как в данном случае коэффициент $\Pi q/2N$ приравнивается к единице и тем самым подсчет числа M из счетчика сканирующего устройства даст нам искомую длину измеряемой линии в миллиметрах (в масштабе карты).

При измерении длин извилистых линий с помощью графоаналитического способа, точность измерения зависит от правильного выбора часовой палетки, построенной по заранее вычисленным вариантам оптимальных параметров N и q (как теоретических, так и эмпирических). При выборе часовой палетки необходимо величины q (расстояние между прямыми параллельными линиями на палетке) связать со степенью извилистости измеряемой линии, так как чем больше извилин, тем палетка должна иметь более разреженную сетку.

Таблица 16.
Отклонение измеренных длин извилистых линий в
%%

от истинных их значений по нитяному макету

№ извилистых линий по нитяному макету	Число извилин	Величина ошибки в %			
		N = 8 q = 4 мм	N = 6 q = 3 мм	N = 4 q = 2 мм	N = 2 q = 1 мм
I	3	-1,2	-0,5	-1,0	+0,2
II	8	0	0	-1,0	+0,5
III	18	-1,0	+0,7	+0,7	-0,2
IV	18	-1,3	+0,5	+0,3	-1,2
V	20	+0,7	-0,7	-1,5	+1,7
VI	22	+2,2	+0,7	0	0
VII	22	0	-1,7	-1,3	+0,5
VIII	23	+1,5	-1,5	-0,5	-0,7
IX	25	+0,5	-0,5	+1,5	-1,5
X	27	-0,2	+0,7	0	+1,7
XI	32	+1,0	-0,7	-0,7	-2,5
XII	39	0	+2,0	+2,0	+0,5
XIII	50	-0,5	-1,5	-1,5	+0,5
XIV	52	-0,2	-1,5	-1,5	-1,0
XV	53	+1,0	-1,5	-1,5	-1,5
XVI	56	0	-0,7	-0,7	+0,7
XVII	66	+0,5	+0,5	+0,5	+0,7
Максимальная ошибка измерений в % $\Delta \ell_{\max}$	-	2,2	2,0	2,0	2,5
Средняя ошибка измерений $\Delta \ell_{\text{ср}}$ в %	-	+0,69	±0,86	±0,89	±0,97
Средняя квад. ошибка измерений в % $m_{\Delta \ell}$	-	±0,85	±1,00	±1,10	±1,16

Для измерения длин извилистых линий (в том числе горизонталей) по графоаналитическому способу существует общая формула (2.9) С.И.Пурсакова.

Подставив расчетные значения оптимальных параметров N и q в формулу (2.9), нетрудно получить ряд формул, определяющих длины извилистых линий (в том числе сумму длин горизонталей), имеющих различную степень извилистости, а также различные густоты горизонталей в пределах элементарного участка в виде:

при N=2; q=1 мм

$$\Sigma \ell = \frac{\pi q}{2N} \sum_{i=1}^N M_i = 0,785q_{=1\text{мм}} \sum_{i=1}^{N=2} M_i = 0,785 \sum_{i=1}^{N=2} M_i,$$

(2.42)

при N=4; q=2 мм

$$\Sigma \ell = \frac{\pi q}{2N} \sum_{i=1}^N M_i = 0,3925q_{=2\text{мм}} \sum_{i=1}^{N=4} M_i = 0,785 \sum_{i=1}^{N=4} M_i,$$

(2.43)

при N=6; q=3 мм

$$\Sigma \ell = \frac{\pi q}{2N} \sum_{i=1}^N M_i = 0,262q_{=3\text{мм}} \sum_{i=1}^{N=6} M_i = 0,785 \sum_{i=1}^{N=6} M_i,$$

(2.44)

при N=8; q=4 мм

$$\Sigma \ell = \frac{\pi q}{2N} \sum_{i=1}^N M_i = 0,19625q_{=4\text{мм}} \sum_{i=1}^{N=8} M_i = 0,785 \sum_{i=1}^{N=8} M_i,$$

(2.45)

Эти формулы (2.42), (2.43), (2.44) и (2.45), как видно на табл. 15, имеют одинаковые точности измерения, лишь отличаются по числу приемов N и расстоянию q между линиями на палетке, что дает возможность использовать их для различных вариантов измерений, т.е. по степени извилистости длин линий и по густоте горизонталей в пределах элементарного участка.

Различная густота горизонталей, характеризующая различные формы рельефа местности, вызывает необходимость применения неодинаковых параметров N и q , т.е. различных часовых палетках при измерении.

С этой целью нами сделана попытка связать различные формы рельефа (рис. 8а, б, в, г) параметрами N и q (табл. 17).

Таблица 17.

Оптимальные варианты

Тип рельефа и масштабы карт	Графоаналитические способы измерения				Рекомендуемые оптимальные варианты измерения
	$N=8$ $q=4\text{мм}$	$N=6$ $q=3\text{мм}$	$N=4$ $q=2\text{мм}$	$N=2$ $q=1\text{мм}$	
Плоский слабо расчлененный водораздел	2,45	2,44	2,43	2,42	$N=4; q=2\text{мм}$ $[N=2; q=1\text{мм}]$
Водораздел, глубоко расчлененный оврагами и балками		+	+		$N=6; q=3\text{мм}$ $[N=4; q=2\text{мм}]^1$
Водораздел, расчлененный оврагами и балками на отдельные гряды			+		$N=4; q=2\text{мм}$
Равнин (долинин)-балочный рельеф	1:25000		+	+	$N=4; q=2\text{мм}$ $[N=2; q=1\text{мм}]$
	1:50000			+	$N=2; q=1\text{мм}$
	1:100000			+	$N=2; q=1\text{мм}$
Холмисто-моренный рельеф	1:25000	+	+		$N=6; q=3\text{мм}$ $[N=4; q=2\text{мм}]$
	1:50000		+		$N=6; q=3\text{мм}$
	1:100000		+		$N=6; q=3\text{мм}$
Среднегорный и горный рельеф	1:50000	+	+		$N=4; q=2\text{мм}$ $[N=2; q=1\text{мм}]$
	1:100000	+	+		$N=4; q=2\text{мм}$ $[N=2; q=1\text{мм}]$
	Альпийский тип рельефа	+			$N=8; q=4\text{мм}$

¹ Параметры, рекомендованные в квадратных скобках, желательнее применять на более разреженных участках рельефа.



Плоский слабо расчлененный водораздел



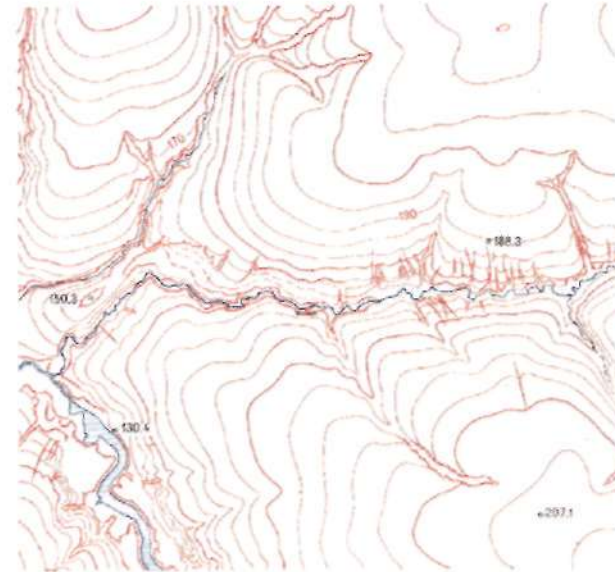
Водораздел глубоко расчлененный оврагами и балками



Водораздел расчлененный оврагами и балками на отдельные гряды

(по Н.М.Волкову)

Рис 8а



а) Масштаб 1:25 000
Сплошные горизонтالي проведены через 5 метров



б) Масштаб 1:50 000
Сплошные горизонтали проведены через 10 метров

с) Масштаб 1:100 000
Сплошные горизонтали проведены через 20 метров

Изображения участка долино-балочного рельефа на топографических картах масштабов 1:25 000, 1:50 000 и 1:100 000,

(по Н.М.Волкову)

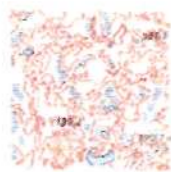
Рис 8б



а) Масштаб 1:25 000
Сплошные горизонталы
проведены через 5 метров



б) Масштаб 1:50 000
Сплошные горизонталы проведены
через 10 метров



в) Масштаб 1:100 000
Сплошные горизонталы
проведены через 20 метров

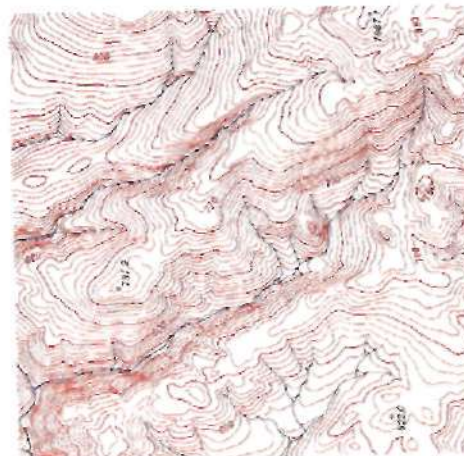
Изображения участка холмисто моренного рельефа на топографических картах масштабов 1:25 000, 1:50 000 и 1:100 000.

(по Н.М.Волкову)

Рис 8в



с) Масштаб 1:100 000
Горизонталы проведены
через 30 метров



б) Масштаб 1:50 000
Горизонталы проведены через 10 метров



Изображение рельефа альпийского типа
на топографических картах - троговая долина

Изображения участка средневысотных гор на топографических картах масштабов 1:50 000 и 1:100 000.

(по Н.М.Волкову)

Рис 8г.

Как видно из табл. 17, рекомендованные оптимальные варианты измерения суммарной длины горизонталей больше всего подходит к следующим формам рельефа:

а) $N = 2$; $q = 1$ мм – плоским, пологим и слабо наклонным равнинам;

б) $N = 4$; $q = 2$ мм – расчлененным, всхолмленным и умеренно наклонным равнинам, а также предгорным и низкогорным зонам;

в) $N = 6$; $q = 3$ мм – среднегорным и высокогорным зонам;

г) $N = 8$; $q = 4$ мм – островершинным формам рельефа (альпийские формы рельефа).

Резюмируя вышеизложенное, мы пришли к выводу, что измерение длин рек, береговых линий, дорог, каналов и т.д. с мелкими извилинами желательно производить часовой палеткой с параметрами $N = 4$, $q = 2$ мм, а с крупными извилинами – $N = 2$, $q = 1$ мм, т.е. с увеличением расстояния между прямыми линиями палетки q соответственно увеличивается и число приемов N . При таком подходе к измерению длин извилистых линий подсчет числа M облегчается, и длина извилистых линий определяется с меньшей затратой времени, сохраняя высокую точность измерения.

ГЛАВА III

Исследование способов определения углов наклона земной поверхности по картам.

Анализ существующих способов измерения углов наклона земной поверхности

Анализ способов определения средних углов наклона земной поверхности, предложенных с первой половины XIX века вплоть до 50-х годов XX столетия, освещен в капитальном труде Н.М.Волкова «Принципы и методы картометрии» (1950). Анализируя ранее предложенные способы, Н.М.Волков пришел к выводу, что наиболее приемлемой и математически точной является формула, предложенная Финстервальдером (1890).

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{h \sum \ell}{P}, \quad (3.1)$$

где h – высота сечения рельефа;

$\sum \ell$ – сумма длин горизонталей в пределах исследуемого участка;

P – горизонтальная проекция этой же территории.

Определение среднего угла наклона по формуле (3.1) Финстервальдера основывается на измерениях длин горизонталей и площадей, что связано, в свою очередь, с трудоемкими измерительными работами. Поэтому данная формула применяется в основном для определения среднего угла наклона по ключевым участкам и для небольших территорий (Знаменщиков, 1965; Штейнгауз, 1967; Мазурова и Мазур, 1958; Panre, 1961, Девдариани, 1966;

Пириев и Гасанов, 1963, Пириев, 1968; Философов, 1967; Чернин, 1967, Бабаев, 1972 и др.).

Следует отметить, что результаты вычисления среднего угла наклона по формуле (3.1) Финстервальдера преуменьшены в сравнении с действительным их значением. Это связано, с одной стороны, с тем, что сумму длин горизонталей невозможно получить даже по наиболее точным крупномасштабным топографическим картам из-за картографической генерализации (Шокальский, 1930; Волков, 1950; Маловичко, 1951; Знаменщиков, 1961, 1963, 1964, 1965; Философов, 1967; Бабаев, 1974 и т.д.), а с другой стороны на снижение результатов вычисления среднего угла наклона влияют: а) неправильный выбор высоты сечения рельефа на исследуемом участке; б) несовершенство измерительных приборов, применяемых в картометрических исследованиях; в) степень извилистости горизонталей и т.д.

Однако, измерение суммы длин горизонталей всегда выполняется с определенными ошибками, поэтому следует вводить поправки за длину горизонталей, т.е. приводить результаты измерений по картам к размерам объекта в природе. Этот переход Н.М.Волков (1950) называет редуцированием и придает ему особое значение при картометрических исследованиях, в том числе и при определении среднего угла наклона земной поверхности.

Учитывая эти недостатки и трудоемкость измерительных процессов, многие исследователи постоянно ищут новые способы определения среднего угла наклона, «... хотя бы в ущерб точности, но зато с более удобным

алгоритмом» (Бусалаев, 1966).

За 25 лет, прошедшие после появления труда Н.М.Волкова (1950), было опубликовано значительное количество работ по морфометрии. Следует отметить, что исследование морфометрических характеристик (в частности среднего угла наклона) проводилось главным образом в статистических, аналитических и графоаналитических направлениях, причем разработка формул и способов картирования углов наклона земной поверхности постоянно модифицируется (Шергина, 1956; Бочаров и Николаев, 1957; Камалов, 1965; Бусалаев, 1966; Шумм (Schumm, 1966); Чернин, 1967; Кудновска (Kudrnowska, 1968), Бабаев, 1972) и др.

Рассмотрим некоторые из способов определения среднего угла наклона с точки зрения их теоретического и практического значения.

Способ К.Б.Шергиной (1956) основан на осреднении частных уклонов, подсчитанных в углах сетки равных квадратов, т.е. площадь исследуемого водосбора разбивается на равные квадраты, затем вычисляются частные уклоны в вершинах этих квадратов (точках) так, чтобы последние не имели связи с формой рельефа местности и носили случайный характер. Вычисления проводятся в следующем порядке: определяются разности высот Δh соседних горизонталей и величина заложенной между ними $\Delta \ell$, после чего частный угол определяется по формуле:

$$j_i = \frac{\Delta h}{\Delta \ell} \quad (3.2)$$

Средний уклон водосбора вычисляется как среднеарифметическое по формуле:

$$\bar{j}_0 = \sum_{i=1}^n j_i / n \quad (3.3)$$

Основными недостатками вычисления среднего угла наклона по указанному методу являются, по И.В.Бусалаеву (1966), следующие, с которыми согласны и мы:

- 1) Отсутствие учета уклона местности внутри замкнутой горизонтали (на вершинах возвышенностей, на дне впадин и т.п.);
- 2) Невозможность точного определения наложений между горизонталями вследствие их кривизны;
- 3) Низкая точность результатов измерений.

За «истинный» средний уклон водосбора К.Б.Шергина принимает значение $J_{\text{сп}}$, вычисленное по формуле¹

$$J_{\text{сп}} = \frac{h \left(\frac{h - h_n}{2} + L_1 + L_2 + L_3 + \dots + L_{n-1} \right)}{P} \quad (3.4)$$

где L_1, L_2, \dots, L_n - длина горизонталей;

P - площадь водосбора.

Произведя сравнительный анализ средних углов наклона, вычисленных по формулам (3.3) и (3.4) в пределах

¹ Эта формула равносильна формуле (3.1). В гидрологии для определения $J_{\text{сп}}$ используют формулу в виде (3.4).

различных водосборов рек Казахстана, К.Б.Шергиной установлена точность предложенного ею способа.

Результаты сравнения приводятся в табл. 18.

Как видно из табл. 18 определение среднего угла наклона водосбора статистическим методом (по формуле 3.3) дает в основном заниженные результаты по сравнению с формулой 3.4, что свидетельствует о низкой точности предложенного способа, так как из 28 случаев только 4 дали положительные результаты. Отклонения в трех случаях дали свыше 10%, в четырех - 5-9%, а в подавляющем же большинстве погрешность менее 3,3%.

Однако формула (3.3) была предложена для практической работы. Это мотивируется тем, что «исходя из невысокой точности вычисления различных исходных гидрологических показателей (нормы стока, максимальных расходов и т.п.) можно считать что определение среднего угла наклона водосбора статистическим методом с ошибкой в 4-5%, является вполне приемлемым» (Шергина, 1956).

С.А.Николаев (1957) подходит к вопросу количественной характеристики рельефа с точки зрения его развития и происхождения.

Методика определения среднего угла наклона земной поверхности основывается на расчленении¹ рельефа структурными линиями на элементарные скаты. Предложенная С.А.Николаевым (1957) формула для опре-

¹ Методику расчленения рельефа структурными линиями на элементарные скаты впервые предложил С.И.Ефремов (1949).

деления среднего угла наклона имеет вид:

$$\operatorname{tg} \bar{\alpha} = \frac{hM}{L}, \quad (3.5)$$

где L - длина орографических линий в пределах исследуемого участка;

M - количество пересечений орографических линий с горизонталями;

h - высота сечения рельефа.

Сущность расчёта формулы (3.5) заключается в следующем: исследуемый участок расчленяется линиями орографической сети (водоразделы, тальвеги, бровки и.д.) на элементарные поверхности. Определяется общая длина орографических линий L ; затем подсчитывается число пересечений орографических линий с линиями горизонталей. Полученные значения подставляются в формулу (3.5).

Таблица 18

Сравнительный анализ средних углов наклона,
вычисленных
по формулам (3.4) и (3.3) (по К.Б.Шергиной, 1956)

№№ Река, пункт	площадь водосбора, км ²	Число точек	Площадь квадрата, км ²	Средний угол водосбора		Отклонения в % (3.3)-(3.4)
				По формуле (3.4)	По статистическому методу (3.3)	
1. Селеты-с. Ильинское	12202	70	174	0,00629	0,00628	- 0,1
2. Чидерты-совхоз Экибастуз	10298	101	102	0,01178	0,01134	- 3,8
		51	202	0,01178	0,01157	- 1,8
		26	396	0,01178	0,01145	- 3,0
3. Токрау-с. Ак-Тумсуз	4950	48	103	0,01773	0,01733	- 2,0
		23	215	0,01773	0,01660	- 6,4
		12	413	0,01773	0,01814	+ 2,0
4. Мониты-ж.д.ст.Киник	840	10	84	0,01250	0,01238	- 1,0
5. Кура-с. Сергиополье.	12548	133	94	0,01344	0,01317	- 2,1
		59	213	0,01344	0,01285	- 4,4
		31	406	0,01344	0,01318	- 1,9
6. Сары-су-ж.д.разъезд №57	23989	150	160	0,01140	0,01150	0,0
		73	328	0,01140	0,01250	+ 0,1
		36	665	0,01140	0,01020	- 0,1
7. Ата-су-сопка Каспал	2231	13	172	0,01660	0,01650	- 0,1
8. Ушл-с. Алпы Кара-Су	7000	73	96	0,01077	0,01066	- 1,1
		37	189	0,01077	0,01136	+ 5,0
		18	389	0,01077	0,00951	- 11,7
9. Ушл-аул Тал-Тогай	16870	173	97	0,00920	0,00914	- 0,7
		87	194	0,00920	0,00948	+ 3,0
10. Б. Узень-г. Новоузенск	7790	40	422	0,00920	0,00817	- 11,7
		71	110	0,00500	0,00500	0
		34	229	0,00500	0,00479	- 5,0
11. М. Узень-с. М. Узень	3780	38	99	0,00399	0,00392	- 1,8
		18	210	0,00399	0,00362	- 9,0

Согласно Р.Х.Пириеву (1968), определение среднего угла наклона по формуле (3.5) сводится к вычислению «среднего угла наклона каждой орографической линии, ограничивающей элементарные скаты, и среднее (вернее средневзвешенное) из этих уклонов дает средний угол наклона в пределах выбранного участка (квадрата, бассейна и т.п.)».

С целью выяснения точности определения среднего угла наклона по формуле (3.5) нами был произведен сравнительный анализ средних углов наклона, вычисленных по формулам (3.5) и (3.1) для одного и того же ключевого участка. При этом за «истинное» значение принимались средние углы наклона, вычисленные по формуле (3.1) Финстервальдера как наиболее точной и математически обоснованной формуле. Сравнительный анализ проведен по крупномасштабным топографическим картам в пределах 25-ти различных по размеру ключевых участков (табл. 19).

Как видно табл. 19, определение среднего угла наклона по формуле (3.5) в основном дает заниженные результаты. Лишь в шести случаях, когда рельеф является равнинным или предгорным (с преобладанием углов наклона меньше 6°) получены совершенно случайно завышенные результаты.

Таблица 19

Средние углы наклона, вычисленные по формулам (3.1) и (3.5) для одного и того же ключевого участка

№№ ключевых участков	Тип рельефа	Размер ключевых участков в км ²	Средние углы наклона, вычисленные по формулам				Отклонение $\alpha_2 - \alpha_1$	Отклонение в %
			$\alpha_{ср} = \frac{\sum \alpha_i}{n}$	Время, затраченное на работу	$\alpha_{ср} = \frac{\sum \alpha_i}{n}$	Время, затраченное на работу		
1	РАВНИННЫЙ	6x6	1° 19'	0, 08м	1° 12'	0, 08м	-0° 07'	- 9,7
2		8x8	0 50	0 05	1 10	0 05	+0 20	+40,0
3		8x8	0 58	0 10	1 00	0 05	-0 02	+3,4
4		8x8	1 16	0 15	1 15	0 05	-0 01	-1,3
5		10x10	1 29	0 18	1 24	0 10	-0 05	-5,6
6		12x12	1 27	0 20	1 23	0 10	-0 04	-4,6
7		12x12	1 55	0 25	2 12	0 15	-0 17	+14,8
8	ПРЕДГОРНЫЙ	4x4	5 02	0 15	5 23	0 10	+0 21	+6,9
9		4x4	7 04	0 20	6 31	0 15	- 0 33	- 7,8
10		6x6	2 43	0 10	2 52	0 05	+0 09	+5,5
11		6x6	6 08	0 12	5 34	0 08	-0 34	-9,2
12		8x8	3 35	0 28	4 16	0 25	-0 41	+19,1
13		8x8	6 47	0 35	6 12	0 14	-0 35	-8,6
14		10x10	2 00	0 20	2 27	0 10	+0 27	+22,5
15	ГОРНЫЙ	4x4	15 23	0 13	15 05	0 06	-0 18	-1,9
16		4x4	16 21	0 15	15 55	0 08	-0 26	-2,7
17		4x4	18 04	0 20	17 00	0 10	-1 04	-5,9
18		4x4	21 16	0 23	18 44	0 10	-2 32	-11,9
19		6x6	17 40	0 30	16 35	0 17	-1 05	-6,1
20		6x6	19 32	0 35	17 24	0 10	-2 08	-10,9
21		6x6	31 43	1 05	30 17	0 45	-1 26	-4,5
22		8x8	18 47	1 05	16 14	0 32	-2 33	-13,6
23		8x8	21 06	1 22	18 58	0 35	-2 08	-10,1
24		8x8	37 15	1 30	35 07	0 55	-2 08	-5,7
25		8x8	38 13	1 35	35 24	1 00	-2 49	-7,4

Это связано с тем, что на указанных участках элементы рельефа не выражаются достаточно четко, и поэтому в подобных случаях проведение орографических линий затрудняется. Вследствие этого допускаются некоторые неточности (произвольности) проведения орографических линий на участке, что приводит согласно формуле (3.5) к

повышению результатов определения среднего угла наклона поверхности. Из полученных результатов видно, что в равнинных и предгорных участках рельефа отклонения углов наклона колеблются в больших пределах: от +40,0 до -22,5% (разница +62,5%), что свидетельствует о нестабильности результатов средних углов наклона, вычисленных по формуле (3.5). По нашему мнению, для определения среднего угла наклона на равнинных и предгорных участках, где нет ярко выраженных элементов форм рельефа, формула (3.5) С.А.Николаева непригодна.

