

И.С. ПАХДУЛ •

И.С.Пандул

АСТРОНОМИЧЕСКИЕ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПО СОЛНЦУ

для географов,
геологов
и топографов



И. С. Пандул

**АСТРОНОМИЧЕСКИЕ
ОПРЕДЕЛЕНИЯ
ПО СОЛНЦУ
ДЛЯ ГЕОГРАФОВ,
ГЕОЛОГОВ
И ТОПОГРАФОВ**



МОСКВА «НЕДРА» 1983

Пандул И. С. *Астрономические определения по Солнцу для географов, геологов и топографов.* М., Недра, 1983. 128 с.

Кратко, общедоступно и вместе с тем строго научно рассмотрены вопросы определения по Солнцу географических координат и астрономических (истинных) азимутов направлений. Для определения широт, долгот и азимутов экспедиционной степени точности в книге содержатся все необходимые таблицы для вычислений. Приведена постоянная эфемериды Солнца, которой можно пользоваться до 2015 г. включительно. Материал излагается так, что для практического освоения предлагаемых методов не требуется предварительного обучения геодезической астрономии.

Для геологов, географов, геофизиков, топографов и геодезистов, занимающихся определениями местоположения и азимутов по Солнцу.

Табл. 45, ил. 11, прил. 9

Рецензент — канд. физ.-мат. наук *Н. П. Годисов* (ГАО АН СССР)

Игорь Садукович Пандул

**Астрономические определения по Солнцу
для географов, геологов и топографов**

Редактор издательства Т. С. Корниенко
Обложка художника А. Е. Чучканова
Художественный редактор Е. Л. Юрковская
Технические редакторы Т. А. Герчикова, Л. Г. Лаврентьева
Корректор А. А. Передерникова
ИБ № 5357

Сдано в набор 20.04.83. Подписано в печать 29.08.83. Т-18421.
Формат 84 × 108¹/₃₂. Бумага типографская № 2. Гарнитура „Литературная“.
Печать выская. Усл.-печ. л. 6,72. Уч.-изд. л. 7,0. Усл. кр.-отт. 7,1.
Тираж 7500 экз. Заказ 3147/9192-15. Цена 35 коп.

Ордена «Знак Почета» издательство «Недра», 103633, Москва, К-12, Третьяковский проезд, 1/19

Ордена Октябрьской Революции и ордена Трудового Красного Знамени
Первая Образцовая типография имени А. А. Жданова Союзполиграфпрома
при Государственном комитете СССР по делам издательств, полиграфии и
книжной торговли. Москва, М-54, Валовая, 28.

П 1902020000—389
043(01)—83 115—83

© Издательство «Недра», 1983

Предисловие

Современные темпы роста народного хозяйства СССР определяют широкое изучение природы и ее естественных богатств. В настоящее время среди геологов, географов, геофизиков, топографов, изыскателей значительно возрос интерес к независимому определению координат. Знание широты и долготы места необходимо для привязки геологических обнажений, профилей, скважин, геофизических точек при гравиметрической и магнитометрической съемках, в морской геологии, для вычисления азимута направления. При наличии топографической карты их значения можно взять с нее. При отсутствии карты надо уметь хотя бы приближенно определять широту и долготу при помощи астрономических наблюдений.

При малом числе контуров на местности возникает задача ориентирования и привязки топографических съемок, выполненных в условной системе координат. Астрономическое ориентирование применяется также при крупномасштабных съемках, когда съемочная сеть опирается на один пункт триангуляции или когда отсутствует взаимная видимость между опорными пунктами (уничтожены наружные знаки и ориентирные пункты).

Знание астрономических азимутов позволяет определять магнитные склонения и поправки бусселей в полевых условиях, а также дает возможность независимой разбивки магистральных линий.

Определение азимутов — хороший контроль угловых измерений в теодолитных ходах, прокладываемых при линейных изысканиях направлений трасс значительной протяженности. Изыскания направлений трасс — основной элемент составления проектно-сметной документации. Ошибки в этих работах неизбежно приводят к увеличению сроков строительства и объемов работ. Значительное место при этом занимают вопросы усиления контроля работ и уменьшения накопления ошибок в магистральных теодолитных ходах, для чего производится их привязка к пунктам Государственной геодезической сети. При удалении пунктов от будущей трассы или при их отсутствии для ориентирования сторон хода и для контроля угловых измерений через каждые 15—25 км астрономическими методами опре-

деляют азимуты. Эти методы в практике линейных изысканий находят все более широкое применение.

Гиротеодолиты широкого применения для этих целей пока не получили из-за сложности аппаратуры, громоздкости аккумуляторов и трудности транспортировки. В высоких широтах гироскопическое ориентирование становится практически невозможным. Однако методы астрономического и гироскопического ориентирования не исключают, а дополняют друг друга.

В книге рассматриваются способы определения широт, долгот и азимутов по Солнцу с точностью $\pm 5-10''$ и грубее. Астрономические определения по Солнцу просты и не требуют особых навыков, кроме умения работать с теодолитом. Кроме теодолита, для производства астрономических определений по Солнцу надо иметь хорошие часы (лучше хронометр), радиоприемник, наружный термометр, барометр-анероид и Астрономический ежегодник СССР (АЕ) (Л., Наука). Астрономические определения по Солнцу относятся к разряду приближенных, но в большинстве случаев при работах прикладного характера они обеспечивают удовлетворительную точность.

Первая глава книги не заменяет курса геодезической астрономии — в ней собраны сведения, которые должен знать каждый исполнитель, имеющий среднее техническое образование. Примеры вычислений в книге — учебные, они пересчитаны на 1984 г. В конце книги приведены таблицы, необходимые для вычислений приближенных значений широты, поправки хронометра и азимута направления.

Прежде чем начать практическую работу по астроопределениям, надо внимательно прочитать соответствующие главы книги, проанализировать цель отдельных действий и приготовить все необходимые приборы. Запись в журнале наблюдений необходимо вести аккуратно шариковой ручкой или карандашом. Не следует вести черновые записи на отдельных листках бумаги, так как при переписывании часто появляются ошибки.

Глава I.

Сведения по астрономии

§ 1. Географическая система координат

Физическая фигура Земли, образованная твердой оболочкой суши и невозмущенной поверхностью морей и океанов, близка к эллипсоиду вращения с малым полярным сжатием. Земной эллипсоиду вращения с малым отличием от сферы. Разность длин большой и малой полуосей меридионального эллипса составляет всего 21,4 км, т. е. около 0,3% длины экваториального радиуса.

В первом приближении Землю можно аппроксимировать сферой, равновеликой по объему земному эллипсоиду с радиусом, равным 6371,1 км. Центр сферы расположен в центре масс реальной Земли. В такой шарообразной модели Земли радиусы представляют направления отвесных линий. Ось вращения Земли является геометрической осью географической системы координат. При пересечении с земной поверхностью она

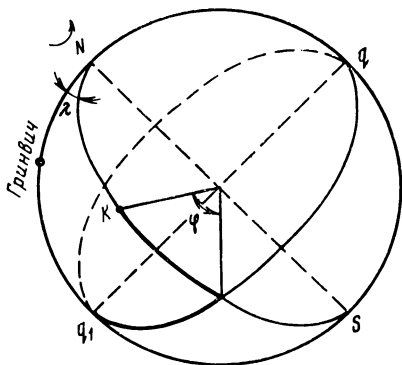


Рис. 1

образует две точки: Северный N и Южный S географические полюсы Земли (рис. 1). Плоскость qq_1 , проходящая через центр Земли перпендикулярно к оси вращения, называется плоскостью земного экватора; плоскости NKS , проходящие через ось вращения, — плоскости земных меридианов. При пересечении со сферой, представляющей поверхность Земли, они образуют соответственно экватор и земные, или географические, меридианы. Малые круги, параллельные земному экватору, называют географическими параллелями. На поверхности земного шара можно провести бесчисленное множество географических меридианов и параллелей.

Координаты любой точки земной поверхности однозначно определяются по отношению к двум взаимно перпендикулярным основным координатным кругам. В географической системе координат основными кругами являются земной экватор и начальный (нулевой) меридиан. На международной конференции в Вашингтоне в 1884 г. за начальный меридиан был принят географический меридиан астрономической обсерватории Гринвич. Положение точки на земной поверхности указывается двумя координатами: географической широтой φ и географической долготой λ .

Географическая широта — угол между отвесной линией, проходящей через данную точку Земли, и плоскостью экватора.

Иначе географическую широту можно охарактеризовать как сферическое расстояние по дуге меридиана от экватора до данной точки. Широты считаются к северу и к югу от экватора и изменяются от 0 до 90°. Пункты земной поверхности с равными широтами находятся на одной географической параллели.

Географическая долгота — сферический угол при географическом полюсе между начальным меридианом и меридианом данной точки, который измеряется двугранным углом между плоскостями этих меридианов.

Иначе географическую долготу можно представить как дугу экватора между начальным меридианом и меридианом данной точки. Пункты земной поверхности, имеющие одну и ту же долготу, расположены на одном меридиане.

Долготы отсчитывают к востоку O или к западу W от начального меридиана. Долготу к востоку от Гринвича считают положительной, а к западу — отрицательной. Условимся в данной книге придерживаться этого правила*, сопровождая численное значение долготы соответствующей буквой W или O . Значения долгот выражают в градусной (λ) или в часовой (I) мере. В часовой мере окружность в 360° делится на 24 равные части (часа). Угол в один час (h) делится на 60 мин (m), а угол в одну минуту — на 60 с (s). Еди-

* В иностранной литературе и в некоторой отечественной, например в Астрономическом ежегоднике СССР, долготы считаются положительными к западу от Гринвича и отрицательными к востоку.

ницы часовой меры углов не следует смешивать с одинаковыми по названию и обозначению единицами меры времени, так как углы и промежутки времени — разнородные величины. Часовая мера углов имеет простые соотношения с градусной мерой:

1^h	соответствует	15° ;	1°	соответствует	4^m ;
1^m	"	$15'$;	$1'$	"	4^s ;
1^s	"	$15''$;	$1''$	"	$1/15^s$.

Для перевода величины углов из часовой меры в градусную и обратно существуют таблицы (табл. V в АЕ или прил. I этой книги).

Географические координаты иногда называют астрономическими по способу их определения.

§ 2. Экваториальные координаты светил

Положение небесных тел удобно определять в экваториальной системе координат. Представим себе, что небо — это огромная сфера, в центре которой находится Земля. Приняв небо за сферу, мы можем мысленно построить на ней координатную сетку, сходную с сеткой меридианов и параллелей на земном шаре. Если продолжить линию, проходящую через Северный и Южный полюсы Земли, до пересечения с воображаемой небесной сферой, то получатся диаметрально противоположные точки Северного P и Южного P_1 полюсов мира (рис. 2). Линия PP_1 называется осью мира и является геометрической осью экваториальной системы координат. Продолжив плоскость земного экватора, пока она не пересечет небесную сферу, получим на сфере линию небесного экватора.

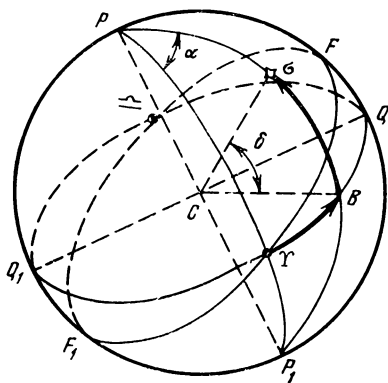


Рис. 2

Земля вращается вокруг своей оси с запада на во-

сток, и полный ее оборот составляет одни сутки. Наблюдателю на Земле кажется, что небесная сфера со всеми видимыми светилами вращается вокруг оси мира в противоположном направлении, т. е. с востока на запад. Нам кажется, что Солнце ежедневно вращается вокруг Земли: утром оно восходит над восточной частью горизонта, а вечером заходит за горизонт на западе. В дальнейшем мы будем рассматривать вместо действительного вращения Земли вокруг оси суточное вращение небесной сферы. Оно происходит по ходу часовой стрелки, если смотреть со стороны Северного полюса мира.

Зрительно представить себе небесную сферу легче, если взглянуть на нее снаружи, как показано на рис. 2. Кроме того, на ней показан след пересечения плоскости земной орбиты, или плоскости эклиптики, с небесной сферой. Земля совершает полный оборот по орбите вокруг Солнца за один год. Отражением этого годичного обращения является видимое годичное движение Солнца по небесной сфере в той же плоскости, т. е. по эклиптике $F \rightarrow F_1 \Upsilon$. Каждые сутки Солнце перемещается среди звезд по эклиптике к востоку примерно на один градус дуги, совершая полный оборот за год. Эклиптика пересекается с небесным экватором в двух диаметрально противоположных точках, называемых точками равноденствий: Υ — точка весеннего равноденствия и — — точка осеннего равноденствия. Когда Солнце бывает в этих точках, то везде на Земле оно восходит точно на востоке, заходит точно на западе, а день и ночь равны 12 ч. Такие сутки называются равноденствиями, и приходятся они на 21 марта и 23 сентября с отклонением от этих дат не менее одних суток.

Плоскости географических меридианов, продолженные до пересечения с небесной сферой, образуют в пересечении с ней небесные меридианы. Небесных меридианов бесчисленное множество. Среди них необходимо выбрать начальный аналогично тому, как на Земле принят за нулевой — меридиан, проходящий через Гринвичскую обсерваторию. За такую линию отсчета в астрономии принят небесный меридиан, проходящий через точку весеннего равноденствия и именуемый кругом склонения точки весеннего равноденствия. Небесные меридианы, проходящие через места положения светил, называются кругами склонений этих светил,

В экваториальной системе координат основными кругами являются небесный экватор и круг склонения точки Υ . Положение любого светила в этой системе координат определяется прямым восхождением и склонением.

Прямое восхождение α — это сферический угол при Полюсе мира между кругом склонения точки весеннего равноденствия и кругом склонения светила, считаемый в сторону, противоположную суточному вращению небесной сферы.

Прямое восхождение измеряется дугой небесного экватора от точки весеннего равноденствия до круга склонения светила против хода часовой стрелки. Оно выражается всегда в часовой мере от 0^h до 24^h . Точка Υ , как и все светила, участвует в суточном вращении небесной сферы, поэтому α не зависит от суточного вращения небесной сферы.

Склонение светила δ — угол с вершиной в центре сферы S между плоскостью небесного экватора и направлением на светило. Измеряется склонение соответствующей дугой круга склонения от небесного экватора до места светила. Если светило находится в северной полусфере (к северу от небесного экватора), его склонению приписывают наименование N , а если в южной — наименование S . При решении астрономических задач знак плюс придают величине склонения, одноименной широте места наблюдения. В Северном полушарии Земли северное склонение считают положительным, а южное склонение — отрицательным. Склонение светила может изменяться от 0 до $\pm 90^\circ$. Склонение каждой точки небесного экватора равно 0° . Склонение Северного полюса мира равно 90° .

Любое светило совершает в течение суток полный оборот вокруг Полюса мира по своей суточной параллели совместно с небесной сферой, поэтому δ , как и α , не зависит от ее вращения. Но если светило имеет дополнительное движение (например, Солнце или планета) и перемещается по небесной сфере, то его экваториальные координаты изменяются.

Значения α и δ отнесены к наблюдателю, как бы находящемуся в центре Земли. Это позволяет пользоваться экваториальными координатами светил в любом месте Земли.

§ 3. Горизонтальная система координат

Центр небесной сферы можно перенести в любую точку пространства. В частности, мы можем его совместить с точкой пересечения основных осей теодолита. В таком случае отвесная линия в пункте стояния инструмента (рис. 3) будет служить геометрической

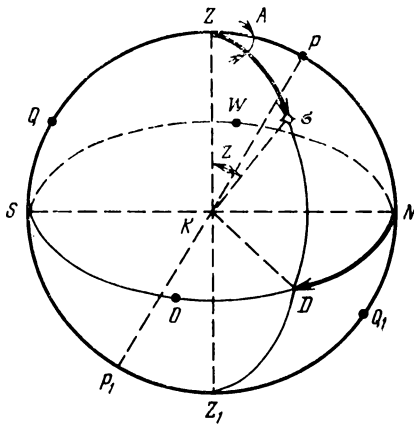


Рис. 3

осью ZZ_1 горизонтальной системы координат. В пересечении с небесной сферой отвесная линия образует точку зенита Z над головой наблюдателя. Плоскость, проходящая через центр небесной сферы перпендикулярно направлению отвесной линии, называется плоскостью истинного горизонта и в пересечении с поверхностью небесной сферы образует круг истинного горизонта $NOSW$.

Здесь для обозначения

стран света принята традиционная в нашей стране транскрипция: N (норд), S (зюйд), W (вест) и O (ост), что позволяет сохранить привычное звучание этих названий.

Через отвесную линию можно провести бесчисленное множество вертикальных плоскостей. В пересечении с поверхностью небесной сферы они образуют большие круги, именуемые вертикалами. Любой вертикал проходит через точку зенита и сферически перпендикулярен к истинному горизонту. Вертикал $Z\sigma Z_1$, проходящий через местоположение светила, называют вертикалом светила.

Ось мира PP_1 в данном случае можно охарактеризовать как линию, параллельную оси вращения Земли. Тогда плоскость небесного экватора QQ_1 будет параллельна плоскости земного экватора. Вертикал, проходящий через Полюс мира PZP_1 , является одновременно небесным меридианом места наблюдения, или меридианом наблюдателя. Меридиан наблюдателя

(его также называют истинный, небесный, астрономический меридиан) делит небесную сферу на восточную и западную половины. Линия пересечения плоскости меридиана наблюдателя с плоскостью истинного горизонта называется полуденной линией. Ближайшая к Северному полюсу мира точка пересечения полуденной линии с небесной сферой называется точкой севера N , а диаметрально противоположная — точкой юга S . Линия WO пересекает полуденную линию в центре сферы под прямым углом. Вертикал, который проходит через точки востока и запада, называют первым вертикалом. Его плоскость перпендикулярна плоскости меридиана наблюдателя. Небесную сферу обычно изображают так, что плоскость меридиана наблюдателя совпадает с плоскостью чертежа.

Основными координатными кругами в горизонтной системе служат истинный горизонт и меридиан наблюдателя. По первому из этих кругов система получила свое название. Координатами места светила в этой системе являются азимут и зенитное расстояние.

Азимут светила A — сферический угол при точке зенита между меридианом наблюдателя и вертикалом светила. В астрономии принято отсчитывать азимуты от южной части меридиана наблюдателя, но так как в конечном итоге астрономические азимуты направлений определяются для геодезических целей, то удобнее принять в этой книге сразу геодезический счет азимутов. Они измеряются дугами истинного горизонта от точки севера до вертикала светила по ходу часовой стрелки в сторону востока в круговом счете, т. е. от 0 до 360° .

Зенитное расстояние светила z — угол при центре сферы между направлением в зенит и направлением на светило. Зенитное расстояние измеряется дугой вертикала светила от точки зенита до места светила. Зенитное расстояние всегда положительно и изменяет величину от 0 до 180° .

Вращение Земли вокруг своей оси с запада на восток вызывает видимое суточное вращение светил вокруг полюса мира вместе со всей небесной сферой. Это видимое вращение противоположно вращению планеты, т. е. для наблюдателя в Северном полушарии Земли небесная сфера вращается с востока на запад (по ходу часовой стрелки, если смотреть на небесную сфе-

Часовой угол светила t — сферический угол при Северном полюсе мира между южной частью меридиана наблюдателя и кругом склонения светила.

Сферический угол $ZP\delta$ называют часовым потому, что из-за вращения Земли вокруг своей оси он изменяется пропорционально течению времени.

Часовой угол измеряется дугой небесного экватора от его верхней точки Q_1 , лежащей на меридиане наблюдателя, до круга склонения светила по ходу часовой стрелки (через W). Часовой угол t , как и склонение α , выражается всегда в часовой мере и изменяется в течение суток от 0^h до 24^h . Суточное вращение небесной сферы в первом приближении примем равномерным. Следовательно, и часовые углы светил возрастают равномерно, пропорционально времени.

Если мы часовой угол точки весеннего равноденствия Υ обозначим через t_r , то, как видно на рис. 4,

$$t_r = \alpha + t.$$

В момент верхней кульминации точки весеннего равноденствия ее часовой угол $t_r = 0^h$. За промежуток времени, именуемый звездными сутками, точка весеннего равноденствия совершает один полный оборот вокруг полюса мира и достигает кульминации в меридиане наблюдателя. Следовательно, t_r служит мерой времени в системе измерения интервалов времени, условно называемой звездным временем. Обозначим местное звездное время через s . Тогда $t_r = s$ и

$$s = \alpha + t.$$

(1)

Это одна из важных астрономических формул, которая называется основной формулой звездного времени. В момент верхней кульминации любого светила его $t = 0^h$ и, следовательно, местное звездное время численно равно прямому восхождению этого светила. По заданному местному времени s и известному из АЕ прямому восхождению α можно вычислить часовой угол t любого светила.

Дуги меридиана наблюдателя, круга склонений и вертикала светила образуют на сфере параллактический треугольник с вершинами в Полюсе мира P , зените Z и месте светила σ . Параллактический

треугольник связывает между собой горизонтные и экваториальные координаты светила. Кроме того, он связывает их с географическими координатами места наблюдения. Элементы параллактического треугольника (см. рис. 4); стороны $PZ=90^\circ-\varphi$; $P\sigma=90^\circ-\delta$; $Z\sigma=z$ (зенитное расстояние); углы $PZ\sigma=360^\circ-A$; $ZP\sigma=t$; $P\sigma Z=q$ (параллактический угол). Применяя к этому треугольнику основные формулы сферической тригонометрии, имеем

$$\cos z = \sin \varphi \sin \delta + \cos \varphi \cos \delta \cos t, \quad (2)$$

$$\sin \delta = \sin \varphi \cos z + \cos \varphi \sin z \cos A, \quad (3)$$

$$\operatorname{ctg} A = \sin \varphi \operatorname{ctg} t - \operatorname{tg} \delta \cos \varphi \operatorname{cosec} t. \quad (4)$$

Эти формулы позволяют решать задачи по определению φ , λ и A . Широта φ входит в формулы непосредственно, долгота места наблюдения λ взаимосвязана с часовым углом светила t . Выше указывалось, что часовой угол светила отсчитывают к востоку от меридиана наблюдателя. Так как плоскость меридиана наблюдателя совпадает с плоскостью географического меридиана места наблюдения, то в один и тот же физический момент часовые углы одного и того же светила для наблюдателей, находящихся на разных меридианах, будут различны. Очевидно, что разность местных часовых углов светила в один и тот же физический момент времени равна разности долгот $t_2 - t_1 = \lambda_2 - \lambda_1$. Если принять $\lambda_1 = 0$, то $t_1 = t_{\text{гр}}$ ($t_{\text{гр}}$ — часовой угол этого светила на меридиане Гринвича). Принимая $\lambda_2 = \lambda$ и $t_2 = t$, получим $t - t_{\text{гр}} = \pm \lambda \Big|_{\text{в}}^{\circ}$ т. е. местный часовой угол светила отличается от гринвичского на значение долготы места наблюдения.

§ 5. Системы измерения времени

В основу измерения времени положены сутки — время полного оборота Земли вокруг своей оси. Период этого обращения может быть получен путем наблюдений двух последовательных верхних или нижних кульминаций точки весеннего равноденствия Υ или Солнца. В соответствии с выбранной точкой отсчета можно рассматривать звездные или солнечные сутки как единицы измерения двух разных систем счета времени. Обычно эти системы измерения для краткости условно

называют звездным или солнечным временем. Звездные сутки — это промежуток времени между двумя последовательными верхними кульминациями точки весеннего равноденствия Υ на одном и том же меридиане. Звездные сутки делятся на 24 звездных часа, час — на 60 звездных минут, а минута — на 60 звездных секунд. Поскольку началом звездных суток является момент верхней кульминации точки Υ на меридиане данного места наблюдения, то в каждом пункте Земли будет свое звездное время s , называемое местным звездным временем. Звездное время на меридиане Гринвичской обсерватории называется гринвичским звездным временем и обозначается буквой S . Звездное время широко применяется в астрономии, но в обыденной жизни оно неудобно, так как не связано с Солнцем, относительно которого строится распорядок жизни людей. Начало звездных суток приходится в течение года на разное время дня и ночи.

Другая система измерения времени основана на видимом суточном движении Солнца, центр диска которого называют истинным Солнцем. Промежуток времени между двумя последовательными нижними кульминациями истинного Солнца называется истинными сутками. Из-за неравномерности видимого годичного движения Солнца по эклиптике продолжительность истинных суток в течение года неодинакова. Поэтому возникла необходимость измерять время не истинными, а средними сутками. Для определения продолжительности средних суток пришлось прибегнуть к фиктивному «среднему Солнцу». Среднее Солнце — это воображаемая точка, которая равномерно движется по небесному экватору в том же направлении, в котором истинное Солнце движется по эклиптике. Среднее Солнце движется с такой скоростью, что полный оборот по небесному экватору оно совершает в точно такой же годичный промежуток времени, что и неравномерно перемещающееся по эклиптике истинное Солнце. Промежуток времени между двумя последовательными нижними кульминациями среднего Солнца и называется средними сутками. Продолжительность средних суток постоянна и равна средней за весь год продолжительности истинных суток. Средние сутки, аналогично звездным делятся на средние часы, минуты и секунды.

В момент верхней кульминации среднего Солнца (средний полдень) часовой угол среднего Солнца t_{\oplus} равен 0^h , а среднее время равно 12^h . Таким образом, мерой среднего времени m служит часовой угол среднего Солнца, увеличенный на 12^h ,

$$m = t_{\oplus} + 12^h.$$

Поскольку измерение среднего времени связано с t_{\oplus} , а следовательно, и с меридианом наблюдателя, то на каждом географическом меридиане будет свое местное среднее время m — промежуток в средних единицах времени от момента нижней кульминации среднего Солнца на местном меридиане до данного физического момента. Это шкала измерения времени, в основу которой положено вращение Земли вокруг оси относительно точки среднего Солнца. В любом пункте заданного географического меридиана в один и тот же физический момент местное среднее время одинаково. Взаимосвязь между средним и звездным временем показана в прил. 2.

Местное среднее время на меридиане Гринвича называется гринвичским средним, или всемирным, временем и обозначается буквой M . Местное среднее время m какого-либо пункта с долготой l связано с всемирным временем соотношением

$$m = M + l. \quad (5)$$

Здесь и далее при исчислении времени под l подразумевается только восточная долгота места, так как почти вся территория СССР расположена в Восточном полушарии. Разность между истинным m_{\odot} и средним временем называется уравнением времени и обозначается греческой буквой $\eta = m_{\odot} - m$. В АЕ уравнение времени дается в виде вспомогательной величины $E = \eta + 12^h$. Пример вычисления E см. в § 11.

Поясное время $T_{п.}$ Так как m зависит от географической долготы [см. формулу (5)], то пользоваться этим временем в обыденной жизни неудобно. Поэтому была введена система поясного времени, сущность которой заключается в том, что поверхность Земли условно разделена на 24 часовых пояса. Для каждого часового пояса принято единое время, соответствующее среднему времени на центральном меридиане

данного часового пояса. Часовым поясам присвоены номера n от 0 до 23, которые возрастают с запада на восток. Центральным меридианом нулевого пояса является Гринвичский меридиан. При пересечении границ часовых поясов время изменяется ровно на один час, минуты и секунды времени во всех часовых поясах соответствуют минутам и секундам поясного времени

$$T_{\text{п}} = M + n = m + (n - l). \quad (6)$$

Последнее уточнение границ часовых поясов в СССР было 11 ноября 1980 г. Теперь они совпадают с административными границами республик, краев, областей и районов.

Декретное время ($T_{\text{д}}$). На территории СССР особыми декретами правительства поясное время увеличено в зимний период на один час (зимнее декретное время — $T_{\text{зд}}$), а летом с 1 апреля по 30 сентября — на два часа (летнее декретное время — $T_{\text{лд}}$).

$$T_{\text{зд}} = T_{\text{п}} + 1^h = M + n + 1^h = m + (n + 1 - l), \quad (7)$$

$$T_{\text{лд}} = T_{\text{п}} + 2^h = M + n + 2^h = m + (n + 2 - l). \quad (8)$$

Декретное время второго часового пояса называют московским временем ($T_{\text{м}}$). Взаимосвязь между московским и всемирным временем на основании формул (7) и (8) выражается следующими равенствами:

в летний период с 1 апреля по 30 сентября

$$T_{\text{м}} = M + 4^h, \quad (9)$$

в остальное время года (зимнее время)

$$T_{\text{м}} = M + 3^h. \quad (10)$$

Летнее и зимнее время часто именуют местным временем.

Атомное время (AT). Точными астрономическими наблюдениями выявлена неравномерность вращения Земли. Следовательно, и все рассмотренные выше шкалы измерения времени неравномерны. Создание атомных часов, имеющих сложные интегральные схемы и цезиевые резонаторы, породило атомную шкалу измерения времени, задаваемую атомными стандартами. За единицу атомного времени принята атомная секунда — промежуток времени, за который совершается 9 192 631 770 колебаний резонансной частоты атома цезия с атомным весом 133 при переходе от

одного энергетического состояния к другому в нулевом магнитном поле. Стабильность этой шкалы измерения времени оценивается относительной погрешностью $1 \cdot 10^{-12}$, что соответствует отклонению от равномерной шкалы на 0,3 мс за 10 лет.

Эфемеридное время M^* . В астрономических ежегодниках для составления эфемерид (таблиц координат светил, вычисленных по аргументу времени) применяется эфемеридное время — равномерная шкала времени, определяемая гравитационной теорией движения Земли по орбите вокруг Солнца. Связь между эфемеридным и всемирным временем выражается зависимостью

$$M^* = M + \Delta T, \quad (11)$$

где ΔT — поправка за переход к эфемеридному времени (всегда положительна), значения которой публикуются в АЕ.

§ 6. Видимое годичное движение Солнца

Из-за годичного обращения Земли вокруг Солнца в направлении с запада на восток нам кажется, что Солнце непрерывно перемещается по эклиптике в ту же сторону, навстречу суточному движению небесной сферы. Полный оборот оно совершает за один год. Небесный экватор делит эклиптику пополам, и поэтому Солнце полгода находится в северном полушарии небесной сферы и имеет $\delta_{\odot} N$ и полгода — в южном полушарии небесной сферы и имеет $\delta_{\odot} S$.

Координаты Солнца в точке весеннего равноденствия будут $\alpha_{\odot} = 0^h$ и $\delta_{\odot} = 0^\circ$, так как точка Υ служит началом счета экваториальных координат. Из-за видимого движения Солнца по эклиптике и наклона последней к небесному экватору α_{\odot} и δ_{\odot} изменяются непрерывно и неравномерно. В момент, когда Солнце находится в верхней точке F эклиптики (см. рис. 2), его прямое восхождение $\alpha_{\odot} = 6^h$, а склонение достигает наибольшей величины $\delta_{\odot} = 23^\circ 26,5' N$. Вблизи точки F , которую Солнце проходит около 22 июня, скорость дифференциального изменения склонения становится наименьшей, а в самой точке F она равна нулю. Солнце как бы останавли-

вается в наибольшем удалении от небесного экватора, а затем начинает убыстрять изменение δ_{\odot} в обратном направлении. Поэтому точку F эклиптики называют точкой летнего солнцестояния. Около 23 сентября Солнце приходит в точку осеннего равноденствия: $\alpha_{\odot} = 12^h$, $\delta_{\odot} = 0^{\circ}$. В точке F_1 эклиптики $\alpha_{\odot} = 18^h$, $\delta_{\odot} = 23^{\circ}26,5' S$. Солнце приходит сюда около 22 декабря, и эту точку называют точкой зимнего солнцестояния. Периоды, когда Солнце находится в четырех основных точках эклиптики, колеблются в пределах смежных календарных дат. Диапазон колебаний равен приблизительно суткам, а цикличность — четырем годам, что объясняется особенностями построения действующего календаря.

Солнце одновременно участвует в двух независимых видимых движениях. Оно движется с востока на запад, как и любая из звезд, вместе с небесной сферой, совершая полный оборот за сутки. Вместе с тем оно перемещается с запада на восток в своем годичном движении по эклиптике. В результате геометрического сложения этих двух движений общее годичное движение Солнца по небесной сфере изобразится спиралью. Два раза в год, в периоды равноденствий (21 марта и 23 сентября), суточная параллель Солнца совпадает с небесным экватором. В такие дни Солнце восходит точно на востоке и заходит точно на западе. Это явление — общее для всех наблюдателей на Земле. В другие времена года видимое движение Солнца происходит по спирали, витки которой сжимаются по мере удаления от небесного экватора к суточной параллели солнцестояния (так как величина склонения Солнца изменяется все медленнее и медленнее). После солнцестояния витки спирали повторяются Солнцем в обратном направлении.

