ГЕОДЕЗИЯ

НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ СТРОИТЕЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

ИНЖЕНЕРНАЯ ГЕОДЕЗИЯ

Рекомендовано Учебно-методическим советом НИУ МГСУ в качестве учебника для обучающихся по направлениям подготовки 08.03.01 Строительство, 08.05.01 Строительство уникальных зданий и сооружений, 07.00.00 Архитектура (№ 3 от 31.03.2022)

ISBN 978-5-7264-3219-9

© ФГБОУ ВО «НИУ МГСУ», 2023

Москва
Издательство МИСИ – МГСУ
2023

УДК 528.48
ББК 26.117.4
И62

Авторы:
В.В. Симонян, А.В. Лабузнов, С.В. Шендяпина, Н.С. Рогова, И.Ю. Яковлева

Рецензенты:
доктор технических наук, профессор *В.И. Волков*,
профессор кафедры геодезии, землеустройства и кадастров СПбГАСУ;
доктор технических наук, доцент *В.Н. Бойков*,
заведующий кафедрой геодезии и геоинформатики МАДИ;
кандидат технических наук, доцент *И.И. Ранов*,
доцент кафедры инженерных изысканий и геоэкологии НИУ МГСУ

И62 **Инженерная геодезия** [Электронный ресурс] : [учебник для обучающихся по направлениям подготовки 08.03.01 Строительство, 08.05.01 Строительство уникальных зданий и сооружений, 07.00.00 Архитектура] / [В.В. Симонян, А.В. Лабузнов, С.В. Шендяпина и др.] ; Министерство науки и высшего образования Российской Федерации, Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет, кафедра инженерных изысканий и геоэкологии. — Электрон. дан. и прогр. (15,5 Мб). — Москва : Издательство МИСИ – МГСУ, 2023. — URL : http://lib.mgsu.ru/ — Загл. с титул. экрана.

ISBN 978-5-7264-3219-9 (сетевое)
ISBN 978-5-7264-3220-5 (локальное)

В учебнике излагаются классические и современные методы выполнения геодезических изысканий, геодезического сопровождения строительства и мониторинга возводимых и возведенных зданий и сооружений.

Для обучающихся по направлениям подготовки 08.03.01 Строительство, 08.05.01 Строительство уникальных зданий и сооружений, 07.00.00 Архитектура.

Учебное электронное издание

© ФГБОУ ВО «НИУ МГСУ», 2023

ОГЛАВЛЕНИЕ

ПРЕДИСЛОВИЕ 6

ВВЕДЕНИЕ 7

Глава 1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ 9
1.1. Понятие о фигуре и размерах Земли 9
1.2. Метод проекций. Системы координат и высот, применяемые в геодезии 10
1.3. План и карта. Понятие о проекции Гаусса – Крюгера 14
1.4. Ориентирование линий. Связь и взаимные преобразования ориентирных углов 15
1.5. Решение прямой и обратной геодезических задач 18

Глава 2. ТОПОГРАФИЧЕСКИЕ КАРТЫ И ПЛАНЫ 20
2.1. Масштабы 20
2.2. Разграфка и номенклатура топографических карт и планов 20
2.3. Условные знаки на планах и картах 23
2.4. Формы рельефа местности и его изображение 23
2.5. Решение задач по топографическим планам и картам 25

Глава 3. ЭЛЕМЕНТЫ ТЕОРИИ ПОГРЕШНОСТЕЙ ГЕОДЕЗИЧЕСКИХ ИЗМЕРЕНИЙ 28
3.1. Методы и виды измерений 28
3.2. Классификация погрешностей измерений. Свойства случайных погрешностей измерений 30
3.3. Критерии точности результатов измерений 35
3.4. Среднеквадратические погрешности функций измеренных величин 36
3.5. Математическая обработка результатов измерений одной величины 38
3.6. Понятие о неравноточных измерениях 42
3.7. Оценка точности по разностям двойных равноточных и неравноточных измерений 44

Глава 4. ГЕОДЕЗИЧЕСКИЕ ИЗМЕРЕНИЯ НА МЕСТНОСТИ 47
4.1. Линейные измерения 47
4.2. Угловые измерения 50
4.3. Высотные измерения 57

Глава 5. ГЕОДЕЗИЧЕСКИЕ СЕТИ 65
5.1. Понятие плановой геодезической и нивелирной сетей 65
5.2. Способы построения плановых геодезических сетей 67
5.3. Государственные геодезические сети и сети сгущения 71
5.4. Специальные сети. Местные сети 73
5.5. Создание высотных геодезических сетей 74
5.6. Гравиметрические сети 75

Глава 6. ТОПОГРАФИЧЕСКИЕ СЪЕМКИ 77
6.1. Общие сведения о топографических съемках 77
6.2. Обоснование топографических съемок 77
6.3. Теодолитно-высотная съемка 79
6.4. Тахеометрическая съемка. Съемка ситуации и рельефа 80
6.5. Приборы, применяемые при тахеометрической съемке 81
6.6. Способы нивелирования поверхности как метода съемки 87
6.7. Фототопографические съемки 88

Глава 7. ИНЖЕНЕРНЫЕ ИЗЫСКАНИЯ ДЛЯ СТРОИТЕЛЬСТВА 105
7.1. Виды и задачи инженерных изысканий 105
7.2. Изыскания площадных сооружений 106
7.3. Изыскания линейных сооружений 108
7.4. Современные методы инженерных изысканий 110
7.5. Охрана труда 110

Глава 8. Инженерные опорные геодезические сети ... 112
8.1. Особенности опорных сетей ... 112
8.2. Плановые опорные сети ... 113
8.3. Высотные опорные сети ... 117
Глава 9. ГЕОДЕЗИЧЕСКИЕ РАЗБИВОЧНЫЕ РАБОТЫ ... 120
9.1. Элементы геодезических разбивочных работ ... 120
9.2. Способы разбивочных работ ... 124
9.3. Геодезическая разбивочная основа на строительных площадках ... 130
9.4. Общая технология разбивочных работ ... 131
Глава 10. ГЕОДЕЗИЧЕСКИЕ РАБОТЫ ПРИ ПЛАНИРОВКЕ И ЗАСТРОЙКЕ ТЕРРИТОРИЙ ... 133
10.1. Планировка и проектирование городской территории ... 133
10.2. Вынесение в натуру и закрепление красных линий, осей проездов, зданий и сооружений ... 134
10.3. Вертикальная планировка городских территорий ... 135
Глава 11. ГЕОДЕЗИЧЕСКИЕ РАБОТЫ ПРИ СТРОИТЕЛЬСТВЕ ГРАЖДАНСКИХ ЗДАНИЙ ... 140
11.1. Проект производства геодезических работ ... 141
11.2. Создание внешней разбивочной основы здания ... 142
11.3. Разбивка котлована. Контроль раскопки котлована по высоте и в плане ... 145
11.4. Внутренняя разбивочная основа ... 157
Глава 12. СТРОИТЕЛЬСТВО ПРОМЫШЛЕННЫХ СООРУЖЕНИЙ ... 160
12.1. Разбивка промышленных сооружений ... 160
12.2. Разбивка и выверка подкрановых путей ... 162
Глава 13. ГЕОДЕЗИЧЕСКИЕ РАБОТЫ ПРИ СТРОИТЕЛЬСТВЕ УНИКАЛЬНЫХ СООРУЖЕНИЙ ... 167
13.1. Геодезические работы при строительстве атомных и тепловых электростанций ... 167
13.2. Геодезические работы при строительстве высотных и большепролетных зданий ... 169
Глава 14. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ДЕФОРМАЦИЙ СООРУЖЕНИЙ ... 172
14.1. Виды деформаций сооружений и причины их возникновения ... 172
14.2. Наблюдения за деформациями сооружений ... 173
14.3. Расположение деформационных знаков и опорных геодезических сетей для измерения деформаций зданий и сооружений ... 174
14.4. Методы определения деформаций сооружений ... 174
Глава 15. ГЕОДЕЗИЧЕСКИЕ РАБОТЫ ПРИ СТРОИТЕЛЬСТВЕ ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ СООРУЖЕНИЙ ... 182
15.1. Геодезическое обеспечение гидрометеорологических изысканий ... 182
15.2. Перенесение контуров водохранилища. Разбивка осей гидротехнических сооружений ... 182
15.3. Гидротехнические сооружения и состав геодезических работ при их возведении ... 184
15.4. Геодезическое обоснование для строительства гидротехнических сооружений ... 185
Библиографический список ... 187

Глава 1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

1.1. Понятие о фигуре и размерах Земли

При решении различных задач требуется знать форму и размеры Земли.