В горных районах величина отклонения всегда имеет заниженные результаты и колеблется от $\pm 0^{\circ}18'$ до $-2^{\circ}49'$. Отклонение по сравнению на равнинных и предгорных участках рельефа имеет небольшие разницы от -1,9% до -13,6; (разница -11,7%). Заниженные результаты среднего угла наклона в горных и высокогорных районах вполне закономерны, причиной этого является картографическая генерализация горизонталей. В зависимости от степени генерализации горизонталей сглаживаются, т.е. теряются некоторые мелкие элементы рельефа, их извилины и т.п., вследствие чего на исследуемом участке наносится меньшее количество орографических линий. Отсюда число пересечений орографических линий с горизонталями M уменьшается, и в результате средний угол наклона занижается. На точность результатов определения средних углов наклона влияют также неправильное нанесение и измерение длин орографических линий.

Из вышеизложенного видно, что причиной неточности определения среднего угла наклона в горных участках

рельефа по формуле (3.6) С.А.Николаева в основном является генерализация горизонталей. Чтобы уменьшить влияние генерализации горизонталей при определении среднего угла наклона по формуле (3.5) мы провели дополнительные измерения в пределах 10 ключевых участков в высокогорном и горном рельефах в крупном масштабе (крупнее 1:100000).

Увеличение масштаба карт дало возможность в горных и высокогорных участках рельефа местности произвести с большей точностью расчленения рельефа орографическими (структурными) линиями на элементарные скаты. В результате чего определение среднего угла наклона по формуле (3.5) дало в шести случаях положительные и четырех - отрицательные отклонения (табл. 20).

Таблица 20

Средние углы наклона, вычисленные по формулам (3.1) и (3.5) для одного и того же ключевого участка

№№ ключевых участков	Тип рельефа	Размер ключевых участков в км ²	Средние углы наклона, вычисленные по формулам				Отклонение $\alpha_2 - \alpha_1$	Отклонение в %
			$\alpha_1 = \frac{MM}{P}$	Время, затраченно на работу	$\alpha_2 = \frac{MM}{L}$	Время, затраченно на работу		
1	Горный и высокогорный	4x4	17° 27'	0, 20м	16° 09'	0, 10м	-1° 18'	-7,4
2		4x4	23 15	0 25	23 44	0 12	+0 29	+2,1
3		4x4	23 42	0 25	24 36	0 10	+0 54	+3,8
4		6x6	19 15	0 42	18 22	0 17	-0 53	-4,6
5		6x6	31 12	1 00	32 27	0 28	+1 15	+4,0
6		6x6	33 18	1 20	33 31	0 30	+0 47	+2,4
7		6x6	40 02	1 27	38 16	0 48	-1 46	-4,4
8		8x8	38 17	1 35	37 41	0 50	-0 36	-1,6
9		8x8	42 21	2 33	43 12	1 00	+0 51	+2,0
10		8x8	42 48	2 10	43 21	1 05	+0 36	+1,4

Как видно из табл. 20, формула (3.5) для горных и высокогорных участков рельефа дает хорошие результаты, близкие к результатам, полученным по формуле (3.1) Финстервальдера. При этом картометрические работы сокращаются более чем в 2 раза и поэтому применение формулы (3.5) в указанных районах (и масштабах карт > 1:100000) может быть приемлемым.

Учитывая низкую точность определения среднего угла наклона и трудоемкость измерения длины горизонталей по формуле Финстервальдера, И.В.Бусалаев (1966) предложил вероятностно – статистический способ, в котором непосредственное измерение длины горизонталей по картам заменяется подсчетом пересечения точек сторон квадратной сетки с горизонталями. Формула имеет вид:

$$\sum \ell = \frac{1,57q}{2} M' \quad (2.8)$$

Подставив значение $\sum \ell$ в формулу (3.1), он получил формулу среднего угла наклона земной поверхности в виде:

$$\operatorname{tg} \bar{\alpha} = \frac{1,57hq}{2p} M' \quad (3.6)$$

Определение среднего угла наклона по формуле (3.6) существенно уменьшает объем картометрических работ.

Работу по формуле (3.6) рекомендуется производить в следующей последовательности:

- 1) Рельеф исследуемого участка разбивается на квадраты со стороной q (в мм);
- 2) Подсчитывается общее число M' пересечений горизонталей со сторонами квадратной сетки;

- 3) Измеряется площадь P исследуемого участка;
- 4) Значения указанных параметров представляются в формуле (3.6), по которой определяется средний угол наклона поверхности.

Для сравнительной характеристики в табл. 21 приводятся средние углы наклона, вычисленные по формулам (3.1) и (3.6) для одного и того же ключевого участка.

Таблица 21

Средние углы наклона, вычисленные по формулам (3.1) и (3.6)

№№ ключевых участков	Тип рельефа	Размер ключевых участков в км ²	Средние углы наклона, вычисленные по формулам			Отклонение $\alpha_1 - \alpha_2$	Отклонение в %	
			$\bar{\alpha}_1 = \frac{\Delta \ell}{P}$	Время, затраченное на работу	$\bar{\alpha}_2 = \frac{1,57q}{2P} M'$			Время, затраченное на работу
1	РАВНИННЫЙ	6x6	1° 19'	0,08м	1° 24'	0,05м	+0° 05'	+6,3
2		8x8	0 50	0 05	0 51	0 03	+0 01	+2,0
3		8x8	0 58	0 10	1 02	0 07	+0 04	+6,9
4		8x8	1 16	0 15	1 17	0 10	+0 01	+13,2
5		10x10	1 29	0 18	1 59	0 06	+0 30	+33,7
6		12x12	1 27	0 20	1 33	0 09	-0 06	+6,9
7		12x12	1 55	0 25	2 03	0 10	+0 08	+6,9
8	ПРЕДГОРНЫЙ	4x4	5 02	0 15	6 20	0 07	+1 18	+25,8
9		4x4	1 04	0 20	1 14	0 15	+0 10	+2,3
10		6x6	2 43	0 10	3 38	0 06	+0 55	+33,7
11		6x6	6 08	0 12	7 35	0 06	+1 27	+23,6
12		8x8	3 35	0 28	3 37	0 02	+0 02	+0,9
13		8x8	6 47	0 35	7 23	0 30	+0 36	+8,8
14		10x10	2 00	0 20	2 24	0 10	-0 24	+20,0
15	ГОРНЫЙ	4x4	15 23	0 13	18 00	0 08	+2 37	+17,0
16		4x4	16 21	0 15	18 45	0 07	+2 24	+14,7
17		4x4	18 04	0 20	20 04	0 08	+2 00	+11,1
18		4x4	21 16	0 23	23 27	0 10	+2 11	+10,3
19		6x6	17 40	0 30	19 28	0 15	+1 48	+10,2
20		6x6	19 32	0 35	21 00	0 15	+1 28	+7,5
21		6x6	31 43	1 05	34 13	0 47	+2 30	+7,8
22		8x8	18 47	1 05	20 58	0 30	+2 11	+11,6
23		8x8	21 06	1 22	22 39	0 40	+1 33	+7,3
24		8x8	37 15	1 35	38 52	1 25	+1 37	+4,3
25	8x8	38 13	1 35	39 41	1 20	-1 28	+3,8	

Как видно из табл. 21, значения углов наклона, вычисленные по формуле (3.6) И.В.Бусалаева завышены по сравнению с результатами, полученными по формуле (3.1) Финстервальдера. Это свидетельствует о том, что при определении среднего угла наклона по формуле (3.6), сумма длин горизонталей вычислена более точно, чем циркулем с раствором 1 мм.

Как видно, в формуле (3.6) сумма длин горизонталей является одним из основных параметров, влияющих на точность определения среднего угла наклона местности.

Измерение длин горизонталей по формуле (3.6) производится по квадратной палетке (с параметрами $N = 2$; $q = 3,82 \text{ mm}$). Проведенные нами исследования по графо-аналитическим способам (Бабаев, 1975) показали, что при измерении длин извилистых линий палеткой результаты измерения полностью освобождаются от ошибки за извилистость (табл. 9 и 10). И это является основной причиной повышения точности определения суммы длин горизонталей и, в свою очередь среднего угла наклона по формуле (3.6). Это можно заметить и по табл. 21, где на равнинных и предгорных участках рельефа извилистость горизонталей незначительна, отклонение в средних углах наклона изменяется в пределах от $-0^{\circ}01'$ до $+1^{\circ}27'$ (отклонение в % для указанных участков составляет $+2,0 \div +33,7\%$), а в горных участках, где извилистость горизонталей больше, отклонение в средних углах наклона увеличивается и достигает от $+1^{\circ}28'$ до $+2^{\circ}37'$ ($+3,8 \div +17,0\%$).

Метод секущих линий, предложенный Хортоном

(1926), основан на определении среднего заложения горизонталей на исследуемом участке. С этой целью участок покрывается сеткой параллельных линий и подсчитывается число пересечений M^0 горизонталей с параллельными линиями. Разделив суммарную длину параллельных линий на число пересечений, находят среднее расстояние между горизонталями, т.е.:

$$\alpha = \frac{\sum \ell''}{M^0} \quad (3.7)$$

Учитывая, что формула (3.7) полностью не отвечает требуемому результату, Хортон ввел поправочный коэффициент на средний угол пересечения горизонталей с прямыми: $K = \sin \varphi = 0,63$. При введении $K = \sin \varphi$ в формулу (3.7), среднее заложение приближается к истинному значению. Хортон исходил при этом из того, что в любом положении горизонтали могут пересекаться с линиями сетки под углом от 0 до 90° , что составляет в среднем $\sin \varphi = 0,63$. (Результат получен эмпирическим путем по задаче Вюффона). Следовательно, среднее заложение будет равно:

$$\bar{\alpha} = \frac{\sum \ell^0}{M^0} \cdot 0,63 \quad (3.8)$$

а средний угол наклона:

$$\text{tg} \bar{\alpha} = \frac{h}{\bar{\alpha}} = \frac{1,57 h M^0}{\sum \ell^0} \quad (3.9)$$

Формула (3.9) Хортона широко применяется в США, а

формула (3.6) И.В.Бусалаева – СНГ. По исследованиям И.В.Бусалаева (1966), в зависимости от формы исследуемого участка, обе эти формулы в частных случаях (для квадратов, прямоугольников и т.п.) равнозначны, а для более сложных фигур, которые могут представлять собой элементарный скат, бассейн и т.п. определение среднего угла наклона по формуле (3.9) приводит к ошибкам. Это объясняется тем, что площадь исследуемого участка по формуле (3.9) заменена приближенным выражением $P = \sum \ell^0 \alpha^0$ и не соответствует участкам, имеющим сложные конфигурации (например, одинаковые участки по густоте горизонталей, бассейны рек, экспозиции склонов, визуально выделенные участки и т. д.).

Следует отметить, что существуют и другие формулы для определения среднего угла наклона местности (Мазурова и Мазур, 1958; Знаменщиков, 1965; Камалов, 1965; Schumm, 1966; В.М.Чернин, 1967; Л.С.Зиновьев и В.К.Ситников, 1967; Kudrnowska, 1968 и др.). Однако эти формулы в основном идентичны формулам (3.1) Финстервальдера, или же (3.5) С.А.Николаева. Поэтому они в данной работе не рассматриваются.

Определение среднего угла наклона графоаналитическим способом

Предложенная нами методика определения среднего угла наклона графоаналитическим способом основывается на формуле (3.1) с тем различием, что длины горизонталей не измеряются циркулем, а определяются графоаналитическим способом с помощью предложенной нами «часовой палетки».

Заменяя значения $\sum \ell$ в формуле $tg \bar{\alpha} = \frac{h \sum \ell}{P}$

Финстервальдера соответствующими значениями $\sum \ell$, определяемыми по формулам (2.42), (2.43), (2.44) и (2.45) можно получить ряд формул для определения среднего угла наклона земной поверхности графоаналитическим способом:

$$tg \bar{\alpha}_1 = \frac{0.785 h q_{i=1mm} \sum_{i=1}^{N=2} M_i}{P}, \quad \text{или}$$

$$tg \bar{\alpha}_1 = \frac{0.785 h \sum_{i=1}^{N=2} M_i}{P}, \quad (3.10)$$

$$tg \bar{\alpha}_2 = \frac{0.3925 h q_{i=2mm} \sum_{i=1}^{N=4} M_i}{P}, \quad \text{или}$$

$$tg \bar{\alpha}_2 = \frac{0.785 h \sum_{i=1}^{N=4} M_i}{P}, \quad (3.11)$$

$$\operatorname{tg} \bar{\alpha}_3 = \frac{0.262hq_{=3\text{мм}}}{P} \sum_{i=1}^{N=6} M_i \quad \text{или}$$

$$\operatorname{tg} \bar{\alpha}_3 = \frac{0.785h}{P} \sum_{i=1}^{N=6} M_i, \quad (3.12)$$

$$\operatorname{tg} \bar{\alpha}_4 = \frac{0.19625hq_{=4\text{мм}}}{P} \sum_{i=1}^{N=8} M_i \quad \text{или}$$

$$\operatorname{tg} \bar{\alpha}_4 = \frac{0.785h}{P} \sum_{i=1}^{N=8} M_i, \quad (3.13)$$

Эти формулы можно представить в общем виде:

$$\operatorname{tg} \bar{\alpha} = \frac{\pi qh}{2NP} \sum_{i=1}^N M_i. \quad (3.14)$$

В зависимости от характера и типа рельефа на картах горизонтали имеют различную густоту. Это обуславливает для определения среднего угла наклона необходимость применения формулы (3.14) с различными параметрами N и q в зависимости от густоты горизонталей и их извилистости. С этой целью делается попытка связать различные формы рельефа с оптимальными параметрами N и q . Например, формула (3.10) с параметрами $N=2$, $q=1\text{мм}$ больше всего подходит к плоским пологим и слабонаклонным равнинам. В этих районах горизонтали обычно проводятся редко, а их извилистость незначительна. Для определения $\Sigma \ell$ в указанных районах целесообразно применять

часовую палетку с параллельными линиями $q=1\text{мм}$. При этом подсчет числа M_i облегчается и сумма длин горизонталей определяется легко и быстро (при сохранении высокой точности). При увеличении густоты горизонталей и их извилин определение $\Sigma \ell$ затрудняется по формуле 3.10, поэтому с применением различных часовых палеток и различных оптимальных параметров N и q (с соответствующими формулами 3.11, 3.12 и 3.13) указанное затруднение устраняется. Поэтому, учитывая вышеизложенное, нами при определении среднего угла наклона на ключевых участках была использована формула 3.12, так как последняя более подходит к выбранным нами формам рельефа вообще (равнинным, предгорным и горным).

Такой подход к определению среднего угла наклона по предложенным нами формулам следует из того, что при определении суммы длин горизонталей необходимо учитывать их густоту в пределах исследуемого участка и связать их с величиной q (расстояние между прямыми линиями палетки). Чем больше густота горизонталей, тем сетка должна быть более разреженной. Например, $q=3\text{мм}$ (формула 3.12) или $q=4\text{мм}$ (формула 3.13). В обратном случае затрудняется подсчет числа M и тем самым снижается точность определения суммы длин горизонталей, что в конечном результате отрицательно влияет на определение среднего угла наклона земной поверхности.

В табл. 22 приводятся средние углы наклона, вычисленные по формулам (3.1) и (3.12).

Как видно из табл.22 средний угол наклона по предложенной нами формуле (3.12) дает большее значение. Этого и следовало ожидать, так как:

а) способы измерения длин горизонталей в указанных формулах различные, т.е. по формуле (3.12) измерение длин горизонталей производится по часовой палетке, а по формуле (3.1) циркулем;

б) максимальная величина отклонений и средняя квадратическая ошибка измерения ($m_{\Delta\alpha}$) длин извилистых линий (в том числе горизонталей) по часовой палетке (формула 3.12) соответственно составляет $\pm 2\%$ ($m_{\Delta\alpha} = \pm 1\%$), а циркулем при $d=1\text{мм}$ ($-17,3\%$; $m_{\Delta\alpha} = -8,13\%$) см. табл.13 и 16;

в) при измерении длин горизонталей (извилистых линий) по часовой палетке результаты измерения полностью освобождаются от ошибки за извилистость¹, а при измерении циркулем, наоборот, указанная ошибка зависит от степени извилистости измеряемой линии (табл. 9 и 11).

Различия, указанные в пунктах (б) и (в) являются причиной увеличения значения среднего угла наклона по формуле (3.12).

¹ Полученные ошибки в пункте (б) обусловлены графической точностью построения палетки и индивидуальной ошибкой самого исследователя при подсчете числа M .

Таблица 22.

Средние углы наклона, вычисленные по формулам (3.1) и (3.12) для одного и того же ключевого участка

№№ ключевых участков	Тип рельефа	Размер ключевых участков в км ²	Средние углы наклона, вычисленные по формулам				Отклонение $\alpha_2 - \alpha_1$	Отклонение в %
			$\alpha_1 = \frac{\Delta\Sigma}{P}$	Время, затраченное на работу	$\alpha_2 = \frac{0,7854 \sum_{i=1}^n M_i}{P}$	Время, затраченное на работу		
1	Равнинный	6x6	1° 19'	0,08м	1° 25'	0,08м	+0° 06'	+7,6
2		8x8	0 50	0 05	0 55	0 05	+0 05	+10,0
3		8x8	0 58	0 10	1 03	0 10	+0 05	+8,6
4		8x8	1 16	0 15	1 20	0 15	+0 04	+5,3
5		10x10	1 29	0 18	2 03	0 10	+0 34	+38,2
6		12x12	1 27	0 20	1 34	0 15	+0 07	+8,0
7		12x12	1 55	0 25	2 06	0 17	+0 11	+9,6
8	Предгорный	4x4	5 02	0 15	6 25	0 07	+1 23	+27,5
9		4x4	7 04	0 20	8 00	0 26	+0 56	+13,2
10		6x6	2 43	0 10	3 51	0 10	+1 08	+29,4
11		6x6	6 08	0 12	7 40	0 10	+1 32	+25,0
12		8x8	3 35	0 28	3 56	0 18	+0 21	+9,8
13		8x8	6 47	0 35	8 03	0 24	+1 16	+18,7
14		10x10	2 00	0 20	2 28	0 15	+0 28	+23,3
15		4x4	15 23	0 13	19 11	0 11	+3 48	+24,7
16	Горный	4x4	16 21	0 15	19 51	0 10	+3 30	+21,4
17		4x4	18 04	0 20	20 15	0 10	+2 11	+12,3
18		4x4	21 16	0 23	23 36	0 14	+2 20	+10,9
19		6x6	17 40	0 30	20 16	0 23	+2 36	+14,2
20		6x6	19 32	0 35	22 03	0 25	+2 31	+12,9
21		6x6	31 43	1 05	35 25	0 40	+3 42	+11,6
22		8x8	18 47	1 05	21 12	0 45	+2 25	+12,8
23		8x8	21 06	1 22	23 58	0 57	+2 52	+14,3
24		8x8	37 15	1 37	40 37	1 10	+3 22	+9,1
25		8x8	38 13	1 40	41 33	1 10	+3 10	+8,5

Это еще раз подтверждается отклонениями средних углов наклона по формулам (3.1) и (3.12) на 25 ключевых участках по различным типам рельефа (в 7 случаях рельеф равнинный, в 7-ми – предгорный, в 11-ти – горный). На равнинных участках рельефа, где извилистость горизонталей незначительна, отклонение в средних углах наклона также колеблется в незначительных пределах: от $+0^{\circ}04'$ до $+0^{\circ}34'$. Поэтому измерение длин горизонталей по часовой палетке очень мало отличается от результатов измерений, проведенных циркулем. Поэтому формула (3.1) Финстервальдера может быть применена при определении среднего угла наклона местности лишь на равнинных участках рельефа, где средние углы наклона не превышают 2° .

В предгорных районах, где средний угол наклона изменяется от 2° до 8° (в нашем примере) и извилистость горизонталей несколько больше по сравнению с равнинным рельефом, отклонения средних углов наклона увеличиваются от $+0^{\circ}21'$ до $+1^{\circ}32'$.

Более резкое отклонение в средних углах наклона наблюдается для горных участков рельефа: от $+2^{\circ}11'$ до $+3^{\circ}48'$. Это объясняется тем, что при измерении длин горизонталей циркулем происходит уменьшение длины горизонталей из-за их извилин. А в графоаналитических способах при измерении длин горизонталей по часовой палетке величине ошибки за извилистость отсутствует и получаются результаты близкие к истинным значениям в масштабе карт. Поэтому разница в отклонениях увеличи-

вается в зависимости от степени извилистости горизонталей или других извилистых линий.

Приведем еще один сравнительный анализ определения среднего угла наклона местности двумя графоаналитическими способами: по способу квадратной палетки И.В. Бусалаева (формула 3.6) и по предложенной нами «часовой палетка» (формула 3.12).

Результаты исследований представлены в табл. 23.

Проведенный анализ на 25 ключевых участках (табл. 23) показывает, что предложенная нами формула (3.12) при определении среднего угла наклона способом часовой палетки (с оптимальными параметрами $N=6$; $q=3\text{мм}$) дает более завышенные результаты, чем формула (3.6) И.В. Бусалаева. Это связано с тем, что при измерении длины горизонталей по часовой палетке (при $N=6$) происходит раздробление горизонталей (т.е. измеренной линии) на более мелкие отрезки, чем при квадратной палетке (при $N=2$) И.В. Бусалаева. И в результате этого длины горизонталей по часовой палетке измеряются точнее, чем по квадратной палетке. Это хорошо видно при определении средних углов наклона (по типам рельефа) по формулам (3.6) и (3.12), представленных в табл. 23.

Как видно из табл. 23, отклонение среднего угла наклона для равнинного рельефа отличается незначительно: от $+0^{\circ}01'$ до $+0^{\circ}04'$, а для предгорного и горного рельефа величина ошибки (отклонение) увеличивается за счет увеличения густоты горизонталей и числа их извилин в пределах элементарного участка и достигает в предгорном

рельефе от $+0^{\circ}04'$ до $+0^{\circ}46'$, а в горном от $+0^{\circ}09'$ до $+1^{\circ}45'$.

Таблица 23.