Суточные параллели, которыми проходит Солнце в дни летнего и зимнего солнцестояний ($|\delta_{\odot}| = 23^{\circ}26,5'$), называют поворотными кругами, или тропиками. В соответствии с этим и географические параллели с широтой $|\varphi| = 23^{\circ}26,5'$ называют тропиками. Они ограничивают тропический пояс на земном шаре. Географические параллели с широтой $|\varphi| = 90^{\circ} - \delta_{\odot \max} = 66^{\circ}33,5'$ называют полярными кругами. За Полярным кругом для Солнца соблюдается условие $\delta_{\odot} > 90^{\circ} - \varphi$, и поэтому там можно наблюдать незаходящее Солнце.

Полярный круг и тропики ограничивают умеренный пояс. Для него в Северном полушарии Земли характерны следующие явления, которые сопровождают видимое движение Солнца: Солнце восходит и заходит, так как всегда $\delta_{\odot} < 90^{\circ} - \varphi$, но никогда не бывает в зените, ибо $\delta_{\odot} < \varphi$; летом когда δ_{\odot} одноименно φ , Солнце в суточном движении пересекает первый вертикал над горизонтом и в течение дня бывает во всех четырех четвертях горизонта. Оно восходит на северо-востоке, в истинный полдень достигает кульминации на юге и заходит на северо-западе; зимой δ_{\odot} разноименно с φ , Солнце не пересекает видимую часть первого вертикала и бывает в северном умеренном поясе лишь в двух южных четвертях горизонта: восходит на юго-востоке, а заходит на юго-западе. Точные координаты Солнца на любой день указаны в АЕ.

§ 7. Рефракция, параллакс и видимый радиус Солнца

Астрономической рефракцией называется явление преломления лучей света, идущих от светила, при прохождении сквозь толщу атмосферы. Математическая

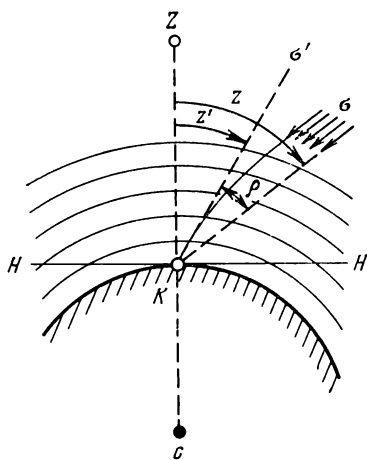


Рис. 5

теория астрономической рефракции рассматривает атмосферу как совокупность концентрических элементарно тонких слоев воздуха, плотность которых с высотой уменьшается. При отсутствии атмосферы наблюдатель из пункта К (рис. 5) увидел бы светило по направлению $K\sigma$. На самом деле луч света преломляется на границах элементарных слоев воздуха и движется по ломаной линии. При бесконечном уменьшении толщины этих элементарных слоев

путь света приближается к кривой, выпуклость которой всегда обращена вверх и направлена в сторону отвесной линии KZ . Наблюдатель видит светило по направ-

лению касательной к последнему элементу кривой, т. е. по направлению $K\sigma'$. На рис. 5 z' — измеренное, или видимое, зенитное расстояние светила, z — истинное зенитное расстояние. Из чертежа следует

$$z = z' + \rho, \quad (12)$$

где ρ — поправка за астрономическую рефракцию.

В соответствии с законами оптики лучи падающий и преломленный находятся в одной плоскости с нормалью в точке преломления, т. е. в вертикальной плоскости для явления астрономической рефракции. Поэтому рефракция всегда уменьшает зенитное расстояние, но не оказывает влияния на азимут светила.

Величина рефракции ρ зависит от зенитного расстояния светила. Если светило находится в зените — рефракция равна нулю. Когда светило находится на горизонте — рефракция достигает наибольшей величины (31—35'). Точно учесть астрономическую рефракцию в горизонте невозможно, поэтому никогда не следует измерять зенитные расстояния светил больше 80° . Кроме z , на величину рефракции ρ влияет температура t° и атмосферное давление воздуха B . При измерении зенитных расстояний светил всегда надо иметь термометр и барометр (обычно применяется барометр-анероид) для измерения t и B . Значения ρ приводятся в специальных таблицах, которыми пользуются при обработке астрономических наблюдений. Таблицы рефракции, помещенные в АЕ, обеспечивают точность $0,1''$. В конце нашей книги имеются таблицы рефракции, обеспечивающие точность $\pm 1''$ (прил. 3). Приложение состоит из таблицы рефракции, вычисленной для $t = +10^\circ$, $B = 1013,1$ гПа (760 мм рт. ст.), принятых за нормальные, и таблиц поправок за отличие t и B от нормальных.

Суточный параллакс. Соотношения между горизонтными и экваториальными координатами выведены из параллактического треугольника в предположении, что наблюдения производятся как бы из центра Земли. Поэтому то зенитное расстояние z , которое мы измеряем с земной поверхности, должно быть тоже приведено к центру Земли. Если расстояние до наблюдаемого светила (Солнца) соизмеримо с радиусом Земли, то направление из пункта K на светило S с направлением на то же светило из центра Земли C составляет некоторый угол KSC , который называется суточным па-

раллаксом p (рис. 6). Это угол, под которым из центра светила виден радиус Земли, проведенный к данному пункту наблюдений. Суточным параллаксом назван потому, что его величина для данного места наблюдений непрерывно изменяется в течение суток вместе с z светила. Из чертежа следует:

$$z_0 = z - p, \quad (13)$$

где z_0 — зенитное расстояние, отнесенное к центру Земли.

Наибольшей величины параллакс достигает, когда светило находится на истинном горизонте HN . В этом случае он называется горизонтным параллаксом π_{\odot} .

$$p = \pi_{\odot} \sin z. \quad (14)$$

Для Солнца горизонтный параллакс в среднем равен $8,79''$, он изменяется в течение года от $8,66$ до $8,95''$. Явление суточного параллакса происходит в вертикаль-

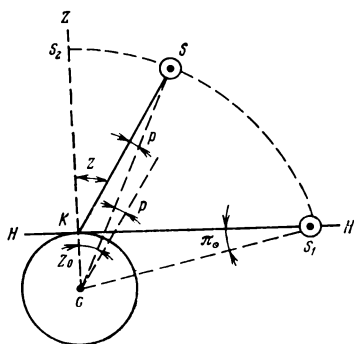


Рис. 6

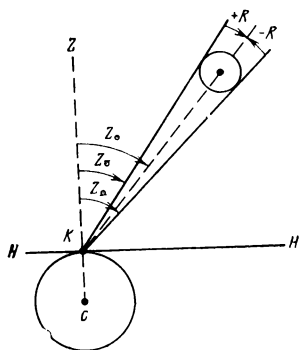


Рис. 7

ной плоскости, проходящей через отвесную линию и центр Солнца. Поэтому на азимут Солнца суточный параллакс влияния не оказывает. В АЕ имеется специальная таблица, где приведены численные значения π_{\odot} для различных дат (в данной книге см. прил. 4).

При измерении зенитных расстояний Солнца горизонтальную нить сетки трубы теодолита наводят на верхний или нижний край видимого диска Солнца. Затем эти

зенитные расстояния приводят к центру диска Солнца, учитывая его видимый радиус. Видимый радиус Солнца R_{\odot} — угол, под которым с Земли наблюдатель видит линейный радиус Солнца. Из рис. 7 видно, что для получения зенитного расстояния центра светила видимый радиус R_{\odot} прибавляется к z верхнего края или вычитается из z нижнего края диска

$$z = z_{\Phi} + R_{\odot}, \quad z = z_{\Phi} - R_{\odot}. \quad (15)$$

Вследствие изменения расстояния от Земли до Солнца, вызванного эллиптичностью орбиты, видимый радиус Солнца не остается постоянным и изменяется в течение года примерно на $33''$. Наибольшее значение он имеет около 3 января, $R_{\odot} = 0^{\circ}16'18''$, а наименьшее — около 4 июля, $R_{\odot} = 0^{\circ}15'45''$. Средняя величина $R_{\odot} = 0^{\circ}16'02''$.

Значения R_{\odot} приведены в АЕ и в прил. 4.

Для вычисления геоцентрического зенитного расстояния Солнца z_{\odot} с учетом формул (12), (13) и (15) получим

$$z_{\odot} = z' + \rho - \rho \pm R_{\odot}. \quad (16)$$

Наблюдения Солнца широко применяют на практике при приближенных определениях географических координат и азимутов направлений.

Глава II.

Подготовка к наблюдениям

§ 8. Установка теодолита и подготовка его к работе

Подготовка к наблюдениям состоит из постройки бетонного столба или установки штатива, подготовки к работе теодолита, радиоприемника и хронометра.

Астрономические определения выполняют с астрономического столба или со штатива. При определении азимута направления на земной предмет высота визирного луча над препятствиями должна быть не менее 2 м. Если астрономический столб или штатив устанавливают в лесу, то в направлении на земной предмет прорубают прорубку, а с юго-восточной, южной и юго-западной сто-

рон дерева вырубает для наблюдения Солнца. Астрономический столб — надежное средство закрепления астрономического пункта на местности.

Теодолит устанавливают на астрономическом столбе или штативе, центрируют над маркой и тщательно горизонтируют. При установке на столбе шипы центрировочной плиты нумеруют и места их стояния обводят карандашом. Теми же номерами отмечают подъемные винты теодолита. Проверяется наличие темного окулярного светофильтра. Наблюдения на Солнце выполняют только с применением темного светофильтра.

Горизонтальный круг теодолита должен быть ориентирован в меридиане. Ориентирование в меридиане заключается в том, чтобы в первом приеме при положении трубы в направлении на север отсчет по горизонтальному кругу был равен нулю. Поскольку для наблюдений Солнца не нужно составлять эфемериду, то строгая ориентировка теодолита в меридиане не требуется. Достаточно ориентировка по магнитному меридиану с учетом склонения магнитной стрелки, которое берут с карты.

Если определение астрономического азимута выполняется на пункте геодезической сети, а штатив теодолита нельзя точно установить над центром знака, то необходимо измерить элементы центрировки: расстояние от проекции центра теодолита до центра знака с точностью до 1 мм и угол между направлением на центр знака и направлением на земной предмет с точностью до нескольких минут дуги. При необходимости аналогично определяют элементы редукции визирной цели земного предмета. В журнале наблюдений азимута должен быть сделан схематический чертеж расположения теодолита, центра знака и земного предмета, туда же записывают элементы центрировки. Если земной предмет, азимут которого определяется, не включен в геодезическую сеть, то при наличии центрировки должно быть измерено расстояние от пункта наблюдения до предмета с точностью ± 1 м. Само расстояние должно быть не менее 200 м.

Для выполнения астрономических определений по Солнцу могут быть использованы точные теодолиты ОТ-02, Т1, Т2, теодолиты технической точности (с односторонним отсчитыванием по лимбу) Т5, Т15, Т30 и их модификации. Точность астрономических определений находится в прямой зависимости от точности применяе-

мого теодолита. Точность теодолита характеризуется средней квадратической погрешностью измерения угла одним полным приемом (табл. 1).

Т а б л и ц а 1

Угол	Нормы по типам теодолитов					
	ОТ-02	Т1	Т2	Т5	Т15	Т30
Горизонтальный	1''	1''	2''	5''	15''	30''
Вертикальный	2''	2''	3''	12''	25''	45''

Перед началом наблюдений выполняют необходимые проверки и юстировки теодолита.

§ 9. Приборы для измерения времени. Поправка и ход хронометра (часов)

Для измерения времени в экспедиционных условиях применяют хронометры — высокоточные часы, имеющие большое постоянство хода. Хронометры бывают звездные — идущие по звездному времени, и средние — идущие по среднему времени. Несмотря на высокое качество изготовления, хронометр, как и всякий другой прибор, дает показания с некоторой погрешностью, изменяющейся с течением времени. Эту погрешность принято учитывать в виде поправки хронометра. Поправкой хронометра u называют разность между действительным временем и показанием хронометра T в данный физический момент. Если хронометр идет по звездному времени, то $s = T_s + u_s$ или с учетом формулы (1)

$$u_s = \alpha + t - T_s. \quad (17)$$

Если хронометр идет по среднему времени, то

$$u_m = m - T_m.$$

При астрономических наблюдениях Солнца используют средний хронометр, который обычно запускают по московскому времени T_M ,

$$u = T_M - T.$$

Ходом хронометра ω называют изменение его поправки за единицу времени.

$$\omega = \frac{u_2 - u_1}{T_2 - T_1}.$$

Изменение поправки хронометра за один час называют часовым ходом хронометра, а за сутки — суточным ходом хронометра.

Если ход хронометра ω известен, то для любого промежуточного момента T , лежащего между моментами T_1 и T_2 , можно определить поправку хронометра

$$u = u_1 + \omega(T - T_1). \quad (18)$$

Поправку хронометра можно переносить во времени как вперед так и назад

$$u = u_2 - \omega(T_2 - T). \quad (19)$$

Хронометр как сложный и точный переносный часовой прибор требует аккуратного обращения с ним при переноске и в эксплуатации. Циферблат хронометра должен всегда находиться в горизонтальном положении. Для перестановки стрелок хронометра отвинчивают защитное стекло и поворачивают минутную стрелку, вращая ее ось с помощью заводного ключа только по ходу движения стрелок. То же относится и к часовой стрелке. Секундную стрелку переставлять нельзя. Несоблюдение этих указаний может повредить хронометр. При переводе стрелок необходимо, чтобы показания часовой, минутной и секундной стрелок совпали. Минутная стрелка должна находиться на одном из делений циферблата в тот момент, когда секундная стрелка проходит через нулевой штрих. Небрежная установка минутной стрелки может привести к ошибочным отсчетам показаний хронометра при наблюдениях. В верхней части циферблата хронометра имеется указатель, показывающий, сколько часов прошло после завода хронометра.

Хронометр необходимо заводить ежедневно в одно и то же время, но не полностью, а только доводя стрелку указателя завода до цифры 8. Если хронометр до завода стоял, то надо после завода сообщить ему резкое круговое движение. Идущий хронометр следует оберегать от ударов, резких поворотов и внезапных перемен температуры. Температурная компенсация у хронометров действует в пределах $+5-35^\circ$. Нельзя выносить хронометр из теплого помещения на мороз, так как заводная пружина может лопнуть. Хронометр следует предохранять от сырости. Во время наблюдений хронометр располагают около теодолита на табурете или ящике и не передвигают его до конца наблюдений. В ряде случаев вместо хронометра можно применять хо-

рошние наручные или карманные часы с центральной секундной стрелкой.

Перед наблюдениями Солнца хронометр или часы поверяют обычно по широковещательным сигналам точного времени. Эти сигналы по программе шести звуковых точек радиостанция «Маяк» передает каждый час. Начало шестого звукового сигнала соответствует началу часа. Сигналы легко принимаются через трансляционную сеть или транзисторный радиоприемник. Радиоприемник включают на волне «Маяка» за несколько минут до начала подачи радиосигналов точного времени. Ведя счет звуковым сигналам, следят за движением секундной стрелки и замечают ее показание с точностью $0,5^s$ в момент начала подачи шестого звукового сигнала. Результаты сверки заносят в журнал, образец которого показан в табл. 2.

Таблица 2

Журнал приема радиосигналов времени

T_m	T	u
$7^h00^m00^s$	$7^h01^m16,5^s$	$-1^m16,5^s$
11 00 00	11 01 20,5	-1 20,5

$$u_2 - u_1 = -4,0^s, \quad \omega = -1^s$$

После наблюдений Солнца поправку хронометра определяют вторично, чтобы вычислить ход хронометра и учесть изменение поправки хронометра за время, прошедшее с момента приема радиосигналов времени до момента наблюдения Солнца.

Пример. Средний момент наблюдения Солнца $T=9^h12^m$, $u=-1^m16,5^s-1,0^s(9,2^h-7^h)=-1^m16,5^s-2,2^s=-1^m18,7^s$.

При астрономических определениях со средней квадратической погрешностью $\pm 10-15''$ поправку хронометра нужно определять путем приема радиосигналов точного времени не реже чем через 2 ч. При астроопределениях со средней квадратической погрешностью $\pm 30-60''$ — не реже чем через 4 ч.

§ 10. Вычисление видимых координат Солнца на момент наблюдения с помощью Астрономического ежегодника СССР

Видимые координаты Солнца для обработки наблюдений находят с помощью АЕ. При его отсутствии мож-

но воспользоваться астрономическим календарем, но результаты вычислений будут получены грубее. Рассмотрим содержание некоторых таблиц АЕ СССР на 1984 г.

1. Солнце (с. 10—24). Таблица представляет собой эфемериду* Солнца и используется обычно для определения часовых углов (t_{\odot}), склонений (δ_{\odot}), моментов кульминации и видимого радиуса (R_{\odot}) Солнца. Для этих целей используются только левые страницы разворота АЕ. Следует обратить внимание на то, что все величины в этой таблице даны на 0^h эфемеридного времени, т. е. на начало эфемеридных суток, месяцы и числа которых указаны в первой вертикальной графе. Прямое восхождение (α_{\odot}) и склонение (δ_{\odot}) названы здесь видимыми, так как в эти координаты включено влияние годичной аберрации и они непосредственно сравнимы с наблюдаемыми. Рядом с δ_{\odot} указано ее часовое изменение v_{δ} , т. е. величина, на которую изменяется склонение за один час, приходящийся в эфемеридную полночь. Это часовое изменение различно как в разные сутки, так и в различные часы в течение одних суток.

В шестой вертикальной графе эфемериды приведены значения R_{\odot} , а в седьмой даны значения вспомогательной величины E . Это — уравнение времени плюс 12^h . В свою очередь уравнение времени (η) — это разность истинного и среднего времени. Вспомогательная величина E широко используется при решении задач, связанных с обработкой наблюдений Солнца. Рядом с ней дается ее часовое изменение v_E , к которому относится все, что сказано о часовом изменении v^{δ} .

Часовое изменение прямого восхождения Солнца в таблице не приведено, но его можно легко вычислить, вычтя величину v_E из $9\ 856^s$.

2. Солнце (с. 42). Вертикальная графа «параллакс» содержит значения горизонтного параллакса π_{\odot} и применяется для вычисления видимого суточного параллакса Солнца. В этой эфемериде π_{\odot} дается в секундах дуги через 10 суток.

* Эфемерида — таблица координат светил и других переменных астрономических величин, вычисленных для ряда последовательных моментов времени.

3. Вспомогательные таблицы включают: V — выражение дуги во времени, таблицу для перевода угловой меры в часовую меру и обратно; VI — обращение минут и секунд (времени) в доли часа; VII — обращение часов, минут и секунд в доли суток; XI; XII — рефракцию, таблицы для вычисления истинной астрономической рефракции с точностью соответственно $\pm 1''$ и $\pm 0,1''$.

Как указано выше, видимые координаты Солнца помещаются в АЕ на каждую эфемеридную полночь. На практике наблюдения Солнца производятся в различные часы дня, и для обработки произведенных наблюдений необходимо рассчитать координаты Солнца на моменты, лежащие между табличными аргументами времени. Координаты Солнца находятся в довольно сложной зависимости от времени, и для точных астрономических вычислений существуют специальные приемы и формулы, позволяющие определять значение искомой функции на определенный момент времени. Эти приемы называются интерполированием с учетом часовых изменений, а формулы — интерполяционными формулами.

При астрономических определениях по Солнцу в качестве координат светила используются часовой угол t_{\odot} относительно меридиана наблюдателя и видимое склонение Солнца.

Видимое склонение Солнца δ_{\odot} вычисляют по формуле

$$\delta_{\odot} = \delta_0 + M^* \left[v_{\delta_0} + \frac{M^*}{48} \Delta v_{\delta} \right], \quad (20)$$

где $\Delta v_{\delta} = v_{\delta_1} - v_{\delta_0}$; δ_0 — табличное значение склонения Солнца в 0^h эфемеридного времени (на начало эфемеридных суток); v_{δ_0} — часовое изменение склонения в дату наблюдений; v_{δ_1} — часовое изменение склонения в дату, следующую за днем наблюдений; E_0 — табличное значение вспомогательной величины E в 0^h эфемеридного времени; v_{E_0} и v_{E_1} — соответственно часовые изменения величины E в начале заданных и последующих суток; M^* — эфемеридное время, прошедшее от начала эфемеридных суток до момента наблюдения Солнца, которое находят по формулам (9), (10), (11).

Часовой угол t_{\odot} относительно меридиана наблюда-

теля определяют по формуле

$$t_{\odot} = m + E - \mu\Delta T, \quad (21)$$

где m — местное среднее время. Если хронометр поставлен по этому времени, то $m = T_{\text{хр}} + u$, где $T_{\text{хр}}$ — отсчет по хронометру, а u — его поправка.

Если хронометр поставлен по московскому времени, то на основании формул (7) и (8) летом с 1 апреля по 30 сентября

$$m = T_{\text{м}} - 4^h + l,$$

а в остальное время года

$$m = T_{\text{м}} - 3^h + l,$$

где l — географическая долгота места λ , выраженная в часовой мере; $\mu\Delta T$ — редукция в звездные единицы времени поправки ΔT за переход от всемирного времени M к эфемеридному времени M^* .

В свою очередь

$$E = E_0 + M^*v_{E_0} + \Delta E, \quad (22)$$

где ΔE — поправка, которая выбирается из таблицы ΔE по аргументам M^* и $\Delta v_E = v_{E_1} - v_{E_0}$. Знак поправки ΔE всегда соответствует знаку разности Δv_E .

Пример. Определить δ_{\odot} и t_{\odot} в пункте с $l = 1^h 58^m 26,5^s$ 8 июня 1984 г. В момент наблюдений отсчет по хронометру, поставленному по московскому времени, $T_{\text{хр}} = 13^h 56^m 12,5^s$; поправка хронометра $u_{\text{хр}} = -14,0^s$.

Эфемеридное время момента наблюдений с 1 апреля по 30 сентября, необходимое для интерполирования искомым величин, находим по формуле

$$M^* = T_{\text{хр}} + u_{\text{хр}} + \Delta T - (n + 2), \quad (23)$$

для остальных месяцев — по формуле

$$M^* = T_{\text{хр}} + u_{\text{хр}} + \Delta T - (n + 1). \quad (24)$$

Порядок вычисления приведен в табл. 3.

При навыке вычислений и в зависимости от требуемой точности результата часть строк в схеме вычислений можно пропускать.

Для расчета видимых координат Солнца можно также использовать Морской или Авиационный астрономические ежегодники.

Таблица 3

Схема вычисления	Вычисление	Примечание
$T_{\text{ХР}}$ $u_{\text{ХР}}$ T_M $n + 2$	$13^h 56^m 12,5^s$ —14,0 13 55 58,5 4	Отсчет по хронометру Поправка хронометра Московское время Номер часового пояса плюс 2 ч за летнее декретное время
M ΔT	9 55 58,5 +55,0	Всемирное время (среднее гринвичское) Поправка за переход к эфемеридному времени
M^* $(M^*)^h$ $\frac{M^*}{24}$ $\frac{M^*}{48}$ δ_0 v_{δ_1} v_{δ_0}	9 56 53,5 9,948 0,414 0,207 $22^\circ 50' 38,5'' N$ +12,51 +13,52	Эфемеридное время M^* в часах и долях часа (табл. VI АЕ) M^* в долях суток (табл. VII АЕ) 1/2 предыдущей величины Склонение Солнца 8 июня 1984 г. в 0^h эфемеридного времени Часовое изменение δ_1 9 июня 1984 г. Часовое изменение δ_0 8 июня 1984 г.
Δv_{δ} $\frac{M^*}{48} \Delta v_{\delta}$ $\frac{M^*}{48} \Delta v_{\delta} + v_{\delta_0}$ $\Delta \delta$ δ_{\odot}	—1,01 —0,209 +13,31 $2' 12,4''$ $22^\circ 52' 50,9'' N$	$\Delta v_{\delta} = v_{\delta_1} - v_{\delta_0}$ Умножаем 0,207 на —1,01'' Сумма +13,52 + (—0,21'') $M^* \left[\frac{M^*}{48} \Delta v_{\delta} + v_{\delta_0} \right] = 13,31'' \times 9,948 = 132,41''$ Видимое склонение Солнца $\delta_{\odot} = \delta_0 + \Delta \delta$
E_0 v_{E_1} v_{E_0}	$12^h 01^m 03,96^s$ —0,484 —0,474	Величина E 8 июня 1984 г. в 0^h эфемеридного времени Часовое изменение E 9 июня 1984 г. Часовое изменение E 8 июня 1984 г.
Δv_E $M^* v_{E_0}$ ΔE	—0,010 —4,72 —0,02	$\Delta v_E = v_{E_1} - v_{E_0}$ Умножаем —0,474 ^s на 9,948 Из табл. АЕ по M^* и Δv_E ; знак Δv_E

Схема вычисления	Вычисление	Примечание
E M l — $\mu\Delta T$	12 00 59,22 9 55 58,5 1 58 26,5 —0,15	$E = E_0 + M^* \nu_{E_0} + \Delta E$ Всемирное время Прибавить, потому, что долгота восточная Перевод по табл. II ^a АЕ
t_{\odot} $(t_{\odot})^{\circ}$	23 55 24,07 358°51'01,0''	Искомый часовой угол Солнца Перевод часовой меры в градусную по табл. V АЕ

Глава III.

Определение широты места

§ 11. Сущность способа

Пусть имеется некоторый пункт K на поверхности земного шара $NqSq_1$. Географическая широта пункта K $\varphi = \angle K C q$. Представим себе небесную сферу с центром в пункте K (рис. 8) в ортогональной проекции на плоскость меридиана наблюдателя $NPZQS$, Z — зенит пункта, K , PK — ось мира; KQ — небесный экватор, NS — истинный горизонт. $\angle NKP$ — высота Полюса мира над истинным горизонтом. $\angle K C q = \varphi = \angle NKP$, так как эти углы со взаимно перпендикулярными сторонами.

Широта места наблюдения φ равна высоте Полюса мира над горизонтом или дополнению зенитного расстояния Полюса мира до 90° $\angle NKP = \varphi = \angle ZKQ$. Возьмем любое светило σ в момент верхней кульминации (см. рис. 8). $\cup\sigma Q$ — склонение светила δ , а $\cup Z\sigma$ —

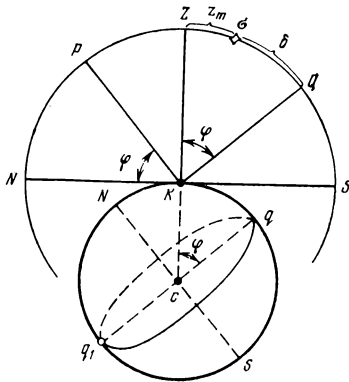


Рис. 8

меридиональное зенитное расстояние светила z_m . Из чертежа следует

$$\varphi = z_m + \delta. \quad (25)$$

При пользовании формулой (25) надо учитывать знаки δ . Если светило находится к югу от небесного экватора, то оно имеет южное склонение, численное значение которого отрицательно. Когда Солнце находится в верхней кульминации, его азимут $A_{\odot} = 180^\circ$, часовой угол $t = 0$. Формула (2) при этом примет вид

$$\cos z_m = \sin \varphi \sin \delta_{\odot} + \cos \varphi \cos \delta_{\odot} = \cos(\varphi - \delta_{\odot}),$$

откуда

$$z_m = \varphi - \delta_{\odot}$$

или

$$\varphi = z_m + \delta_{\odot},$$

что подтверждает формула (25), которая и позволяет определить широту места φ по измеренному меридиональному зенитному расстоянию Солнца при известном склонении δ_{\odot} в момент наблюдения.

Установим зависимость ошибки $\Delta\varphi$ определяемой широты φ от ошибки Δz в измеренном зенитном расстоянии, ошибки $\Delta T_{\text{хр}}$ в отсчете по хронометру в момент наблюдения и ошибки Δu в значении поправки хронометра u . Для этого на основании формулы (17) заменим в формуле (2) $t = T + u - \alpha$, продифференцируем формулу по переменным z , φ , T , u и после небольших преобразований заменим дифференциалы погрешностями Δz , $\Delta\varphi$, $\Delta T_{\text{хр}}$, Δu . В результате получим формулу

$$\Delta\varphi = \Delta z \sec A_{\odot} - \cos \varphi \operatorname{tg} A_{\odot} (\Delta T_{\text{хр}} + \Delta u), \quad (26)$$

которая показывает, что при $A_{\odot} = 180^\circ$ (Солнце в меридиане наблюдателя) погрешность в определении φ не зависит от точности определения поправки хронометра, поскольку $\operatorname{tg} A_{\odot} = 0$,

$$\Delta\varphi = \Delta z.$$

Требование наблюдать Солнце строго в меридиане трудноисполнимо. Кроме того, в меридиане можно выполнить лишь одиночное наблюдение Солнца, которое является бесконтрольным и может сопровождаться большой

случайной погрешностью Δz . С целью ослабления случайных погрешностей измерения z Солнце наблюдается в каждом приеме несколько раз при двух положениях вертикального круга теодолита как можно ближе к меридиану. Вблизи меридиана влияние ΔT_{xp} и Δu хотя и мало, но уже не равно нулю, поэтому желательно наблюдения располагать симметрично по обе стороны от меридиана наблюдателя. В этом случае влияние этих погрешностей будет с разными знаками и в окончательном выводе φ исключится. Но чем дальше по времени наблюдения широты отстоят от истинного полдня (момента верхней кульминации Солнца), тем больше сказывается влияние погрешности Δu на $\Delta\varphi$ и тем точнее надо знать время наблюдений.

Вблизи меридиана зенитное расстояние Солнца изменяется очень медленно. Можно вычислить малую разность между меридиональным и близмеридиональным зенитными расстояниями Солнца, которая является функцией часового угла t_{\odot} и называется редукицией на меридиан. Исправив все измеренные z_{\odot} величиной редукиции r , мы приведем их к z_m и тогда можем воспользоваться формулой (25)

$$\varphi = z_{\odot} - r + \delta_{\odot}.$$

Величина редукиции на меридиан r выводится из основной формулы (2). Опуская все промежуточные математические выкладки, дадим окончательное выражение r в секундах градусной меры

$$r = 2\rho'' \cos \varphi_0 \cos \delta_{\odot} \operatorname{cosec} \frac{z_{\odot} + (\varphi_0 - \delta_{\odot})}{2} \sin^2 \frac{t_{\odot}}{2}. \quad (27)$$

Естественно возникает вопрос, как далеко от меридиана по времени можно наблюдать Солнце и все же считать его зенитные расстояния близмеридиональными, т. е. пригодными для введения редукиции на меридиан. Для решения этого вопроса можно воспользоваться приближенной формулой

$$t = \frac{15,3\Delta\varphi}{\Delta T_{xp} + \Delta u} (\operatorname{tg} \varphi - \operatorname{tg} \delta_{\odot}),$$

где t — условный часовой угол, который показывает предельно допустимое удаление наблюдаемого Солнца от южной части меридиана в минутах времени; $(\Delta T_{xp} + \Delta u)$

выражается в минутах времени, а $\Delta\varphi$ — в минутах градусной меры. По этой формуле читатель в зависимости от требуемой точности может определить границы времени, в пределах которых можно определять широту по близимеридиональным зенитным расстояниям.

Для вычисления редукции приближенное значение широты φ_0 на практике берут с карты наиболее крупного масштаба на район наблюдений. Если же получить φ_0 с карты не представляется возможным, то допустимо в качестве первого приближения принять $\varphi_0 = z_{\min} + \delta_{\odot}$, где z_{\min} — наименьшее из всех измеренных z_{\odot} . При пользовании формулой (27) следует помнить: редукция r выведена при условии, что склонение Солнца δ_{\odot} берется на момент наблюдений. Широта по Солнцу определяется с точностью 2—5" и грубее.

§ 12. Особенности измерения зенитных расстояний Солнца

Наблюдения Солнца во избежание несчастных случаев (ожог сетчатки глаза) следует выполнять только с применением темного защитного светофильтра. Зрительную трубу теодолита тщательно фокусируют на бесконечность: края диска Солнца должны быть видны четко и резко. Для удобства наблюдений высоко расположенного Солнца днем на трубу надевают призмную окулярную насадку. Уровень при алидаде вертикального круга картонным козырьком белого цвета защищают от непосредственного воздействия солнечных лучей, так как при нагревании пузырек уровня становится излишне подвижным и не будет фиксировать истинное положение алидады вертикального круга. Чтобы изображение диска Солнца появилось в поле зрения трубы, надо трубу расположить так, чтобы ее тень была наименьшей. Пузырек уровня при алидаде вертикального круга перед каждым наблюдением Солнца устанавливают в нуль-пункт. Если алидада вертикального круга снабжена контактным уровнем, то перед каждым наблюдением совмещают изображения концов пузырька уровня. Особенность измерения зенитных расстояний Солнца заключается в том, что Солнце с течением времени непрерывно изменяет свое видимое положение на небесной сфере. Поэтому измерение зенитных расстояний надо сопровождать отсчетами по хронометру, привязывая тем са-

мым каждое измерение к определенному моменту времени. Зенитные расстояния измеряют способом наблюдения прохождения верхнего или нижнего края видимого диска Солнца через горизонтальную нить трубы теодолита, неподвижно установленной по высоте. Каждое такое прохождение фиксируется отсчетом по хронометру и вертикальному кругу теодолита.

