

Содержание

Введение	9
---------------------------	---

ЧАСТЬ 1. НЕБО

Глава 1. Небесные координаты	13
Точки на сфере	13
Небесные широта и долгота	18
Горизонтальная система координат	23
Прямое восхождение и склонение	25

Глава 2. Звезды и созвездия	35
Иллюзии и мифы	35
Околополярные созвездия	37
Весенние созвездия	42
Летние созвездия	49
Осенние созвездия	54
Зимние созвездия	57

Глава 3. Небо «под нами»	62
Южные координаты	62
Зеркальное отражение мифов	68
Южные околополярные созвездия	70
Осенние созвездия южного неба	75
Зимние созвездия южного неба	80
Весенние созвездия южного неба	85
Летние созвездия южного неба	88

Глава 4. Луна и Солнце	94
Луна	94
Солнце	105
Затмения	113

ТЕСТ: ЧАСТЬ 1	120
--------------------------------	-----



Содержание

ЧАСТЬ 2. ПЛАНЕТЫ

Глава 5. Меркурий и Венера	131
Звезды сумерек	131
Знакомство с Меркурием	134
Знакомство с Венерой	136
От Земли к Меркурию	139
От Меркурия к Венере	145
Глава 6. Марс	155
Красная планета	155
Анатомия Марса	158
Жизнь на Марсе	161
Спутники Марса	166
Посадка	170
Глава 7. Внешние планеты	179
Юпитер	179
Сатурн	184
Уран	188
Нептун	194
Плутон и Харон	197
Что такое планета?	200
Глава 8. Земля глазами пришельцев	203
Бело-голубая планета	203
Анатомия Земли	207
ТЕСТ: ЧАСТЬ 2	220

ЧАСТЬ 3. ДИНАМИКА СОЛНЕЧНОЙ СИСТЕМЫ

Глава 9. Эволюция Солнечной системы	231
Несколько слов о вероятности	231
Ранние теории	233
Гелиоцентрическая теория	237
Приливная теория	240
Небулярная теория	241
Глава 10. Крупные спутники внешних планет	249
Крупные спутники Юпитера	249
Крупные спутники Сатурна	254
Крупные спутники Урана	258
Спутники Нептуна и Плутона	262



Глава 11. Кометы, астероиды, метеоры	267
Малые тела	267
Анатомия комет.	272
Портреты комет	276
Камни из космоса	281
Глава 12. Поиски внеземной жизни	291
Что такое жизнь?	291
Жизнь на Земле	294
Связь	303
Формула Грин Бэнк	309
Окончательный ответ	315
ТЕСТ: ЧАСТЬ 3	318

ЧАСТЬ 4. ЗА ПРЕДЕЛАМИ СОЛНЕЧНОЙ СИСТЕМЫ

Глава 13. Звезды и туманности	329
Насколько яркие и далекие?	329
Спектральная классификация	332
Рождение и жизнь звезд.	337
Переменные звезды	340
Анатомия звезд и продолжительность их жизни	342
Звездные скопления.	346
Туманности	348
Глава 14. Необычные объекты нашей Галактики	353
Вещество и антивещество	353
Маленькие, темные и массивные	358
Пульсары.	360
Черные дыры	364
Глава 15. Галактики и квазары	373
Типы галактик	373
Изобилие галактик	377
Межгалактические расстояния.	380
Гигантские черные дыры	386
Глава 16. Частная и общая теории относительности	391
Одновременность	391
Растяжение времени	396
Деформация пространства.	400
Изменение массы	402
Общая теория относительности	405
ТЕСТ: ЧАСТЬ 4	417



Содержание

ЧАСТЬ 5. КОСМИЧЕСКИЕ НАБЛЮДЕНИЯ И ПУТЕШЕСТВИЯ

Глава 17. Оптика и телескопы	429
Основы оптики	429
Линзы и зеркала	434
Телескоп-рефрактор	439
Телескоп-рефлектор	442
Параметры телескопа	444
Что влияет на наблюдения	447
Оснастка телескопа	449
Космический телескоп	452
Глава 18. Наблюдая невидимое	458
Электромагнитные поля	458
Электромагнитный спектр	461
Радиоастрономия	464
Радарная астрономия	471
Инфракрасная астрономия	474
Ультрафиолетовый диапазон и дальше	477
Рентгеновские лучи	481
Глава 19. Путешествия и жизнь в космосе	489
Зачем мы рискуем, отправляясь в космос?	489
Роботы-астронавты	492
Космические двигатели	494
Межпланетное путешествие	500
Межзвездные и межгалактические путешествия	506
Глава 20. Ваша домашняя обсерватория	513
Место, место и еще раз место!	513
Бинокли	516
Выбор телескопа	519
Аксессуары для телескопа	525
Опора, монтировка и привод	534
ТЕСТ: ЧАСТЬ 5	545
Заключительный экзамен	555
Ответы на вопросы, тесты и экзамен	575
Список литературы	578
Предметный указатель	580

*Тиму, Самуэлю и Тони
от дяди Стэна*

Введение

Эта книга предназначена тем, кто хочет познакомиться с основами астрономии, но не собирается заниматься ею профессионально. Кроме того, эта книга может служить дополнительным пособием для школьников. Я советую начинать эту книгу с начала и читать подряд, до конца.

По ходу дела мы совершим несколько «мысленных путешествий». Например, мы совершим «тур» к различным объектам Солнечной системы, опускаясь на борту космолана в атмосферу, а иногда и на поверхность небесных тел. Некоторые детали этих путешествий выдуманы нами, но описание космического корабля и навигационных средств основано на существующих технологиях и астрономических данных.

Эта книга именно об астрономии, а не о космологии. Детальное описание теорий рождения, строения и эволюции Вселенной представлено в отдельных курсах. При описании теории Большого взрыва мы оставили за рамками книги аргументы в ее поддержку или против нее. Здесь приведены основы теории относительности, поскольку эта теория не так уж сложна для понимания простого человека, как обычно считается. Кроме того, обсуждаются космические путешествия и поиски внеземных цивилизаций.

Эта книга содержит массу контрольных вопросов, тестов и заключительный экзамен. Все они содержат варианты ответов и в целом похожи на вопросы стандартных тестов. В конце каждой главы даны простые вопросы. Вы можете обращаться к тексту при выборе ответа на каждый вопрос. Когда вы посчитаете, что готовы пройти тест, напишите на листе бумаги свои ответы и дайте их другу для проверки. Ваш друг должен сказать вам, сколько у вас правильных ответов, но он не должен говорить, на какие вопросы вы ответили неправильно. Верные ответы на все вопросы и тесты приведены в конце книги. Не переходите к следующей главе, пока все ваши ответы по данной главе не станут правильными.

Книга поделена на несколько больших разделов. В конце каждого раздела приведены многовариантные тесты. После того как вы разо-



Введение

брались со всеми главами раздела и правильно ответили на вопросы, приведенные в каждой главе данного раздела, попробуйте пройти тест. Тест раздела нужно пройти, не заглядывая в книгу. Вопросы не трудные и не требуют больших усилий. Если вы правильно ответили на три четверти вопросов, то вы успешно прошли тест. Верные ответы на вопросы теста вы тоже сможете найти в конце книги.