Средние углы наклона, вычисленные по формулам (3.6) и (3.12) для одного и того же ключевого участка

№ ключевого участка	Тип рельефа	Размер ключевого участка в км ²	Средние углы наклона, вычисленные по формулам			Отклонение $\alpha_2 - \alpha_1$	Относительная погрешность в %	
			$\alpha_1 = \frac{100 \cdot \sum h}{2P} \cdot M'$	Время, затраченное на работу	$\alpha_2 = \frac{100 \cdot \sum h \cdot M}{P \cdot \sum M}$			Время, затраченное на работу
1	РАВНИННЫЙ	6x6	1° 24'	0, 05м	1° 25'	0, 08м	+0° 01'	+1.2
2		8x8	0 51	0 03	0 55	0 05	10 04	+7.8
3		8x8	1 02	0 07	1 03	0 10	+0 01	+1.6
4		8x8	1 17	0 10	1 20	0 15	+0 03	+4.0
5		10x10	1 59	0 06	2 03	0 10	+0 04	+3.4
6		12x12	1 83	0 09	1 34	0 15	+0 01	+1.1
7		12x12	2 03	0 10	2 06	0 17	+0 03	+2.4
8	ПРЕДГОРНЫЙ	4x4	6 20	0 07	6 25	0 07	+0 05	+1.3
9		4x4	7 14	0 15	8 00	0 26	+0 46	+10.6
10		6x6	3 38	0 06	3 51	0 10	+0 13	+5.9
11		6x6	7 35	0 06	7 40	0 10	+0 05	+1.1
12		8x8	3 37	0 12	3 56	0 18	+0 19	+8.7
13		8x8	7 23	0 30	8 03	0 24	+0 40	+9.0
14		10x10	2 24	0 10	2 27	0 15	+0 04	+2.8
15	ГОРНЫЙ	4x4	18 00	0 08	19 11	0 11	+1 11	+6.6
16		4x4	18 45	0 07	19 51	0 10	+1 06	+5.8
17		4x4	20 04	0 08	20 15	0 10	+0 11	+0.9
18		4x4	23 27	0 10	23 36	0 14	+0 09	+0.6
19		6x6	19 28	0 15	20 16	0 25	+0 48	+4.1
20		6x6	21 00	0 15	22 03	0 25	+1 03	+5.0
21		6x6	34 13	0 47	35 25	0 40	+1 12	+3.5
22		8x8	20 58	0 30	21 12	0 45	+0 14	+1.1
23		8x8	22 39	0 40	23 58	0 57	+1 19	+5.8
24		8x8	38 52	1 25	40 37	1 10	+1 45	+4.1
25	8x8	39 41	1 20	41 23	1 10	+1 42	+4.3	

По нашему мнению, увеличение отклонений для предгорного и горного рельефа связано в основном с тем, что при пересечении горизонталей, имеющих большую густоту и извилистость, с линиями квадратной сетки возникают некоторые трудности подсчета числа М из-за переплетений горизонталей со сторонами линий квадратной сетки. В результате этого допускается ошибка в подсчетах, уменьшается число пересечений и тем самым уменьшаются длины горизонталей. Кроме того, на уменьшение точности результатов влияет недостаточность числа приемов N, принятая для квадратной палетки (N=2 приема). Это способствует при измерении длин горизонталей сглаживанию извилин из-за недостаточности числа пересечения горизонталей с линиями квадратной сетки. в результате уменьшаются длины горизонталей и тем самым средние углы наклона местности, определяемые по формуле (3.6) И.Б.Бусалаева.

При измерении длин горизонталей по часовой палетке вышеуказанные недостатки полностью отсутствуют. Поэтому по часовой палетке длины горизонталей (независимо от густоты горизонталей и их извилин в пределах элементарного участка) измеряются без особого затруднения. Это прежде всего связано с тем, что линии часовой палетки имеют лишь одно направление. Поэтому во много раз облегчается процесс подсчета числа М. Увеличение по часовой палетке числа приемов N до 6 (т.е. N=6) способствует увеличению точности измерения длин горизонталей при любом числе их извилин. Поэтому измерение

длин горизонталей по часовой палетке независимо от типов рельефа местности проводится с большой точностью. В результате чего при определении среднего угла наклона по предложенной формуле (3.12) длины горизонталей и тем самым средние углы наклона местности приближаются к истинным их значениям.

Следует отметить, что средние углы наклона, вычисленные по формулам (3.6) и (3.12) на равнинном и предгорном участках рельефа местности имеют небольшую разницу. Величина отклонения в данных случаях не превышает $0^{\circ}46'$. Время, затраченное на определение среднего угла наклона в том и другом графоаналитическом способах измерения (по указанным типам рельефа), в основном не превышает 4-6 мин. Лишь в одном случае из 14, достигает 11 мин.

Учитывая вышеизложенное, мы пришли к выводу, что формула (3.6) И.Б.Бусалаева вполне может быть применена для определения среднего угла наклона в пределах равнинных и предгорных участков рельефа местности, а для горных участков рельефа формулу (3.6), по нашему мнению, лучше не применять, так как величина ошибки в данном случае достигает $+1^{\circ}45'$ (см. табл. 23).

Определение среднего угла наклона с использованием орографических линий

Определение средних углов наклона поверхности по формуле (3.1) требует измерения длин горизонталей и площадей соответствующих участков, что сопровождается большими трудностями и ошибками. Эти обстоятельства явились причиной поиска новых способов, позволяющих уменьшить трудоемкость работы по измерению площадей и длин, а также повысить точность этих измерений (Вахтин, 1931; Ченцов, 1948; Знаменщиков, 1965; Шергина, 1956; Николаев, 1957; Бусалаев, 1966; Чернин, 1967 и др.).

Для определения средних углов наклона поверхности с использованием орографических линий нами разработана следующая вероятностно-статистическая методика.

Пусть мы имеем какой-то элементарный участок. Среднее значение $(P : \Sigma \ell)$ выразим отношением средней длины орографических (структурных) линий $(L : n)$ к числу горизонталей (m') , т.е.:

$$\frac{P}{\Sigma \ell} = \frac{L}{n} : m', \quad \text{откуда}$$

$$\Sigma \ell = \frac{Pm'n}{L}, \quad (3.15)$$

или

$$\frac{\Sigma \ell}{m} = K'_r \cdot n' \quad \text{откуда}$$

$$\Sigma \ell = K_r' \cdot mn', \quad (3.16)$$

где L – сумма длин орографических линий на определенном участке;

m – число горизонталей;

n – число орографических линий;

m' – число горизонталей, приходящееся на среднюю длину орографических линий,

n' – число орографических линий, приходящееся на среднюю длину горизонталей;

K_r' – показатель горизонтального расчленения.

В качестве показателя горизонтального расчленения нами принято среднее расстояние между водоразделом и тальвегом.

$$K_r' = P : L. \quad (3.17)$$

Подставив значение K_r' в формулу (3.16), можно определить длину горизонталей в пределах заданного участка по формуле:

$$\Sigma \ell = \frac{Pmn'}{L}. \quad (3.18)$$

Подставив (3.15) и (3.18) в (3.1), получим формулу среднего угла наклона земной поверхности в двух вариантах:

$$tg \bar{\alpha} = \frac{hm'n}{L}, \quad (3.19)$$

$$tg \bar{\alpha} = \frac{hmn'}{L}. \quad (3.20)$$

При сопоставлении формул (3.19) и (3.20) выясняется, что произведения $m'n$ и mn' являются равнозначными, т.е.:

$$m'n = mn' = M \quad (3.21)$$

Подставит значение M в одну из формул (3.19) или (3.20), имеем:

$$tg \bar{\alpha} = \frac{hM}{L}. \quad (3.22)$$

В результате исследования обнаружено, что выведенная и математически обоснованная нами формула (3.22) равнозначна формуле С.А.Николаева (3.5) для вычисления среднего угла наклона. Проведенные нами исследования по формуле (3.5 табл. 20) показали, что данная методика вычисления среднего угла наклона дает вполне надежные результаты для горного и высокогорного рельефа. Точность определения среднего угла наклона земной поверхности по формуле (3.22) зависит:

- а) от точности проведения орографических линий L ;
- б) от точности измерения длин L орографических линий;
- в) от точности определения числа точек пересечения M орографических линий с горизонталями;
- г) от масштаба исследуемой карты (крупнее 1:100000).

Чем больше расчлененность местности, тем легче проводить орографические линии. При этом, однако, подсчет количества точек пересечения M затрудняется, в результате чего время на определение среднего угла наклона местности увеличивается. Поэтому указанный способ не нашел себе применения при морфометрических исследованиях.

Для облегчения определения теоретического числа M воспользуемся методами теории вероятности. Величины m' и n' пропорциональны числу n орографических линий и m горизонталей, т.е.:

$$\frac{m}{n} = \frac{m'}{n'} \quad (3.23)$$

Для нахождения величин m' или n' необходимо:

а) найти максимальное число N возможных случаев пересечения орографических линий с горизонталями (рис. 9) по формуле:

$$N = m - 1, \quad (3.24)$$

где N – максимально возможное число орографических линий, пересекающих горизонтали в различных вариантах.

б) при условии $n > m - 1$ определить среднее число \bar{n} повторений орографических линий, имеющих одинаковые значения числа M пересечений с горизонталями:

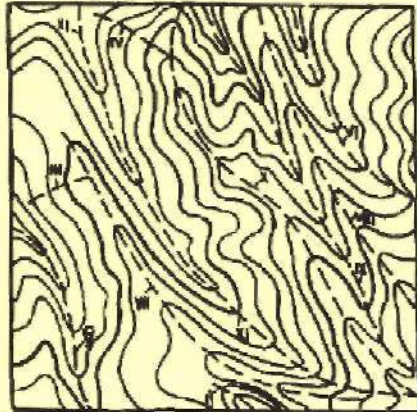
$$\bar{n} = \frac{n}{N} = \frac{n}{m - 1}. \quad (3.25)$$

В дальнейшем орографические линии будем различать по порядкам, определяемым в зависимости от числа точек пересечения их с горизонталями. Исследование показало, что каждая орографическая линия пересечет на одну горизонталь больше, чем ее порядок. Например: орографическая линия 1-го порядка пересекает две горизонтали; 2-го порядка – 3, n -го порядка m горизонталей (см. рис. 9б). Число точек $M_I, M_{II}, M_{III}, \dots, M_N$ полученных при пересечении орографических линий с горизонталями равно числу точек, полученных при пересечении горизонталей с орографическими линиями соответствующих порядков, т.е.

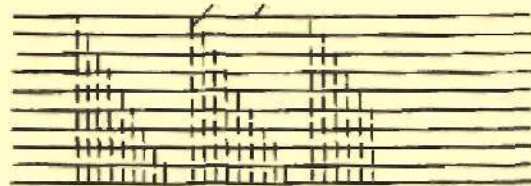
$$\left. \begin{aligned} M_I &= 2\bar{n} = 2 \frac{n}{m-1}, \\ M_{II} &= 3\bar{n} = 3 \frac{n}{m-1}, \\ M_{III} &= 4\bar{n} = 4 \frac{n}{m-1}, \\ &\vdots \\ M_{(m-1)} &= m\bar{n} = m \frac{n}{m-1}. \end{aligned} \right\} (3.26)$$

Суммируя выражения (3.26) получим число:

$$M_{\min} = (2 + 3 + 4 + \dots + m) \frac{n}{m-1} \quad (3.27)$$



а)



б) ————— горизонтали (м)
 - - - - - орографические линии (н)

участок с определенным расчленением (а)
 и геометрическая схема пересечения
 орографических линий с горизонталями (б)

которое, как будет показано ниже, представляет собой минимальное значение M на данном участке.

Согласно правилам арифметической прогрессии, формулу (3.27) можно переписать в виде:

$$M_{\min} = \frac{n(m+2)}{2} \quad (3.28)$$

Сравнивая (3.28) и (3.21), находим минимальные значения m' и n'

$$m'_{\min} = \frac{m+2}{2} = 1 + 0,5m, \quad (3.29)$$

$$n'_{\min} = \frac{n(m+2)}{2m} = \frac{n}{m} + 0,5n \quad (3.30)$$

Учитывая формулы (3.21), для вычисления значения M можно ограничиться формулой (3.29). Очевидно, что определение M по m'_{\min} дает заниженный результат. Для определения величины поправки в пределах определенного участка (рис.9 б) нами вычислено значение M для случаев $m=2, 3, 4, \dots, 15$ и $n=1, 2, 3, \dots, 100$ по формуле (3.29). При этом условное распределение орографических линий в пределах любого участка теоретически имеет следующую формулу:

$$M_{\text{уч.}} = [m + (m-1) + (m-2) + \dots + 2] + [m + (m-1) + (m-2) + \dots + 2] + \dots + [m + (m-1) + (m-2) + \dots + j] \quad (3.31)$$

где $j=3, 4, 5, \dots, m$.

откуда

$$M_{\text{уч.}} = K \frac{(m+2)(m-2)}{2} + \frac{(m+j)(m-j+1)}{2},$$

где K – число повторений.

Рис.9.

Как видно из формулы (3.31), при определении значения M физическая поверхность представляется состоящей из элементарных поверхностей, образованных орографическими линиями разного порядка. По формуле (3.31) нами составлена табл. 24 статистического ряда длиной $n=100$, показывающая зависимость количества орографических линий n от количества горизонталей m .

При таком большом количестве наблюдений ($n=100$) с целью изучения характера изменчивости признака вычислено также условное значение m' по формуле:

$$m'_{\text{усл}} = \frac{M_{\text{усл}}}{n} \quad (3.32)$$

Результаты вычислений приводятся в табл. 25.

При анализе условного значения m' (по табл.25) возникает необходимость разделения каждого статистического ряда (их 14) на три периода:

1. Первый период – период уменьшения. Условные значения для каждого статистического ряда начинаются со значения m и при увеличении числа орографических линий на единицу уменьшается на 0,5. Продолжительность период (интервала) зависит от числа горизонталей m в пределах участка и определяется по формуле:

$$n=m-2. \quad (3.33)$$

2. Второй период – период колебания. Условные значения m' в пределах периода колебания изменяются

незакономерно, имея небольшую амплитуду колебаний. Величина амплитуды вычисляется по известной формуле:

$$A = m'_{\text{max}} - m'_{\text{min}}. \quad (3.34)$$

Исследования, проведенные нами, показали, что амплитуда статистического ряда прямо пропорциональна числу горизонталей m . Такая зависимость вычислена эмпирическим путем на основе полученных значений m' для значений $m=2, 3, 4, \dots, 15$; $n=1, 2, 3, \dots, 100$ (по табл. 25). в виде

$$A_{\text{max}} = 0,076 m, \quad (3.35)$$

При известной величине амплитуды в пределах периода колебания нетрудно определить для каждого статистического ряда в отдельности минимальные (формула 3.29) и максимальные условные значения m' по формуле:

$$m'_{\text{max}} = 1 + 0576m. \quad (3.36)$$

Из формул (3.36) и (3.29) видно, что при увеличении количества горизонталей m в пределах периода колебаний увеличивается максимальное и минимальное значения m' для данного периода. Увеличение числа горизонталей m является причиной продолжительности периода колебания, численное значение которого соответствует числу орографических линий n :

$$n_{\text{ц}}=2m (m-2). \quad (3.37)$$

Предел периода колебания с продолжительностью $2m (m-2)$ есть не что иное, как предел случайных ошибок. Это ясно видно из табл. 25 и еще нагляднее по графику на рис.

10а, составленному для различного числа горизонталей (например, $m=2, 3, 4, \dots, 15$). На рис.10 предел колебаний как предел случайных ошибок обозначен пунктирной линией.

Результаты анализа графика 10а подтверждают, что сколько бы ни был велик ряд ошибок измерений, случайные ошибки колеблются в определенных, довольно небольших, пределах. Чем больше абсолютная величина ошибки, тем реже встречается такая ошибка в ряду измерений. (Большаков, 1965).

Однако при определении морфометрических показателей по орографическим (структурным) линиям необходимо знать оптимальное их число в пределах данной территории.

Предложенная нами эмпирическая формула (3.38) позволяет при известном числе горизонталей заранее теоретически определить оптимально возможное число орографических линий в пределах исследуемого участка:

$$n_{I+II} = (2m+1)(m-2) \quad (3.38)$$

3. Третий период – период выхода на асимптоту. Условные значения m' в данном периоде постоянны до бесконечного числа орографических линий и определяются по формуле (3.28). В зависимости от числа горизонталей m постоянство m' начинается через определенное число орографических линий, согласно формуле (3.38), период выхода на асимптоту математически выражается в следующем виде:

$$m'_{\text{вых.}} [n \geq (2m+1)(m-2)] = \frac{m+2}{2} = \text{const.} \quad (3.39)$$

Таблица 24.

Количество точек пересечения (М) орографических линий (Л) с горизонталями (H) при их условном распределении (на определенном участке) — значения «М» вычислены по формуле (3.31)

М	ОРОГРАФИЧЕСКИЕ ЛИНИИ																				
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	100
51	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
50	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
49	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
48	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
47	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
46	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
45	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
44	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
43	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
42	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
41	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
40	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
39	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
38	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
37	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
36	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
35	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
34	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
33	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
32	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
31	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
30	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
29	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
28	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
27	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
26	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
25	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
24	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
23	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
22	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
21	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
20	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
19	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
18	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
17	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
16	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
15	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
14	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
13	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
12	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
11	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
10	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
9	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
8	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
7	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
6	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
5	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
4	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
3	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
2	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
1	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
100	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—

Таблица 25.
Условное распределение значений $m'_{\text{гор}}$ (при $n = 2, 3, 4, \dots, 15$ и $m = 1, 2, 3, \dots, 100$) или среднее количество точек пересечения
орографических линий с горизонталями. Значения $m'_{\text{гор}}$ вычислена по формуле $m'_{\text{гор}} = \frac{M_{\text{гор}}}{n}$

n	ОРОГРАФИЧЕСКИЕ ЛИНИИ									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
150	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0
145	9,5	9,5	9,5	9,5	9,5	9,5	9,5	9,5	9,5	9,5
140	9,0	9,0	9,0	9,0	9,0	9,0	9,0	9,0	9,0	9,0
135	8,5	8,5	8,5	8,5	8,5	8,5	8,5	8,5	8,5	8,5
130	8,0	8,0	8,0	8,0	8,0	8,0	8,0	8,0	8,0	8,0
125	7,5	7,5	7,5	7,5	7,5	7,5	7,5	7,5	7,5	7,5
120	7,0	7,0	7,0	7,0	7,0	7,0	7,0	7,0	7,0	7,0
115	6,5	6,5	6,5	6,5	6,5	6,5	6,5	6,5	6,5	6,5
110	6,0	6,0	6,0	6,0	6,0	6,0	6,0	6,0	6,0	6,0
105	6,4	6,1	5,6	4,9	4,0	3,7	3,1	2,5	2,0	1,5
100	6,6	6,2	5,5	4,7	4,2	3,6	3,1	2,5	2,0	1,5
95	6,6	6,2	5,4	4,5	4,3	3,5	3,0	2,5	2,0	1,5
90	6,7	6,1	5,2	4,7	4,2	3,6	3,1	2,5	2,0	1,5
85	6,7	5,9	5,0	4,8	4,1	3,6	3,1	2,5	2,0	1,5
80	6,6	5,7	5,2	4,8	4,0	3,6	3,0	2,5	2,0	1,5
75	6,4	5,5	5,3	4,7	4,1	3,5	3,1	2,5	2,0	1,5
70	6,2	5,7	5,3	4,6	4,2	3,6	3,0	2,5	2,0	1,5
65	6,0	5,8	5,3	4,5	4,2	3,6	3,0	2,5	2,0	1,5
60	6,0	5,8	5,3	4,5	4,2	3,6	3,0	2,5	2,0	1,5
55	5,9	5,9	5,1	4,7	4,0	3,5	3,0	2,5	2,0	1,5
50	5,6	5,6	5,0	4,4	3,8	3,2	2,6	2,0	1,5	1,0
45	5,3	4,6	4,1	3,6	3,0	2,5	2,0	1,5	1,0	0,5
40	4,7	4,0	3,5	3,0	2,5	2,0	1,5	1,0	0,5	0,5
35	3,6	3,0	2,5	2,0	1,5	1,0	0,5	0,5	0,5	0,5
30	3,0	2,5	2,0	1,5	1,0	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
25	2,5	2,0	1,5	1,0	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
20	2,0	1,5	1,0	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
100	2,0	1,5	1,0	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5

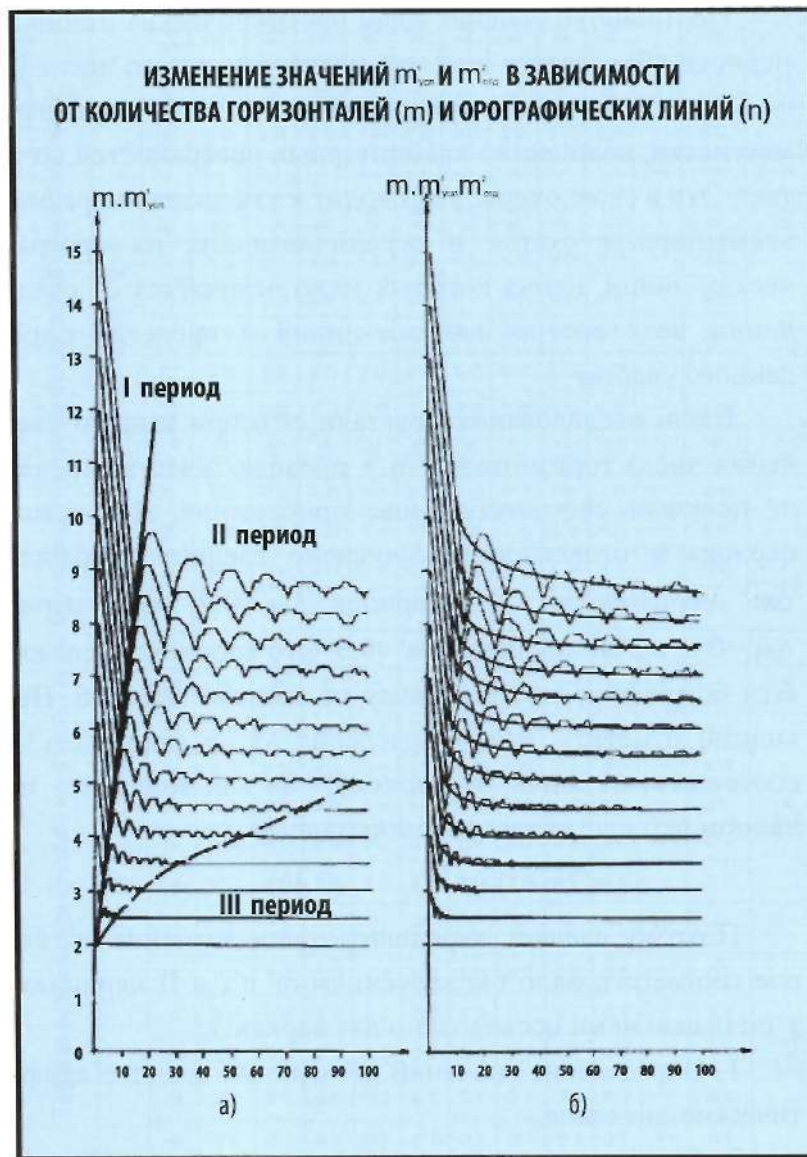


рис. 10.

Постоянство средних длин орографических линий в III периоде объясняется тем, что после указанного числа ($2m + 1$) ($m-2$), в связи с увеличением степени пересечения местности, количество элементарных поверхностей возрастает. Это в свою очередь приводит к уменьшению размеров элементарных скатов и ограничивающих их орографических линий, длина которых мало отличается от средней длины всех орографических линий в пределах определенного участка.

Наши исследования показали, что при каждом увеличении числа горизонталей m в пределах участка значение m' получает соответствующее приращение. Для каждого периода в отдельности вычислено среднее приращение $\overline{\Delta m'}$ значения m' : в I периоде $\overline{\Delta m'}=0.9$; во II периоде $\overline{\Delta m'}=0.6$; а в III периоде $\overline{\Delta m'}=0.5$. Это хорошо прослеживается по графику построенному по данным табл. 26. Необходимо отметить, что определения M по формуле (3.28) соответствуют лишь III периоду, так как значение m' в данном периоде является минимальным:

$$n \geq (2m+1)(m-2). \quad (3.40)$$

Поэтому следует определить такое значение m' , которое соответствовало бы значениям m' в I и II периодах. С этой целью нами исследовано два варианта:

1. Определение значений m' через их средние арифметические значения.

2. Сглаживание ряда случайных величин в пределах колебаний путем систематического уменьшения значений m' , по графику.

Таблица 26.

