

Частное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Национальный открытый институт г. Санкт-Петербург»

Факультет геодезии и кадастра

Кафедра геодезии и дистанционного зондирования

Блинов А.Ф

# **ГЕОДЕЗИЧЕСКАЯ АСТРОНОМИЯ**

**методическое пособие  
к учебной практике**

**Санкт-Петербург  
2016**

**УДК 528.2**  
**ББК 26.11**  
**Б69**

Блинов А.Ф. Геодезическая астрономия. Методическое пособие к учебной практике. СПб: ЧОУВО Национальный открытый институт г. Санкт-Петербург», 2016, 25с.

Обсуждено и утверждено  
на заседании Методической комиссии по качеству образования  
«21 » \_декабря 2015 г. Протокол № 34

Методическое пособие к учебной практики разработано в соответствии с требованиями к организации практики ФГОС ВО по направлениям обучения: 21.03.03 «Геодезия и дистанционное зондирование» и 21.03.02 «Землеустройство и кадастры»

Методическое пособие предназначено для студентов факультета геодезии и кадастра, обучающихся по направлениям 21.03.03 «Геодезия и дистанционное зондирование» и 21.03.02 «Землеустройство и кадастры» В пособии изложены порядок организации и производства астрономических определений из наблюдений Солнца и звезд и порядок их математической обработки.

**УДК 528.2**  
**ББК 26.11**

© Блинов А.Ф., 2016  
© НОИР, 2016  
© ООО ИКЦ, 2016

## Оглавление

	<b>стр</b>
1. Общие положения по организации практики . . . . .	.4
2. Подготовка к наблюдениям . . . . .	.7
3. Общий порядок производства наблюдений	
3.1 Наблюдения и регистрация времени . . . . .	.9
3.2 Приём сигналов точного времени . . . . .	.8
3.3 Определение поправки и хода часов . . . . .	10
3.4 Определение координат Солнца и звёзд по программе Stellarium .	11
4. Способы астрономических определений по Солнцу	
4.1 Производство наблюдений Солнца . . . . .	15
4.2 Определение широты по зенитному расстоянию Солнца . . . . .	.17
4.3 Определение долготы по зенитному расстоянию Солнца . . . . .	.22
4.4 Определение астрономического азимута по часовому углу Солнца.	24
5. Определение астрономического азимута из наблюдений звёзд . . . . .	.28

## 1. Общие положения по организации практики

Данное пособие составлено применительно к региону Санкт-Петербурга и Ленинградской области. При производстве астрономических определений в других регионах необходимо учесть не только приближённые широту и долготу, но и часовой пояс, так как во всех примерах используется московское время (*Тм*).

Учебной практикой по геодезической астрономии предусмотрено выполнение следующих видов работ:

- определение широты по зенитному расстоянию Солнца;
- определение долготы по зенитному расстоянию Солнца;
- определение астрономического азимута по часовому углу Солнца.

Дополнительно студентом могут быть выполнены работы:

- определение астрономического азимута по звёздам.

Для производства наблюдений выбираются и закрепляются на местности две точки на расстоянии не менее 100 метров друг от друга. Одна из точек - место стояния наблюдателя (определяемый пункт), вторая - ориентирный пункт (ОРП). В качестве ориентирного пункта может быть выбран любой местный предмет, обеспечивающий точное наведение на него теодолита. При этом необходимо помнить, если планируется наблюдение звезд, ОРП должен быть подсвечен или на него будет устанавливаться марка с подсветкой.

Для производства наблюдений используются:

- теодолит (оптико-механический или электронный) или электронный тахеометр;
- хронометр (часы, встроенные часы компьютера);
- радиоприёмник, работающий в диапазоне FM;
- марка, если наблюдения производятся на ОРП, не являющееся местным предметом; если планируются наблюдения звезд, марка должна быть с подсветкой;

- фонарики, если планируется наблюдения звёзд;
- штативы;
- термометр и барометр;
- журнал наблюдений и журнал приёма сигналов точного времени.

**Теодолит (тахеометр)** выбирается не ниже класса «точный», то есть позволяющий измерять направления со средней квадратической ошибкой не хуже 2". На окуляр установлены: либо окулярная призма, либо окулярное колено.

Призма или колено необходимы для наблюдения светил на малых зенитных расстояниях. Кроме того, он должен иметь светофильтр, поскольку наблюдения Солнца производится со светофильтром (без светофильтра наблюдать нельзя!).

Следует обратить внимание на такую конструктивную особенность. Если теодолит (тахеометр) электронный, у него есть встроенный компенсатор наклона, что существенно упрощает производство наблюдений. Оптико-механические теодолиты такого компенсатора не имеют, поэтому при измерении зенитных расстояний необходимо постоянно выводить уровень при вертикальном круге (ВК). Исключение составляют оптико-механические теодолиты поздних серий, например, 3Т2, имеющие компенсатор наклона при вертикальном круге, но он должен быть тщательно поверен.

При использовании электронного тахеометра необходимо проконсультироваться со специалистом, хорошо знающим особенности данного тахеометра, а именно, не приведёт ли к порче фотоумножителя светодальномерной части наведение зрительной трубы на Солнце и есть ли возможность отключить светодальномерную часть на время производства астрономических работ.

**В качестве хронометра** могут быть использованы механические часы с секундной стрелкой, электронные часы с индикацией секунд или секундомер. Рекомендуется использовать встроенные часы компьютера. Для

этого можно использовать программу регистрации времени *timer.exe*, предоставляемую руководителем практики.

Программа *timer.exe* проста в обращении. После запуска программы появляются окошки, в которых высвечивается зафиксированное время. Время фиксируется либо нажатием [Enter], либо левой кнопкой мыши на кнопке программы «Контакт». В нижних окошках выводится время фиксации, предыдущее значение поднимается вверх по окну программы.

**Радиоприёмник** должен обеспечивать уверенный приём сигналов точного времени, например, радиостанцию «Маяк», как наиболее надёжную в передаче сигналов. Частоты, на которых ведётся вещание, зависят от региона. Узнать о частоте вещания в различных городах на различных диапазонах можно по адресу: [www/radiomayak.ru/page/show/id/86/rcl/17](http://www/radiomayak.ru/page/show/id/86/rcl/17). Однако, вещание на ультракоротковолновых диапазонах не прослушивается в отдалении от городов. В этом случае можно порекомендовать попробовать принимать передачи радиостанции в диапазонах средних или коротких волн.