Земля имеет сложную фигуру. Сложность этой фигуры обусловлена наличием материков (29 % поверхности Земли) и Мирового океана (71 %), а также неравномерным распределением масс в теле Земли. В связи с этим ее невозможно выразить какой-либо математической формулой. Поэтому в геодезии введено понятие *уровенной поверхности*.

Уровенная поверхность в каждой точке пересекает направление отвесной линии (направление силы тяжести) под прямым углом, которое зависит от распределения масс в теле Земли. Следовательно, уровенную поверхность мысленно можно провести через любую точку на физической поверхности земли, под землей и над землей.

Поскольку бóльшую часть поверхности Земли занимают моря и океаны, то за форму Земли можно принять уровенную поверхность, совпадающую с поверхностью воды Мирового океана, мысленно продолженную под материками. Фигура Земли, образованная уровенной поверхностью, получила название *геоид* (рис. 1.1).

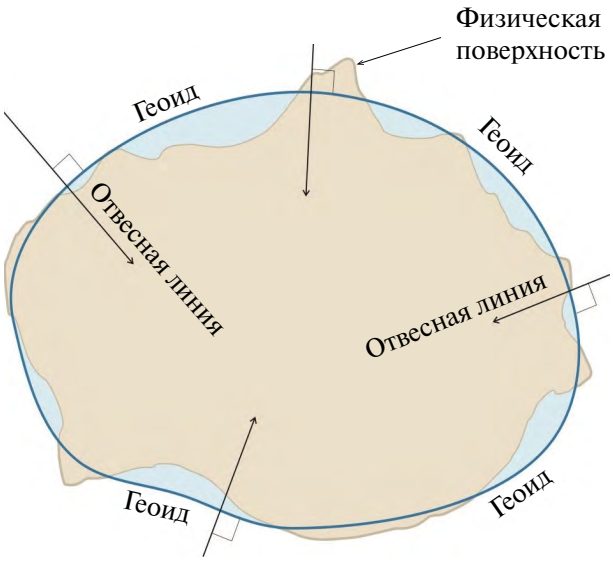


Рис. 1.1. Геоид

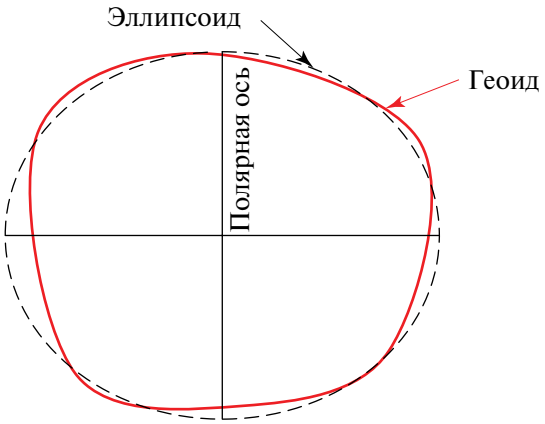


Рис. 1.2. Эллипсоид вращения

Но и поверхность геоида вследствие неравномерного размещения масс в теле Земли сложная и не может быть выражена какой-либо математической формулой. Поэтому ее заменяют другой, более простой поверхностью.

Исследованиями установлено, что фигура геоида наиболее близка к поверхности эллипсоида вращения, т.е. тела, получающегося от вращения эллипса вокруг его малой (полярной) оси (рис. 1.2).

Размеры эллипсоида характеризуются длинами большой a и малой b полуосей и сжатием α.

Чтобы земной эллипсоид ближе подходил к геоиду, его необходимо соответственно расположить в теле Земли, т.е. сориентировать. Такой эллипсоид называется *референц-эллипсоидом*.

В нашей стране приняты размеры референц-эллипсоида Красовского: $a = 6\,378\,245$ м, $b = 6\,356\,863$ м, $\alpha = 1{:}298{,}3$ (рис. 1.3).

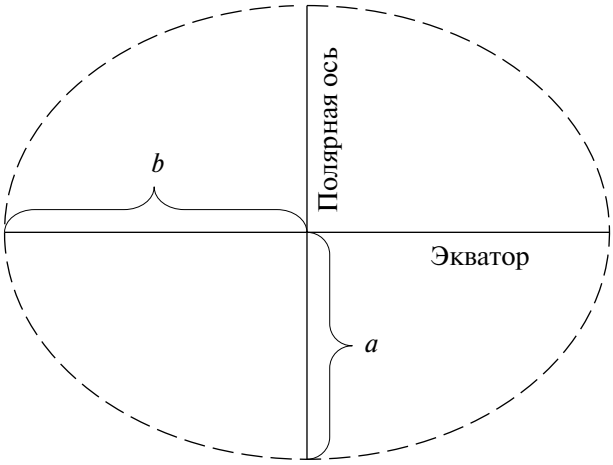


Рис. 1.3. Элементы земного эллипсоида

1.2. Метод проекций. Системы координат и высот, применяемые в геодезии

На местности точки, линии, углы и контуры располагаются на неровностях земной поверхности. При изучении физической земной поверхности все ее точки предварительно проектируют на принятую уровенную поверхность по линиям, перпендикулярным к этой поверхности. Такое проектирование называют *ортогональным*. Каждой точке на физической поверхности соответствует точка на уровенной поверхности.

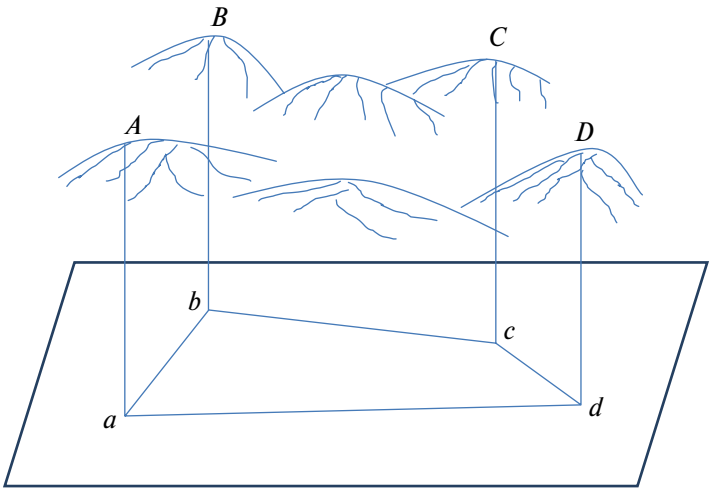


Рис. 1.4. Горизонтальная проекция местности

Пусть требуется узнать форму и размер многоугольника $ABCD$, расположенного на местности (рис. 1.4). Взаимное положение точек A, B, C, D на местности определяют измерением расстояний AB, BC, CD, DA, которые затем проектируют по отвесным линиям

на горизонтальную плоскость. Точки *a*, *b*, *c*, *d* являются ортогональными проекциями соответствующих точек *A*, *B*, *C*, *D* местности. Многоугольник *abcd* является ортогональной проекцией многоугольника *ABCD* местности.

Системы координат и высот, применяемые в геодезии

Координатами называют линейные и угловые величины, определяющие положение точек на какой-либо поверхности или в пространстве. Линии и плоскости, относительно которых определяется положение точек, называются соответственно *осями координат* и *координатными плоскостями*.

В геодезии применяются географические, плоские прямоугольные и полярные координаты.

Географическая система координат

Для определения положения точек на сферической поверхности Земли используются географические координаты: широта и долгота.

Географической широтой φ точки *A* называют угол, заключенный между отвесной линией, проходящей эту точку и плоскость экватора (Э) (рис. 1.5).

Географической долготой λ точки *A* называют двугранный угол, заключенный между плоскостью меридиана, проходящего через эту точку, и плоскостью начального меридиана (M_0).

Широты бывают северные и южные, изменяются от 0° на экваторе до 90° на земных полюсах (*P* и *P′*). Счет долгот идет от Гринвичского меридиана в направлении с запада на восток (восточная долгота) и с востока на запад (западная долгота); долготы изменяются от 0° до 180°. Линия, проходящая через точки с одинаковыми широтами, называется *параллелью* (П), а с одинаковыми долготами — *меридианами* (М).