Таблица приращений среднего количества точек пересечения орографических линий с горизонталями

m	О Р О Г Р А Ф И Ч Е С К И Е Л И Н И И																							
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	100	$\Sigma m'$	Σm_{op}	Σm_{op}^2
2-3	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	0.7	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	50	0.5	0.5	0.6
3-4	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	0.8	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	50	0.6	0.6	0.6
4-5	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	0.8	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	50	0.6	0.6	0.6
5-6	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	0.9	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	50	0.7	0.7	0.6
6-7	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	0.9	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	50	0.7	0.7	0.6
7-8	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	0.9	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	50	0.7	0.7	0.6
8-9	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	0.8	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	50	0.8	0.8	0.6
9-10	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	0.8	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	50	0.8	0.8	0.6
10-11	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	0.8	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	50	0.8	0.8	0.6
1	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
14-15	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
											0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.7	0.7	0.7	0.6
											0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.7	0.7	0.7	0.6
											0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.7	0.7	0.7	0.6
											0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.8	0.8	0.8	0.7
											0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.8	0.8	0.8	0.7
											1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	0.8	0.8	0.8	0.7
											1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	0.8	0.8	0.8	0.7
											1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	0.8	0.8	0.8	0.7
											1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	0.8	0.8	0.8	0.7
											1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	0.8	0.8	0.8	0.7
											1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	0.8	0.8	0.8	0.7
											1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	0.8	0.8	0.8	0.7
											1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	0.8	0.8	0.8	0.7
											1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	0.8	0.8	0.8	0.7
											1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	0.8	0.8	0.8	0.7
											1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	0.8	0.8	0.8	0.7
											1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	0.8	0.8	0.8	0.7
											1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	0.8	0.8	0.8	0.7
											1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	0.8	0.8	0.8	0.7
											1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	0.8	0.8	0.8	0.7
											1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	0.8	0.8	0.8	0.7
											1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	0.8	0.8	0.8	0.7
											1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	0.8	0.8	0.8	0.7
											1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	0.8	0.8	0.8	0.7
											1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	0.8	0.8	0.8	0.7
											1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	0.8	0.8	0.8	0.7
											1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	0.8	0.8	0.8	0.7
											1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	0.8	0.8	0.8	0.7
											1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	0.8	0.8	0.8	0.7
											1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	0.8	0.8	0.8	0.7
											1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	0.8	0.8	0.8	0.7
											1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	0.8	0.8	0.8	0.7
											1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	0.8	0.8	0.8	0.7
											1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	0.8	0.8	0.8	0.7
											1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	0.8	0.8	0.8	0.7
											1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	0.8	0.8	0.8	0.7
											1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	0.8	0.8	0.8	0.7
											1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	0.8	0.8	0.8	0.7
											1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	0.8	0.8	0.8	0.7
											1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	0.8	0.8	0.8	0.7
											1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	0.8	0.8	0.8	0.7
											1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	0.8	0.8	0.8	0.7
											1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	0.8	0.8	0.8	0.7
											1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	0.8	0.8	0.8	0.7
											1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	0.8	0.8	0.8	0.7
											1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	0.8	0.8	0.8	0.7
											1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	0.8	0.8	0.8	0.7
											1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	0.8	0.8	0.8	0.7
											1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	0.8	0.8	0.8	0.7
											1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	0.8	0.8	0.8	0.7
											1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	0.8	0.8	0.8	0.7
											1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	0.8	0.8	0.8	0.7
											1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	0.8	0.8	0.8	0.7
											1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	0.8	0.8	0.8	0.7
											1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	0.8	0.8	0.8	0.7

Первый вариант – метод средних арифметических значений.

При известном числе орографических линий n среднее арифметическое значение $m'_{\text{усл}}$ можно определить по формуле:

$$\overline{m'}_{\text{усл}} = \frac{\sum_{i=1}^n m'_{\text{усл}i}}{n} \quad (3.41)$$

Определив среднее арифметическое значение $m'_{\text{усл}}$ по I по II периодам (табл. 27), установили, что между $\overline{m'}_{\text{усл}}$ и m имеется линейная зависимость (рис. 11).

$$\overline{m'}_{\text{усл}} = am + b \quad (3.42)$$

Таблица 27.

Среднее арифметическое значение $\overline{m'}_{\text{усл}}$ по I и II периодам

m	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
$\overline{m'}_{\text{усл I}}$	-	3.0	3.7 5	4.5	5.2 5	6.0	6.7 5	7.5	8.2 5	9.0	9.7 5	10. 5	11.25	12.0
$\overline{m'}_{\text{усл (II)}}$	-	2.6	3.1	3.6	4.1	4.6	5.1	-	-	-	-	-	-	-

Для вывода эмпирических формул значения $\overline{m'}_{\text{усл}}$ и m из табл 27, подставляются в (3.42).

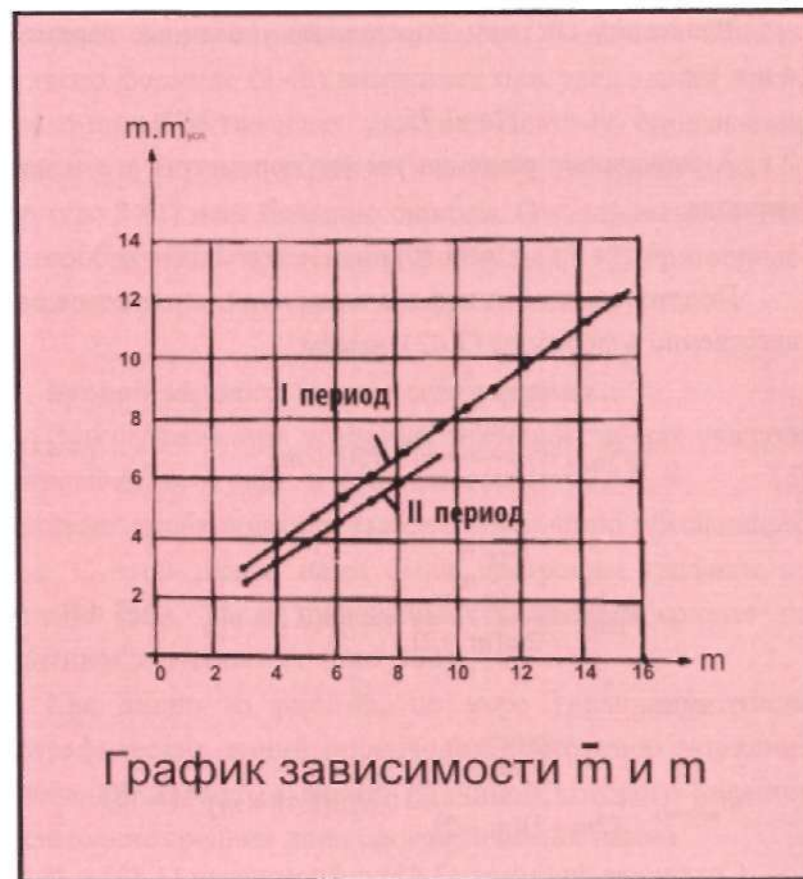


График зависимости $\overline{m'}$ и m

Рис. 11.

Система уравнений для I периода получится следующая:

$$\begin{cases} 3.0 = 3m + b, \\ 3.75 = 4m + b, \\ \dots\dots\dots \\ \dots\dots\dots \\ 12.0 = 15m + b. \end{cases}$$

Решив эту систему, определяем численные параметры а и в, т.е.

$$a=0.75; \quad b=0.75.$$

Аналогичные решения имеют параметры а и в для II периода.

$$a=0.50; \quad b=1.1.$$

Подставив численные значения этих параметров соответственно в формулы (3.42), имеем:

$$\bar{m}'_{\text{ср.}(I)} = \frac{\sum_{j=1}^{m-2} m'_{\text{ср.}(j)}}{j} = 0.75(1+m), \quad (3.43)$$

$$\bar{m}'_{\text{ср.}(II)} = \frac{\sum_{j=1}^{2m(m-2)} m'_{\text{ср.}(j)}}{2m(m-2)} = 0.50(2.2+m), \quad (3.44)$$

откуда

$$\bar{m}'_{\text{ср.}(I-II)} = \frac{\sum_{j=1}^{(2m+1)(m-2)} m'_{\text{ср.}(j)}}{(2m+1)(m-2)} = 0.625(1.48+m). \quad (3.45)$$

Сравнивая формулу (3.45) с формулами (3.43) и (3.44), получаем значительное отклонение как по I по II периоду, равное

$$\sigma = \pm 0.125 \quad (m-1.4). \quad (3.46)$$

При этом формула (3.43) дает отрицательное, а (3.44) положительное отклонение. Результаты вычислений по указанным формулам приводятся в табл.28.

Как видно из табл. 28, отклонения средних величин статистического ряда от средних значений по I и по II

периодам данного ряда значительны. Величина ошибки согласно формуле (3.46) возрастает при увеличении числа горизонталей в пределах участка. Поэтому определение значения m' по среднеарифметическому значению ряда (по формуле 3.45) дает большие ошибки. Отсюда вытекает нецелесообразность применения формулы (3.45) при определении значений M по среднеарифметическому способу.

Второй вариант – метод сглаживания.

При сглаживании условных значений m' для каждого статистического ряда в отдельности ($m=2, 3, 4, \dots, 15$) возникает необходимость выбора постепенно убывающего ряда. С этой целью нами были построены графики по данным табл. 25 и проведены сглаженные кривые по условным значениям m' (рис. 106).

Как видно из рис.106, по мере увеличения числа орографических линий происходит постоянное затухание колебаний ломанных линий, причиной которого является уменьшение средних длин орографических линий.

В конце предела колебания значения m' характеризуется определенной статистической устойчивостью. Полное затухание колебаний признака соответствует минимальным значениям ряда, т.е. $m'_{\text{ср.}} = \frac{m+2}{2}$, вернее наблюдается постоянство средних длин орографических линий на данном участке. Математически это можно выразить в следующем виде:

Таблица 28.

Показатели при условном распределении
орографических линий на произвольном участке

Число горизонталей (m)	Число орографических линий (n)			Величина средних значений $m'_{усл.}$				Величина max и min значений		Отклонение средних величин $m'_{усл.}$ от вычисленных значений	
	периоды			I период				II период		периоды	
	I	II	III	I	II	III	I+II	m'_{max}	m'_{min}	(I+II)-I	(I+II)-II
	по формулам №№										
	3.33	3.37	3.38	3.48	3.44	3.29	3.45	3.36	3.29	3.46	
										-	+
2	-	-	-	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	0.00	
3	1	6	7	3.00	2.60	2.50	2.80	2.70	2.50	0.20	
4	2	16	18	3.75	3.10	3.00	3.42	3.20	3.00	0.33	
5	3	30	33	4.50	3.60	3.50	4.05	3.80	3.50	0.45	
6	4	48	52	5.25	4.10	4.00	4.67	4.40	4.00	0.58	
7	5	70	75	6.00	4.60	4.50	5.30	5.00	4.50	0.70	
8	6	96	102	6.75	5.10	5.00	5.92	5.60	5.00	0.83	
9	7	126	133	7.50	5.60	5.50	6.55	6.20	5.50	0.95	
10	8	160	168	8.25	6.10	6.00	7.17	6.70	6.00	1.08	
11	9	198	207	9.00	6.60	6.50	7.80	7.30	6.50	1.20	
12	10	220	230	9.75	7.10	7.00	8.42	7.90	7.00	1.33	
13	11	286	297	10.50	7.60	7.50	9.05	8.50	7.50	1.45	
14	12	336	348	11.25	8.10	8.00	9.67	9.10	8.00	1.58	
15	13	390	403	12.00	8.60	8.50	10.30	9.70	8.50	1.70	

Из формулы (3.48) видно, что сглаженное значение M состоит из двух частей. Первая часть из них суммирует часть точек в пределах определенного участка при условии $n < m'_{min}$, а вторая при $n > m'_{min}$, т. е.

$$m'_{усл.} = [n > (m + 2)] \rightarrow \frac{m + 2}{2} \quad (3.47)$$

Далее, определив сглаженное значение m' ($m'_{сгл.}$), по графикам (рис.106, табл. 29), нами было вычислено по формуле (3.21) сглаженное число M ($M_{сгл.}$) для различных вариантов $m=2, 3, 4, \dots, 15$ и $n=1, 2, 3, \dots, 100$.

Результаты этих вычислений представлены в табл. 29 и 30. Из анализа табл.29 и 30 видно, что сглаженные значения m' и M подчиняются определенной статистической закономерности как I, так и во II периоде. Ряд постепенно уменьшается, поэтому определение сглаженного значения M можно выразить в виде эмпирических формул:

при m – четном

$$M_{сгл.} = [m + (m-1) + (m-2) + \dots + m'_{max}] + m'_{min} (n - \frac{m}{2}), \quad (3.48)$$

при m – нечетном

$$M_{сгл.} = [m + (m-1) + (m-2) + \dots + m'_{min} + 0.5] + m'_{min} (n - \frac{m}{2}), \quad (3.49)$$

где

$$m'_{min} = \frac{m + 2}{2} \dots \quad (\text{формула 3.29}).$$

Определение значения $M_{сгл.}$ для одного и того же участка по формулам (3.48) и (3.49) дало небольшую разницу: ± 3 точки. Поэтому при дальнейшем анализе будем использовать лишь формулу (3.48).

$$M_{\text{сгл.}} = n < m'_{\text{мин}} + n > m'_{\text{мин}} \quad (3.50)$$

Применяя формулу арифметической прогрессии при известной величине минимального значения m' (т.е.

$m'_{\text{мин}} = \frac{m+2}{2}$), формулу (3.48) можно суммировать по частям:

$$M_{\text{сгл.}} = \begin{cases} n < m'_{\text{мин}} = m + (m-1) + (m-2) + \dots + \frac{m+2}{2} = \frac{m(3m+2)}{8}, \\ n < m'_{\text{мин}} = \frac{m+2}{2} \left(n - \frac{m}{2} \right) = \frac{(2n-m)(m+2)}{4}, \end{cases} \quad (3.51)$$

откуда

$$M_{\text{сгл.}} = \frac{4n(m+2) + m(m-2)}{8} \quad (3.52)$$

Распределение значений $M_{\text{сгл.}}$ по формуле (3.52) в пределах $m=2, 3, \dots, 15$; $n=1, 2, 3, \dots, 100$ очень близко подходит к условному распределению. Максимальное отклонение ($M_{\text{сгл.}} - M_{\text{усл.}}$) не превышает +13 точек. Это хорошо видно при сравнении табл. 24 и 30.

Подставляя значения $M_{\text{сгл.}}$ из формулы (3.52) и (3.22), получим формулу среднего угла наклона земной поверхности в следующем виде:

$$\text{tg} \bar{\alpha} = \frac{h[4n(m+2) + (m-2)]}{8L} \quad (3.53)$$

Таблица 29

Сглаженные (выровненные) значения точек m ($m_{\text{сгл.}}$) пересечения ортографических линий с горизонталью

n	О Р Т О Г Р А Ф И Ч Е С К И Е Л И Н И И																				
	100	20	19	18	17	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1
1	8.7	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
2	9.7	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
3	9.8	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
4	9.9	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
5	9.9	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
6	10.0	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
7	10.1	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
8	10.2	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
9	10.4	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
10	10.5	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
11	10.7	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
12	10.9	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
13	11.2	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
14	11.5	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
15	12.0	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
16	12.5	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
17	13.0	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
18	13.5	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
19	14.0	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
20	14.5	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
21	15.0	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—

Таблица 30.

Количество точек пересечения орографических линий с горизонталью при их случайном распределении
Значения $M_{\text{ор}}$ вычислены по формулам (3.52)

n	О Р О Г Р А Ф И Ч Е С К И Е Л И Н И И																			
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
21	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
20	15	29	42	54	65	75	84	92,5	101	109,5	118	126,5	133	143,5	152,0	160,5	169	177,5	186	194,5
19	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30	32	34	36	38	40
18	3	5,5	8	10,5	13	15,5	18	20,5	23	25,5	28	30,5	33	35,5	38	40,5	43	45,5	48	50,5
17	4	7	10	13	16	19	22	25	28	31	34	37	40	43	46	49	52	55	58	61
16	5	9	12,5	16	19,5	23	26,5	30	33,5	37	40,5	44	47,5	51	54,5	58	61,5	65	68,5	72
15	6	11	15	19	23	27	31	35	39	43	47	51	55	59	63	67	71	75	79	83
14	7	13	18	22,5	27	31,5	36	40,5	45	49,5	54	58,5	63	67,5	72	76,5	81	85,5	90	94,5
13	8	15,5	20,5	25	30	35	40,5	46	51,5	56	61,5	66	71,5	76	81	86	91	96	101	106
12	9	18	23,5	29	35	41	46,5	52	57,5	63	68,5	74	79,5	85	90,5	96	101,5	107	112	118
11	10	20,5	26,5	32,5	39	45	51,5	58	64	70	76	82	88	94	100	106	111,5	117,5	124	130
10	11	22	28,5	35,5	42,5	49,5	56,5	64	71,5	79	86,5	94	101,5	109	117	125	132,5	140,5	149	157,5
9	12	24	31	38,5	46,5	54,5	62,5	71	79,5	88	96,5	105	114	123	132	141	150,5	160,5	171	181,5
8	13	26	33,5	41,5	50,5	59,5	68,5	78	87,5	97,5	107,5	118	128,5	139	150	161	172,5	184	196	207,5
7	14	28	36	44,5	53,5	63,5	73,5	84	94,5	105,5	117	128,5	140,5	153	166	179,5	193,5	208	223	238,5
6	15	30,5	39	48,5	58,5	69,5	80,5	92,5	104,5	117,5	131	145	160,5	176	192,5	210,5	229,5	249,5	270,5	292,5
5	16	33	42	51,5	62,5	74,5	87,5	101	115,5	131,5	148,5	166,5	185,5	205,5	227,5	251,5	277,5	305,5	335,5	366,5
4	17	35,5	45,5	55,5	66,5	79,5	93,5	108,5	124,5	142,5	161,5	181,5	203,5	227,5	253,5	281,5	311,5	343,5	377,5	413,5
3	18	38	48,5	59,5	71,5	85,5	100,5	116,5	133,5	152,5	172,5	194,5	218,5	244,5	272,5	302,5	334,5	368,5	404,5	442,5
2	19	40,5	51,5	63,5	76,5	90,5	106,5	123,5	141,5	160,5	180,5	202,5	226,5	252,5	280,5	310,5	342,5	376,5	412,5	450,5
1	20	43	54,5	67,5	81,5	96,5	112,5	129,5	147,5	166,5	186,5	208,5	232,5	258,5	286,5	316,5	348,5	382,5	418,5	456,5

Как видно из формулы (3.53), для определения среднего угла наклона земной поверхности необходимо знать величины n , L и m , где n и m подсчитываются, а измеряется только лишь длина орографических линий L по карте.

Необходимо подчеркнуть, что точность вычисления средних углов наклона земной поверхностей по формуле (3.53) зависит от детальности и точности проведения орографических линий на исследуемом участке: чем детальнее и точнее провести орографические линии, тем точнее можно вычислить средние углы наклона земной поверхности.

Проведенный нами сравнительный анализ результатов определения среднего угла наклона на ключевых участках по формулам (3.1) и (3.53) показывает, что формула (3.53) по своей точности вполне удовлетворительна. Это подтверждается табл. 31, где приводятся результаты вычисления средних углов наклона земной поверхности на 20 ключевых участках.

Исследование показало, что из 20 случаев, лишь в трех имеются отрицательные отклонения в пределах от 0,3 до 2,0%. Во всех остальных случаях результаты являются положительными: в двух случаях имеются отклонения в пределах 10-12%, в четырех — в пределах 6-9%, а в подавляющем большинстве случаев ошибка составляет до 6%. Получаемое по формуле (3.53) большое (положительное) значение средних углов наклона вполне удовлетворяет поставленным требованиям. Это объясняется тем, что результаты вычисления среднего угла наклона по формуле (3.1) всегда дают заниженные результаты по сравнению с действительными их

значениями (Н.М.Волков, Г.И.Знаменщиков,

Ф.П.Философов и др.), можно сказать, что результаты, полученные по формуле (3.53) будут ближе к истинному значению средних углов наклона земной поверхности. Вместе с тем, при определении среднего угла наклона по формуле (3.53) объем картометрических работ в значительной мере уменьшается, т.к. исполнитель освобождается от кропотливой работы по измерению длины горизонталей, которое сопровождается и соответствующими ошибками.

Вышесказанное подтверждает, что для определения среднего угла наклона по точности и объему картометрических работ наиболее целесообразной является выведенная вероятностно-статистическая формула (3.53).

С целью апробирования формулы (3.53) составлена карта средних углов наклона по ключевым участкам для территории среднегорных и высокогорных районов (рис. 15). Карта составлена по способу картограмм.

Резюмируя вышеизложенное, следует отметить, что между числом горизонталей и орографических линий имеется прямая связь. Это хорошо видно из формулы (3.38) и (3.55). Подсчитав число горизонталей на определенном участке по формуле (3.38), нетрудно определить оптимальное число орографических линий в пределах исследуемого участка. Правильный подсчет точек дает нам возможность: во-первых, получать с карты более точную количественную информацию о морфометрических показателях рельефа местности; во-вторых, отобразить на общегеографических картах формы рельефа с большой точностью; в – треть-

их, произвести точную генерализацию горизонталей по топографическим картам.

Таблица 31.

Сравнительная таблица средних углов наклона земной поверхности, вычисленных по ключевым участкам площадью $P=4\text{см}^2$

№№	Средние углы наклона земной поверхности вычисленные для одного и того же ключевого участка по формулам:		Отклонение $\alpha_2 - \alpha_1$	Отклонение в %
	$tg\bar{\alpha}_1 = \frac{h\sum l}{P}$ (формула 3.1)	$tg\bar{\alpha}_2 = \frac{h[4n(m+2) + m(m-2)]}{8L}$ (формула 3.53)		
1	3° 28'	3° 32'	0° 04'	+2.0
2	6 32	6 30	0 02	-0.3
3	6 28	7 05	0 37	+9.3
4	7 33	7 50	0 17	+3.9
5	4 36	5 00	0 24	+9.4
6	28 45	28 48	0 03	+0.2
7	19 25	21 31	2 06	+11.8
8	13 38	14 21	0 43	+5.4
9	32 06	34 18	2 12	+8.7
10	11 52	12 30	0 38	+5.5
11	7-31	7 43	0 12	+2.7
12	17 20	17 03	0 17	-1.6
13	31 42	35 14	3 32	+11.1
14	10 06	9 54	0 12	-2.0
15	18 37	19 40	1 03	+6.1
16	15 19	15 40	0 21	+2.4
17	23 18	24 00	0 42	+3.3
18	7 38	7 59	0 21	+4.5
19	7 06	7 14	0 08	+1.8
20	5 30	5 49	0 19	+5.8

Исследование показало, что на исследуемом участке проведение оптимального числа орографических линий по формуле (3.38) из-за генерализации горизонталей практически невозможно. В обратном случае, при условии проведении орографических линий (согласно формуле 3.38) последнее теряет свое значение, в результате чего получается очень густая сеть (сетка), в которой близкие к квадратной сетке стороны в среднем равны. Это объясняется тем, что в связи с увеличением степени пересеченности местности количество элементарных поверхностей возрастает. Это в свою очередь приводит к уменьшению размеров элементарных скатов и ограничивающих их орографических линий, длина которых мало отличается от средней длины всех орографических линий в пределах определенного участка.

Таким образом, при точном расчете определения среднего угла наклона по формулам (3.5) и (3.53) с использованием орографических линий следует исследуемый участок покрыть сеткой параллельных прямых линий, длина которых заранее известна, и произвести подсчет числа пересечений горизонталей с параллельными линиями.

Этот процесс возможно автоматизировать с помощью автоматических сканирующих устройств. Подробное описание об автоматических сканирующих устройствах сказано в главе I и II.

Картирование углов наклона земной поверхности (на примере ключевых участков)

Строительство дорог, каналов, водохранилищ, производство сельскохозяйственных работ и многие другие инженерные сооружения требуют определения углов наклона поверхности.