Радиостанция «Маяк» передаёт в конце каждого часа 6 сигналов, при этом начало 6-го сигнала соответствует началу нового часа.

Лучшие результаты даёт приём сигналов точного времени со специальной радиостанции RWM, работающей на частотах 4996 кГц, 9996 кГц и 14996 кГц (диапазоны коротких волн), но для приёма сигналов необходим специальный приёмник.

**Марку** при определении астрономического азимута по часовому углу Солнца можно использовать любую. При наблюдении звезд марка должна иметь подсветку. Если марка имеет подсветку в виде миниатюрной лампы накаливания, рекомендуется переделать подсветку на светодиодную, как более экономичную и надёжную.

**Штативы** также могут быть любые, подходящие для теодолита (тахеометра) и для марки. Однако предпочтение нужно отдать наиболее мас-

сивным из имеющихся. Штативы необходимо проверить на устойчивость, затянуть винты, крепящие элементы штатива друг к другу.

**Термометр и барометр** лучше взять профессиональные, особенно, если они имеют паспорт, в котором указана приборная поправка. В крайнем случае, можно воспользоваться бытовыми.

**Журнал наблюдений** изготавливается самостоятельно, например, в небольшой тетради или большом блокноте. Бланки приёмов наблюдений вычерчиваются наблюдателем заранее самостоятельно по образцам, представленным в данном пособии. Журнал должен иметь титульный лист и каждый вид работ озаглавлен. Страницы журнала пронумерованы. Никаких других записей в журнале быть не должно. Журнал сдаётся вместе с отчётом о практике.

**Журнал приёма сигналов точного времени** используется, если одновременно работают несколько наблюдателей, пользующихся одним и тем же хронометром (часами). В противном случае бланки приёма сигналов точного времени можно вычерчивать в журнале наблюдений.

## 2. Подготовка к наблюдениям

Перед производством наблюдений необходимо определить: какой конкретный способ наблюдения будет реализовываться в данную видимость. Затем определяется последовательность производства наблюдений конкретными студентами. При этом определяется, кто начнёт наблюдения, кто при этом будет ему помогать, кто будет регистрировать время и производить записи в полевых журналах, а также порядок смены на рабочих местах по завершении наблюдений каждым студентом. Теодолит (тахеомер) должен быть поверен согласно соответствующим инструкциям. Непосредственная подготовка к наблюдениям включает в себя:

- подготовку журналов наблюдений;
- подготовку средств освещения (при наблюдениях звёзд);

- подготовку службы времени;
- подготовку средств связи (при необходимости в её использовании);
- установку теодолита и марки.

**Подготовка журнала наблюдений** заключается в вычерчивании бланков приёмов согласно образцам и уяснению порядка производства записей в журнале полевых наблюдений.

**Подготовка средств освещения** заключается в проверке работоспособности подсветки марки и фонариков, годности батарей и аккумуляторов. Обязательно заготавливаются запасные батареи (аккумуляторы).

**Подготовка службы времени:**

- настроить приёмник на радиостанцию «Маяк»;
- проверить работоспособность программы *timer.exe* и установку встроенных часов компьютера по времени; при наличии доступа в Интернет, начальную установку часов компьютера можно произвести, выйдя на сайт <http://www.direct-time.ru/>;
- подготовить журнал приёма сигналов точного времени;
- узнать поправку за неравномерность вращения Земли (*DUTI*) на текущие сутки.

**Подготовка средств связи** заключается в:

- проверки годности батарей питания радиостанции; при необходимости батареи заменяются;
- изучении порядка приёма-передачи информации;
- настройки пары радиостанций на указанный преподавателем канал;
- опробывание связи.

Примечание: запрещено включать микроволновую станцию на передачу, если расстояние до любой другой станции менее 1.5 метров.

**Установка марки** производится над указанной точкой. Центрирование производится по оптическому или нитяному отвесу. Становой винт окончательно зажимается. Устанавливается и горизонтируется марка. При

необходимости включается подсветка (с соблюдением полярности электропитания).

**Установка теодолита** (тахеометра) производится над указанной точкой. Центрирование производится по оптическому отвесу теодолита (тахеометра) с проверкой поворотом вокруг вертикальной оси. Зажав до конца становой винт, тщательно горизонтируют прибор.

Важно правильно настроить резкость изображения в зрительной трубе. Для этого зрительную трубу наводят на чистое небо и, расслабив зрение, фокусируют сетку нитей. В дальнейшем *фокусировку сетки нитей не изменяют*.

**Барометр и термометр** в дневное время располагаются в тени.

### **3. Общий порядок производства наблюдений**

#### **3.1 Наблюдения и регистрация времени**

При производстве собственно наблюдений, наблюдатель, наведя теодолит (тахеометр) на небесный объект (Солнце, звезда) и приготовившийся к точному наведению или касанию объектом нити, предупреждает помощника командой «Наблюдаю ... . Приготовиться!». Например, «Наблюдаю Солнце при круге лево. Приготовиться!». В момент наведения (касания) подаётся команда «Внимание ... Есть!».

Помощник наблюдателя, получив команду «Приготовиться», готовится зафиксировать время и, получив команду «Есть!», регистрирует его. Затем переписывает в журнал наблюдений зафиксированное время. Например, при использовании программы *timer.exe*, получив команду «Приготовиться», заносит палец над клавишей [Enter] или кнопкой мыши, а получив команду «Есть» нажимает эту клавишу (кнопку). Затем сразу переписывает зафиксированное время из нижней строки в журнал наблюдений. Здесь очень важна скорость реакции, особенно при наблюдениях Солнца.

Ведь ошибка (задержка) в регистрации времени на  $0.5^s$  может дать до  $5''-7''$  ошибки в результатах наблюдений.

После регистрации и записи времени, наблюдатель диктует отсчёт по кругу теодолита (тахеометра), а помощник для контроля дублирует отсчёт. Получив подтверждение от наблюдателя, помощник записывает отсчёт в журнал.

Если наблюдатель работает самостоятельно, без помощника, то и регистрацию времени он также производит самостоятельно.

