

В.Н. Попов  
С.И. Чекалин

# ГЕОДЕЗИЯ

*Допущено Министерством образования  
и науки Российской Федерации в качестве  
учебника для студентов высших учебных  
заведений, обучающихся по специальности  
«Маркшейдерское дело» направления  
подготовки «Горное дело»*

**Горное  
образование**



МОСКВА  
«МИР ГОРНОЙ КНИГИ»

• ИЗДАТЕЛЬСТВО МОСКОВСКОГО  
ГОСУДАРСТВЕННОГО ГОРНОГО УНИВЕРСИТЕТА

• ИЗДАТЕЛЬСТВО «ГОРНАЯ КНИГА»  
2007

УДК 528  
ББК 26.12  
П 58

Издано при финансовой поддержке Федерального агентства по печати и массовым коммуникациям в рамках Федеральной целевой программы «Культура России»

Книга соответствует «Гигиеническим требованиям к изданиям книжным для взрослых. СанПиН 1.2.1253—03», утвержденным Главным государственным санитарным врачом России 30 марта 2003 г. (ОСТ. 29.124—94). Санитарно-эпидемиологическое заключение Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей № 77.99.60.953.Д.008501.07.07

Экспертиза проведена Министерством образования и науки  
Российской Федерации (письмо № 03-2792 от 18 декабря 2006 г.)

#### *Рецензенты:*

- кафедра «Геодезия» Российского университета дружбы народов (зав. кафедрой канд. техн. наук *Б.И. Бузинов*);
- канд. техн. наук, ст. научн. сотр. *А.В. Киянец*, д-р техн. наук, проф. *В.И. Стрельцов* (ФГУП ВНОГЕМ)

#### **Попов В.Н., Чекалин С.И.**

П 58 Геодезия: Учебник для вузов. — М.: «Мир горной книги», Издательство Московского государственного горного университета, издательство «Горная книга», 2007. — 722 с.: ил.

ISBN 978-5-91003-028-6 (пер.)

ISBN 978-5-7418-0502-2

ISBN 978-5-98672-078-4

Освещены основные положения геодезии как науки, рассмотрены вопросы, связанные с построением картографических изображений и решением задач по топографической карте и плану. Приведены элементы теории погрешностей измерений, а также методы уравнивания геодезических построений. Отдельные разделы посвящены описанию геодезических приборов, геодезическим работам при съёмке геодезических сетей и создании планового и высотного обоснования, при разбивке и строительстве инженерных сооружений различного назначения, в том числе и подземных горных выработок, при выполнении геологических поисков и разведки месторождений полезных ископаемых, комплекса нивелирных работ и др.

*В.Н. Попов* — д-р техн. наук, проф. кафедры «Маркшейдерское дело и геодезия» Московского государственного горного университета.

*С.И. Чекалин* — канд. техн. наук, доц. кафедры «Геодезия и маркшейдерское дело» Московского государственного геологоразведочного университета.

Для студентов высших учебных заведений, обучающихся по специальности «Маркшейдерское дело» направления подготовки «Горное дело», а также для специалистов, выполняющих соответствующие работы.

УДК 528  
ББК 26.1

ISBN 978-5-91003-028-6  
ISBN 978-5-7418-0502-2  
ISBN 978-5-98672-078-4

© В.Н. Попов, С.И. Чекалин, 2007  
© «Мир горной книги», Издательство МГГУ, издательство «Горная книга», 2007  
© Дизайн книги. Издательство МГГУ, 2007

# ПРЕДИСЛОВИЕ

Настоящий учебник представляет собой курс геодезии для студентов, обучающихся по специальностям геодезического, горного и геологического направлений. Вместе с тем им могут пользоваться и студенты не-геодезических специальностей в соответствии с программами общего курса геодезии и топографии, предусмотренными учебными планами, а также специалисты, выполняющие инженерно-геодезические работы.

Вопросы, рассмотренные в учебнике, являются одними из основных для указанных выше специальностей. В связи с этим изучение многих вопросов, связанных с производством геодезических работ различного назначения, распределено практически на весь период обучения: *геодезические приборы; геодезические работы в строительстве; геодезические разбивочные работы; методы наблюдений за деформациями сооружений; уравнивание геодезических построений* и др. Поскольку учебными планами предусматривается изучение *геодезии* на младших курсах, то авторы при составлении учебника учитывали, что объем подготовки по математике, практическим расчетным работам и др. является недостаточным для полного изложения сравнительно сложных вопросов *геодезии*. По мере учебы на старших курсах возникнет необходимость в решении многих геодезических задач при изучении соответствующих дисциплин, что и потребует знания полного курса высшей математики, математической статистики. К этому времени появятся и практические навыки в производстве и обработке геодезических измерений, которые студенты получают на учебных и производственных геодезических и маркшейдерских практиках. Здесь имеется в виду, что потребность в пользовании настоящим учебником у студентов будет проявляться в течение всего периода обучения.