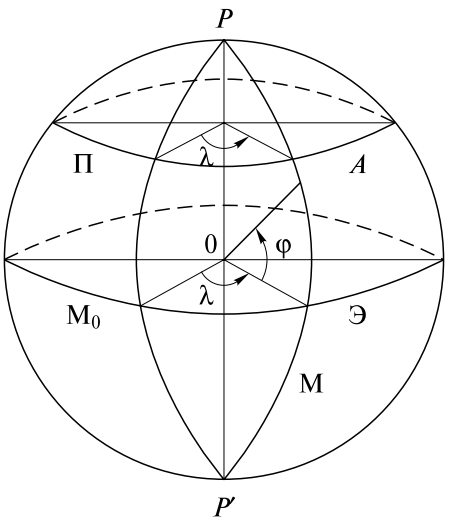


Рис. 1.5. Географические координаты

Прямоугольная система координат

Положение точки на плоскости определяется относительно осей прямоугольных координат: оси абсцисс *x* и оси ординат *y* (рис. 1.6). При этом, в отличие от математики, наименование координатных осей в геодезии изменено. Нумерация четвертей и счет углов ведутся по часовой стрелке от северного направления оси *x*. Знаки координат зависят от четверти, в которой находится точка.

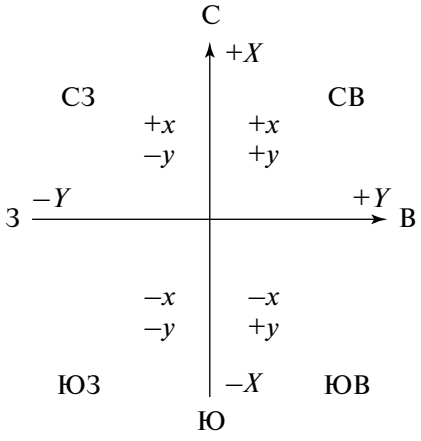


Рис. 1.6. Прямоугольная система координат

Система плоских прямоугольных координат Гаусса – Крюгера

Данную систему используют при крупномасштабном изображении значительных частей земной поверхности на плоскости. Система координат обладает особенностями, зависящими от выбранной проекции, т.е. метода отображения земной поверхности на плоскость. Для крупномасштабного картографирования необходима проекция, обеспечивающая сохранение подобного изображения фигур при переходе с поверхности шара на плоскость; возникающие при этом искажения размеров фигур должны быть малы и легко

учитываться. Данным требованиям отвечает поперечно-цилиндрическая равноугольная проекция Гаусса – Крюгера. Изображение поверхности земного шара на плоскости в проекции Гаусса – Крюгера получают следующим образом. Поверхность разбивают меридианами на зоны шириной 3° или 6° по долготе. Земной шар вписывают в цилиндр так, чтобы плоскость экватора совместилась с осью цилиндра. После проектирования боковую поверхность цилиндра разворачивают в плоскость, разрезав ее по образующим, проходящим через полюса.

Выбор размера зоны зависит от масштаба выполняемых в данном районе съемок. Так, при составлении карт в масштабах 1:10 000 и мельче применяют шестиградусные зоны, для масштаба 1:5000 и крупнее — трехградусные. Нумерация зон начинается с запада на восток от меридиана с долготой 0°, т.е. от Гринвичского меридиана, и обозначается арабскими цифрами. Всего 60 зон (рис. 1.7).

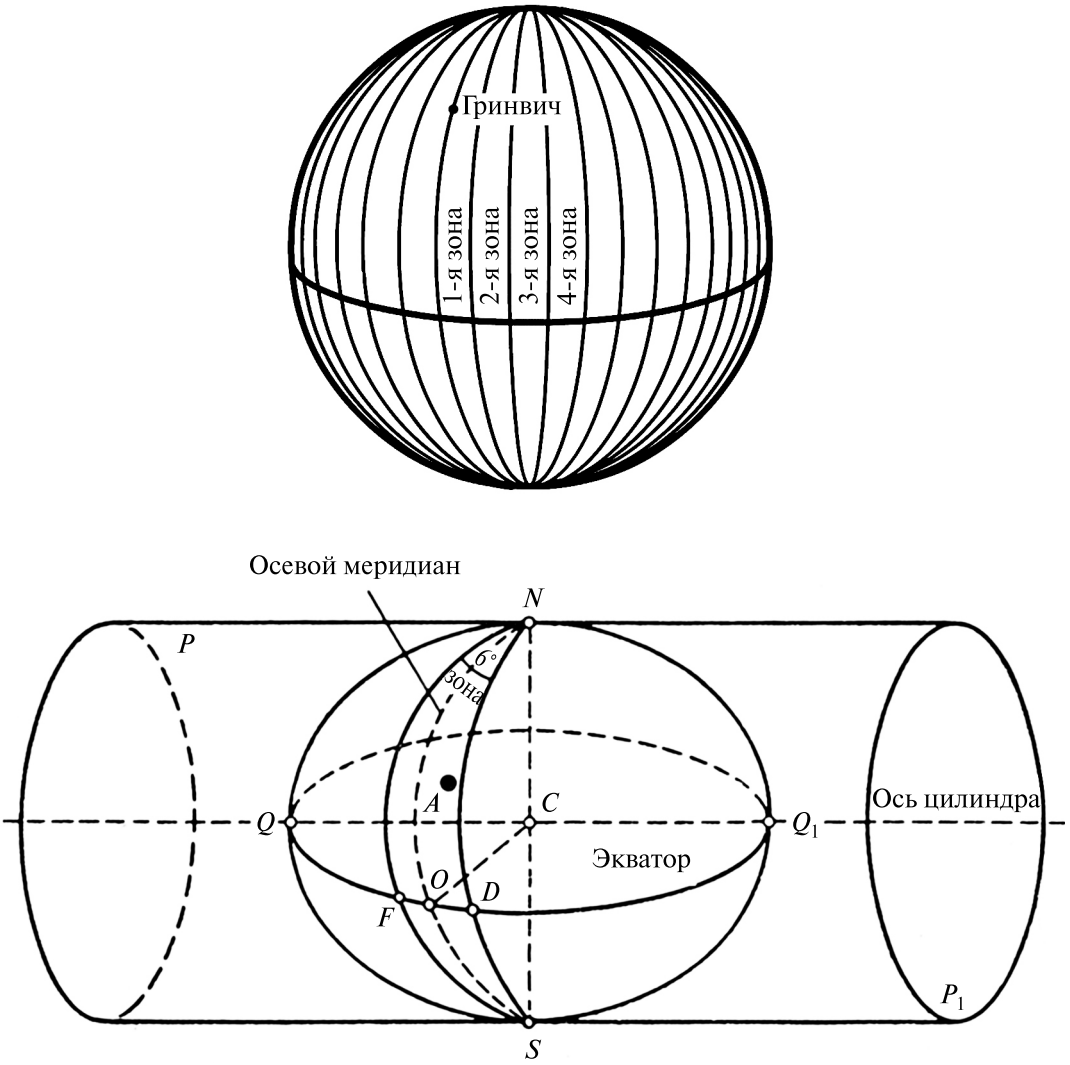


Рис. 1.7. Зональная система координат Гаусса – Крюгера

В каждой зоне проводится осевой меридиан, совпадающий с осью абсцисс; ось ординат совпадает с изображением экватора. За начало отсчета в каждой зоне принимают точку пересечения осевого меридиана и экватора. Для решения задач на плоскости на картах проводят прямоугольную координатную сетку, состоящую из прямых линий, параллельных осевому меридиану и экватору (рис. 1.8).

Таким образом, координатами какой-либо точки зоны являются ее расстояние от экватора (X) и от осевого меридиана (Y).