### 3.2 Приём сигналов точного времени

Приём сигналов точного времени осуществляет помощник наблюдателя. Записи производятся в «Журнале приёма сигналов точного времени» или, как указано выше, в журнале наблюдений. При этом бланки для каждого приёма должны быть вычерчены заранее. Указывается, какими часами (хронометром) пользуются.

Приём сигналов производится в следующей последовательности:

- в крайнюю левую колонку таблицы записывается дата приёма сигналов (рис. 1);
- во вторую слева колонку записывается время ближайшего прихода сигналов (колонка *Tm*);
- перед приходом сигналов (не позже чем за 30 секунд до них), помощник наблюдателя откладывает все дела; при необходимости предупреждает наблюдателя о приёме сигналов;

Дата	Tm	X	
26.06 2012	22 <sup>h</sup> 59 <sup>m</sup> 55 <sup>s</sup>	23 <sup>h</sup> 00 <sup>m</sup> 13.5 <sup>s</sup>	
	22 59 56	23 00 15.2	
	22 59 57	23 00 16.4	
	22 59 58	23 00 17.3	
	22 59 59	23 00 18.4	
	23 00 00	23 00 19.1	
			Симонович К.П.

Рис. 1 Образец записи в «Журнале приёма сигналов точного времени»

- при каждом пришедшем сигнале регистрируется время по часам;
- после приёма последнего сигнала в «Журнал приёма сигналов точного времени» переписываются отсчёты в третью колонку (колонка X);
- студент, принимавший сигналы, записывает в журнал свою фамилию.

Отметим, что в данной практике все записи времени осуществляются до 0.1s, поэтому, если Ваши часы регистрируют время с большей точностью, необходимо производить округление.

### 3.3 Определение поправки и хода часов

Для определения поправки часов необходимо до наблюдений или после них, но до начала обработки результатов, узнать значение поправки за неравномерность вращения Земли (*DUTI*). Эту величину можно узнать или у руководителя практики или самостоятельно на одном из астрономических сайтов. В частности, можно воспользоваться адресом <http://hpiers.obspm.fr/eop-pc/>. На появившейся странице под графиками, характеризующими положение полюса и длительность суток, найти запись вида:

$$UT1 - UTC = 112.898ms$$

Эта величина и есть значение поправки *DUTI* в миллисекундах. Из приведённого примера видно, что на некий момент времени поправка равна + 0.112898 секунды, а с учётом округления *DUTI* = + 0.1<sup>s</sup>. Учтите, что значение поправки *DUTI* меняется очень медленно, на 0.1 секунды за несколько недель или дольше.

Вычисление поправки и хода часов осуществляется в «Журнале приёма сигналов точного времени» помощником наблюдателя, принимавшим сигналы, в следующей последовательности:

- вычисляются поправки  $u_i$  по каждому сигналу (рис. 2) по формуле:

$$u_i = Ti - Xi$$

- вычисляется среднее из них значение поправки  $u_{cp}$ ; явно ошибочные поправки в расчет не принимаются;

Дата	Тм	X	$u_i$		
26.06 2012	22 <sup>h</sup> 59 <sup>m</sup> 55 <sup>s</sup>	23 <sup>h</sup> 00 <sup>m</sup> 13.5 <sup>s</sup>	<del>-19.5</del>	$u_{cp} =$	-19.3 <sup>s</sup>
	22 59 56	23 00 15.2	-19.2	$DUT1 =$	+0.1
	22 59 57	23 00 16.4	-19.4	$u =$	-19.2
	22 59 58	23 00 17.3	-19.3	$\omega =$	+0.2
	22 59 59	23 00 18.4	-19.4		
	23 00 00	23 00 19.1	-19.1		Симонович К.П.

Рис. 2 Образец вычисления поправки и хода часов

- среднее значение исправляется поправкой за неравномерность вращения Земли ( $DUT1$ ) и получается значение поправки  $u$ :

$$u = u_{cp} + DUT1$$

Для каждой пары приёмов сигналов точного времени вычисляется ход часов:

$$\omega = \frac{u_2 - u_1}{(X_2 - X_1)^h} \cdot$$

Здесь:

-  $u_2$  берётся поправка  $u$  на момент последующего приёма сигналов точного времени;

-  $u_1$  берётся поправка  $u$  на момент данного приёма сигналов точного времени;

-  $X_2$  время в часах момента последующего приёма сигналов точного времени;

-  $X_1$  время в часах момента данного приёма сигналов точного времени.

Если сигналы точного времени принимались ежечасно, то величина  $(X_2 - X_1)^h$  будет равна 1. Если по какой-либо причине очередной приём

сигналов точного времени пропущен, эта величина может быть равна 2, 3... . При этом помним, что после завершения всех наблюдений в данную видимость, последний приём сигналов точного времени должен быть произведён обязательно!

### 3.4 Определение координат Солнца и звёзд по программе Stellarium

Видимые места Солнца и звёзд может быть вычислено по астрономическому ежегоднику или «Координатам Солнца и ярких звёзд». При их отсутствии можно использовать программу Stellarium, файл *stellarium.exe*. При работе с этой программой необходимо учесть два обстоятельства:

- при загрузке программа пытается через системные установки, задать часовой пояс и наличие декретного и/или летнего времени;
- положение светил на небесной сфере и их координаты показывает, исходя из введённых в неё координат точки производства наблюдений - широты и долготы, то есть исходя из местного, а не поясного времени.

Определить, в какой системе времени работает программа можно следующим образом. Помним, что в полдень Солнце находится почти на юге. Если оно находится не на юге, значит существует смещение по времени. Смещение вызвано наличием в системных установках декретного и/или летнего времени. Если Ваш компьютер работает в системе московского времени, определить это можно следующим образом:

- нажать клавишу [7], остановить ход времени;
- нажать клавишу [Z], вывести азимутальную сетку;
- переместить изображение небесной сферы так, чтобы был виден небесный меридиан - вертикал с азимутом  $180^\circ$ ;
- нажать клавишу [F6], установить долготу, равную  $30^\circ$ ;
- нажать клавишу [F5], установить время, равное 13 часам ровно;
- оценить положение Солнца относительно небесного меридиана.

