

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**  
**Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение**  
**высшего образования**  
**«Донской государственный технический университет»**

**Кафедра «Геодезия»**

**ГЕОДЕЗИЧЕСКАЯ АСТРОНОМИЯ С ОСНОВАМИ АСТРОМЕТРИИ**

Практикум к выполнению лабораторных работ  
для обучающихся по специальности  
21.05.01 «Прикладная геодезия»

Ростов-на-Дону

2018

УДК 528.2

Геодезическая астрономия с основами астрометрии: практикум к выполнению лабораторных работ для обучающихся по специальности 21.05.01 «Прикладная геодезия». – Ростов н/Д: Дон. гос. техн. ун-т, 2018. – 37 с.

Содержатся задания, в которых рассматриваются теоретические вопросы и методы решения практических задач геодезической астрономии, необходимые для выполнения расчётно-графической работы. Приведены формулы, варианты заданий и пояснения к их выполнению.

Составители:

канд. техн. наук, доц. Н.Н. Редичкин,

канд. техн. наук, доц. Н.В. Самсонова

©Донской государственный  
технический университет, 2018

©Самсонова Н.В., 2018

©Редичкин Н.Н., 2018

## Содержание

Введение .....	4
Задание 1. Основные круги и точки небесной сферы .....	5
Задание 2. Решение сферических треугольников .....	9
Задание 3. Изучение звёздного неба и суточного движения звёзд .....	13
Задание 4. Определение горизонтных координат звёзд в кульминациях и на некоторый момент времени.....	16
Задание 5. Определение звёздного времени.....	18
Задание 6. Переход от одной системы измерения времени к другой.....	19
Задание 7. Составление рабочей эфемериды Полярной звезды.....	21
Задание 8. Определение астрономического адимута по часовому углу Солнца	22
Задание 9. Приближённое определение широты места наблюдения по измеренным зенитным расстояниям Полярной звезды.....	24
Задание 10. Приближённое определение азимута земного предмета по часовому углу Полярной звезды.....	25
Литература .....	26
Приложение А.....	27
Приложение Б .....	28
Приложение В.....	29
Приложение Г .....	31
Приложение Д.....	32
Приложение Е .....	33
Приложение Ж.....	33
Приложение И.....	36

## ВВЕДЕНИЕ

Геодезическая астрономия рассматривает методы определения астрономических координат точек земной поверхности (астрономических широт, долгот и астрономических азимутов избранных направлений).

Определение астрономических координат точек на земной поверхности сводится к определению положения отвесной линии в пространстве относительно окружающих звезд (при условии, что экваториальные координаты этих звезд известны) или положения светил на небесной сфере относительно зенита места наблюдений.

Положения светил относительно зенита могут быть определены с помощью горизонтальных координат:  $Z$  – зенитных расстояний,  $A$  – азимутов ориентирных направлений.

При этом необходимо учитывать то, что видимые положения светил непрерывно изменяются (вследствие суточного вращения Земли) и зависят от времени. Это обстоятельство вызывает необходимость фиксировать моменты времени, в которые были измерены горизонтальные и вертикальные углы светила.

Для обеспечения требуемой точности определения координат пунктов, угловые измерения выполняют высокоточными, переносными астрономо-геодезическими инструментами, а для регистрации времени используют специальные часы (хронометры, хронографы, секундомеры и др.)

