

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Ярославский государственный университет им. П. Г. Демидова
Кафедра экологии и зоологии

ЛЕТНЯЯ ПОЛЕВАЯ ПРАКТИКА ПО ГЕОГРАФИИ

Учебно-методическое пособие

Ярославль
ЯрГУ
2021

УДК 91(075.8)
ББК Д8я73
Л52

Рекомендовано
Редакционно-издательским советом университета
в качестве учебного издания. План 2021 года

Рецензент
кафедра экологии и зоологии
ЯрГУ им. П. Г. Демидова

Составитель
О. А. Гусева

Летняя полевая практика по географии : учебно-методическое пособие / сост. О. А. Гусева ; Яросл. гос. ун-т им. П. Г. Демидова. — Ярославль : ЯрГУ, 2021. — 32 с.

В пособии охарактеризованы основные этапы создания топографических карт — получение съемочного обоснования, его дешифровка и привязка к местности, а также методы проведения непосредственных измерений на местности углов, расстояний и превышений.

Предназначено для студентов факультета биологии и экологии, обучающихся по специальности «Экология и природопользование».

УДК 91(075.8)
ББК Д8я73

© ЯрГУ, 2021

Введение

Летняя полевая практика (ЛПП) по географии — неотъемлемая часть программы подготовки бакалавров — экологов и природопользователей.

Целью данной практики является закрепление и углубление знаний, полученных студентами на лекционных и практических занятиях, приобретение умений и навыков работы с геодезическими приборами, проведения топографической съемки и создания на её основе топографических планов местности. Задачи, решаемые в ходе практики: освоение технических средств для проведения съемок местности; ознакомление с методами и приемами топографо-геодезических работ; овладение навыками работы с простейшими геодезическими приборами для топографических съемок местности; закрепление теоретических знаний о топографической карте, приемов ориентирования на местности.

В данном пособии изложены теоретические и практические сведения по геодезии и топографии, необходимые для успешного прохождения данного этапа обучения.

Рабочий день в полевых условиях длится 6 часов. В обязанности студента входит ведение записей полевых наблюдений в полевой книжке, которая должна содержать основной фактический материал, собранный в маршрутах, и являться одним из основных источников при написании отчета о практике. В полевую книжку заносят данные по ориентированию на местности, географической привязке, расстояния между точками наблюдения, описание точек наблюдений, характеристику объектов, описание и зарисовки обнажений, профили и разрезы, схематические рисунки и т. д. По завершении всех полевых и камеральных работ студент представляет отчет о практике.

1. Создание топографических карт

География как наука тесно связана с созданием и использованием карт. С одной стороны, географические исследования опираются на картографический материал, а с другой — дают сведения для создания новых карт.

Топографическими называются карты, на которых с одинаковой степенью подробности отображены все элементы местности (населенные пункты, дороги, реки, линии связи, растительный покров и т. д.). Такие карты можно назвать универсальными, общегеографическими — в отличие от тематических карт, посвященных отображению более или менее узкого круга объектов или явлений.

1.1. Геодезия и топография

Создание карты — сложный и трудоемкий процесс. Наукой, которая объединяет все этапы создания карт и других картографических произведений, является геодезия.

Геодезия (греч. γεωδαισία. букв. «деление земли», от. γῆ «Земля» и δαω «делю») — наука, изучающая форму и размеры Земли, а также отдельных участков её поверхности. В геодезии разрабатывают методы и средства измерения для решения различных научных и практических задач, связанных с определением формы и размеров Земли, изображения всей планеты или отдельных её частей на планах и картах, выполнения работ, необходимых для решения производственно-технических и оборонных задач.

В процессе развития геодезия разделилась на ряд научных и научно-технических дисциплин: высшую геодезию, топографию, фотограмметрию, картографию и инженерную (прикладную) геодезию.

Топография (др.-греч. τόπος — место и γράφω — пишу) — научная дисциплина, которая изучает вопросы, связанные с топографической съемкой сравнительно небольших участков земной поверхности и их детальным изображением в виде планов и карт. Топографическими съемками называются практические работы по созданию оригинала топографического плана.

Можно сказать, что топография — это важная часть многогранной геодезической науки. Обе дисциплины берут свое начало в глубокой древности. Когда жители нашей планеты мучились от незнания, какова же форма нашей Земли, — возникла геодезия, а когда люди только научились чертить и рисовать, используя подручные средства — возникла и топография. На практике обязанности геодезиста и топографа часто пересекаются.

Геодезию можно назвать наукой о пространственных отношениях и форме объектов окружающего мира и всего пространства в целом, её задача — представить окружающую действительность в геометрической форме. Такая «геометризация» пространства требует использования измерительных приборов, поэтому развитие геодезии тесно связано с общим прогрессом в науке и технике, с появлением все более новых способов и технических средств для проведения необходимых измерений. Сначала геодезические измерения выполнялись в основном в двумерном пространстве, в трехмерном — с XVIII–XIX вв., а с середины XX в. по настоящее время геодезия стала применять свои метрические функции к измерению, контролю и моделированию структур в четырехмерном пространстве-времени [8].

1.2. Съёмка местности

Одной из основных задач практической геодезии является съёмка местности — комплекс полевых и камеральных работ, в результате которых получается план или карта. Все съёмочные работы, выполняемые в поле (на земле, под землей, над землей), называются *полевыми*, а все вычислительные и графические работы, выполняемые в кабинетах или лабораториях, — *камеральными*.

Если в результате съёмки создается план или карта без изображения рельефа, то съёмка называется *горизонтальной* (ситуационной); если же изображается и ситуация, и рельеф, то съёмка называется *топографической*. В настоящее время существует целый набор способов съёмки местности (рис. 1).



Рис. 1. Виды съёмки местности

Как видно из схемы, по способу выполнения все съемки местности подразделяются на наземные и дистанционные. **Наземные** съемки подразумевают геометрические измерения непосредственно на местности и делятся на плановую (горизонтальную); высотную (вертикальную); планово-высотную (комбинированную).

При **дистанционных** съемках съемочные системы, принимающие информацию, удалены от земной поверхности на значительные расстояния — от сотен метров до тысяч километров. Приемниками информации служат фотографические и телевизионные камеры и другие приборы, установленные на летательных аппаратах. Съемка, производимая с самолета (вертолета), называется *аэросъемкой*. Съемка аппаратурой, находящейся за пределами земной атмосферы (на искусственном спутнике Земли, орбитальной станции, космическом корабле), называется *космической съемкой*. Материалы космической съемки используют в целях изучения природных ресурсов Земли, а также для создания карт малоизученных и труднодоступных районов и при обновлении обзорно-топографических карт. Дистанционные съемки относятся к дистанционному зондированию. Под *дистанционным зондированием* понимают неконтактное изучение недр Земли, её поверхности, близповерхностного пространства и недр, отдельных объектов, динамических процессов и явлений путем регистрации и анализа их собственного или отраженного электромагнитного излучения [13].

Оба вида дистанционной съемки могут быть фотографическими и нефотографическими.

1. **Фотографическая съемка** выполняется в видимом диапазоне спектра электромагнитных волн (0,4–0,9 мкм). В настоящее время фотосъемка является одним из основных методов дистанционного зондирования, т. к. дает наибольший объем информации при её геометрической определенности. Все другие способы получения изображения поверхности Земли и расположенных на ней объектов являются нефотографическими. Информационные и геометрические свойства нефотографических изображений уступают фотоснимкам, но за пределами видимого света они дают дополнительную информацию, отсутствующую на фотоснимках.

Аэрофотосъемка местности осуществляется с помощью специальных топографических аэрофотоаппаратов (АФА) — полностью автоматизированных приборов, управляемых электрическими командными приборами. Во время съемочного полета включенный через командный прибор АФА автоматически осуществляет полный аэрофотосъемочный цикл: экспонирование (открытие и закрытие затвора АФА), перематывание пленки для нового кадра, выравнивание пленки в плоскость. В результате повто-

рения цикла получается непрерывный аэрофильм, представляющий собой ряд смежных аэронегативов. В последние годы вместо пленки используют цифровые носители. Аэросъемка участка местности производится по маршрутам, прокладываемым с запада на восток и обратно параллельно друг другу. Фотографирование местности осуществляется через определенные интервалы с таким расчетом, чтобы аэрофотоснимки в маршруте перекрывали друг друга. Тогда на каждом следующем аэрофотоснимке частично изображается площадь, полученная на предыдущем (рис. 2).