Там же, в конце книги, приведен заключительный экзамен. Его вопросы более практические и простые, чем вопросы к отдельным главам. Когда вы ознакомитесь со всеми главами и разделами, пройдите этот экзамен. Если вы правильно ответили на 75% вопросов, то сдали экзамен успешно.

Будет очень хорошо, если с тестами разделов и заключительным экзаменом вам поможет ваш друг. Но он не должен говорить вам, на какой вопрос вы ответили неправильно. В этом случае вы не сможете механически запомнить ответы. Каждый тест и заключительный экзамен можно пройти несколько раз. По результатам этих проверок вы поймете, что уже усвоено твердо, а над чем еще нужно поработать.

Я рекомендую вам тратить на каждую главу по неделе. Для этого вам нужно будет потратить примерно по часу в день. Не торопитесь! Для освоения материала требуется время. Но не нужно и тянуть. Выберите нужный темп и держитесь его. В этом случае вы пройдете курс за несколько месяцев. (Как ни крути, нет ничего лучше *хороших привычек*.) Одолев весь курс, вы сможете использовать эту книгу, с ее подробным тематическим указателем, как справочник.

БЛАГОДАРНОСТИ

Иллюстрации к этой книге сделаны с помощью программы CorelDRAW. Некоторые репродукции любезно предоставлены Coral Corporation, 1600 Carling Avenue, Ottawa, Ontario, Canada K1Z 8R7.

Я искренне благодарен Линде Уильямс за техническую помощь в работе над рукописью.

Глава 1

Небесные координаты

Интересно, что думали доисторические люди о небе? Возникали у них вопросы, почему Солнце и Луна движутся по-разному? А почему звезды движутся совсем по-иному? Почему картина звездного неба меняется с течением времени? Почему некоторые звезды блуждают среди других? Почему иногда Солнце быстро бежит по небу, а порою ползет по нему еле-еле. Прикреплены ли Солнце, Луна и звезды к куполу над Землей или они свободны в своем движении? Находятся ли одни объекты намного дальше других?

Люди, жившие за тысячу поколений до нас, не имели количественных представлений о небе. За прошедшие несколько тысячелетий мы усовершенствовали астрономические измерения и в научном, и в техническом отношении. А помогли нам в этом математика и геометрия.

Точки на сфере

Совершенно естественно предположить, что небо — это купол или сфера, в центре которой расположены мы, наблюдатели. Такое предположение всегда использовалось и используется астрономами для определения положения объектов на небе. С позиции математики определить положения точек на сфере не так-то просто. Мы можем обернуть глобус куском клетчатой бумаги и аккуратно перенести на сферу сетку прямоугольных координат. Но лучше использовать специальные методы определения положения точек на сфере, а значит, и точек на небе.

МЕРИДИАНЫ И ПАРАЛЛЕЛИ

Вы наверняка видели глобус Земли и заметили на нем линии *долготы* и *широты*. Каждая точка на глобусе имеет свою широту и долготу. А каждая такая линия — это полукруг или целый круг, окружающий Землю.



ЧАСТЬ 1 Небо

Линии долготы называют *меридианами*; они представляют собой полуокружности с центрами, совпадающими с центром Земли (рис. 1.1А). Концы этих дуг сходятся в двух точках, одна из которых называется *северным географическим полюсом*, а вторая — *южным географическим полюсом*. Каждая точка Земли, за исключением Северного и Южного полюсов, имеет свою долготу.

Линии широты, называемые *параллелями*, являются полными окружностями, за исключением Северного и Южного полюсов. Центры всех параллелей расположены на *оси вращения Земли* (рис. 1.1Б),

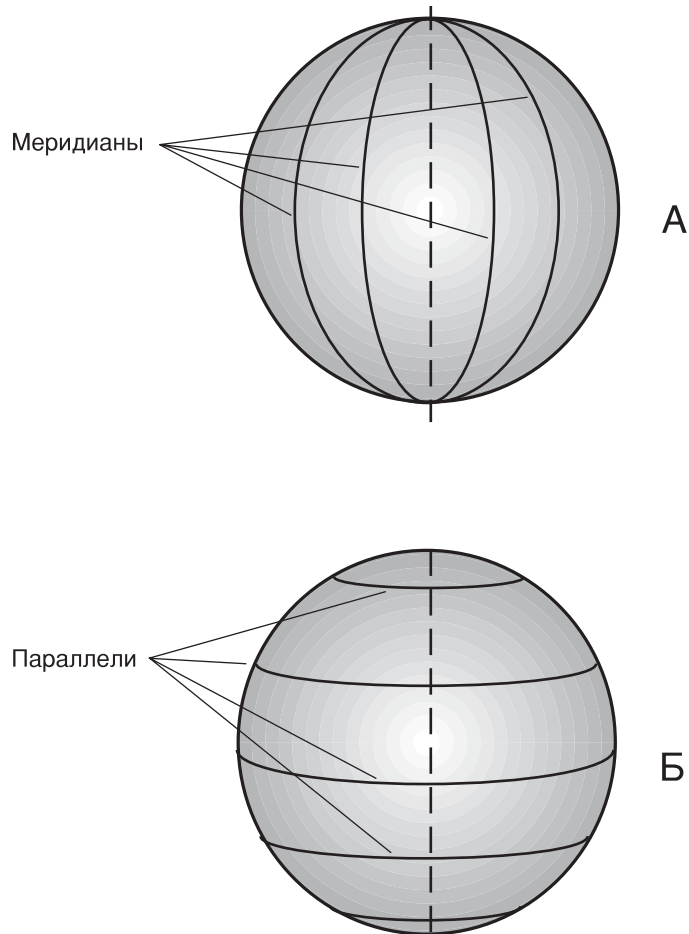


Рис. 1.1. На рис. А показаны линии долготы, называемые также меридианами. На рис. Б — линии широты, называемые параллелями.



линии, соединяющей Северный и Южный полюсы. *Экватор* — самая длинная параллель; выше и ниже ее параллели становятся все короче и короче. Вблизи полюсов окружности широты крошечные, а на полюсах они превращаются в точки.

Все меридианы и параллели поделены на отрезки, называемые *градусами*, и указаны их значения между определенными верхним и нижним пределами.

ГРАДУСЫ, МИНУТЫ, СЕКУНДЫ

В полной окружности 360 градусов. Но почему же 360, а не более круглое число, например, 100 или 1000, и не 256 или 512, которые можно делить пополам до тех пор, пока не получим единицу?

Нет никаких сомнений, что древние люди знали о том, что в году примерно 360 дней и что расположение звезд на небе повторяется каждый год. А год похож на круг. Множество знакомых нам явлений повторяется из года в год: явления погоды, движение Солнца по небу, продолжительность дней, расположение звезд на закате. Возможно, какой-то жрец решил, что число 360, приблизительно равное количеству дней в году, как раз и есть то число, которое нужно использовать для угловых измерений, поделив на него окружность.