Если Солнце находится вблизи меридиана - программа работает с московским временем. В противном случае, изменяя время, кратное одному часу, определить, при каком времени Солнце расположится вблизи меридиана.

Вместо указанных клавиш можно воспользоваться боковым и нижним меню.

Дальнейшие действия. Клавиша [7] нажата. Нажав клавишу [F6], перейти к настройке места наблюдения. Ввести широту и долготу точки установки теодолита. Учесть, что долгота иногда даётся в часовой мере. В этом случае долготу необходимо перевести в градусную меру.

Нажав клавишу [F5], перейти к установке даты и времени с учётом настроек программы.

Навестись на выбранную звезду, в том числе Полярную, считать координаты (на дату). Для звёзд нам понадобится одна координата - азимут  $A$ . Координатами Солнца являются: склонение  $\delta$ , часовой угол  $t$  и азимут  $A$ .

Координаты изменяются быстро, а в программе предусмотрено, что время вводится с точностью до одной секунды. Поэтому рекомендуется считывать координаты дважды, сперва по времени с округлением в меньшую сторону, затем с округлением в большую сторону. Например, если время наблюдения равно  $12^{\text{h}} 30^{\text{m}} 22.3^{\text{s}}$ , то сначала координаты считать для времени  $12^{\text{h}} 30^{\text{m}} 22^{\text{s}}$ , затем для времени  $12^{\text{h}} 30^{\text{m}} 23^{\text{s}}$ . Далее вычисляются координаты интерполированием по десятым долям секунды.

Завершение работы программы: либо нажав сочетание клавиш [Ctrl+Q], либо через нижнее меню.

## 4. Способы астрономических определений по Солнцу

### 4.1 Производство наблюдений Солнца

В данном пункте даны указания по порядку производства полевых наблюдений. Исходное состояние - теодолит (тахеометр) установлен, отгоризонтирован, радиосвязь устойчива (при наличии), сигналы точного времени приняты. Если планируется определять астрономический азимут - на ОРП установлена марка, но барометр и термометр не нужны. Если планируется определять астрономическую широту и/или долготу - марка не нужна, но установлены барометр и термометр.

Светофильтр используется при непосредственном наблюдении на Солнце. При наблюдении на марку светофильтр снимается. Светофильтры для наблюдений могут иметь несколько разную плотность. При этом, если светофильтр достаточно плотный, сетка нитей зрительной трубы не видна на фоне неба. Поэтому процесс наблюдений несколько отличается от описанного в классических учебниках. В данном пособии дана методика производства наблюдений Солнца, рассчитанный именно на применение очень плотного светофильтра.

**Наведение на Солнце**, несмотря на кажущуюся простоту, сложно, особенно, если наблюдатель не имеет достаточного опыта в производстве геодезических наблюдений. Здесь возникают две проблемы: как добиться того, чтобы изображение Солнца попало в поле зрения зрительной трубы и что, собственно, видно в поле зрения.

Перед наведением трубы на Солнце, необходимо, перед надеванием светофильтра, сфокусировать объектив трубы на наиболее отдалённый местный предмет и только потом надеть светофильтр (сетка нитей заранее отфокусирована!).

Если при производстве обычных геодезических наблюдений приблизительное наведение на визирную цель производится по прицелу (целику),

то таким образом навести трубу на Солнце крайне затруднительно, особенно в середине дня, когда Солнце стоит высоко. Рекомендуется следующая методика:

- открепив оба зажимных винта, теодолит (тахеометр) приблизительно ориентируют в сторону Солнца и наклоняют зрительную трубу вниз (рис. 3.а); угол наклона подбирают таким, чтобы тень от зрительной трубы была хорошо видна на алидаде горизонтального круга (ГК);

- держа руку на зажимном винте ГК, доворачивают алидаду ГК так, чтобы просветы между тенью от трубы и боковыми стойками (колоннами) были одинаковыми по ширине (рис. 3.б); по достижении этого зажимают закрепительный винт ГК;

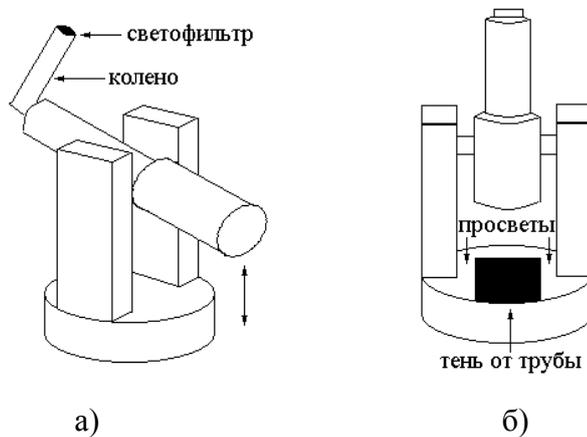


Рисунок 3 Наведение на Солнце

- поднимая зрительную трубу вверх, находят положение, когда в поле зрения трубы появится изображение Солнца, зажимают закрепительный винт ВК, фокусируют зрительную трубу на Солнце (различимы даже пятна на нём);

- наводящими винтами устанавливают изображение Солнца относительно сетки нитей в положение, соответствующее моменту наблюдения.

Что видно в поле зрения трубы. Вариант представлен на рисунке 4.а - на чёрном фоне виден светлый круг. Именно это и есть изображение светила. На изображении Солнца могут быть видны фрагменты сетки нитей.

Если фильтр очень плотный - вся сетка не видна. На рисунке 4.б показано, чему соответствует изображение варианта 4.а.

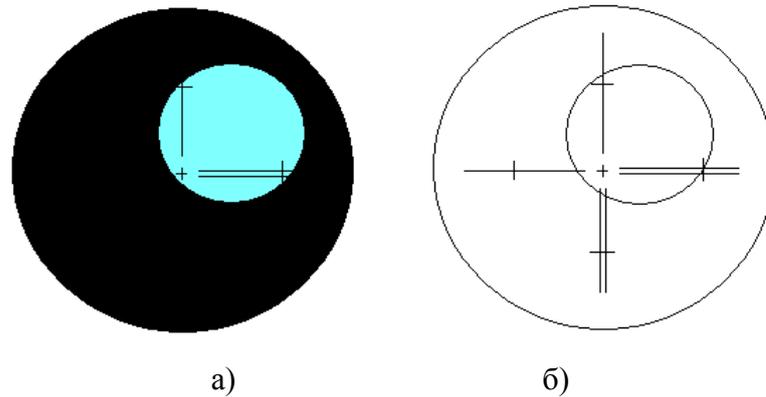


Рисунок 4 Солнце в поле зрения трубы (вариант)

#### 4.2 Определение широты по зенитному расстоянию Солнца

До наблюдений определяются приближённые значения широты ( $\varphi_0$ ) и долготы ( $\lambda_0$ ) по какой либо карте или из предыдущих наблюдений.