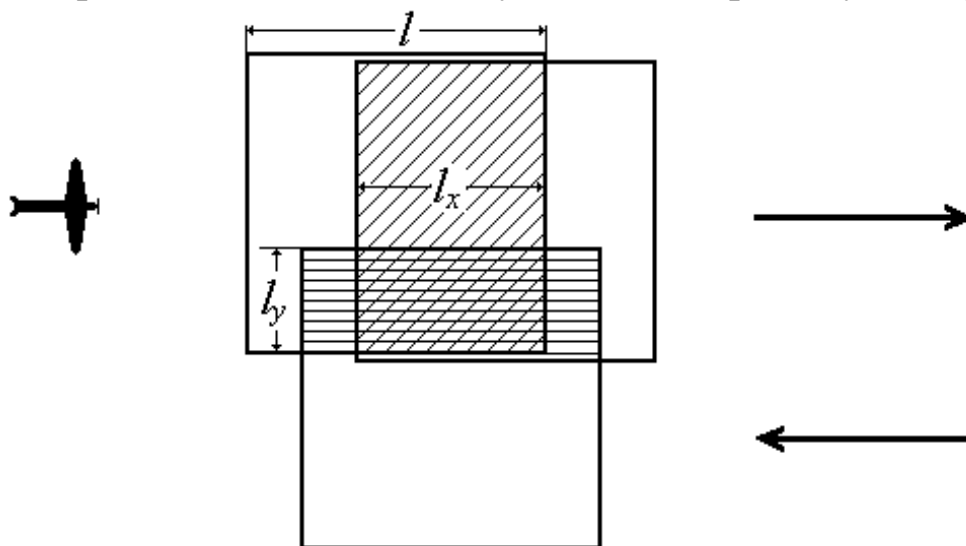


Рис. 2. Продольное (l_x) и поперечное (l_y) перекрытие аэрофотоснимков

Перекрытие двух смежных снимков в одном маршруте называется продольным перекрытием аэрофотоснимков (l_x), его значение по условиям дальнейшей обработки снимков должно быть не менее 60 % от размера снимка. Расстояние между маршрутами устанавливается таким образом, чтобы между снимками соседних маршрутов тоже получилось перекрытие, называемое поперечным перекрытием снимков (l_y); оно должно быть не менее 30 % [2].

После получения снимков заданной территории для создания топографической карты проводится их планово-высотная привязка, которая заключается в определении координат и высот опознаков.

Плановый опознак — это контурная точка, выбранная на местности и опознанная на аэрофотоснимке, для которой в результате геодезических измерений определены плановые координаты x и y . Процесс определения плановых координат называется плановой привязкой аэрофотоснимков.

Для создания высотной части карты по аэрофотоснимкам на них должны быть точки с известными высотами. Определение высот этих точек — **высотных опознаков** — и опознавание их на аэрофотоснимках называется **высотной привязкой аэрофотоснимков**. В зависимости

от способа создания топографических карт используют плановые, высотные или совмещенные планово-высотные опознаки.

Помимо привязки аэрофотоснимков, необходимо провести их *трансформирование*. Задача трансформирования — исключить влияние угла наклона аэрофотоснимка и привести все снимки к масштабу составляемого плана (карты). Трансформирование аэрофотоснимков может выполняться различными способами: графическим, фотомеханическим и оптико-графическим, аналитическим. В последнее время все чаще применяется аналитический метод трансформирования аэрофотоснимков, при котором координаты точек, измеренные на снимках, преобразуют с помощью ЭВМ в координаты точек местности.

2. Нефотогографическая съемка — это регистрация большого диапазона (от нанометров до метров) длин волн электромагнитных излучений в виде изображений на фотопленке или магнитном носителе. Среди нефотогографических методов съемки наибольшее распространение получили следующие: телевизионная, тепловая, радиолокационная, лазерная, многозональная.

Телевизионная съемка. Особенность этой съемки в том, что изображение земной поверхности проектируется не на фотографический слой, а на приемное устройство — видеокон. С видеокона электрические сигналы по радиоканалу передаются на Землю или записываются на магнитную ленту, а затем передаются на Землю. Основные достоинства телевизионных съемок: оперативность (получение изображений в реальном или близком к реальному масштабу времени); технологичность в обработке; обеспечение быстрой и многократной повторности съемок одних и тех же территорий.

Тепловые съемки. В зависимости от используемого диапазона электромагнитных волн различают инфракрасную (ИК) тепловую и радиотепловую (микроволновую) съемки. ИК-съемка проводится в первом $\lambda = 2,0\text{--}5,6$ мкм и втором $\lambda = 8,0\text{--}12,5$ мкм окнах прозрачности атмосферы. Радиотепловая съемка проводится в микроволновом диапазоне $\lambda = 0,1\text{--}30$ см.

Тепловые съемки целесообразно применять для изучения проявлений геодинамических и гидрогеологических процессов на трассах трубопроводов, связанных с увлажнением, водонасыщением и переносом тепла (обводнение — заболачивание, расщепление мерзлоты и т. д.). Существует возможность выявления обнаженных и близких к поверхности участков трубопроводов, поиски и изучение термальных вод, уровня режима грунтовых вод, выявление очагов заболевания лесной и культурной растительности, также такая съемка используется для компьютерного со-

ставления карт температуры водной поверхности океанов, оценки степени загрязнения рек и водоемов сточными водами, ледовой обстановки в полярных морях для судовождения и т. д. Эти объекты и явления создают тепловые аномалии на тепловых снимках.

В свете решения задач охраны окружающей среды большой интерес представляет контроль состояния накопителей жидких промышленных отходов, как правило весьма токсичных. ИК-съемка позволяет обнаружить утечки из накопителей на стадии их зарождения, предупреждая тем самым тяжелые экологические последствия [5].

Радиолокационная съемка. В основе работы заложены принципы радиолокации. Генератор, установленный на борту летательного аппарата, вырабатывает радиоволны определенной длины, амплитуды, поляризации. С помощью антенны радиоизлучение направляется на земную поверхность. Длины радиоволн, используемые при съемке, находятся в диапазоне от 1 см до 1 м и более. Режим излучения может быть непрерывным или импульсным.

После взаимодействия с объектами поверхности происходит модулирование несущего сигнала, изменяются его исходные характеристики. Отраженный модулированный сигнал воспринимается приемной антенной. Принятые сигналы после усиления поступают на экран, где происходит построчная визуализация результатов радиолокации. Яркость изображения объекта зависит от энергии возвратившегося сигнала. Первичная обработка результатов съемки выполняется на борту летательного аппарата или на земле.

Преимущество радиолокационных съемок — их независимость от погодных условий и степени освещенности местности. Снимать можно при сплошной облачности, тумане и даже дожде, поэтому радиолокационную съемку называют «всепогодной».

Лазерная съемка. Применение оптических генераторов излучения — лазеров — привело к разработке активных оптических съемочных систем. С помощью лазера облучают снимаемую поверхность. Отраженный от нее сигнал принимает оптическая система. В результате съемки получают трехмерное цифровое изображение. Лазерные съемочные системы применяют для построения профилей рельефа на территориях, закрытых лесами, и создания цифровой модели рельефа местности. Особенностью лазерного луча является его способность проникать через лиственный покров древесной растительности. Применение лазерной съемки эффективно при обследовании линий электропередач. При съемке городов и посе-

лений получаемое трехмерное изображение позволяет успешнее проводить работы по организации территорий.

Многозональная съемка — съемка, основанная на разделении всего спектрального диапазона на зоны, в которых получают зональные изображения. Съемку с использованием большого числа (более 10) узких спектральных зон называют *гиперспектральной*.

При многозональной съемке вместо одного снимка получают несколько, каждый содержит изображение заданного спектрального диапазона, что облегчает анализ и интерпретацию изображения. При использовании цифровых методов обработки изображений из спектральнозонального изображения легко получить обычное. Однако спектральнозональные изображения значительно проще анализировать, особенно с применением методов автоматической обработки данных.

Многозональная космическая фотосъемка используется для изучения природных ресурсов Земли, поиска месторождений полезных ископаемых, а также при гидрогеологических, инженерно-геологических и мелиоративных изысканиях. Применение многозональных снимков повышает достоверность выделения геологических структур, которые не всегда уверенно выделяются на отдельных зональных снимках, позволяет создавать специальные космогеологические карты, выявлять окорудные изменения пород, которые не различаются на снимках других типов, выделять малоамплитудные погребенные поднятия в платформенных областях, перспективных в отношении нефтегазоносности. Многозональные снимки используются для дистанционного мониторинга — слежения за состоянием природной среды и её изменениями в результате техногенной деятельности с целью разработки необходимых природоохранных мероприятий.

Из приведенного обзора методов получения изображения объектов на земной поверхности понятно, что по отдельности ни один из них не достаточен для создания топографических карт. Для получения полноценной топографической карты используется так называемая *комбинированная съемка*, которая является комбинацией дистанционной и наземной съемок. Плановая ситуация рисуется по аэроснимкам, а рельеф снимают на фотоплан в полевых условиях. Аэрофотосъемка и комбинированная съемка являются основными методами создания карт и планов больших территорий. Наземную съемку применяют при создании крупномасштабных планов небольших участков, когда применение аэрофотосъемки либо невозможно, либо экономически невыгодно.

2. Дешифрирование аэрофотоснимков

Следующим этапом создания карты после получения снимков земной поверхности является их дешифрирование. *Дешифрирование* аэрофотоснимков заключается в распознавании фотоизображений объектов местности, определении их характеристик и вычерчивании в принятых условных знаках (рис. 3).