При каждом наблюдении касания края изображения Солнца с горизонтальной нитью средняя вертикальная нить трубы должна проходить через центр диска Солнца.

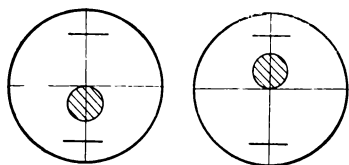


Рис. 9

Для этого наводящим винтом трубы устанавливают горизонтальную нить так, чтобы верхний или нижний край изображения Солнца в результате собственного движения коснулся ее через несколько секунд. Оставляя трубу теодолита неизменной по высоте, вращением наводящего винта алидады удерживают вертикальную нить

на середине изображения диска Солнца и одновременно на слух считают удары хронометра. Тогда момент касания (рис. 9) изображения края диска с горизонтальной нитью может быть отсчитан с точностью $0,5^s$. Если наблюдения производятся с часами, за показаниями секундной стрелки следит помощник. Наблюдатель в момент контакта края Солнца с нитью подает команду «есть», помощник по этой команде отсчитывает показания секундной, а потом минутной и часовой стрелок и записывает полный отсчет по хронометру в журнал наблюдений.

Оценка контактов изображения краев диска Солнца с нитью зависит от индивидуальных особенностей, фиксация времени производится с систематическими ошибками, поэтому для ликвидации личной погрешности наблюдателя наблюдения надо производить по строго симметричной схеме. При наблюдении изображения верхнего и нижнего края Солнца эта погрешность входит в измеренные зенитные расстояния с разными знаками, и если верх и низ Солнца наблюдался одинаковое количество раз, то окончательный результат наблюдений будет свободен от погрешности.

Для вычисления зенитного расстояния необходимо знать место зенита MZ на вертикальном круге, которое определяют в начале и конце наблюдений. В обработку берут среднее значение места зенита, но и оно будет иметь некоторую погрешность ΔMZ . Зенитное расстояние, вычисленное из наблюдений при одном круге, будет больше, а при другом — меньше действительного на величину ΔMZ . Поэтому при измерениях зенитных расстояний Солнца надо выполнять одинаковое число наведений при положении П (круг право) и Л (круг лево). Окончательный результат определения как функция зенитного расстояния будет свободен от погрешности, обусловленной неточным значением места зенита. Конечно, при условии, что в течение серии наблюдений оно не изменяется.

Для введения в непосредственно измеренные (видимые) зенитные расстояния поправок за астрономическую рефракцию во время наблюдений надо периодически измерять температуру воздуха и атмосферное давление.

§ 13. Порядок наблюдений. Запись в журнале и его обработка

Теодолит устанавливают под зонтом на столб или штатив не менее чем за 30 мин до начала наблюдений, чтобы он принял температуру окружающего воздуха, и выполняют необходимые поверки и юстировки, определяют место зенита. Перед наблюдениями, но не ранее чем за два часа до них, сличают показания хронометра с радиосигналами точного времени для получения поправки хронометра. Для определения широты места Солнце наблюдают по обе стороны меридиана наблюдателя и как можно ближе к нему. Не следует начинать наблюдение ранее чем за полчаса до кульминации. Момент кульминации подсчитывают заранее с точностью до 1 мин по формулам: в летний период с 1 апреля по 30 сентября

$$T_{\text{до}} = E + (n + 2) - l,$$

в остальное время года

$$T_{\text{до}} = E_0 + (n + 1) - l,$$

где $T_{\text{до}}$ — истинный полдень по декретному времени (момент кульминации), n — номер часового пояса, в кото-

ром находится место наблюдения, l — долгота места наблюдения (восточная). Вспомогательную величину E_0 выбирают без интерполяции по дате наблюдений из эфемериды «Солнце», помещенной в АЕ.

На окуляр зрительной трубы теодолита надевают призмную насадку с темным светофильтром. В каждом приеме наблюдений зенитные расстояния Солнца обычно измеряют в 4 раза до прохождения Солнца через меридиан и столько же после. Полная программа одного приема состоит из следующих действий.

Первый полуприем — круг право (круг лево):
1) два наблюдения контактов нижнего края изображения диска Солнца с горизонтальной нитью. Отсчеты по хронометру и по вертикальному кругу теодолита. Перед каждым наблюдением Солнца пузырек уровня при алидаде вертикального круга устанавливают на середине;
2) два наблюдения контактов верхнего края изображения диска Солнца с горизонтальной нитью, сопровождаемые также отсчетами по хронометру и по вертикальному кругу;
3) отсчеты показаний термометра и барометра — анероида. Второй полуприем — круг лево (круг право);
4) повторение всех действий пунктов 1 и 2. Примечание: Очередность наблюдений нижнего и верхнего краев Солнца может быть изменена, но всегда должна соблюдаться симметричность относительно середины приема. После наблюдений опять определяют поправку хронометра по радиосигналам времени. Поправку хронометра (часов) желательно определять каждый час.

По окончании измерений данного дня повторно определяют место зенита и среднее его значение записывают в журнал установленной формы. Тогда же в журнал записывают поправку хронометра $u_{\text{хр}}$, отнесенную к среднему моменту приема. Перед началом наблюдений туда же записывают название пункта, дату наблюдений и сведения о теодолите и хронометре.

В процессе измерений в журнал записывают отсчеты по хронометру и по вертикальному кругу теодолита, обязательно сопровождая каждое наблюдение Солнца соответствующим значком, указывающим, какой край Солнца наблюдался — верхний Φ или нижний ϕ . На правильность этих отметок надо обращать особое внимание, так как они показывают, с каким знаком в измеренное зенитное расстояние надо вводить поправку за видимый

радиус Солнца. Нижним краем диска Солнца является тот край, который в действительности ближе к горизонту независимо от того, как он виден в трубу теодолита. Чтобы не перепутать край Солнца при наблюдении и правильно учесть R_{\odot} , надо твердо помнить, что до кульминации (на востоке) Солнце поднимается над горизонтом, а после кульминации (на западе) — опускается. По направлению суточного движения Солнца в поле зрения трубы и по времени наблюдений легко определить, какой край диска Солнца касается горизонтальной нити.

Таблица 4

Журнал наблюдений

Дата 8 июня 1984 $l_0=1^h58^m26,5^s$ Инструмент ОТ-02 № 10650
 Столб 10 $\varphi_0=57^{\circ}29'05''$ Хронометр средний № 14552
 $MZ=0^{\circ}07'48,9''$ $u_{xp}=-14,0^s$ $t^{\bullet}=+1,1^{\bullet}$ $B=981,3$ гПа
 (736,2 мм рт. ст.)
 Прием 2

№ п/п	Наблюдаемый край	Круг	Хронометр	Вертикальный круг
1		Л	$13^h56^m12,5^s$	$117^{\circ}38' \frac{51^{\Delta},9}{51,9} 103,8''$
2			13 57 37,0	$117 38 \frac{56,9}{56,9} 113,8$
3			13 59 38,5	$117 54 \frac{52,3}{52,0} 104,3$
4			14 01 04,5	$117 54 \frac{52,6}{52,3} 104,9$
5		П	14 05 16,0	$62 32 \frac{01,7}{01,6} 03,3$
6			14 09 18,5	$62 32 \frac{24,0}{23,9} 47,9$
7			14 10 29,5	$62 16 \frac{43,0}{43,0} 86,0$
8			14 11 12,0	$62 16 \frac{49,4}{49,2} 98,6$

Наблюдатель:

Помощник:

Показания термометра и барометра-анероида записывают в журнал после введения всех инструментальных поправок этих приборов. Пример записей в журнале при определении широты по Солнцу см. в табл. 4. Средний хронометр был поставлен по московскому времени.

Обработка результатов журнала наблюдений заключается в следующем:

1. Выводят средний момент приема $T_{\text{ср}}$ с точностью до целых минут. В данном примере

$$T_{\text{ср}} = \frac{T_1 + T_2}{2} = \frac{13^{\text{h}}56^{\text{m}} + 14^{\text{h}}11^{\text{m}}}{2} = 14^{\text{h}}04^{\text{m}} = 14,07^{\text{h}}.$$

(Перевод минут в доли часа по прил. 5.) Если поправка хронометра больше 1^{m} , то ее следует учитывать при выводе среднего момента приема. На этот момент по данным журнала сличения хронометра (см. табл. 2) по формуле (18) или (19) переносят поправку хронометра $u_{\text{хр}}$, которую и записывают в журнал наблюдений. В нашем случае $u_{\text{хр}} = -14,0^{\text{s}}$.

2. На основании данных журнала составляют сводку результатов наблюдений (табл. 5), куда выписывают все

Таблица 5

Объект наблюдений	Круг	Хронометр	Вертикальный круг
8 июня 1984 г.	Прием 2. $MZ = 0^{\circ}07'48,9''$, $u_{\text{хр}} = -14,0^{\text{s}}$, $t^{\circ} = +1,1^{\circ}$, $B = 981,3$ гПа (736,2 мм рт.ст.)		
Φ	Л	$13^{\text{h}}56^{\text{m}}12,5^{\text{s}}$	$117^{\circ}39'43,8''$
Φ		13 57 37,0	117 39 53,8
Φ		13 59 38,5	117 55 44,3
Φ		14 01 04,5	117 55 44,9
Φ	П	14 05 16,0	62 32 03,3
Φ		14 09 18,5	62 32 47,9
Φ		14 10 29,5	62 17 26,0
Φ		14 11 12,0	62 17 38,6

Таблица 6

Схема вычислений	Л		П	
	1	4	5	8
<i>Вычисление истинной астрономической рефракции</i>				
μ	1,7639	1,7639	1,7639	1,7639
$\lg \operatorname{tg} z'$	9,8421	9,8334	9,8442	9,8364
γ	+139		+139	
$\gamma(\lambda - 1)$	0		0	
B	-138		-138	
$\lg \rho$	1,6061	1,5974	1,6082	1,6004
ρ	+40,37''	+39,57''	+40,57''	+39,81''

<i>Вычисление суточного параллакса Солнца</i>				
π_{\odot}	8,67''	8,67''	8,67''	8,67''
$\sin z$	0,5710	0,5633	0,5729	0,5660
p	4,95''	4,88''	4,97''	4,91''

<i>Вычисление видимого склонения Солнца</i>				
$T_{\text{хр}}$	$13^{\text{h}}56^{\text{m}}12,5^{\text{s}}$	$14^{\text{h}}01^{\text{m}}04,5^{\text{s}}$	$14^{\text{h}}05^{\text{m}}16,0^{\text{s}}$	$14^{\text{h}}11^{\text{m}}12,0^{\text{s}}$
u	- 14,0			
ΔT	+ 55,0			
M^*	9 56 53,5	10 01 45,5	10 05 56,0	10 11 53,0
$\langle M^* \rangle^{\text{h}}$	9,948	10,030	10,099	10,198
$\frac{M^*}{48}$	0,207	0,209	0,210	0,212
δ_0	$22^{\circ}50'38,5''$			
v_{δ_1}	+ 12,51			
v_{δ_0}	+ 13,52			
Δv_{δ}	- 1,01			
$\frac{M^*}{48} \Delta v_{\delta}$	- 0,209	-0,211	-0,212	-0,214
$M^*/48 \Delta v_{\delta} + v_{\delta_0}$	+ 13,31	+13,31	+13,31	+13,31
$\Delta \delta$	+ 132,41''	+133,50''	+134,42''	+135,74''
δ_{\odot}	$22^{\circ}52'50,9N$	$22^{\circ}52'52,0N$	$22^{\circ}52'52,9N$	$22^{\circ}52'54,2N$

<i>Вычисление вспомогательной величины E</i>				
E_0	$12^{\text{h}}01^{\text{m}}03,96^{\text{s}}$			
v_{E_1}	- 0,484			
v_{E_0}	- 0,474			

Схема вычислений	Л		П	
	1	4	5	8
Δv_E	— 0,010			
$M^*v_{E_0}$	— 4,72	—4,75	—4,79	—4,83
ΔE	— 0,02	—0,02	—0,02	—0,02
E	12 00 59,22	12 00 59,19	12 00 59,15	12 00 59,11

данные, необходимые для последующих вычислений. Сводку результатов наблюдений для контроля выполняют наблюдатель и его помощник самостоятельно.

§ 14. Порядок вычисления широты

Вычисления широты места наблюдения обычно выполняют раздельно для каждого из 8 наблюдений Солнца в приеме. Для вычисления широты необходимо знать поправку хронометра, которую определяют сравнением показаний хронометра с радиосигналами точного времени, и приближенные значения широты φ_0 и долготы l_0 места наблюдения, их обычно определяют по карте крупного масштаба. Вычисления производят в следующем порядке:

1. С помощью АЕ по формулам (20) и (22) вычисляют δ_{\odot} и E для начала и конца каждого полуприема (табл. 6). На остальные моменты наблюдений Солнца выполняют интерполяцию этих величин по времени.

2. С учетом среднего значения места зенита MZ вычисляют измеренные (видимые) зенитные расстояния z' соответственно наблюденного края диска Солнца.

Для теодолита ОТ-02

$$z' = 2\Pi - MZ - 90^\circ = MZ - 2Л - 90^\circ; \quad MZ = \Pi + Л \pm 180^\circ. \quad (28)$$

Для теодолита Т2

$$z' = Л - MZ = MZ - \Pi; \quad MZ = \frac{Л + \Pi}{2} \pm 180^\circ. \quad (29)$$

У теодолитов Т5, Т15 и Т30 вместо зенитных расстояний измеряются вертикальные углы наклона ν . В этом случае $z=90^\circ-\nu$.

3. Для начала и конца каждого полуприема вычисляют поправки за астрономическую рефракцию ρ , суточный параллакс p и видимый радиус Солнца R_{\odot} . Поправку за астрономическую рефракцию вычисляют по табл. XII АЕ. Для приближенного вычисления ρ с точностью $1''$ в прил. 3 приведены таблицы рефракции. Порядок вычисления ρ и p приведен в табл. 7.

Таблица 7

Схема вычисления	Вычисление	Примечание
z'	$34^\circ 48'$	Видимое зенитное расстояние
μ	1,7639	Логарифмический табличный коэффициент как функция z'
$\lg \operatorname{tg} z'$	9,8421	
γ	+139	Температурный коэффициент в единицах мантиссы четвертого знака
$\gamma(\lambda - 1)$	0	
B	-138	Барический коэффициент в единицах мантиссы четвертого знака
$\lg \rho$	1,6061	
ρ	+40,37''	Истинная астрономическая рефракция
$z = z' + \rho$	$34^\circ 49'$	См. формулу (12)
π_{\odot}	8,67''	Выбирают из эфемериды „Солнце“ АЕ
$\sin z$	0,5710	
p	4,95''	Суточный параллакс Солнца

Вычисления ρ и p ведут с точностью до $0,01''$ с последующим округлением до $0,1''$. Полученные результаты переносятся в ведомость вычисления широты по зенитным расстояниям Солнца (табл. 8).

4. Значение R_{\odot} выбирают по дате и эфемеридному времени середины приема из АЕ или по прил. 4.

8 ИЮНЯ 1964 г.

Номер на- блюдения	Схема вычисления	Л		
		Φ	Φ	$\bar{\Phi}$
1	2	3	4	5
1	Л, П	117°39'43,8''	117°39'53,8''	117°55'44,3''
2	MZ	0 07 48,9		
3	z'	34 48 21,3	34 48 01,3	34 16 20,3
4	ρ	+ 40,4	+ 40,4	+ 39,6
5	p	- 5,0	- 5,0	- 4,9
6	R \odot	- 15 46,8	- 15 46,8	+ 15 46,8
7	z \odot	34 33 09,9	34 32 49,9	34 32 41,8
8	T _{xp}	13 56 12,5	13 57 37,0	13 59 38,5
9	u _{xp}	-14,0		
10	n + 2	4		
11	l	1 58 26,5		
12	m	11 54 25,0	11 55 49,5	11 57 51,0
13	E	12 00 59,2	12 00 59,2	12 00 59,2
14	$\mu\Delta T$	-0,2		
15	t \odot	23 55 24,0	23 56 48,5	23 58 50,0
16	(t \odot)°	358°51'00,0''	359°12'07,5''	359°42'30,0''
17	$\sin \frac{t}{2}$	0,010035	0,006962	0,002546
18	$\sin^2 \frac{t}{2}$	0,0001007	0,0000484	0,0000064
19	φ_0	57°29'05''		
20	δ_{\odot}	22 52 50,9 N	22 52 51,2	22 52 51,7
21	$\varphi_0 - \delta_{\odot}$	34 36 14	34 36 14	34 36 13
22	1/2 [z \odot + ($\varphi_0 - \delta_{\odot}$)]	34 34 42	34 34 32	34 34 28
23	2p''	412530''		
24	cos φ_0 cos δ_{\odot}	0,4952		
25	cosc 1/2 [z \odot + + ($\varphi_0 - \delta_{\odot}$)]	1,76201	1,76214	1,76219
26	(18) × (23)	41,54	19,97	2,64
27	(24) × (25)	0,87255	0,87261	0,87264
28	(26) × (27)	36,24	17,43	2,30
29	r	-36,2''	-17,4''	-2,3''
30	z _m	34 32 33,7	34 32 32,5	34 32 39,5
31	φ	57 25 24,6	57 25 23,7	57 25 31,2

Таблица 8

Л		П		
$\bar{\Phi}$	$\underline{\Phi}$	$\underline{\Phi}$	$\bar{\Phi}$	$\bar{\Phi}$
6	7	8	9	10
117°55'44,9''	62°32'03,3'' 0 07 48,9	62°32'47,9''	62°17'26,0''	62°17'38,6''
34 16 19,1	34 56 17,7	34 57 46,9	34 27 03,1	34 27 28,3
+ 39,6	+ 40,6	+ 40,6	+ 39,8	+ 39,8
- 4,9	- 5,0	- 5,0	- 4,9	- 4,9
+ 15 46,8	- 15 46,8	- 15 46,8	+ 15 46,8	+ 15 46,8
34 32 40,6	34 41 06,5	34 42 35,7	34 43 24,8	34 43 50,0
14 01 04,5	14 05 16,0	14 09 18,5	14 10 29,5	14 11 12,5
11 59 17,0	12 03 28,5	12,07 31,0	12 08 42,0	12 09 25,0
12 00 59,2	12 00 59,2	12 00 59,1	12 00 59,1	12 00 59,1
0 00 16,0	0 04 27,5	0 08 29,9	0 09 40,9	0 10 23,9
0°04'00,0''	1°06'52,5''	2°07'28,5''	2°25'13,5''	2°35'58,5''
0,000582	0,009726	0,018539	0,021121	0,022683
0,0000003	0,0000945	0,0003436	0,0004460	0,0005145
22 52 52,0	22 52 52,9	22 52 53,9	22 52 54,1	22 52 54,2 <i>N</i>
34 36 13	34 36 12	34 36 11	34 36 11	34 36 11
34 34 27	34 38 39	34 39 24	34 39 48	34 40 00
1,76220	1,75908	1,75853	1,75823	1,75808
0,12	38,98	141,74	183,99	212,25
0,87264	0,87110	0,87082	0,87068	0,87060
0,10	33,96	123,43	160,20	184,78
-0,1''	-34,0''	-2'03,4''	-2'40,2''	-3'04,8''
34 32 40,5	34 40 32,5	34 40 32,3	34 40 44,6	34 40 45,2
57 25 32,5	57 33 25,4	57 33 26,2	57 33 38,7	57 33 39,4

Таблица 9

Схема вычисления	Вычисление	Примечание	
1	2	3	
z'	34° 48' 21,3''	Видимое зенитное расстояние Астрономическая рефракция Суточный параллакс Солнца Видимый радиус; вычитается, потому что наблюдали нижний край Солнца Геоцентрическое зенитное рас- стояние центра Солнца	
p	+40,4		
p	-5,0		
R_{\odot}	-15 46,8		
z_{\odot}	34 33 09,9		
$T_{\text{хр}}$	13 ^h 56 ^m 12,5 ^s	Отсчет по хронометру (из табл. 5) Поправка хронометра Номер часового пояса и 2 часа за летнее декретное время Восточная долгота места при- нимается со знаком плюс	
$u_{\text{хр}}$	-14,0		
$n + 2$	4		
l	1 58 26,5		
m	11 54 25,0	Местное среднее время Вспомогательная величина E По табл. II ^a AE Часовой угол Солнца То же, в градусной мере (табл. V AE)	
E	12 00 59,2		
$\mu \Delta T$	-0,2		
t_{\odot}	23 55 24,0		
$(t_{\odot})^{\circ}$	358° 51' 00,0''		
$\sin \frac{t}{2}$	0,010035		
$\sin^2 \frac{t}{2}$	0,0001007		
φ_0	57 29 05		
δ_{\odot}	22 52 50,9 N		
$\varphi_0 - \delta_{\odot}$	34 36 14		Удвоенное значение радиана в секундах дуги
$1/2 [z_{\odot} + (\varphi_0 - \delta_{\odot})]$	34 34 42		
$2\rho''$	412530''		
$\cos \varphi \cos \delta_{\odot}$	0,4952		
$\text{cosec} \frac{1}{2} [z_{\odot} + (\varphi_0 - \delta_{\odot})]$	1,76201		
(18) × (23)*	41,54	$2\rho'' \sin^2 \frac{t}{2}$	
(24) × (25)*	0,87255	$\cos \varphi_0 \cos \delta \text{ cosec} \frac{1}{2} [z_{\odot} +$ $+ (\varphi_0 - \delta_{\odot})]$	

Схема вычисления	Вычисление	Примечание
1	2	3
(26)×(27)*	36,24''	$2\rho'' \cos \varphi_0 \cos \delta_{\odot} \operatorname{cosec} \frac{1}{2} [z_{\odot} + (\varphi_0 - \delta_{\odot})] \sin^2 \frac{t}{2}$
r	-36,2	Редукция z_{\odot} на меридиан
z_m	34 32 33,7	Меридиональное зенитное расстояние
φ	57 25 24,6	Значение широты по одному наблюдению Солнца

5. Для каждого наблюдения Солнца отдельно находят геоцентрическое зенитное расстояние центра диска Солнца по формулам (16) и (15). Порядок вычисления приведен в табл. 9.

6. По формуле (27) для каждого наблюдения Солнца вычисляют редукцию на меридиан r . Предварительно на основании формул (21), (7) или (8) находят необходимые для этих вычислений часовые углы Солнца t .

7. Подсчитывают для каждого наблюдения меридиональные зенитные расстояния

$$z_m = z_{\odot} - r.$$

8. По формуле (23) находят для каждого наблюдения φ и за окончательный результат определения принимают среднее арифметическое из всех значений.

Порядок вычисления широты приведен в табл. 8.

§ 15. Вывод вероятнейшего значения широты из приема и оценка точности

За окончательную величину широты в приеме принимают среднее арифметическое значение всех обрабатываемых величин. Оценка точности полученного результата может производиться по отклонениям его от каждого определения φ . Среднюю квадратическую погрешность

определения широты из одного наблюдения Солнца вычисляются по формуле

$$\mu = \sqrt{\frac{[vv]}{n-2}}. \quad (30)$$

Погрешность вероятнейшего значения широты из приёма — по формуле

$$m_{\varphi} = \frac{\mu}{\sqrt{n}}. \quad (31)$$

Образец вычислений вероятнейшего значения широты из приёма приведен в табл. 10.

Для повышения точности определений обычно наблюдают не один, а несколько приемов.

Таблица 10

$\varphi_{\text{Л}}$	v	vv	$\varphi_{\text{П}}$	v	vv
57°25'24,6''	-3,4	11,56	57°33'25,4''	-7,0	49,00
23,7	-4,3	18,49	26,2	-6,2	38,44
31,2	+3,2	10,24	38,7	+6,3	39,69
32,5	+4,5	20,25	39,4	+7,0	49,00
Ср. 57 25 28,0	-7,7	60,54	Ср. 57 33 32,4	-13,2	176,13
	+7,7			+13,3	

$$\mu = \sqrt{\frac{236,67}{6}} = 6,28'', \quad m_{\varphi} = \frac{6,28}{\sqrt{8}} = 2,2''$$

Широта, полученная при Л, имеет меньшее значение, чем при П, что указывает на ошибочность принятого значения MZ . Среднее значение φ будет свободно от этой погрешности $\varphi = 57^{\circ}29'30,2'' \pm 2,2''$.

Глава IV.

Определение поправки хронометра и долготы места

§ 16. Сущность способа определения поправки хронометра

Соотношение формул (2) и (21) позволяет определить поправку хронометра относительно местного среднего времени по измеренному зенитному расстоянию Солнца при известных широте места φ и склонении δ_{\odot} .

Произведя наблюдения, как указано в § 12, ряда зенитных расстояний Солнца, можно вычислить часовой угол Солнца на момент каждого измерения

$$\cos t_{\odot} = \frac{x}{y}, \quad (32)$$

где

$$x = \cos z_{\odot} - \sin \varphi \sin \delta_{\odot}; \quad y = \cos \varphi \cos \delta_{\odot}.$$

По вычисленному часовому углу, согласно формуле (21), можно получить местное среднее время

$$m = t_{\odot} - E + \mu \Delta T. \quad (33)$$

Поправка хронометра относительно местного среднего времени

$$u_m = m - T_{xp}. \quad (34)$$

Получив для каждого наведения на Солнце поправку хронометра u_m , среднее значение из всех определений при Л и П принимают за вероятнейшее значение u_m в приеме. Недопустимо определение поправки хронометра только при одном круге теодолита.

Установим вероятнейшие условия наблюдений, при которых достигается наивысшая точность определения поправки хронометра. Из формулы (26) получим

$$\Delta u = -\Delta T_{xp} + \sec \varphi \operatorname{cosec} A_{\odot} \Delta z - \sec \varphi \operatorname{ctg} A_{\odot} \Delta \varphi.$$

Последнее равенство показывает, что ΔT_{xp} при любых условиях имеет постоянный коэффициент, равный 1. Эта погрешность с обратным знаком входит в определяемую поправку хронометра. Меры борьбы с этой погрешностью заключаются в особой тщательности наблюдений и многократном их повторении. При увеличении числа наблюдений случайная часть ошибки отсчета по хронометру ΔT_{xp} компенсируется и не будет влиять на окончательный результат. Анализ коэффициентов при втором и третьем члене правой части равенства показывает, что зенитные расстояния Солнца для определения поправки хронометра выгоднее всего измерять в первом вертикале. Действительно, в первом вертикале $A_{\odot} = 90$ или 270° и тогда $\operatorname{cosec} A_{\odot} = \pm 1$, а $\operatorname{ctg} A_{\odot} = 0$. В этом случае влияние погрешности $\Delta \varphi$ тоже будет равно нулю, а влияние Δz будет зависеть от $\sec \varphi$. Это показывает, что способ опре-

деления поправки хронометра по измеренным зенитным расстояниям дает более точные результаты в низких широтах. В высоких широтах ($\varphi > 70-75^\circ N$) его не следует применять, так как величина $\sec \varphi$ резко возрастает.

В восточной части первого вертикала $\cos \delta_{\odot}$ положителен, а в западной — отрицателен, следовательно, влияние погрешности Δz в западной и восточной частях небосвода будет входить в получаемые значения поправки хронометра с разными знаками. Поэтому для определения u_m рекомендуется измерять зенитные расстояния Солнца вблизи первого вертикала и в азимутах, симметричных по отношению к меридиану наблюдателя, один раз в восточной, а другой — в западной части неба. Эта мера поможет также исключить из измерений зенитных расстояний погрешность «гнутие трубы», вызванную изменениями во взаимном расположении частей оптической системы зрительной трубы. У некоторых теодолитов эта погрешность может достигать существенной величины.

Допускается измерять зенитные расстояния Солнца на удалениях не более 30° от первого вертикала. Солнце наблюдают утром на востоке и вечером на западе. Время $T_{д_1}$ прихода Солнца в первый вертикал легко расчитать с точностью до 1^m по формуле

$$\cos t = \operatorname{tg} \delta_{\odot} \operatorname{ctg} \varphi. \quad (35)$$

Если наблюдения утренние, то $t_{\odot} = 24^h - t$, если вечерние, то $t_{\odot} = t$.

Летом с 1 апреля по 30 сентября

$$T_{д_1} = t_{\odot} - E_0 + (n + 2 - l), \quad (36)$$

а в остальное время года

$$T_{д_1} = t_{\odot} - E_0 + (n + 1 - l). \quad (37)$$

Наблюдения можно выполнять в предельный промежуток времени $\pm 2^h$ ч относительно момента $T_{д_1}$. Следует при этом иметь в виду, что при больших зенитных расстояниях, когда Солнце находится около линии горизонта, значение астрономической рефракции не может быть вычислено достаточно точно, поэтому утром наблюдения начинают только тогда, когда z_{\odot} становится меньше

Таблица 11

Журнал наблюдений

Дата 7 июня 1984 г.
Столб 10 $\varphi_0 = 57^\circ 29' 30'' N$

Инструмент ОТ-02 № 10650

Хронометр средний № 14552

 $MZ = 0^\circ 00' 11,2''$ $u_{xp} = +16,5^s$ $t^\circ = +13,6^\circ$
 $B = 992,0$ гПа (742,3 мм рт. ст.)
Прием 1

Наблюдаемый край	Круг	Хронометр	Вертикальный круг			
☉	Л	$8^h 04^m 39,5^s$	99°	58'	$\frac{20^{\Delta},0}{20,1}$	40,1''
		05 39,0	100	02	$\frac{18,4}{18,5}$	36,9
		06 19,5	99	48	$\frac{45,2}{45,1}$	90,3
		06 55,0	99	50	$\frac{58,0}{58,0}$	116,0
	П	8 10 16,0	79	38	$\frac{46,5}{46,7}$	93,2
		10 55,0	79	36	$\frac{28,0}{28,1}$	56,1
		11 44,5	79	48	$\frac{46,2}{46,3}$	92,5
		11 20,5	79	46	$\frac{31,5}{31,8}$	63,3

Наблюдатель:

Помощник:

80—75°, а вечером наблюдения заканчивают при тех же условиях.

Порядок наблюдений, запись в журнале и его обработка совершенно те же, что и при определении широты по Солнцу (см. § 13). Поскольку погодные условия утром и вечером изменяются значительно быстрее, чем в полдень, показания термометра и барометра-анероида рекомендуются отсчитывать до начала выполнения приема и

сразу после окончания. В журнал записывают средние их значения, исправленные инструментальными поправками.

Измерения зенитных расстояний Солнца выполняют только с темным светофильтром, призмная окулярная насадка не применяется. Образец журнала наблюдений при определении поправки хронометра по Солнцу приведен в табл. 11, а сводки результатов наблюдений — в табл. 12.

Т а б л и ц а 12

Наблюдаемый край	Круг	Хронометр	Вертикальный круг
7 июня 1984 г. Прием 1. $MZ = 0^{\circ}00'11,2''$ $u_{xp} = +16,5^s$ $t^{\circ} = +13,6^{\circ}$ $B = 992,0$ гПа (742,3 мм рт. ст.)			
☉	Л	$8^h04^m39,5^s$	$99^{\circ}58'40,1''$
☉		05 39,0	100 02 36,9
☉		06 19,5	99 49 30,3
☉		06 55,0	99 51 56,0
☉	П	8 10 16,0	79 39 33,2
☉		10 55,0	79 36 56,1
☉		11 44,5	79 49 32,5
☉		12 20,5	79 47 03,3

§ 17. Порядок вычисления поправки хронометра

Обработку наблюдений в приеме выполняют отдельно для каждого из восьми наблюдений Солнца.

1. Для начала и конца каждого полуприема по формулам (20) и (22) вычисляют (табл. 13) δ_{\odot} и E . На остальные моменты наблюдений эти величины интерполируют по времени. При этом поправку хронометра относительно декретного времени достаточно знать приближенно с точностью до 2 мин.