Перед наблюдениями в журнале наблюдений на очередной чистой странице делается запись: «Определение широты по зенитному расстоянию Солнца». Ниже указывается название или номер пункта наблюдений, а также его приближённые широту и долготу. На следующих страницах создаются бланки приёмов наблюдений (рис. 5).

**Наблюдения** производятся в период  $T_m = 10^h - 16^h$ . Каждый студент производит наблюдения тремя приёмами. Наблюдатель по какому либо местному предмету определяет место зенита  $MZ$  и сообщает его помощнику для записи в журнал наблюдений. Необходимо отметить, что для многих типов электронных теодолитов и тахеометров предусмотрена процедура обнуления места зенита, которая описана в руководстве к конкретному прибору. Желательно произвести такое обнуление, а в журнал записать  $MZ=0$ . На окулярное колено надевается светофильтр.

Приём № \_\_\_\_\_

Дата \_\_\_\_\_  $X_1 =$  \_\_\_\_\_  $u_1 =$  \_\_\_\_\_  $\omega =$  \_\_\_\_\_

$MZ =$  \_\_\_\_\_  $B =$  \_\_\_\_\_  $t^\circ =$  \_\_\_\_\_

Солнце	$T$	$BK$	$z_{\text{выч}}$
КЛ — ⊙			
КП ⊙ --			
$T_{cp} =$		$z_{cp} =$	
$(T_{cp} - X_1)^h \cdot \omega =$		$\rho =$	
$u_1 =$		$P =$	
$T_n =$		$z_{\odot} =$	
Наблюдатель:		Помощник:	

Рис. 5 Бланк приёма наблюдений зенитных расстояний Солнца

Последовательность наблюдений в приёме:

- теодолит (тахеометр) устанавливается в положение КЛ;
- снимаются и записываются показания барометра и термометра; перед снятием показания барометра по нему необходимо слегка постучать ногтем;
- зрительная труба приблизительно наводится на Солнце;
- наводящими винтами уточняется наведение, чтобы изображение Солнца располагается в поле зрения трубы так, чтобы можно было произвести наведение или касание горизонтальной нитью верхнего края Солнца (рис. 6.а);
- наводящим винтов  $BK$  наблюдатель производит касание горизонтальной нитью верхнего края Солнца (рис. 6.б) с регистрацией времени; помощник записывает время касания в колонку  $T$ ;

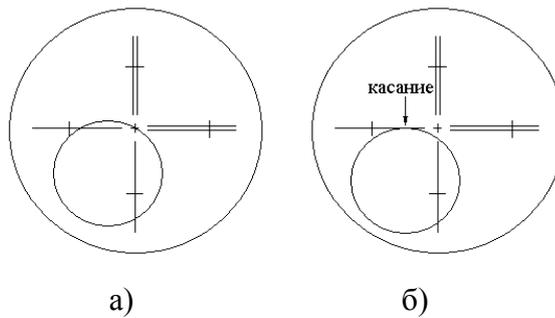


Рис. 6 Наведение при КЛ при измерении зенитного расстояния

- наблюдатель снимает отсчёт по ВК и диктует его помощнику для записи в колонку **ВК**; если теодолит имеет уровень при ВК, перед снятием отсчёта он должен быть выведен на середину;

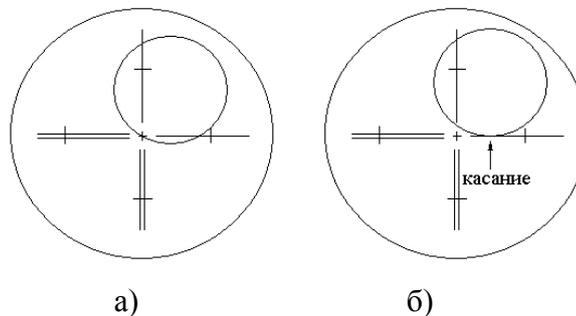


Рис. 7 Наведение при КП при измерении зенитного расстояния

- переводит теодолит (тахеометр) в положение КП, приближённо наводит на Солнце;

- наводящим винтом уточняет наведение, чтобы можно было произвести касание горизонтальной нитью нижнего края Солнца (рис. 7.а);

- производит касание (рис. 7.б) с регистрацией времени, снимает отсчёт по ВК и передаёт его помощнику; аналогично, если при ВК есть уровень, он должен быть выведен на середину перед снятием отсчёта;

- теодолит (тахеометр) переводится в положение КЛ.

**Обработка журнала** производится в следующей последовательности:

- в нижней строке таблицы записываются фамилии и инициалы наблюдателя и помощника;

- вычисляется среднее время наблюдения ***T<sub>ср</sub>*** с округлением до 0.1<sup>с</sup>:

$$T_{cp} = \frac{T_l + T_n}{2} ; \quad (1)$$

- вычисляется поправка за ход часов, также с округлением:

$$(T_{cp} - X_1)^h \cdot \omega ; \quad (2)$$

при этом сначала вычисляется разность  $T_{cp} - X_1$ , затем эта разность переводится в часы и доли часа, которая затем умножается на ход часов  $\omega$ ;

- переписывается значение поправки  $u_1$  и все три величины суммируются с тем, чтобы получить время наблюдений:

$$T_n = T_{cp} + (T_{cp} - X_1)^h \cdot \omega + u_1 ; \quad (3)$$

- в последней колонке вычисляются зенитные расстояния, исправленные за место зенита:

$$z_{Лвычч} = BK_{Л} - MZ , \quad z_{i \hat{A} \hat{E}_i} = 360^\circ - \hat{A} \hat{E}_i - MZ ;$$