Работы следует выполнять на листах формата А4, сопровождая необходимыми рисунками и пояснениями в соответствии с ГОСТ 2.004-88 ЕСКД, а также Правилами оформления и требованиями к содержанию курсовых проектов (работ) и выпускных квалификационных работ ДГТУ. Все вычисления производятся по схемам и формулам, приведенным в настоящих указаниях. Исходные данные, а также окончательные результаты должны быть выделены. **Исправления, коррекция и зачеркивание части текста или отдельных букв, цифр и символов недопустимы!**

## ЗАДАНИЕ 1. ОСНОВНЫЕ КРУГИ И ТОЧКИ НЕБЕСНОЙ СФЕРЫ

### Содержание задания:

1. Изобразить основные круги и точки небесной сферы, связанные с отвесной линией и осью мира; вид с Востока и Запада (рис. 1).
2. Описать все круги, линии и точки небесной сферы, связанные с отвесной линией и осью мира.
3. Изобразить основные круги и точки небесной сферы, связанные с осью мира и эклиптикой; вид с Востока (рис. 2).
4. Описать все круги, линии и точки небесной сферы, с осью мира и эклиптикой.

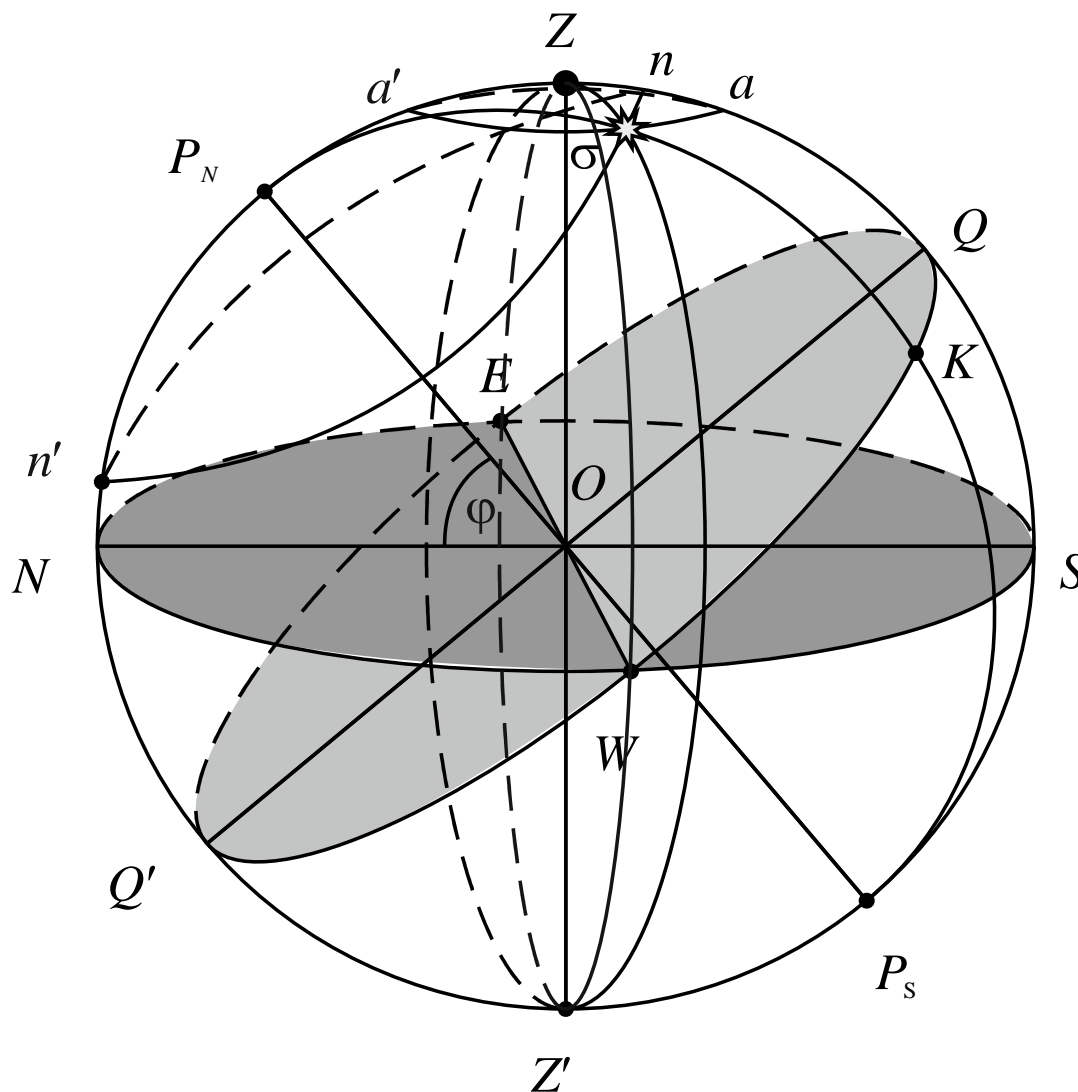


Рисунок 1 – Основные круги и точки небесной сферы, связанные с отвесной линией и осью мира

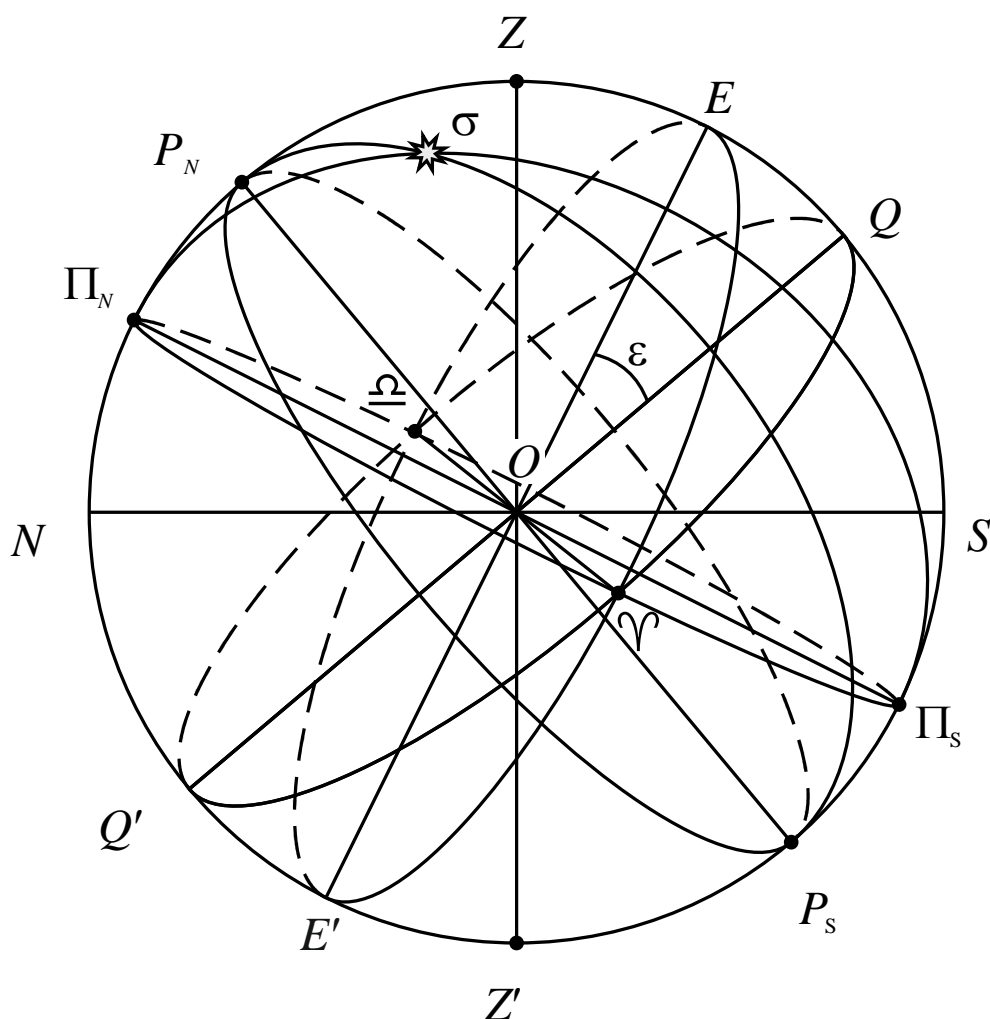


Рисунок 2 – Основные круги и точки небесной сферы, связанные с осью мира и эклиптикой