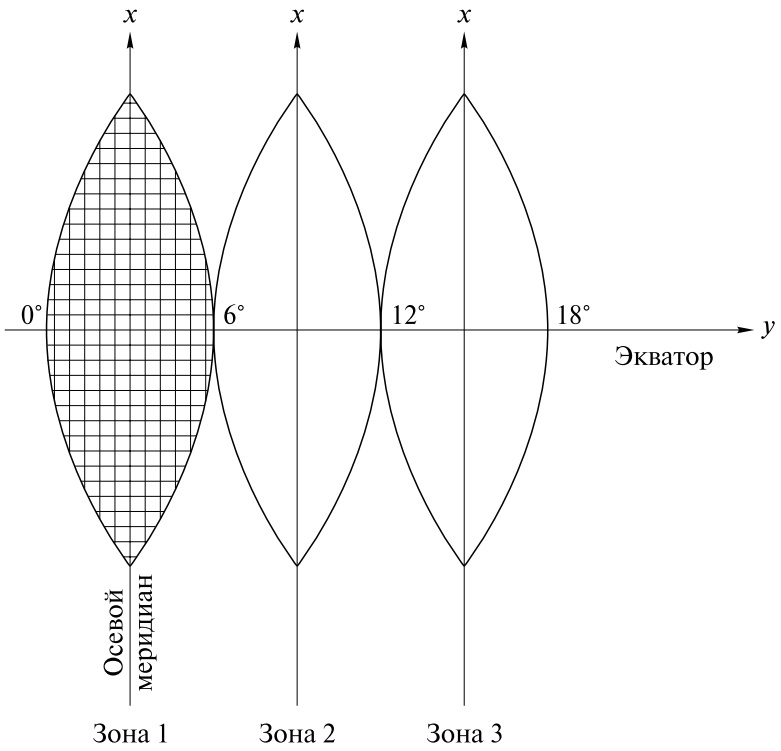


Рис. 1.8. Изображение зон на плоскости

Абсциссы, отсчитываемые от экватора к северному полюсу, считаются положительными, к южному — отрицательными; значения ординат от осевого меридиана на восток положительны, на запад — отрицательны. Точка A_1 будет иметь координаты: X_A; Y_A.

Для территории России, расположенной к северу от экватора, абсциссы всегда положительны. Для того чтобы и ординаты были только положительными, ординату осевого меридиана принимают не за ноль, а за 500 км, т.е. начало координат в каждой зоне перемещают на запад на 500 км (рис. 1.9).

Впереди измененной ординаты пишут номер зоны, в которой находится данная точка. Такие ординаты называются *преобразованными*.

Например: точка расположена в 4-й зоне на 189 000 м западнее осевого меридиана. Тогда ее преобразованная ордината будет равна 4 311 000 м, т.е. 500 000 – 189 000. Если точка расположена восточнее осевого меридиана на 86 000 м, то преобразованная ордината этой точки будет равна (500 000 + 86 000) = 4 586 000 м.

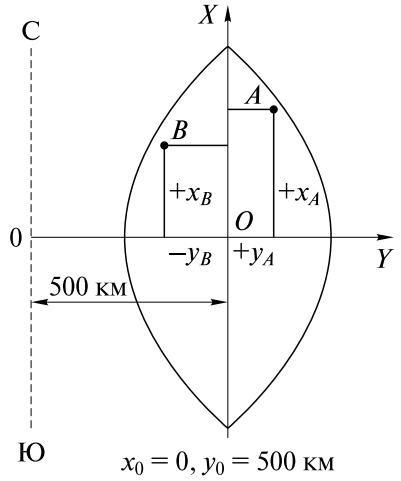


Рис. 1.9. Преобразование ординат

Полярная система координат

В полярной системе координат (рис. 1.10) положение любой точки A на плоскости определяется радиус-вектором r, исходящим из точки O, называемой полюсом, и углом β, отсчитываемым по ходу часовой стрелки от линии OX (полярной оси) до радиус-вектора.

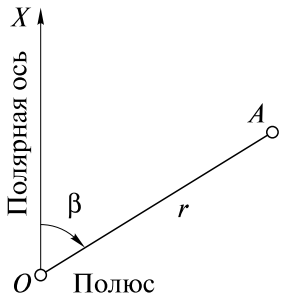


Рис. 1.10. Полярная система координат

Система высот

Для определения положения точек на физической поверхности Земли недостаточно знать только две их плановые координаты X и Y. Необходима третья координата, характеризующая отстояние точки земной поверхности от условной поверхности или уровенной.

Расстояние от точки на земной поверхности по отвесной линии до уровенной поверхности называется *высотой*.

Если в качестве отсчетной уровенной поверхности принимается поверхность геоида (т.е. основная уровенная поверхность, совпадающая с поверхностью Мирового океана), то такую высоту называют *абсолютной*.

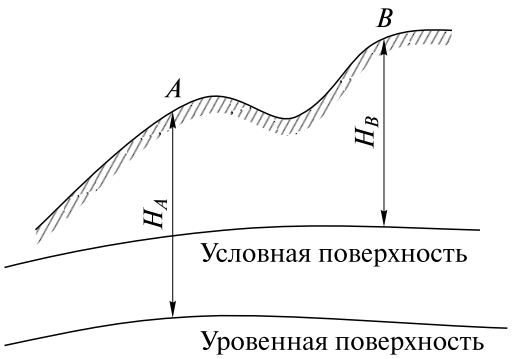


Рис. 1.11. Абсолютные и условные высоты:
H_A — абсолютная высота;
H_B — условная высота

Если же в качестве отсчетной для высот берется какая-то другая, отличная от геоида уровенная поверхность, то такую высоту принято называть *условной* (рис. 1.11).

Условные высоты могут использоваться при изучении небольших участков земной поверхности, а также при проектировании, строительстве и обустройстве отдельных объектов недвижимости, когда положение этих участков и объектов относительно уровня моря не играет никакой роли.

При изучении значительных участков земной поверхности пользуются абсолютными высотами.

В России за начало счета абсолютных высот принята уровенная поверхность, совпадающая со средним уровнем Балтийского моря. В связи с этим принятую систему высот называют *Балтийской*.

В гражданском и промышленном строительстве при проектировании и возведении зданий и сооружений применяют условную систему высот. При этом за отсчетную поверхность принимают поверхность, совпадающую с полом первого этажа жилого дома или полом цеха.

Числовое значение высот точек называют *отметкой*. Разность отметок двух точек называется *превышением*.

1.3. План и карта. Понятие о проекции Гаусса – Крюгера

План и *карта* — топографические материалы, являющиеся уменьшенным спроецированным изображением земной поверхности на плоскость. Чтобы получить план местности, точки и линии местности проецируют на горизонтальную плоскость перпендикулярами и полученное горизонтальное проложение уменьшают в определенное число раз. *Топографическим планом* называется уменьшенное и подобное изображение на плоскости участка земной поверхности, на котором изображаются ситуация и рельеф местности. *Ситуацией* называют совокупность предметов местности (дома, дороги, реки и т.д.). *Рельефом* называют совокупность неровностей земной поверхности (горы, овраги и т.д.). Составленный без изображения рельефа план местности называют *ситуационным* (*контурным*). При ортогональном проецировании на горизонтальную плоскость участков земной поверхности размером, не превышающим 20×20 км^2, изображение считают *подобным* (считается, что данную площадь земной поверхности можно изобразить на плане практически без искажений, т.е. без учета кривизны Земли). Следует отметить, что если кривизна Земли практически не сказывается на длине линии, то для превышений между точками дело обстоит иначе. Так, на расстоянии 100 м при геометрическом нивелировании ошибка, вызванная пренебрежением кривизной Земли, составит 0,8 мм, а на расстоянии 500 м — уже почти 21 мм. Приближенно подсчитать ошибку можно по формуле $k = d^2/2R$.

Изображение больших по размерам участков земной поверхности нельзя получить без учета кривизны Земли, т.е. с сохранением подобия. Такие участки ортогонально проецируют на поверхность эллипсоида и переносят на плоскость по определенным математическим законам, которые называются *картографическими проекциями*.

Картой называют уменьшенное, обобщенное, построенное по определенным математическим законам изображение на плоскости всей Земли либо значительных ее частей с учетом кривизны уровенной поверхности.

Составленная в проекции Гаусса – Крюгера карта, содержащая изображение ситуации и рельефа, называется *топографической картой*.

Карты, в зависимости от масштаба, условно подразделяют на крупномасштабные — 1:100 000 и крупнее, среднемасштабные — от 1:200 000 до 1:1 000 000 и мелкомасштабные — мельче 1:1 000 000.

Для составления планов применяют масштабы 1:200, 1:500, 1:1000, 1:2000 и 1:5000.