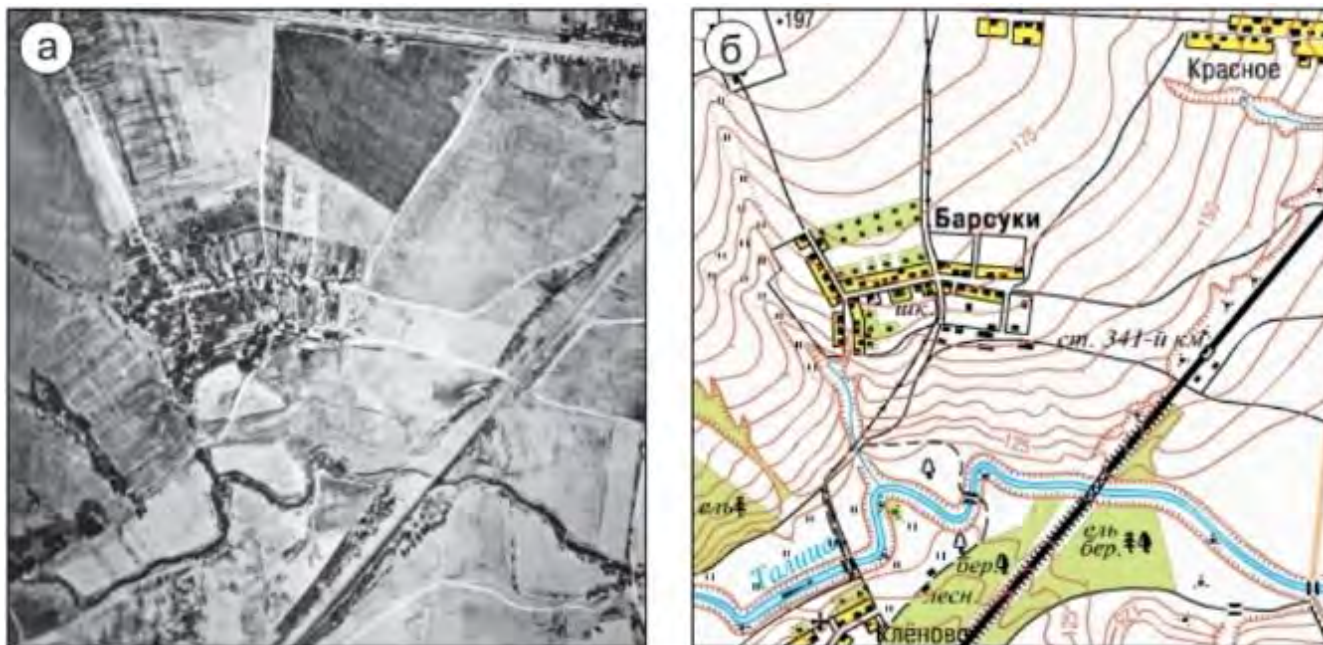


Рис. 3. Аэрофотоснимок (а) и топографическая карта (б) одного и того же участка земной поверхности [3]

Дешифрирование классифицируют по *содержанию* и *технологии выполнения*. В зависимости от содержания дешифрирование делят на следующие виды: топографическое (при мелкомасштабном картографировании — ландшафтное) и специальное (тематическое, отраслевое). При топографическом дешифрировании выявляют, анализируют и показывают условными знаками элементы ландшафта, подлежащие нанесению на топографические карты (при ландшафтном — на географические карты). По технологии выполнения можно выделить следующие основные методы дешифрирования [6]:

- *визуальный*: информацию считывает со снимков и анализирует человек; в зависимости от места выполнения выделяют камеральный, полевой и комбинированный способы, которые можно поделить на варианты;
- *машино-визуальный*: с помощью компьютера или специализированных устройств выполняют предварительную обработку первичных снимков с целью облегчения их визуального дешифрирования. Способа-

ми данного метода могут быть: синтезирование изображений, квантование уровней видеосигналов, фильтрация изображения и др.;

- *автоматизированный*: интерпретационная обработка снимков выполняется машиной в диалоговом режиме — оператор выбирает способ обработки, выполняет «обучение» системы, контролирует качество работы классификатора, вносит коррективы в программы и др.;

- *автоматический*: интерпретационная система решает отложенные задачи без вмешательства оператора.

Принципиальная схема дешифровочного процесса в любом методе остается неизменной — распознавание выполняют путем сопоставления и определения степени близости некоторого набора признаков дешифрируемого объекта с соответствующими эталонными признаками, находящимися в памяти человека или машины.

Визуальное дешифрирование представляет собой сложный многоэтапный процесс логического анализа изображений. Распознавание объектов и определение их характеристик часто сливаются в единый процесс с многократным чередованием анализа ситуаций в целом, а также их отдельных элементов и фрагментов. Одна из важнейших психологических особенностей визуального дешифрирования — использование относительных оценок характеристик объектов на изображении. В дешифрировании отдельных объектов обычно выделяют три ступени: обнаружения, опознавания и определения характеристик.

Полевой способ дешифрирования выполняют, сличая снимок с местностью. Специалист при этом может находиться на земле (наземный вариант) или на борту летательного аппарата (аэровизуальный вариант).

Камеральный способ дешифрирования заключается в логическом анализе изображения с использованием всего комплекса дешифровочных признаков (визуально-логический вариант). В процессе дешифрирования используют вспомогательные материалы (карты, данные о юридических границах землепользований и др.). Достоверность камерального дешифрирования повышается при использовании снимков — эталонов типовых участков, дешифрированных в поле (эталонный вариант). Комбинированный способ дешифрирования сочетает в себе процессы и технологические приемы предыдущих способов.

Основная задача дешифрирования — опознавание объектов (явлений, процессов) на изображении и определение их характеристик. Суть решения этой задачи существенно отличается от натурных обследований тех же объектов. Для опознавания объектов на снимках используют геометрические и оптические характеристики этих объектов — прямые дешиф-

ровочные признаки: форма и размер объектов в плане и по высоте; общий (интегральный) тон черно-белого (ахроматического) или цвет цветного (хроматического) изображений, текстура изображения. Форма в большинстве случаев является достаточным признаком для разделения объектов природного и антропогенного происхождения. Объекты, созданные человеком, как правило, отличаются правильностью конфигурации. Так, любые здания и сооружения имеют обычно правильные геометрические формы. То же можно сказать о каналах, шоссейных и железных дорогах, парках и скверах, пахотных и культурных кормовых угодьях и других объектах. Определению пространственной формы рельефного объекта способствует его собственная тень, покрывающая не освещенную прямыми солнечными лучами часть поверхности самого объекта, и тень, падающая на земную поверхность от возвышающихся объектов. Размеры дешифрируемых объектов в большинстве случаев, как уже отмечалось ранее, оценивают относительно. О размерах, о форме по высоте можно судить по падающим от объектов теням. Разумеется, площадка, на которую падает тень, должна быть горизонтальной. Тон черно-белого изображения также является информативным дешифровочным признаком. Тон оценивают визуально путем отнесения его интенсивности к определенной ступени не стандартизированной ахроматической шкалы, например тон светлый, светло-серый, серый и т. д. Число ступеней определяется порогом световой чувствительности зрительного аппарата человека и составляет не более 10–20 различных уровней, что явно недостаточно при огромном многообразии элементов ландшафта и значительном варьировании их свойств. Цвет изображения — более информативный признак, чем тон черно-белого изображения. Хроматическая чувствительность зрительного аппарата человека примерно на два порядка выше, чем ахроматическая. Использование псевдоцветных изображений (спектральных, синтезированных) существенно повышает достоверность решения некоторых дешифровочных задач за счет создания искусственных цветовых контрастов. Текстура изображения — характер распределения оптической плотности по полю изображения объекта на снимке. Через текстуру передаются структурные особенности объекта (форма, размер и взаимное положение слагающих объект или образующих его поверхность элементов и их яркость). Текстура относится к наиболее информативным признакам. Именно по текстуре человек безошибочно опознает леса, сады, поселения и многие другие объекты [6; 13].

Многие количественные характеристики объектов в процессе дешифрирования и после его завершения определяются методами фотограмметрии.

Фотограмметрия (от др.-греч. φῶτος — свет, γράμμα — запись, изображение, μέτρον — измеряю) — техническая наука о методах определения метрических характеристик объектов и их положения в двух- или трехмерном пространстве по снимкам, полученным с помощью специальных съемочных систем. Такими системами могут быть традиционные фотографические камеры и системы, использующие иные законы построения изображений и иные регистраторы электромагнитных излучений.

Основная задача фотограмметрии — топографическое картографирование, а также создание специальных инженерных планов и карт. Для определения высот точек местности и нанесения горизонталей используют наземные съемки фототеодолитами с последующей камеральной обработкой. Фотограмметрические методы позволяют экономично и достаточно точно решать непосредственно по снимкам некоторые прикладные задачи, например измерять площади участков местности, определять их уклоны, получать количественные характеристики эрозионных процессов, выполнять вертикальную планировку с определением объема земельных работ и др. К фотограмметрии относится и процесс создания 3D-моделей из нескольких изображений одного объекта, сфотографированного с разных углов.

3. Опорные геодезические сети

Дешифрирование, фотограмметрические измерения и нанесение условных обозначений завершают создание карты. Но необходимо подробнее остановиться еще на одном этапе картосоставительских работ, о котором упоминалось ранее, а именно о привязке снимка или карты (плана) к местности. В том случае, если составляется план на небольшую территорию, например строительную площадку или земельный участок, в качестве опознаков могут использоваться местные или искусственно созданные объекты. Но при создании карт более обширных участков местности таких опознаков недостаточно.