В связи с этим картирование углов наклона земной поверхности имеет большое практическое значение, оно дает возможность определить пригодность территории для проектирования, получить отдельные числовые показатели, характеризующие рельеф местности в количественном отношении. Для удовлетворения нынешних требований, поставленных отраслями народного хозяйства, нужны точные морфометрические карты. Основными источниками при составлении этих карт являются различные топографические карты, изображающие рельеф местности с большой точностью. Следует отметить, что степень точности изображения рельефа во многом зависит от правильного выбора высоты сечения рельефа. Учитывая эти особенности рельефа, мы пришли к такому выводу, что при картировании углов наклона земной поверхности необходимо правильно установить шкалы градации (углов наклона) и связать их с высотой сечения рельефа и масштабом карты с таким расчетом, чтобы измерение их «... происходило по возможности постоянно – от минимального интервала к максимальному» (Заруцкая, 1958) в соответствии с переходом от одного максимального угла к другому.

Для установления связи необходимо выполнить следующие работы:

1. Определить оптимальные высоты сечения рельефа по крупномасштабным топографическим картам для различных углов наклона земной поверхности;

2. Определить предельные значения углов наклона поверхности в разных масштабах и заданных высотах сечения рельефа;

3. Рассчитать шкалы градации углов наклона земной поверхности и связать их с высотой сечения рельефа и масштабом карты;

4. Установить связь между углами наклона и характером рельефа местности.

Оптимальные высоты сечения рельефа по картам масштабов 1:10000, 1:25000, 1:50000 и 1:100000 для различных углов наклона земной поверхности определены исходя из минимального значения заложения по формуле:

$$h_{(M)} = a_{\min(MM)} \operatorname{tg} \alpha, \quad (3.54)$$

где h – высота сечения рельефа;

$a_{\min(MM)}$ – наименьшее расстояние между горизонталями (заложение);

α – угол наклона.

Вычисление высота сечения рельефа по формуле (3.54) значение a_{\min} по карте масштаба 1:10000 принято равным 0,5 мм, по масштабам 1:25000; 1:50000; 1:100000 равным 0,2 мм, что предусматривается в «Наставлениях по состав-

лению топографических карт. 1956 г.». Подставляя в формулу (3.54) различные значения углов наклона определяем оптимальные высоты сечения рельефа по картам разных масштабов (табл. 32).

Как видно из табл. 32 – 1, 5, 5, 10 и 20 м – сечения рельефа соответственно на картах масштаба 1:10000, 1:25000, 1:50000; 1:100000 могут отображать поверхность с углами наклона до 45° , а 10, 20, 40 м сечения для соответствующих масштабов карт 1:25000; 1:50000; 1:100000 пригодны лишь для горных районов с углами наклона более 45° .

По табл. 32 были определены предельные углы наклона земной поверхности, не допускающие слияния горизонталей (табл. 33).

Из результатов табл. 33 видно, что каждая из указанных высот сечения рельефа в отдельности не может правильно отображать рельеф земной поверхности и, следовательно, по картам, составленным указанным способом, нельзя правильно определить углы наклона поверхности. Например, на карте масштаба 1:100000 первом высота сечения рельефа $2^{\circ}52'$ наиболее пригодна для определения углов наклона в пределах от 0 до $2^{\circ}52'$; 2,5-м от $7^{\circ}08'$; 5-м от $7^{\circ}08'$ до $14^{\circ}02'$; 10-м от $14^{\circ}02'$ до $26^{\circ}34'$; 20-м от $26^{\circ}34'$ до $45^{\circ}00'$, а 40-м высота сечения от $45^{\circ}00'$ до $63^{\circ}26'$. Аналогичное утверждение справедливо и для других масштабов.

Увеличение углов наклона от вычисленных предельных значений (при одной и той же высоте сечения рельефа)

Таблица 32.

Оптимальные высоты сечения рельефа по картам разных масштабов

Углы поверхности, град.	Высоты сечения рельефа, м			
	1:10000	1:25000	1:50000	1:100000
1	0.1	0.1	0.2	0.3
2	0.2	0.2	0.3	0.7
4	0.3	0.2	0.6	1.4
6	0.5	0.5	1.0	2.1
8	0.7	0.7	1.4	2.8
10	0.9	0.9	1.8	3.5
15	1.3	1.3	2.7	5.4
20	1.8	1.8	3.6	7.2
25	2.3	2.3	4.7	9.3
30	2.9	2.9	5.8	11.5
35	3.5	3.5	7.0	14.0
40	4.2	4.2	8.4	16.8
45	5.0	5.0	10.0	20.0
50	-	5.9	11.9	23.8
55	-	7.1	14.3	28.6
60	-	8.7	17.3	34.6
65	-	10.7	21.4	42.8

Заметим, что топографическое районирование территории бывшей СССР по высоте сечения рельефа рассмотрена также Н.С.Подобедовым (1962), который этот вопрос исследовал по морфологическим особенностям на основе геоморфологической карты в масштабе 1:4000000 и по карте 1:300000.

приводит к слиянию горизонталей, а уменьшение их – к потере некоторых характерных форм рельефа.

В таких случаях происходит сглаживание рельефа земной поверхности, теряется целостность в изображении, уменьшается читаемость, наглядность, точность карты. Все это приводит к искажению изображения рельефа на картах и, следовательно, углов наклона земной поверхности. Постоянная высота сечения рельефа также приводит к заниженному значению углов наклона местности.

Таким образом, можно считать обоснованным, что для правильного определения, а также при картировании углов наклона (как частных, так и средних) земной поверхности необходимо применять переменную шкалу сечения рельефа.

По нашему мнению, такой подход к определению углов наклона дает возможность сохранить целостность в изображении и более наглядно сопоставить углы наклона изображаемых форм земной поверхности. Поэтому при выборе высоты сечения рельефа, в зависимости от угла наклона, нами были сравнены таблицы 33 и 34, так как углы наклона поверхности и высоты сечения зависят от типа рельефа.

Надо отметить, что табл. 34 составлена для выбора высоты сечения рельефа на топографических картах на основе учета морфологических особенностей и приложена к «Основным положениям по созданию топографических карт масштабов 1:10000; 1:25000; 1:50000; 1:100000», 1956.

Таблица 33.

Предельные углы наклона поверхности при разных масштабах и заданных высотах сечения рельефа

Масштабы карт	Заданные высоты сечения, м	Величина наименьшего заложения, мм	Предельные углы наклона поверхности
1:10000	1	0,5	11°19'
	2,5	0,5	26 34
	5	0,5	45 00
1:25000	1	0,2	11°19'
	2,5	0,2	26 34
	5	0,2	45 00
	10	0,2	63 26
1:50000	1	0,2	5°43'
	2,5	0,2	14 02
	5	0,2	26 34
	10	0,2	45 00
	20	0,2	63 26
1:100000	1	0,2	2°52'
	2,5	0,2	7 08
	5	0,2	14 02
	10	0,2	26 34
	20	0,2	45 00
	40	0,2	63 26

Однако выбор высоты сечения рельефа на основе морфологических особенностей не может удовлетворить все требования, отвечающие точности картометрических работ. Для этого необходим анализ морфометрических показателей.

Таблица 34.

Характеристика рельефа	Высота сечения рельефа для карт масштабов, м			
	1:10000	1:25000	1:50000	1:100000
Плоскоравнинный	I: 2,5	2,5	10	20
Равнинный и всхолмленный с преобладанием углом наклона до 6°	2,5	5	10	20
Горный и предгорный, а также и пустынный	5	5	10	20
Высокогорный	-	10	20	40

Анализируя табл. 32, 33 и 34 нами установлено, что между углами наклона и высотой сечения рельефа существует связь. На основании этого была определена шкала градации углов наклона земной поверхности в следующих интервалах 0 – 2°; 2 – 7°; 7 – 14°; 14 – 26°; 26 – 45° и более 45° (табл.35).

При картировании углов наклона земной поверхности разными авторами были предложены различные шкалы градации. Например, предложенная Е.М.Николаевской (1964) градация предназначена для сельскохозяйственных целей, т.е. 0 – 1,5°; 1,5 – 3°; 3 – 6°; 6 – 12°; 12 – 20° и более 20°. На втором совещании Международного Географического Союза подкомиссия геоморфологического картирования разработала следующую градацию: 1) от 0 – 2° (равные, очень слабонаклонные); 2) от 2 – 5° (умеренно наклонные);

лонные); 3) $5 - 15^{\circ}$ (сильно наклонные); 4) $15 - 35^{\circ}$ (крутые); 5) $35 - 55^{\circ}$ (очень крутые); 6) свыше 55° (стена). Указанная градация рекомендована для деталей геоморфологической карты масштаба 1:50000 (Геллерт, 1968). Учитывая особенности рельефа Азербайджана, а также масштаб использованной и составляемой карты Р.Х.Пириевым 1968, с целью проведения изолиний углов наклона использована градация через 5° (т.е. $5^{\circ}, 10^{\circ}, 15^{\circ}, 20^{\circ}, 25^{\circ}, 30^{\circ}, 35^{\circ}$, и 40°). В тех районах, где величина углов наклона меньше интервала 5° , или же изолинии кратные 5° не могут изобразить особенности распределения углов наклона, была применена дополнительная градация, т.е. $5', 10', 30', 45', 1^{\circ}5', 2^{\circ}, 3^{\circ}, 8^{\circ}$. Существуют различные варианты градации. При этом в основном учитывались характер рельефа, масштаб составляемой карты и назначение.

При сопоставлении вычисленной нами градации углов наклона с градациями, предложенными ранее, замечено, что принятые градации в последних работах не могут детально отобразить элементы рельефа различной крутизны, так как они отличаются от предельных значений углов наклона, соответствующих линиям перегиба рельефа. Следует отметить, что принятая в табл. 35 градация наиболее ближе подходит к следующим формам рельефа и может дать количественную характеристику этих форм:

Таблица 35.

Высоты сечения рельефа для различных углов наклона земной поверхности

Углы наклона поверхности, град	Высоты сечения рельефа для карт масштабов, м			
	1:10000	1:25000	1:50000	1:100000
< 2	1			
2 - 7	2,5			
7 - 14		5		
14 - 26			10	
26 - 45				20
>45				40

1. Менее 2° – плоским, равнинным пологим, слабонаклонным;
2. $2 - 7^{\circ}$ – расчлененным и всхолмленным равнинам сильнонаклонным;
3. $7 - 14^{\circ}$ – предгорным и низкогорным зонам;
4. $14 - 26^{\circ}$ – среднегорным зонам;
5. $26 - 45^{\circ}$ – высокогорным зонам;
6. Свыше 45° – островершинным формам рельефа.

В самом деле, 1-м высота сечения наиболее подходит для изображения рельефа плоских равнин с углами наклона менее 2° ; 2,5-м высота сечения рельефа пригодна для холмистых и предгорных форм поверхности с преобладающими углами наклона от 2 до 7° ; 5-м высота сечения хорошо отображает предгорную и низкогорную с преобладающими углами наклона в основном от 7 до 14° ; 10-м высота сечения совершенно не пригодна для изображения плос-

ких, а также холмистых и пересеченных равнин, слабо отображает предгорную и низкогорную зону, но достаточно наглядно может передать рельеф среднегорья с углами наклона от 14 до 25°; 20-м высота сечения по существу отображает высокогорный рельеф с углами наклона от 26 до 45°; 40-м высота сечения рельефа применяется для изображения на карте высокогорных зон, островершинных форм рельефа с альпийскими формами, соответствующими углами наклона более 45°.

Из вышеизложенного следует отметить, что выбор высоты сечения рельефа при картировании углов наклона зависит от крутизны склонов. Учитывая эти особенности, следует сказать, что для получения точной количественной информации об угле наклона необходимо применять различные высоты сечения рельефа и соответствующие им карты разных масштабов 1:10000; 1:25000; 1:50000 и 1:100000 (Бабаев, 1972).

В целях апробирования предложенных нами формул 3.14 и 3.53 средних углов наклона земной поверхности и методики измерения длин извилистых линий по часовой палетке (в том числе горизонталей) мы воспользовались различными крупномасштабными картами.

Составление и картирование средних углов наклона проводились по ключевым участкам для различных типов рельефа земной поверхности на примере: наклонной равнины (рис. 12), расчлененного, всхолмленного и холмистого районов (рис. 13), предгорного и высокогорного районов (рис. 14) и среднегорного и высокогорного районов (рис. 15).

Следует отметить, что первые три карты составлены по способу изолинии, а четвертая – способом картограмм. Для удобства картометрических работ, а также для детального использования полученных данных, картометрические работы по определению средних углов наклона проводились по квадратам площадью 4 км².

Для определения среднего угла наклона в пределах каждого квадрата нами учтены особенности рельефа, т.е. зависимости от густоты горизонталей (характеризующие различные формы рельефа местности), применялись при измерениях суммы длин горизонталей оптимальные варианты часовых палеток с соответствующими формулами (2.42, 2.43 и 2.44).

Для составления карты, вычисленные нами показатели, характеризующие средний угол наклона, записывались в центре каждого квадрата, а затем были проведены изолинии равных углов наклона.

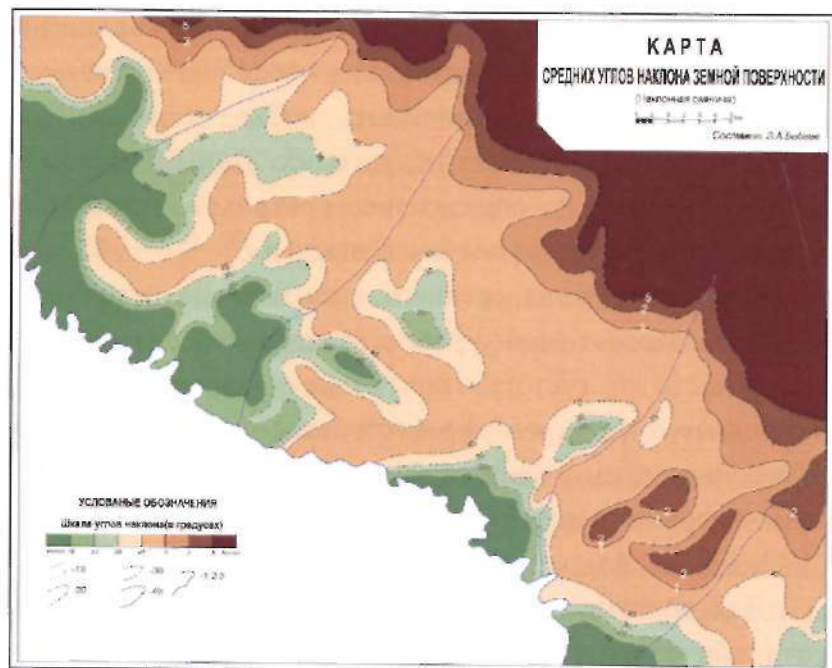


Рис.12.

При картировании углов наклона использована переменная шкала изолиний (градации), т.е. 1° , 2° , 5° , 7° , 12° , 15° , 20° , 25° , 30° , 35° , и 40° . В тех районах, где величина углов наклона меньше 1° , и основные изолинии не может изобразить особенности распределения углов наклона, мы приняли дополнительные изолинии углов наклона ($10'$, $20'$, $30'$ и $45'$), чтобы правильно определить качественные различия в размещении картографируемого явления. Другими словами, изолинии наглядно передают количественную характеристику непрерывных явлений.

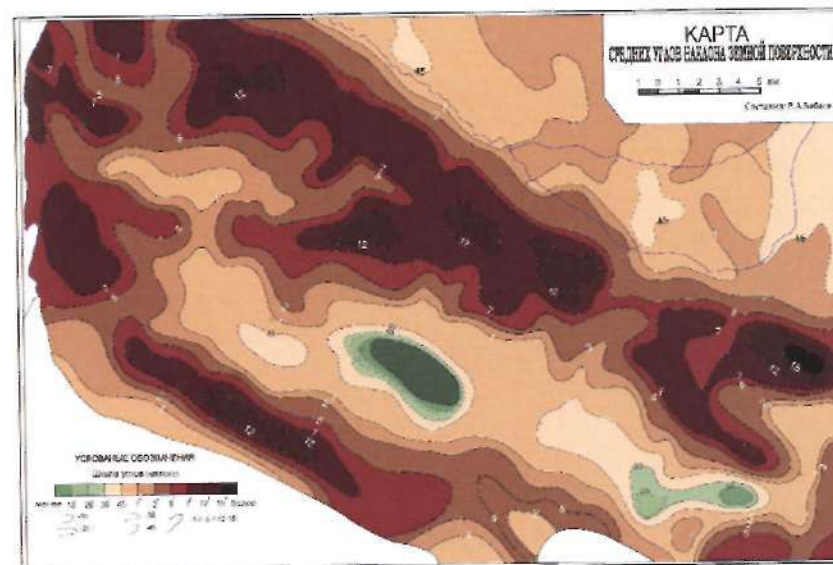


Рис.13.

Следует отметить, что многие исследователи при картировании средних углов наклона земной поверхности применяют способ картограммы (Миронова, 1960; Алекперов 1961; Стеблин-Каменская 1962; Габриелян 1962; Николаевская 1964, 1970; Будагов 1967 и многие другие). Этот способ изображения в основном передает среднюю интенсивность какого-либо явления в пределах определенной территории. Достоинством способа картограмм является простота их построения и восприятия.

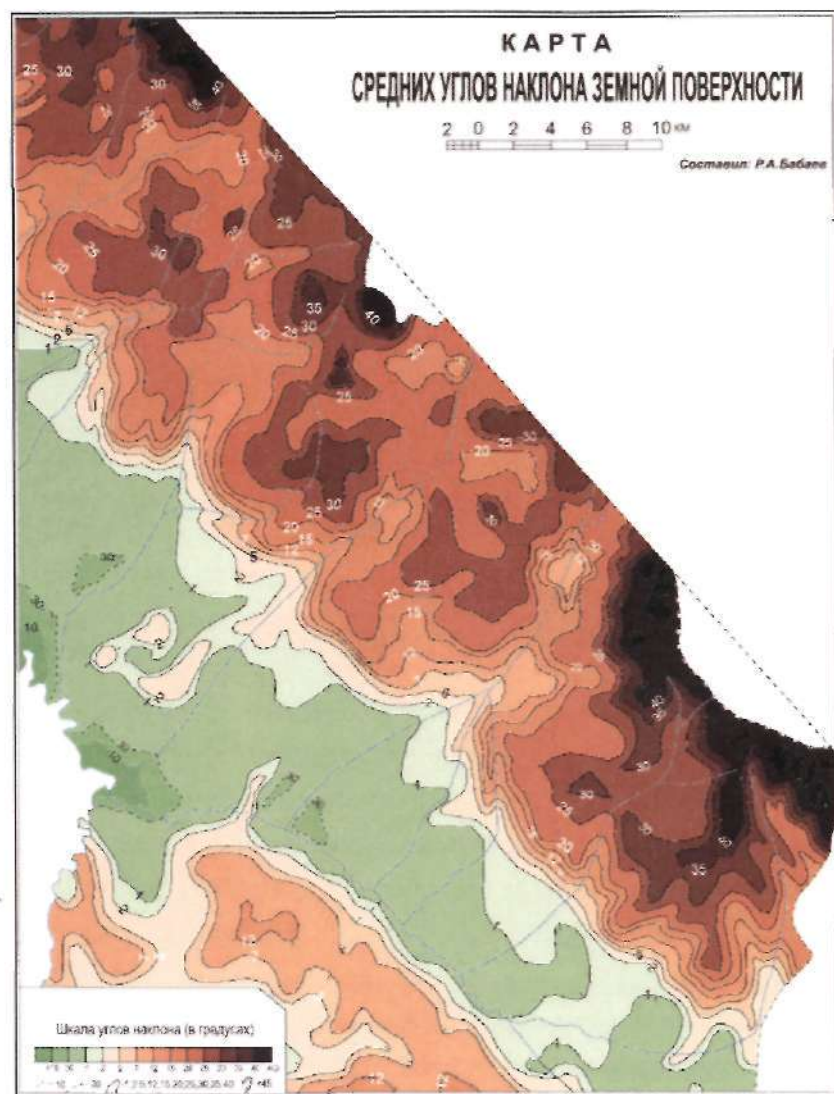


Рис.14.

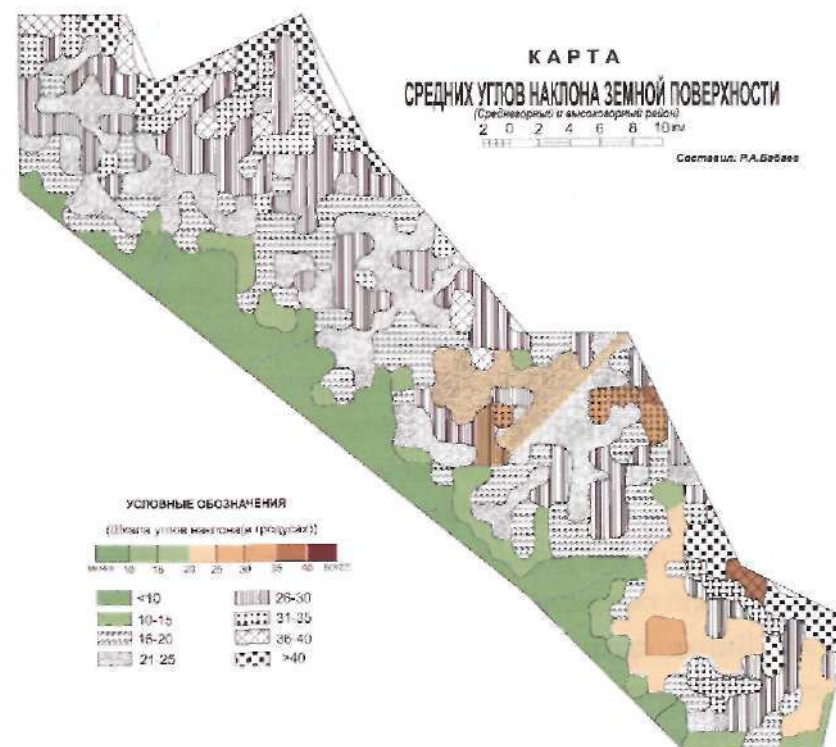


Рис.15.

В целях картирования средних углов наклона способом картограмм исследуемые районы (среднегорные и высокогорные) покрывались сеткой площадью 4 км^2 и в каждом квадрате определялись значения средних углов наклона по предложенной нами вероятностной статистической формуле 3.53. При этом применяли следующую градацию углов наклона: менее 10° ; $10-15^{\circ}$; $16-20^{\circ}$; $21-25^{\circ}$; $26-30^{\circ}$; $31-35^{\circ}$; $35-40^{\circ}$ и более 45° .

Проведем краткое описание и анализ распределения углов наклона земной поверхности по картам (рис.12, рис.13, рис.14 и рис.15).

1. Карта средних углов наклона, составленная по наклонным равнинам (рис.12), имеет незначительные значения углов наклона ($0 - 2^{\circ}$), так как исследуемая поверхность имеет почти плоскую форму. Увеличение углов наклона связано с увеличением высоты местности, там, где низменность граничит с предгорными районами территории, значение углов наклона колеблется в пределах $1 - 2^{\circ}$. В наклонной равнине преобладающее значение углов наклона местности составляет менее 1° , т.е. $10'$, $20'$, $30'$ и $45'$. При этом минимум углов наклона от 0 до $20'$ наблюдается ниже нулевой горизонтали.

2. Карта средних углов наклона, составленная по расчлененным, всхолмленным и холмистым районам (рис. 13), имеет преобладающее значение углов наклона $3 - 7^{\circ}$, но имеются и районы, где значения углов наклона не превышает 1° . Минимальное значение углов наклона наблюдается вблизи водоемов. В связи с расчлененностью территории, встречаются отдельные возвышенности со значением максимального угла наклона $7-12^{\circ}$ и 15° . Последнее наблюдается очень редко (только лишь в одном месте с небольшим ареалом, что связано с увеличением высоты местности).

3. Карта средних углов наклона, составленная по предгорным и высокогорным районам (рис.14) имеет преобладающее значение углов наклона $15-30^{\circ}$. С увели-

чением высоты местности углы наклона быстро увеличиваются и максимального значения достигают в районе высокогорной зоны - $30-45^{\circ}$, но эта закономерность в отдельных районах несколько нарушается в связи с наличием здесь ряда межгорных котловин, способствующих уменьшению углов наклона, значение которых доходит до $12-15^{\circ}$.