Также к топографическим материалам относят *профили местности*, представляющие собой уменьшенное изображение вертикального разреза земной поверхности вдоль выбранного направления (рис. 1.12).

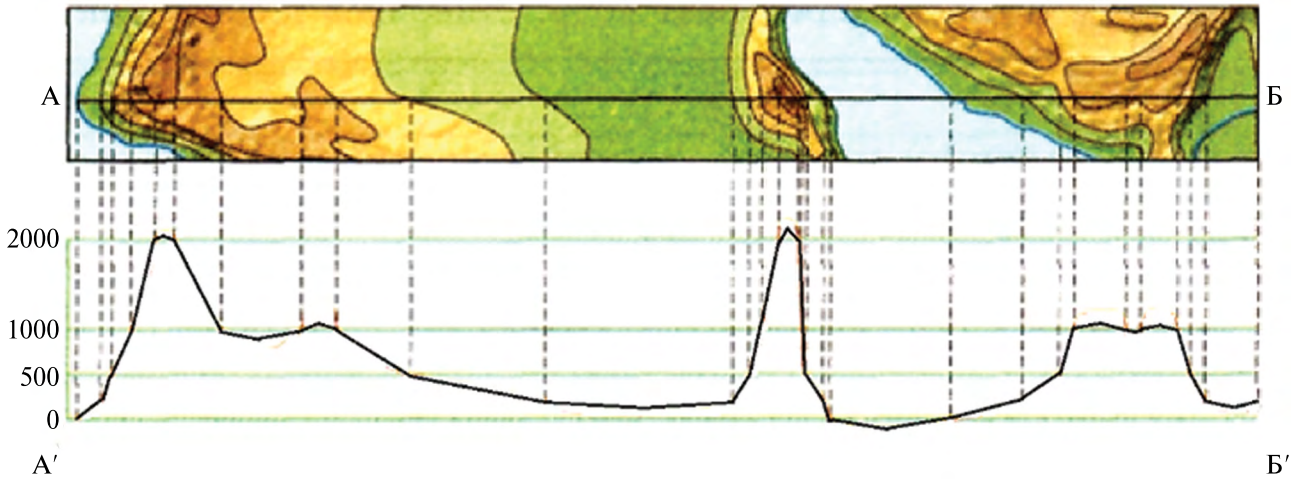


Рис. 1.12. Профиль местности

Разрез местности, как правило, представляет собой кривую линию, но на профиле ее изображают в виде ломаной, где поворотные точки ломаной — характерные точки местности. Для наглядности вертикальные отрезки изображают в более крупном масштабе, чем горизонтальные (как правило, вертикальный масштаб берут в десять раз крупнее горизонтального).

1.4. Ориентирование линий. Связь и взаимные преобразования ориентирных углов

При выполнении геодезических работ на местности и проектировочных работ на картах и планах необходимо определить положение линий относительно сторон света или какого-нибудь направления, принимаемого за исходное, т.е. сориентировать.

В качестве исходных используют направление $N^{и}$ истинного (географического) меридиана, направление $N^{м}$ магнитного меридиана, направление $N^{о}$ осевого меридиана зоны или направления, параллельного ему.

Направление $N^{и}$ — это горизонтальная линия в плоскости географического меридиана. Оно указывает на северный географический полюс Земли. Направление $N^{м}$ — это горизонтальная линия в плоскости магнитного меридиана, т.е. отвесной плоскости, проходящей через ось свободно подвешенной магнитной стрелки. Из-за неравномерности распределения магнитных масс в теле Земли направление магнитного меридиана не со-

впадает с направлением на магнитный полюс. По этой причине, а также из-за несовпадения магнитного и географического полюсов между магнитным и истинным меридианом образуется угол δ, называемый *склонением магнитной стрелки*. Этот угол отсчитывают от истинного меридиана к магнитному. Восточному склонению приписывают знак плюс, западному — знак минус. Направление N^{o} — это направление, как правило, параллельное осевому меридиану или оси абсцисс координатной сетки зоны. Если точка расположена на осевом меридиане, то направления N^{o} и $N^{и}$ совпадают. Если точка лежит не на осевом меридиане, то между линией, параллельной осевому меридиану, и истинным меридианом образуется угол γ. Этот угол называют *сближением меридианов*. Он отсчитывается от истинного меридиана к осевому меридиану. Восточному сближению приписывают знак плюс, западному — минус.

Ориентирование линии местности относительно исходных направлений осуществляют с помощью *ориентирных углов* (рис. 1.13).

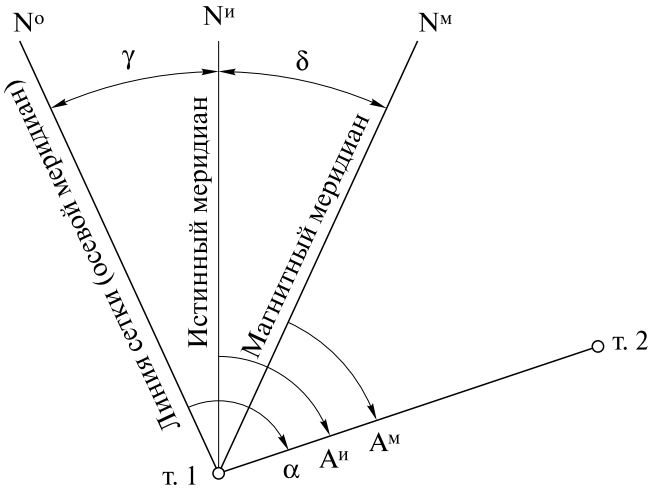


Рис. 1.13. Ориентирные углы

Угол между северным направлением $N^{и}$ истинного меридиана и направлением данной линии называют *истинным азимутом*. Истинный азимут $A^{и}$ отсчитывают от истинного меридиана по направлению часовой стрелки. Он изменяется от 0° до 360°. Угол между северным направлением магнитного меридиана и направлением данной линии называют *магнитным азимутом*. Магнитный азимут $A^{м}$ отсчитывается от магнитного меридиана по ходу часовой стрелки. Угол между северным направлением N^{o} осевого меридиана и направлением данной линии называют *дирекционным углом*. Дирекционный угол α отсчитывается от осевого меридиана по ходу часовой стрелки и может принимать значения от 0° до 360°. На топографических картах и планах параллельные осевому меридиану линии нанесены в виде вертикальных линий координатной (как правило, километровой) сетки. *Румбом* называют острый горизонтальный угол между ближайшим (северным или южным) направлением осевого меридиана и данной линией.

Связь между истинными и магнитными азимутами

Для перехода от магнитного азимута к истинному азимуту необходимо знать величину и название склонения магнитной стрелки. Склонение бывает восточным $\delta_{В}$ или западным $\delta_{З}$.

Из рис. 1.14 следует, что связь азимутов истинного и магнитного описывается формулами:

$$A^{и} = A^{м} + \delta_{В};$$

$$A^{и} = A^{м} - \delta_{З}.$$

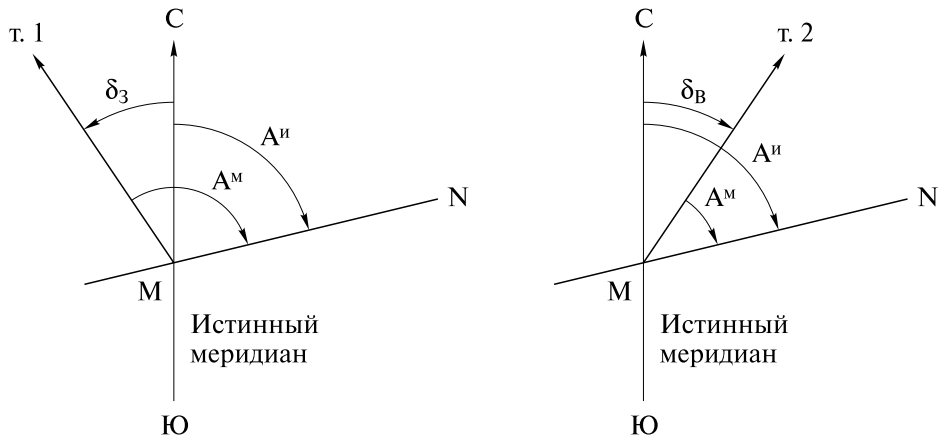


Рис. 1.14. Взаимосвязь между истинным и магнитным азимутами

Склонение магнитной стрелки изменяется в течение суток, года. Суточное изменение склонения в средней полосе России доходит до 15″. В аномальных районах пользоваться магнитной стрелкой нельзя, например в районе Курской магнитной аномалии.