2. С учетом известного места зенита, которое определяют как среднее из значений MZ в начале и конце

Таблица 13

Схема вычисления	Л		П	
	1	4	5	8

Вычисление суточного параллакса Солнца

\odot	8,67''	8,67''	8,67''	8,67''
$\sin z$	0,9400	0,9413	0,9355	0,9371
p	8,15	8,16	8,11	8,12

Вычисление видимого склонения Солнца

$T_{\text{ХР}}$	$8^{\text{h}}04^{\text{m}}39,5^{\text{s}}$	$8^{\text{h}}06^{\text{m}}55,0^{\text{s}}$	$8^{\text{h}}10^{\text{m}}16,0^{\text{s}}$	$8^{\text{h}}12^{\text{m}}20,5^{\text{s}}$
$u_{\text{ХР}}$	+ 16,5			
ΔT	+ 55,0			
M^*	4 05 51,0	4 08 06,5	4 11 27,5	4 13 32,0
$(M^*)^{\text{h}}$	4,097	4,135	4,191	4,226
$M^*:48$	0,086	0,086	0,088	0,088
δ_0	$22^{\circ}45'02,0'' N$			
v_{δ_1}	+ 13,52			
v_{δ_0}	+ 14,52			
Δv_{δ}	- 1,00			
$(M^*:48) \times$	-0,086	-0,086	0,088	0,088
$\times \Delta v_{\delta}$				
$v_{\delta_0} + (M^*:$	+14,43	+14,43	+14,43	+14,43
$:48) \Delta v_{\delta}$				
$\Delta \delta$	+59,12	+59,67	+60,48	+60,98
δ_{\odot}	$22^{\circ}46'01,1'' N$	$22^{\circ}46'01,7'' N$	$22^{\circ}46'02,5'' N$	$22^{\circ}46'03,0'' N$

Вычисление вспомогательной величины E

E_0	$12^{\text{h}}01^{\text{m}}15,22^{\text{s}}$			
v_{E_1}	-0,474			
v_{E_0}	-0,464			
Δv_E	-0,010			
$M^*v_{E_0}$	-1,90	-1,92	-1,94	-1,96
ΔE	0,00			
E	12 01 13,32	12 01 13,30	12 01 13,28	12 01 13,26

наблюдений, вычисляют по формуле (28) или (29) видимые z' каждого наблюденного края Солнца с точностью $0,1''$ (табл. 14).

3. Зенитные расстояния светила вблизи первого вертикала (утром и вечером) измеряются быстро, и поэтому астрономическую рефракцию следует вычислять для каждого измерения в отдельной вспомогательной таблице (табл. 15).

4. Для значений $z=z'+\rho$ в начале и конце каждого полуприема вычисляют (см. табл. 13) по формуле (14) суточный параллакс Солнца, причем горизонтный параллакс выбирают из АЕ и интерполируют на дату наблюдений.

5. Находят средний момент приема $T_{\text{ср}}$ с точностью до 1^m как среднее из первого и последнего момента наблюдений. Если поправка хронометра превышает 1^m , ее надо учитывать при выводе $T_{\text{ср}}$. В нашем примере (см. табл. 12) $T_{\text{ср}}=1/2(8^h05^m+8^h12^m)=8^h08^m$. Далее переводят его в значение эфемеридного времени по формуле (23), на этот момент $M^*=4^h09^m$, интерполируют из АЕ видимый радиус Солнца и после округления с точностью до $0,1''$ записывают его значение (одно для всех наблюдений в приеме) в табл. 14. Туда же записывают с точностью $0,1''$ величины астрономической рефракции и суточного параллакса из табл. 15.

6. Вычисляют геоцентрические зенитные расстояния центра Солнца по формуле (16) для каждого измерения раздельно.

7. С известной широтой места φ и значениями δ_{\odot} по формуле (32) вычисляют по шестизначным значениям натуральных тригонометрических функций часовые углы Солнца для каждого наблюдения; переводят их в часовую меру с точностью до $0,01^s$. При этом, если Солнце на западе, $t_{\odot}=t$, если на востоке, $t_{\odot}=24^h-t$.

8. По формуле (33) для каждого наблюдения Солнца получают местное среднее время m , а по формуле (34) — поправку хронометра u_m относительно этого времени. За окончательный результат принимают среднее арифметическое из всех принятых в обработку значений поправки хронометра.

Порядок вычисления поправки хронометра из одного измерения зенитного расстояния Солнца приведен в табл. 16.

Схема вычислений	Л			
	1	2	3	4
z'	70°03'	69°55'	70°21'	70°16'
μ	1,7605	1,7605	1,7603	1,7604
$\lg \operatorname{tg} z'$	0,4401	0,4370	0,4472	0,4453
γ	-55			
$\gamma(\lambda - 1)$	-1			
B	-103			
$\lg p$	2,1847	2,1816	2,1916	2,1898
p	+153,01''	+151,92''	+155,45	+154,81

Полная ведомость вычислений поправки хронометра по зенитным расстояниям Солнца приведена в табл. 14.

В приведенном примере вспомогательная величина E вычислялась при условии, что в партии имелся радиоприемник и была известна поправка хронометра относительно московского времени. Если на практике нет возможности узнать эту поправку, хотя бы приблизительно с точностью до 3—5^m (например, в ближайшем населенном пункте), то поступают следующим образом. Сначала с приближенным значением δ_{\odot} вычисляют для первого и последнего наблюдений в приеме t_{\odot} и эфемеридное время вычисляют по приближенному соотношению

$$M^* = T_{\odot} - E_0 - v_{E_0}(T_{\odot} - E_0) + \Delta T, \quad (38)$$

где T_{\odot} — часовой угол Солнца на гринвичском меридиане

$$T_{\odot} = t_{\odot} - l_0,$$

где l_0 — долгота места в часовой мере (перевод градусной меры в часовую см. в прил. 1), определенная по карте. Порядок вычислений приведен в табл. 17.

На промежуточные моменты наблюдений M^* интерполируют по времени между первым и последним моментом в приеме. С этими аргументами вычисляют точные δ_{\odot}

и E . Для контроля с окончательно полученным значением склонения снова вычисляют эфемеридное время по формуле (38). Вторично вычисленные таким образом

П			
5	6	7	8
69°19'	69°14'	69°39'	69°34'
1,7607	1,7607	1,7606	1,7606
0,4230	0,4211	0,4307	0,4288
2,1678	2,1659	2,1754	2,1735
+147,18''	+146,52''	+149,76''	+149,11''

M^* не должны отличаться от первоначальных более чем на 5^m . В противном случае выполняется перевычисление по уточненным аргументам.

§ 18. Вывод вероятнейшего значения поправки хронометра из приема и оценка точности

Порядок получения вероятнейшего значения поправки хронометра u_m из одного приема показан в табл. 18.

Оценка точности окончательного результата производится по формулам (30) и (31). В нашем случае $[vv] = 3,85$ и средняя квадратическая погрешность определения поправки хронометра из одного наблюдения Солнца равна $\pm 0,80^s$, а его вероятнейшего значения из приема равна $\pm 0,28^s$. За вероятнейшее значение принимают среднее арифметическое из величин u_m , полученных при при Л и П.

$$u_m = -2^h 01^m 18,50^s \pm 0,28^s$$

и соответствует среднему значению отсчета по хронометру $8^h 08^m 36,12^s$.

§ 19. Определение долготы места

На рис. 10 центр небесной сферы совмещен с центром земного шара $NqSq_1$. В этом случае ось мира PP_1 совпадает с осью вращения Земли, а плоскость небесного экватора $QDYQ_1$ — с плоскостью земного экватора $qdoq_1$. Пусть $N1qS$ и $N2qS$ соответственно географические меридианы пунктов 1 и 2, расположенных к востоку от меридиана Гринвича. Географические долготы этих пунктов

Таблица 16

Схема вычисления	Вычисление	Примечание
z_{\odot}	70°21'02,8''	Геоцентрическое зенитное расстояние Солнца Видимое склонение Солнца (см. табл. 13)
δ_{\odot}	22 46 01,1 N	
$\cos z_{\odot}$	0,336261	Значение φ взято из астроопределений (см. табл. 10) $x = \cos z_{\odot} - \sin \varphi \sin \delta_{\odot}$ $y = \cos \varphi \cos \delta_{\odot}$ $\frac{x}{y}$
$\sin \delta_{\odot}$	0,386984	
$\sin \varphi$	0,843313	
$\sin \varphi \sin \delta_{\odot}$	0,326349	
x	0,0099112	
$\cos \delta_{\odot}$	0,922086	
$\cos \varphi$	0,537422	
y	0,495549	
$\cos t_{\odot}$	0,020002	
$(t_{\odot})^{\circ}$	271°08'46,0''	
t_{\odot}	18 ^h 04 ^m 35,07 ^s	Часовой угол Солнца в часовой мере (перевод по табл. V АЕ)
E	12 01 13,32	Вспомогательная величина E (см. табл. 13)
$\mu\Delta T$	+0,015	Перевод по табл. П ^a АЕ
m	6 03 21,90	Местное среднее время Отчет по хронометру в момент наблюдений
T_{xp}	8 04 39,5	
u_m	-2 01 17,60	Поправка хронометра относительно местного среднего времени

$\lambda_1 = \sphericalangle oq$ и $\lambda_2 = \sphericalangle od$. Спроецируем на поверхность небесной сферы по направлениям отвесных линий зениты этих пунктов и получим соответственно Z_1 и Z_2 . Затем через точки зенитов проведем их небесные меридианы и небесный меридиан некоторого светила σ . По условию теоремы светило одновременно наблюдается в пунктах 1 и 2, расположенных на поверхности Земли. В пункте 1 часовой угол светила t_1 равен сферическому углу σPZ_1 , а в пункте 2 t_2 равен сферическому углу σPZ_2 , следова-

Таблица 17

Схема вычисления	Вычисление	
t_{\odot} t_0	$18^h 04^m 35^s$ 1 58 26,5 0	Часовой угол Солнца Долгота места с карты
T_{\odot} E_0	16 06 08,5 12 01 15,2	Часовой угол Солнца в Гринвиче Величина E в O^1 эфемеридного времени (АЕ)
$T_{\odot} - E_0$ $-v_{E_0}(T_{\odot} - E_0)$ ΔT	4 04 53,3 +1,9 +55,0	Поправка за часовое изменение в этом промежутке времени Поправка за переход от все- мирного времени к эфемеридно- му
M^* $(M^*)^h$	4 05 50,2 4,097	Искомое эфемеридное время То же, в часах и долях часа (табл. VI АЕ)

тельно,

$$t_1 - t_2 = \angle \sigma P Z_1 - \angle \sigma P Z_2 = \angle Z_1 P Z_2.$$

В свою очередь сферический угол $Z_1 P Z_2$ между небесными меридианами пунктов 1 и 2 измеряется дугой небесного экватора $\cup QD$, стягивающей центральный угол $\angle QCD$. Из рис. 10 видно, что этим же центральным углом измеряется разность географических долгот пунктов: $\cup oq - \cup od = \lambda_1 - \lambda_2 = \angle QCD$. Следовательно, $\lambda_1 - \lambda_2 = t_1 - t_2$.

Пункты 1 и 2 расположены к востоку от Гринвича. Если бы мы рассматривали пункты с западными долготами, то

$$\lambda_2 - \lambda_1 = t_1 - t_2.$$

В общем виде

$$t_1 - t_2 = \pm (\lambda_1 - \lambda_2) \Big|_W^0.$$

Это равенство справедливо для любого светила, применимо оно и к точке весеннего равноденствия. На рис. 10 часовой угол точки весеннего равноденствия Υ в пункте

Л			
m	T_{xp}	u_m	v
$6^h 03^m 21,90^s$	$8^h 04^m 39,5^s$	$-2^h 01^m 17,60^s$	-0,66
04 22,05	05 39,0	16,95	-0,01
05 02,17	06 19,5	17,33	-0,39
05 39,13	06 55,0	15,87	+1,07
6 04 36,31	8 05 53,25	-2 01 16,94	-1,06 +1,07

$u_m = -$

l измеряется дугой $Q\Upsilon$, а в пункте 2 — дугой $VD\Upsilon$.
Тогда

$$\cup QD = \cup QR - \cup D\Upsilon = t_{r_1} - t_{r_2} = \lambda_1 - \lambda_2.$$

Так как часовой угол t_r является мерой звездного времени (см. § 4), то $t_{r_1} = s_1$, а $t_{r_2} = s_2$. Один и тот же

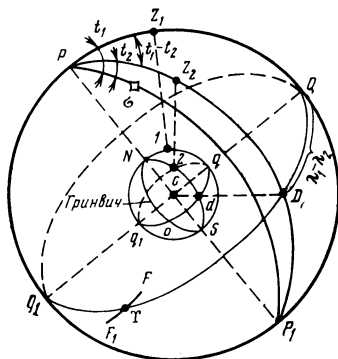


Рис. 10

физический момент времени на географическом меридиане каждого пункта будет измеряться в системе своего местного времени. Следовательно,

$$\lambda_1 - \lambda_2 = s_1 - s_2.$$

Разность географических долгот двух пунктов Земли равна разности их местных времен, взятых в один и тот же физический момент времени.

П			
m	T_{xp}	u_m	v
$6^h 08^m 55,86^s$	$8^h 10^m 16,0^s$	$-2^h 01^m 20,14^s$	$-0,07$
09 35,61	10 55,0	19,39	+0,68
10 23,27	11 44,5	21,23	-1,16
11 00,98	12 20,5	19,52	+0,55
6 09 58,93	8 11 19,00	-2 01 20,07	-1,23
			+1,23

$-2^h 01^m 18,50^s$

Если в пунктах 1 и 2 время измеряют в системе местного среднего времени, то

$$\lambda_1 - \lambda_2 = m_1 - m_2.$$

Относительно Гринвичского меридиана географические долготы пунктов 1 и 2 будут соответственно

$$\lambda_1 = m_1 - M; \quad \lambda_2 = m_2 - M,$$

где M — среднее гринвичское (всемирное) время.

Так как λ выражается в градусной мере, то для перевода разности времен в градусную меру в правые части равенств должен быть введен переходный коэффициент $\lambda = 15(m - M)$ или можно воспользоваться таблицей (см. прил. 1).

Если не требуется большой точности определений, то гринвичское время можно определить по формуле (9) или (10), получив московское время по радио (по программе шести звуковых точек), а местное среднее время определить из измерений зенитных расстояний Солнца. В этом случае географическая долгота будет получена приближенно.

Радиосигналы программы шести звуковых точек не получают поправок за время их прохождения от Москвы до вещательных станций, расположенных в различных районах СССР. За счет этого сигналы различных радиостанций могут различаться между собой до $0,1^s$. Для московских радиостанций эта погрешность составляет $0,005 - 0,010^s$.

Географическая долгота вычисляется не менее чем по

двум приемам определения поправки хронометра u_m , которые наблюдаются в азимутах, симметрично расположенных относительно меридиана наблюдателя и возможно ближе к первому вертикалу. Большое число определений поправки хронометра повышает надежность полученного значения долготы места.

Промежуток времени, охватывающий наблюдения для определения поправки хронометра, не должен превышать 8 ч. При этом поправку хронометра необходимо определять не реже чем через 2 ч. Рекомендуется определять долготу в разные даты и за вероятнейшее принять их среднее весовое значение. За единицу веса в этом

Таблица 19

Схема вычисления	Вычисление	Примечание
T_M	$8^h00^m00,0^s$	Московское время сверки хронометра, ближайшее к приему определения u_m Отсчет по хронометру в момент приема сигналов времени
$T_{\text{сигн}}$	7 59 44,0	
u_m	-2 01 18,50	Поправка хронометра относительно местного времени из наблюдений (см. табл. 18) Средний момент, отвечающий u_m Промежуток времени от момента приема радиосигналов времени до среднего момента приема То же, в часах и долях часа (см. прил. 5) Часовой ход хронометра. Из журнала приема радиосигналов времени на дату наблюдений См. формулу (18)
$T_{\text{ср}}$	8 09	
$T_{\text{ср}} - T_M$	0 09	
$(T_{\text{ср}} - T_M)^h$	$0,150^h$	
ω	$+4,0^s$	
$\omega(T_{\text{ср}} - T_M)^h$	$+0,60$	
$u_{\text{сигн}}$	-2 01 19,10	$u_{\text{сигн}} = u_m - \omega(T_{\text{ср}} - T_M)$ Минус потому, что мы переносим u_m назад, на момент приема сигналов времени $T_{\text{сигн}} + u_{\text{сигн}}$ Всемирное время приема сигналов времени [см. формулу (9)]
$m_{\text{сигн}}$ M	5 58 24,90 4 00 00,0	
l	1 58 24,90	Долгота места восточная в часовой мере Долгота места в градусной мере. Перевод по табл. V АЕ или прил. 1
λ	$29^\circ36'13,5''$	

случае принимается одна пара утренних и вечерних определений u_m .

Процесс определения долготы места наблюдения при известной поправке хронометра относительно местного времени заключается в переносе u_m по формуле (18) или (19) на ближайший момент приема радиосигналов точного времени и сравнения в этот момент местного среднего времени t с гринвичским (всемирным). Порядок вычисления долготы места по значению поправки хронометра приведен в табл. 19.

При тщательной работе долготу места по наблюдениям Солнца можно определить с точностью $0,3^s$ sec φ — $0,5^s$ sec φ и грубее.

Глава V.

Определение азимута направления на земной предмет по часовым углам Солнца

§ 20. Сущность способа

Астрономический азимут направления на земной предмет численно равен двугранному углу между плоскостью меридиана наблюдателя и вертикальной плоскостью, проходящей в данном направлении.

Астрономический азимут направления на земной предмет, именуемый так по методу определения, называют еще истинным или географическим.

Азимут направления на земной предмет рекомендуется определять по часовому углу Солнца, так как этот способ практически применим на любой географической широте и не зависит от сезона наблюдений. Способ предусматривает знание поправки хронометра (часов), но широкое распространение портативных и надежных в работе транзисторных радиоприемников позволяет определять ее достаточно точно. Азимут, определенный по часовым углам Солнца, не искажен ошибками за погрешность вычисления астрономической рефракции, так как зенитные расстояния в этом способе не измеряются. Поэтому точность определения азимута удовлетворительна и тогда, когда Солнце находится низко над горизонтом. Горизонтальные направления измеряются теодолитом гораздо точнее, чем зенитные расстояния

или углы наклона. Применение наружного термометра и барометра-анероида не требуется.

Если известны поправки хронометра $u_{\text{хр}}$, широта φ и долгота места наблюдения λ (обычно их берут с карты крупного масштаба), то, определив по хронометру момент прохождения центра диска Солнца через вертикальную нить сетки нитей зрительной трубы теодолита, можно вычислить азимут Солнца A_{\odot} на данный момент.

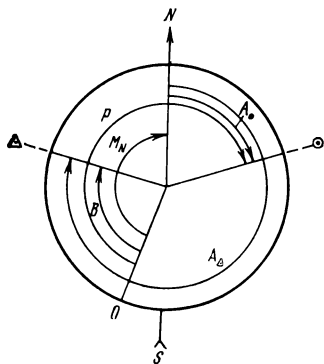


Рис. 11

Вычисления ведут по формуле (4), видимое склонение Солнца, необходимое для вычислений, выбирают из АЕ с помощью интерполяционной формулы (20). Часовой угол Солнца относительно южной части меридиана наблюдателя находят по формулам (21) и (22).

На рис. 11 обозначим горизонтальное направление на земной предмет B ; направление на Солнце — P ; 0 — направление нулевого диаметра лимба горизонтального круга теодолита.

Наблюдение Солнца дает возможность определить на местности направление меридиана. Этому направлению будет соответствовать отсчет горизонтального круга теодолита, когда коллимационная плоскость зрительной трубы совпадает с северной частью плоскости меридиана наблюдателя. Отсчет этот будем называть местом Севера и обозначим M_N . Деления лимба горизонтального круга возрастают по ходу часовой стрелки.

$$M_N = P - A_{\odot}. \quad (39)$$

Зная место Севера, всегда легко получить азимут направления на земной предмет

$$A_{\text{астр}} = B - M_N. \quad (40)$$

Формулами (20), (21), (22), (4), (39) и (40) будем пользоваться при определении астрономического азимута направления на земной предмет по часовым углам Солнца. Этот способ можно применять практически на

любой широте, но наблюдения можно выполнить лишь при высоте Солнца не менее 10° и не более 50° .

Рассмотрим выгоднейшие условия определения азимута по часовым углам Солнца. Продифференцировав формулу (4) по переменным A , φ и t , после несложных преобразований получим

$$\Delta A = \cos q \cos \delta \operatorname{cosec} z \Delta t - \sin A \operatorname{ctg} z \Delta \varphi.$$

Из этой формулы следует, что погрешности в значениях часового угла Δt и широты $\Delta \varphi$ будут меньше всего влиять на ошибку в определении азимута ΔA при зенитных расстояниях, близких к 90° , когда Солнце находится вблизи горизонта. Действительно, влияние Δt будет минимально, так как при $z=90^\circ$ $\operatorname{cosec} z$ принимает свое наименьшее значение. Когда склонение Солнца наибольшее (например, летом), влияние Δt на азимут уменьшается, так как уменьшается величина $\cos \delta$. Влияние $\Delta \varphi$ на азимут при наблюдениях Солнца у горизонта практически исключается ($\operatorname{ctg} 90^\circ=0$). Вблизи горизонта Солнце бывает на восходе и заходе. Следовательно, выгоднейшим временем для наблюдений являются утренние и вечерние часы. Однако начинать утренние наблюдения следует не ранее чем через 40 мин после восхода Солнца и заканчивать не позднее чем за 30—40 мин до захода.

Так как коэффициент при Δt в уравнении погрешностей не равен нулю, то при определении азимута по часовым углам Солнца поправка хронометра должна быть известна достаточно точно. Погрешность в часовом угле возникает также из-за ошибки отсчета по хронометру (часам), от неточного знания долготы места и от изменения хода хронометра.

Наибольшая ошибка ΔA возникает при наблюдении Солнца во время его прохождения через меридиан наблюдателя, когда $z=\varphi-\delta_\odot$ минимально и $\operatorname{cosec} z$ имеет наибольшее из всех возможных значений. В этом случае зависимость максимальной погрешности в азимуте от ошибки в часовом угле Солнца

$$\Delta A_{\max} = \cos \delta_\odot \operatorname{cosec} (\varphi - \delta_\odot) \Delta t.$$

Для широты $60^\circ N$ ΔA_{\max} колеблется в пределах от $\Delta A = 1,54 \Delta t$ до $\Delta A = 0,93 \Delta t$ в зависимости от величины склонения Солнца.

Ошибки измерения горизонтальных направлений полностью входят в определенный азимут. Для их уменьшения азимут следует наблюдать несколькими приемами и обязательно с перестановкой лимба между ними на величину $\frac{180^\circ}{n}$, где n —общее число приемов.

Поскольку на практике Солнце наблюдают на зенитных расстояниях, меньших 80° , то влияние $\Delta\phi$ не исключается полностью. Для достижения большей точности рекомендуется половину приемов выполнять утром, а половину—вечером. За окончательный результат нужно принять среднее значение азимута из утренних и вечерних приемов. Тогда $\sin A$ в уравнении погрешностей будет иметь разные знаки, следовательно, в окончательном результате определений ошибка $\Delta\phi$ практически исключается.

Недостатком способа является то, что из-за относительно быстрого перемещения диска Солнца в поле зрения трубы вертикальную нить сетки невозможно с большой точностью навести на край диска. Поэтому по часовым углам Солнца азимут можно определять со средней квадратической погрешностью $\pm 5''$ и грубее. При определении астрономического азимута с точностью $\pm 1'$ в средних широтах допустимо производить наблюдения при любых зенитных расстояниях Солнца, меньших 80° , т. е. практически в течение всего дня.

§ 21. Особенности измерения горизонтальных направлений на Солнце

Измерение горизонтальных направлений на Солнце сопровождают отсчетами по хронометру. Визирование выполняется наблюдением моментов прохождения правого или левого края видимого диска Солнца через вертикальную нить сетки нитей трубы теодолита. Зрительная труба должна быть отфокусирована на бесконечность. Наблюдения Солнца выполняют только с применением темного светофильтра. Цилиндрический уровень при алидаде горизонтального круга защищает от прямых лучей Солнца картонным козырьком. Рассмотрим основные методики измерения горизонтальных направлений на Солнце.

1. После грубого наведения трубы на диск Солнца вертикальную нить сетки нитей трубы (или одну из ни-

тей биссектора) приближают наводящим винтом алидады горизонтального круга к изображению диска Солнца со стороны видимого движения светила. Закончив перемещение алидадной части теодолита, наблюдатель подает команду «внимание», по которой помощник наблюдателя начинает следить за движением секундной стрелки хронометра. Микрометренным движением трубы по высоте наблюдатель удерживает среднюю горизонтальную нить на середине диска Солнца, в момент касания края диска вертикальной нити он подает команду «есть», и помощник наблюдателя, последовательно отсчитывая показания секундной, минутной и часовой стрелок хронометра, записывает в журнал полный отсчет по хронометру. Затем наблюдатель диктует помощнику отсчеты по горизонтальному кругу.

Далее, сохраняя неподвижность алидадной части теодолита, наблюдают прохождение изображения диска Солнца через перекрестие нитей, следя за тем, чтобы средняя горизонтальная нить по-прежнему делила диск Солнца пополам. В момент касания противоположного края диска неподвижной вертикальной нити берут второй отсчет по хронометру. Среднее из двух отсчетов по хронометру относится к моменту прохождения центра диска Солнца через вертикальную нить и соответствует сделанному ранее отсчету по горизонтальному кругу.

2. Если Солнце наблюдают в разрывах облаков, то применяют другой способ наблюдений. При нем наблюдатель работает одновременно двумя наводящими винтами теодолита. Наводящим винтом зрительной трубы он удерживает изображение диска Солнца на средней горизонтальной нити, а наводящим винтом алидады горизонтального круга подводит вертикальную нить к диаметрально противоположным краям диска Солнца. При каждом контакте вертикальной нити с изображением диска Солнца берут отсчеты по хронометру и по горизонтальному кругу. Среднее из отсчетов по горизонтальному кругу относится к центру Солнца, и ему соответствует средний момент из двух отсчитанных показаний хронометра. Этот способ наблюдения менее точен из-за увеличения погрешности наведения нити на край Солнца.

3. Если в конце программы исполнения приема наблюдений выполнено визирование только на один край Солнца и наблюдения пришлось прервать из-за плохой

видимости, то эти измерения можно принять в обработку, если совместно с отсчетом по горизонтальному кругу взять отсчет и по вертикальному кругу, а сразу после завершения приема тщательно определить место зенита и двойную коллимационную ошибку $2c$. Тогда с помощью места зенита можно вычислить видимое зенитное расстояние Солнца z' , исправить его поправкой за рефракцию $z = z' + \rho$ и привести незаконченное наблюдение к центру диска Солнца, исправив отсчет по горизонтальному кругу за влияние коллимационной ошибки $c \operatorname{cosec} z$ и за видимый радиус Солнца $\pm R_{\odot} \operatorname{cosec} z$.

$$\Pi_{\odot} = \Pi + \operatorname{cosec} z (c \pm R_{\odot}), \quad \Lambda_{\odot} = \Lambda - \operatorname{cosec} z (c \pm R_{\odot}).$$

Знаки плюс или минус у поправки за радиус ставят в зависимости от того, какой край диска Солнца наблюдался—левый или правый.

§ 22. Порядок наблюдений. Запись в журнале и его обработка

Полная программа наблюдений одного приема состоит из следующих действий.

Первый полуприем — круг право (круг лево):
 1) наведение трубы теодолита на земной предмет и отсчеты по горизонтальному кругу; 2) установка темного светофильтра на окуляр; 3) наведение трубы теодолита на Солнце. Наблюдение касания правого (левого) края диска Солнца вертикальной нити сетки нитей трубы и отсчеты по хронометру и по горизонтальному кругу; 4) наблюдение касания левого (правого) края диска Солнца с отсчетом по хронометру. Отсчеты по горизонтальному кругу не берут, если наблюдения ведут по программе 1 (см. § 21). Применение программы 2 (см. § 21) сопровождается отсчетами по горизонтальному кругу; 5) повторение всех действий пунктов 3 и 4; 6) снятие светофильтра с окуляра; 7) повторное наведение трубы теодолита на земной предмет и отсчеты по горизонтальному кругу.

Второй полуприем — круг лево (круг право): повторяются все действия первого полуприема. Лимб между полуприемами не переставляют. Между приемами лимб переставляют на величину $\frac{180^\circ}{n} + i$, где n —

число приемов, зависящее от требуемой точности измерения азимута, i — некоторое кратное число минут внутри градуса. Продолжительность одного приема не должна превышать 20—25 мин. Для исключения погрешности за неточное знание широты места половину приемов следует наблюдать утром, а другую половину — вечером.

При наблюдениях Солнца утром и вечером призмная окулярная насадка не используется. Для визирования на Солнце рекомендуется специальная конструкция светофильтра, где темный светофильтр крепится к кольцу окулярной насадки на петлях. При наблюдении на Солнце поле зрения трубы закрывается стеклом светофильтра, а при визировании на земной предмет светофильтр отводится в сторону. Отпадает необходимость снимать всю насадку, что ускоряет работу. Применение такой конструкции светофильтра способствует повышению точности измерений, так как сохраняется стабильность визирной оси.

Отсчеты по хронометру и по горизонтальному кругу теодолита записывают в журнал установленной формы. Перед началом наблюдений в журнал записывают: дату наблюдений; название пункта, на котором выполняют измерения; название пункта (земной предмет), азимут которого определяют; широту и долготу места наблюдений; номера теодолита и хронометра; фамилии наблюдателя и помощника. После наблюдений в журнал записывают поправку хронометра $\bar{u}_{хр}$ на средний момент приема. Наблюдения правого края Солнца отмечают в журнале значком \ominus |, а левого — значком | \ominus .

Для каждого приема определения азимута составляют чертеж взаимного расположения полуденной линии NS , направления на земной предмет B и направления на Солнце P . В конце журнала помещают чертеж взаимного расположения центра пункта и инструмента и числовые данные для вычисления поправок за центровку и редукцию.

Пример записей в журнале приведен в табл. 20. Средний хронометр поставлен по московскому времени. Во время работы выдерживаются соответствующие допуски на незамыкание горизонта в полуприемах и колебания величин двойной коллимационной ошибки $2c$ в приемах (табл. 21).

Таблица 20

Определение азимута по часовому углу Солнца

Журнал наблюдений

Дата 8 июня 1984 г.

Столб 10

Предмет: Горюшка

 $l = 1^h 58^m 24,9^s$ $\varphi = 57^\circ 29' 30''$ $u_{\text{хр}} = +1,0^s$

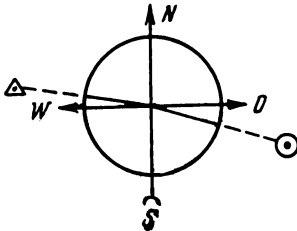
Инструмент ОТ-02 № 10650

Хронометр средн. № 14554

Прием 3

Объект наблюдений	Круг	Хронометр	Горизонтальный круг			
			Часы	Минуты	Секунды	
Горюшка	Л		60° 20'	$\frac{45,4^d}{45,6}$	91,0''	
		9 ^h 32 ^m 63,5 ^s				
			241 40	$\frac{57,0}{57,4}$	114,4	
		34 52,5		—		
			35 25,0	242 26	$\frac{09,4}{09,0}$	
		9 38 13,0		—		
Горюшка			60 20	$\frac{46,4}{46,4}$	92,8	$\Delta_L = +1,8''$
Горюшка	П		240 20	$\frac{50,9}{51,2}$	102,1	$2c_1 = -11,1''$
		9 42 21,5				
			63 58	$\frac{43,8}{43,8}$	87,6	
		45 10,0		—		
			45 31,0	64 40	$\frac{57,9}{58,1}$	
		9 48 20,0		—		
Горюшка			240 20	$\frac{52,4}{52,3}$	104,7	$2c_2 = -11,9''$ $\Delta 2c = -0,8''$

Ориентировочный чертеж



Наблюдатель:

Помощник:

Таблица 21

Элементы наблюдений, к которым относятся допуски	Типы теодолитов				
	T1, OT-02	T2, TB-1	T5	T15	T30
Расхождение результатов наблюдений на земной предмет в начале и в конце полуприема не более	8''	10''	0,3'	0,8'	1,5'
Абсолютная величина двойной коллимации, не более	20''	20''	30''	30''	4'
Колебания значений двойной коллимации в приеме не более	12''	15''	0,4'	Не установлено	

В случае превышения указанных допусков весь прием повторяется.

В нашем примере $\Delta_{\text{Л}} = +1,8''$; $\Delta_{\text{П}} = +2,6''$ (при допуске 8''). $2c_1 = \text{Л} - \text{П} = 91,0'' - 102,1'' = -11,1''$; $2c_6'' = 92,8'' - 104,7'' = -11,9''$. $\Delta 2c = -0,8''$ (при допуске 12'').