В пределах предгорных и высокогорных районах можно встретить и более крутые склоны, например, в равнинных и возвышенных районах с небольшими уклонами можно встретить овраги и балки, склоны, которых имеют крутизну более $25-30^{\circ}$. В горных районах встречаются ответственные склоны, обрывы и т. п., имеющие углы наклона 45° и больше. Как известно, такие формы рельефа на картах изображаются специальными условными знаками, а не горизонталями. При картировании углов наклона мы по возможности (особенно в горных районах) старались их учесть.

В связи с сильной расчлененностью территории встречаются отдельные возвышенности со значением углом наклона 20° , 25° , 30° и 35° .

Значение углов наклона в низкогорной и предгорной зоне резко уменьшается и достигает в низкогорной зоне $7-12^{\circ}$, а предгорной $2-7^{\circ}$.

4. Карта средних углов наклона, составленная по среднегорным и высокогорным зонам (рис.15) имеет преобладающее значение углов наклона $20-35^{\circ}$. В зависимости от высоты местности значение углов наклона резко

увеличивается и для горных районов составляет 20-35° и 35-40° (в высокогорной части). Значение углов наклона в среднегорной зоне уменьшается в пределах до 10-20°. На исследуемой территории встречаются районы со значением углов наклона менее 10°.

Заканчивая описание и анализ карты углов наклона по ключевым участкам, следует отметить, что в целом для равнинных и низменных территорий характерны углы наклона менее 1-2°, для холмистой местности 3-7° (иногда достигают до 12°), для предгорных и низкогорных районов 5-12° и для горных районов 15-25° и 30-45° (в высокогорной части). Нужно подчеркнуть, что углы наклона земной поверхности тесно связаны с густотой и глубиной расчленения рельефа местности. При этом наибольшее соответствие распределения показателей наблюдается между высотой местности и углами наклона, так как углы наклона находятся в прямой зависимости от изменения рельефа местности. Подобные карты показывают общие закономерности распределения отдельных характеристик по территории и имеют большое научное и практическое значение в вопросах изучения закономерностей размещения показателей (явлений), их взаимосвязей и взаимообусловленностей и др. особенностей.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На основе анализа и обобщения существующих работ установлено три основных направления тенденции развития картометрических и морфометрических методов исследования;

а) традиционные (классические) картометрические и морфометрические методы;

б) вероятностно-статистические методы в картометрических и морфометрических исследованиях;

в) автоматизация картометрических и морфометрических методов исследований.

При измерении длин извилистых линий циркулем необходимо учитывать величину ошибки, получаемой за счет извилистости длин измеряемой линии (длины рек, горизонталей, береговых линий и т.п.).

В результате анализа экспериментальных работ по измерению длин извилистых линий циркулем установлено, что:

а) точность измерения длин извилистых линий зависит от количества и характера (формы) извилин; при этом величина ошибки за число извилин в 6-10 раз больше, чем ошибки за характер извилин;

б) предложены формулы (2,27; 2,28; 2,29 и 2,30) для измерения длин извилистых линий циркулем с различным раствором ($d=1, 2, 3, \text{ и } 4 \text{ мм}$).

$$\text{при } d=1\text{мм } L=L_d+0,6 \text{ м}, \quad (2.27)$$

$$\text{при } d=2\text{мм } L=L_d+ \text{ м}, \quad (2.28)$$

$$\text{при } d=3\text{мм } L=L_d+1,4 \text{ м,} \quad (2.29)$$

$$\text{при } d=4\text{мм } L=L_d+1,8 \text{ м.} \quad (2.30)$$

Величина поправки в этих формулах, соответствующая каждому раствору, отличается от предыдущего значения на 0,4;

в) окончательная формула (2.31) для измерения длин извилистых линий отличается от ранее предложенных способов (формул) своей простотой и сравнительно большой точностью (табл. 5) и не требует сложных вычислений. Для определения длины извилистой линии по формуле (2.31)

$$L=L_d+(0,2+0,4d)\text{м.} \quad (2.31)$$

необходима одним раствором циркуля d измерить линию всего один раз и к полученному значению L_d прибавить величину поправки за извилистость, т.е. $\Delta(m, f) = (0,2 + 0,4d)\text{м}$. Таким образом, повторные измерения длин, предусмотренные в способах предыдущих исследователей, здесь заменены подсчетом количества извилин, что намного облегчает процесс измерения и сокращает время;

г) для более точного определения длины извилистых линий предлагается разбить их на 4 категории по степени извилистости: очень слабая, средняя и сильная извилистость (рис.4). В этом случае формуле (2.31) применяется для линий со средней извилистостью. Для линий с очень слабой и сильной извилистостью вместо коэффициента 0,2

в формуле (2.31) соответственно берутся коэффициенты 0,0; 0,1; 0,3 в формулах (2.32), (2.33) и (2.34)

$$L=L_d+0,4 \text{ м,} \quad (2.32)$$

$$L=L_d+(0,1+0,4d)\text{м,} \quad (2.33)$$

$$L=L_d+(0,3+0,4d) \text{ м.} \quad (2.34)$$

д) при измерении длин извилистых линий лучше всего пользоваться раствором циркуля $d=1\text{мм}$. При этом величина ошибки колеблется от 0,1 до $\pm 3,7\%$ от истинных значений. Средняя квадратическая ошибка измерения составляет $m_{\Delta\ell} = \pm 2,24\%$. С увеличением раствора циркуля до $d=4$ мм максимальная ошибка увеличивается до $\pm 7,2\%$ ($m_{\Delta\ell} = \pm 3,83\%$).

Намечаются пути достижения полной автоматизации длин извилистых линий на базе графоаналитических способов измерений с применением автоматических сканирующих устройств и ЭВМ.

В результате анализа графоаналитического способа измерений установлено, что:

а) точность измерения длин извилистых линий графоаналитическими способами в 3-7 раз превышает точность измерения длин извилистых линий циркулем с раствором $d=1$ мм (табл. 13);

б) установлена зависимость между максимальной величиной ошибки $\Delta\ell_{\text{max}}$ и числом приемов N (табл. 14). На основании чего выведена формула (2.41) для расчета

$$\Delta \ell_{\max} = \pi q - 1,5N \quad (2.41)$$

где N – число приемов измерения при разных положениях палетки,

q – расстояние между прямыми линиями на палетке.

Величины максимальной ошибки в графоаналитических способах измерений (при различных значениях N и q):

в) установлена предельная точность ранее предложенных графоаналитических способах измерений, в которой при $N=6$ и 8 (способы Штейнгауза и Красаускаса) колеблется от 0 до $\pm 3\%$; со средней квадратической ошибкой $m_{\Delta \ell} = 1,04 - 1,17\%$; при $N=4$ (способ А.М. Куприна) – от 0 до $\pm 6\%$ ($m_{\Delta \ell} = \pm 2,13 - \pm 2,25\%$); а при $N=2$ (способ Бусалаева) – от 0 до $\pm 9\%$ ($m_{\Delta \ell} = \pm 3,48 - \pm 3,56\%$). Предельная точность и средняя квадратическая ошибка измерения такие установлена для способов $N=3,5$ и 7 (см. табл. 10 и 13);

г) результаты анализа подтверждают, что в графоаналитических способах (при $N = 2, 3, 4, 5, 6, 7,$ и 8) величина ошибки не зависит от числа извилин (табл. 9 и 11), так как истинные ошибки в данном случае являются случайными, из чего следует, что ошибка за извилистость равна нулю;

д) определены теоретические оптимальные параметры N и q в четырех вариантах (т.е. $N=2$; $q=1,26$ мм; $N=4$; $q=2,55$ мм; $N=6$; $q=3,82$ мм; $N=8$; $q=5,10$ мм), обеспечивающие автоматизацию измерения длин извилистых линий с помощью сканирующих устройств (из условия наименьшей затраты времени при автоматическом сканировании);

е) определены эмпирические оптимальные параметры N и q в четырех вариантах, т.е. $N=2$; $q=0,96$ мм (≈ 1 мм); $N=4$; $q=1,91$ мм (≈ 2 мм); $N=6$; $q=2,96$ мм (≈ 3 мм); $N=8$; $q=3,83$ мм (≈ 4 мм), послужившие основой для вывода графоаналитических формул с целью определения длин извилистых линий (формулы 2.42; 2.43; 2.44 и 2.45)

$$\text{при } N=2; q=1\text{мм}; \quad \Sigma \ell = 0,78 q_{=1\text{мм}} \sum_{i=1}^{N=2} M_i, \quad (2.42)$$

$$\text{при } N=4; q=2\text{мм}; \quad \Sigma \ell = 0,3925 q_{=2\text{мм}} \sum_{i=1}^{N=4} M_i, \quad (2.43)$$

$$\text{при } N=6; q=3\text{мм}; \quad \Sigma \ell = 0,262 q_{=3\text{мм}} \sum_{i=1}^{N=6} M_i, \quad (2.44)$$

$$\text{при } N=8; q=4\text{мм}; \quad \Sigma \ell = 0,19625 q_{=4\text{мм}} \sum_{i=1}^{N=8} M_i, \quad (2.45)$$

где M_i – число точек пересечения извилистых линий с прямыми параллельными линиями на палетке (при N поворотах палетки на угол $\frac{\pi}{N}$) и средних углов наклона земной поверхности (формулы 3.10; 3.11; 3.12 и 3.13);

$$\text{при } N=2; q=1\text{мм}; \quad \text{tg} \bar{\alpha}_q = \frac{0,785 q_{=1\text{мм}} h}{P} \sum_{i=1}^{N=2} M_i, \quad (3.10)$$

при $N = 4$; $q = 2$ мм; $tg \bar{\alpha}_2 = \frac{0,3925q_{2\text{мм}}h \sum_{i=1}^{N=4} M_i}{P}$,
(3.11)

при $N = 6$; $q = 3$ мм; $tg \bar{\alpha}_3 = \frac{0,262q_{3\text{мм}}h \sum_{i=1}^{N=6} M_i}{P}$,
(3.12)

при $N = 8$; $q = 4$ мм; $tg \bar{\alpha}_4 = \frac{0,19625q_{4\text{мм}}h \sum_{i=1}^{N=8} M_i}{P}$,
(3.13)

Эти формулы можно представить в общем виде, т.е.:

$$tg \bar{\alpha} = \frac{\pi q h}{2NP} \sum_{i=1}^N M_i \quad (3.14)$$

ж) построены часовые палетки по эмпирическим оптимальным параметрам N и q , обеспечивающим высокую точность измерения длин извилистых линий. Так, например, при $N = 2$; $q = 1$ мм точность измерения длин извилистых линий колеблется от до $\pm 2,5\%$ (от истинных их значений), со средней квадратической ошибкой

$$m_{\Delta l} = \pm 1,16\%; \text{ при } N = 4; q = 2 \text{ мм} - 0 \pm 2,0\%$$

$$(m_{\Delta l} = \pm 1,10\%); \text{ при } N = 6; q = 3 \text{ мм} - 0 \pm 2,0\%$$

$$(m_{\Delta l} = \pm 1,0\%); \text{ а при } N = 8; q = 4 \text{ мм} - 0 \pm 2,2\%$$

$$(m_{\Delta l} = \pm 0,85\%) \text{ см. табл. 1.}$$

Установлено, что с увеличением числа приемов N точность графоаналитических способов увеличивается, но это

продолжается до $N=6$; а далее сохраняется постоянство ошибок, являющихся ошибками самого исследователя.

Вероятностно-статистическими методами установлена зависимость (формула 3.38) между числом горизонталей и орографических линий.

$$\eta_{i+1} = (2m + 1)(m - 2), \quad (3.38)$$

где m – число горизонталей;

η – число орографических линий в пределах исследуемого участка.

Предложена формула (3.53)

$$tg \bar{\alpha} = \frac{h[4n(m + 2) + m(m - 2)]}{8L} \quad (3.53)$$

для определения средних углов наклона земной поверхности в горном и высокогорном районах. Она не требует сложных расчетов и освобождает исполнителя от кропотливых картометрических работ по измерению длин извилистых линий.

Полученные результаты создают основу для автоматизации картометрических работ. Намечаются пути достижения полной автоматизации в процессе измерения длин извилистых линий с применением считывающих автоматических сканирующих устройств и ЭВМ.

Modelləşmə metodu ilə əyri xətlərin uzunluqlarının və meyl bucaqlarının ölçülməsi üsullarının tədqiqi

Müasir dövrdə coğrafi mühitin bütövlükdə öyrənilməsi və onun komponentlərinin (relyef, hidroqrafiya, torpaq, iqlim və s.) ayrılıqda tədqiqi böyük əhəmiyyət kəsb edir. Bu mühüm məsələnin həllində təbii və antropogen landşaft haqqında kəmiyyət və keyfiyyət göstəricilərini əldə etməyə imkan verən müxtəlif miqyaslı coğrafiya xəritələri xüsusi rol oynayır. Bu xəritələrdən kəmiyyət göstəricilərinin alınması ilk növbədə kartometrik və morfometrik tədqiqatlar nəticəsində həyata keçirilir.

Məlumdur ki, müxtəlif hidrotexniki qurğuların, nəqliyyat yollarının və digər təsərrüfat obyektlərinin layihələndirilməsi və tikintisi, həmçinin geomorfoloji, geoloji, geodeziya, kartoqrafik tədqiqatlar müxtəlif coğrafi obyektlərin (çaylar, sahil xətləri və s.) uzunluqlarının dəqiq təyin edilməsini tələb edir. Bu baxımdan topoqrafik xəritələr üzərində əyri xətlərin uzunluqlarının ölçülməsi üsullarının tədqiqi mühüm nəzəri və təcrübi əhəmiyyət kəsb edir.

Kartometrik işlərin ümumi vəziyyətinin təhlili bir daha sübut edir ki, əyri xətlərin uzunluqlarının ölçülməsi, orta meyl bucağının təyini məsələləri uzun müddət dünya alimlərinin diqqət mərkəzində qalmaqdadır. Bu sahədə Y.M. Şokalski, N.M.Volkov, A.M.Berlyant, İ.V.Busalayev, Q.İ. Znamensikov, A.K.Maloviçko, E.M.Nikolaevskaya, R.X.Piriyev, R.Ə.Babayev, S.P.Pursakov, Y.S.Frolov, V.A.Çervyakov, F.A.Çernyayeva, L.Krasauskas, E.Ə.Şiryayev, D.H.Malinq, J.Perkal, H.Şteynqauz və digər alimlər mühüm tədqiqatlar aparmışlar.

Aparılan tədqiqatların əməktutumlu olması və ölçmələrin dəqiqliyində bir sıra çatışmamazlığın mövcudluğu kəmiyyət göstəricilərinin təyində kartometrik üsulların tətbiqini müəyyən qədər mürəkkəbləşdirir. Bu səbəbdən daha təkmilləşmiş üsulların aşkar edilməsi, o cümlədən xəritə üzrə əyri xətlərin uzunluqlarının ölçülməsi prosesinin avtomatlaşdırılması çox aktual olub, kartoqrafiya elmi üçün mühüm elmi və təcrübi əhəmiyyət kəsb edir.

Monoqrafiya xəritə üzrə orta meyl bucaqlarının təyini və əyri xətlərin uzunluqlarının ölçülməsi üsullarının tədqiqinə həsr edilmişdir. Tədqiqatın əsas məqsədi ilk növbədə aşağıdakılardan ibarətdir.

1. Əyri xətlərin uzunluqlarının ölçülməsi dəqiqliyinin artırılması.
2. Çox zəhmət tələb edən əməktutumlu kartometrik işləri ehtimal-statistik metoddan istifadə etməklə daha sadə üsullarla əvəz etmək.
3. Əyri xətlərin uzunluqlarının ölçülməsi prosesinin avtomatlaşdırılmasının mümkün yollarını təyin etmək.

Monoqrafiyada xəritə üzrə əyri xətlərin uzunluqlarının mövcud ölçülmə üsullarının təhlili aparılmış və ölçü pərgarının ağzının sabit məsafəsi (2 mm, 3 mm, 4 mm) əsasında ölçmə üsulları təklif edilmişdi. Bu üsulun dəqiqliyi və səmərəliliyi digər üsullarla müqayisədə sübut edilmişdi. Həmçinin monoqrafiyada əyri xətlərin uzunluqlarını ölçmək üçün coğrafi tədqiqatlarda geniş tətbiq edilən və daha az zəhmət tələb edən qrafoanalitik ölçmə üsulundan – paletkadan istifadənin elmi əsasları geniş şərh edilmişdi. Əyri xətlərin ölçülməsi prosesinin avtomatlaşdırılmasına şərait yaradan

skaneretmənin nəzəri optimal parametrləri hesablanmışdı.

Əyri xətlərin uzunluqlarını ölçmək üçün modelləşmə metodundan istifadə edilmiş və bu məqsədlə hər birinin uzunluğu əvvəlcədən dəqiq təyin edilən (300 mm) nazik metal məftildən müxtəlif forma və əyrintilik dərəcələrinə malik olan maketlər hazırlanmışdı. Xəttin ölçülmüş uzunluğu (L_d) ilə əyrintiliyin sayı (m) arasındakı qanunauyğunluğu aşkar etmək üçün maket üzərində təcrübi ölçmə işləri aparılmışdır. Təcrübi işlər iynələri arasındakı məsafə $d=1$ mm, 2 mm, 3 mm və 4 mm olan ölçü pərgarı vasitəsilə həyata keçirilmişdi. Maket üzərində ölçmələr irəli və geri istiqamətdə 10-12 dəfə aparılmış və ümumi ölçmələrin sayı hər bir maket üçün 100-dən çox qəbul edilmişdi. Tədqiqat göstərdi ki, irəli və geri ölçmələrin nəticələri bir-birindən fərqlənirlər: ölçü pərgarın $d=1$ mm və 2 mm məsafəsində ölçülmüş kəmiyyət xəttin həqiqi uzunluğundan 1 – 1,5% fərqlənir. $d=3$ mm və 4 mm olduqda isə səhv iki dəfə artaraq 3%-ə çatır. Tədqiqatın nəticəsi göstərdi ki, d -nin qiymətinin və xüsusilə də əyrintiliyin sayının (m) artması səhvin də artmasına gətirib çıxarır. Bu zaman hər bir səhvlük əmsalı öz əvvəlki kəmiyyətindən 0,4 qədər fərqlənir. Aparılmış sadə riyazi hesablamalar nəticəsində əyri xətlərin uzunluqlarının ölçülməsinin aşağıdakı düsturunu təyin edilmişdir ($d=2$ mm üçün nəzərdə tutulmuşdu):

$$L = L_d + (0,2 + 0,4 d) m \quad (1)$$

Burada L – əyri xəttin axtarılan həqiqi uzunluğu
 L_d – ölçü pərgarı ilə əyri xəttin ölçülmüş uzunluğu
 m – əyrintiliyin sayı

d – ölçü pərgarının iynələri arasındakı məsafə

Təklif edilmiş düstur əsasında alınmış nəticələr N.M.Volkov, A.K.Maloviçko və Q.İ.Znamensikovun üsulları əsasında alınmış nəticələrlə müqayisə edilmişdi. Bu müqayisənin təhlili göstərir ki, təklif edilmiş düstur böyük dəqiqliyi ilə əvvəlki düsturlardan çox fərqlənir və mürəkkəb hesablamalar tələb etmir (A.M.Berlyant).

Aparılmış ölçü işlərinin təhlili nəticəsində aydın oldu ki, təklif edilmiş düsturla əyri xəttin uzunluğunun ölçülmə dəqiqliyi əyrintiliyin sayından çox asılıdır. Əyrintiliyin sayı azaldıqca dəqiqlik artır, say çoxaldıqda isə əksinə, dəqiqlik azalır. Bu belə də olmalı idi, çünki (1) düstur orta əyrintilik dərəcəsi üçün nəzərdə tutulmuşdur. Bu səbəbdən əyri xətlər bizim tərəfimizdən əyrintilik dərəcəsinə görə 4 kateqoriyaya bölünmüş və hər bir kateqoriya üçün müvafiq düsturlar təklif edilmişdi:

I kateqoriya: Çox zəif əyrintiliyə malik olan xətlər

$$L = L_d + 0,4 dm \quad (2)$$

II kateqoriya: Zəif əyrintiliyə malik olan xətlər

$$L = L_d + (0,1 + 0,4 d) m \quad (3)$$

III kateqoriya: Orta əyrintiliyə malik olan xətlər

$$L = L_d + (0,2 + 0,4 d) m \quad (4)$$

IV kateqoriya: Güclü əyrintiliyə malik olan xətlər

$$L = L_d + (0,3 + 0,4 d) m \quad (5)$$

Əyri xətlərin uzunluqlarının qrafoanalitik üsulla ölçülməsi məsələləri Şteynqauz, Busalayev, Krasauskas, Pursa-

kov, Berlyant, Şiryayev, Kuprin və digər alimlərin tədqiqatlarında geniş yer tutmuşdur. Əyri xətlərin uzunluqlarının paletka vasitəsilə ölçülməsinin nəzəri əsasları ilk dəfə polşa riyaziyyatçısı Şteynqauz tərəfindən işlənmişdi.

Müxtəlif illərdə qrafoanalitik üsulla əyri xətlərin uzunluqlarının ölçülməsi üçün təklif edilmiş düsturlar Şteynqauz ideyasına əsaslandığı üçün bir-birinə çox oxşardırlar. Bu səbəbdən onları ümumiləşdirərək, Pursakovun təklif etdiyi şəkildə ifadə etmək olar:

$$\sum \ell = \frac{\Pi q}{2 N} \sum_{i=1}^N M_i \quad (6)$$

Burada N – paletkanın müxtəlif vəziyyətlərindəki ölçmələrin sayı

M_i – paletkanın düz xətləri ilə əyri xətlərin kəsişmə nöqtələrinin sayı

q – paletka üzərində düz xətlər arasındakı məsafə.

Qeyd etmək lazımdır ki, mövcud qrafoanalitik üsullar bir-birindən N – lərin sayının müxtəlif olması ilə fərqlənirlər. Məsələn, Krasauskas – $N = 8$, Şteynqauz – $N=6$, Busalayev – $N=2$ götürmüşdür.

Qrafoanalitik üsulla ölçmənin dəqiqliyini təyin etmək və daha təkmilləşmiş üsul yaratmaq məqsədilə biz modelləşmə metodundan istifadə etmişik. Tədqiqat üçün müxtəlif ayrıntilik dərəcəsinə malik olan 17 maket götürülmüşdü. Əyri xətlərin uzunluqlarının ölçülmə prosesi görünüşü bir qədər dəyişdirilmiş və «saat paletkası» adlanan paletka əsasında aparılmışdır. Paletkadakı xətlər arasındakı məsafə $q=3, 82$ mm götürülmüşdü. Saat paletkasından istifadə

aşağıdakı ardıcılıqla aparılır:

1. Xəritə üzərində hər hansı bir elementar sahə (kvadrat, hövzə, yamac və s.) daxilində və yaxud ölçməyə məruz qalacaq əyri xətt yaxınlığında bir xətt və ya ox çəkilir.

2. Saat paletkası ölçüləcək əyri xəttin üzərində ehtiva yerləşdirilir ki, paletkanın istiqaməti xəritədəki oxun istiqaməti ilə üst-üstə düşsün və kəsişmə nöqtələri sayılsın $M_1, M_2 \dots M_n$.

Qeyd etmək lazımdır ki, $N=6$ olduqda $\sum_{i=1}^{N-6} M_i$ ölçüləcək

xəttin uzunluğuna bərabər olur (xəritə miqyasında, mm-lə).

Əgər $N > 6$ və yaxud $N < 6$ olduqda $\sum M$ müvafiq əmsala

vurulur. Bu əmsal $K = \frac{\Pi q}{2 N}$ düsturu ilə təyin edilir.