В вводной части указано, что *геодезия* изучает форму и размеры Земли. В общем, широком смысле слова это так. Вместе с тем *геодезия*, как обобщающее понятие, включает в себя большое число связанных с ней дисциплин. Таких, например, как *инженерная геодезия, топография, картография, аэрофотосъемка, стереофотограмметрия, высшая геодезия, теоретическая геодезия, маркшейдерия, морская геодезия, морская (акваториальная) маркшейдерия* и др. В этом смысле название курса *геодезия* является не совсем правомерным как с точки зрения содержания, так и по объему учебных часов, предусмотренных учебным планом. Поэтому объектом изучения данной дисциплины является сравнительно небольшой круг

вопросов *геодезии*, знание которых необходимо специалистам при выполнении геодезических работ. Основными из них являются: *топографические работы, нивелирные работы, геодезические разбивочные работы, составление топографических планов местности, работа с топографическими картами и планами, уравнительные вычисления.*

На старших курсах геодезических и части горных специальностей изучается дисциплина *фотограмметрия*, являющаяся также одним из разделов геодезии.

Целью изучения дисциплины *геодезия* является получение общего представления о ее задачах и проблемах в целом, получение практических навыков в производстве основных геодезических работ, в обработке результатов измерений и их использовании для решения различных инженерных задач.

В соответствии с содержанием некоторых разделов *геодезии* в настоящем учебнике рассматриваются отдельные вопросы *топографии* и *инженерной геодезии*, а также другие вопросы, необходимые для полного понимания содержания указанных выше дисциплин. Вообще говоря, все перечисленные выше дисциплины правильно было бы назвать со словом «общий» (*общая топография* и т.п.), поскольку сами по себе указанные курсы довольно большие и сложные. Для реализации же цели изучения *геодезии* студентами указанных выше специальностей авторы попытались преподнести основной материал в сжатом виде, проиллюстрировать примерами решения многих геодезических задач, встречающихся на практике. Очевидно, что в таком сжатом по времени курсе невозможно охватить весьма большой круг геодезических задач, которые приходится решать на производстве не только геодезистам, но и маркшейдерам, при проведении геологических поисков и разведки месторождений полезных ископаемых и др. Например, при строительстве инженерных сооружений различного назначения (зданий, мостов, дорог, подземных выработок и т.п.), съемке текущих изменений при открытой и подземной разработке месторождений полезных ископаемых, обслуживании геолого-разведочных предприятий, создании опорной и съемочной сетей местного значения, наблюдениях за деформациями земной поверхности и инженерных сооружений и др. В связи с этим целью настоящего учебника является обучение основным приемам ведения геодезических работ и обработки данных геодезических измерений, а также формирование навыков и умения в решении различных инженерно-геодезических задач в соответствии с действующими на предприятиях методиками, руководствами и инструкциями.

Авторы будут благодарны за все замечания по содержанию учебника, улучшению его качества.

# ОГЛАВЛЕНИЕ

<b>ПРЕДИСЛОВИЕ</b> .....	5
--------------------------	---

## Глава 1

<b>ВВОДНАЯ ЧАСТЬ</b> .....	7
§ 1. Предмет и задачи геодезии.....	9
§ 2. Краткие исторические сведения .....	10
§ 3. Единицы измерений, применяемые в геодезии .....	15
§ 4. Фигура и размеры Земли .....	15
§ 5. Содержание курса и рекомендации по его изучению.....	18

## Глава 2

<b>ТОПОГРАФИЧЕСКИЕ КАРТЫ И ПЛАНЫ</b> .....	23
§ 6. Влияние кривизны Земли на измеренные расстояния .....	25
§ 7. Краткие сведения о картографических проекциях .....	27
§ 8. Общие сведения о топографических картах и планах .....	31
§ 9. Система географических координат .....	34
§ 10. Равноугольная поперечно-цилиндрическая проекция Гаусса—Крюгера.....	36
§ 11. Разграфка и номенклатура топографических карт и планов .....	37
§ 12. Зональная система плоских прямоугольных координат Гаусса .....	43
§ 13. Перевычисление координат из зоны в зону.....	44
§ 14. Система высот .....	47
§ 15. Условные знаки топографических карт и планов .....	49
§ 16. Изображение рельефа на топографических картах и планах .....	51
§ 17. Ориентирование .....	56
§ 18. Решение некоторых задач с использованием топографической карты .....	62
18.1. Измерение расстояний .....	62
18.2. Определение географических и прямоугольных координат.....	66
18.3. Ориентирование линий .....	68
18.4. Ориентирование карты на местности .....	71
18.5. Определение высот точек.....	72
18.6. Построение профиля .....	73
18.7. Построение линии заданного уклона.....	76
18.8. Построение границы водосборного бассейна и зоны затопления.....	78
18.9. Определение площадей на топографических картах и планах.....	80