Между азимутами и дирекционными углами существует следующая связь:

$$A = \alpha \pm \gamma.$$

Зависимость между прямым и обратным дирекционными углами

Дирекционные углы прямого и обратного направлений одной и той же линии отличаются между собой на 180° (рис. 1.15).

Так как румб является горизонтальным уголом, отсчитываемым от ближайшего направления осевого меридиана (северного или южного) до заданного направления, то он может принимать значения от 0° до 90°. Для определения направления по значению румба необходимо указывать названия четвертей: 1-я четверть — СВ (северо-восток), 2-я четверть — ЮВ (юго-восток), 3-я четверть — ЮЗ (юго-запад), 4-я четверть — СЗ (северо-запад).

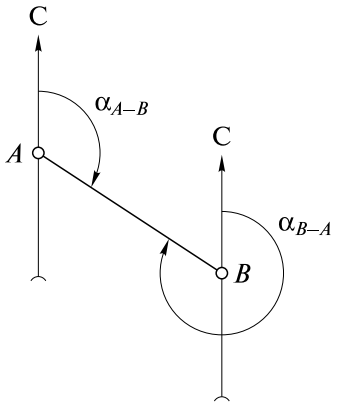


Рис. 1.15. Взаимосвязь прямого и обратного дирекционных углов

Взаимосвязь между дирекционными углами и румбами представлена на рис. 1.16.

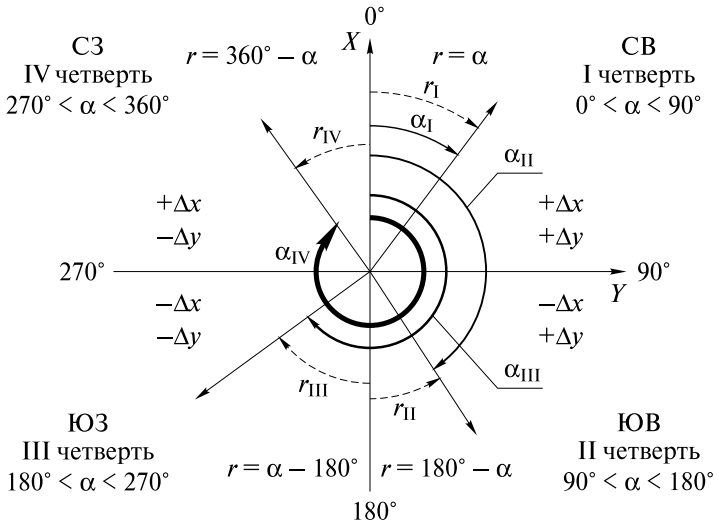


Рис. 1.16. Взаимосвязь между дирекционными углами и румбами

1.5. Решение прямой и обратной геодезических задач

Решение прямой геодезической задачи

В геодезии часто приходится передавать координаты с одной точки на другую. Например, зная координаты точки *A*, можно определить координаты точки *B*. Определение координат последующей точки, зная исходные координаты точки *A* (рис. 1.17), горизонтальное проложение линии S_{AB} и направление линии (дирекционный угол α_{AB}), называется *прямой геодезической задачей*.

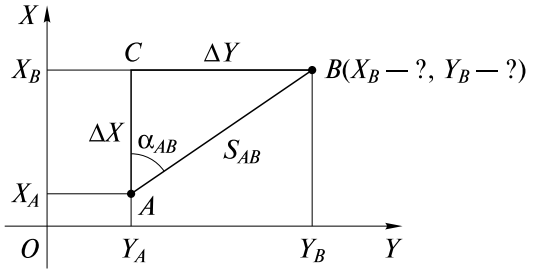


Рис. 1.17. Прямая геодезическая задача

Прямая геодезическая задача решается следующим образом.
Дано: точка A (X_A, Y_A), S_{AB} и α_{AB}.
Найти: точку B (X_B, Y_B).
Из рис. 1.17 имеем:

$$\Delta X = X_B - X_A;$$

$$\Delta Y = Y_B - Y_A.$$

Разности ΔX и ΔY координат точек последующей и предыдущей называются *приращениями координат*. Они представляют собой проекции отрезка *AB* на соответствующие оси координат. Их значения находим из решения прямоугольного прямоугольника *ABC*:

$$\Delta X = S_{AB}\cos\alpha_{AB};$$

$$\Delta Y = S_{AB}\sin\alpha_{AB}.$$

Знаки приращений координат ΔX и ΔY зависят от знаков $\cos\alpha_{AB}$ и $\sin\alpha_{AB}$. Для различных значений углов знаки ΔX и ΔY представлены в таблице ниже.

Знаки приращений координат ΔX и ΔY

Приращения координат	Четверть окружности, в которую направлена линия			
	I (СВ)	II (ЮВ)	III (ЮЗ)	IV (СЗ)
ΔX	+	–	–	+
ΔY	+	+	–	–

Вычислив приращения координат, находим искомые координаты другой точки:

$$X_B = X_A \pm \Delta X;$$

$$Y_B = Y_A \pm \Delta Y.$$

Таким образом можно найти координаты любого числа точек по правилу: координаты последующей точки равны координатам предыдущей точки плюс соответствующие приращения.

Решение обратной геодезической задачи

По известным координатам X_A, Y_A точки A и координатам X_B, Y_B точки B требуется вычислить расстояние между ними S_{AB} и дирекционный угол α_{AB}.

Из рис. 1.17 видно, что

$$\operatorname{tg}\alpha_{A-B} = \frac{\Delta y}{\Delta x} = \frac{y_B - y_A}{x_B - x_A}.$$

Определим дирекционный угол α_{AB}:

$$\alpha_{A-B} = \operatorname{arctg}\frac{\Delta y}{\Delta x},$$

но данное выражение справедливо, если направление AB находится в первой четверти; если в другой четверти, то мы сможем по данной формуле найти только румб.

$$\operatorname{tg} r_{AB} = \frac{|\Delta y|}{|\Delta x|} \rightarrow r_{AB} = \operatorname{arctg}\frac{|\Delta y|}{|\Delta x|},$$

далее по знакам Δy и Δx в таблице «Знаки приращений координат ΔX и ΔY» определяем четверть, и тогда искомый дирекционный угол будет равен:

– в I четверти: $\alpha = r$;
– во II четверти: $\alpha = 180 - r$;
– в III четверти: $\alpha = 180 + r$;
– в IV четверти: $\alpha = 360 - r$.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Что такое уровенная поверхность?
2. Что такое референц-эллипсоид?
3. Расскажите об отличии карты от плана.
4. Дайте определение истинного и магнитного азимутов, дирекционного угла.
5. Опишите зональную систему координат Гаусса – Крюгера.
6. Что такое прямая геодезическая задача?
7. Как связаны между собой азимуты и дирекционный угол?

Глава 2. ТОПОГРАФИЧЕСКИЕ КАРТЫ И ПЛАНЫ

2.1. Масштабы

Для составления карт и планов результаты измерений линий на местности уменьшают. Степень уменьшения зависит от размеров изображаемого участка и требуемой детальности изображения. На степень уменьшения указывает масштаб.

Масштабом плана называют отношение длины линии на плане к горизонтальному проложению соответствующей линии местности. Масштабы бывают численные, линейные и поперечные.

Численный масштаб выражается аликвотной дробью, числитель которой — единица, а знаменатель показывает, во сколько раз уменьшены горизонтальные проложения (1:1000; 1:5000).

Линейный масштаб представляет собой линейку с нанесенными делениями через равные отрезки, которые называются *основанием масштаба*. Используют линейный масштаб в полевых условиях, когда требуется быстро, но необязательно точно найти по карте расстояние между предложенными точками. Для более точного построения или определения длин отрезков пользуются *поперечным масштабом*.

2.2. Разграфка и номенклатура топографических карт и планов

Чтобы изобразить весь земной шар в целом или отдельную территорию на листах карты или плана крупного масштаба, потребуется много таких листов. Каждый лист многолистной карты получает определенное обозначение (нумерацию). Разделение топографических карт на листы называется *разграфкой*. *Номенклатурой* называется система нумераций отдельных листов топографических карт и планов.