Aparılmış tədqiqat nəticəsində aydın olur ki, N -lərin sayı artdıqca qrafoanalitik üsulun dəqiqliyi də artır. Lakin bu dəqiqlik $N=6$ olana qədər davam edir. Sonra isə tədqiqatçının günahundan baş verən daimi səhvlər müşahidə edilir. Buradan belə aydın olur ki, səhvin kəmiyyəti ilə N -nin sayı arasında sıx bağlılıq mövcuddur ki, bu da aşağıdakı cədvəldə öz əksini tapmışdır.

Qrafoanalitik üsullar	Ölçmələrin sayı				
	N=6	N=5	N=4	N=3	N=2
N=6	± 3%				
N=5		± 4,5%			
N=4			± 6%		
N=3				± 7,5%	
N=2					± 9%

Bu göstəricilər əsasında maksimal səhv kəmiyyətinin tapılması düsturu irəli sürülmüşdü.

$$\Delta L_{\max} = \Pi q - 1,5 N \quad (7)$$

Saat paletkası əsasında əyri xətlərin uzunluqlarının ölçülməsi üçün aşağıdakı düsturlar təklif edilmişdi:

N=2 q=1 mm olduqda

$$\Sigma \ell = 0,785 q_{=1mm} \sum_{i=1}^{N=2} M_i = 0,785 \sum_{i=1}^{N=2} M_i \quad (8)$$

N=4 q=2 mm olduqda

$$\Sigma \ell = 0,3925 q_{=2mm} \sum_{i=1}^{N=4} M_i = 0,785 \sum_{i=1}^{N=4} M_i \quad (9)$$

N=6 q=3 mm olduqda

$$\Sigma \ell = 0,2617 q_{=3mm} \sum_{i=1}^{N=6} M_i = 0,785 \sum_{i=1}^{N=6} M_i \quad (10)$$

N=8 q=4 mm olduqda

$$\Sigma \ell = 0,19625 q_{=4mm} \sum_{i=1}^{N=8} M_i = 0,785 \sum_{i=1}^{N=8} M_i \quad (11)$$

Qeyd etmək lazımdır ki, əyri xətlərin uzunluqlarının ölçülməsində (8, 9, 10, 11) düsturları eyni dəqiqliyə malikdirlər. Fərq yalnız ondan ibarətdir ki, xəttin əyrintilik dərəcəsi və uzunluğundan asılı olaraq, N və q-nin müxtəlif parametrlərindən istifadə edilir. Məsələn, kiçik ölçü və əyrintilik dərəcəsi yüksək olan xətlərin uzunluqları

nın ölçülməsində N=8 q=4 mm və ya N=6 q=3 mm (10 və 11 düsturlar) olması daha məqsədəuyğundur. Əyrintilərin sayı azaldıqca isə N=4 q=2 mm və ya N=2 q=1 mm (8 və 9 düsturlar) istifadə edilməlidir.

Monoqrafiyada müxtəlif tədqiqatçılar (S.A.Nikolayev, İ.V.Busalayev, V.Ç.Çernin, R.Ə.Babayev, Finstervalder) tərəfindən təklif edilmiş Yer səthinin orta meyl bucağının (OMB) təyin edilmə üsulları geniş təhlil edilmiş, onların müsbət və mənfi cəhətləri müəyyənəndirilmişdi.

Yer səthinin orta meyl bucağını təyin etmək üçün bizim təklif etdiyimiz üsul Finstervalder düsturuna əsaslanır:

$$\operatorname{tg} \bar{\alpha} = \frac{h \Sigma \ell}{P} \quad (12)$$

burada $\Sigma \ell$ - horizontalların uzunluqlarının cəmi

h - kəsmə yüksəkliyi

P - orta meyl bucağı təyin ediləcək ərazinin sahəsi

Bu zaman horizontalların uzunluğunu təyin etmək üçün (8, 9, 10 və 11) düsturlarından istifadə edilmişdi. N və q-nin müxtəlif qiymətlərindən asılı olaraq orta meyl bucağının ($\operatorname{tg} \bar{\alpha}$) təyini üçün dörd düstur alınmışdı:

N=2 q=1 mm olduqda

$$\operatorname{tg} \bar{\alpha}_1 = \frac{0,785h}{P} \sum_{i=1}^{N=2} M_i \quad (13)$$

N=4 q=2 mm olduqda

$$\operatorname{tg} \bar{\alpha}_2 = \frac{0,785h}{P} \sum_{i=1}^{N=4} M_i \quad (14)$$

N=6 q=3mm olduqda

$$tg\bar{\alpha}_3 = \frac{0,785h}{P} \sum_{i=1}^{N=6} M_i \quad (15)$$

N=8 q=4 mm

$$tg\bar{\alpha}_4 = \frac{0,785h}{P} \sum_{i=1}^{N=8} M_i \quad (16)$$

Bu düsturları ümumiləşdirib aşağıdakı şəkildə ifadə etmək olar:

$$tg\bar{\alpha} = \frac{\pi hq}{2PN} \sum_{i=1}^N M_i \quad (17)$$

Orta meyl bucağını qrafoanalitik üsulla təyin edərkən horizontalların sıxlığı, N və q-nin parametrləri nəzərə alınmalıdır. Məlumdur ki, relyefin formasından asılı olaraq, horizontallar müxtəlif sıxlığa malik olurlar. Bu səbəbdən müvafiq morfometrik göstəriciləri, o cümlədən meyl bucaqlarını təyin edərkən N və q-nin müxtəlif parametrlərindən istifadə etmək lazımdır. Məsələn, N=2 q=1 mm olan (13) düstur hamar relyef formaları və yaxud az meyilli düzənliklər üçün məqsədəuyğundur. Horizontalların sıxlığı və ayrıntiliyi artdıqsa, xüsusilə də relyefin meyillilik dərəcəsi yüksəldikcə N və q-nin də parametrləri artmalıdır. Orta meyl bucağını təyin etmək üçün istifadə edilən Finstervalder düsturu ilə bizim irəli sürdüyümüz düsturu (15) müqayisə etdikdə aydın oldu ki, təklif etdiyimiz düstur daha dəqiq ölçü qiymətləri almağa imkan verir. Bunun əsas səbəbi

ondan ibarətdir ki, horizontalların uzunluğu ölçü pərgarı ilə deyil, qrafoanalitik üsulla – saat paletkası ilə ölçülmüşdür.

Orta və yüksək dağlıq ərazilərdə horizontalların uzunluqlarının ölçülməsi müəyyən çətinlik doğurduğu üçün orta meyl bucağının təyini bizim tərəfimizdən ehtimal-statistik üsula əsaslanan yeni metodika ilə həyata keçirilmişdi. Bu üsulun mahiyyəti ondan ibarətdir ki, $P : \sum \ell$ orta kəmiyyəti oroqrafik xətlərin orta uzunluqlarının horizontalların sayına olan nisbəti ilə əvəz edilmişdi:

$$\frac{L}{n} : m' \text{ bu ifadəni } \frac{L}{m} : n' \text{ şəklində də təsəvvür etmək}$$

mümkündür. Yəni:

$$\frac{P}{\sum \ell} = \frac{L}{nm'} = \frac{L}{mn'} = \frac{L}{M} \quad (18)$$

$$\text{Deməli } nm' = mn' \quad (19)$$

Burada L – müəyyən sahədə oroqrafik xətlərin uzunluqlarının cəmi

m – horizontalların sayı

n – oroqrafik xətlərin sayı

m' – oroqrafik xətlərlə horizontalların kəsişmə nöqtələrinin sayı

n' – horizontalların orta uzunluqlarını kəsən oroqrafik xətlərin sayı

M – müəyyən sahə daxilində oroqrafik xətlərlə horizontalların kəsişmə nöqtələrinin ehtimal edilən sayı.

(18) və (12) düsturlarını müqayisə etdikdə

$$tg\bar{\alpha} = \frac{hM}{L} \quad (20)$$

M-in nəzəri kəmiyyəti m və n – dən asılı olub, oroqrafik xəttin müəyyən sahə daxilində hamarlama metodu ilə təyin edilir. Aşkar edilmişdir ki, m' və n' –in hamarlanmış kəmiyyəti müəyyən statistik qanunauyğunluğa tabedir. M-in hamarlanmış kəmiyyətini (M_{hamar}) empirik düstur əsasında aşağıdakı kimi təyin etmək olar:

$$M_{\text{hamar}} = \frac{4n(m+2) + m(m-2)}{8} \quad (21)$$

M_{hamar} - in (21) düsturda kəmiyyətini (12) düsturda yerinə qoysaq, yer səthinin orta meyl bucağını təyin etmək üçün yekun düsturu alırıq:

$$tg\bar{\alpha} = \frac{h[4n(m+2) + m(m-2)]}{8L} \quad (22)$$

(22) düsturu ilə orta meyl bucağını təyin etmək üçün sadəcə m, n və L-in qiymətlərini tapmaq lazımdır. Bu zaman m və n-i çox asanlıqla saymaq mümkündür. Ölçməyə isə yalnız oroqrafik xəttin L uzunluğu məruz qalacaqdır.

OMB-nin tədqiqi relyefin parçalanmasının xüsusiyyətini, həcmi və böyüklüyünü xarakterizə etməyə imkan verir. Relyefin əsas morfometrik göstəricilərinin (üfüqi, şaquli və OMB) təyini və xəritələşdirilməsinin əsasını böyük miqyaslı topoqrafik xəritələr təşkil edir. Miqyasın kiçilməsi morfomet-

rik xəritələr üzrə KGQ-nin dəqiqliyinə mənfi təsir göstərir. Bunun əsas səbəbi topoqrafik xəritə miqyasının kiçilməsi ilə əlaqədar horizontalların generalizasiyaya uğramasıdır. Miqyas kiçildikcə relyefin kəsmə yüksəklik qiymətinin (h_m) qanunauyğun şəkildə böyüməsi ($h_m = 0,2 \text{ mm} \cdot tg\alpha \cdot M$) horizontal- ların ümumiləşməsinə, sadələşdirilməsinə (xüsusilə yüksək dağlıq ərazi relyefini əks etdirən horizontalların), sayının azalmasına, üfüqi yerdəyişməsinə və s. səbəb olur.

Yer səthinin müxtəlif relyef formaları üzrə OMBKGQ-ni təyin etmək üçün bir sıra üsullar (analitik, qrafoanalitik, statistik və s.) mövcuddur. 1950-ci ilə qədər təklif olunmuş bu üsullar prof. N.M.Volkov tərəfindən «Kartometriya və morfometriyanın prinsipləri» adlı kapital əsərində ətraflı şərh edilmiş və belə nəticəyə gəlmişdir ki, OMB-ni təyin etmək üçün ən dəqiq və riyazi nöqtəyi nəzərdən düzgün sayılan S.Finstervalderin 1890-cı ildə təklif etdiyi üsuldur. Riyazi olaraq bu üsul aşağıdakı düsturla ifadə olunur.

$$tg\bar{\alpha} = \frac{h\Sigma L}{P} \quad (23)$$

Burada h-relyefin kəsmə yüksəkliyi;

ΣL - elementar sahədə (kvadrat və s.) horizontalların uzunluqları cəmi;

P – elementar ərazinin sahəsidir.

Qeyd etmək lazımdır ki, OMB qiymətini təyin etmək üçün S.Finstervalderin təklif etdiyi düstur (23) riyazi baxım- dan düzgün və dəqiq sayılsa da onun tətbiqi yalnız düzənlik və dağətəyi ərazilərdə əlverişlidir. Yüksək dağlıq ərazilərdə (23) düsturundan istifadə etməklə OMB qiymətinin təyin

edilməsi olduqca çətin və yorucudur. Bunun əsas səbəbi p və ΣL -komponentlərinin ölçülməsilə bağlı bir sıra çətinliklərlə əlaqədardır.

Yüksək dağlıq ərazilərdə OMBKGQ təyini həmişə öz həqiqi qiymətindən kiçik alınır (N.M.Volkov, 1950). Odur ki, alimlər çalışırlar ki, ölçmənin dəqiqliyi hesabına olsa da P və ΣL – komponentlərini digərləri ilə əvəz etməklə ölçmə prosesini sadələşdirsinlər. Odur ki, bir çox tədqiqatçılar (elementar ərazi sahəsində - P) horizontalların uzunluqları cəmi (ΣL) ehtimal nəzəriyyəsinə əsaslanaraq qrafoanalitik üsullarla təyin olunmasına üstünlük verirlər (Q.Şteynqauz, 1930; A.Kuprin, 1965; İ.V.Busalaye, 1966; L.Krasauskas, 1966; R.Ə.Babayev, 1977, 1988, 1990 və b.). [1].

OMB təyin etmək üçün təklif etdiyimiz yeni üsul horizontallara cızılmış 1 sm-lik (0,5 sm x 2) normal xəttin uzunluğunu kəsən horizontalların sayına (m) əsaslanmışdır (Babayev 1988).

Təklif etdiyimiz bu üsulda horizontalların sayından istifadə etməklə normal xətt istiqamətində orta aralıq qiymətini ($\bar{d} = h/m$) tapmaq və OMB KGQ-ni müəyyən etməkdir (cədvəl 1).

$$tg\alpha = \frac{h}{d} ; tg\bar{\alpha} = \frac{h}{d} = \frac{h_{mm}}{1sm/m} = \frac{0,2mm \cdot m}{10mm} = 0,02m$$

(24)

$$tg\bar{\alpha} = 0,02m$$

Xüsusilə qeyd etmək istərdim ki, OMBKGQ (24) sayılı düstura əsasən təyin olunmasının əsas şərti topoqrafik xəritə

üzrə relyefin kəsmə yüksəklik qiyməti (h_{mm}) məlum (25) düsturuna uyğun götürülməlidir.

$$h_{mm} = 0,2 \text{ mm} \cdot tg\alpha \cdot M/1000 \quad (25)$$

Burada h_{mm} – relyefin kəsmə yüksəkliyi

M – xəritə miqyasının məxrəci

0,2 mm – iki horizontal arasındakı ən kiçik məsafə

Horizontalların sayına görə OMBKGQ-nin təyini

Cədvəl 1

Orta meyli bucaqları $\bar{\alpha}$	Təklilər, horizontalların sayı (m)										
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
Omluqlar	0	0	1°10'	2°20'	3°20'	4°30'	5°40'	6°50'	8°00'	9°00'	10°10'
	10	11°20'	12°28'	13°30'	14°35'	15°40'	16°40'	17°45'	18°45'	19°50'	20°50'
	20	21°50'	22°50'	23°45'	24°40'	25°40'	26°35'	27°30'	28°20'	29°15'	30°00'
	30	31°00'	31°50'	32°40'	33°25'	34°15'	35°00'	35°45'	36°30'	37°15'	38°00'
	40	38°40'	39°20'	40°00'	40°40'	41°20'	42°00'	42°40'	43°15'	43°50'	44°25'
	50	45°									

$\bar{\alpha}$ və komponentləri arasındakı funksional asılılıqdan istifadə edib, m -in 1-50 kimi müxtəlif qiymətləri üzrə OMBKGQ-i 3' - dəqiqliklə cədvəl 1-də verilmişdir. OMB xəritəsinin tərtibi zamanı ilk növbədə normalın uzunluğu düstura görə hesablanır. Sonra isə pərgarın ağzının böyüklüyü normalın uzunluğuna uyğun açılaraq topoqrafik xəritədə horizontalların üzərinə perpendikulyar salınır. Pərgarın iy-nələri arasında qalan horizontalların sayı (m) və ya da uy-

ğun olaraq cədvəldən OMB-nin dərəcə qiymətləri ($\bar{\alpha}$) tapılır və xəritədə normalın üzərində yazılır (normalın uzunluğu 0,5 sm götürüldükdə, horizontalların sayı iki dəfə artırıldığından cədvəl 1-dən $\bar{\alpha}$ -nin KGQ tapılır). Sonra isə nəzərdə tutulmuş meyillik şkalasına uyğun olaraq OMB xəritəsi tərtib edilir.

Təklif etdiyimiz (24) sayılı düstur digər analitik və qrafoanalitik düsturlardan öz yüksək dəqiqliyi və sadəliyi ilə fərqlənir. (24) düsturundan istifadə etdikdə OMBKGQ-nin təyini zamanı kartometrik ölçü işləri (P və ΣL) sadəcə olaraq 1 sm-lik normal xəttin uzunluğunu kəsən horizontal-
ların sayı (m) ilə əvəz olunmuşdur.

ЛИТЕРАТУРА

1. Агапова Г.В. – О количественной характеристике углов наклона поверхности для морей и океанов. «Океанология», вып. 4. М., 1965.
2. Алекперов К.А. – Эрозия почв в Азербайджане и борьба с ней. Баку, 1961.
3. Алиев М.М. – Числовые характеристики плоскоравнинного рельефа. «Труды Азербайджанского индустриального института им. М.Азизбекова», вып. XV, 1956.
4. Ананьев Г.С. – Связь показателей глубины и плотности расчленения рельефа с проявлением новейшей тектоники. «Вести. МГУ. География», 1966, №4.
5. Анисимов В.И. Локальный морфометрический анализ наземного и погребенного рельефов. Геоморфология №2, 1985
6. Анисимов В.И. Основы морфометрического анализа рельефа. Учебное пособие. Грозный, 1987.
7. Бабаев Р.А. – О методике определения среднего угла наклона земной поверхности «Материалы IX научной конференции института географии АН Азерб. ССР». Изд-во ЭЛМ, Баку, 1971.
8. Бабаев Р.А. – Региональный подход к выбору высоты сечения и масштаба топографических карт в зависимости от характера рельефа. «Ученые записки АГУ» сер. геол.-геогр. наук, 1972, №3.
9. Бабаев Р.А. – Исследование формул среднего угла наклона земной поверхности (сообщение первое). «Ученые записки АГУ», сер. геол.-геогр. наук, 1972, №5.
10. Бабаев Р.А. – Исследование формул среднего угла наклона земной поверхности (сообщение первое). «Ученые записки АГУ», сер. геол.-геогр. наук, 1972, №6.

11. Бабаев Р.А. – Исследование длин извилистых линий методом моделирования. «Ученые записки АГУ», сер. геол.-геогр. наук, 1974, №4.
12. Бабаев Р.А. – Оптимальные параметры в графоаналитических способах для измерения длин извилистых линий по картам. «Ученые записки АГУ», сер. геол.-геогр. наук, 1975, №4.
13. Балин Б.М. – К вопросу применения ЭВМ при вертикальном проектировании строительных площадок. «Инженерная геодезия». Межведомственный республиканский научный сборник, вып. 5, Киев, 1968.
14. Белоусов И.М., Козлов Н.М., Ямпольский А.Д. – О методике определения углов наклона морского дна. «Океанология», 1966, 6, №2.
15. Берлянт А.М. – Картографические методы сопоставления новейших и древних тектонических структур. В сб.: «Природные и трудовые ресурсы Левобережной Украины и их использование», вып. 2, Харьков, 1967.
16. Берлянт А.М. – Применение районирования базисной поверхности при изучении новейших тектонических движений в вилкойской синеклизе. «Вопросы морфометрии». Изд-во Саратовского университета, 1967, вып. 2.
17. Берлянт А.М. – Картографический метод как средство математизации географических исследований. Сб. «Математические методы в географии». Изд-во МГУ, 1968.
18. Берлянт А.М. – Картографический метод исследования. Сб. «Картография». Итоги науки 1967-1969 гг., вып. 4. М., 1970.
19. Берлянт А.М. – Картографический метод исследования природных явлений. Изд-во МГУ, 1971.
20. Берлянт А.М. – Картографический метод исследования природных явлений. (Практическое пособие). Изд-во МГУ, 1971.
21. Берлянт А.М. – «Карты взаимосвязей явлений и их применение в географических исследованиях». «Вести. Моск. Унта. География», 1972, №1.
22. Берлянт А.М. – Картографический метод исследования. Сб. «Картография. Итоги науки и техники», том 6. М., 1975.
23. Берлянт А.М. Картографический метод исследования. МГУ, 1978.
24. Берлянт А.М. Карта – второй язык географии. Москва. Просвещение, 1985.
25. Берлянт А.М. Образ пространства: карта и информация. Москва, Мысль, 1986
26. Берлянт А.М. Использование карт в науках о Земле. Итоги науки и техники. Картография. Т.12. Москва, ВИНТИ, 1986.
27. Берлянт А.М. Морфометрические исследования в СССР: состояние, проблемы, перспективы. Геоморфология №2, 1984.
28. Большаков В.Д. – Теория ошибок наблюдений с основами теории вероятностей. М., «Недра», 1965.
29. Бородин А.В. – Полуавтоматические приборы ЦНИИГАиК для гранирования пунктирных линий и измерения длин линий на картах. «Изв. высш. учебн. заведений. Геод. И аэрофотосъемка», 1967, №4.
30. Бочаров М.К., Николаев С.А. – Математико-статистические методы в картографии, М., 1957.
31. Бочаров М.К. – Методы математической статистики в географии. Изд-во «Мысль», 1971.
32. Борсук О.А., Симонов Ю.Г. – Статистические и вероятностные методы в геоморфологии. В сб. «Мат. методы в геогр.» М., Москва, ун-т, 1968.

33. Борсук О.А., Спасская И.И. – Математические методы в геоморфологии. «Теоретические и общие вопросы географии», том I. Итоги науки и техники. М., 1974.
34. Будагов Б.А. – Геоморфология и новейшая тектоника Азербайджанской части Большого Кавказа АДЦ, Баку, 1967.
35. Будыко М.И., Котляков В.М., Мещеряков Ю.А. – О применении количественных методов в физико-географических исследованиях. «Материалы V съезда Географического общества Союза ССР», Л., 1970.
36. Бусалаев И.В. – О приложении методов статистического описания случайных полей и характеристике рельефа земной поверхности. «Изв. АН Каз. ССР», сер. энерг., вып. 2, 1960.
37. Бусалаев И.В. – Математико-статистические методы обработки картографических материалов. Сб. «Проблемы гидроэнергетики и водного хозяйства», вып. 4, Алма-Ата, 1966.
38. Бусалаев И.В. – Математическая модель развития эрозионного рельефа водосборов. В сб. «Пробл. гидроэнерг. и водн. хоз-ва», вып. 7. Алма-Ата, «Казахстан», 1970.
39. Васмут А.С. – Электроника и автоматика в картографии. «Геодезия и картография», М., 1965, №9.
40. Васмут А.С. – Автоматизация в картографии. «Картография. Итоги науки, 1965-1967», вып. 3, М., 1968.
41. Васмут А.С. Моделирование в картографии с применением ЭВМ. Москва, Недра, 1983
42. Вахрамеева Л.А. Математическая картография. Москва, Недра, 1986
43. Вахтин Б.М. – К вопросу об определении математических характеристик рельефа местности. «Геодезист», 1930, № 2-3.
44. Вахтин Б.М. – Опыт определения математических характеристик рельефа ЦЧО. Геодезиздат, № 11-13, 1931.
45. Весслова Л.К., Музаласвская Л.А. – Карта горизонтального расчленения гор юго-восточного Казахстана. «Материалы 2-й научной конференции молодых ученых АН Каз, ССР». Алма-Ата, 1975.
46. Вергасов В.А. – Статистический анализ и автоматическое распознавание непрерывных кривых на примере горизонталей топографических карт. АКД, М., 1971.
47. Волков Н.М. – Новый способ измерения длин рек по картам. Изв. АН СССР, сер. геогр. и геофиз., 1949, т.13, №2.
48. Волков Н.М. – Принципы и методы картометрии. Изд-во АН СССР. М.-Л., 1950.
49. Волков Н.М. – Об измерениях длин рек по картам. «Труды НИИГАиК» т.5, 1952.
50. Волков Н.М. – Составление и редактирование карт. «Геодиздат» М., 1961.
51. Волков Н.М. – Картометрия. Сб. «Картография. Итоги науки 1965-1967 гг.», вып. 3. М., 1968.
52. Волков Н.М. – Об измерении длин извилистых линий на картах, «Геодезия и картография». М., 1972, №4.
53. Геллерт Н.Ф. – Работа по унификации легенд детальных геоморфологических карт. сер. геогр. Изв. АН СССР, 1969, № 1.
54. Гусейнов А.М. – Уклоны подводного рельефа (Западная часть Южного Каспия). «Ученые записки Азгосуниверситета им. С.М.Кирова», сер. геол. – геогр., 1971, № 6.
55. Гусейнов А.М. – Морфометрия подводного рельефа юго-западной части Каспийского моря. АКД, Баку, 1973.
56. Грейсух В.Л. – Возможность исследования форм рельефа на электронных цифровых вычислительных машинах (ЭЦВМ). «Изв. АН СССР», сер. геогр., 1966, № 4.
57. Грейсух В.Л. – Образное представление геоморфологической информации. В сб. «Рельеф земли и математика». изд-во «Мысль», 1967.