Любая топографическая карта должна обеспечивать возможность определения географических координат (широты и долготы) и абсолютных высот точек. Для этого в качестве опознаков необходимо выбирать объекты с точно известными координатами и высотой. Такую функцию выполняют пункты опорной геодезической сети.

Создание опорной геодезической сети полностью соответствует основному принципу работы в геодезии: от общего к частному. Прежде со-

здается геодезическая опорная сеть пунктов, геодезическая основа, а затем выполняется съемка подробностей.

Выполнение всех геодезических измерений сводится к определению взаимного положения точек на земной поверхности. Измерения сопровождаются погрешностями, которые накапливаются по мере удаления съемки от начальной точки. Для уменьшения погрешностей и для более равномерного их распределения по территории съемку производят с точек съемочного обоснования, так называемых *опорных геодезических пунктов*. Плановое положение геодезических пунктов определено в единой системе координат, а высотное — в единой системе высот. Система геодезических пунктов с известными координатами равномерно размещенная по территории, образует *опорную геодезическую сеть*.

Согласно принципу перехода «от общего к частному» вся опорная сеть подразделяется на классы, и её построение осуществляется несколькими ступенями: от сетей высшего класса к низшему, от крупных и точных геометрических построений к более мелким и менее точным. Пункты высших классов располагаются на больших расстояниях друг от друга и затем последовательно сгущаются путем развития между ними сетей более низких классов. Такой подход позволяет в сжатые сроки с высокой точностью распространить единую систему координат на всю территорию страны.

Геодезические сети России принято подразделять на государственную геодезическую сеть (ГГС), геодезические сети сгущения (ГСС) и съемочные геодезические сети (съемочное обоснование).

Государственная геодезическая сеть (ГГС) является главной геодезической основой топографических съемок всех масштабов, она включает в себя плановые и высотные геодезические сети. В плановых геодезических сетях для каждого пункта определяются прямоугольные координаты в общегосударственной системе. Плановые сети подразделяются на 1, 2, 3 и 4 класс, различающиеся между собой точностью угловых и линейных измерений, длиной сторон сетей и порядком их последовательного развития [12]. Сеть 1 класса (высшей точности) охватывает всю территорию страны как единое целое. Сеть каждого последующего класса строится на основе сетей высших классов. Плановые сети создаются методами триангуляции, трилатерации, полигонометрии и их сочетаниями.

Триангуляция — метод определения взаимного планового положения геодезических пунктов путем построения на местности системы смежно расположенных треугольников, в которых измеряют все углы, а в сети — длины нескольких базисных сторон (рис. 4). Длины других сторон треугольников рассчитываются по формулам тригонометрии. Последова-

тельно решая прямую геодезическую задачу, можно рассчитать координаты всех пунктов сети. Триангуляция 1 класса создается в виде астрономо-геодезической сети и призвана обеспечить решение основных научных задач, связанных с определением формы и размеров Земли. Она является главной основой развития сетей последующих классов и служит для распространения единой системы координат на всю территорию Российской Федерации. Её построение осуществляется с наивысшей точностью, которую могут обеспечить современные приборы при тщательно продуманной методике измерений.

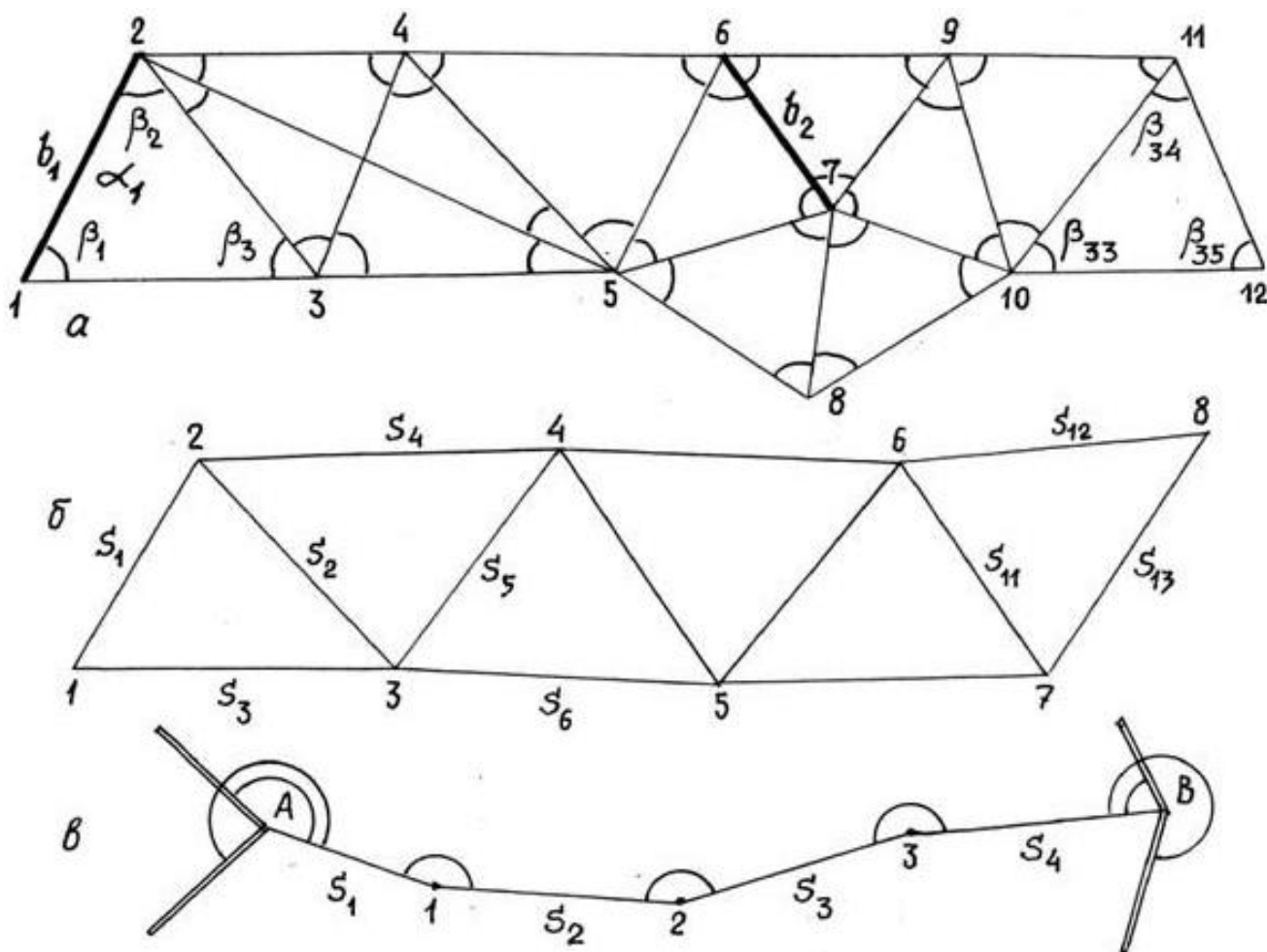


Рис. 4. Методы построения геодезических сетей:

а) метод триангуляции; б) метод трилатерации; в) метод полигонометрии [10]

Трилатерация — метод определения взаимного планового положения геодезических пунктов путем построения на местности системы смежно расположенных треугольников, в которых измеряют все стороны, а углы в их вершинах определяют по теореме косинусов. Цепочки треугольников трилатерации также включают в себя базисные стороны с известной длиной (базисом) и азимутом (дирекционным углом). На рисунке для ряда трилатерации базисные стороны не указаны.

В настоящее время в связи с широким использованием высокоточной светодальномерной техники метод трилатерации находит все более широкое применение в практике создания геодезических сетей.

Метод *полигонометрии* характеризуется построением на местности систем ломаных линий (ходов), в которых измеряют все линии и горизонтальные углы в точках поворота. В вершинах, являющихся исходными пунктами высших классов, измеряют так называемые примычные горизонтальные углы, которые используются для азимутальной привязки полигонометрического хода. Применение светодальномерной техники открыло широкие возможности для развития метода полигонометрии.

Сеть триангуляции 1 класса (астрономо-геодезическая сеть) строится в виде рядов треугольников (звена) длиной 200–250 км и периметром 800–1000 км (рис. 5).