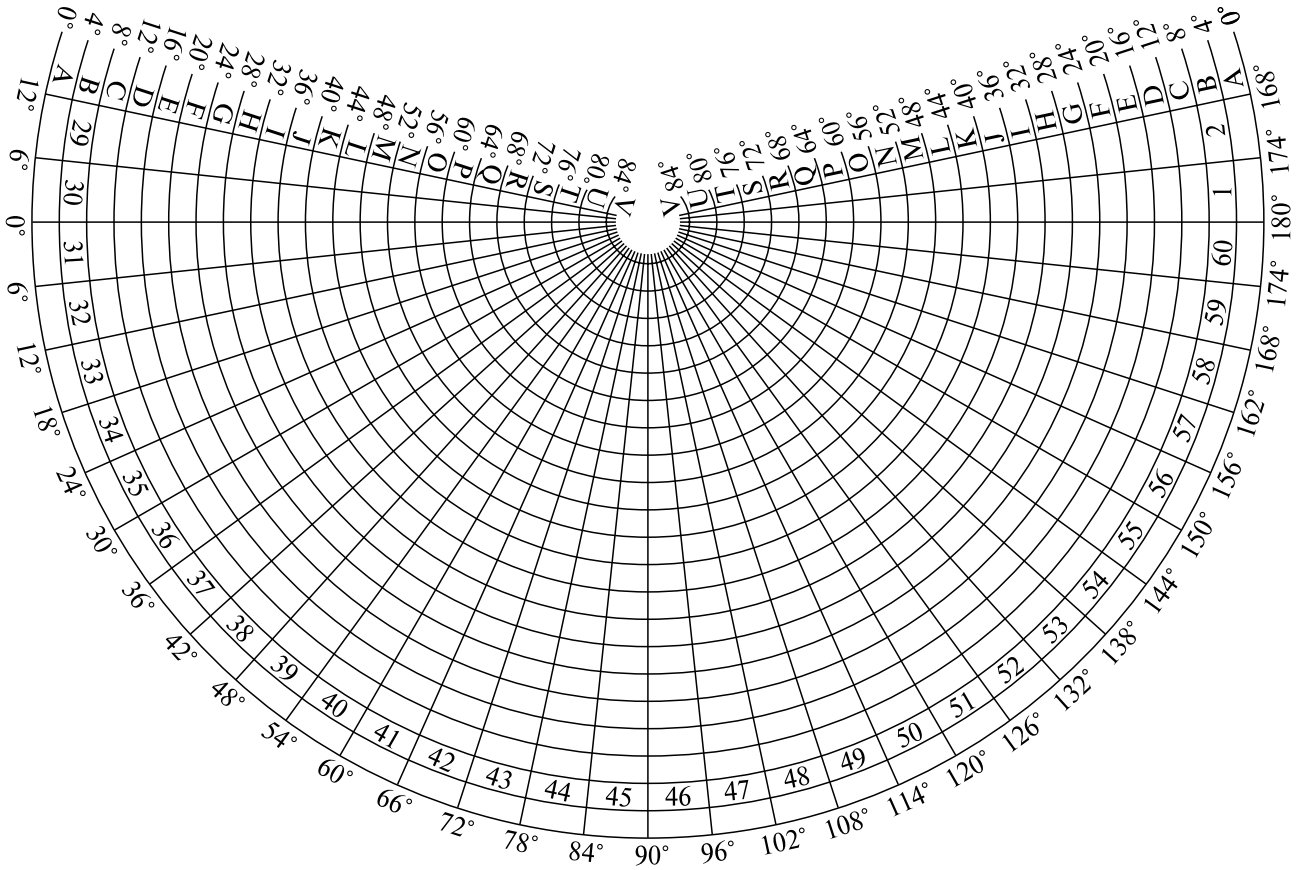


Рис. 2.1. Система разграфки и номенклатуры топографических карт

В основу номенклатуры топографических карт и планов положена карта масштаба 1:1 000 000. Для получения одного листа карты этого масштаба весь земной шар делят меридианами от Гринвичского меридиана через 6° по долготе на 60 колонн (рис. 2.1), которые нумеруются арабскими цифрами на восток от 180°-градусного меридиана. Каждая колонна делится параллелями через 4° по широте на ряды, обозначаемые прописными буквами латинского алфавита от A до V, начиная от экватора к северному и южному полюсам.

Номенклатура листа масштаба 1:1 000 000 складывается из двух индексов: обозначения ряда и номера колонны. Например, г. Москва расположен на листе N-37. Номенклатура листов топографических карт и планов масштаба 1:1 000 000 и крупнее, применяемых в инженерно-строительном деле, определяется следующим образом.

Каждый лист карты масштаба 1:1 000 000 делится на 144 листа карты масштаба 1:100 000, которые обозначаются арабскими цифрами (рис. 2.2). Листу карты 1:100 000 соответствует номенклатура N-37-144. Каждому листу карты масштаба 1:100 000 соответствуют 4 листа карты масштаба 1:50 000, которые обозначаются заглавными буквами русского алфавита: А, Б, В, Г.