58. Девдариани А.С. – Количественные методы и изучении рельефа. «Вопр.геогр», 1963, № 63.
59. Девдариани А.С. – Математические методы. Сб. «Гсоморфология». Итоги науки, вып. 1. Изд-во ВИНТИ. М., 1966.
60. Девдариани А.С. – Вклад Западной Европы, США, СССР в изучение рельефа поверхности земли математическими методами. Сб. «Рельеф Земли и математика». Изд-во «Мысль», М., 1967.
61. Девдариани А.С. – Математический анализ в геоморфологии. Изд-во «Недра». М., 1967.
62. Дементьев В.А. – характеристика морфометрии Белоруссии. «Труды географ.»ф-та Белорусского ун-та, вып. 1, 1958.
63. Ефремов Ю.К. – Опыт морфографической классификации элементов и простых форм рельефа. «Вопросы географии», сб. II, 1969.
64. Жуков В.Т. , Сербенюк С.Н. , Тихунов В.С. Математико-картографическое моделирование в географии. Москва, Мысль, 1980
65. Заруцкая И.П. – Методы составления рельефа на гипсометрических картах. «Геодезиздат», 1958.
66. Захаров В.П. – Вероятные методы обработки картографических материалов. «Изв. АН Каз. ССР», сер. географ., вып. 7, Алма-Ата, 1954.
67. Знаменщиков Г.И., Пархоменко Н.Н. – Об учете извилистости при измерении длин кривых линий на картах. «Труды НИИГА и К», т. VIII, 1957.
68. Знаменщиков Г.И. - Оценка точности измерения длин рек на топографических картах способом Гидрометслужбы. «Труды НИИГАиК», т. XII, 1959.
69. Знаменщиков Г.И. – Об измерениях длин кривых линий на топографических картах в связи с генерализацией. Сб. «Вопросы картографии». Изд-во СО АН СССР, Новосибирск, 1961.
70. Знаменщиков Г.И. – О некоторых предложениях по усовершенствованию существующих способов измерения кривых линий по картам. Сб. «Вопросы картографии». Изд-во СОАН СССР, Новосибирск, 1961.
71. Знаменщиков Г.И. – Способы измерения длин кривых линий по картам и графоаналитическим учетом извилистости. Сб. «Вопросы картографии». Изд-во Со АН СССР, Новосибирск, 1963.
72. Знаменщиков Г.И. – О редуцировании длин криволинейных объектов, измеряемых на топографических картах. «Труды НИИГАиК», вып. 2, т. XVII, 1964.
73. Знаменщиков Г.И. – Определение по картам количественных показателей расчленения рельефа. «Вопросы геодезии, аэрофотосъемки и картографии» т. XVIII, 1965, №2.
74. Знаменщиков Г.И. – Исследование некоторых вопросов картометрии методами моделирования. АДД, Новосибирск, 1965.
75. Зиновьева Л.Е., Ситников В.К. – Статистический метод расчета характеристик крутизны береговых склонов. «Геол. побережья и дно Черного и Азовского морей в пределах УССР. Межвед. респ. Научн. сб.», 1967, вып. 1.
76. Зоруцкая И.М., Красильникова Н.В. Картографирование природных условий и ресурса. Москва, Недра, 1988.
77. Иванов В. – Опыт за определяне вертикалната разчлененост на рельефа с приложение на математический статистика. «Изв. центр. лабор. геод. Вьлг. АН», кн. (неет), IV, 1963.
78. Иванов Е. – Определяне горизонтального разчленение на рельефа посредством методике на математического статистика. «Изв. центр. лабор. геод. Вьлг. АН», том (Вап), V, 1964.

79. Иванов Е. – Относительно горизонтального разчленение и генерализация на рельефа. «Изв. центр. лабор. геод. Вьлг. Ан», кн (неет), VI, 1965.
80. Измайлова Н.В. – Способ определения показателей расчлененности рельефа. Труды Одесского гос. ун-та. Сб. геол. – географ. фак-та, т. 2, 1954.
81. Камалов Б.А. – Об определении морфометрических характеристик рельефа. Сб. «Геодезия и картография». М., 1965, № 10.
82. Каминская Э.Х., Червяков В.А. – Опыт использования картографо-статистического метода при исследовании густоты речной сети Приморья. «Геоморфология», 1972, №3.
83. Кайтмазова З.Х. – К исследованию роста овражной сети по картографическим материалам. «Научн. зап. Москва. Гидромелиорации ин-та», 1967, № 32.
84. Керша В.О. – «Обработка изображений с помощью электронных аналоговых устройств». «Изв. высш. учебн. зав. геодезия и аэрофотосъемка», 1974, №6.
85. Кисла В.В. – Морфометрический анализ при проектировании инженерных сооружений. Сб. «Рельеф Земли и математика». Изд – во «Мысль». М., 1967.
86. Курбатов В.М. – Устройства для считывания графической информации. Авт. Свид. СССР, кл 42 м⁶ 11/00 (G.OG) К № 217756, заявл. 130367. Оpubл. 20. 11. 68.
87. Катус Г.П.- Автоматическое сканирование. Изд- во «Машиностроение М.», 1969.
88. Комиссаров В.В., Расположенский Н.А. – Автоматизация измерения площадей на картах по цветовым признакам. «Вести. Моск. Ун –та География ». № 6, 1974.
89. Расположенский Н.А. – Электронный планиметр и точность его работы при определении площадей различных размеров. В сб. «Материалы У I научн. конфер. Секц. Геод. Геол. и разведки торф. Месторожд.» Калининск. Политехник. Ин - т Калининск. 1973.
90. Кудрицкий Д.М. – К вопросу об измерении длин рек. Ж. «Метеорология и гидрология », № 6, 1952.
91. Куприн А. М. – Топография для всех. Изд- во «Недра». М., 1976.
92. Ларина Н. М. – Расчет площадей Тихого океана, его морей и ряда котловин. «Океанология». 1968, № 4.
93. Ласточкин А. Н. – О принципах применения морфометрических методов в морфоструктурном анализе. «Изв. Всес. Геогр. Общества». 1967, 99. Вып.6.
94. Мартыненко А. И. – Автоматизация в картографии. Сб. «Картография ». «Итоги науки и техники», том 6, М., 1975.
95. Мещеряков И.А. – О научном направлении работ по геоморфологии и палеогеографии в ин - те географии АН СССР. «Изв. АН СССР. сер. геогр.» 1967. № 4.
96. Миронова Е.А. – Морфометрическая характеристика рельефа средней части Волго – Медведицкого междуречья. «Вопросы применения картографических методов при географических исследованиях». Изд – во АН СССР. М., 1960.
97. Муравский С.Д. – Очерки по теории и методам морфометрии озер. Сб. «Вопросы географии», № 7. Географгиз», 1948.
98. Мусейбов М.А. – Корреляция между крутизной и ориентацией склонов и площадей эрозийных почв Ханларского района. «Ученые записки АГУ, сер, геол. геогр. наук. 1968 № 4.
99. Моловичко А.К. –К теоретическим основам картометрии рек. «Труды Нитаяк », т.Ш. вып. 3. 1951
100. Нашатаев И. Н. – Выборочно- статистический метод в детальном крупномасштабном картографировании дубрав. В сб. «Крупномасштабны. Картографир. растительн.» Новосибирск, «Наука», 1970.

101. Николаев С.А. – О закономерностях строения рельефа. «Сборник статей по картографии». Вып. 7 М., 1954.
102. Николаев С. А. – О количественной характеристика извилистости береговой линии. «Сборник статей по картографии, вып. 8. М., 1955.
103. Николаевская Е. М. - Картографические работы в полевых географических исследованиях природы. М., Моск. ун-т, 1964.
104. Николаевская Е. М. – Морфометрические карты рельефа. «Методические указания по проектированию и составлению комплексных научно-справочных атласов», вып. 4. Изд-во геогр. фак-та МГУ, 1968.
105. Николаевская Е. М. - Количественная оценка рельефа на картах прикладного районирования. Сб. «Мелкомасштабные карты оценки природных условий». Изд-во МГУ, 1970.
106. Николаевская Е. М. – Морфометрический анализ Западно-Сибирской равнины. «Геоморфология», 1970, № 4.
107. Николаевская Е. М., Цветкова Л.Н. – Морфометрические карты рельефа. В сб. «Методы создания комплексов Региональн. Атласов СССР». М., Моск. ун-т, 1972. Основные положения по созданию топографических карт масштабов 1:10000, 1:25000, 1:50000, 1:100000. М., 1956.
108. Павлов А.А. – Всесоюзная конференция по вопросам автоматизации и механизации в картографии. «Вестник Ленингр. ун-та», 1967, № 2.
109. Пириев Р.Х. – К морфометрии речных бассейнов северовосточного Азербайджана. «Ученые записки АГУ», сер. геол. – геогр., 1958. № 1.
110. Пириев Р.Х., Гасанов М.М. – Морфометрия озера Гек-гель. «Ученые записки АГУ», сер. геол. – геогр., 1963, № 5.
111. Пириев Р.Х. – Некоторые вопросы закономерностей строения рельефа. «Ученые записки АГУ», сер. геол.-геогр., 1966, № 4.
112. Пириев Р.Х. – Характеристика углов наклона поверхности территории Азербайджана. «Ученые записки АГУ», сер. геол.-геогр., 1968, № 4.
113. Пириев Р.Х. – Морфометрический анализ рельефа Азербайджана. АДД, Баку, 1969.
114. Пириев Р.Х. – «Краткий обзор и классификация морфометрических исследований». «Ученые записки АГУ», серия геол. – геогр., 1971, № 5.
115. Пириев Р.Х. О морфометрии, ее предмете и методах исследования. Вестник МГУ, серия География №3, 1985.
116. Пириев Р.Х. Методы морфометрического анализа рельефа: (на примере территории Азербайджана) Баку, Элм, 1986.
117. Подобедов И.С. – Топографическое картографирование. «Геодиздат», 1962.
118. Пурсаков С.И. – Об определении длин кривых сканированием. «Труды НИИГАиК», т. XXIII, Новосибирск, 1969.
119. Пурсаков С.И. – Исследование способов определения длин кривых и некоторых морфометрических показателей по картам, АКД, М., 1970.
120. Протодьяконов М.М. – Числовые характеристики топографических условий местности. М., 1925.
121. Салищев К.А. – О картографическом методе исследования. «Вестник Московского университета. География», 1955, № 10.
122. Салищев К.А. Проектирование и составление карт. 2-е издание, МГУ, 1987
123. Салищев К.А. – Задачи картографии и автоматизации. «Изд-во вузов. Геодезия и аэрофотосъемка», вып. 4. М., 1967.
124. Салищев К.А. – Современные проблемы советской картографии и задачи географического общества. «Материалы V съезда геогр. об-ва Союза ССР», Л., 1970.

125. Свентэк Ю.В. – Составление карт уклонов местности методом электрического моделирования рельефа. В сб. «Материалы VI научн. конфер. секц. геод., геол. и разведки торф. месторожд». Калинин, 1973.
126. Сербенюк С.Н., Тикунов В.С. – Сравнительный анализ некоторых многомерных математических моделей, применяемых в тематической картографии. В сб. «Новое в тематике, содерж. и методах сост. экон. карт 1970-1973», М., 1974.
127. Сербенюк С.Н., Жуков В.Т. – Применение математико-статистических моделей для картографирования географических комплексов. Калинин. Политехн. Ин-т. «Пробл. лаб. комплексн. картограф. и атласов МГУ». Калинин, 1973.
128. Сербенюк С.Н., Жуков В.Т., Расположенский Н.А. – Построение картографического изображения с помощью ЭВМ и автоматических устройств. Калинин, 1973.
129. Смирнов Л.Е., Черняева Ф.А. – Опыт измерения площадей на аэрофотоснимках, «Вестн. Ленинград. ун-та», № 12, 1964.
130. Смирнов Л.Е. Трехмерное картографирование. Ленинград, 1982.
131. Сорокин А.И. – Статистические методы оценки характера рельефа дна океана. «Океанология», 1967, 7, № 2.
132. Спасская И.И., Авенариус И.Г. – Применение карт сумм длин горизонталей для анализа новейшей тектонической структуры. В сб. «Геогр. морфологич. анализ при геологич. исслед. в Прикаспийской впадине». Изд-во МГУ. М., 1968.
133. Спиридонов А.И. – Геоморфологическое картографирование. Геодезиздат. М., 1975.
134. Стеблин Каменская О.С. – Морфометрическая карта Вологодской области. Вестник ЛГУ, 1962, № 24.
135. Суетова И.А. – Картометрия Антарктиды. Сб. «Антарктиды». Изд-во АН СССР. М., 1962.
136. Сухов В.И. – Всесоюзная конференция по вопросам автоматизации и механизации в картографии. Программа и задачи. «Изд. высших учебных завед. Геодезия и аэрофотосъемка». 1967, № 4.
137. Сухов В.И. – Глобальная система информации и карта. «Изд. высш. учебн. Заведений Геодезия и аэрофотосъемка» 1970, № 2.
138. Терещенко С.С. – Сканирующие автоматы для вывода информации с микрофильма в информационные системы. В сб. «Структурные методы опознавания и автоматическое чтение», ВИНТИ, М., 1970.
139. Философов В.П. – Краткое руководство по морфометрическому методу поисков тектонических структур. Изд-во Саратовского ун-та, 1960.
140. Философов В.В. – Методика вычисления и геолого-геоморфологическая интерпретация коэффициента расчлененности рельефа. «Вопросы морфометрии». Изд-во Саратовского ун-та, 1967, вып. 2.
141. Философов В.П. – Основы морфометрического метода поисков тектонических структур нефтегазоносных областей. АДД Л., 1971.
142. Фролов Ю.С. – Аналитические формулы для определения приведенных значений длин линий. «Вестник Ленинградского ун-та», 1964, № 18.
143. Чеботарев А.С. – Способ наименьших квадратов с основами теории вероятности. «Геодезиздат». М., 1958.
144. Ченцов В.Н. – Морфометрические показатели на геоморфологической карте мелкого масштаба. Труды ин-та геогр. АН СССР, вып. 39. М., 1948.

145. Цветкова Л.Н. – Использование приемов математической статистики для анализа вертикального расчленения рельефа (на примере Алтайского края). «Геоморфология», 1972, № 2.
146. Червяков В.А. – Влияние ошибок количественных определений по картам на тесноту корреляционных связей. Вест. Моск. ун-та. «География», 1964, № 4.
147. Червяков В.А. – Картографический способ определения формы и тесноты корреляционных связей. Вестн. Моск. ун-та «География», 1964, № 5.
148. Червяков В.А. – Основы математической статистики в географии. Владивосток, 1966.
149. Червяков В.А. – Карты статистических поверхностей и их роль при изучении пространственных закономерностей. «Изв. Узбекск. географ. общ-ва», № 10, 1967.
150. Червяков В.А. – О картах статистических поверхностей. В сб. «Вопросы тематич. картографирования», Иркутск, 1968.
151. Червяков В.А. – Карта взаимосвязей явлений. «Изв. высш. учебн. заведений. Геод. И аэрофотосъемка», 1970, вып. 6.
152. Чернин В.М. – Некоторые особенности мелкомасштабного морфометрического картографирования. АКД, Киев, 1967.
153. Чернин В.М. – О создании карты глубины расчленения рельефа. В сб. «Геогр. досл. дж на Украин», Вып. 1. Киев, «Наука Думка», 1969.
154. Чернин В.М. – Особенности применения выборочного способа наблюдений при изучении рельефа земной поверхности. «Материалы III научн. конф. по комплексн. Картографированию УССР», вып. 1. Изд-во «Наука Думка», Киев, 1970.
155. Чернин В.М. – Применение ЭВМ при создании морфометрических карт рельефа. В сб. 5-я Всес. конф. по темат. картограф., 1973, т.1. «Тезисы докл. Тбилиси», Тбилисс. ун-т, 1973.

156. Чичагов В.П., Девдариани А.С. – «Морфометрия» в работах А.Болига (Франция) и А.Стралера (США). «Вопросы географии». М., 1963, сб. № 63.
157. Черняева Ф.А. – К вопросу определения длин извилистых линий по картам с помощью циркуля. «Уч. зап. ЛГУ», № 226, сер. геогр., № 2, 1958.
158. Шаратов И.П. – Функции распределения высоты рельефа. Сб. «Рельеф Земли и математика». Изд-во «Мысль». М., 1967.
159. Шейхман Э.С., Ниязгулов У.Д. – Исследования по автоматическому измерению площадей на аэроснимках и планово-картографических материалах. Труды т.9, вып.1. «Землеустройство совхозов северного Казахстана в условиях ветровой эрозии». МСХ СССР, Целиноград, 1973.
160. Шергина К.Б. – Статистический метод определения среднего угла наклона водосбора. «Вестн. АН Казахской ССР», № 6, 1956.
161. Ширяев Е.Е. – Снятие информации с карт при помощи фотоэлектрической и электромагнитной системы считывания. «Изв. высш. учебн. зав. Геодезия и аэрофотосъемка». 1967, № 4.
162. Ширяев Е.Е. – Картографическое отображение информации о линейных объектах и принципы её автоматического считывания и преобразования. «Изв. высш. учебн. завед. Геодезия и аэрофотосъемка», 1973, № 5.
163. Ширяев Е.Е. – Способ автоматического измерения площадей и периметров контуров с помощью сканирующих устройств и ЭВМ. «Геодезия и картография», 1973, № 5.
164. Ширяев Е.Е. – Нормализация карт изолиний и их чтение с помощью сканирующих устройств и ЭВМ. «Геодезия и картография», 1975, № 7.

165. Ширяев Е.Е. – Определение длин линий и площадей кривых поверхностей по картам изолиний с помощью сканирующих устройств и ЭВМ. «Геодезия и картография», 1976, № 6.
166. Шокальский Ю.М. – Длина главнейших рек азиатской части СССР и способ измерения рек по картам. М., 1930.
167. Шур Ю.В., Чернин В.М. – О новой методике составления мелкомасштабной карты интенсивности овражного расчленения территории УССР. В сб. «Комплекс. картографир. Производит. Сил УССР», Киев, 1967.
168. Ebata Tatsuo, Marimatsu Takeo, Kanazawa Kei – Some digital planimeters developed in Japan «21 st internat. Geogr. Congr. India 1968. Abstrs papers». Calcutta, 1968.
169. Gikas E.E. – Automated cartography IV International Conference on Cartography., Delhi, 1968.
170. Edson D.T. – Automation in cartography in the Civil Mapping Agencies of the United States, A. Management Study-Review. ICA. Commission III Meeting. Budapest, 1973.
171. Harris L.I. – An Approach to Automatic cartography for Topographic Mapping in Canada international. Conference on Cartography., Delhi, 1968.
172. Horton R.E. – Discussion oy paper. Flood Flows. Characteristics Trans-ASCE. Vol., 89., 1926.
173. Idelsohn J.M. – A learning system for terrain recognition «Pattern Recognition». 1970, 2, № 4.
174. Krasauskas L. – Apie Kreivu Liniju ilgio matavima Zemelapyje «LicTSR», Aukustugu mokyklu moksio darbal. Geogr. ir. qed. Научн. тр. Высш. учебн. завед. Лит. ССР. Геогр. и геол. 1966., № 4.
175. Krcho Jozef - Ponzitie samoĝinnnych poĝitaĝov pri zosrojeni morfometrickych mar, uvazovanych na baze geomortrckeho aspektu teorie poli i Geod. a Katoqr. obz. 1971, 17, №2.
176. Kudrnowska Olqa – Prispvek k metoclam Konstrukes map skion topoqraficke piochy. «Zpravy Geoqr. ustavu CSAU»1968, № 6.
177. Mazurova V., Mazur E. - Mapa stredneho vхла sklony povodla Mitry Geoqraficky Casopisx, 4, 1958.
178. Malinq Derek H. – Einige quantitative Geodanken über die Kartographische Generalisioriq. «Nachr. Kartem-und. Vermessungswes». 1965, Reihe 1, № 29.
179. Möller Sven G. - Automatisering inom Kartografin. «Svensk lantmatcritidskr». 1965, 57, №5.
180. Perkal J. – O dluqosci Krzywych empirycznych – Zastowania. Matematyki, 3, 1958a.
181. Perkal J. – Proba obiektywnej generalizacji – Geod. Kartoqr. VII, 2, 1958b.
182. Ohmor Hiroo – Selestion of the reasonable mech – scala in the shoromorphometric measurement, «Tugzu. Map». 1972, 10, № 3.
183. Simon J.C. – De la reconnaissance des formes., «Bull. Com. franç cartoqr», 1969, № 42.
184. Shepherd W.H. – Automatic contour digitizer «Plotoqramm Enging», 1968, 34, № 1.
185. Schumm S.A. – The development and evolution of hillslopez. «J. Ged. Educ», 1966, 14, № 3.
186. Stine G.E. - Les systemes dantomatistion epmoloyes en cartographie Leur evolution – les proyocets davenir. «Bull Com», «Stanq franç. cartoqr». 1967, № 33.
187. Steinhaus H. – Length, shape and Area – Colloquium Mathematicum III, 1, Breslau, 1954.

ОГЛАВЛЕНИЕ

ПРЕДИСЛОВИЕ.....	3
ВВЕДЕНИЕ	8
ГЛАВА I. КРАТКИЙ ОБЗОР КАРТОМЕТРИЧЕСКИХ И МОРФОМЕТРИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ	
Тенденции развития картометрических и морфометрических исследований	15
Определение длин извилистых линий и площадей по картам с помощью автомати- ческих сканирующих устройств	32
Особенности моделирования картометрических работ	38
ГЛАВА II. ИССЛЕДОВАНИЕ СПОСОБОВ ИЗМЕРЕНИЙ ДЛИН ИЗВИЛИСТЫХ ЛИНИЙ ПО КАРТАМ	
Анализ существующих способов измерения длин извилистых линий	42
Оценка точности измерения длин извилистых линий методом моделирования	61
а) Способ измерения длин извилистых линий по картам циркулем	61
б) Точность измерения длин извилистых линий по картам графоаналитическими способами	77
Выбор оптимальных параметров для графоаналитического способа измерения длин извилистых линий по картам	102

ГЛАВА III. ИССЛЕДОВАНИЕ СПОСОБОВ ОПРЕДЕЛЕНИЯ УГЛОВ НАКЛОНА ЗЕМНОЙ ПОВЕРХНОСТИ ПО КАРТАМ	
Анализ существующих способов измерения углов наклона земной поверхности	113
Определение среднего угла наклона графоаналитическим способом	129
Определение среднего угла наклона с использованием орографических линий	139
Картирование средних углов наклона земной поверхности (на примере ключевых участков)	167
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	185
ЛИТЕРАТУРА	207

БАБАЕВ РАФИК АЛИГЕЙДАР ОГЛЫ

**Исследование способов измерения длин извилистых
линий и углов наклона методом моделирования.**

монография

Çapa imzalanmışdır: 10.06.09

Kağız formatı 60x84 1/16

Sifariş 46. Tiraj 50

“ULU” istehsalat-kommersiya firmasında çap olunmuşdur

Ünvan: Bakı, AZ 1005, H.Aslanov küç. 47a