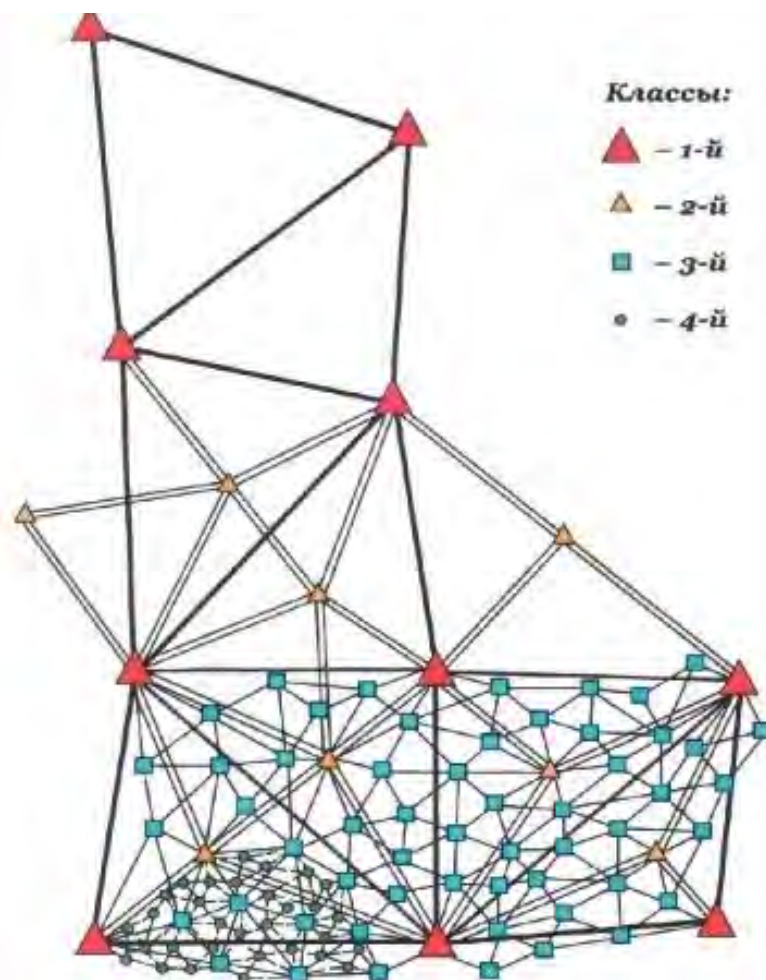


Рис. 5. Схема построения государственных плановых геодезических сетей 1, 2, 3, 4 классов методом триангуляции [10]

Базисы в цепочках таких треугольников измеряют с относительной погрешностью не хуже $1 : 400000$. На концах базисов (в пунктах Лапласа) выполняют определение широт, долгот и азимутов. Иногда вместо цепоч-

ки треугольников прокладывают полигонометрический ход 1 класса. При этом в указанном полигонометрическом ходе углы измеряют с погрешностью не более 0,4, а стороны — с относительной погрешностью не более 1 : 300000.

Полигонометрия 2 класса развивается внутри полигонов триангуляции или полигонометрии 1 класса в виде сети замкнутых полигонов с периметром 150–180 км. Полигонометрия 3 и 4 классов строится в виде систем ходов с узловыми пунктами или одиночных ходов, опирающихся на пункты государственной геодезической сети высших классов.

Высотные (нивелирные) геодезические сети создаются для распространения по всей территории страны единой системы высот. По точности и назначению государственная нивелирная сеть разделяется на сети I, II, III и IV классов. Нивелирные сети I и II классов являются главной высотной основой, посредством которой устанавливается единая (Балтийская) система высот по всей территории России. Линии нивелирования I и II классов прокладываются по заранее разработанным направлениям с наиболее благоприятными грунтовыми условиями и наименее сложным профилем. Нивелирная сеть I класса состоит из ходов, образующих сомкнутые полигоны периметром около 2 000 км. Нивелирование I класса выполняется с наивысшей точностью, достигаемой применением наиболее совершенных приборов и методов наблюдений. Нивелирная сеть II класса опирается на пункты нивелирования I класса и образует полигоны периметром в 500–600 км. Нивелирные сети III класса прокладываются внутри полигонов нивелирования I и II классов в виде систем и отдельных ходов, делящих полигон II класса на 6–9 полигонов периметром 150–200 км. Дальнейшее сгущение нивелирной сети III класса выполняется построением систем ходов нивелирования IV класса, опирающихся на пункты нивелирования высших классов. Ходы нивелирования IV класса являются непосредственной высотной основой топографических съемок; густота их прокладки обуславливается масштабами съемок и характером рельефа местности.

Геодезические сети сгущения (ГСС) развиваются на основе государственной геодезической сети и служат для обоснования крупномасштабных съемок, а также инженерно-геодезических и маркшейдерских работ, выполняемых в городах и поселках, на строительных площадках крупных промышленных объектов, на территориях горных отводов и т. д.

Для обозначения плановых геодезических пунктов и их закрепления на местности служат подземные центры и наземные сооружения, так называемые *геодезические знаки*. Подземные центры должны обеспечи-

вать неизменность положения и сохранность пункта в течение продолжительного времени. Над центрами сооружают деревянные или металлические наружные знаки, которые служат визирными целями при измерении углов и линий. Наружные знаки бывают разных конструкций в зависимости от условий местности и расстояния между пунктами (рис. 6).

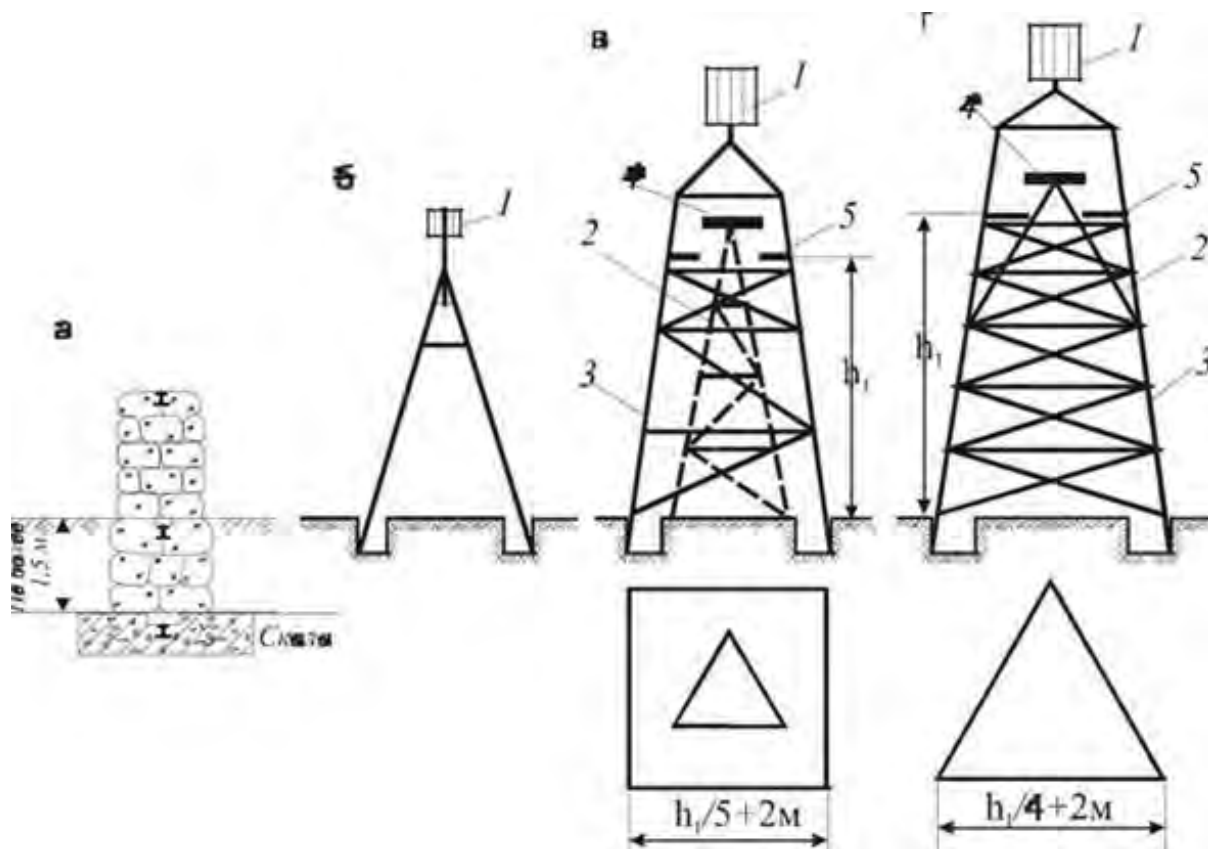


Рис. 6. Типы геодезических знаков: а — тур; б — пирамида; в — простой сигнал; г — сложный сигнал. Части геодезических знаков: 1 — визирный цилиндр; 2 — внутренняя пирамида; 3 — наружная пирамида; 4 — подставка для инструмента; 5 — полук для наблюдателя [12]

Пункты высотной геодезической сети закрепляются грунтовыми реперами, стенными реперами и марками. Для закрепления пунктов съемочного обоснования, сохранность которых должна быть обеспечена в течение нескольких лет, применяются центры в виде бетонных и деревянных столбов и металлических труб. Большая часть пунктов съемочных сетей закрепляется временными знаками, представляющими собой деревянные колья или металлические трубки. Для облегчения отыскания такого знака рядом с ним забивают сторожок.

Завершением работ по созданию ГГС является составление каталогов, где указывают названия и описание местоположения каждого пункта, класс сети, тип знака, год постройки, координаты x , y , h [12].

4. Методы проведения наземных измерений местности

Все измерения в геодезии сводятся к следующим:

- 1) *линейные измерения* — определение расстояний между точками и размеров различных объектов;
- 2) *угловые измерения* — определение горизонтальных и вертикальных углов;
- 3) *высотные измерения* (нивелирование) — определение разности высот соседних точек или превышений, а через них — абсолютных высот точек физической поверхности Земли.

При проведении полевых геодезических съемок руководствуются двумя принципами:

- выполнение работ от общего к частному;
- контроль на всех этапах.