Рис. 1.2. В полной окружности 360°.



ЧАСТЬ 1 Небо

И тогда люди могли сказать, что звезды сдвигаются каждую ночь приблизительно на 1 градус. Так ли было на самом деле или нет, не имеет значения, разные культуры руководствовались своими понятиями. Но мы пользуемся градусом, представляющим собой $1/360$ часть окружности (рис. 1.2), нравится нам это или нет.

Для астрономических измерений только градусов не достаточно. То же самое можно сказать и о географии. На поверхности Земли 1 градус широты соответствует примерно 111 км. При указании расположения большого района этой точности достаточно, но, чтобы указать положение маленького местечка, городского квартала или же отдельного дома, этого не достаточно. В астрономии градусов достаточно для определения положения Солнца, Луны или ярких звезд, но для определения положения неярких звезд, далеких галактик, туманностей или квазаров нужны более мелкие единицы измерения. Поэтому градусы разделили на *минуты дуги*, равные $1/60$ градуса. В свою очередь, каждая минута делится на 60 *секунд дуги*. При очень точных измерениях используют десятичные доли секунды.

Давайте подробнее поговорим об определении долготы и широты на земной поверхности. Если возможно, поставьте перед собой глобус.

ШИРОТА

На уроках по географии вы узнали, что широта измеряется от 90 градусов южной широты до 90 градусов северной широты. Северный географический полюс имеет широту 90 градусов северной широты, а Южный — 90 градусов южной широты. Оба полюса лежат на земной оси. Экватор расположен посередине и имеет широту 0 градусов. Северное полушарие содержит все окружности северной широты, а Южное — все окружности южной широты. При увеличении широты к северу или югу от экватора длина соответствующей окружности становится все меньше. Длина экватора, т. е. длина окружности Земли, составляет около 40 000 км. На широте 45 градусов длина окружности равна примерно 28 000 км. На широте 60 градусов длина окружности равна половине длины экватора, или примерно 20 000 км. На широте 90 градусов окружности превращаются в точку нулевой длины. Каждый круг широты лежит в плоскости, пересекающей Землю. Все эти плоскости параллельны друг другу, поэтому круги широты называют *параллелями*. Каждая параллель, за исключением полюсов, состоит из бесконечного множества точек, принадлежащих этому кругу; все эти точки имеют одинаковую широту.

Широта любой точки не может превышать 90 градусов к югу или к северу. Если бы существовали точки с большей широтой, то по-



лучилась бы неоднозначность: окружность «100 градусов северной широты» соответствовала бы окружности «80 градусов северной широты», а окружность «120 градусов южной широты» соответствовала бы окружности «60 градусов южной широты». В лучшем случае это может сбить с толку, так как каждой точке на Земле можно было бы присвоить не одну широтную координату. А в худшем случае штурманы могут проложить ошибочный курс.

Идеальной системой координат считается система с однозначным соответствием между точками пространства и их координатами. Каждая точка на Земле должна иметь одну и только одну пару координат широта — долгота. И наоборот, каждой паре широта — долгота в принятой области значений должна соответствовать единственная точка на поверхности Земли. Математики признают только такую точность и, в отличие от любителей парадоксов, не любят неопределенность и неоднозначность. Часто используют сокращенное обозначение координат. Например, сорок пять градусов северной широты записывают как 45 градусов с. ш. или 45° с. ш. Шестьдесят три градуса южной широты записывают как 63 градуса ю. ш. или 63° ю. ш. Минуты дуги сокращают до «мин» или используют значок ('). Секунды сокращают до «сек» или используют знак ("). Таким образом, 33 градуса 12 минут и 48 секунд северной широты можно записать как 33 градуса 12 мин 48 сек с. ш. или $33^\circ 12' 48''$ с. ш.

В качестве упражнения попробуйте найти эту параллель на глобусе. Затем найдите свой город и определите его примерную широту. Сравните полученный результат с широтами разных городов. Вы удивитесь, узнав, что Французская Ривьера лежит на широте г. Портленда в штате Мэн.

ДОЛГОТА

Долгота измеряется к востоку и к западу до 180 градусов. В середине этого интервала лежит точка с нулевой долготой. Линия, проходящая через точки с нулевой долготой, называется *начальным* (или «нулевым») *меридианом*; он проходит через Гринвич, неподалеку от Лондона, в Англии. (Несколько столетий назад, когда географы, лексикографы, астрономы, священнослужители и другие «сильные мира сего» выбирали город, через который должен проходить начальный меридиан, они чуть было не выбрали Париж во Франции.) Начальный меридиан называют еще *Гринвичским меридианом*. Он служит точкой отсчета всех долгот. Все дуги полуокружностей, представляющих собой меридианы, равны и составляют примерно 20 000 км (половина окружности Земли от полюса до полюса). *Восточное полушарие* содержит все восточные линии долгот, а *Западное полушарие* — все западные линии долгот.



ЧАСТЬ 1 Небо

Не бывает долготы большей, чем 180 градусов к востоку или к западу. И это объясняется так же, как и в случае с широтой. Если бы существовала такая точка, ее долгота могла бы определяться неоднозначно. Например, точка «200 градусов западной долготы» совпала бы с точкой «160 градусов восточной долготы», а 270 градусов восточной долготы совпали бы с 90 градусами западной долготы. Для любой точки достаточно одного значения долготы, два значения — это уже перебор. Долгота 180 градусов может считаться как западной, так и восточной, поэтому ее называют просто «долготой 180 градусов». Линия, проходящая примерно по долготе 180 градусов, была названа международной *линией перемены даты*, в основном она проходит по западной части Тихого океана, избегая населенных пунктов.

Для долготы, как и для широты, существует возможность сокращенной записи. Например, сто градусов западной долготы можно записать как «100 градусов з. д.» или «100° з. д.». Пятнадцать градусов восточной долготы будут записаны как «15 градусов в. д.» или «15° в. д.». Когда требуется большая точность, используют минуты и секунды дуги. Если вы нашли место на 103 градусах, 33 минутах и 7 секундах западной долготы, то вы запишите эту координату как «103 градуса 33 мин 7 сек з. д.» или «103° 33′ 07″ з. д.».

Найдите упомянутую выше полуокружность долготы на глобусе. Затем найдите место вашего жительства и определите его долготу. Сравните ее с долготами разных мест на Земле. Как и в случае с широтой, вы будете удивлены. Например, долгота Чикаго гораздо западнее, чем у любого места в Южной Америке.

Небесные широта и долгота

Широта и долгота небесного объекта определяются широтой и долготой точки на земной поверхности, при наблюдении из которой этот объект в данный момент виден точно в *зените*, то есть прямо над головой*.

