

# 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
<b>РАЗДЕЛ 1.</b>	
<b>СИСТЕМЫ КООРДИНАТ И СИСТЕМЫ ВРЕМЕНИ В КОСМИЧЕСКОЙ ГЕОДЕЗИИ . . . . .</b>	
<b>Глава 1. Системы координат в космической геодезии . . . . .</b>	<b>11</b>
§ 1. Инерциальная система отсчета . . . . .	11
§ 2. Геоцентрические системы координат, вращающиеся вместе с Землей . . . . .	21
§ 3. Топоцентрические и орбитальные системы координат . . . . .	29
<b>Глава 2. Системы времени в космической геодезии . . . . .</b>	<b>36</b>
§ 4. Системы звездного и всемирного времени . . . . .	36
§ 5. Эфемеридное время . . . . .	39
§ 6. Атомное время . . . . .	41
<b>РАЗДЕЛ 2.</b>	
<b>АППАРАТУРА И МЕТОДЫ НАБЛЮДЕНИЙ ИСЗ . . . . .</b>	
<b>Глава 3. Методы наблюдений ИСЗ . . . . .</b>	<b>43</b>
§ 7. Особенности наблюдений ИСЗ . . . . .	43
§ 8. Классификация методов наблюдений ИСЗ и их краткая характеристика . . . . .	44
<b>Глава 4. Фотографический метод наблюдения . . . . .</b>	<b>46</b>
§ 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
<b>Глава 5. Телевизионный метод наблюдения . . . . .</b>	<b>76</b>
§ 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
<b>Глава 6. Применение лазерной техники для наблюдений ИСЗ . . . . .</b>	<b>86</b>
§ 16. Особенности и возможности лазерно-дальномерных измерений . . . . .	86
§ 17. Лазерные установки для наблюдений ИСЗ . . . . .	88
<b>Глава 7. Радиотехнические методы наблюдений . . . . .</b>	<b>93</b>
§ 18. Радиодальномерные наблюдения ИСЗ . . . . .	93
§ 19. Доплеровские системы наблюдений ИСЗ . . . . .	94
§ 20. Радиоинтерференционные методы наблюдений . . . . .	100
<b>РАЗДЕЛ 3.</b>	
<b>НЕВОЗМУЩЕННОЕ ДВИЖЕНИЕ ИСЗ . . . . .</b>	
<b>Глава 8. Дифференциальные уравнения невозмущенного движения, их интегрирование и исследования . . . . .</b>	<b>105</b>
§ 21. Вывод дифференциальных уравнений невозмущенного движения . . . . .	105
§ 22. Интегрирование дифференциальных уравнений движения . . . . .	108
§ 23. Исследование невозмущенного движения. Законы Кеплера . . . . .	111
<b>Глава 9. Элементы орбиты, их связь с постоянными интегрирования, координатами и компонентами скорости ИСЗ . . . . .</b>	<b>116</b>

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

#### РАЗДЕЛ 4.

#### ВОЗМУЩЕННОЕ ДВИЖЕНИЕ ИСЗ . . . . . 131

<b>Глава 11. Дифференциальные уравнения возмущенного движения ИСЗ</b>	<b>131</b>
§ 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
<b>Глава 12. Методы приближенного интегрирования дифференциальных уравнений возмущенного движения ИСЗ . . . . .</b>	<b>150</b>
§ 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
<b>Глава 13. Разложения геоцентрических координат ИСЗ и их функций в ряды . . . . .</b>	<b>163</b>
§ 39. Постановка задачи . . . . .	163
§ 40. Тригонометрические разложения . . . . .	165
§ 41. Разложения по коэффициентам Ганзена . . . . .	167
§ 42. Сходимость разложений . . . . .	170
<b>Глава 14. Возмущающие функции и возмущающие ускорения, действующие на ИСЗ . . . . .</b>	<b>173</b>
§ 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
<b>Глава 15. Возмущения в движении ИСЗ . . . . .</b>	<b>194</b>
§ 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

<b>Глава 16. Схемы построения спутниковой триангуляции и основные уравнения . . . . .</b>	<b>207</b>
§ 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
<b>Глава 17. Уравнивание спутниковых геодезических сетей . . . . .</b>	<b>220</b>
§ 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
<b>Глава 18. Точность определения пунктов в элементарных фигурах и сетях спутниковой триангуляции . . . . .</b>	<b>252</b>
§ 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
<b>Глава 19. Сведения о проектировании спутниковой триангуляции . . . . .</b>	<b>271</b>
§ 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 . . . . .

<b>Глава 20. Общие динамические задачи космической геодезии . . . . .</b>	<b>285</b>
§ 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 долготных гармоник геопотенциала по резонансным возмущениям . . . . .	304
<b>Глава 21. Спутниковое нивелирование . . . . .</b>	<b>306</b>
§ 80. Сущность спутникового нивелирования . . . . .	306
§ 81. Уравнения спутникового нивелирования . . . . .	308
§ 82. Вклад спутникового нивелирования в решение задач геодезии . . . . .	309
<b>Глава 22. Светолокация Луны и радиоинтерферометрические наблюдения космических объектов . . . . .</b>	<b>311</b>
§ 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
<b>Глава 23. Методы решения задач геодинамики . . . . .</b>	<b>320</b>
§ 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
<b>Глава 24. Определение основных параметров Земли . . . . .</b>	<b>350</b>
§ 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

<b>Глава 25. Основные результаты, полученные из наблюдений ИСЗ при решении задач геодезии и теории фигуры Земли . . . . .</b>	<b>364</b>
§ 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
<b>Глава 26. Результаты, полученные по наблюдениям ИСЗ и других космических аппаратов в геофизике и астрономии . . . . .</b>	<b>381</b>
§ 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
<b>Глава 27. Новые средства космической геодезии и перспективы ее развития 391</b>	<b>391</b>
§ 106. Роль новых средств в решении задач геодезии, геодинамики, астрометрии . . . . .	391
§ 107. Перспективы развития космической геодезии . . . . .	397
Список литературы . . . . .	401
Предметный указатель . . . . .	402