Обработка журнала наблюдений заключается в следующем:

1. Выводят средний момент приема с точностью до целых минут. В приводимом примере

$$T_{\text{ср}} = \frac{T_1 + T_2}{2} = \frac{9^{\text{h}}32^{\text{m}} + 9^{\text{h}}48^{\text{m}}}{2} = 9^{\text{h}}40^{\text{m}} = 9,67^{\text{h}}.$$

(Перевод минут в доли часа см. в прил. 5). На этот момент по данным журнала сверки хронометра на основании формулы (18) или (19) вычисляют поправку хронометра, которую записывают в журнал наблюдений. В нашем случае $u_{\text{хр}} = +1,0^{\text{s}}$.

2. На основании данных журнала составляют сводку результатов наблюдений (табл. 22), куда выписывают средние моменты прохождения центра Солнца через вертикальную нить и соответствующие им отсчеты по горизонтальному кругу. В той же сводке выводят средние значения направлений $B_{\text{ср}}$ на земной предмет для каждого полуприема отдельно (см. табл. 22).

Т а б л и ц а 22

Объект наблюдений	Круг	Хронометр	Горизонтальный круг
8 июня 1984 г.		Прием 3. $u_{xp} = +1,0^s$	
Горушка	Л		$60^{\circ}21'31,0''$
Солнце		$9^h33^m28,0^s$	241 41 54,4
Солнце		9 36 49,0	242 26 18,4
Горушка			60 21 32,8
$V_{ср}$			60 21 31,9
Горушка	П		240 21 42,1
Солнце		9 43 45,8	63 59 27,6
Солнце		9 46 55,5	64 41 56,0
Горушка			240 21 44,7
$V_{ср}$			240 21 43,4

§ 23. Порядок вычисления азимута

1. Для вычисления азимута направления на земной предмет по часовому углу светила необходимо знать широту места наблюдения φ и долготу l в часовой мере. При вычислении азимута со средней квадратической погрешностью $\pm 10 \div 15''$ значения широты и долготы места надо знать с точностью $m_{\varphi} = \pm 5''$, $m_l = \pm 0,3^s$ и получать их из астрономических определений или вычислять (прил. 6) по прямоугольным координатам пункта, выбранным из каталога. При определении азимута со средней квадратической погрешностью $\pm 30 \div 60''$ значения φ и λ определяются по топографической карте масштаба $1 : 100\ 000$ или крупнее. При этом долготу λ , выраженную в градусной мере, необходимо перевести в часовую меру.

2. Координаты Солнца δ_{\odot} и t_{\odot} вычисляют с помощью АЕ по формулам (20), (21) и (22). Для вычисления ко-

ординат необходимо знать эфемеридное время наблюдений M^* (см. формулы (23) и (24)) как промежуток интерполирования. Пример вычисления видимых координат Солнца приведен в § 10.

Видимые координаты Солнца изменяются быстро, и поэтому их изменения приходится учитывать в вычислениях. Обычно δ_{\odot} и t_{\odot} вычисляют для первого и четвертого моментов прохождения центра Солнца через неподвижную вертикальную нить (см. табл. 22). На второй и третий моменты координаты получают интерполяцией видимых координат во времени. Иногда вычисляют координаты для всех четырех моментов прохождения (табл. 23).

3. Азимут Солнца вычисляют отдельно для каждого момента прохождения центра Солнца через вертикальную нить по формуле (4). Ее можно записать как

$$\operatorname{ctg} A_{\odot} = x - y,$$

где

$$x = \sin \varphi \operatorname{ctg} t_{\odot}; \quad y = \cos \varphi \operatorname{tg} \delta_{\odot} \operatorname{cosec} t_{\odot}.$$

Исследуем формулу (4) на знаки. Азимут Солнца мы условились отсчитывать от точки Севера к востоку, как это принято в геодезии. Четверть, в которой находится направление на Солнце, определяем по величине t_{\odot} и знаку $\operatorname{ctg} a$, где a —табличное значение азимута Солнца.

Если при $0^h < t_{\odot} < 12^h$ $\operatorname{ctg} a$ имеет знак плюс, то A_{\odot} находится в III четверти

$$A_{\odot} = 180^{\circ} + a.$$

Знак минус при $\operatorname{ctg} a$ показывает, что A_{\odot} находится в IV четверти

$$A_{\odot} = 360^{\circ} - a.$$

Если при $12^h < t_{\odot} < 24^h$ $\operatorname{ctg} a$ имеет знак плюс, то A_{\odot} находится в I четверти

$$A_{\odot} = a;$$

Вычисление видимых координат Солнца

Порядок действий	Схема вычисления	8 июня 1984 г.		Прием 3	
		Л		П	
		1	2	3	4
1	T_{xp}	$9^h 33^m 28,0^s$	$9^h 36^m 49,0^s$	$9^h 43^m 45,8^s$	$9^h 46^m 55,5^s$
2	u_{xp}	+1,0			
3	ΔT	+55,0			
5	M^*	5 34 24,0	5 37 45,0	5 44 41,8	5 47 51,5
6	$(M^*)^h$	5,574	5,630	5,745	5,797
7	$M^*:48$	0,116	0,117	0,120	0,121
8	δ_0	$22^\circ 50' 38,5'' N$			
9	v_{δ_1}	+12,51			
10	v_{δ_0}	+13,52			
15	Δv_{δ}	-1,01			
16	$(M^*:48)\Delta v_{\delta}$	-0,117	-0,118	-0,121	-0,122
17	$v_{\delta_0} +$	+13,40	+13,40	+13,40	+13,40
18	$+(M^*:48)\Delta v_{\delta}$	+74,69	+75,44	+76,98	+77,68
19	δ_{\odot}	$22 51 53,2N$	$22 51 53,9$	$22 51 55,5$	$22 51 56,2N$
11	E_0	$12^h 01^m 03,96^s$			
12	v_{E_1}	-0,484			
13	v_{E_0}	-0,474			
20	Δv_E	-0,010			
21	$M^*v_{E_0}$	-2,64	-2,67	-2,72	-2,75
14	ΔE	-0,01	-0,01	-0,01	-0,01
22	E	12 01 01,31	12 01 01,28	12 01 01,23	12 01 01,20
4	M	5 33 29,0	5,36 50,0	5 43 46,8	5 46 56,5
23	l	1 58 24,9			
24	$-\mu\Delta T$	-0,15			
25	t_{\odot}	19 32 55,1	19 36 16,0	19 43 12,8	19 46 22,4

Порядок действий	Схема вычисления	8 июня 1984 г.		Прием 3	
		Л		П	
		1	2	3	4
<i>Вычисление азимута на пункт Горюшка</i>					
26	t_{\odot}	293°13'46,5''	294°04'00,0''	295°43'12,0''	296°35'36,0''
27	$\sin \varphi$	0,843313			
30	$\operatorname{ctg} t_{\odot}$	-0,429212	-0,446624	-0,483491	-0,500617
32	x	-0,361960	-0,376644	-0,407734	-0,422177
28	$\cos \varphi$	0,537422			
29	$\operatorname{tg} \delta_{\odot}$	0,421692	0,421696	0,421705	0,421709
31	$\operatorname{cosec} t_{\odot}$	-1,088220	-1,095204	-1,110749	-1,118310
33	y	-0,246619	-0,248205	-0,251733	-0,253449
34	$x - y$	-0,115341	-0,128439	-0,156001	-0,168728
35	a	83°25'13,9''	82°40'51,9''	81°08'00,2''	80°25'22,0''
36	Четверть	II	II	II	II
37	A_{\odot}	96 34 46,1	97 19 08,1	98 51 59,8	99 34 38,0
38	P	241 41 54,4	242 26 18,4	243 59 27,6	244 41 56,0
40	M_N	145 07 08,3	145 07 10,3	145 07 27,8	145 07 18,0
39	$B_{\text{ср}}$	60 21 31,9		60 21 43,4	
41	$M_{N_{\text{ср}}}$	145 07 09,3		145 07 22,9	
42	$A_{\text{астр}}$	275 14 22,6		275 14 20,5	
43	$A_{\text{астр}_{\text{ср}}}$		275 14 21,6		

Расхождения между значениями азимута не должны превышать следующих допусков:

требуемая точность определения азимута

$A_{\text{астр}}$ " 10 15 30 60

допустимые расхождения в полуприемах, " 40 60 90 150

допустимые расхождения между приемами, " 30 45 60 90

Каждый прием вычисляют наблюдатель и помощник независимо друг от друга.

знак минус показывает, что A_{\odot} находится во II четверти

$$A_{\odot} = 180^{\circ} - a.$$

Вычисления выполняют по шестизначным таблицам натуральных значений тригонометрических функций.

После вычисления A_{\odot} для каждого момента наблюдений вычисляют место Севера по формуле (39) и находят среднее место Севера для каждого полуприема в отдельности

$$M_{N_{\text{ср}}} = \frac{M_{N_1} + M_{N_2}}{2}.$$

Зная среднее место Севера, вычисляют азимут земного предмета $A_{\text{астр}}$ для каждого полуприема по формуле (40) и выводят среднее его значение $A_{\text{астр}_{\text{ср}}}$ из приема.

Порядок вычисления азимута направления на земной предмет по одному прохождению центра диска Солнца через вертикальную нить зрительной трубы теодолита приведен в табл. 24 (см. табл. 23).

Таблица 24

Схема вычисления	Вычисление	Примечание
$\sin \varphi$ $\text{ctg } t_{\odot}$	0,843313 -0,429212	$\varphi = 57^{\circ}29'30''N$ (см. табл. 10) $t_{\odot} = 293^{\circ}13'46,5''$
x	-0,361960	$x = \sin \varphi \text{ctg } t_{\odot}$
$\cos \varphi$ $\text{tg } \delta_{\odot}$ $\text{cosec } t_{\odot}$	0,537422 0,421692 -1,088220	$\delta_{\odot} = 22^{\circ}51'53,2''N$
y	-0,246619	$y = \cos \varphi \text{tg } \delta_{\odot} \text{cosec } t_{\odot}$
$x - y$ a Четверть	-0,115341 $83^{\circ}25'13,9''$ II	Табличный аргумент функции $\text{ctg } A_{\odot}$
A_{\odot} P	96 34 46,1 241 41 54,4	Искомый азимут Солнца Значение горизонтального направления на Солнце
M_N	145 07 08,3	Место Севера. Для второго момента $M_{N_2} = 145^{\circ}07'10,3''$
$B_{\text{ср}}$	60 21 31,9	Среднее значение направления на земной предмет
$M_{N_{\text{ср}}}$	145 07 09,3	Среднее значение M_N в полуприеме
$A_{\text{астр}}$	275 14 22,6	Азимут земного предмета из полуприема

Вычисления видимых координат Солнца и азимута направления на земной предмет рационально располагать на одном листе бумаги по форме, приведенной в табл. 23.

§ 24. Вывод вероятнейшего значения азимута на пункте и оценка точности

За окончательное значение астрономического азимута направления на земной предмет принимают среднее арифметическое из его значений, полученных из разных приемов (приемы должны удовлетворять установленным допускам). При необходимости оценка точности окончательного результата может быть выполнена по отклонениям v каждого значения азимута от среднего значения из n приемов. Вычисляют средние квадратические погрешности: определения азимута одним приемом

$$\mu = \sqrt{\frac{[vv]}{n-1}} \quad (41)$$

и его вероятнейшего значения на пункте

$$m_A = \frac{\mu}{\sqrt{n}}. \quad (42)$$

Образец вычислений вероятнейшего значения азимута на пункте приведен в табл. 25.

Таблица 25

Номер приема	Азимут	v	v^2
1	275° 14' 26,9''	+5,4''	29,16
2	14 16,7	-4,8	23,04
3	14 21,6	+0,1	0,01
4	14 11,1	-10,4	108,16
5	14 27,4	+5,9	34,81
6	14 25,3	+3,8	14,44
Среднее	245 14 21,5	+15,2 -15,2	209,62

$$\mu = \sqrt{\frac{209,6}{5}} = \pm 6,48'', \quad m_A = \frac{\mu}{\sqrt{6}} = \pm 2,6''$$

Окончательный результат: 275° 14' 22'' ± 3''.

§ 25. Переход от астрономического азимута к геодезическому азимуту и дирекционному углу

Геодезическим азимутом A_G называется двугранный угол между плоскостью геодезического меридиана данной точки и плоскостью, проходящей через нормаль в ней и содержащей данное направление, отсчитываемый от направления на север по ходу часовой стрелки.

В свою очередь геодезическим меридианом называется проекция географического меридиана по нормали на поверхность референц-эллипсоида.

Переход от астрономического азимута $A_{астр}$ к геодезическому азимуту A_G осуществляют по формуле Лапласа, учитывающей поправку за уклонение отвесной линии от нормали референц-эллипсоида,

$$A_G = A_{астр} + (L - \lambda) \sin \varphi,$$

где L —геодезическая долгота пункта, которую обычно получают путем перевычисления плоских прямоугольных координат пункта при помощи таблицы прил. 6.

Геодезической долготой L называется двугранный угол между плоскостями геодезического меридиана данной точки и начального геодезического меридиана.

Порядок вычисления приведен в табл. 26.

Т а б л и ц а 26

Схема вычисления	Вычисление	Схема вычислений	Вычисление
L	29°36'28,2''	$\sin \varphi$	0,843
λ	29 36 14	$A_{астр}$	275°14'21,5''
$L - \lambda$	+14,2	$(1 - \lambda) \sin \varphi$	+12,0
φ	57°29'30''	A_G	275°14'33,5''

Дирекционный угол α_{12} —это плоский угол в проекции Гаусса между проходящими через данную точку направлением и линией, параллельной оси абсцисс, отсчитываемый от северного направления оси абсцисс по ходу часовой стрелки.

Переход от геодезического азимута к дирекционному углу α_{12} выполняют по формуле

$$\alpha_{12} = A_{\Gamma} - \gamma_1 + \delta_{12},$$

где γ_1 —гауссово сближение меридианов (на плоскости) для пункта наблюдения азимута, или плоский угол между северным направлением прямой, параллельной оси абсцисс, и изображением геодезического меридиана на плоскости в проекции Гаусса; δ_{12} —поправка за кривизну изображения геодезической линии в проекции Гаусса на том же пункте

$$\delta_{12} = \frac{x_1 - x_2}{395,3} y_{\text{ср}},$$

где x_1 —абсцисса пункта, на котором определен азимут; x_2 —абсцисса пункта, принятого за земной предмет; $y_{\text{ср}}$ —средняя ордината этих пунктов.

Величины $(x_1 - x_2)$ и $y_{\text{ср}}$ выражают в километрах, тогда поправка δ_{12} получится в секундах дуги.

Гауссово сближение меридианов находят по значениям прямоугольных координат пунктов (прил. 9) или вычисляют по формуле

$$\text{tg} \gamma_1 = \text{tg} (L - L_0) \sin B,$$

где B —геодезическая широта пункта, на котором определен азимут; L_0 —долгота осевого меридиана шестиградусной зоны, в которой расположен этот пункт.

Геодезической широтой B называется угол, образованный нормалью к поверхности земного эллипсоида в данной точке и плоскостью его экватора.

Геодезическую широту можно вычислить по прямоугольным координатам пункта, на котором определен

Таблица 27

Схема вычисления	Вычисление	Схема вычисления	Вычисление
L	29° 36' 28,2''	$x_1 - x_2$	-0,02 км
L_0	27	$y_{\text{ср}}$	+154,2 км
$L - L_0$	+2 36 28,8	δ_{12}	0,0''
$\text{tg}(L - L_0)$	0,045549	γ_1	+2° 11' 58,9''
B	57° 29' 26''	$-\gamma_1 + \delta_{12}$	-2 11 58,9
$\sin B$	0,843303	A_{Γ}	275 14 33,5
$\text{tg} \gamma_1$	0,038412	α_{12}	273° 02' 34,6''

астрономический азимут, используя таблицу, помещенную в прил. 6.

Следует помнить, что к востоку от осевого меридиана γ_1 положительно и для получения дирекционного угла поправку за сближение меридианов нужно вычитать из значения геодезического азимута, а для мест, лежащих к западу от осевого меридиана,—прибавлять.

Порядок вычисления приведен в табл. 27.

Для определения дирекционного направления на земной предмет из астрономических определений не требуется знание точных значений геодезических и прямоугольных координат пунктов. Прямоугольные координаты пунктов достаточно знать с точностью 200—300 м, геодезические—с точностью 0,1—0,2'. Такую точность обеспечивают топографические карты масштаба 1 : 100 000 и крупнее.

Если геодезические и прямоугольные координаты пункта, на котором определен астрономический азимут, неизвестны, то перейти к дирекционному углу можно без промежуточного вычисления геодезического азимута по формуле

$$\alpha_{12} = A_{\text{астр}} - \gamma_{\text{астр}} + \delta_{12},$$

где $\gamma_{\text{астр}}$ —сближение меридианов, вычисленное по астрономической широте и долготе.

Величину δ_{12} в этом случае можно получить по формуле

$$\delta_{12} = 16 \cdot S_{12} \cos \varphi \operatorname{tg} (L_0 - \lambda) \cos A_{\text{астр}},$$

где S_{12} —расстояние от пункта наблюдения до земного предмета, выраженное в километрах. Приведенные формулы можно использовать и для контроля вычислений.

Таблица 28

Схема вычисления	Вычисление	Схема вычисления	Вычисление
λ	29°36'14''	S_{12}	1,9 км
$\lambda - L_0$	+2 36 14	$\cos A_{\text{астр}}$	0,091
φ	57 29 30	δ_{12}	0,0
$\operatorname{tg} (\lambda - L_0)$	0,045478	$\gamma_{\text{астр}}$	+2 11 46,7
$\sin \varphi$	0,843313	$-\gamma_{\text{астр}} + \delta_{12}$	-2 11 46,7
$\operatorname{tg} \gamma_{\text{астр}}$	0,038352	$A_{\text{астр}}$	275°14'21,5''
$\cos \varphi$	0,537	α_{12}	273 02 34,8

Порядок вычисления приведен в табл. 28 (осевой меридиан $L_0=27^\circ$).

Для приближенного определения $\gamma_{\text{астр}}$ (с точностью до минут градусной меры) можно использовать формулу

$$\gamma_{\text{астр}}=(\lambda-L_0) \sin \varphi.$$

Глава VI.

Определение азимута направления по зенитным расстояниям

Солнца и по наблюдениям Солнца на равных высотах

§ 26. Сущность способа определения азимута по зенитным расстояниям Солнца. Порядок наблюдений и запись в журнале

Азимут по измеренным зенитным расстояниям светила обычно определяют тогда, когда в партии нет хронометра или хороших часов с постоянным ходом. Способ рекомендуется для определения азимутов с точностью $\pm 0,5 \div 1,0'$ и грубее. Зная широту места и величину склонения в момент наблюдений (интерполируют по таблице в АЕ), можно по формуле (3) вычислить азимут Солнца и от него, пользуясь формулами (39) и (40), перейти к азимуту направления на земной предмет. Применяя этот способ, наблюдатель может обходиться без выверенных часов, поправку которых достаточно знать с точностью до 5 мин. Обычно в приеме выполняется восемь наведений на Солнце (при определениях пониженной точности—четыре). Для учета астрономической рефракции в каждом приеме измеряют температуру и атмосферное давление воздуха.

Определим выгоднейшие условия наблюдения азимута рассматриваемым способом. Для этого продифференцируем формулу (3) по переменным φ , z и A . После несложных преобразований получим

$$\Delta A = \sec \varphi (\cos q \operatorname{cosec} t \Delta z - \operatorname{ctg} t \Delta \varphi).$$

Отсюда следует, что наиболее благоприятные условия будут при часовых углах, близких к 90° и 270° , так как тогда $\operatorname{ctg} t = 0$, а $\operatorname{cosec} t = 1$. Такие условия возникают, когда Солнце находится в первом вертикале, т. е. на восходе и при закате. В этом случае погрешность от влия-

ния Δz будет наименьшей, потому что параллактический угол q в первом вертикале достигает наибольшей величины и $\cos q$ будет минимален. Момент прохождения Солнцем первого вертикала вычисляют по формулам (35) и (36) или (37). Зимой Солнце пересекает первый вертикал под горизонтом, поэтому наблюдать его надо в возможной близости к первому вертикалу. Однако следует помнить, что если зенитные расстояния больше 80° , то значение рефракции становится ненадежным и измерять зенитные расстояния в этих условиях не следует. Для исключения остаточной ошибки $\Delta\varphi$ рекомендуется наблюдать светило и утром и вечером симметрично относительно меридиана наблюдателя.

По мере удаления от первого вертикала и уменьшения зенитного расстояния погрешность ΔA возрастает. Поэтому не следует определять азимут по зенитным расстояниям Солнца на удалениях от первого вертикала более чем на $45\text{--}50^\circ$. В высоких широтах, севернее $68^\circ N$, этот способ вообще нельзя применять.

Перед началом наблюдений надо приготовить к работе теодолит, часы, термометр и барометр-анероид. Выполнить те же проверки приборов, что и при наблюдениях Солнца для определения широты или поправки хронометра. Особое внимание уделить определению места зенита вертикального круга до и после наблюдений. Минутную стрелку часов надо поставить так, чтобы она находилась точно на минутном делении, когда секундная стрелка проходит через нулевое деление.

В процессе наблюдений визирование на земной предмет проводят обычным порядком, а на Солнце—так, как указано в § 12 (см. рис. 9). Установку вертикальной нити трубы теодолита по центру диска Солнца надо выполнять особенно тщательно.

В некоторых руководствах рекомендуется при визировании изображение диска Солнца вписывать в угол, образованный вертикальной и горизонтальной нитями. Выполнять наблюдения таким методом допустимо только при определении азимута направления с точностью $\pm 2'$ и грубее.

Полный прием наблюдений состоит из следующих действий. Первый прием — круг право (лево): 1) наведение трубы теодолита на земной предмет и отсчеты по горизонтальному кругу; 2) установка темного светофильтра на окуляр; 3) два последовательных на-

Журнал наблюдений

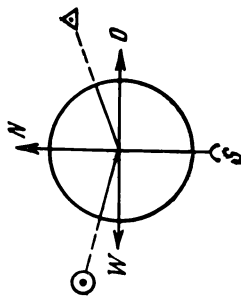
Дата 8 июня 1984 г. $l = 1^h 57^m 24,9^s$ Инструмент ОТ-02 № 10650
 Столб 10 $\varphi = 57^\circ 29' 30''$ Хронометр средний № 14552
 Предмет: Бугор $U_{\text{кр}} = +20,0^s$ $B = 988,95$ гПа (741,9 мм рт. ст.)
 $MZ = 359^\circ 59' 53,8''$ Прием 3
 $t^\circ = +19,0^\circ$

Объект наблюдений	Круг	Хронометр	Вертикальный круг			Горизонтальный круг		
Бугор	П	20 ^h 10 ^m 40,0 ^s	80°56'	$\frac{55,4^{\text{д}}}{55,4}$	110,8''	60°20'	$\frac{12,0^{\text{д}}}{12,1}$	24,1''
							$\frac{07,2}{07,0}$	14,2
							$\frac{32,2}{32,0}$	64,2
							$\frac{46,5}{46,3}$	92,8
Бугор		13 49,5	81 24	$\frac{55,6}{55,5}$	111,1	278 52	$\frac{07,8}{07,5}$	15,3
							$\frac{12,2}{12,4}$	24,6
Бугор	Л					240 20	$\frac{12,5}{12,9}$	25,4

Объект наблюдений	Круг	Хронометр	Вертикальный круг		Горизонтальный круг	
Φ		20 ^h 19 ^m 20,0 ^s	98°28'	$\frac{16,1^{\circ}}{16,1}$	32,2''	$\frac{52,5^{\circ}}{52,1}$
Φ		20 30,5	98 24	00,0 00,1	00,1	56,5 56,2
Φ		21 41,0	98 02	52,6 52,3	104,9	53,8 53,4
Φ		20 22 47,5	97,58	46,4 46,5	92,9	27,9 27,9
Бугор					240 20	$\frac{13,8}{14,3}$

Ориентировочный чертеж

$$\Delta_{\Pi} = +0,5'' \quad \Delta_{\text{Л}} = +2,7'' \quad 2c_1 = -1,3'' \quad 2c_8 = -3,5'' \quad \Delta 2c = -2,2''$$



Наблюдатель:
Помощник:

блюдения касания изображения верхнего края диска Солнца с горизонтальной нитью. Отсчеты по часам, вертикальному и горизонтальному кругам теодолита. При каждом визировании на Солнце пузырек уровня при алидаде вертикального круга приводится на середину; 4) два наблюдения касания изображения нижнего края диска Солнца с горизонтальной нитью. Отсчеты по часам, вертикальному и горизонтальному кругам теодолита; 5) снятие светофильтра с окуляра; 6) повторное наведение трубы теодолита на земной предмет и отсчеты по горизонтальному кругу; 7) отсчеты показаний термометра и барометра-анероида. Второй полуприем — круг лево (право): повторяются все действия первого

Таблица 30

Объект наблюдений	Круг	Хронометр	Вертикальный круг	Горизонтальный круг
8 июня 1984 г. Прием 5. $MZ = 359^{\circ}59'53,8''$ $u_{xp} = +20,0^{\circ}$ $t^{\circ} = +19,0^{\circ}C$ $B = 988,95$ гПа (741,9 мм рт. ст.)				
Бугор	П			$60^{\circ}20'24,1''$
Φ		$20^h10^m40,0^s$	$80^{\circ}57'50,8''$	278 14 14,2
Φ		12 05,0	81 03 25,1	278 31 04,2
Φ		12 59,5	81 22 38,1	278 31 32,8
Φ		13 49,5	81 25 51,1	278 52 15,3
Бугор				60 20 24,6
B_{cp}				60 20 24,4
Бугор	Л			240 20 25,4
Φ		20 19 20,0	98 28 32,2	99 57 44,6
Φ		20 30,5	98 24 00,1	100 11 52,7
Φ		21 41,0	98 03 44,9	100 25 47,2
Φ		22 47,5	97 59 32,9	100 38 55,8
Бугор				240 20 28,1
B_{cp}				240 20 26,8

полуприема. Обычно выполняют 2—4 таких приема с перестановкой лимба между приемами на величину $180^\circ/n$ (см. § 22).

Пример заполнения журнала наблюдений при определении азимута по зенитным расстояниям Солнца приведен в табл. 29. Обработка журнала описана в § 13 и 22. После обработки журнала составляется «в две руки» сводка результатов наблюдений (табл. 30), по которой ведутся дальнейшие вычисления азимута направления на земной предмет.

§ 27. Последовательность вычисления азимута

1. Обычным порядком по формуле (20) согласно указаниям § 10 вычисляют склонение Солнца для начала и конца каждого полуприема (табл. 31).

Таблица 31

Схема вычислений	П		Л	
	1	4	5	8

Вычисление суточного параллакса Солнца

π_{\odot}	8,67''	8,67''	8,67''	8,67''
$\sin z$	0,9510	0,9559	0,9568	0,9616
p	8,24	8,29	8,30	8,34

Вычисление видимого склонения Солнца

	$20^h 10^m 40,0^s$	$20^h 13^m 49,5^s$	$20^h 19^m 20,0^s$	$20^h 22^m 47,5^s$
$T_{\text{хр}}$				
$u_{\text{хр}}$	+20,0			
ΔT	55,0			
M^*	16 11 55,0	16 15 04,5	16 20 35,0	16 24 02,5
$(M^*)^2$	16,198	16,251	16,343	16,401
$M^*: 48$	0,338	0,338	0,340	0,342
δ°	$22^\circ 50' 38,5'' N$			
v_{δ_1}	+12,51			
v_{δ_0}	+13,52			
Δv_{δ}	-1,01			
$(M^*: 48) \Delta v_{\delta}$	-0,341	-0,341''	-0,343''	-0,345''
$v_{\delta_0} +$	+13,18	+13,18	+13,18	+13,18
$+(M^*: 48) \Delta v_{\delta}$				
$\Delta \delta$	+213,49	+214,19	+215,40	+216,16
δ_{\odot}	$22^\circ 54' 12,0'' N$	$22^\circ 54' 12,7''$	$22^\circ 54' 13,9''$	$22^\circ 54' 14,7'' N$

Схема вычисления	П				Л			
	1 Ф	2 Ф	3 Ф	4 Ф	5 Ф	6 Ф	7 Ф	8 Ф
Л, П	80°57'50,8"	81°03'25,1"	81°22'38,1"	81°25'51,1"	98°28'32,2"	98°24'00,1"	98°03'44,9"	97°59'32,9"
М, Z	359 59 53,8	72 06 56,4	72 45 22,4	72 51 48,4	73 02 49,4	73 11 53,6	73 52 24,0	74 00 48,0
z'	+246,5	+248,3	+2 54,8	+2 56,0	+2 58,0	+2 59,6	+3 07,3	+3 09,2
p	-8,2	-8,2	-8,3	-8,3	-8,3	-8,3	-8,3	-8,3
P	+1546,8	+15 46,8	-15 46,8	-15 46,8	+15 46,8	+15 46,8	-15 46,8	-15 46,8
R \odot	721412,9	72 25 23,3	72 32 22,1	72 38 49,3	73 21 25,9	73 30 31,7	73 39 36,2	73 48 02,1
z \odot	225412,0 N	22 54 12,3	22 54 12,5	22 54 12,7	22 54 13,9	22 54 14,1	22 54 14,4	22 54 14,7 N
$\delta\odot$	1,860734	0,389179	0,389180	0,389181	0,389186	0,389187	0,389188	0,389190
sec φ	0,389178	1,048974	1,048302	1,047685	1,043723	1,042902	1,042091	1,041345
sin $\delta\odot$	1,050060	+0,759623	+0,759139	+0,758694	+0,755834	+0,755242	+0,754656	+0,754120
cosec z \odot	+0,760408	0,316775	0,314542	0,312480	0,298927	0,296046	0,293177	0,290516
tg φ	1,569182	0,497078	+0,493574	+0,490338	+0,469071	+0,464550	+0,460048	+0,455872
ctg z \odot	0,320354	+0,262545	+0,265565	+0,268356	+0,286763	+0,290692	+0,294608	+0,298248
y	+0,502694	74°46'44,0"	74°35'58,1"	74°26'00,7"	73°20'08,7"	73°06'02,2"	72°51'57,5"	72°38'51,3"
x-y	+0,257714	285°13'16,0"	285°24'01,9"	285 33 59,3	286°39'51,3"	286°53'57,8"	287°08'02,5"	287°21'08,7"
a	75°03'56,0"	278 14 14,2	278 31 04,2	278 52 15,3	279 57 44,6	280 11 52,7	280 25 47,2	280 38 55,8
Четверть	IV	353 18 10,2	353 17 30,9	353 18 16,0	353 17 53,3	353 17 54,9	353 17 44,7	353 17 47,1
A \odot	284°56'04,0"	353 17 48,2	67 02 32		60 20 26,8	353 17 50,0		
P	278 14 14,2				67 02 36,8			
M _N	353 18 10,2							
B _{cp}	60 20 24,4							
M _{Ncp}	353 17 56,3							
A _{стр}	67 02 28,1							
A _{стрcp}								

Схема вычислений	П			
	1	2	3	4
z'	71°56'	72°07'	72°45'	72°52'
μ	1,7594	1,7593	1,7590	1,7589
$\lg \operatorname{tg} z'$	0,4865	0,4912	0,5079	0,5111
γ	-137			
$\gamma(\lambda-1)$	-2			
B	-105			
$\lg \rho$	2,2215	2,2261	2,2425	2,2456
ρ	+166,54''	+168,31''	+174,79''	+176,04''

2. По формулам (28) или (29) вычисляют видимые зенитные расстояния каждого наблюденного края Солнца (табл. 32).

3. Для каждого наблюдения Солнца вычисляют поправки за астрономическую рефракцию (табл. 33), которые записывают в табл. 32.

4. Для начала и конца каждого полуприема вычисляют по формуле (14) значения суточного параллакса Солнца (см. табл. 31).

5. На средний момент приема выбирают из АЕ видимый радиус Солнца и записывают в ведомость вычислений (см. табл. 32).

6. По формуле (16) вычисляют геоцентрические зенитные расстояния Солнца (см. табл. 32).

7. Азимуты Солнца вычисляют на моменты каждого наблюдения по формуле, вытекающей из соотношения (3)

$$\cos A_{\odot} = x - y,$$

где

$$x = \sec \varphi \sin \delta_{\odot} \operatorname{cosec} z_{\odot}; \quad y = \operatorname{tg} \varphi \operatorname{ctg} z_{\odot}.$$

Переход от табличного значения азимута к его действительной величине осуществляется согласно указаниям § 23.

8. По формуле (39) вычисляют место Севера для каждого наблюдения Солнца отдельно и определяют средние значения в каждом полуприеме. Следует помнить, что из-за неточного значения места зенита место Севера при П и Л может значительно различаться. Кри-

Л			
5	6	7	8
73°03'	73°12'	73°52'	74°01'
1,7588	1,7587	1,7583	1,7582
0,5160	0,5201	0,5387	0,5430
			—137
			—2
			—105
2,2504	2,2544	2,2726	2,2768
+177,99''	+179,64''	+187,33''	+189,15''

терием сходимости результатов наблюдений служит сходимость значений азимута, полученных из полуприемов.