### Порядок выполнения задания

1. Произвольным радиусом (в точке  $O$ ) проводим окружность. Получим небесную сферу, т.е. шаровую поверхность, на которую проектируются небесные светила с целью определения их взаимного положения. Круги небесной сферы, плоскости которых проходят через центр сферы, называются большими. Все остальные – малыми. На рис. 1  $\sigma$  – произвольное положение светила на небесной сфере.

Первая линия, которую можно провести, называется *отвесной линией* ( $ZZ'$ ). Она проходит через центр небесной сферы, совпадает с направлением отвеса в

пункте наблюдений и пересекает небесную сферу в двух точках:  $Z$  — зенит, наивысшая точка над головой наблюдателя;  $Z'$  — надир, точка диаметрально противоположная зениту.

Плоскость, проходящая через центр небесной сферы перпендикулярно отвесной линии, пересекает небесную сферу по большому кругу, который называется *небесный горизонт*.

*Вторая линия*, которую можно провести, называется *осью мира* ( $P_N P_S$ ). Она проходит через центр небесной сферы параллельно оси вращения Земли и наклонена к плоскости горизонта под углом  $\varphi$  — широта пункта наблюдений. Ось мира пересекает небесную сферу в двух точках:  $P_N$  — северный полюс мира и  $P_S$  — южный полюс мира.

Все остальные линии образуются от пересечения плоскостей двух больших кругов небесной сферы.

Плоскость, проходящая через ось мира и отвесную линию, пересекает сферу по большому кругу ( $P_N Z P_S Z' P_N$ ), который называется *небесным меридианом*.

Плоскость, проходящая через центр небесной сферы перпендикулярно оси мира, пересекает сферу по большому кругу, который называется *небесный экватор* ( $QWQ'EQ$ ).

*Плоскости* небесного меридиана и небесного горизонта пересекаются по линии ( $NS$ ), называемой *полуденной линией*. Полуденная линия пересекает сферу в двух точках:  $N$  — точка Севера и  $S$  — точка Юга.

Линия, образованная от пересечения плоскостей небесного меридиана и небесного экватора ( $QQ'$ ) пересекает сферу в двух точках:  $Q$  — верхняя точка экватора и  $Q'$  — нижняя точка экватора.

Линия, образованная от пересечения плоскостей небесного горизонта и небесного экватора ( $WE$ ) пересекает сферу в двух точках:  $W$  — точка Запада и  $E$  — точка Востока.

Плоскость, проходящая через отвесную линию и точки Востока и Запада, пересекает небесную сферу по большому кругу, который называется *1-й вертикал* ( $ZWZ'EZ$ ).

Плоскость, проходящая через отвесную линию и светило, пересекает сферу по большому кругу, который называется *вертикалом светила* ( $Z\sigma Z'Z$ ).

Плоскость, проходящая через ось мира и светило, пересекает сферу по большому кругу, который называется *кругом склонений* или *часовым кругом* ( $P_N\sigma P_S P_N$ ).

Плоскость, проходящая через светило перпендикулярно отвесной линии, пересекает небесную сферу по малому кругу, называемому *альмукантаратом светила* или *кругом равных высот* ( $a\sigma a'a$ ).

Плоскость, проходящая через светило перпендикулярно оси мира, пересекает небесную сферу по малому кругу, который называется *суточной параллелью светила* ( $n\sigma n'n$ ).

2. Изображаем уже известные из п. 1 задания круги, линии и точки небесной сферы: отвесную линию, ось мира, меридиан, экватор, точки  $Q$ ,  $Q'$ ,  $P_N$ ,  $P_S$ ,  $Z$  и  $Z'$ .

