

КОСМИЧЕСКАЯ ГЕОДЕЗИЯ

*Допущено
Министерством высшего и среднего
специального образования СССР
в качестве учебника
для студентов геодезических
специальностей вузов*



МОСКВА "НЕДРА" 1986

Космическая геодезия: Учебник для вузов/В. Н. Баранов, Е. Г. Бойко, И. И. Краснорылов и др.— М.: Недра, 1986.— 407 с., ил.

Рассмотрены задачи космической геодезии, связь ее с другими дисциплинами. Приведены системы координат и способы их преобразования, современные системы измерения времени. Описаны методы и аппаратура для наблюдений искусственных спутников Земли (ИСЗ). Изложены вопросы теории невозмущенного движения ИСЗ с целью ее дальнейшего использования в динамических задачах космической геодезии, различные возмущающие факторы и их влияние на движение ИСЗ. Даны описания геометрических задач и их классификации. Подробно освещены синхронный метод и автономное определение координат пунктов.

Для студентов геодезических специальностей.

Табл. 23, ил. 88, список лит.— 22 назв.

Авторы: *В. Н. Баранов, Е. Г. Бойко, И. И. Краснорылов, М. М. Машимов, Ю. В. Плахов, М. С. Урмаев, С. Н. Яшкин.*

Рецензенты: *С. Н. Николаев*, доц., канд. техн. наук (Военно-инженерная академия им. В. В. Куйбышева), *Ю. В. Сурнин*, доц., канд. техн. наук (Новосибирский институт инженеров геодезии, аэрофотосъемки и картографии).

ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие	3
Введение	4
РАЗДЕЛ 1.	
СИСТЕМЫ КООРДИНАТ И СИСТЕМЫ ВРЕМЕНИ В КОСМИЧЕСКОЙ ГЕОДЕЗИИ	
Глава 1. Системы координат в космической геодезии	11
§ 1. Инерциальная система отсчета	11
§ 2. Геоцентрические системы координат, вращающиеся вместе с Землей	21
§ 3. Топоцентрические и орбитальные системы координат	29
Глава 2. Системы времени в космической геодезии	36
§ 4. Системы звездного и всемирного времени	36
§ 5. Эфемеридное время	39
§ 6. Атомное время	41
РАЗДЕЛ 2.	
АППАРАТУРА И МЕТОДЫ НАБЛЮДЕНИЙ ИСЗ	
Глава 3. Методы наблюдений ИСЗ	43
§ 7. Особенности наблюдений ИСЗ	43
§ 8. Классификация методов наблюдений ИСЗ и их краткая характеристика	44
Глава 4. Фотографический метод наблюдения	46
§ 9. Особенности применения фотографического метода при наблюдениях ИСЗ	46
§ 10. Аппаратура для фотографических наблюдений	53
§ 11. Измерения координат на снимке. Математическая обработка результатов измерений	67
§ 12. Вычисление топоцентрического направления на ИСЗ	73
Глава 5. Телевизионный метод наблюдения	76
§ 13. Возможности применения телевизионной техники для наблюдения ИСЗ и космических объектов	76
§ 14. Аппаратура, методика наблюдений и обработки результатов	78
§ 15. Комбинированные системы определения координат	84
Глава 6. Применение лазерной техники для наблюдений ИСЗ	86
§ 16. Особенности и возможности лазерно-дальномерных измерений	86
§ 17. Лазерные установки для наблюдений ИСЗ	88
Глава 7. Радиотехнические методы наблюдений	93
§ 18. Радиодальномерные наблюдения ИСЗ	93
§ 19. Доплеровские системы наблюдений ИСЗ	94
§ 20. Радиоинтерференционные методы наблюдений	100
РАЗДЕЛ 3.	
НЕВОЗМУЩЕННОЕ ДВИЖЕНИЕ ИСЗ	
Глава 8. Дифференциальные уравнения невозмущенного движения, их интегрирование и исследования	105
§ 21. Вывод дифференциальных уравнений невозмущенного движения	105
§ 22. Интегрирование дифференциальных уравнений движения	108
§ 23. Исследование невозмущенного движения. Законы Кеплера	111
Глава 9. Элементы орбиты, их связь с постоянными интегрирования, координатами и компонентами скорости ИСЗ	116

§ 24. Элементы орбиты и их связь с постоянными интегрирования	116
§ 25. Динамический интеграл. Третий закон Кеплера	118
§ 26. Основные формулы невозмущенного движения	121
Глава 10. Определение элементов орбиты из наблюдений	123
§ 27. Определение предварительных элементов орбиты ИСЗ из наблюдений	123
§ 28. Понятие о методе уточнения орбит ИСЗ	128

РАЗДЕЛ 4.