* Во избежание недоразумений следует иметь в виду, что автор далее употребляет термины «небесная широта/долгота» (celestial latitude/longitude) не в том смысле, какой они обычно имеют в астрономии. Чтобы облегчить читателю переход от географических координат к небесным, автор проецирует широтно-долготную сетку с поверхности Земли на небесную сферу и называет полученные координаты «небесной широтой» и «небесной долготой». Но в профессиональной астрономии эти термины (а также их синонимы — астрономическая широта/долгота, эклиптическая широта/долгота, солнечная широта/долгота) используются в эклиптической системе координат, главной плоскостью которой служит не земной экватор, а плоскость земной орбиты — эклиптика. — *Прим. перев.*



ЗВЕЗДЫ

Возьмем звезду с координатами x градусов северной небесной широты и y градусов западной небесной долготы. Если вы стоите в точке поверхности, соответствующей x° с. ш. и y° з. д., то бесконечно длинный прямой луч, исходящий из центра Земли и проходящий между вашими глазами, будет нацелен в сторону звезды (рис. 1.3).

Как вы, наверное, догадываетесь, любая звезда, находящаяся в зените, вскоре уйдет из него, если вы, конечно, не стоите на полюсах, что маловероятно. Земля вращается относительно звезд, совершая полный оборот примерно за 23 часа и 56 минут. Довольно скоро звезда из зенита сдвинется к западу. Этот эффект усиливается, когда вы смотрите в телескоп. Чем больше увеличение, тем заметнее вращение Земли.

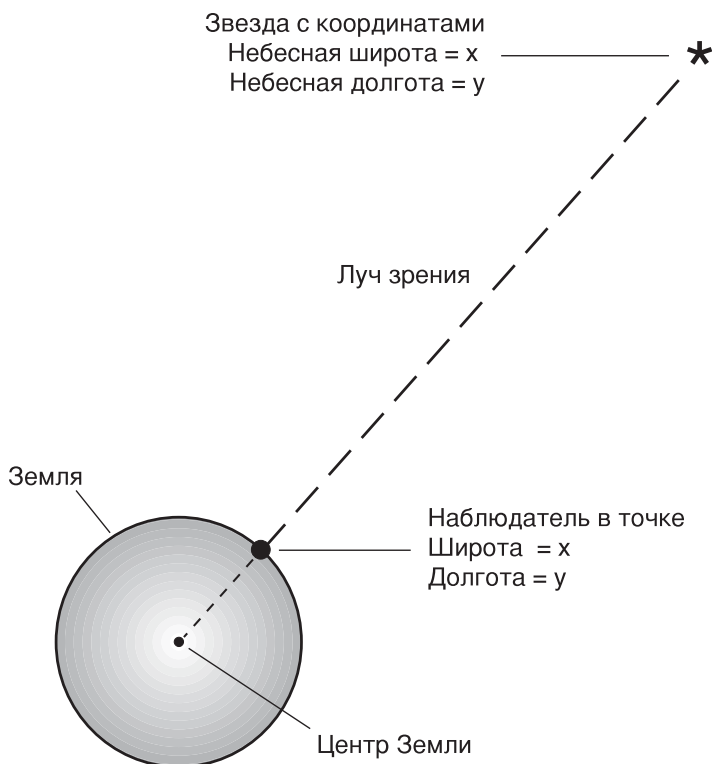


Рис. 1.3. Небесные широта и долгота.



ЧАСТЬ 1 Небо

Когда будет возможность, поставьте телескоп и направьте его на звезду в зените. Чтобы добиться большого увеличения, используйте самый короткофокусный окуляр. Поместите звезду в центр поля зрения. Если звезда находится точно в зените, то ее широта и долгота будут соответствовать вашей. Например, если ваша широта равна приблизительно 39° с. ш., а долгота — 120° з. д., то координаты звезды, находящейся у вас над головой и помещенной в центр поля зрения, будут такими же. Но эта ситуация очень недолговечна. Вскоре вы заметите, что звезда смещается в поле зрения. Теоретически звезда на данной небесной долготе остается в течение очень короткого времени; в сущности, она вообще не стоит на месте. А небесная широта каждой звезды остается постоянной и в течение нескольких минут, и в течение нескольких часов, и даже в течение нескольких дней. Только на протяжении нескольких столетий небесная широта звезд постепенно меняется из-за медленного колебания земной оси. Но для обычного наблюдателя этот эффект незаметен.

КАКОЙ СМЫСЛ?

Поскольку наша планета вращается вокруг своей оси, небесная долгота любого небесного объекта (исключая Северный и Южный географические полюсы) совершает круг вокруг Земли. Поэтому неудивительно, что многие века люди считали Землю центром Вселенной. По этой причине небесная широта и долгота оказываются непригодными для независимого от времени определения положения звезд. Какой толк от этих координат, если они реальны лишь на одно мгновение в течение каждых 23 часов 56 минут? Для теоретиков, может быть, они и пригодны, но как их использовать обычному наблюдателю?

Впрочем, система координат «широта — долгота» совсем не бесполезна. Разобравшись в этой системе координат, вам будет легче понять более важные координатные системы, описанные в следующем разделе. Фактически только одна важная группа небесных объектов сохраняет свои небесные широту и долготу при наблюдении из любой точки земной поверхности. Это геостационарные спутники, движущиеся по строго определенной орбите вокруг нашей планеты и образующие вокруг нее рукотворное кольцо. Эти спутники располагаются на расстоянии нескольких десятков тысяч километров над экватором, вращаясь в ту же сторону, что и поверхность Земли, и с тем же периодом (рис. 1.4).

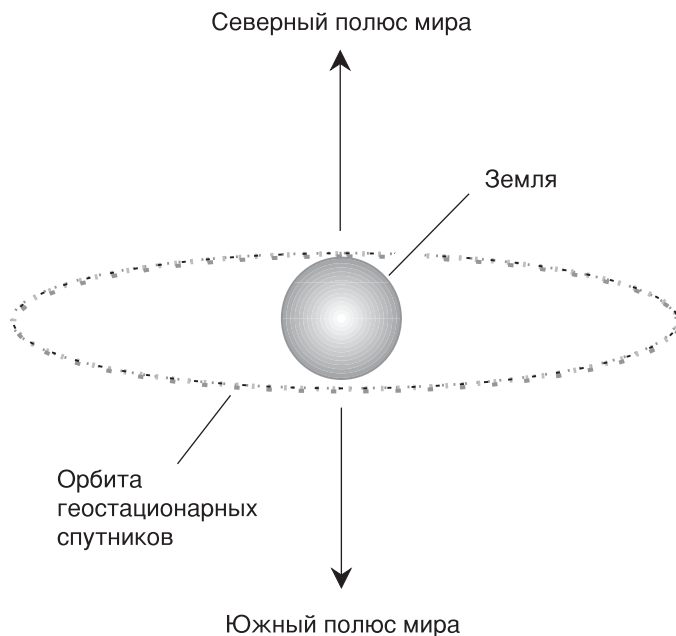


Рис. 1.4. Все геостационарные спутники имеют небесную широту, равную 0 , и каждый из них имеет постоянную долготу.