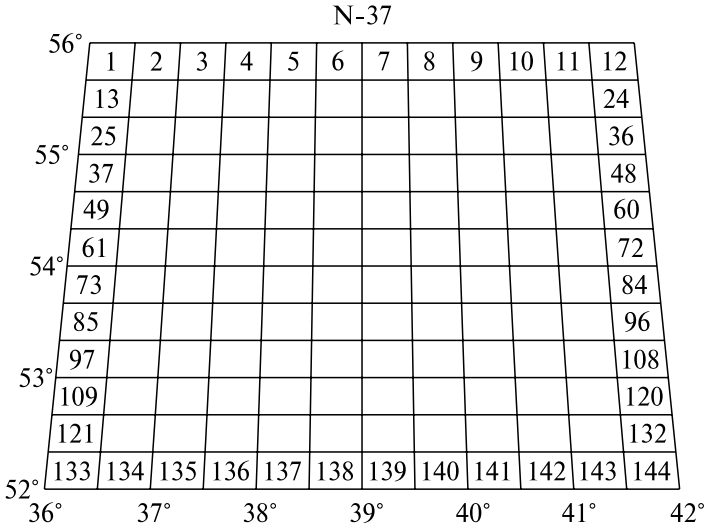


Рис. 2.2. Деление листа карты масштаба 1:1 000 000

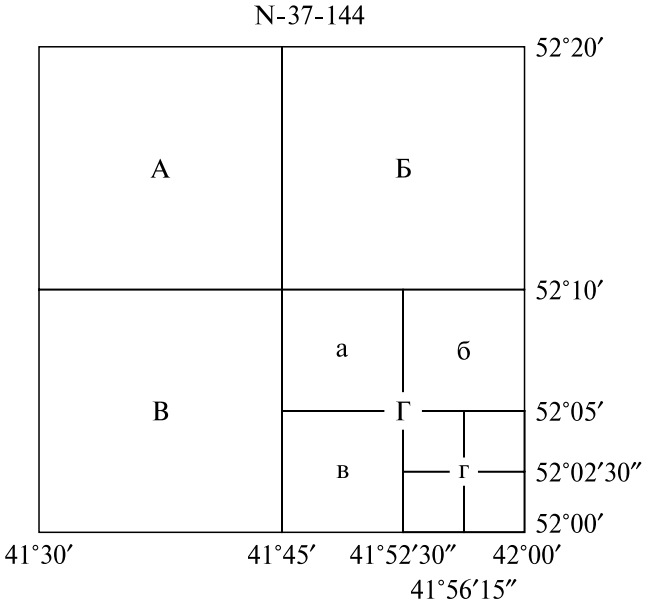
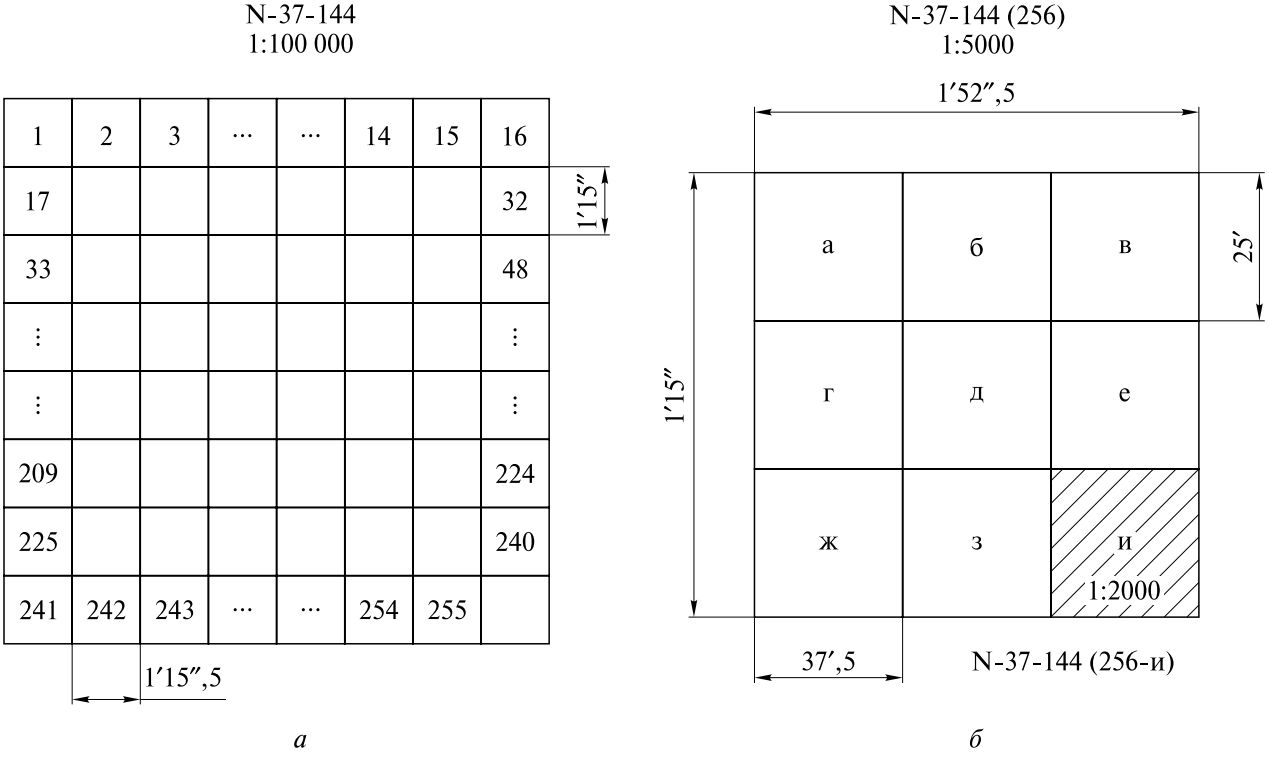


Рис. 2.3. Разграфка и номенклатура топографических карт масштабов 1:100 000; 1:50 000; 1:25 000 и 1:10 000

Одному листу карты масштаба 1:50 000 соответствуют 4 листа карты масштаба 1:25 000, которые обозначаются строчными буквами: а, б, в, г (N-37-144-Г-г). Каждому листу карты масштаба 1:25 000 соответствуют 4 листа карты масштаба 1:10 000, которые обозначаются цифрами: 1, 2, 3, 4 (N-37-144-Г-г-4) (рис. 2.3).

Трапецию масштаба 1:5000 получают путем деления каждого листа карты масштаба 1:100 000 на 256 частей и обозначают их арабскими цифрами от 1 до 256 (рис. 2.4, *а*).

Для получения трапеции масштаба 1:2000 каждую трапецию масштаба 1:5000 делят на 9 частей и обозначают строчными буквами русского алфавита: а, б, в, г, д, е, ж, з, и. Номенклатура трапеции масштаба 1:5000 складывается из названия соответствующего листа масштаба 1:100 000 с указанием в скобках порядкового номера трапеции масштаба 1:5000 (например: N-37-144 (256)); номенклатура трапеции масштаба 1:2000 получается из названия трапеции 1:5000 с добавлением в скобках соответствующей буквы трапеции масштаба 1:2000 (например: N-37-144 (256-и) (рис. 2.4, *б*).



а *б*

Рис. 2.4. Номенклатура листов карты масштаба:
а — 1:5000; *б* — 1:2000

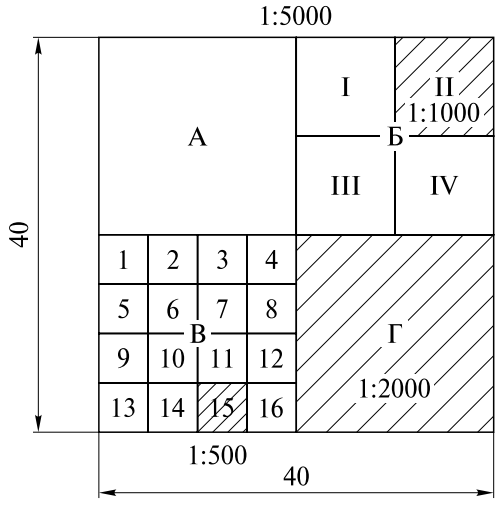


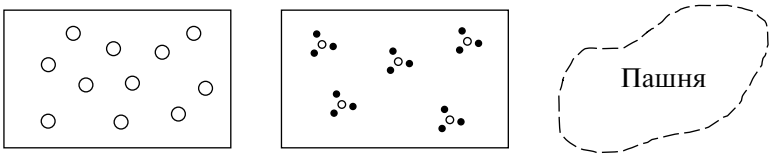
Рис. 2.5. Разграфка листа плана масштаба 1:5000

При создании топографических планов участков местности площадью до 20 км^2 может быть применена прямоугольная разграфка. В основу номенклатуры положен лист плана масштаба 1:5000 с размерами рамки 40×40 см, обозначаемый арабскими цифрами (рис. 2.5).

Одному листу плана масштаба 1:5000 соответствуют 4 листа масштаба 1:2000 с обозначением заглавными буквами русского алфавита: А, Б, В, Г. Листу масштаба 1:2000 соответствуют 4 листа масштаба 1:1000, обозначаемых римскими цифрами: I, II, III, IV, и 16 листов масштаба 1:500, обозначаемых арабскими цифрами: 1, 2, ..., 16.

2.3. Условные знаки на планах и картах

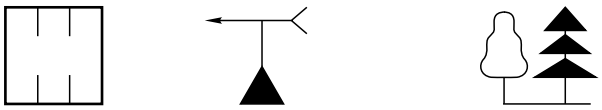
На картах и планах изображаются различные объекты местности — контуры угодий, постройки, линии дорог, связи и т.д. Совокупность таких объектов называют *ситуацией*. Эти объекты на картах и планах изображают условными знаками. Если знаки с учетом масштаба передают реальные размеры объекта, то их называют *масштабными* (рис. 2.6). К таким относятся леса, поля, населенные пункты и т.д.



Лес Кустарники

Рис. 2.6. Масштабные условные знаки

Масштабные знаки изображают предметы подобными оригиналу, и по ним можно определить размеры и форму предметов; контуры обозначаются точечным пунктиром или тонкой сплошной линией, а внутри заполняются специальными значками. С уменьшением масштаба теряется детальность изображения. В этом случае невозможно отобразить объект в реальном масштабе, поэтому используют внемасштабные условные знаки, не передающие истинного размера объекта (рис. 2.7).



Пасека Метеорологическая станция Отдельно стоящие деревья

Рис. 2.7. Внемасштабные условные знаки

При необходимости изобразить объекты, у которых в масштабе может быть отображен только один линейный размер (длина дороги, трубопровода, линии электропередач), используют линейные знаки, занимающие «промежуточное» положение между площадными и внемасштабными знаками. Если нужно дать характеристику объекта (или указать его название), используют пояснительные знаки, которые представляют собой подписи, позволяющие определить, например, глубину реки, грузоподъемность моста, породу леса. Специальные условные знаки устанавливают соответствующие ведомства.

2.4. Формы рельефа местности и его изображение

Совокупность неровностей земной поверхности называют *рельефом*. На топографических планах и картах рельеф изображают горизонталями. *Горизонталь* — это линия на карте или плане, состоящая из изображений точек земной поверхности с одинаковыми высотами. Понятие о горизонтали можно получить, если представить себе местность, за-