4.1. Линейные измерения

Расстояния между точками на местности могут измеряться с помощью мерных лент, мерных проволок, рулеток, оптических дальномеров двойного изображения, нитяных дальномеров, светодальномеров, лазерных рулеток, измерительных колес.

В измерительных работах большое распространение имеет штриховая мерная лента, представляющая собой стальную полосу шириной 10...20 мм, толщиной 0,5 мм и длиной 20, 24 или 50 м, на концах которой прикреплены ручки (рис. 7). Длина ленты равна расстоянию между штрихами, нанесенными у концов ленты напротив вырезов для шпилек.

Измерение длины отрезка прямой линии выполняют последовательным уложением ленты в его створе (вертикальной плоскости, проходящей через концы отрезка). При значительной длине измеряемой линии сначала выполняют её *вешение*, т. е. установку вешек в створе линии. Измерение производят два человека: задний прикладывает ноль прибора к начальной точке и закрепляет ленту шпилькой, а передний, уложив ленту в створ, натягивает ленту и закрепляет её шпилькой. Далее ленту снимают, причём заднюю шпильку вынимают. Операцию повторяют. Остаток r измеряют по надписям на пластинках (целое число метров), по отверстиям (расположенным через дециметр), сантиметры — на глаз. Формула для определения расстояний имеет следующий вид:

$$D = l \cdot n + r,$$

где l — длина мерной ленты; n — количество уложений ленты; r — остаток.

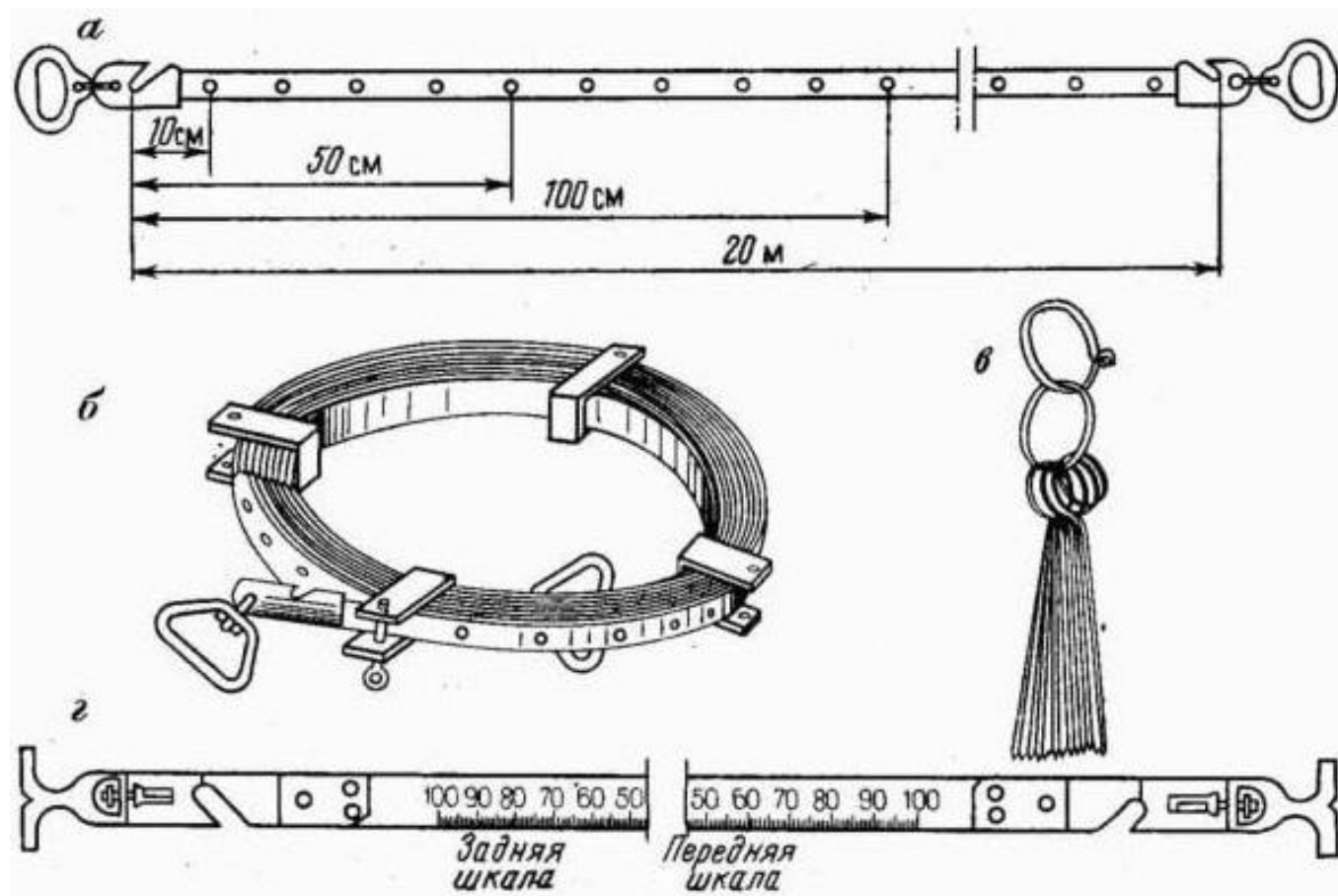


Рис. 7. Штриховая мерная (землемерная) лента [1]:
а) лента; б) комплект шпильки; в) пластина с вырезом;
г) лента в нерабочем состоянии (кольцо со скобами)

Аналогичным образом измеряют расстояние и мерными рулетками.

С помощью стальных лент и рулеток длины линий могут измеряться с относительной погрешностью $1:1000$ – $1:5000$ от измеряемой длины (от 10 до 2 см на 100 м). Для контроля линии измеряют дважды, в прямом и обратном направлениях. Точность измерения длин лентой зависит от правильности длины ленты, аккуратности лиц, ведущих измерения, и от характера местности.

Дальномеры, также широко применяемые для измерения длин линий в геодезических и топографических работах, подразделяются по принципу действия на электромагнитные (электронные) и оптические. Для линейных измерений в геодезических сетях применяют основанные на физическом принципе свето- и радиодальномеры, обеспечивающие высокую точность. С их помощью расстояние до объектов определяется по времени прохождения электромагнитных волн вдоль измеряемой линии. В начальной точке линии устанавливают приемопередатчик волн (дальномер), в конечной точке — отражатель. Волны, посланные дальномером, отражаются в конечной точке и возвращаются в начальную точку, пройдя

измеряемое расстояние дважды. На выходе приемника индикатор указывает промежуток времени прохождения волн в оба конца t . Если обозначить скорость распространения волн через c , то расстояние S от прибора до отражателя будет $S = \frac{1}{2} \cdot tc$ [1].

Нитяной дальномер (разновидность оптического) — это приспособление в зрительных трубах геодезических приборов в виде двух горизонтальных дальномерных штрихов, расположенных симметрично относительно перекрестия сетки нитей. Теория нитяного дальномера очень проста. Очевидно, что чем ближе будет находиться используемая для наведения зрительной трубы линейная шкала, тем меньший её отрезок будет попадать в промежуток между дальномерными нитями, и, наоборот, чем дальше будет шкала — тем больше будет этот отрезок. Причем длина такого измеряемого базиса прямо пропорциональна его удаленности от геодезического прибора. Иначе говоря, определенной длине базиса будет соответствовать вполне определенное расстояние до него. И это расстояние может быть легко рассчитано по длине измеренного базиса, если знать коэффициент нитяного дальномера (коэффициент пропорциональности между длиной базиса и расстоянием до него).

Точность нитяного дальномера невысока и составляет примерно 1:300–1:400. Поэтому они используются только для вспомогательного определения расстояний, где точность не играет важной роли

При измерении линии, расположенной на наклонной поверхности, следует учитывать, что её горизонтальная проекция (проложение), изображаемая на карте, всегда короче измеренной величины. Как видно на рис. 8, горизонтальная проекция линии местности $d = D \cos v$, где D — измеренная длина, v — угол наклона; отсюда поправка за наклон $\Delta_s = D - d$.

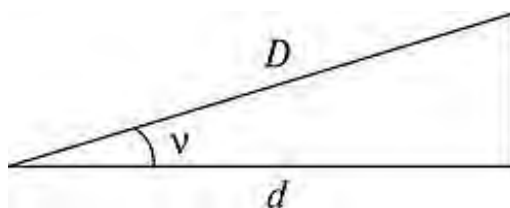


Рис. 8. Поправка за наклон линии [1]

Величина поправки за наклон зависит от измеренного расстояния и угла наклона. Например, при расстоянии 100 м и угле наклона 3° поправка равна 0,14 м, а при расстоянии, равном 300 м, и угле наклона в 5° поправка составит уже 1,1 м; её следует учитывать при съемке в масштабе 1 : 10 000 и крупнее.

При съемках пониженной точности используют упрощенные способы измерения расстояний. Так, измерение небольших объектов и коротких

линий производят «полевым циркулем» — простейшим прибором, составленным из двух жердей, скрепленных под углом так, что между их концами сохраняется постоянное расстояние 1 или 2 м. В маршрутных съемках расстояния по ходу часто определяют шагами.

4.2. Угловые измерения

Измерения углов выполняют для определения взаимного положения точек в пространстве.

Горизонтальный угол — это двугранный угол β между отвесными плоскостями, проходящими через его стороны.