9. В каждом полуприеме по формуле (40) вычисляют азимут на земной предмет и, руководствуясь допусками, указанными в § 23, выводят среднее значение $A_{\text{астр.ср}}$ из приема.

10. За вероятнейшее значение азимута направления берут среднее арифметическое значений всех исполненных на пункте приема наблюдений. При необходимости оценку точности определения азимута на пункте выполняют по формулам (41) и (42) (см. § 24).

Порядок вычисления азимута земного предмета по одному измерению зенитного расстояния Солнца приведен в табл. 34. Полное вычисление азимута из одного приема приведено в табл. 32.

Если поправка часов относительно декретного времени неизвестна и установить ее в полевых условиях не представляется возможным, то для первого и последнего наблюдений светила в приеме вычисляют часовые углы Солнца (см. § 17). Приближенное эфемеридное время, необходимое для интерполирования δ_{\odot} на моменты наблюдений, находят по формуле (38). По полученным M^* из первого приема наблюдений вычисляют u_m , а для других приемов

$$M^* = T_{\text{хр}} + u_m + \Delta T - l,$$

где $T_{\text{хр}}$ — отсчет по часам. Поправкой ΔT в ряде случаев можно пренебречь.

Принципиально возможно определение азимута по зенитным расстояниям светила выполнять и без часов,

Таблица 34

Схема вычисления	Вычисление	Примечание	
z_{\odot}	$72^{\circ}14'12,9''$	Геоцентрическое зенитное расстояние Солнца Видимое склонение Солнца (см. табл. 31) $\varphi = 57^{\circ}29'30''N$	
δ_{\odot}	$22\ 54\ 12,0N$		
$\sec \varphi$	1,860734		
$\sin \delta_{\odot}$	0,389178		
$\operatorname{cosec} z_{\odot}$	1,050060		
x	$+0,760408$		$x = \sec \varphi \sin \delta_{\odot} \operatorname{cosec} z_{\odot}$
$\operatorname{tg} \varphi$	1,569182		$y = \operatorname{tg} \varphi \operatorname{ctg} z_{\odot}$
$\operatorname{ctg} z_{\odot}$	0,320354		
y	$+0,502694$		
$x - y$	$+0,257714$	$x - y = \cos a$	
a	$72^{\circ}03'56,0''$		
четверть	IV	Искомый азимут Солнца Значение горизонтального направления на Солнце (табл. 30) Место Севера $M_N = P - A_{\odot}$	
A_{\odot}	284 56 04,0		
P	278 14 14,2		
M_N	353 18 10,2		
$B_{\text{ср}}$	60 20 24,4	Среднее значение направления на земной предмет	
$M_{N\text{ср}}$	353 17 56,3	Среднее значение места Севера в полуприеме	
$A_{\text{астр}}$	67 02 28,1	Азимут земного предмета из полуприема	

но тогда для каждого наблюдения Солнца необходимо вычислять t_{\odot} и находить M^* по формуле (38). Дальнейшие вычисления производятся в том же порядке.

§ 28. Постоянная эфемерида Солнца

Если нет АЕ и требуемая точность определения азимута земного предмета не превышает $\pm 1'$, то можно пользоваться постоянной эфемеридой Солнца (см. прил. 7). Эфемерида предназначена для вычисления астрономических азимутов по измеренным зенитным расстояниям Солнца и для решения ряда других приближенных задач. В ней на ноль часов эфемеридного времени каждых суток даны значения видимого склонения Солнца, округленные до секунд, и вспомогательной величины

E , округленные до десятых долей секунды времени, а рядом—их часовые изменения. В той же эфемериде для каждых суток на ноль часов всемирного времени указаны значения звездного времени S_0 , округленные до десятых долей секунды.

До 29 февраля эфемерида Солнца имеет два входа— для простых и високосных годов; для остальных месяцев эфемерида имеет один общий вход. Эфемерида называется постоянной, потому что ею можно пользоваться до 2015 г. включительно с помощью поправок за начало года, помещенных в прил. 8. Поправки K служат для приведения на заданный момент склонения Солнца и величины E , а поправки L —для приведения звездного времени S_0 . Поскольку постоянная эфемерида не учитывает изменения наклона эклиптики и влияния нутаций, то ошибки в видимом склонении Солнца с течением времени могут достигать $30''$, а в значении величины E — 3^s .

Правила пользования постоянной эфемеридой рассмотрим на примерах.

Пример 1. Определить склонение Солнца δ_{\odot} и значение вспомогательной величины E в ноль часов эфемеридного времени 25 февраля 1984 г.

По таблице, помещенной в прил. 8, имеем для 1984 г. поправочный коэффициент за начало года $K=5^h49^m41^s=+5,828^h$. Звездочка над цифрами года напоминает, что 1984 г.—високосный, поэтому заданную дату находим во второй графе входа эфемериды (см. прил. 7). На эту дату выписываем: видимое отклонение Солнца $\delta_0=9^{\circ}33'35''s$; часовое изменение склонения $v_{\delta_0}=+55,4''$; $E_0=11^h46^m40,1^s$; часовое изменение $v_{E_0}=+0,36^s$.

Умножая коэффициент K на соответствующие часовые изменения, находим поправки за начало года в величины δ_0 и E_0 . Порядок вычислений приведен в табл. 35.

Т а б л и ц а 35

Схема вычислений	Вычисление	Схема вычислений	Вычисление
δ_0 табл	$-9^{\circ}33'35''$	E_0 табл	$11^h46^m40,1^s$
v_{δ_0}	$+55,4''$	v_{E_0}	$+0,36$
Kv_{δ_0}	$+5,23 (+322,9'')$	Kv_{E_0}	$+2,1$
δ_0 1984	$-9^{\circ}28'12''$	E_0 1984	$11\ 46\ 42,2$

Пример 2. Определить видимое склонение Солнца δ_{\odot} , соответствующее моменту московского времени $T_{\text{м}}=19^h44^m16^s$ 29 мая 1984 г.

Всемирное время вычисляем по формуле

$$M = T_M - 4^h,$$

склонение Солнца — по формулам

$$\delta_{\odot} = \delta_0 + v_{\delta} F, \quad F = M + K,$$

где F — суммарный интерполяционный множитель за время суток и начало года; v_{δ} — среднее часовое изменение склонения; если $F < 12^h$, то $v_{\delta} = v_{\delta_0}$, если $F > 12^h$, то

$$v_{\delta} = \frac{v_{\delta_0} + v_{\delta_1}}{2}.$$

Порядок вычислений приведен в табл. 36.

Т а б л и ц а 36

Схема вычисления	Вычисление	Схема вычисления	Вычисление
M	15 ^h 44 ^m 16 ^s	δ_0	+21°34'38''
K	+5 49 41	v_{δ}	+23,0
F	21 33 57	$v_{\delta} F$	8 16 (+496,0'')
F ^h	+21,566	δ_{\odot}	+21 42 54

Пример 3. Определить склонение Солнца на момент наблюдений 16 июля 1984 г., отсчет по часам $T_{xp} = 9^h 41^m 17,0^s$. Часы шли по декретному времени четвертого часового пояса; поправка часов относительно декретного времени $u_{xp} = +2^m 11,5^s$.

Всемирное время вычисляем по формуле

$$M = T_{xp} + u_{xp} - (n + 2),$$

где n — номер часового пояса.

Склонение Солнца — по формулам

$$\delta_{\odot} = \delta_0 + v_{\delta} F, \quad F = M + K.$$

Порядок вычисления приведен в табл. 37.

Пример 4. Определить значение вспомогательной величины E , соответствующее моменту московского времени $T_M = 7^h 10^m 03^s$ 10 сентября 1984 г.

Вычисления производим по формуле

$$E = E_0 + v_E F,$$

где v_E — среднее часовое изменение величины E , если $F < 12^h$, то

$$v_E = v_{E_0}, \quad \text{если } F > 12^h, \text{ то } v_E = \frac{v_{E_0} + v_{E_1}}{2}.$$

Порядок вычислений приведен в табл. 38.

Т а б л и ц а 37

Схема вычисления	Вычисление	Схема вычисления	Вычисление
T_{xp}	$9^h 41^m 17,0^s$	F^h	$+9,386^h$
u_{xp}	$+2 11,5$	δ_0	$+21^\circ 24' 46''$
$n+2$	-6	v_δ	$24,3$
M	$3 43 28,5$	$v_\delta F$	$-228,1'$
K	$+5 49 41$	$v_\delta F$	$-3' 48,1''$
F	$+9 33 10$	δ_\odot	$+21 20 58$

Т а б л и ц а 38

Схема вычисления	Вычисление	Схема вычисления	Вычисление
M	$4^h 10^m 03^s$	E_0	$12^h 02^m 52,3^s$
K	$+5 49 41$	v_E	$+0,87$
F	$+9 59 44$	$v_E F$	$+8,7$
F^h	$+9,995$	E	$12 03 01,0$

Пример 5. Определить часовой угол Солнца на момент наблюдений в пункте с долготой $l=4^h 58^m 31,33^s$.

Долгота места восточная определена по топографической карте крупного масштаба. Наблюдения выполнены 5 ноября 1984 г. в момент по часам $T_{xp}=14^h 00^m 51,5^s$. Часы шли по декретному времени шестого часового пояса; поправка часов относительно местного декретного времени $u_{xp}=-1^m 16,2^s$.

Вычисления производим по формулам:

$$t_\odot = m + E; \quad m = M + l; \quad M = T_{xp} + u_{xp} - (n + 1);$$

$$E = E_0 + v_E F; \quad F = M + K; \quad v_E = \frac{v_{E_0} + v_{E_1}}{2}.$$

Порядок вычислений приведен в табл. 39.

Пример 6. Определить местное звездное время s 2 октября 1984 г. на момент наблюдений в $22^h 12^m 30,5^s$ московского времени в пункте с восточной долготой $l=2^h 48^m 34,4^s$.

Вычисления производим по формулам

$$s = S_0 + m + \mu m - \mu l, \quad S_0 = S_{0\text{табл}} + f_0 L,$$

где S_0 — звездное время в ноль часов всемирного времени (в гринвичскую полночь); f_0 — суточное изменение звездного времени; L —

Таблица 39

Схема вычисления	Вычисление	Схема вычисления	Вычисление
T_{xp}	$14^h 00^m 51,5^s$	E_0	$12^h 16^m 24,4^s$
u_{xp}	- 1 16,2	v_E	- 0,08
$n+1$	-7	v_E^F	- 1,0
M	6 59 35,3	E	12 16 23,4
K	+5 49 41	M	6 59 35,3
F	+12 49 16,3	l	4 58 31,3
F^h	+12,822	t_{\odot}	0 14 30,0

поправочный коэффициент для звездного времени за начало года; m — местное среднее время; μm и μl — редукции в звездные единицы времени (см. прил. 2). Порядок вычислений приведены в табл. 40.

Таблица 40

Порядок действий	Схема вычисления	Вычисление	Порядок действий	Схема вычисления	Вычисление
1	S_0 табл	$0^h 42^m 37,4^s$	2	f_0	+236,5 ^s
5	$f_0 L$	+ 57,3	3	L	+0,2422 ^d
6	S_0	0 43 34,7	4	$f_0 L$	+57,0 ^s
10	m	22 01 04,9	7	M	$19^h 12^m 30,5^s$
11	μm	+ 3 37,0	8	l	2 48 34,4
12	μl	- 27,7			
s		22 47 49	9	m	22 01 04,9

Образец вычисления азимута земного предмета с помощью постоянной эфемериды по зенитным расстояниям Солнца приведен в табл. 41 и 42 (сравнить с табл. 32).

Видимое склонение Солнца при этом находят с помощью уже известного интерполяционного множителя $F=M+K$ (см. примеры 2 и 3). Перевод F в часы и доли часа осуществляется по прил. 5. Для получения искомой величины δ_{\odot} следует брать среднее из двух значений часовых изменений склонения, между которыми находится момент наблюдений, так как часовые измене-

8 июня 1984 г.

Вычисление астрономической рефракции				
Схема вычисления	1	2	3	4
ρ_0	+2'56,2''	+2'58,0''	+3'05,2''	+3'06,4''
Поправка за t°	-5,8	-6,0	-6,2	-6,2
Поправка за B	-3,8	-3,9	-4,0	-4,0
ρ	+2 46,6	+2 48,1	+2 55,0	+2 56,2
Схема вычисления	5	6	7	8
ρ_0	+3 08,6	+3 10,4	+3 18,4	+3 20,2
Поправка за t°	-6,3	-6,4	-6,6	-6,7
Поправка за B	-4,1	-4,1	-4,4	-4,4
ρ	+2 58,2	+2 59,9	+3 07,4	+3 09,1
Схема вычисления	1	4	5	8

Вычисление суточного параллакса

π_\odot	8,7''		8,7''
$\sin z$	0,9510		0,9616
p	8,3		8,4

Вычисление видимого склонения Солнца

$T_{\text{хр}} + u_{\text{хр}}$	20 ^h 11 ^m 00,0 ^s	20 ^h 14 ^m 09,5 ^s	20 ^h 19 ^m 40,0 ^s	20 ^h 23 ^m 07,5 ^s
K	+5 49 41			
F	22 00 41	22 03 50	22 09 21	22 12 48
F^h	22,011	22,064	22,156	22,213
δ_0	22°49'19''N			
v_δ	+13,3			
$v_\delta F^h$	+292,7	+293,4''	+294,7''	+295,4''
δ_\odot	22 54 12 N	22°54'12N	22°54'14N	22°54'14N

ния, указанные в эфемериде, относятся к эфемеридной полночи. Значения горизонтального параллакса и видимого радиуса Солнца выбирают из прил. 4. Поправки за астрономическую рефракцию находят в прил. 3.

Постоянную эфемериду Солнца можно использовать также для грубого определения широты места (с погрешностью 0,5—1,5') и поправки часов (с точностью 5—10^s в зависимости от времени года), когда это необходимо для вычисления азимута по измеренным зенит-

ным расстояниям Солнца. Вычисление долготы места и азимута направления по часовым углам Солнца не рекомендуется выполнять по постоянной эфемериде.

§ 29. Определение азимута направления по наблюдениям Солнца на равных высотах

Наиболее просто (с точностью не ниже 2') определяется азимут направления на земной предмет по наблюдениям Солнца до и после полудня на одинаковых высотах над горизонтом.

В истинный полдень Солнце пересекает южную часть меридиана наблюдателя, и если бы склонение Солнца в течение суток оставалось неизменным, то в своем суточном движении Солнце описывало бы симметричную кривую относительно меридиана наблюдателя. Если отнаблюдать такое светило до и после кульминации на равных высотах, то направление южной части полуденной линии определилось бы как полусумма отсчетов по горизонтальному кругу

$$M_S = \frac{1}{2} (M_1 + M_2),$$

где M_1 и M_2 —отсчеты по горизонтальному кругу до и после полудня; M_S —место Юга, или отсчет по горизонтальному кругу, когда коллимационная плоскость зрительной трубы совпадает с южной частью плоскости меридиана наблюдателя.

$$M_S = M_N + 180^\circ. \quad (43)$$

Но склонение Солнца непрерывно и неравномерно изменяется, поэтому в полусумму отсчетов по горизонтальному кругу необходимо вводить поправку за изменение склонения Солнца k , которая алгебраически (с учетом знака изменения склонения) вычитается.

$$k = \frac{b \cdot \partial \delta \odot}{\cos \varphi \sin b},$$

где b —половина промежутка времени в минутах между двумя наблюдениями Солнца на равных высотах; $\partial \delta \odot$ —изменение склонения Солнца за одну минуту времени. Тогда формула для получения места Юга принимает вид

$$M_S = \frac{1}{2} (M_1 + M_2) - k \pm c \operatorname{cosec} z, \quad (44)$$

где $\pm c \operatorname{cosec} z$ —поправка за коллимационную ошибку c , она вводится со знаком плюс при Π и со знаком минус—при L .

При каком круге теодолита выполнять наблюдения—безразлично. За 2—3 ч до полудня тщательно выверенный теодолит прочно устанавливают на открытом месте и наводят трубу сначала на земной предмет, а потом на Солнце. Его изображение устанавливают по отношению к горизонтальной нити так, чтобы оно в своем суточном движении вскоре коснулось ее верхним или нижним краем. Вертикальная нить должна строго проходить через середину диска Солнца (см. рис. 9). На вертикальном круге должен быть предварительно установлен отсчет, кратный целому числу минут, а пузырек уровня при алидаде вертикального круга—выведен на середину и защищен от прямых солнечных лучей. В момент контакта края Солнца с горизонтальной нитью берут отсчеты по часам и горизонтальному кругу, которые записывают в журнал (табл. 43). Такие наблюдения повторяют 3—4 раза, предварительно переставляя трубу по высоте на целое (фиксированное) число минут. Наблюдения заканчивают не позднее чем за 1,5 ч до кульминации и завершают их повторным визированием на земной предмет. Время кульминации предварительно рассчитывают по формуле, приведенной в § 13.

Затем наступает перерыв, в течение которого надо следить, чтобы теодолит не был сдвинут с места. После полудня возобновляют наблюдения Солнца, причем труба теодолита последовательно устанавливается по высоте на те же отсчеты вертикального круга, которые были получены до полудня. Пузырек уровня при алидаде вертикального круга каждый раз устанавливают на середину, а отсчеты по часам и горизонтальному кругу берут в моменты контакта с горизонтальной нитью того же края Солнца, который наблюдался до полудня. Запись в журнале ведут в этом случае снизу вверх (см. табл. 43). Послеполуденные наблюдения тоже начинаются и завершаются визированием на земной предмет с отсчетами по горизонтальному кругу. До начала наблюдений и после их завершения определяют место зенита и двойную коллимацию; их средние значения записывают в журнал. Обработка журнала заключается в составлении сводки результатов наблюдений (табл. 44), где вычисляют полусуммы отсчетов по часам и по горизонталь-

Журнал наблюдений

Дата 28 октября 1984 г.
 Столб 10
 Предмет: Веха

Инструмент ОТ-02 № 10650
 Хронометр средний № 14554

$\varphi = 57^{\circ}29'30''N$
 $MZ = 0^{\circ}00'00,4''$
 $2c = +12,8''$

Объект наблюдений	Круг	Вертикаль- ный круг	Хронометр	Горизонтальный круг	Хронометр	Горизонтальный круг	
Веха	П	82°08'	11 ^h 52 ^m 02,0 ^s	222°14'	06,1''	222°14'	04,8 ^o 05,0
				158 12	84,2	14 ^h 41 ^m 53,0 ^s	09,5 09,5
				160 48	36,0	14 31 42,0	27,4 28,0
				162 24	104,1	14 24 50,5	51,6 51,6
Веха	П	81 44	12 10 52,0	12,6 12,7	25,3	196 32	31,7 32,1
				162 58	05,2	14 23 04,0	04,1 03,9
				222 14	05,2		

Наблюдатель:
 Помощник:

28 октября 1984 г. $\varphi = 57^{\circ}29'30''N$ $MZ = 0^{\circ}00'00,4''$ $2c = +12,8''$ $v_{\odot} = -50,03''$ $\delta\odot = -0,83383''$

Объект наблюдений	Вертикаль- ный круг	Хронометр	Горизонтальный круг	Хронометр	Горизонтальный круг	$\frac{T_1 + T_2}{2}$	$\frac{M_1 + M_2}{2}$
Вежа			222° 14' 06'		222° 14' 10''		
Солнце	82° 08'	11 ^h 52 ^m 02,0 ^s	158 13 24	14 ^h 41 ^m 53,0 ^s	201 18 19	13 ^h 16 ^m 57,5 ^s	179° 45' 51,5''
Солнце	81 54	12 02 15,0	160 48 36	14 31 42,0	198 42 55	16 58,5	45 45,5
Солнце	81 48	12 09 04,5	162 25 44	14 24 50,5	197 05 43	16 57,5	45,43,5
Солнце	81 44	12 10 52,0	162 58 25	14 23 04,0	196 33 04	16 58,0	45 44,5
Вежа			222 14 05		222 14 08		
$B_{\text{ср}}$			222 14 05,5		222 14 09,0		

ному кругу. Там же вычисляют среднее значение направления на земной предмет— $B_{\text{ср}}$.

На основании данных сводки результатов наблюдений, которая для контроля составляется независимо «в две руки», выполняют вычисления по формулам (44), (43) и (40). При этом $b = T_2 - 1/2(T_1 + T_2)$ — в минутах времени. Перевод b из часовой в градусную меру для нахождения $\sin b$ выполняют по прил. 1. Величину ∂_{\odot} получают путем деления на 60 часового изменения склонения в полдень.

$$v_b = \frac{v_{b_0} + v_{b_1}}{2}; \partial\delta_{\odot} = \frac{v_b}{60}.$$

В нашем случае: 28/X — 1984 $v_{b_0} = -50,29''$; 29/X — 1984 $v_{b_1} = -49,77''$; $v_b = -50,03''$; $\partial\delta_{\odot} = -0,83383''$.

Для приближенных вычислений можно воспользоваться значением $\partial\delta_{\odot}$, полученным из постоянной эфемериды Солнца (см. прил. 7). Для рассматриваемого примера $v_{b_0} = -50,4''$; $v_{b_1} = -49,8''$; $v_b = -50,10''$; $\partial\delta_{\odot} = -0,8350''$. С этим значением для первого k в табл. 45 имеем $k = 363,2'' = 6'03,2''$, что вполне в пределах точности способа.

Порядок вычисления азимута указан в табл. 45.

Таблица 45

$$\partial\delta_{\odot} = -0,83383''$$

$$\cos \varphi = 0,53742$$

Схема вычисления	1	2	3	4
z	74°16'	73°48'	73°36'	73°28'
b	1 ^h 24 ^m 55,5 ^s	1 ^h 14 ^m 43,5 ^s	1 ^h 08 ^m 53,0 ^s	1 ^h 06 ^m 06,0 ^s
b°	21°13'52''	18°40'52''	16°58'15''	16°31'30''
$\sin b$	0,36322	0,32030	0,29188	0,28443
$\operatorname{cosec} z$	1,039	1,041	1,042	1,043
$\frac{M_1 + M_2}{2}$	179°45'51,5''	179°45'45,5''	179°45'43,5''	179°45'44,5''
$c \operatorname{cosec} z$	+6,6	+6,7	+6,7	+6,7
k	+6'02,7''	+6'01,8''	+6'00,9	+6'00,6''
M_S	179°52'01''	179°51'54''	179°51'51''	179°51'52''
$B_{\text{ср}}$	222°14'07''			
$M_{N_{\text{ср}}}$	359°51'54''			
$A_{\text{аср}}$	222°22'13''			
	222°22,2'			

Таблица выражения частей дуг в часовой мере

Часовая мера, ч	Градусы	Часовая мера, мин	Градусы и минуты	Часовая мера, с	Минуты и секунды
1 ^h	15°	1 ^m	0° 15'	1 ^s	0' 15''
2	30	2	0 30	2	0 30
3	45	3	0 45	3	0 45
4	60	4	1 00	4	1 00
5	75	5	1 15	5	1 15
6	90	6	1 30	6	1 30
7	105	7	1 45	7	1 45
8	120	8	2 00	8	2 00
9	135	9	2 15	9	2 15
10	150	10	2 30	10	2 30
11	165	20	5 00	20	5 00
12	180	30	7 30	30	7 30
13	195	40	10 00	40	10 00
14	210	50	12 30	50	12 30
15	225	60	15 00	0,1	1,5''
16	240			0,2	3,0
17	255			0,3	4,5
18	270			0,4	6,0
19	285			0,5	7,5
20	300			0,6	9,0
21	315			0,7	10,5
22	330			0,8	12,0
23	345			0,9	13,5

Таблица перевода звездного времени в среднее и среднего времени в звездное

Часы	Поправка		Минуты	Поправка		Секунды	Поправка	
	в средние единицы времени	в звездные единицы времени		в средние единицы времени	в звездные единицы времени		в средние единицы времени	в звездные единицы времени
1	-9,83 ^s	+9,86 ^s	1	-0,16 ^s	+0,16 ^s	1	-0,00 ^s	+0,00
2	-19,66	+19,71	2	-0,33	+0,33	2	-0,01	+0,01
3	-29,49	+29,57	3	-0,49	+0,49	3	-0,01	+0,01
4	-39,32	+39,43	4	-0,66	+0,66	4	-0,01	+0,01
5	-49,15	+49,28	5	-0,82	+0,82	5	-0,01	+0,01
6	-58,98	+59,14	6	-0,98	+0,99	6	-0,02	+0,02
7	-1 ^m 08,81 ^s	+1 ^m 09,00	7	-1,15	+1,15	7	-0,02	+0,02
8	-1 18,64	+1 18,85	8	-1,31	+1,31	8	-0,02	+0,02
9	-1 28,47	+1 28,71	9	-1,47	+1,48	9	-0,02	+0,02
10	-1 38,30	+1 38,56	10	-1,64	+1,64	10	-0,03	+0,03
20	-3 16,59	+3 17,13	20	-3,28	+3,29	20	-0,05	+0,05
24	-3 55,91	+3 56,56	30	-4,91	+4,93	30	-0,08	+0,08
			40	-6,55	+6,57	40	-0,11	+0,11
			50	-8,19	+8,21	50	-0,14	+0,14

**Средняя рефракция [$t^{\circ} = + 0^{\circ}$; $B=1013,1$ гПа
(760 мм рт. ст.)]**

z	ρ_0	z	ρ_0	z	ρ_0	z	ρ_0	z	ρ_0
10°	0'10''	48°00'	1'05''	64°00'	1'59''	74°00'	3'20''	79°30'	5'04''
12	12	49	07	20	2 01	20	24	40	08
14	14	50	09	40	02	40	29	50	13
16	17	51	12	65 00	04	75 00	33	80 00	18
18	19	52	14	20	06	10	36	10	23
20	0 21	53 00	1 17	65 40	2 08	75 20	3 38	80 20	5 29
22	24	54	20	66 00	10	30	41	30	34
24	26	55 00	23	20	12	40	43	35	37
26	28	30	24	40	14	50	46	40	40
27	30	56 00	26	67 00	16	76 00	49	45	43
28	0 31	56 30	1 27	67 20	2 18	76 10	3 51	80 50	5 46
29	32	57 00	29	40	20	20	54	55	49
30	34	30	31	68 00	23	30	57	81 00	52
31	35	58 00	33	20	25	40	4 00	05	55
32	36	30	34	40	28	50	03	10	58
33	0 38	59 00	1 36	69 00	2 30	77 00	4 06	81 15	6 01
34	39	20	38	20	33	10	09	20	04
35	41	40	39	40	36	20	13	25	08
36	42	60 00	41	70 00	38	30	16	30	11
37	44	20	42	20	41	40	19	35	14
38	0 45	60 40	1 43	70 40	2 44	77 50	4 23	81 40	6 18
39	47	61 00	45	71 00	47	78 00	27	45	21
40	49	20	46	20	50	10	30	50	25
41	51	40	47	40	53	20	34	55	28
42	52	62 00	49	72 00	57	30	38	82 00	32
43	0 54	62 20	1 50	72 20	3 00	78 40	4 42	05	6 36
44	56	40	52	40	04	50	46	10	40
45	58	63 00	54	73 00	08	79 00	50	15	44
46	1 00	20	55	20	12	10	55	20	48
47	02	40	57	40	16	20	59	25	6 52

Продолжение прил. 3

Таблица поправок средней рефракции за положительную и отрицательную температуру воздуха

Температура	Средняя рефракция							
	0'	1'	2'	3'	4'	5'	6'	7'
+40°	0''	-6''	-12''	-18''	-23''	-30	-36''	-43''
35	0	-5	10	15	20	25	31	36
+30	0	-4	8	12	16	21	25	30

Температура	Средняя рефракция							
	0'	1'	2'	3'	4'	5'	6'	7'
29	0	—4	8	12	15	20	24	28
28	0	—4	7	11	15	19	23	27
27	0	—3	7	10	14	18	22	26
26	0	—3	6	10	13	17	20	24
+25	0	—3	6	9	12	16	19	23
24	0	—3	6	9	12	15	18	21
23	0	—3	5	8	11	14	17	20
22	0	—2	5	7	10	13	16	18
21	0	—2	4	7	9	12	14	17
+20	0	—2	4	6	8	11	13	16
19	0	—2	4	6	8	10	12	14
18	0	—2	3	5	7	9	10	12
17	0	—1	3	4	6	8	9	11
16	0	—1	3	4	5	6	8	9
+15	0	—1	2	3	4	5	7	8
14	0	—1	2	3	3	4	5	6
13	0	—1	1	2	3	3	4	5
12	0	0	—1	1	2	2	3	3
11	0	0	0	—1	—1	—1	—1	—2
+10	0	0	0	0	0	0	0	0
+9	0	0	0	+1	+1	+1	+1	+2
8	0	0	+1	1	2	2	3	3
7	0	+1	1	2	3	3	4	5
6	0	+1	2	3	4	4	5	6
+5	0	+1	2	3	4	6	7	8
4	0	+1	3	4	5	7	8	10
3	0	+2	3	5	6	8	10	12
2	0	+2	3	5	7	9	11	13
+1°	0	+2	+4	+6	+8	+10	+12	+15
0°	0''	+2''	+4''	+7''	+9''	+11''	+14''	+16''
—1	0	+2	+5	+8	+10	+13	+15	+18
2	0	+3	5	8	11	14	17	20
3	0	+3	6	9	12	15	18	22
4	0	+3	6	9	13	16	20	23
5	0	+3	7	10	14	17	21	25
—6	0	+3	+7	+11	+15	+18	+22	+26
7	0	+4	8	12	16	20	24	28
8	0	+4	8	12	17	21	25	30
9	0	+4	9	13	18	22	27	32
10	0	+5	9	14	19	24	29	34
—12	0	+5	+10	+15	+21	+26	+32	+38
14	0	+6	11	17	23	29	35	41
16	0	+6	12	18	25	31	38	45
18	0	+7	13	20	27	34	41	49
20	0	+7	14	22	29	37	45	53
—25	0	+8	+17	+26	+35	+44	53	63
30	0	+10	20	30	40	51	62	74
35	0	+11	23	34	46	59	71	85
—40°	0	+12	26	39	53	67	81	96

Таблица поправок средней рефракции за атмосферное давление воздуха

Давление В, гПа	Средняя рефракция + поправка за температуру									Давление В, мм рт. ст.
	0'	1'	2'	3'	4'	5'	6'	7'	8'	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1066,4	0''	+3''	+6''	+10''	+13''	+16''	+19''	+23''	+26''	800
1057,7	0	+3	6	8	11	14	17	20	23	795
1053,1	0	+2	5	7	10	12	14	17	19	790
1046,4	0	+2	4	6	8	10	12	14	16	785
1039,7	0	+2	3	5	6	8	10	11	13	780
1037,1	0	+1	3	4	6	7	9	10	11	778
1034,4	0	+1	3	4	5	6	8	9	10	776
1031,7	0	+1	2	3	4	6	7	8	9	774
1029,1	0	+1	2	3	4	5	6	7	8	772
1026,4	0	+1	2	2	3	4	5	6	6	770
1023,7	0	+1	1	2	3	3	4	4	5	768
1021,1	0	+0	1	1	2	2	3	3	4	766
1018,4	0	+0	1	1	1	2	2	2	3	764
1015,7	0	+0	+0	+0	+1	+1	+1	+1	+1	762
1013,2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	760
1010,4	0	-0	-0	-0	-1	-1	-1	-1	-1	758
1007,7	0	-0	1	1	1	2	2	2	3	756
1005,1	0	-0	1	1	2	2	3	3	4	754
1002,4	0	-1	1	2	3	3	4	4	5	752
999,8	0	-1	2	2	3	4	5	6	6	750
997,1	0	-1	2	3	4	5	6	7	8	748
994,4	0	-1	2	3	4	6	7	8	9	746
991,8	0	-1	3	4	5	6	8	9	10	744
989,1	0	-1	3	4	6	7	9	10	11	742
986,4	0	-2	3	5	6	8	10	11	13	740
983,8	0	-2	3	5	7	9	10	12	14	738
981,1	0	-2	4	6	8	10	11	13	15	736
978,4	0	-2	4	6	8	10	12	14	17	734
975,8	0	-2	4	7	9	11	13	16	18	732
973,1	0	-2	5	7	10	12	14	17	19	730
966,4	0	-3	6	8	11	14	17	20	23	725
959,8	0	-3	6	9	13	16	19	22	26	720
953,1	0	-4	7	11	14	18	22	25	29	715
946,4	0	-4	8	12	16	20	24	28	32	710
939,8	0	-4	9	13	17	22	26	31	35	705
933,1	0	-5	-9	-14	-19	-24	-29	-33	-38	700

Таблица видимых радиусов R_{\odot} и горизонтных параллаксов Солнца π_{\odot}

Месяцы	R_{\odot}	π_{\odot}	Месяцы	R_{\odot}	π_{\odot}
Январь 0	16'17,5''	9,0''	Июль 1	15'45,4''	8,7''
10	16 17,4	9,0	10	15 45,4	8,7
20	16 16,9	8,9	20	15 45,9	8,7
30	16 15,8	8,9	30	15 46,8	8,7
Февраль 10	16 14,2	8,9	Август 10	15 48,3	8,7
20	16 12,3	8,9	20	15 50,0	8,7
30	16 10,0	8,9	30	15 52,0	8,7
Март 1	16 10,0	8,9	Сентябрь 10	15 54,6	8,7
10	16 07,7	8,9	20	15 57,1	8,8
20	16 05,1	8,8	30	15 59,8	8,8
30	16 02,3	8,8	Октябрь 10	16 02,7	8,8
Апрель 10	15 59,3	8,8	20	16 05,4	8,8
20	15 56,6	8,8	30	16 08,0	8,9
30	15 54,0	8,7	Ноябрь 10	16 10,7	8,9
Май 10	15 51,8	8,7	20	16 12,8	8,9
20	15 49,8	8,7	30	16 14,7	8,9
30	15 48,0	8,7	Декабрь 10	16 16,1	8,9
Июнь 10	15 46,7	8,7	20	16 17,0	8,9
20	15 45,8	8,7	30	16 17,5	9,0
30	15 45,4	8,7			

Таблица обращения минут и секунд времени в доли часа

Минуты	Доли часа	Минуты	Доли часа	Секунды	Доли часа
1	0,017	31	0,517	0—1,8	0,000
2	0,033	32	0,533	1,9—5,4	0,001
3	0,050	33	0,550	5,5—9,0	0,002
4	0,067	34	0,567	9,1—12,6	0,003
5	0,083	35	0,583	12,7—16,2	0,004
6	0,100	36	0,600	16,3—19,8	0,005
7	0,117	37	0,617	19,9—23,4	0,006
8	0,133	38	0,633	23,5—27,0	0,007
9	0,150	39	0,650	27,1—30,6	0,008
10	0,167	40	0,667	30,7—34,2	0,009
11	0,183	41	0,683	34,3—37,8	0,010
12	0,200	42	0,700	37,9—41,4	0,011
13	0,217	43	0,717	41,5—45,0	0,012
14	0,233	44	0,733	45,1—48,6	0,013

Минуты	Доли часа	Минуты	Доли часа	Секунды		Доли часа	
15	0,250	45	0,750	48,7—52,2		0,014	
16	0,267	46	0,767	52,3—55,8		0,015	
17	0,283	47	0,783	55,9—59,4		0,016	
18	0,300	48	0,800	59,5—60,0		0,017	
19	0,317	49	0,817	Обращение минут и секунд дуги в доли градуса			
20	0,333	50	0,833	0'	0,0°	0'30''	0,0083°
21	0,350	51	0,850	6	0,1	1 00	0,0167
22	0,367	52	0,867	12	0,2	1 30	0,0250
23	0,383	53	0,883	18	0,3	2 00	0,0333
24	0,400	54	0,900	24	0,4	2 30	0,0417
25	0,417	55	0,917	30	0,5	3 00	0,0500
26	0,433	56	0,933	36	0,6	3 30	0,0583
27	0,450	57	0,950	42	0,7	4 00	0,0667
28	0,467	58	0,967	48	0,8	4 30	0,0750
29	0,483	59	0,983	54	0,9	5 00	0,0833
30	0,500	60	1,000	60	1,0	5 30	0,0917

Приложение 6

**Таблица для приближенного перевычисления
геодезических координат в прямоугольные
и прямоугольных координат в геодезические**

Таблица позволяет перейти от плоских прямоугольных координат x, y к геодезическим координатам, B, L . Кроме того, в ряде исследований появляется необходимость нанесения на карту или план точек местности, географические координаты которых известны из астрономических наблюдений. Если в таких случаях приравнять φ и λ к геодезическим координатам (т. е. не учитывать уклонение отвесных линий), то таблицы позволяют перейти от географических координат к прямоугольным с точностью ± 2 м.