ВОЗМУЩЕННОЕ ДВИЖЕНИЕ ИСЗ 131

Глава 11. Дифференциальные уравнения возмущенного движения ИСЗ	131
§ 29. Постановка задачи	131
§ 30. Аналитические основы теории возмущенного движения	133
§ 31. Канонические уравнения Гамильтона	137
§ 32. Уравнения возмущенного движения ИСЗ в координатах	139
§ 33. Уравнения Лагранжа для оскулирующих элементов орбиты	143
§ 34. Уравнения Ньютона для оскулирующих элементов орбиты	146
§ 35. Особенности уравнений Лагранжа и Ньютона	148
Глава 12. Методы приближенного интегрирования дифференциальных уравнений возмущенного движения ИСЗ	150
§ 36. Основные методы приближенного аналитического интегрирования уравнений движения ИСЗ	150
§ 37. Интегрирование канонических уравнений движения	155
§ 38. Основные методы численного интегрирования уравнений возмущенного движения	159
Глава 13. Разложения геоцентрических координат ИСЗ и их функций в ряды	163
§ 39. Постановка задачи	163
§ 40. Тригонометрические разложения	165
§ 41. Разложения по коэффициентам Ганзена	167
§ 42. Сходимость разложений	170
Глава 14. Возмущающие функции и возмущающие ускорения, действующие на ИСЗ	173
§ 43. Постановка задачи	173
§ 44. Возмущающая функция геопотенциала	174
§ 45. Разложение возмущающей функции геопотенциала	176
§ 46. Некоторые другие формы представления геопотенциала, применяемые в космической геодезии	179
§ 47. Негеопотенциальные возмущающие функции	183
§ 48. Составляющие возмущающего ускорения, вызванного атмосферным торможением	189
§ 49. Малые возмущающие факторы	193
Глава 15. Возмущения в движении ИСЗ	194
§ 50. Классификация типов возмущений, вызываемых потенциальными факторами	194
§ 51. Возмущения в движении ИСЗ от потенциальных факторов	196
§ 52. Эволюция орбиты ИСЗ под действием атмосферного торможения	204

РАЗДЕЛ 5.

ГЕОМЕТРИЧЕСКИЕ ЗАДАЧИ КОСМИЧЕСКОЙ ГЕОДЕЗИИ И МЕТОДЫ ИХ РЕШЕНИЯ 207

Глава 16. Схемы построения спутниковой триангуляции и основные уравнения	207
§ 53. Общие принципы использования ИСЗ для определения координат наземных пунктов	207
§ 54. Уравнение плоскости синхронизации и хорды	213

§ 55. Формулы для определения координат вершин некоторых элементарных фигур спутниковой триангуляции	215
Глава 17. Уравнивание спутниковых геодезических сетей	220
§ 56. Виды условий, возникающих в спутниковой триангуляции	220
§ 57. Уравнения поправок в спутниковой триангуляции	231
§ 58. Уравнивание спутниковой триангуляции параметрическим способом	235
§ 59. Уравнивание спутниковой триангуляции коррелятным способом	239
§ 60. Понятие об уравнивании геодезических сетей, построенных орбитальным методом	242
§ 61. Сравнительная характеристика методов построения спутниковой геодезической сети	250
Глава 18. Точность определения пунктов в элементарных фигурах и сетях спутниковой триангуляции	252
§ 62. Задачи и методы априорной оценки точности	252
§ 63. Ошибки определения отдельных элементов спутниковой триангуляции	255
§ 64. Ошибка положения вершины угловой пространственной засечки	259
§ 65. Ошибки положения вершины засечки плоскостей	260
§ 66. Ошибки положения вершин линейных, разностно-дальномерных и комбинированных засечек	262
§ 67. Ошибки положения конечных пунктов ряда космической триангуляции	264
§ 68. Формы приближенной оценки точности положения пунктов в сплошных сетях спутниковой триангуляции	268
Глава 19. Сведения о проектировании спутниковой триангуляции	271
§ 69. Основы проектирования спутниковой триангуляции	271
§ 70. Оптимальные формы отдельных фигур спутниковой триангуляции	273
§ 71. Оптимальные сочетания измерений в сплошных сетях спутниковой триангуляции	278
§ 72. Соображения по проектированию спутниковой триангуляции	282

РАЗДЕЛ 6.