- вычисляется среднее значение зенитного расстояния  $z_{cp}$  с округлением до целых секунд:

$$z_{cp} = \frac{z_{Лвычч} + z_{Пвычч}}{2} ;$$

- по  $z_{cp}$ , измеренному давлению  $B$  и температуре  $t^\circ$  по таблицам «Рефракция» в АЕ определяется рефракция  $\rho$  с округлением до целых секунд; если таких таблиц нет, рефракцию можно вычислить по формуле:

$$\rho = 60.2'' \cdot \frac{B \cdot 273}{760 \cdot (273 + t^\circ)} \cdot \tan z_{cp} ;$$

- вычисляется суточный параллакс Солнца также с округлением до целых секунд:

$$P = 9'' \cdot \cos z_{cp} ;$$

- вычисляется исправленное значение зенитного расстояния:

$$z_{\oplus} = z_{cp} + \rho - P .$$

**Вычисления в приёмах** производятся в бланках, входящих в состав отчёта по практике. Образец бланка представлен на рисунке 8. Порядок вычислений следующий:

- {1} выписывается из журнала наблюдений дата;
- {2} выписывается из журнала наблюдений время;
- {3} выписывается часовой угол Солнца из программы Stellarium;
- {4} выписывается склонение Солнца из программы Stellarium;
- {5} вычисляется промежуточная величина  $M$ :

$$M = \arctan(\tan \delta_{\otimes} / \cos t_{\otimes}) \quad ;$$

- {6} выписывается из журнала наблюдений зенитное расстояние;
- {7} вычисляется промежуточная величина  $N$ :

$$N = \arccos((\cos z_{\otimes} \cdot \sin M) / \sin \delta_{\otimes}) \quad ;$$

№ действия	Обозначение	Приём № 1	Приём № 2	Приём № 3
1	Дата			
2	Тн			
3	$t_{\otimes}$			
4	$\delta_{\otimes}$			
5	$M$			
6	$z_{\otimes}$			
7	$N$			
8	$\varphi$			
9	$\varphi_{\text{ср}}$			
10	$V_i$			
11	$m_{\varphi}$			

Рис. 8 Образец бланка обработки приёмов определения астрономической широты по зенитным расстояниям Солнца

- {8} вычисляется широта  $\varphi$ :

$$\varphi = M + N \quad ;$$

- {9} вычисляется среднее значение широты из 3-х приёмов:

$$\varphi_{cp} = (\varphi_1 + \varphi_2 + \varphi_3) / 3 \quad ;$$

- {10} вычисляются отклонения от среднего в секундах дуги:

$$v_i = \varphi_i - \varphi_{cp}$$

- {11} вычисляется средняя квадратическая ошибка определения широты:

$$m_{\varphi} = \sqrt{\frac{v_1^2 + v_2^2 + v_3^2}{n(n-1)}} \quad ,$$

где  $n$  - количество взятых в обработку приёмов.

### 4.3 Определение долготы по зенитному расстоянию Солнца

Перед наблюдениями в журнале наблюдений на очередной чистой странице делается запись: «Определение долготы по зенитному расстоянию Солнца». Ниже указывается название или номер пункта наблюдений, а также его приближённые широту и долготу.

Наблюдения производятся в период  $T_m = 4^h - 10^h$  и  $T_m = 16^h - 22^h$ . Наблюдения производятся аналогично, как и в пункте 4.2. Журнал приёма наблюдений такой же, как на рис. 5. Обработка журнала производится аналогично, как и при определении широты.

№ действия	Обозначение	Приём № 1	Приём № 2	Приём № 3
1	Дата			
2	$T_n$			
3	$\varphi_0$			
4	$z_{\odot}$			
5	$\delta_{\odot}$			

6	$\cos t_{\otimes}$			
7	$t_{\otimes}$			
8	$t_{\otimes}$			
9	$t_{\otimes}^h$			
10	$t_{\lambda}$			
11	$\Delta\lambda$			
12	$\lambda_0$			
13	$\lambda$			
14	$\lambda_{\text{ср}}$			
15	$V_i$			
16	$m_{\lambda}$			

Рис. 9 Образец бланка обработки приёмов определения астрономической долготы по зенитным расстояниям Солнца

**Вычисления в приёмах** производятся в отдельных бланках, входящих в состав отчёта по практике. Образец бланка представлен на рисунке 9.

Вычисления в каждом приёме производятся в следующей последовательности (в фигурных скобках указаны номера действий):

- {1} выписывается из журнала наблюдений дата;
- {2} выписывается из журнала наблюдений время наблюдений;
- {3} выписывается значение широты;
- {4} выписывается из журнала наблюдений зенитное расстояние;
- {5} выписывается склонение из программы Stellarium;
- {6} вычисляется часовой угол по формуле:

$$\cos t_{\otimes} = \left( \frac{\cos z_{\otimes} - \sin \varphi_0 \cdot \sin \delta_{\otimes}}{\cos \varphi_0 \cdot \cos \delta_{\otimes}} \right) ;$$

- {7} вычисляется неприведённое значение часового угла;

- {8} вычисляется приведённое значение часового угла; если наблюдения производились после астрономического полудня, значение часового угла переписывается, если наблюдения производились до астрономического полудня,  $t = 360^\circ - t$ ;

- {9} значение часового угла переводится в часовую меру;

- {10} выписывается часовой угол из программы Stellarium (этот угол вычислен программой относительно введённой в неё  $\lambda_0$ );

- {11} вычислить поправку к приближённому значению долготы по формуле:

$$\Delta\lambda = t_{\otimes} - t_{\lambda} \quad ;$$

- {12} выписать предварительное значение долготы в часовой мере;

- {13} вычислить долготу:

$$\lambda = \lambda_0 + \Delta\lambda \quad ;$$

- {14} вычисляется среднее значение долготы из 3-х приёмов:

$$\lambda_{cp} = (\lambda_1 + \lambda_2 + \lambda_3) / 3 \quad ;$$

- {15} вычисляются отклонения от среднего в секундах времени:

$$v_i = \lambda_i - \lambda_{cp} \quad ;$$

- {16} вычисляется средняя квадратическая ошибка определения долготы:

$$m_{\lambda} = \sqrt{\frac{v_1^2 + v_2^2 + v_3^2}{n(n+1)}} \quad ,$$

где n - количество приёмов, принятых в обработку.