Когда нужно установить тарелку антенны для приема сигналов цифрового телевидения или широкополосного Интернета с геостационарного спутника, его координаты, как и координаты вашего места жительства, должны быть известны очень точно. Небесная широта и долгота каждого геостационарного спутника постоянны для данного места на Земле. Если спутник находится на геостационарной орбите над каким-то конкретным местом, то он будет находиться там в любой момент времени.

Пользователь Интернета, нуждающийся в широкой полосе, живя в далеких экваториальных джунглях Южной Америки, может использовать тарелку антенны для передачи и приема информации через спутник, находящийся прямо над ним. Тарелка должна быть направлена в точку зенита и закреплена. (В доньшке тарелки нужно сделать дырку, чтобы сливалась дождевая вода!) Второй пользователь Интернета — на берегу озера Тахо, на западе Соединенных Штатов, — должен направить свою антенну туда же, но наклонив ее к югу. Третий пользователь — на Огненной Земле,



ЧАСТЬ 1 Небо

самом кончике Южной Америки, — должен наклонить свою антенну к северу (рис. 1.5). После установки ни одну из этих трех антенн уже нельзя трогать.

Если вы сообразительны, то должны были заметить, что, поскольку геостационарный спутник находится над экватором, его небесная долгота равна нулю только для наблюдателя, находящегося на экваторе. Если посмотреть на спутник с севера от экватора, спутник немного сдвигается в Южное полушарие, и наоборот —

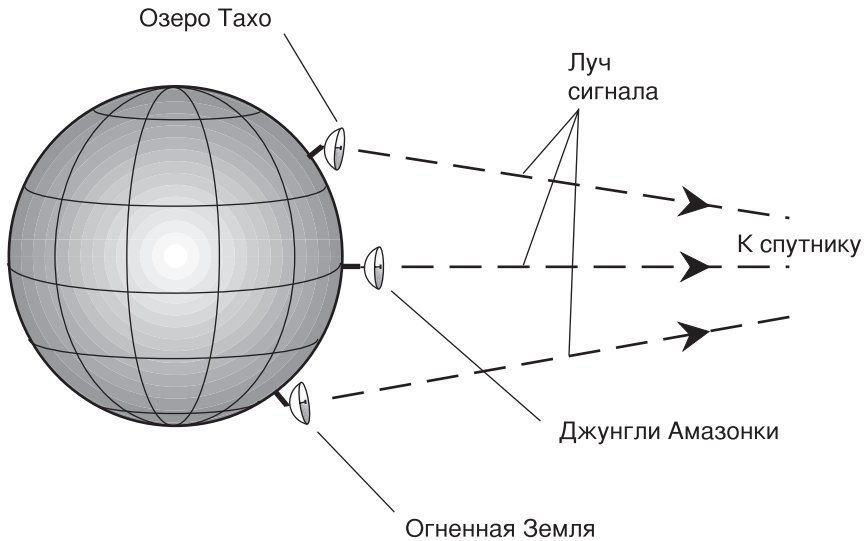


Рис. 1.5. Геостационарный спутник имеет постоянную широту и долготу, поэтому спутниковую антенну можно направить на него и жестко закрепить.

когда смотришь на него с юга, он сдвигается к северу. Причиной этого служит *параллакс*. Спутник находится на высоте всего несколько десятков тысяч километров, в то время как звезды, небесная долгота которых остается постоянной, расположены на расстояниях в триллионы и квадрильоны километров. Как раз поэтому на рисунке 1.5 линии, указывающие направление на спутник, не параллельны. На малых расстояниях, при бинокулярном зрении, параллакс позволяет нам почувствовать глубину. На больших расстояниях параллакс используют для определения расстояний до Солнца, Луны, планет Солнечной системы и даже до ближайших звезд.



Горизонтальная система координат

В течение веков мореплаватели и наблюдатели пользовались системой небесных координат, которая в чем-то проще системы небесных широт и долгот, а в чем-то сложнее. Это так называемая горизонтальная система координат, которую называют также системой азимут/высота.

НАПРАВЛЕНИЕ ПО КОМПАСУ

Азимут небесного объекта — это направление, определенное по компасу в градусах, на точку горизонта, находящуюся как раз под небесным объектом. Нужно мысленно на небе провести линию вниз от объекта до ее пересечения под прямым углом с горизонтом. Точка пересечения как раз и укажет азимут объекта. Если объект находится прямо над головой, то его азимут невозможно определить.

Азимутальный угол измеряется по ходу движения часовой стрелки от направления на север. Угол может меняться от 0 градусов (север) до 90 градусов (восток) и далее до 180 градусов (юг), до 270 градусов (запад) и до 360 градусов, но не включая эту точку (опять север). Все это показано на рис. 1.6А. Азимутальный угол в 360 градусов исключается для того, чтобы избежать двусмысленности. Поэтому область определения значений представляет собой то, что математики называют полуоткрытым интервалом. Азимутальный угол меньше или больше чем 0 или 360 градусов приводится к значению в полуоткрытом интервале $[0^\circ, 360^\circ)$ добавлением или вычитанием величины, кратной 360 градусам.

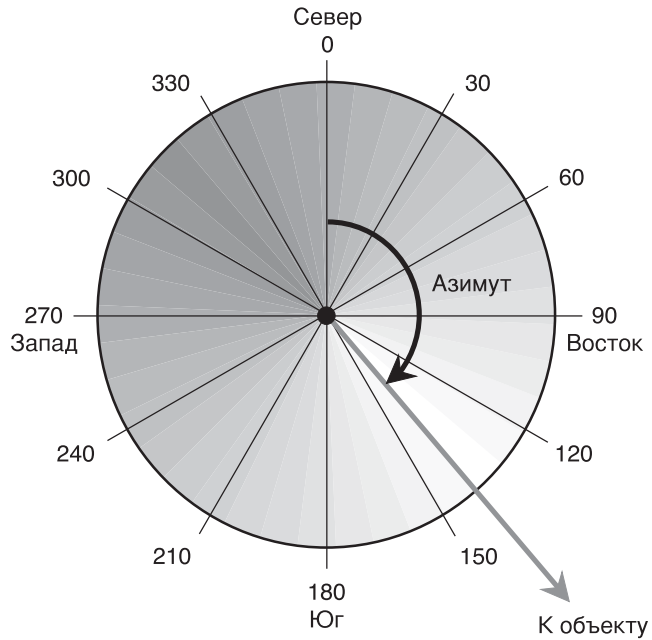
УГОЛ ОТНОСИТЕЛЬНО ГОРИЗОНТА

Высотой небесного объекта называется угол (измеренный в градусах), стягиваемый воображаемой дугой, соединяющей объект с горизонтом и пересекающей его под прямым углом. Если объект виден на горизонте, этот угол равен 0 градусов, а в случае, когда объект в зените, этот угол равен 90 градусам. Если рельеф местности неровный, то горизонт определяется как окружность, проходящая посередине между зенитом и *надиром* (точкой, находящейся под вами, которая была бы зенитом, если бы вы стояли на противоположной стороне планеты).