Вертикальный угол — это угол ν между горизонтальной плоскостью и направлением на заданную точку.

Для измерения *горизонтального угла* над его вершиной располагают центр установленного горизонтально градуированного круга (рис. 9). Угол между радиусами Ob и Oa равен горизонтальному углу β между направлениями на точки B и A . Если деления на круге подписать по часовой стрелке, а отсчеты обозначить через b и a , то горизонтальный угол будет вычисляться по формуле $\beta = b - a$. Принцип угловых измерений используется в геодезическом приборе, называемом теодолитом, с помощью которого измеряют горизонтальный и вертикальный углы, а также расстояния (встроенным нитяным дальномером). Теодолит — сложный геодезический прибор, в данном курсе его устройство не рассматривается.

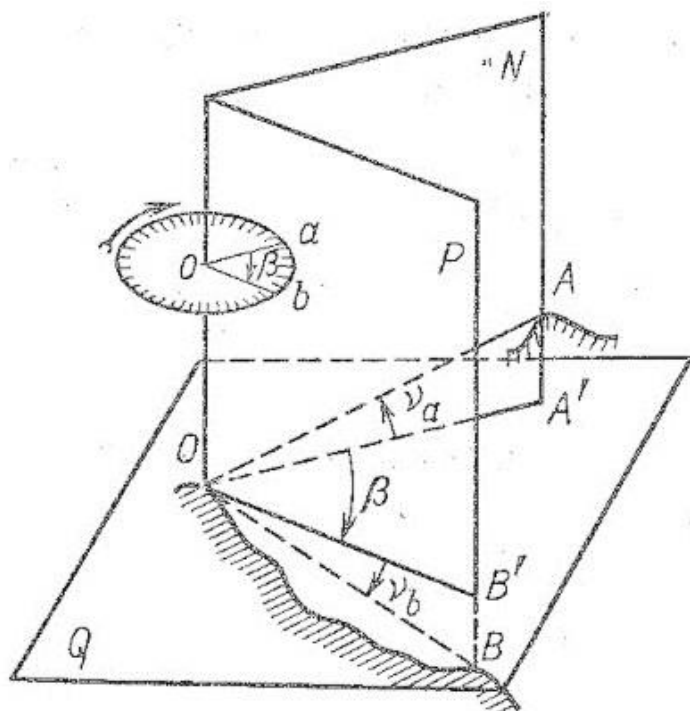


Рис. 9. Схема измерения углов на местности [1]

В ходе полевой практики по географии горизонтальные углы измеряются с помощью компаса. Компас является простым прибором, предназначенным для ориентировки на местности. Магнитная стрелка компаса ориентируется по направлению «север — юг». Измеряя азимут (угол между направлением на север и на определяемый предмет, отсчитываемый по часовой стрелке), мы получаем, по сути, горизонтальный угол. Если измерить азимуты двух точек (объектов), то разница между ними и будет горизонтальным углом между этими точками. Например, измерен азимут на дерево (35°) и на геодезическую вышку (180°). Для определения горизонтального угла между деревом и вышкой находим разницу между измерениями: $180^\circ - 35^\circ = 145^\circ$.

Вертикальные углы при геодезических работах измеряют теодолитом. Кроме теодолита, эти углы могут быть измерены эклиметром.

Эклиметр (от греч. *ekklíno* — отклоняю) — простейший геодезический инструмент, служащий для измерения углов наклона местности (вертикальных углов) с точностью до десятых долей градуса (рис. 10). При достаточной для указанной цели точности он легок, компактен и прочен.

Эклиметр состоит из трубки с диоптрами (глазным (1) в виде щели и предметным (2) в виде металлической нити) и из диска (3), на цилиндрическом ободке которого нанесены деления по 60° в обе стороны от нулевого штриха. Знаки «+» и «-» на ободке диска указывают углы повышения и понижения визирной линии. Диск (3) вращается на оси внутри металлической коробочки (8). К диску припаян груз (4), под действием которого плоскость, проходящая через ось вращения и нулевой штрих на ободке, стремится принять горизонтальное положение. В нерабочем положении диск стопорится кнопкой арретира (6). Для освобождения застопоренного диска достаточно нажать эту кнопку. В цилиндрической стенке коробочки сделано отверстие (5), через которое видны деления кольца. Против этого отверстия установлена лупа (7) для получения увеличенных изображений делений.

Измерения эклиметром проводятся с руки. При визировании нажимается стопорная кнопка. Отсчет производится одновременно с визированием, после того как колесико успокоится. Для измерения угла наклона γ линии АВ в точке А становится наблюдатель с эклиметром, в точке В устанавливают вежу с меткой на высоте глаза наблюдателя (расстояние L , рис. 11). Наблюдатель (в точке А), глядя в диоптр (глазную щель), наводит её на метку на рейке и нажатием кнопки 6 освобождает кольцо. Когда

колебание кольца прекратится, против нити предметного диоптра 2 берут по делениям отсчет угла наклона v .

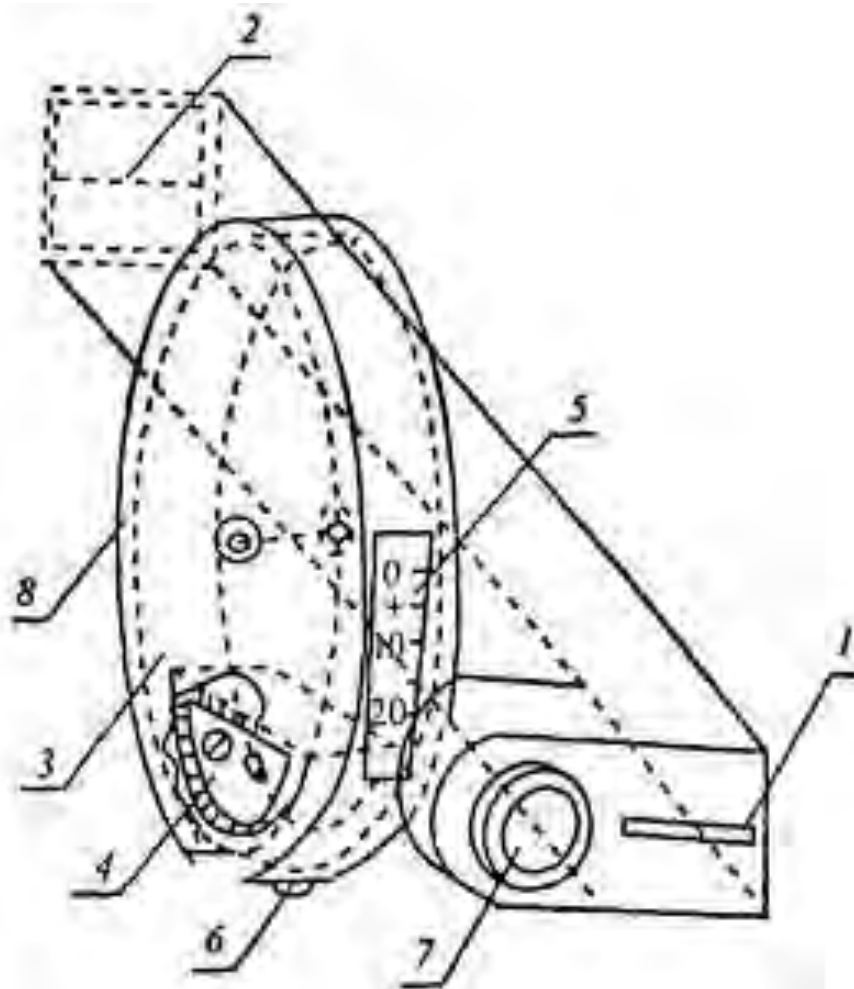


Рис. 10. Эклиметр:

1 — щель, 2 — металлическая нить, 3 — диск, 4 — груз, 5 — отверстие, 6 — кнопка арретира, 7 — лупа, 8 — металлическая коробка [9]

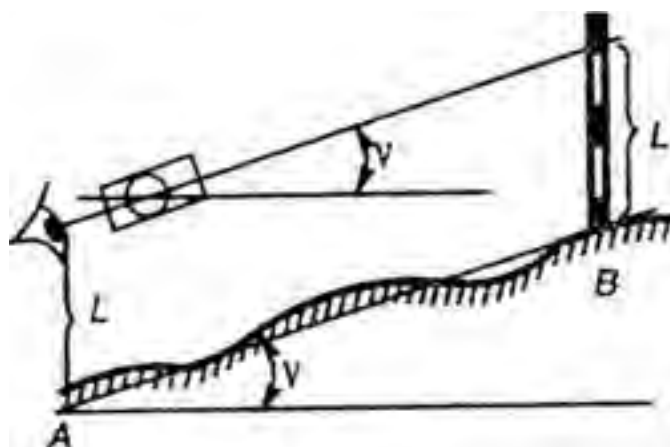


Рис. 11. Измерение вертикальных углов эклиметром (пояснения см. в тексте) [2]

4.3. Высотные измерения (нивелирование)

Нивелирование — это совокупность геодезических работ по определению превышений для последующего вычисления высот точек над принятой уровенной поверхностью.

Превышение h является разностью высот точек. Если последующая точка выше предыдущей, то превышение имеет знак «+», если ниже — знак «-». Численное значение высоты называется отметкой.