#### 4.4 Определение астрономического азимута по часовому углу Солнца

Перед наблюдениями в журнале наблюдений на очередной чистой странице делается запись: «Определение астрономического азимута по часовому углу Солнца». Ниже указывается название или номер пункта наблюдений, а также его приближённые широту и долготу.

Наблюдения производятся в период  $T_m = 10^h - 16^h$ . Наблюдения производятся тремя приёмами. Теодолит установлен, отгоризонтирован, марка установлена, светофильтр не надет. Производится начальная установка ГК. Для этого теодолит наводится на марку и выставляется начальный отсчёт:  $0^\circ$  в первом приёме,  $60^\circ$  во втором приёме и  $120^\circ$  в третьем. Запись измерений производится в журнале, образец бланка приёма наблюдений приведён на рис. 10. Последовательность наблюдений в приёме:

- при КЛ навести теодолит на марку, произвести начальную установку, снять отсчёт по ГК и передать его помощнику; помощник дублирует отсчёт и записывает его в журнал;

- на окулярное колено (призму) надевается светофильтр;

- теодолит приблизительно наводится на Солнце, затем наводящими винтами наведение уточняется так, чтобы обеспечить наведение или касание вертикальной нитью правого края Солнца;

- производится наведение (касание) вертикальной нитью на правый край Солнца и регистрируется время;

Приём № \_\_\_\_\_

Дата \_\_\_\_\_  $X_1 =$  \_\_\_\_\_  $u_1 =$  \_\_\_\_\_  $\omega =$  \_\_\_\_\_

Объект	Круг	$T$	Отсчёт по ГК
ОРП	КЛ	-----	
Солнце  ⊗			
Солнце ⊗	КП		
ОРП		-----	
	$T_{cp} =$		$2c =$
	$(T_{cp} - X_1)^h \cdot \omega =$		$M =$
	$u_1 =$		$N =$
	$T_H =$		$Q =$
Наблюдатель:		Помощник:	

Рис. 10 Бланк приёма определения азимута по часовому углу Солнца

- снимается и передаётся помощнику отсчёт по ГК;
- теодолит переводится в положение КП, труба наводится на Солнце так, чтобы обеспечить наведение (касание) вертикальной нитью левого края Солнца;
- производится наведение (касание) вертикальной нитью на левый край Солнца и регистрируется время; снимается и передаётся помощнику отсчёт по ГК;
- наблюдатель снимает светофильтр, наводится на марку, снимает и передаёт по связи отсчёт по ГК;
- теодолит переводится в положение КЛ.

**Обработка журнала** производится в следующей последовательности:

- в нижней строке таблицы записываются фамилии и инициалы наблюдателя и помощника;
- вычисляется среднее время наблюдения  $T_{ср}$  с округлением до  $0.1^s$  (1):
- вычисляется поправка за ход часов, также с округлением (2), при этом сначала вычисляется разность  $T_{ср} - X_1$ , затем эта разность переводится в часы и доли часа, которая затем умножается на ход часов  $\omega$ ;
- переписывается значение поправки  $u_1$  и все три величины суммируются с тем, чтобы получить время наблюдений (3):
- вычисляется двойная коллимационная ошибка направления на марку:

$$2c = КП - КЛ \pm 180^\circ \quad ; \quad (4)$$

- вычисляется среднее направление на марку (31):

$$M = \frac{КЛ + (КП \pm 180^\circ)}{2} \quad ; \quad (5)$$

- вычисляется среднее направление на светило:

$$N = \frac{КЛ_{св} + (КП_{св} \pm 180^\circ)}{2} \quad ; \quad (6)$$

- вычисляется горизонтальный угол между направлением на Солнце и марку:

$$Q = M - N \quad ; \quad (7)$$

№ действия	Обозначения	Приём 1	Приём 2	Приём 3
1	Дата			
2	$\varphi$			
3	$\lambda$			
4	Тн			
5	A			
6	Q			
7	a			
8	$a_{cp}$			
9	v			
10	$m_a$			

Рис. 11 Образец бланка обработки приёмов определения астрономического азимута по часовому углу Солнца

**Вычисление каждого приёма** производится на заранее заготовленных бланках (рис. 11). Вычисления в каждом приёме с округлением временных величин до  $0.1^s$ , угловых величин до  $1''$ , производятся в следующей последовательности (в фигурных скобках указаны номера действий):

- {1} из журнала наблюдений выписывается дата наблюдения;
- {2} из журнала наблюдений значение широты;
- {3} из журнала наблюдений значение долготы;
- {4} из журнала наблюдений выписывается время наблюдений;
- {5} по программе Stellarium определяется азимут на Солнце;
- {6} из журнала наблюдений выписывается значение угла между Солнцем и ОРП;

- {7} вычислить азимут на ОРП:

$$a = A + Q \quad ; \quad (8)$$

- {8} вычисляется среднее значение азимута из 3-х приёмов:

$$a_{cp} = \frac{a_1 + a_2 + a_3}{3} \quad ; \quad (9)$$

- {9} вычисляются уклонения от среднего в секундах дуги (27):

$$v_i = a_i - a_{cp} \quad ; \quad (10)$$

- {10} вычисляется средняя квадратическая ошибка определения азимута:

$$m_a = \sqrt{\frac{v_1^2 + v_2^2 + v_3^2}{n(n-1)}} \quad , \quad (11)$$

где  $n$  - количество приёмов, принятых в обработку.

## 5. Определение астрономического азимута из наблюдений звёзд

В ясную тёмную ночь звёзды видны достаточно хорошо. На широте Санкт-Петербурга в мае-июле ночи светлые, звёзды хорошо видны только глубокой ночью. Для наведения теодолита на звезду в любом случае можно воспользоваться эфемерисами, получаемыми по программе Stellarium. При этом желательно заранее сориентировать теодолит в меридиане.



Рис. 12 Прохождение звезды через поле зрения трубы

Для определения азимута можно выбирать любые звёзды, не менее трёх. При этом, исходя из оптимального расположения звёзд при опреде-

лении азимута, выбирать их желательно вблизи меридиана и ближе к горизонту. Вполне можно использовать и Полярную звезду.