## Глава 3

### КРАТКИЕ СВЕДЕНИЯ ИЗ ТЕОРИИ ПОГРЕШНОСТЕЙ ИЗМЕРЕНИЙ

.....	87
§ 19. Виды измерений .....	89
§ 20. Классификация погрешностей измерений .....	90
§ 21. Свойства случайных погрешностей .....	92
§ 22. Среднее арифметическое .....	93
§ 23. Средняя квадратическая погрешность .....	94
§ 24. Средние квадратические погрешности функций измеренных величин .....	97
§ 25. Обработка ряда равноточных измерений одной величины .....	100
§ 26. Об учете систематических погрешностей в измерениях .....	103
§ 27. Средняя квадратическая погрешность двойных равноточных однородных измерений .....	105
§ 28. Понятие о весе результата измерения .....	107
§ 29. Средняя квадратическая погрешность единицы веса и арифметической середины .....	110
§ 30. Обработка ряда неравноточных измерений одной величины .....	111

## Глава 4

ГОСУДАРСТВЕННЫЕ ГЕОДЕЗИЧЕСКИЕ СЕТИ .....	113
§ 31. Назначение Государственных геодезических сетей .....	115
§ 32. Классы геодезических сетей .....	116
§ 33. Методы построения Государственных геодезических сетей .....	118
§ 34. Закрепление пунктов геодезических сетей .....	121
§ 35. Оценка точности построения опорных геодезических сетей .....	126
§ 36. Оценка точности построения сетей триангуляции .....	127
§ 37. Оценка точности построения звена полигонометрии .....	132
§ 38. Оценка точности построения сетей трилатерации .....	133

## Глава 5

ГЕОДЕЗИЧЕСКИЕ ПРИБОРЫ .....	135
§ 39. Классификация геодезических приборов .....	137
§ 40. Теодолиты .....	139
§ 41. Зрительные трубы .....	142
§ 42. Уровни и компенсаторы наклона .....	145
§ 43. Устройство теодолита .....	148
§ 44. Установка теодолита в рабочее положение .....	152
§ 45. Измерение горизонтальных углов и углов наклона .....	155

45.1. Способ приемов.....	155
45.2. Способ повторений.....	157
45.3. Способ круговых приемов .....	158
45.4. Измерение углов наклона .....	160
§ 46. Поверки теодолитов .....	161
§ 47. Нивелиры .....	166
§ 48. Устройство нивелира .....	167
§ 49. Нивелирные рейки.....	169
§ 50. Установка нивелира в рабочее положение .....	171
§ 51. Измерение превышений.....	172
§ 52. Поверки нивелиров .....	175
§ 53. Приборы для линейных измерений .....	179
§ 54. Гирскопические приборы .....	184
§ 55. Приборы для поиска подземных коммуникаций .....	188

## Глава 6

### ОПТИКО-ЭЛЕКТРОННЫЕ ГЕОДЕЗИЧЕСКИЕ ПРИБОРЫ .....

<b>ПРИБОРЫ</b> .....	191
§ 56. Общие замечания .....	193
§ 57. Краткие сведения о лазерных источниках излучения .....	194
§ 58. Электромагнитные дальномеры .....	197
§ 59. Светодальномеры .....	199
§ 60. Интерферометры .....	202
§ 61. Угломерные приборы.....	205
§ 62. Электронные тахеометры .....	208
§ 63. Электронные нивелиры .....	215
§ 64. Лазерные приборы .....	216

## Глава 7

### ПОСТРОЕНИЕ СЪЕМОЧНОГО ОБОСНОВАНИЯ .....

§ 65. Назначение и виды теодолитных ходов.....	221
§ 66. Прямая и обратная геодезические задачи на плоскости.....	226
§ 67. Взаимосвязь дирекционных углов с измеренными на местности горизонтальными углами.....	230
§ 68. Привязка теодолитных ходов.....	232
68.1. Способ примыкания.....	232
68.2. Прямая угловая засечка.....	234
68.3. Линейная засечка .....	238
68.4. Обратная угловая засечка.....	241
68.5. Комбинированные засечки.....	247
68.6. Задача П.А. Ганзена .....	249