Угол высоты измеряется от горизонта вверх (рис.1.6Б). По международному соглашению такие координаты не должны превышать

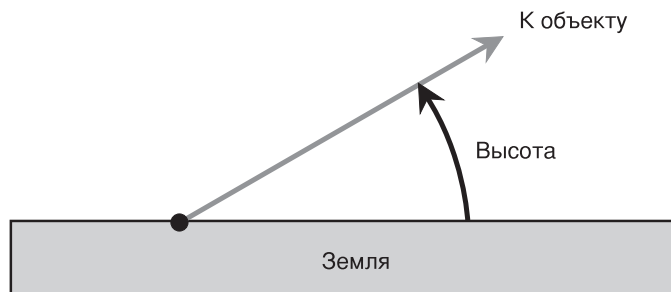


ЧАСТЬ 1 Небо



А

Рис. 1.6А. Азимут — это направление по компасу. Наблюдатель изображен в виде черной точки в центре.



Б

Рис. 1.6Б. Высота — это угол над горизонтом. Наблюдатель изображен в виде черной точки.



90 градусов, иначе возникает неоднозначность. Хотя сейчас вам это и не нужно, но угол высоты может меняться и от 0 до -90 градусов. Такую высоту могут иметь объекты под горизонтом. Хотя мы и не видим эти объекты, они все равно находятся там. Например, ночью у Солнца отрицательная высота. Значения высоты заключены в закрытом интервале $[-90^\circ, 90^\circ]$.

КАРТЫ НЕБА В СЕТИ

Различные сайты в Интернете предлагают карты неба на данный момент для наблюдателей. Один из лучших сайтов в этом смысле можно найти по адресу <http://www.wunderground.com>. Здесь нужно войти в раздел «Astronomy», и там уже вы сможете посмотреть на изображение неба в реальном времени.

На некоторых звездных картах небо представлено так, как вы видели бы его, лежа на спине ногами к югу и головой к северу. Тогда запад оказывается справа от вас, а восток слева (рис. 1.7А). Другие карты дают картину неба, которую вы увидели бы, лежа головой к югу, а ногами к северу; тогда запад оказался бы слева, а восток справа (рис. 1.7Б). Точки с одинаковой высотой образуют концентрические круги с центром в зените (90° — точка в центре карты) и горизонтом в виде большого круга на периферии карты (0°). Простая *координатная сетка* для таких карт показана на обоих рисунках 1.7.

На этих картах показаны Солнце и Полярная звезда так, как они были бы видны в послеполуденное время из места, расположенного вблизи озера Тахо* (или какого-то другого места на Земле с той же широтой). Серой линией представлена траектория Солнца по небу в этот день. По этому рисунку вы можете попытаться определить, какое время года представляет эта карта. Попробуйте решить эту задачу. Дадим две подсказки:

- Солнце восходит точно на востоке и заходит точно на западе.
- Представленная ситуация может соответствовать любой из двух дат.

Прямое восхождение и склонение

В каждом году есть два момента, когда высота центра солнечного диска положительна в течение 12 часов и отрицательна в течение точно такого же времени. Одним из этих моментов является *весеннее*

* На территории России аналогов озеру Тахо, а также Индианополису и округу Вашингтон (39° с.ш.) нет. В Европе можно указать Афины, Лиссабон, Палермо. В Средней Азии — Душанбе, Ашхабад. В России, с некоторой натяжкой, — Владивосток и Грозный, а с еще большей — Сочи, Краснодар, Астрахань. — *Прим. перев.*



ЧАСТЬ 1 Небо

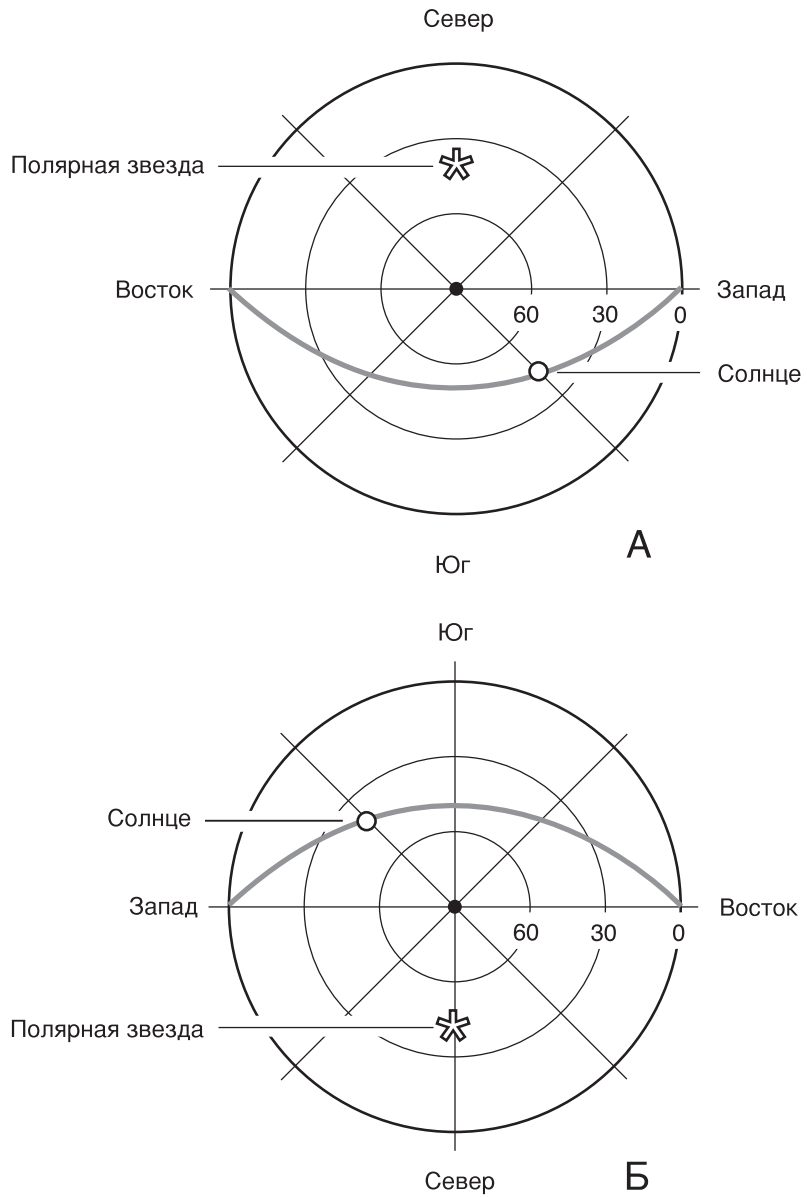


Рис. 1.7. Карты с координатами азимут/высота для наблюдателя, лежащего на спине. На рисунке А наблюдатель лежит головой к северу, на рисунке Б — головой к югу.