Виды нивелирования [1]:

1. *Геометрическое* — горизонтальным лучом нивелира с использованием нивелира и вертикально установленных реек.

2. *Тригонометрическое* — наклонным лучом с использованием теодолита или эклиметра и последующим вычислением превышения по углу наклона и расстоянию до точки по формулам тригонометрии.

3. *Физическое*: а) барометрическое — с вычислением превышений по разности атмосферного давления; б) гидростатическое — по разности высот жидкости в сообщающихся сосудах; в) радиолокационное — по времени прохождения радиоволны от прибора, установленного на самолете, до поверхности Земли.

4. *Стереофотограмметрическое* — по результатам измерений на выполненных с разных точек парных аэрофотоснимках участка местности.

5. *Автоматическое (механическое)* — установленным на транспортном средстве специальным прибором, вычерчивающим при его движении профиль местности.

6. *Наземно-космическое* — с помощью геодезических приборов спутниковой навигации GPS.

Из всех видов нивелирования далее рассматриваются только геометрическое и тригонометрическое, используемые во время ЛПП по географии.

Геометрическое нивелирование, или нивелирование горизонтальным лучом, выполняют специальным геодезическим прибором *нивелиром*. Отличительная особенность нивелира состоит в том, что визирная линия трубы во время работы приводится в горизонтальное положение. Нивелир представляет собой сочетание зрительной трубы либо с цилиндрическим уровнем, либо с компенсатором. Уровень и компенсатор служат для приведения визирной оси зрительной трубы в горизонтальное положение.

Сущность геометрического нивелирования состоит в определении превышения одной точки над другой горизонтальным лучом нивелира по отсчетам по рейкам, вертикально устанавливаемым в точках, между которыми определяют превышение.

Наиболее часто используется способ нивелирования из середины, при котором нивелир устанавливают посередине между точками А и В, а на точках А и В ставят рейки с делениями (рис. 12).

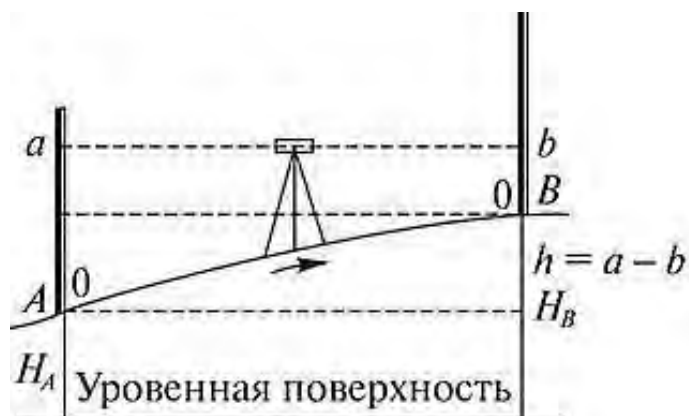


Рис. 12. Нивелирование из середины [2]

При движении от точки А к точке В рейка в точке А называется задней, рейка в точке В — передней. Сначала наводят трубу на заднюю рейку и берут отсчет a , затем наводят трубу на переднюю рейку и берут отсчет b . Превышение точки В относительно точки А получают по формуле: $h = a - b$. Если $a > b$, превышение положительное, если $a < b$ — отрицательное. Высота точки В вычисляется по формуле: $H_B = H_A + h$.

Тригонометрическое нивелирование называют также геодезическим или нивелированием наклонным лучом. Оно выполняется *теодолитом* (или другим прибором, предназначенным для измерения вертикальных углов); для определения превышения между двумя точками нужно измерить угол наклона и расстояние.

При тригонометрическом нивелировании определение превышения между двумя точками основывается на решении треугольника, катеты которого образованы направлением уровенной поверхности точки А и отвесной линией, проходящей через точку В, а гипотенуза — линией склона АВ (рис. 13). Тригонометрическое нивелирование на местности включает измерение расстояния между точками А и В (мерной лентой или дальномером) и угла наклона α .

Если склон направлен вверх от горизонтальной плоскости, то угол наклона и превышение положительные (со знаком «плюс»), вниз — отрицательные («минус»).

Для производства тригонометрического нивелирования в начальной точке А устанавливают инструмент с вертикальным кругом; во второй точке В, высоту которой требуется определить, — рейку.



Рис. 13. Тригонометрическое нивелирование [2]

Обозначим буквами: h — искомое превышение точек A и B , D — горизонтальную проекцию склона, i — высоту инструмента, $KB = l$ — высоту точки визирования на рейке. Из рисунка видно, что $h + l = KM + i$, отсюда $h = KM + i - l$. Из треугольника OKM : $KM = D \cdot \operatorname{tg} \alpha$, следовательно, $h = D \cdot \operatorname{tg} \alpha + i - l$.

Удобнее при измерении угла наклона (α) визировать на метку, закрепленную на рейке на высоте инструмента $l = i$, тогда при небольших углах наклона и расстоянии до 300 м используют сокращенную формулу: $h = D \cdot \operatorname{tg} \alpha$.

Контроль точности определения превышений обеспечивается измерением прямого и обратного превышений и их равенством $h_{\text{обр.}} = -h_{\text{пр.}}$. Невязка в 3–4 см на 100 м расстояния считается допустимой.

При прохождении ЛПП по географии вертикальные углы при тригонометрическом нивелировании измеряются эклиметром, высота прибора и точка визирования совпадают, и при вычислении превышений используется упрощенная формула: $h = OK \cdot \sin \alpha$.

Проведение всех трех видов измерения (углов, расстояний и превышений) является необходимым этапом работ при создании изображений земной поверхности (карт, планов).

Литература

1. Анопин, В. Н. Геодезия : учеб.-метод. пособие / В. Н. Анопин. — Волгоград : ВолгГТУ, 2017. — 126 с.
2. Гаврилова, И. И. Основы топографии: учебное пособие / И. И. Гаврилова. — Тверь : Твер. гос. ун-т, 2005. — 132 с.
3. Алексеев, А. И. География : 5–6 классы : учеб. для общеобразовательных организаций / А. И. Алексеев, В. В. Николина, Е. К. Липкина. — М. : Просвещение, 2015. — 291 с.
4. Гомзяков, А. В. Общая картография : учеб. пособие / А. В. Гомзяков. — СПб. : НОИР г. Санкт-Петербург, 2015. — 74 с.
5. Измestьев, А. Г. Дистанционные методы зондирования Земли : учеб. пособие / А. Г. Измestьев. — Кемерово : КузГТУ, 2014. — 91 с.
6. Коковин, П. А. Фотограмметрия и дистанционное зондирование Земли : метод. указания / П. А. Коковин. — Екатеринбург : Изд-во УГЛТУ, 2019. — 53 с.
7. Корчуганова, Н. И. Дистанционные методы геологического картирования : учебник / Н. И. Корчуганова, А. К. Корсаков. — М. : КДУ, 2009. — 288 с.
8. Левитская, Т. И. Основы геодезии : учеб. пособие / Т. И. Левитская. — Екатеринбург : Изд-во Урал. ун-та, 2017. — 88 с.
9. Наставление гидрометеорологическим станциям и постам. Выпуск :
10. Инспекция гидрометеорологических станций и постов. Часть I : Инспекция метеорологических наблюдений на станциях. Текст документа по состоянию на июль 2011 года. — СПб. : Гидрометеиздат, 2005. — 127 с.
10. Передерин, В. М. Основы геодезии и топографии : учеб. пособие / В. М. Передерин, Н. В. Чухарева, Н. А. Антропова. — Томск : Изд-во ТПУ, 2005. — 127 с.
11. Руководство по дешифрированию аэроснимков при топографической съемке и обновлении планов масштабов 1:2000 и 1:5000. ГКИНП-02-121-79. Утверждено ГУГК 02.08.79. — М. : ЦНИИГАиК, 1980. — 240 с.
12. Съемки местности : учеб.-метод. пособие по геодезии / сост. И. А. Астахова. — Майкоп : Майкопский гос. технологический ун-т, 2016. — 95 с.
13. Фотограмметрия и дистанционное зондирование : учеб. пособие / А. А. Калинин и др. — Зерноград : Азово-Черноморский инженерный институт, 2017. — 98 с.

Оглавление

Введение	3
1. Создание топографических карт	4
1.1. Геодезия и топография	4
1.2. Съёмка местности	5
2. Дешифрирование аэрофотоснимков	11
3. Опорные геодезические сети	14
4. Методы проведения наземных измерений местности	20
4.1. Линейные измерения	20
4.2. Угловые измерения	23
4.3. Высотные измерения (нивелирование)	26
Литература	29

Учебное издание

Летняя полевая практика по географии

Учебно-методическое пособие

Составитель

Гусева Ольга Александровна

Редактор, корректор М. Э. Левакова

Верстка М. Э. Леваковой

Подписано в печать 15.10.2021. Формат 60×84 1/16.

Усл. печ. л. 1,86. Уч.-изд. л. 1,7.

Тираж 2 экз. Заказ

Оригинал-макет подготовлен

в редакционно-издательском отделе ЯрГУ.

Ярославский государственный университет им. П. Г. Демидова.

150003, Ярославль, ул. Советская, 14.