§ 69. Особые системы теодолитных ходов .....	249
§ 70. Снесение координат с вершины знака на землю .....	252
§ 71. Определение элементов приведения и редукции .....	255
§ 72. Привязка теодолитных ходов к стенным геодезическим знакам .....	259
§ 73. Спутниковые методы определения координат .....	261
§ 74. Организация полевых работ при построении съёмочного обоснования .....	265
74.1. Рекогносцировка и закрепление точек съёмочного обоснования .....	266
74.2. Подготовка абрисов горизонтальной съёмки .....	266
74.3. Поверки теодолита и нивелира .....	267
74.4. Компарирование мерных приборов .....	267
74.5. Измерение длин линий .....	268
74.6. Измерение горизонтальных углов и углов наклона .....	271
§ 75. Вычисления в разомкнутом теодолитном ходе .....	273
75.1. Предварительные вычисления .....	275
75.2. Обработка результатов угловых измерений .....	276
75.3. Вычисление приращений координат и оценка точности хода .....	280
75.4. Рекомендации к поиску вероятных погрешностей в измерениях и вычислениях при обработке ведомости координат .....	282
75.5. Уравнивание приращений координат и вычисление координат точек хода .....	284
75.6. Обработка ведомости высот .....	286
§ 76. Вычисления в замкнутом теодолитном ходе .....	288
76.1. Оценка точности угловых измерений и вычисление дирекционных углов .....	291
76.2. Вычисление приращений координат и оценка точности хода .....	292
76.3. Уравнивание приращений координат и вычисление координат точек хода .....	294
76.4. Обработка ведомости высот .....	294
§ 77. Обработка диагонального хода .....	296

## Глава 8

<b>ТОПОГРАФИЧЕСКИЕ СЪЕМКИ</b> .....	299
§ 78. Назначение и виды топографических съёмок .....	301
§ 79. Понятие о цифровой модели местности .....	303
§ 80. Теодолитная съёмка .....	305
§ 81. Тахеометрическая съёмка .....	308
§ 82. Составление плана местности по результатам топографической съёмки .....	316
82.1. Построение и оцифровка сетки координат .....	317
82.2. Нанесение на план точек съёмочного обоснования .....	319
82.3. Нанесение на план результатов тахеометрической съёмки .....	320
82.4. Рисовка рельефа и ситуации .....	321
82.5. Построение на плане ситуации по результатам теодолитной съёмки .....	322



## Глава 9

<b>НИВЕЛИРНЫЕ РАБОТЫ .....</b>	<b>323</b>
§ 83. Способы и методы нивелирования .....	325
§ 84. Способы геометрического нивелирования .....	328
§ 85. Основные источники погрешностей геометрического нивелирования .....	333
§ 86. Техническое нивелирование .....	337
§ 87. Трассирование .....	340
§ 88. Расчет и разбивка главных точек кривых на трассе .....	342
§ 89. Нивелирование поперечных профилей .....	344
§ 90. Обработка результатов нивелирования трассы .....	346
§ 91. Построение профиля трассы .....	352
§ 92. Построение проектной линии .....	353
§ 93. Построение поперечного профиля и проектного полотна дороги .....	356
§ 94. Нивелирование площадей .....	358

## Глава 10

<b>ГЕОДЕЗИЧЕСКИЕ РАЗБИВОЧНЫЕ РАБОТЫ .....</b>	<b>365</b>
§ 95. Назначение и организация разбивочных работ .....	367
§ 96. Построение на местности проектного горизонтального угла .....	369
§ 97. Построение на местности проектного расстояния .....	371
§ 98. Построение на местности проектных отметок и линий заданного уклона .....	374
§ 99. Способы разбивочных работ .....	379
§ 100. Расчет разбивочных элементов .....	384
§ 101. Разбивочные работы при трассировании .....	391
§ 102. Разбивка фундаментов инженерных сооружений .....	397
§ 103. Оценка точности разбивочных работ .....	399

## Глава 11

<b>ГЕОДЕЗИЧЕСКИЕ РАБОТЫ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ .....</b>	<b>407</b>
§ 104. Общие положения .....	409
§ 105. Краткие сведения об объектах строительства .....	410
§ 106. Геодезические работы при строительстве промышленных сооружений .....	412
§ 107. Геодезические работы при строительстве гражданских зданий .....	417
§ 108. Геодезические работы при строительстве дорог и мостовых сооружений .....	420
§ 109. Геодезические работы при планировании и застройке населенных пунктов .....	425