Формулы перевычисления геодезических координат в прямоугольные

$$x = X = a_2 l^2 + a_4 l^4; \quad x = X + (x - X);$$

$$y = b l + b_3 l^3,$$

где X — длина дуги меридиана от экватора до параллели с широтой данной точки; b — длина дуги параллели в $10000''$; l — разность долгот осевого меридиана и меридиана данной точки; y — ордината точки относительно осевого меридиана. $l = L - L_0$ и выражается в десятках тысяч секунд.

Величины X , a_2 , b , b_3 выбирают из таблицы по аргументу широты данной точки. Рядом с ними для удобства интерполирования приведены Δ — изменения табличных величин на $100''$. При работе с таблицей сначала выбирают табличные величины для ближайшего меньшего значения B_0 , а затем интерполируют на значение ΔB , дополняющее B_0 до данной широты.

Формулы для перевычисления прямоугольных координат в геодезические

$$B_f - B = A_2 y^2; B = B_f - (B_f - B);$$

$$l = (y) : b_f \cdot 10^{-4}; b_f = b + B_2 y^2,$$

где B_f — широта основания ординаты (по осевому меридиану), ее выбирают из таблицы по известному x , интерполируя от его ближайшего меньшего значения; y — ордината, которую выражают в единицах сотен тысяч метров. Остальные величины выбирают из таблицы по аргументу B_f . В последнем равенстве ордината (y) выражается в метрах. Порядок действий при вычислениях указан в примерах.

Пример вычисления X , a_2 , b . Дано: $B = 55^\circ 07' 52,6'' N$

Порядок действий	X	a_2	b
Ближайшее меньшее табличное значение $B_0 = 55^\circ 00'$	6097337,2	+3529,83	177764,42
Приращение на $100''$ в той же строке	+3092,44	-1,26	-123,00
Поправка за интерполирование (Δx 472,6''): 100	+14614,87	-5,95	-581,30
Искомое значение	6111952,1	+3523,88	177183,12

Пример вычисления B_f . Дано: $x = 6117430,0$

Порядок действий		B_f	
Ближайшее меньшее табличное значение B (по $x = 6097337,2$)		55°00'	
Табличное приращение Δ		+3092,44	
Поправка за интерполирование [(117430,0—097337,2): Δ] \times 100		10'49,7''	
Искомое значение B_f		55°10'49,7''	
Перевычисление геодезических координат в прямоугольные		Перевычисление прямоугольных координат в геодезические	
B	55°07'52,6''N	x	6117430,0
L	24 27 45,9	y	+2,208282
L_0	21	y^2	4,876509
l^0	3 27 45,9	A_2	+36,3644
l	1,24659	B_2	+37,074
l^2	1,55399	B_f	55°10'49,7''
l^3	1,9372	$-A_2y^2$	2 57,3 (177,33'')
l^4	2,415		
<hr/>		B	55 07 52,4 N
a_2	3523,88	b	176965,29
a_4	+0,74	B_2y^2	+180,79
b	177183,12	b_f	177146,08
b_3	-23,99	$(y):b_f 10^{-4}$	12465,88''
X	6111952,1	l^0	3°27'45,9''
$x - X$	5477,9	L_0	21
<hr/>		L	24°27'45,9''
x	6117430,0		
bl	220874,7		
b_3l^3	-46,5		
<hr/>			
y	+220828,2		

B	X	Δ	a ₃	Δ	a ₄	b	Δ	b ₅	Δ	A ₅	Δ	B ₂	Δ
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
38°00'	4207572,5	(+) 3083,35	(+) 3641,22	(+) 0,87	(+) 1,95	243983,14	(-) 92,289	(+) 23,37	(-) 0,099	(+) 19,8387	(+) 0,0198	(+) 22,184	(+) 0,016
15	235322,7	49	649,06	84	94	3152,54	805	22,48	99	20,0166	199	327	16
38 30	263074,1	62	656,61	81	92	2317,30	93,320	21,59	98	1957	200	472	16
45	290826,6	75	663,89	78	91	1477,42	832	20,71	98	3760	202	619	16
39 00	4318580,4	3083,88	3670,89	0,75	1,89	240632,93	94,344	19,83	0,097	20,5576	0,0203	22,767	0,017
15	346335,3	3084,02	677,62	0,72	88	239783,84	853	18,96	97	7405	205	917	17
39 30	374091,5	15	684,06	68	86	8930,16	95,360	18,08	96	9247	206	23,068	17
45	401848,8	28	690,22	65	85	8071,92	866	17,22	96	21,1101	208	222	17
40 00	4429607,4	3084,42	3696,10	0,62	1,83	237309,13	96,370	16,35	0,095	21,2970	0,0209	23,376	0,017
15	457367,1	55	701,70	59	82	6341,80	872	15,49	95	4851	211	533	18
40 30	485128,0	68	707,02	56	80	5469,95	97,372	14,64	94	6747	212	691	18
45	512890,2	82	712,06	53	78	4593,60	872	13,79	94	8656	214	851	18
41 00	4540653,5	3084,95	3716,81	0,50	1,77	233712,76	98,368	12,94	0,093	22,0580	0,0215	24,013	0,018
15	568418,1	3085,08	721,28	46	75	2827,45	862	12,10	93	2518	217	176	18
41 30	596183,9	3085,22	725,47	43	73	1937,68	99,356	11,27	92	4472	219	342	19
45	623950,9	35	729,37	40	71	1043,48	848	10,44	92	6440	220	509	19
42 00	4651719,1	(+) 3085,49	(+) 3732,99	(+) 0,37	(+) 1,70	230144,85	(-) 100,34	(+) 9,61	(-) 0,091	(+) 22,8423	(+) 0,0222	(+) 24,678	(+) 0,019
15	679488,5	62	736,33	34	68	229241,82	82	8,79	91	23,0422	224	848	19
42 30	707259,1	76	739,38	31	66	8334,40	101,31	7,97	90	2436	226	25,021	19
45	735030,9	89	742,15	28	64	7422,62	79	7,16	89	4467	227	196	20
43 00	4762804,0	3086,03	3744,63	0,24	1,62	226506,47	102,28	6,36	0,089	23,6514	0,0229	25,372	0,020
43 15	4730578,2	3086,16	3746,83	0,21	1,60	225585,99	102,76	5,56	0,088	23,8578	0,0231	25,551	0,020

Продолжение прил. 6

B	X	a ₂		a ₁		b	b ₃		A ₂	A		B ₂	Δ								
		Δ	4	Δ	5		Δ	6		Δ	7			Δ	8	Δ	9	Δ	10	Δ	11
43	30	818353,7	30	748,74	18	59	4661,19	103,23	4,77	87	233	732	20								
45	44	846130,4	44	750,36	15	57	3732,09	71	3,98	87	235	914	20								
44	00	4873908,4	3086,57	3751,71	0,12	1,55	222798,70	104,18	3,20	0,086	0,0237	26,099	0,021								
15	15	901687,5	57	752,76	09	53	1861,04	66	2,43	85	239	286	21								
44	30	929467,9	84	753,53	05	51	0919,14	105,13	1,66	85	241	475	21								
45	45	957249,5	98	754,02	02	49	219973,00	60	0,90	84	243	666	22								
45	00	4985032,3	3087,11	3752,21	-0,01	1,47	219022,64	106,06	0,14	0,083	0,0245	26,859	0,022								
15	15	5012816,3	3087,25	3754,12	0,04	1,45	218068,09	106,53	0,60	0,082	0,0247	27,054	0,022								
45	30	040601,6	39	753,75	07	43	7109,36	99	1,35	82	250	252	22								
45	068388,1	52	753,09	10	41	41	6146,46	107,45	2,08	81	252	452	22								
46	00	5096175,7	3087,66	3752,15	0,14	1,39	215179,42	107,91	2,81	0,080	0,0254	27,654	0,023								
15	15	123964,7	79	750,91	(-)	37	4208,26	108,36	(-)	(-)	(+)	859	(+)								
46	30	151754,8	93	749,40	20	35	3232,98	82	3,53	79	256	859	23								
45	179546,2	3088,06	747,60	23	33	33	2253,62	109,27	4,25	79	259	28,066	23								
47	00	5207338,7	3088,20	3745,51	0,26	1,31	211270,18	109,72	4,05	78	9380	275	24								
15	15	235132,5	33	743,13	0,26	30	29	0282,70	5,65	0,077	0,0264	28,487	0,024								
47	30	262927,5	47	740,47	33	27	209291,18	110,17	6,34	76	266	701	24								
45	290723,8	60	737,53	36	25	25	8295,64	111,06	7,03	75	269	918	24								
48	00	5318521,2	3088,74	3734,30	0,39	1,23	207296,10	111,50	7,71	74	8915	29,138	25								
15	15	346319,9	88	730,79	42	21	6292,59	94	8,38	0,074	0,0274	29,360	0,025								
48	30	5374119,8	3089,01	3726,99	0,45	1,19	205285,12	112,38	9,04	73	276	584	25								
45	401920,9	14	722,91	48	17	17	4273,70	82	10,34	0,072	0,0279	29,812	0,026								
										71	282	30,042	26								

Продолжение прил. 6

B	X	A	a ₃	Δ	a ₄	b	Δ	b ₃	Δ	A ₃	Δ	B ₃	A
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
49 00	5429723,2	3089,28	3718,55	0,52	1,15	203258,37	113,25	10,98	0,070	29,1359	0,0285	30,275	0,026
15	457526,7	41	713,90	55	13	2239,13	68	11,61	69	3923	288	510	26
49 30	485331,4	55	708,97	58	11	1216,1	114,11	12,24	68	6512	291	749	27
45	513137,3	68	703,75	61	09	0189,02	54	12,85	67	9128	294	991	27
50 00	5540944,5	3089,82	3698,26	0,64	1,07	199158,19	114,96	13,46	0,066	30,1771	0,0297	31,235	0,028
15	568752,8	95	692,48	67	05	8123,53	115,38	14,06	66	4442	300	483	28
50 30	596562,4	(+)	(+)	(-)	(+)	7085,06	(-)	(-)	(-)	(+)	(+)	(+)	(+)
45	624373,1	3090,08	686,42	70	03	6042,81	81	14,65	65	7140	303	733	28
51 00	5652185,0	22	680,08	74	01	194996,79	116,22	15,23	64	9867	306	987	29
15	707998,2	3090,35	3673,46	0,77	0,99	3947,03	64	15,80	0,063	31,2624	0,0310	32,244	0,029
51 30	707812,5	48	666,56	80	97	2893,53	117,06	16,37	62	5410	313	504	29
45	735628,0	61	659,38	83	95	1836,33	47	16,92	61	8226	316	768	30
52 00	5763444,8	75	681,92	86	93	190775,44	88	17,47	60	32,1074	320	33,035	30
15	791262,7	3090,88	3644,18	0,89	0,91	8642,67	118,28	18,01	0,059	32,3953	0,0324	33,305	0,030
52 30	819081,8	3091,01	636,16	92	88	189710,88	69	18,54	58	6864	327	579	31
45	846902,0	14	627,87	95	86	7570,84	119,09	19,06	57	9809	331	856	31
53 00	5874723,5	27	619,30	98	84	5416,37	49	19,57	56	33,2786	335	34,137	32
15	902546,1	3091,40	3610,45	1,01	0,82	186495,40	119,89	20,07	0,055	33,5799	0,0338	34,422	0,032
53 30	930369,9	53	601,33	04	78	4333,77	120,29	20,57	54	8846	342	710	32
53 45	5958194,9	66	591,94	07	78	183247,62	68	21,05	53	34,1929	347	35,002	33
54 00	5986021,0	3091,79	3582,26	1,10	0,76	182157,95	121,08	21,53	0,052	34,5048	0,0351	35,298	0,033
15	013848,3	3092,05	562,11	1,14	0,75	1064,78	121,46	21,99	0,051	34,8205	0,0355	35,598	0,034
		(+)	(+)	(-)	(+)		85	22,45	50	35,1400	359	903	34
							(-)	(-)	(-)	(+)	(+)	(+)	(+)

Продолжение прил. 6

B	X	A	a ₃	Δ	a ₄	b	Δ	b ₅	Δ	A ₅	Δ	B ₅	Δ
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
54	30	041676,8	551,62	20	71	179968,12	122,26	22,90	49	4633	364	36,211	35
45	069506,4	31	540,86	22	69	8867,99	62	23,34	48	7907	368	523	35
55	0097337,2	3092,44	3529,83	1,26	0,67	177764,42	123,00	23,77	0,047	36,1221	0,0373	36,840	0,036
15	125169,1	56	518,54	28	65	6657,43	38	24,19	46	4576	378	37,161	36
55	30153002,2	69	506,97	32	63	5547,04	75	24,60	44	7974	382	487	37
45	180836,4	82	495,14	34	61	4433,26	124,13	25,00	44	37,1416	387	37,818	37
56	006208671,8	3092,94	3483,04	1,37	0,59	173316,13	124,50	25,39	0,042	37,4901	0,0392	38,152	0,038
15	236508,3	3093,07	470,67	40	57	2195,66	86	25,77	41	8432	398	492	38
55	30264345,9	20	458,04	43	56	1071,87	125,23	26,14	40	38,2010	403	837	39
45	292184,6	32	445,15	46	54	169944,79	60	26,51	39	5634	408	39,186	39
57	006320024,5	3093,44	3431,99	1,49	0,52	168814,43	125,96	26,86	0,038	38,9308	0,0414	39,541	0,040
15	347865,5	57	418,57	52	50	7680,82	126,32	27,20	37	39,3031	419	901	41
57	30375707,6	69	404,89	55	48	6543,97	67	27,54	36	6805	425	40,266	41
45	403550,9	81	390,95	58	46	5403,92	127,03	27,86	35	40,0630	431	637	42
58	006431395,2	3093,94	3376,75	1,61	0,45	164260,68	127,38	28,17	0,034	40,4510	0,0437	41,013	0,042
15	459240,6	3094,06	362,29	64	43	3114,27	73	28,48	33	8443	443	395	43
58	3048707,2	18	347,58	66	41	1964,72	128,08	28,77	32	41,2433	450	783	44
45	514934,8	30	332,61	69	40	0812,04	42	29,06	31	6480	456	42,176	44
59	006542783,5	3091,42	3317,39	1,72	0,38	159656,26	128,76	29,33	0,030	42,0585	0,0463	42,576	0,045
15	570633,3	54	301,91	75	36	8497,40	129,10	60	28	4750	470	982	46
59	30598484,1	66	286,18	78	34	7335,48	44	85	27	8977	477	43,394	46
45	626336,1	78	270,20	80	33	6170,54	77	30,10	26	43,3267	484	813	47
60	006654189,1	3094,90	3253,98	1,83	0,31	155002,57	130,11	30,34	0,025	43,7622	0,0491	44,239	0,048

B	X	Δ	a_3	Δ	a_4	b	Δ	b_3	Δ	A_2	Δ	B_2	Δ
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
15	682043,2	3095,01	237,50	86	30	3831,62	44	56	24	44,2042	499	671	49
60	3079898,3	13	220,78	89	26	2657,70	76	78	23	6532	506	45,110	50
45	737754,5	25	203,80	91	28	1480,83	131,09	98	22	45,1090	514	557	50
61	06765611,7	3095,36	3186,59	1,94	0,25	156301,04	131,41	31,18	0,021	45,5721	0,0523	46,011	0,051
15	793470,0	48	169,13	97	24	149118,35	73	37	20	46,0424	531	473	52
61	30821329,3	59	151,43	99	22	7932,78	132,05	54	18	5204	540	942	53
45	849189,6	71	133,49	2,02	21	6744,35	36	71	17	47,0061	548	47,419	54
62	06877050,9	3095,82	3115,31	2,05	0,19	145553,09	132,67	31,87	0,016	47,4997	0,0558	47,905	0,055
15	904913,3	93	096,89	07	18	4359,02	98	32,01	15	48,0015	567	48,399	56
62	30932776,7	3096,04	078,24	10	16	3162,16	133,29	15	14	5117	576	901	57
45	960641,1	15	059,35	12	15	1962,54	60	28	13	49,0305	586	49,412	58
63	06988506,4	3096,26	3040,22	2,15	0,14	140760,17	133,90	32,40	0,012	49,5582	0,0596	49,933	0,059
15	7016372,8	37	020,87	18	12	139555,09	134,20	50	11	50,0950	607	50,462	60
63	30044240,2	48	001,28	20	11	8347,31	50	60	10	6412	618	51,002	61
45	072108,5	59	2981,47	23	10	7136,86	79	69	09	51,1971	628	551	62
64	007099977,8	3096,70	2961,42	2,25	0,18	135923,75	135,08	32,77	0,008	51,7629	0,0640	52,110	0,063
64	157127848,1	3096,80	2941,15	2,28	0,07	134708,02	135,37	32,84	0,007	52,3389	0,0652	52,680	0,064
64	30155719,4	91	920,66	30	6	3489,69	66	90	6	9254	664	53,260	66
45	183591,6	3097,02	899,94	33	5	268,78	94	95	4	53,5228	676	53,852	67
65	007211464,7	3097,12	2879,00	2,35	0,04	131045,31	136,22	33,00	0,000	54,1313	0,0689	54,454	0,068
15	239338,8	22	857,84	38	2	129819,31	50	33,03	55	7513	702	55,069	70
65	30267213,8	33	836,47	40	1	8590,79	78	04	05	55,3832	716	55,695	71
45	295089,8	43	814,87	42	0	7359,80	137,05	05		56,0273	730	56,334	72

Продолжение прил. 6

B	X	A		a ₂	A		a ₄	b	A		b ₈	A		A ₃	B ₂		Δ	
		3	4		5	6			7	8		9	10		11	12		13
66 00	7322966,7	3097,53	2793,06	2,45	(-)	126126,33	137,32	33,05						56,6840	0,0744	56,986	0,074	
15	350844,4	63	771,04	47	0,02	4890,43	59	04						57,3538	759	57,651	75	
66 30	378723,1	(+)	748,81	(-)	(-)	3652,12	(-)	(-)	(+)					(+)	(+)	(+)	(+)	
45	406602,7	83	726,36	52	4	2411,41	138,12	32,98	(+)					58,0369	774	58,330	77	
67 00	7434483,2	3097,93	2703,71	2,54	0,05	121168,34	138,38	32,97	0,004					58,7339	790	59,022	79	
15	462364,5	3098,03	680,85	56	6	119922,92	64	92	6					59,4453	0,0807	59,730	0,080	
67 30	490246,8	12	657,79	58	7	8675,18	89	87	7					60,1714	824	60,452	82	
45	518129,9	22	634,52	61	8	7425,14	139,14	80	8					60,9128	841	61,190	84	
68 00	7546013,8	3098,31	2611,05	2,63	0,08	116172,83	139,40	32,73	0,009					61,6700	860	61,943	86	
15	573898,7	41	587,38	65	09	4918,28	64	65	10					62,4435	0,0878	62,714	0,087	
68 30	601784,3	50	563,52	67	10	3661,50	89	56	11					63,2340	898	63,501	89	
45	629670,8	59	539,46	70	11	2402,52	140,13	46	12					64,0419	918	64,306	91	
69 00	7657558,2	3098,68	2515,20	2,72	0,12	111141,37	140,37	32,35	0,013					64,8680	939	65,159	94	
15	685446,3	77	490,75	74	12	109878,06	60	23	14					65,7128	0,0960	65,971	0,096	
69 30	7713335,3	(+)	2466,11	(-)	(-)		(-)	(-)	(+)					66,5771	983	66,833	98	
45	741225,1	95	441,28	78	14	7345,09	140,84	32,11	0,015					67,4615	0,1006	67,716	0,100	
70 00	7769115,6	3099,04	2416,27	2,80	0,14	106075,48	141,30	31,83	0,017					68,3668	1030	68,619	103	
15	797007,0	13	391,07	82	15	4803,81	52	68	18					69,2938	0,1055	69,544	0,105	
														70,2434	1081	70,492	108	

B	X	Δ	a_2	Δ	a_4	b	Δ	b_3	Δ	A_3	Δ	B_2	Δ							
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14							
70	30	824899,0	(+)	21	365,69	84	(-)	16	3530,11	74	(-)	52	(+)	19	71,2163	(+)	1108	(+)	71,464	111
45	852792,1	30	340,13	86	16	2254,41	96	35	20	72,2135	1136	72,460	114							
71	00	7880685,7	3099,38	2,88	0,17	100976,73	142,18	31,17	0,021	73,2360	0,1165	73,481	0,116							
15	908580,2	46	288,47	90	17	99697,09	40	30,98	22	74,2847	1196	74,529	120							
71	30	936475,4	55	262,38	18	8415,52	61	79	22	75,3608	1227	75,605	123							
45	964371,3	63	236,11	94	18	7132,04	82	58	23	76,4653	1260	76,709	126							
72	00	7992268,0	3099,71	2,96	0,19	95846,68	143,02	30,37	0,024	77,5995	0,1294	77,843	0,129							
15	8020165,3	79	183,07	97	19	4559,47	23	16	25	78,7646	1330	79,008	133							
72	30	048063,4	87	156,30	20	3270,42	43	29,93	26	79,9618	1368	80,206	137							
45	075962,2	94	129,36	3,01	20	1979,57	63	69	27	81,1928	1407	81,437	141							
73	00	8103861,7	3100,02	3,03	0,20	90686,93	143,82	29,45	0,028	82,4588	0,1447	82,704	0,145							
15	131761,9	10	075,00	05	20	89392,54	144,01	20	29	83,7616	1490	84,007	149							
73	30	159662,8	17	047,58	06	21	8096,41	20	28,94	85,1027	1535	85,350	154							
45	187564,3	24	020,00	08	21	6798,58	39	68	30	86,4839	1581	86,732	158							
74	00	8215466,5	3100,35	3,11	0,22	85499,06	144,67	28,40	0,032	87,9072	0,2656	88,157	0,166							
30	271272,9	49	936,35	14	22	2895,08	145,02	27,83	33	90,8878	1763	91,142	177							
75	00	8327081,7	3100,63	3,17	0,22	80284,67	145,37	27,24	0,035	94,0623	0,1882	94,321	0,188							
30	382893,1	76	1822,76	20	22	77668,04	70	26,61	36	97,4507	2013	97,715	202							

Постоянная эфемерида Солнца на 1933—2015 гг.

Дни года		Видимое склонение Солнца	Часовое изменение	Величина E	Часовое изменение	Истинное звездное вре- мя в ноль ча- сов всемирного времени
про- сто- го	висо- кос- ного					
1	2	3	4	5	6	7

Январь

	1	—23°06'10''	+10,9''	11 ^h 56 ^m 04,6 ^s	—1,20 ^s	6 ^h 38 ^m 24,5 ^s
1	2	23 01 34	12,1	56 36,0	1,18	42 21,1
2	3	22 56 31	13,2	56 07,8	1,17	46 17,6
3	4	22 51 00	14,4	55 39,9	1,15	50 14,2
4	5	22 45 02	15,5	55 12,4	1,14	54 10,7
5	6	—22 38 37	+16,6	11 54 45,3	—1,12	6 58 07,3
6	7	22 31 45	17,7	54 18,7	1,10	7 02 03,9
7	8	22 24 26	18,8	53 52,5	1,08	06 00,4
8	9	22 16 41	19,9	53 26,8	1,06	09 57,0
9	10	22 08 30	21,0	53 01,6	1,04	13 53,6
10	11	—21 59 53	+22,1	11 52 37,0	—1,02	7 17 50,1
11	12	21 50 50	23,2	52 12,8	0,99	21 46,7
12	13	21 41 22	24,2	51 49,3	0,97	25 43,2
13	14	21 31 28	25,3	51 26,3	0,94	29 39,8
14	15	21 21 09	26,3	51 04,0	0,92	33 36,3
15	16	—21 10 26	+27,3	11 50 42,2	—0,89	7 37 32,9
16	17	20 59 18	28,3	50 21,1	0,86	41 29,4
17	18	20 47 46	29,3	50 00,7	0,84	45 26,0
18	19	20 35 50	30,3	49 41,0	0,81	49 22,6
19	20	20 23 31	31,3	49 21,9	0,78	53 19,1
20	21	—20 10 48	+32,2	11 49 03,6	—0,75	7 57 15,7
21	22	19 57 43	33,2	48 46,0	0,72	8 01 12,2
22	23	19 44 16	34,1	48 29,2	0,68	05 08,8
23	24	19 30 26	35,0	48 13,2	0,65	09 05,4
24	25	19 16 15	35,9	47 58,0	0,62	13 01,9
25	26	—19 01 43	+36,8	11 47 43,5	—0,58	8 16 58,5
26	27	18 46 49	37,7	47 29,9	0,55	20 55,0
27	28	18 31 35	38,5	47 17,0	0,52	24 51,6
28	29	18 16 01	39,3	47 05,0	0,48	28 48,1
29	30	18 00 08	40,1	46 53,9	0,45	32 44,7
30	31	—17 43 54	+40,9	11 46 43,5	—0,41	8 36 41,2
31		17 27 22	41,7	46 34,0	0,38	40 37,8

Февраль

	1	—17 27 22	+41,7	11 46 34,0	—0,38	8 40 37,8
1	2	—17 10 32	+42,5	46 25,4	0,34	44 34,4
2	3	16 53 24	43,2	46 17,5	0,31	48 30,9
3	4	16 35 57	44,0	46 10,5	0,27	52 27,5
4	5	16 18 15	44,7	46 04,4	0,24	56 24,0
5	6	—16 00 14	+45,4	11 45 59,0	—0,21	9 00 20,6
6	7	15 41 57	46,0	45 54,5	0,17	04 17,2
7	8	15 23 24	46,7	45 50,7	0,14	08 13,7

Продолжение прил. 7

Дни года		Видимое склонение Солнца	Часовое изменение	Величина E	Часовое изменение	Истинное звездное время в ноль часов всемирного времени
про-сто-го	висо-кос-ного					
1	2	3	4	5	6	7
8	9	15°04'36''	47,3''	11 ^h 45 ^m 47,8 ^s	0,11 ^s	8 ^h 12 ^m 10,3 ^s
9	10	14 45 32	48,0	45 45,6	0,07	16 06,8
10	11	-14 26 13	+48,6	11 45 44,2	-0,04	9 20 03,4
11	12	14 06 40	49,2	45 43,6	-0,01	23 59,9
12	13	13 46 53	49,8	11 45 43,7	+0,02	27 56,5
13	14	13 26 52	50,3	45 44,5	+0,05	31 53,0
14	15	13 06 37	50,9	45 46,1	0,08	35 49,6
15	16	-12 46 10	+51,4	11 45 48,4	+0,11	9 39 46,1
16	17	12 25 30	51,9	45 51,4	0,14	43 42,7
17	18	12 04 38	52,4	45 55,2	0,17	47 39,3
18	19	11 43 35	52,9	45 59,6	0,20	51 35,8
19	20	11 22 21	53,3	46 04,7	0,23	55 32,4
20	21	-11 00 55	+53,8	11 46 10,4	+0,25	9 59 28,9
21	22	10 39 20	54,2	46 16,9	0,28	10 03 25,5
22	23	10 17 34	54,6	46 24,0	0,31	07 22,0
23	24	9 55 39	55,0	46 31,7	0,34	11 18,6
24	25	-9 33 35	+55,4	11 46 40,1	+0,36	10 15 15,1
25	26	9 11 23	55,7	46 49,0	0,39	19 11,7
26	27	8 49 02	56,0	46 58,6	0,41	23 08,2
27	28	8 26 34	56,4	47 08,8	0,44	27 04,8
28	29	-8 03 58	+56,6	11 47 19,5	+0,46	10 31 01,3

Дни	Видимое склонение Солнца	Часовое изменение	Величина E	Часовое изменение	Истинное звездное время в ноль часов всемирного времени
1	2	3	4	5	6

Март

1	-7°41'15''	+56,9''	11 ^h 47 ^m 30,7 ^s	+0,48 ^s	10 ^h 34 ^m 57,9 ^s
2	7 18 25	57,2	47 42,5	0,50	38 54,4
3	6 55 30	57,4	47 54,8	0,52	42 51,0
4	6 32 29	57,7	48 07,6	0,54	46 47,6
5	-6 09 22	+57,9	11 48 20,9	+0,56	10 50 44,1
6	5 46 10	58,1	48 34,6	0,58	54 40,7
7	5 22 54	58,3	48 48,7	0,60	58 37,2
8	4 59 34	58,4	49 03,3	0,61	11 02 33,8
9	4 36 10	58,6	49 18,2	0,63	06 30,3
10	-4 12 42	+58,7	11 49 33,4	+0,64	11 10 26,9
11	3 49 10	58,9	49 49,0	0,66	14 23,4
12	3 25 36	59,0	50 04,9	0,67	18 20,0
13	3 02 00	59,1	50 21,1	0,68	22 16,5
14	2 38 21	59,2	50 37,5	0,69	26 13,1
15	-2 14 40	+59,2	11 50 54,2	+0,70	11 30 09,7