При измерении по звёздам, наблюдают их прохождение через вертикальную нить зрительной трубы. То есть, наведение на звезду производится так, чтобы она располагалась левее сетки нитей (рис. 12), кроме случаев наблюдения звёзд, располагающихся между зенитом и полюсом мира. Когда звезда в своём движении приблизится к вертикальной нити, подаётся команда «Внимание». При пересечении звездой вертикальной нити, подаётся команда «Есть!» с тем, чтобы помощник наблюдателя зарегистрировал время.

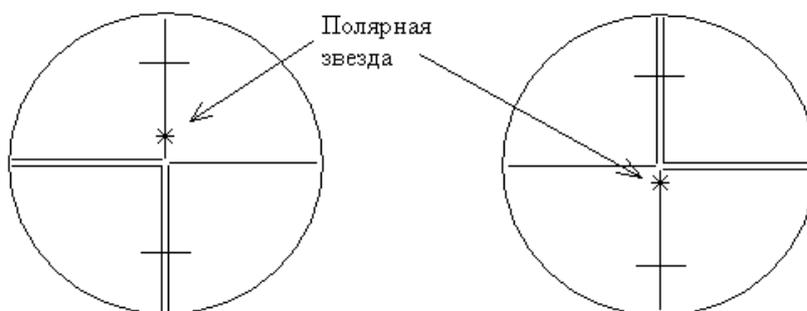


Рис. 13 Наведение на Полярную звезду

При наблюдении Полярной звезды используется способ наведения (рис. 13). Наблюдатель, вращая наводящий винт ГК, подводит звезду к вертикальной нити, командует «Внимание» и при касании нитью звезды - «Есть».

Перед наведением нити на звезду необходимо сфокусировать объектив и настроить подсветку сетки нитей. На некоторых приборах есть встроенная подсветка, но встречаются приборы, в которых она не регулируется и от неё приходится отказываться. Некоторые приборы такую подсветку вообще не имеют. Можно воспользоваться фонариком, подсвечивая им сетку нитей со стороны объектива (рис. 14).

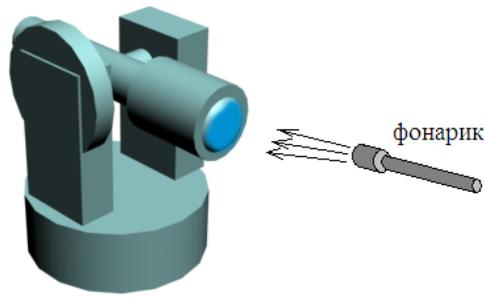


Рис. 14 Подсветка сетки нитей со стороны объектива

Перед наблюдениями в журнале наблюдений на очередной чистой странице делается запись: «Определение азимута из наблюдений звёзд». Ниже указывается название или номер пункта наблюдений, а также его широту и долготу. На следующих страницах создаются бланки приёмов наблюдений (рис. 15).

Приём № \_\_\_\_\_

Дата \_\_\_\_\_  $X_1 =$  \_\_\_\_\_  $u_1 =$  \_\_\_\_\_  $\omega =$  \_\_\_\_\_

<i>Круг</i>	<i>Объект</i>	<i>T</i>	<i>ГК</i>
<i>КЛ</i>	<i>ОРП</i>	-----	
	<i>(название звезды)</i>		
<i>КП</i>	<i>(название звезды)</i>		
	<i>ОРП</i>	-----	
<i>T<sub>ср</sub> =</i>		<i>2c =</i>	
<i>(T<sub>ср</sub> - X<sub>1</sub>)<sup>h</sup> · ω =</i>		<i>M =</i>	
<i>u<sub>1</sub> =</i>		<i>N =</i>	
<i>T<sub>н</sub> =</i>		<i>Q =</i>	
<i>Наблюдатель:</i>		<i>Помощник:</i>	

Рис. 15 Бланк приёма определения азимута по звезде

**Наблюдения.** Каждый студент производит наблюдения не менее, чем тремя приёмами. Наблюдения в приёмах производятся на разные звёзды. Последовательность наблюдений в приёме:

- теодолит (тахеометр) устанавливается в положение КЛ;

- теодолит (тахеомер) наводится на марку, устанавливается начальный отсчёт, уточняется наведение, снимается отсчёт по ГК и передаётся помощнику;

- зрительная труба наводится на звезду по эфемериде;

- в колонке «объект» записывается название или номер звезды;

- наводящими винтами уточняется наведение, чтобы изображение звезды располагается в поле зрения трубы так, как это указано выше;

- наблюдатель подаёт команды на регистрацию времени;

- помощник записывает время касания в колонку «Т»;

- наблюдатель снимает отсчёт по ГК и диктует его помощнику для записи в колонку «ГК»;

- наблюдатель переводит теодолит (тахеомер) в положение КП, приближённо наводит на звезду;

- наводящим винтом уточняет наведение;

- наблюдатель подаёт команды на регистрацию времени;

- наблюдатель снимает отсчёт по ГК и передаёт его помощнику;

- теодолит (тахеомер) наводится на марку, снимаются отсчёт по ГК и передаётся помощнику;

- теодолит (тахеомер) переводится в положение КЛ.

**Обработка журнала и вычисление каждого приёма** производится в той же последовательности, что и при наблюдении Солнца.

УДК 528.2  
ББК 26.11  
Б69

Учебно-методическое издание

Блинов Александр Фридрихович Геодезическая астрономия. Методическое пособие к учебной практике/ Учебно-методическое издание/ Блинов А.Ф.. – Санкт-Петербург; НОИР г. Санкт-Петербург, Изд-во ООО ИКЦ, 2016. – 31 с.

Ответственный за выпуск Грызлова А.В.  
Редактор выпуска Федорова Т.Л.  
Дизайн, верстка ООО ИКЦ

Подписано в печать 21.01.2016  
Заказ 121/16  
Формат 60x84 1/16  
Усл. печ. л. 1,2  
Тираж по требованию

Отпечатано в ООО «Информационно-консалтинговый центр» по заказу  
ЧОУВО «Национальный открытый институт г. Санкт-Петербург»

197183 г. Санкт-Петербург, ул. Сестрорецкая дом 6  
Тел. +7-812-430-07-16 доб. 224