равноденствие, приходящееся на 21 марта плюс-минус одни сутки; а второй момент — *осеннее равноденствие*, наступающее 22 сентября плюс-минус один день. В моменты равноденствий Солнце находится точно на небесном экваторе; оно восходит точно на востоке, а заходит точно на западе, при этом предполагается, что наблюдатель не находится ни на одном из географических полюсов.

Грубые карты неба на рис. 1.7 показывают ситуацию во время одного из равноденствий. Это день около 21 марта или 22 сентября. Вы можете сделать такое заключение, исходя из того, что Солнце восходит точно на востоке и заходит точно на западе, то есть оно располагается на небесном экваторе. На широте озера Тахо Солнце в полдень равноденствия находится на угловом расстоянии 39° от зенита (на 51° выше южного горизонта). Полярная же звезда все время находится на высоте 39° над северным горизонтом. Все небо вращается против движения часовой стрелки вокруг Полярной звезды.

ТОЧКА ВЕСЕННЕГО РАВНОДЕНСТВИЯ

Мы уже говорили, что во время равноденствий Солнце 12 часов находится над горизонтом и 12 часов — под ним. Звезды на небе совершают полный круг вращения вокруг Земли примерно за 23 часа и 56 минут. Откуда же в сутках берутся еще 4 минуты?

А берутся они оттого, что Солнце движется по небу немного медленнее звезд. Каждый день Солнце немного сдвигается к востоку относительно звезд. 21 марта Солнце находится на небесном экваторе, в определенной точке, которая называется *точкой весеннего равноденствия*. Она служит начальной точкой отсчета в системе координат, наиболее часто употребляемой астрономами. Координатами в этой системе являются *прямое восхождение* (α) и *склонение* (β). Начиная с этого момента, восход Солнца относительно звезд каждый день запаздывает на 4 минуты. *Сидерический* (звездный) день равен 23 часам и 56 минутам, а *синодический* (солнечный) день составляет ровно 24 часа. Мы используем в быту солнечное время.

Склонение похоже на небесную широту, но вместо северного и южного оно бывает положительным и отрицательным. Южный небесный полюс имеет склонение -90° , склонение на экваторе равно 0° , а северный небесный полюс имеет склонение, равное $+90^\circ$ *. На ри-

* Астрономы обычно называют небесные полюсы, вокруг которых происходит кажущееся вращение небосвода, «полюсами мира». Далее и мы будем называть их так же. — *Прим. перев.*



ЧАСТЬ 1 Небо

сунке 1.7 склонение Солнца равно 0° , ситуация здесь соответствует 21 марта. Эта точка на небесной сфере имеет нулевое значение прямого восхождения ($\alpha = 0$ час). После прохождения точки весеннего равноденствия Солнце поднимается все выше и выше, и значения его склонения и прямого восхождения увеличиваются. Значение прямого восхождения отсчитывается от точки весеннего равноденствия к востоку и измеряется в часах. Полный круг прямого восхождения занимает 24 часа; таким образом, 1 час, обозначаемый как 1 h или 1^h , равен 15 угловым градусам.

Годовой круг солнца

Весной Солнце с каждым днем все дольше и дольше остается над горизонтом, быстро поднимаясь все выше и выше. Сразу после весеннего равноденствия изменения очень быстрые, но с приближением дня летнего солнцестояния изменения постепенно замедляются. Летнее солнцестояние происходит 22 июня плюс-минус один день.

В день летнего солнцестояния Солнце достигает своей наивысшей точки в Северном полушарии, при этом его $\delta = +23,4^\circ$. К этому времени Солнце совершило четвертую часть своего годового круга среди звезд и его $\alpha = 6^h$. Эта ситуация представлена на рисунке 1.8, где опять использована система координат азимут/высота. Серая линия показывает траекторию Солнца на небе. Как и на рисунке 1.7, время послеполуденное. Географическая широта наблюдателя — 39° с. ш.

После летнего солнцестояния склонение Солнца начинает убывать, сначала медленно, а затем все быстрее и быстрее. К концу сентября наступает осеннее равноденствие, и Солнце опять оказывается на небесном экваторе. Но теперь, в отличие от весеннего равноденствия, оно дрейфует не с юга на север, а с севера на юг. В точке осеннего равноденствия прямое восхождение Солнца равно 12^h , что соответствует 180° .

В Северном полушарии наступает осень, и дни становятся все короче и короче. Солнце с каждым днем все меньше находится над горизонтом, и его путь по небу проходит все ниже и ниже. В начале осени изменения происходят быстро, но затем, ближе к зимнему солнцестоянию, они замедляются. Зимнее солнцестояние наступает 21 декабря плюс-минус один день.

В момент зимнего солнцестояния склонение Солнца имеет максимальное отрицательное значение и равно — $23,4^\circ$. Солнце к этому времени уже прошло три четверти годового «круга», и его $\alpha = 18^h$. Эта ситуация показана на рисунке 1.9, где использована та же си-

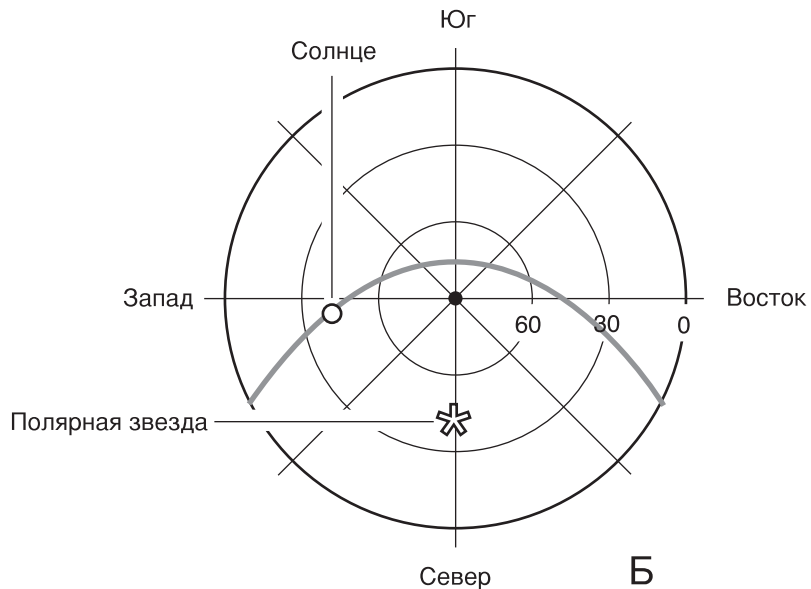
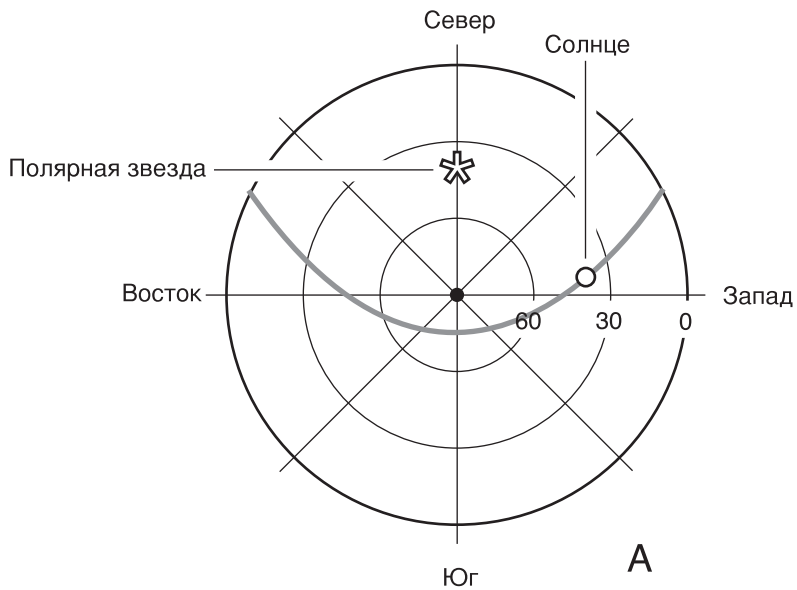