ДИНАМИЧЕСКИЕ ЗАДАЧИ КОСМИЧЕСКОЙ ГЕОДЕЗИИ И МЕТОДЫ ИХ РЕШЕНИЯ

Глава 20. Общие динамические задачи космической геодезии	285
§ 73. Постановка задач	285
§ 74. Вычисление свободных членов уравнений поправок в орбитальном и общем динамическом методах	287
§ 75. Вычисление коэффициентов уравнений поправок в орбитальном и общем динамическом методах	290
§ 76. О решении уравнений поправок общего динамического и орбитального методов	293
§ 77. Определение параметров геопотенциала по возмущениям орбит спутников	295
§ 78. Дополнительные сведения о сущности резонансных возмущений	300
§ 79. Дополнительные сведения об определении коэффициентов долгопных гармоник геопотенциала по резонансным возмущениям	304
Глава 21. Спутниковое нивелирование	306
§ 80. Сущность спутникового нивелирования	306
§ 81. Уравнения спутникового нивелирования	308
§ 82. Вклад спутникового нивелирования в решение задач геодезии	309
Глава 22. Светолокация Луны и радиоинтерферометрические наблюдения космических объектов	311
§ 83. Общие сведения о светолокации Луны	311
§ 84. Уравнения системы Земля—Луна	312
§ 85. Принципы решения уравнений светолокации Луны	314
§ 86. Длиннобазисная радиоинтерферометрия	316

§ 87. Особые случаи радионтерферометрических наблюдений космических объектов	319
Глава 23. Методы решения задач геодинамики	320
§ 88. Геодинамические задачи в геодезии	320
§ 89. Определение параметров динамической фигуры Земли	335
§ 90. Изучение движения полюсов Земли	343
§ 91. Определение высот геоида и изучение топографии морей и Мирового океана	346
Глава 24. Определение основных параметров Земли	350
§ 92. Параметры Нормальной Земли и согласующие формулы	350
§ 93. Определение геоцентрической гравитационной постоянной	354
§ 94. Определение второго гармонического коэффициента геогравитационного потенциала по возмущениям элементов орбиты ИСЗ	356
§ 95. Определение параметров земного эллипсоида вращения	358
§ 96. Определение параметров трехосного земного эллипсоида	360

РАЗДЕЛ 7.

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ, ПОЛУЧЕННЫЕ В КОСМИЧЕСКОЙ ГЕОДЕЗИИ, И ПЕРСПЕКТИВЫ ЕЕ РАЗВИТИЯ . 364

Глава 25. Основные результаты, полученные из наблюдений ИСЗ при решении задач геодезии и теории фигуры Земли	364
§ 97. Международные и национальные программы геодезического применения ИСЗ	364
§ 98. Результаты, полученные геометрическим методом	368
§ 99. Результаты, полученные динамическим методом	371
§ 100. Определение ориентирования систем геодезических координат относительно геоцентрической системы	378
§ 101. Опыты по баллонной триангуляции	380
§ 102. Наблюдения геостационарных ИСЗ	380
Глава 26. Результаты, полученные по наблюдениям ИСЗ и других космических аппаратов в геофизике и астрономии	381
§ 103. Сведения об определении фундаментальных геодезических постоянных	381
§ 104. Данные о вращении Земли	383
§ 105. Геофизические выводы, полученные по наблюдениям ИСЗ и других КА	386
Глава 27. Новые средства космической геодезии и перспективы ее развития 391	391
§ 106. Роль новых средств в решении задач геодезии, геодинамики, астрометрии	391
§ 107. Перспективы развития космической геодезии	397
Список литературы	401
Предметный указатель	402