Продолжение прил. 7

Дни	Видимое склонение Солнца	Часовое изменение	Величина E	Часовое изменение	Истинное звездное время в ноль часов всемирного времени
1	2	3	4	5	6
16	1°50'58''	59,3''	11 ^h 51 ^m 11,1 ^s	0,71 ^s	11 ^h 34 ^m 06,2 ^s
17	1 27 15	59,3	51 28,2	0,72	38 02,8
18	1 03 32	59,3	51 45,5	0,72	41 59,3
19	0 39 48	59,3	52 02,9	0,73	45 55,9
20	-0 16 04	+59,3	11 52 20,6	+0,74	11 49 52,4
21	+0 07 39	+59,3	52 38,3	+0,74	53 49,0
22	0 31 22	59,2	52 56,2	0,75	57 45,5
23	0 55 03	59,2	53 14,1	0,75	12 01 42,1
24	1 18 42	59,1	53 32,2	0,75	05 38,6
25	+1 42 19	+59,0	11 53 50,3	+0,76	12 09 35,2
26	2 05 54	58,9	54 08,4	0,76	13 31,7
27	2 29 26	58,8	54 26,6	0,76	17 28,3
28	2 52 56	58,6	54 44,8	0,76	21 24,8
29	3 16 21	58,5	55 02,9	0,76	25 21,4
30	+3 39 43	+58,3	11 55 21,1	+0,76	12 29 18,0
31	4 03 00	58,1	55 39,2	0,75	33 14,5

Апрель

1	+42 6 13	+57,9	11 55 57,2	+0,75	12 37 11,1
2	4 49 21	57,7	56 15,2	0,75	41 07,6
3	5 12 23	57,5	56 33,0	0,74	45 04,2
4	5 35 20	57,2	56 50,7	0,74	49 00,7
5	5 58 11	+57,0	11 57 08,3	+0,73	12 52 57,3
6	6 20 55	56,7	57 25,7	0,72	56 53,8
7	6 43 34	56,4	57 42,9	0,71	13 00 50,4
8	7 06 05	56,2	57 59,8	0,70	04 46,9
9	7 28 29	55,8	58 16,5	0,69	08 43,5
10	+7 50 46	+55,5	11 58 33,0	+0,68	13 12 40,0
11	8 12 55	55,2	58 49,2	0,67	16 36,6
12	8 34 55	54,9	59 05,0	0,66	20 33,2
13	8 56 48	54,5	59 20,6	0,64	24 29,7
14	9 18 32	54,1	59 35,8	0,63	28 26,3
15	+9 40 06	+53,7	11 59 50,7	+0,61	13 32 22,8
16	10 01 30	53,3	12 00 05,2	0,60	36 19,4
17	10 22 45	52,9	00 19,3	0,58	40 15,9
18	10 43 50	52,5	00 33,1	0,56	44 12,5
19	11 04 44	52,0	00 46,4	0,55	48 09,0
20	+11 25 27	+51,6	12 00 59,3	+0,53	13 52 05,6
21	11 45 59	51,1	01 11,9	0,51	56 02,1
22	12 06 20	50,6	01 23,9	0,49	59 58,7
23	12 26 28	50,1	01 35,6	0,48	14 03 55,2
24	12 46 24	49,6	01 46,8	0,46	07 51,8
25	+13 06 08	+49,0	12 01 57,5	+0,44	14 11 48,4
26	13 25 38	48,5	02 07,8	0,42	15 44,9

Продолжение прил. 7

Дни	Видимое склонение Солнца	Часовое изменение	Величина E	Часовое изменение	Истинное звездное время в ноль часов всемирного времени
1	2	3	4	5	6
27	13°44'55''	47,9''	12 ^h 02 ^m 17,6	0,40 ^s	14 ^h 19 ^m 41,5 ^s
28	14 03 58	47,4	02 26,9	0,38	23 38,0
29	14 22 48	46,8	02 35,7	0,36	27 34,6
30	+14 41 23	+46,2	12 02 44,0	+0,34	14 31 31,1

Май

1	+14 59 43	+45,5	12 02 51,8	+0,32	14 35 27,7
2	15 17 48	44,9	02 59,1	0,29	39 24,2
3	15 35 38	44,3	03 05,9	0,27	43 20,8
4	15 53 13	43,6	03 12,1	0,25	47 17,4
5	+16 10 32	+43,0	12 03 17,8	+0,22	14 51 13,9
6	16 27 34	42,3	03 22,9	0,20	55 10,5
7	16 44 21	41,6	03 27,4	0,18	59 07,0
8	17 00 50	40,9	03 31,4	0,15	15 03 03,6
9	17 17 03	40,2	03 34,8	0,13	07 00,2
10	+17 32 58	+39,4	12 03 37,6	+0,10	15 10 56,7
11	17 48 36	38,7	03 39,8	0,08	14 53,3
12	18 03 57	38,0	03 41,4	0,06	18 49,8
13	18 18 59	37,2	03 42,4	0,03	22 46,4
14	18 33 42	36,4	03 42,9	+0,01	26 42,9
15	+18 48 08	+35,6	12 03 42,7	-0,02	15 30 39,5
16	19 02 14	34,8	03 42,0	-0,04	34 36,0
17	19 16 00	34,0	03 40,7	0,07	38 32,6
18	19 29 27	33,2	03 38,8	0,09	42 29,1
19	19 42 35	32,4	03 36,4	0,11	46 25,7
20	+19 55 22	+31,5	12 03 33,4	-0,14	15 50 22,2
21	20 07 48	30,7	03 29,8	0,16	54 18,8
22	20 19 55	29,8	03 25,8	0,18	58 15,4
23	20 31 40	28,9	03 21,2	0,20	16 02 11,9
24	20 43 04	28,1	03 16,1	0,22	06 08,5
25	+20 54 06	+27,2	12 03 10,5	-0,24	16 10 05,1
26	21 04 47	26,2	03 04,4	0,26	14 01,6
27	21 15 06	25,3	02 57,8	0,28	17 58,2
28	21 25 03	24,4	02 50,8	0,30	21 54,7
29	21 34 38	23,5	02 43,4	0,32	25 51,3
30	+21 43 50	+22,5	12 02 35,5	-0,34	16 29 47,8
31	21 52 39	21,6	02 27,2	0,35	33 44,4

Июнь

1	+22 01 06	+20,6	12 02 18,6	-0,37	16 37 40,9
2	22 09 09	19,7	02 09,5	0,39	41 37,5
3	22 16 50	18,7	02 00,0	0,40	45 34,1
4	22 24 07	17,7	01 50,2	0,42	49 30,6
5	+22 31 00	+16,7	12 01 40,0	-0,43	16 53 27,2

Продолжение прил. 7

Дни	Видимое склонение Солнца	Часовое изменение	Величина E	Часовое изменение	Истинное звездное время в ноль часов всемирного времени
1	2	3	4	5	6
6	22°37'30''	15,8''	12 ^h 01 ^m 29,5 ^s	0,44 ^s	16 ^h 57 ^m 23,8 ^s
7	22 43 37	14,8	01 18,6	0,46	17 01 20,3
8	22 49 19	13,8	01 07,5	0,47	05 16,9
9	22 54 38	12,8	00 56,0	0,48	09 13,4
10	+22 59 32	+11,8	12 00 44,3	-0,49	17 13 10,0
11	23 04 02	10,8	00 32,3	0,50	17 03,5
12	23 08 08	9,7	00 20,1	0,51	21 03,1
13	23 11 49	8,7	00 07,7	0,52	24 59,6
14	23 15 06	7,7	11 59 55,1	0,53	28 56,2
15	+23 17 58	+6,7	11 59 42,4	-0,53	17 32 52,8
16	23 20 26	5,6	59 29,5	0,54	36 49,3
17	23 22 29	4,6	59 16,5	0,54	40 45,9
18	23 24 07	3,6	59 03,4	0,55	44 42,4
19	23 25 20	2,5	58 50,3	0,55	48 39,0
20	+23 26 08	+1,5	11 58 37,2	-0,55	17 52 35,6
21	23 26 32	+0,5	11 58 24,0	0,55	56 32,1
22	23 26 31	-0,6	58 10,9	0,55	18 00 28,7
23	23 26 05	-1,6	57 57,8	0,54	04 25,2
24	23 25 14	2,6	57 44,8	0,54	08 21,8
25	+23 23 58	-3,7	11 57 32,0	-0,53	18 12 18,4
26	23 22 18	4,7	57 19,2	0,53	16 14,9
27	23 20 13	5,7	57 06,7	0,52	20 11,5
28	23 17 43	6,8	56 54,3	0,51	24 08,0
29	23 14 49	7,8	56 42,1	0,50	28 04,6
30	+23 11 30	-8,8	56 30,2	-0,49	18 32 01,1

Июль

1	+23 07 47	-9,8	11 56 18,4	-0,48	18 35 57,7
2	23 03 40	10,8	56 07,0	0,47	39 54,3
3	22 59 08	11,8	56 55,8	0,46	43 50,8
4	22 54 13	12,8	55 44,9	0,45	47 47,4
5	+22 48 54	-13,8	11 55 34,3	-0,44	18 51 44,0
6	22 43 11	14,8	55 24,0	0,42	55 40,5
7	22 37 04	15,8	55 14,1	0,41	59 37,1
8	22 30 34	16,7	55 04,5	0,39	19 03 33,6
9	22 23 41	17,7	54 55,3	0,38	07 30,2
10	+22 16 24	-18,7	11 54 46,5	-0,36	19 11 26,7
11	22 08 44	19,6	54 38,1	0,34	15 23,3
12	22 00 42	20,6	54 30,1	0,32	19 19,8
13	21 52 16	21,5	54 22,5	0,30	23 16,4
14	21 43 28	22,5	54 15,4	0,29	27 13,0
15	+21 34 18	-23,4	11 54 08,8	-0,27	19 31 09,5
16	21 24 46	24,3	54 02,7	0,24	35 06,1
17	21 14 52	25,2	53 57,0	0,22	39 02,6
18	21 04 36	26,1	53 51,9	0,20	42 59,2

Продолжение прил. 7

Дни	Видимое склонение Солнца	Часовое изменение	Величина E	Часовое изменение	Истинное звездное время в ноль часов всемирного времени
1	2	3	4	5	6
19	20° 53' 59''	27,0''	11 ^h 53 ^m 47,4 ^s	0,18 ^s	19 ^h 46 ^m 55,8 ^s
20	+20 43 00	-27,9	53 43,3	-0,16	50 52,3
21	20 31 41	28,7	53 39,9	0,13	54 48,9
22	20 20 01	29,6	53 37,0	0,11	58 45,4
23	20 08 01	30,4	53 34,7	0,08	20 02 42,0
24	19 55 40	31,3	53 33,0	0,06	06 38,5
25	+19 43 00	-32,1	11 55 31,9	-0,03	10 35,1
26	19 29 59	32,9	53 31,4	-0,01	14 31,6
27	19 16 40	33,7	53 31,6	+0,02	20 18 28,2
28	19 03 01	34,5	53 32,3	+0,04	22 24,8
29	18 49 04	35,3	53 33,7	0,07	26 21,3
30	+18 34 48	-36,0	11 53 35,7	+0,10	20 30 17,9
31	18 20 14	36,0	53 38,3	0,12	34 14,4

Август

1	+18 05 23	-37,5	11 53 41,5	+0,15	20 38 11,0
2	17 50 13	38,3	53 45,3	0,17	42 07,6
3	17 34 46	39,0	53 49,8	0,20	46 04,1
4	17 19 02	39,7	53 54,8	0,22	50 00,7
5	+17 03 01	-40,4	11 54 00,4	+0,25	20 53 57,2
6	16 46 44	41,1	54 06,6	0,27	57 53,8
7	16 30 10	41,8	54 13,4	0,29	21 01 50,3
8	16 13 20	42,4	54 20,7	0,32	05 46,9
9	15 56 14	43,1	54 28,6	0,34	09 43,4
10	+15 38 53	-43,7	11 54 37,1	+0,36	21 13 40,0
11	15 21 17	44,3	54 46,2	0,39	17 36,5
12	15 03 26	44,9	54 55,8	0,41	21 33,1
13	14 45 21	45,5	55 05,9	0,43	25 29,7
14	14 27 01	46,1	55 16,6	0,46	29 26,2
15	+14 08 27	-46,7	11 55 27,8	+0,48	21 33 22,8
16	13 49 40	47,2	55 39,5	0,50	37 19,3
17	13 30 40	47,8	55 51,8	0,52	41 15,9
18	13 11 27	48,3	56 04,6	0,54	45 12,4
19	12 52 01	48,8	56 17,9	0,56	49 09,0
20	+12 32 23	-49,3	11 56 31,7	+0,59	21 53 05,5
21	12 12 34	49,8	56 46,0	0,61	57 02,1
22	11 52 32	50,3	57 00,8	0,63	22 00 58,6
23	11 32 20	50,8	57 16,1	0,65	04 55,2
24	11 11 56	51,2	57 31,8	0,66	08 51,8
25	+10 51 22	-51,6	11 57 48,0	+0,68	22 12 48,3
26	10 30 38	52,0	58 04,5	0,70	16 44,9
27	10 09 44	52,4	58 21,6	0,72	20 41,4
28	9 48 41	52,8	58 39,0	0,73	24 38,0
29	9 27 28	53,2	58 56,7	0,75	28 34,6
30	+9 06 07	-53,6	11 59 14,9	+0,76	23 32 31,1
31	8 44 36	53,9	59 33,3	0,78	36 27,7

Дни	Видимое склонение Солнца	Часовое изменение	Величина E	Часовое изменение	Истинное звездное время в ноль часов всемирного времени
1	2	3	4	5	6

Сентябрь

1	+8°22'58''	-54,3''	11 ^h 59 ^m 52,1 ^s	+0,79 ^s	22 ^h 40 ^m 24,2 ^s
2	8 01 11	54,6	12 00 11,2	0,80	44 20,8
3	7 39 16	54,9	00 30,6	0,81	48 17,3
4	7 17 14	55,2	00 50,2	0,82	52 13,8
5	+6 55 05	-55,5	12 01 10,1	+0,83	22 56 10,4
6	6 32 49	55,8	01 30,1	0,84	23 00 07,0
7	6 10 26	56,1	01 50,4	0,85	04 03,5
8	5 47 57	56,3	02 10,9	0,86	08 00,1
9	5 25 22	56,6	02 31,5	0,86	11 56,6
10	+5 02 42	-56,8	12 02 52,3	+0,87	23 15 53,2
11	4 39 56	57,0	03 13,2	0,87	19 49,7
12	4 17 06	57,2	03 34,1	0,88	23 46,3
13	3 54 10	57,4	03 55,2	0,88	27 42,9
14	3 31 11	57,6	04 16,4	0,88	31 39,4
15	+3 08 08	-57,7	12 04 37,6	+0,88	23 35 36,0
16	2 45 01	57,8	04 58,9	0,89	39 32,5
17	2 21 51	58,0	05 20,2	0,89	43 29,0
18	1 58 38	58,1	05 41,5	0,89	47 25,6
19	1 35 23	58,2	06 02,8	0,89	51 22,2
20	+1 12 06	-58,3	12 06 24,1	+0,89	23 55 18,7
21	0 48 46	58,3	06 45,4	0,88	59 15,3
22	0 25 26	58,4	07 06,6	0,88	0 03 11,4
23	+0 02 05	58,4	07 27,7	0,88	07 08,4
24	-0 21 17	58,4	07 48,7	0,87	11 05,0
25	-0 44 40	-58,4	12 08 09,6	+0,87	0 15 01,5
26	1 08 02	58,4	08 30,3	0,86	18 58,1
27	1 31 24	58,4	08 50,9	0,85	22 54,6
28	1 54 45	58,4	09 11,2	0,84	26 51,2
29	2 18 06	58,3	09 31,4	0,84	30 47,7
30	-2 41 25	-58,3	12 09 51,3	+0,82	0 34 44,2

Октябрь

1	-3 04 43	-58,2	12 10 10,9	+0,81	0 38 40,8
2	3 27 58	58,1	10 30,3	0,80	42 37,4
3	3 51 12	58,0	10 49,4	0,79	46 33,9
4	4 14 22	57,9	11 08,1	0,77	50 30,5
5	-4 37 30	-57,8	12 11 26,4	+0,76	0 54 27,0
6	5 00 35	57,6	11 44,4	0,74	58 23,6
7	5 23 36	57,5	12 02,0	0,72	1 02 20,1
8	5 46 33	57,3	12 19,2	0,71	06 16,7
9	6 09 26	57,1	12 35,9	0,69	10 13,2
10	-6 32 14	-56,9	12 12 52,1	+0,67	1 14 09,8

Дни	Видимое склонение Солнца	Часовое изменение	Величина E	Часовое изменение	Истинное звездное время в ноль часов всемирного времени
1	2	3	4	5	6
11	6°54'57''	56,7''	12 ^h 13 ^m 07,9 ^s	0,65 ^s	1 ^h 18 ^m 06,4 ^s
12	7 17 34	56,4	13 23,2	0,63	22 02,9
13	7 40 06	55,2	13 38,0	0,60	25 59,4
14	8 02 31	55,9	13 52,3	0,58	29 56,0
15	-8 24 50	-55,6	12 14 06,0	+0,56	1 33 52,6
16	8 47 01	55,3	14 19,2	0,54	37 49,1
17	9 09 05	55,0	14 31,8	0,51	41 45,7
18	9 31 01	54,7	14 43,8	0,49	45 42,2
19	9 52 48	54,3	14 55,3	0,46	49 38,8
20	-10 14 27	-53,9	12 15 06,1	+0,44	1 53 35,3
21	10 35 57	53,5	15 16,4	0,41	57 31,9
22	10 57 17	53,1	15 26,0	0,39	2 01 28,5
23	11 18 27	52,7	15 34,9	0,36	05 25,0
24	11 39 27	52,3	15 43,2	0,33	09 21,6
25	-12 00 16	-51,8	12 15 50,7	+0,30	2 13 18,1
26	12 20 54	51,4	15 57,6	0,27	17 14,7
27	12 41 21	50,9	16 03,8	0,24	21 11,2
28	13 01 36	50,4	16 09,2	0,21	25 07,8
29	13 21 38	49,8	16 13,8	0,18	29 04,3
30	-13 41 28	-49,3	12 16 17,8	+0,15	2 33 00,9
31	14 01 05	48,8	16 20,9	0,11	36 57,4

Ноябрь

1	-14 20 29	-48,2	12 16 23,2	+0,08	2 40 54,0
2	14 39 39	47,6	16 24,8	0,05	44 50,5
3	14 58 34	47,0	16 25,5	+0,01	48 47,1
4	15 17 16	46,4	16 25,4	-0,02	52 43,7
5	-15 35 42	-45,8	12 16 24,4	-0,06	2 56 40,2
6	15 53 53	45,1	16 22,6	0,09	3 00 36,8
7	16 11 48	44,5	16 20,0	0,13	04 33,3
8	16 29 28	43,8	16 16,5	0,16	08 29,9
9	16 46 50	43,1	16 12,1	0,20	12 26,4
10	-17 03 56	-42,4	12 16 06,9	-0,24	3 16 23,0
11	17 20 44	41,6	16 00,8	0,27	20 19,5
12	17 37 14	40,9	15 53,9	0,31	24 16,1
13	17 53 27	40,1	15 46,1	0,34	28 12,6
14	18 09 20	39,3	15 37,4	0,38	32 09,2
15	-18 24 54	-38,5	12 15 27,9	-0,41	3 36 05,8
16	18 40 09	37,7	15 17,6	0,44	40 02,4
17	18 55 04	36,9	15 06,4	0,48	43 58,9
18	19 09 39	36,0	14 54,5	0,52	47 55,5
19	19 23 53	35,2	14 41,7	0,55	51 52,0
20	-19 37 46	-34,3	12 14 28,1	-0,58	3 55 48,6
21	19 51 17	33,4	14 13,8	0,62	59 45,1

Дни	Видимое склонение Солнца	Часовое изменение	Величина E	Часовое изменение	Истинное звездное время в ноль часов всемирного времени
1	2	3	4	5	6
22	20°04'27''	32,4''	12 ^h 13 ^m 58,6 ^s	0,65 ^s	4 ^h 03 ^m 41,7 ^s
23	20 17 15	31,5	13 42,6	0,68	07 38,2
24	20 29 40	30,6	13 25,9	0,71	11 34,8
25	20 41 42	-29,6	12 13 08,4	-0,74	4 15 31,4
26	20 53 21	28,6	12 50,2	0,78	19 27,9
27	21 04 37	27,7	12 31,2	0,80	23 24,5
28	21 15 29	26,7	12 11,6	0,84	27 21,0
29	21 25 57	35,7	11 51,2	0,86	31 17,6
30	-21 36 01	-24,6	12 11 30,1	-0,89	4 35 14,1

Декабрь

1	-21 45 40	-23,6	12 11 08,3	-0,92	4 39 10,7
2	21 54 54	22,6	10 45,8	0,95	43 07,3
3	22 03 44	21,5	10 22,8	0,98	47 03,8
4	22 12 07	20,4	09 59,0	1,00	51 00,4
5	-22 20 05	-19,4	12 09 34,7	-1,02	4 54 56,9
6	22 27 37	18,3	09 09,8	1,05	58 53,5
7	22 34 43	17,2	08 44,4	1,07	5 02 50,0
8	22 41 22	16,1	08 18,4	1,09	06 46,6
9	22 47 35	15,0	07 51,9	1,11	10 43,2
10	-22 53 21	-13,8	12 07 25,0	-1,13	5 14 39,7
11	22 58 40	12,7	06 57,6	1,15	18 36,3
12	23 03 31	11,6	06 29,8	1,17	22 32,8
13	23 07 55	10,4	06 01,6	1,18	26 29,4
14	23 11 51	9,3	05 33,2	1,19	30 26,0
15	-23 15 20	-8,1	12 05 04,4	-1,20	5 34 22,5
16	23 18 21	7,0	04 35,4	1,21	38 19,1
17	23 20 54	5,8	04 06,1	1,22	42 15,7
18	23 22 58	4,6	03 36,7	1,23	46 12,2
19	23 24 35	3,4	03 07,2	1,23	50 08,8
20	-23 25 43	-2,3	12 02 37,5	-1,24	5 54 05,3
21	23 26 23	-1,1	02 07,7	1,24	58 01,9
22	23 26 35	+0,1	01 37,9	1,24	6 01 58,4
23	23 26 18	+1,3	01 08,1	1,24	05 55,0
24	23 25 34	2,4	00 38,3	1,24	09 51,6
25	-23 24 21	+3,6	12 00 08,5	-1,24	6 13 48,1
26	23 22 40	4,8	11 59 38,8	1,24	17 44,7
27	23 20 30	6,0	59 09,2	1,23	21 41,2
28	23 17 53	7,1	58 39,8	1,22	25 37,8
29	23 14 48	8,3	58 10,6	1,22	29 34,4
30	-23 11 15	9,5	11 57 41,5	-1,21	6 33 30,9
31	23 07 14	+10,6	57 12,7	1,20	37 27,5

Таблица поправок K и L за начало года

Год	K		L
	во времени	в долях часа	в долях суток
1	2	3	4
1983	-12 ^h 21 ^m 34 ^s	-12,359	-0,5156
1984*	+5 49 41	+5,828	+0,2422
1985	+0 00 55	+0,015	0,0000
1986	-5 47 50	-5,797	-0,2422
1987	-11 36 35	-11,610	-0,4844
1988*	+6 34 40	+6,578	+0,2734
1989	+0 45 55	+0,765	+0,0312
1990	-5 02 50	-5,047	-0,2110
1991	-10 51 34	-10,859	-0,4532
1992*	+7 19 40	+7,328	+0,3046
1993	+1 30 56	+1,516	+0,0624
1994	-4 17 49	-4,297	-0,1798
1995	-10 06 34	-10,109	-0,4220
1996*	+8 04 41	+8,078	+0,3358
1997	+2 15 56	+2,266	+0,0936
1998	-3 32 49	-3,547	-0,1486
1999	-9 21 34	-9,359	-0,3908
2000*	+8 49 41	+8,828	+0,3670
2001	+3 00 56	+3,016	+0,1248
2002	-2 47 49	-2,797	-0,1174
2003	-8 36 34	-8,609	-0,3596
2004*	+9 34 41	+9,578	+0,3982
2005	+3 45 56	+3,766	+0,1560
2006	-2 02 49	-2,047	-0,0862
2007	-7 51 34	-7,859	-0,3284
2008*	+10 19 41	+10,328	+0,4294
2009	+4 30 56	+4,516	+0,1872
2010	-1 17 49	-1,297	-0,0550
2011	-7 06 34	-7,109	-0,2972
2012*	+11 04 41	+11,078	+0,4606
2013	+5 15 56	+5,266	+0,2184
2014	-0 32 49	-0,547	-0,0238
2015	-6 21 34	-6,359	-0,2660

Примечание. Звездочкой отмечены високосные годы.

Таблица для вычисления гауссова сближения меридианов по прямоугольным координатам в пределах широт от 35°14' до 75°39'

x_0 , км	(b)	(ab)	(a^2b)	(a^3b)	(b^3)	(ab^3)
3900	+2281,11	+76,04	+0,84	+0,016	-0,279	-0,016
4000	2358,00	77,76	0,88	0,016	0,295	0,016

x_0 , км	(b)	(ab)	(a ² b)	(a ³)	(b ³)	(ab ²)
4100	2436,67	79,58	0,94	0,018	0,312	0,018
4200	2517,20	81,50	0,99	0,019	0,330	0,019
4300	2599,71	83,54	1,05	0,020	0,349	0,020
4400	2684,32	85,70	1,11	0,022	0,370	0,022
4500	2771,15	87,98	1,18	0,023	0,392	0,023
4600	2860,34	90,41	1,25	0,025	0,416	0,025
4700	2952,02	92,98	1,32	0,027	0,442	0,027
4800	3046,35	95,71	1,41	0,029	0,469	0,029
4900	3143,50	98,62	1,50	0,031	0,499	0,031
5000	+3243,65	+101,71	+1,59	+0,033	-0,531	-0,033
5100	3346,99	105,00	1,70	0,036	0,566	0,036
5200	3453,73	108,51	1,81	0,039	0,604	0,039
5300	3564,09	112,25	1,93	0,043	0,654	0,043
5400	3678,32	116,25	2,07	0,046	0,689	0,046
5500	3796,69	120,53	2,21	0,051	0,738	0,051
5600	3919,48	125,12	2,37	0,055	0,791	0,055
5700	4047,03	130,03	2,25	0,061	0,849	0,061
5800	4179,67	135,31	2,74	0,067	0,912	0,067
5900	4317,78	140,99	2,95	0,073	0,982	0,073
6000	+4461,80	+147,11	+3,18	+0,081	-1,059	-0,081
6100	4612,17	153,72	3,43	0,089	1,144	0,089
6200	4769,41	160,86	3,72	0,099	1,238	0,099
6300	4934,08	168,59	4,03	0,110	1,343	0,110
6400	5106,82	176,99	4,38	0,123	1,459	0,123
6500	5288,31	186,13	4,77	0,138	1,589	0,138
6600	5479,35	196,09	5,20	0,154	1,735	0,154
6700	5680,81	206,98	5,70	0,174	1,899	0,174
6800	5893,67	218,92	6,25	0,197	2,084	0,197
6900	6119,05	232,04	6,88	0,223	2,293	0,223
7000	+6358,19	246,50	7,59	0,245	2,531	0,254
7100	6612,54	262,48	8,41	0,291	2,804	0,291
7200	6883,74	280,22	9,35	0,335	3,116	0,335
7300	7173,65	299,97	10,43	0,387	3,476	0,387
7400	7484,45	322,05	11,68	0,450	3,894	0,450
7500	7818,65	346,83	13,14	0,527	4,381	0,527
7600	8179,17	374,79	14,86	0,620	4,953	0,620
7700	8569,46	406,47	16,88	0,735	5,628	0,735
7800	8993,59	442,58	19,29	0,877	6,431	0,877
7900	9456,38	483,97	22,18	1,057	7,395	1,057
8000	+9963,65	+531,72	+25,68	+1,284	-8,560	-1,284
8100	10522,40	587,21	29,95	1,576	9,984	1,576
8200	11141,23	652,20	35,22	1,956	11,742	1,956
8300	11830,72	728,98	41,81	2,458	13,937	2,458
8400	+12604,13	+820,60	+50,14	+3,131	-16,714	-3,131

Вычисление угла гауссова сближения меридианов

Формула для вычислений: $\gamma = b(b) + 2b(ab) + a^2b(a^2b) + a^3b(a^3b) + b^3(b) + ab^3(ab^3)$, где $a = (x - x_0) \cdot 10^{-5}$; $b = y \cdot 10^{-5}$; x_0 —значение абсциссы пункта, округленное до 100 км. (b) , (ab) , (a^2b) , (a^3b) , (b^3) и (ab^3) —табличные величины, которые выбирают без интерполирования по принятому значению x_0 , причем можно брать как меньшее, так и большее значение x_0 . Знак угла сближения меридианов всегда одинаков со знаком ординаты пункта относительно осевого меридиана.

Пример вычислений:

Номер действия	Схема вычислений	По меньшему	По большему	Номер действия	Схема вычислений	По меньшему	По большему
1	x	6 117 440	6 117 440	10	ab^3	+1,9	-8,9
2	x_0	6 100	6 200	11	$b(b)$	+10185,06	+10532,29
3	a	+0,1744	-0,8256	12	$ab(ab)$	+59,18	-293,25
4	y	+220830	+220830	13	$a^2b(a^2b)$	+0,24	+5,58
5	b	+2,2083	+2,2083	14	$a^3b(a^3b)$	+0,01	-0,12
6	ab	+0,385	-1,823	15	$b^3(b^3)$	-12,32	-13,33
7	a^2b	+0,07	+1,5 ⁰	16	$ab^3(ab^3)$	-0,17	+0,88
8	a^3b	+0,1	-1,2	17	γ''	+10232,00	+10232,05
9	b^3	+10,77	+10,77	18	γ	+1,9	-8,9

Запись промежуточных действий 11—16 необязательна. В примере они даны только для того, чтобы показать их размерность. В рабочем формуляре вычислений после строки 10 может идти сразу строка 18. γ вычисляется с точностью до 0,1''.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие	3
Глава I. Сведения по астрономии	5
§ 1. Географическая система координат	5
§ 2. Экваториальные координаты светил	7
§ 3. Горизонтная система координат	10
§ 4. Связь между экваториальными и горизонтными координатами. Параллактический треугольник	12
§ 5. Системы измерения времени	14
§ 6. Видимое годичное движение Солнца	18
§ 7. Рефракция, параллакс и видимый радиус Солнца	20
Глава II. Подготовка к наблюдениям	23
§ 8. Установка теодолита и подготовка его к работе	23
§ 9. Приборы для измерения времени. Поправка и ход хронометра (часов)	25
§ 10. Вычисление видимых координат Солнца на момент наблюдения с помощью Астрономического ежегодника СССР	27
Глава III. Определение широты места	32
§ 11. Сущность способа	32
§ 12. Особенности измерения зенитных расстояний Солнца	35
§ 13. Порядок наблюдений. Запись в журнале и его обработка	37
§ 14. Порядок вычисления широты	42
§ 15. Вывод вероятнейшего значения широты из приема и оценка точности	47
Глава IV. Определение поправки хронометра и долготы места	48
§ 16. Сущность способа определения поправки хронометра	48
§ 17. Порядок вычисления поправки хронометра	52
§ 18. Вывод вероятнейшего значения поправки хронометра из приема и оценка точности	57
§ 19. Определение долготы места	57
Глава V. Определение азимута направления на земной предмет по часовым углам Солнца	63
§ 20. Сущность способа	63
§ 21. Особенности измерения горизонтальных направлений на Солнце	66
§ 22. Порядок наблюдений. Запись в журнале и его обработка	68
§ 23. Порядок вычисления азимута	72
§ 24. Вывод вероятнейшего значения азимута на пункте и оценка точности	77
§ 25. Переход от астрономического азимута к геодезическому азимуту и дирекционному углу	78
Глава VI. Определение азимута направления по зенитным расстояниям Солнца и по наблюдениям Солнца на равных высотах	81
§ 26. Сущность способа определения азимута по зенитным расстояниям Солнца. Порядок наблюдений и запись в журнале	81
§ 27. Последовательность вычисления азимута	86
§ 28. Постоянная эфемериды Солнца	90
§ 29. Определение азимута направления по наблюдениям Солнца на равных высотах	97
Приложения 1—9	102

35 коп.

НЕДРА