Рис. 1.8. Карты неба с координатами азимут/высота для местности на широте 39° с. ш. в середине второй половины дня примерно 21 июня.



ЧАСТЬ 1 Небо

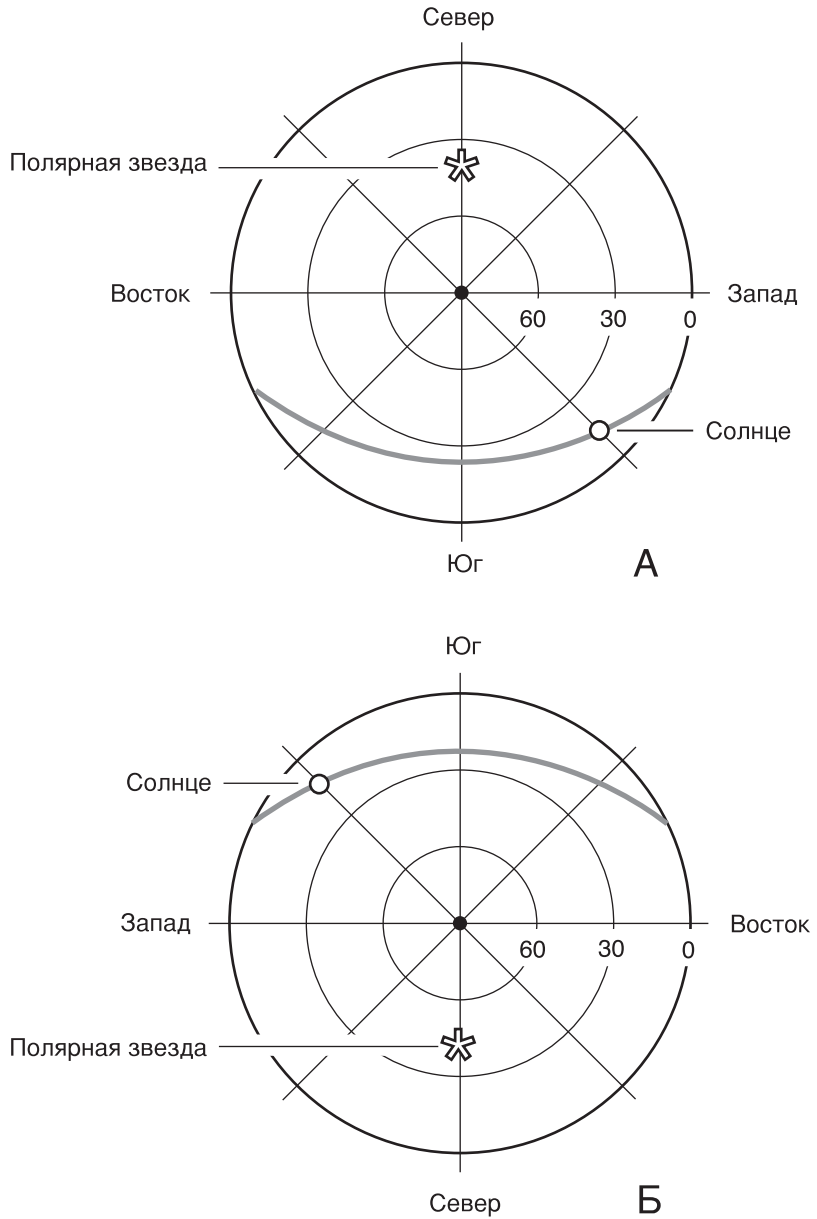


Рис. 1.9. Карты неба с координатами азимут/высота для местности на широте 39° с. ш. в середине второй половины дня примерно 21 декабря.



стема координат, что и на рисунках 1.7 и 1.8. Серой линией показан путь Солнца по небу. И здесь, как и на предыдущих рисунках, время послеполуденное. И наблюдатель никуда не перемещался, а если и уехал, то в точку с той же географической широтой, равной 39° (зимой лучше уехать куда-нибудь, скажем, на Азорские острова).

После зимнего солнцестояния склонение Солнца начинает увеличиваться, сначала очень медленно, а затем все быстрее и быстрее. К концу марта Солнце вновь добирается до точки весеннего равноденствия, пересекает небесный экватор, принося вместе с новой весной тепло в Северное полушарие. Годовой круг Солнца завершен. И для завершения этого круга Солнцу понадобилось около 365 суток и 6 часов, что и считается продолжительностью года в современных календарях. Но относительно звезд Земля делает один «лишний» оборот; получается один дополнительный звездный день, который набегают за счет того, что звездные сутки короче солнечных.

ЭКЛИПТИКА

Путь Солнца по небу относительно звезд в течение года представляет собой наклонный небесный круг, называемый *эклиптикой*. Вообразите орбиту Земли вокруг Солнца: это эллипс (вытянутый круг, о нем мы поговорим позже), и лежит этот эллипс в плоскости, называемой *плоскостью эклиптики*, которая наклонена на $23,4^\circ$ к плоскости земного экватора. Если бы можно было сделать плоскость эклиптики видимой, то она выглядела бы как проходящая по небу тонкая линия, пересекающая небесный экватор в точках равноденствий и имеющая максимальное удаление от экватора в Северном полушарии в точке летнего солнцестояния, а в Южном полушарии — в точке зимнего солнцестояния. Если вы бывали в планетарии, то должны были видеть эклиптику, изображенную на искусственном небе. На эклиптику наносят значения прямого восхождения, началом отсчета служит точка весеннего равноденствия, а значения α увеличиваются справа налево.

Предположим, что вы перевели небесную систему широт и долгот в проекцию Меркатора, как это делают с земными картами, на которых параллели и меридианы представлены в виде прямых линий. На такой карте эклиптика будет выглядеть как синусоидальная волна с максимумом на $+23,4^\circ$ (летнее солнцестояние), минимумом на $-23,4^\circ$ (зимнее солнцестояние) и двумя узлами (точками пересечения экватора) в каждом из равноденствий. Все это показано на рис. 1.10. Из рисунка видно, что количество дневных часов и скорость передви-