Под углом  $\varepsilon = 23.5^\circ$  к плоскости небесного экватора наклонена плоскость эклиптики. *Эклиптикой* называется большой круг небесной сферы, по которому происходит видимое (кажущееся) годичное движение Солнца.

Плоскость эклиптики пересекается с плоскостью небесного меридиана по линии  $EE'$ , где  $E$  – точка летнего солнцестояния, а  $E'$  – точка зимнего солнцестояния.

Перпендикулярно плоскости эклиптики проходит ось эклиптики ( $\Pi_N \Pi_S$ ), где  $\Pi_N$  – Северный полюс эклиптики, а  $\Pi_S$  – Южный полюс эклиптики.

Плоскость эклиптики пересекается с плоскостью небесного экватора по линии ( $\gamma \underline{\Omega}$ ), где  $\gamma$  – Овен, точка весеннего равноденствия, а  $\underline{\Omega}$  – Весы, точка осеннего равноденствия.



Большой круг небесной сферы, который проходит через ось мира ( $P_N P_S$ ) и точки солнцестояний ( $E, E'$ ), называется *колюром солнцестояний*.

Большой круг небесной сферы, который проходит через ось мира ( $P_N P_S$ ) и точки равноденствий ( $\gamma, \underline{\Omega}$ ), называется *колюром равноденствий*.

$\sigma$  – светило,  $P_N \sigma P_S$  – *круг склонений светила*.

Большой круг небесной сферы, который проходит через ось эклиптики ( $\Pi_N \Pi_S$ ) и точки равноденствий ( $\gamma, \underline{\Omega}$ ), называется *кругом эклиптической широты равноденственных точек*.

Большой круг небесной сферы, который проходит через ось эклиптики ( $\Pi_N \Pi_S$ ) и светило  $\sigma$ , называется *кругом эклиптической широты ( $\Pi_N \sigma \Pi_S$ ) светила  $\sigma$* .

## **ЗАДАНИЕ 2. РЕШЕНИЕ СФЕРИЧЕСКИХ ТРЕУГОЛЬНИКОВ**

### **Содержание задания:**

1. Решить косоугольных сферические треугольники по трем известным элементам.
2. Решить прямоугольные сферические треугольники.

### **Исходные данные:**

1. Для решения косоугольных сферических треугольников значения элементов треугольника определяются:

- $A; a = 40^\circ \pm N \pm \left(\frac{N+F}{60}\right) \pm \left(\frac{N+F}{3600}\right)$ , где  $N$  – две последние цифры номера зачётной книжки;  $F$  – количество букв в фамилии;
- $B; b = 60^\circ \pm M \pm \left(\frac{M+K}{60}\right) \pm \left(\frac{M+K}{3600}\right)$ , где  $M$  – две первые цифры номера зачётной книжки;  $K$  – количество букв в имени;
- $C; c = 70^\circ \pm S \pm \left(\frac{S+L}{60}\right) \pm \left(\frac{S+L}{3600}\right)$ , где  $S$  – две средние цифры номера зачётной книжки;  $L$  – количество букв в отчестве.

2. Для решения прямоугольных сферических треугольников значения элементов треугольника определяются:

- $a = 80^\circ + N - \left(\frac{N+F}{60}\right) - \left(\frac{N+F}{3600}\right)$ , где  $N$  – две последние цифры номера зачётной книжки;  $F$  – количество букв в фамилии;
- $b = 60^\circ + M - \left(\frac{M+K}{60}\right) - \left(\frac{M+K}{3600}\right)$ , где  $M$  – две первые цифры номера зачётной книжки;  $K$  – количество букв в имени.

### Порядок выполнения задания

Для решения сферических треугольников из [прил. А](#) по номеру варианта<sup>1</sup> выбирают элементы, значения которых определяют по схемам, приведённым в описании задания.

Неизвестные элементы вычисляют по формулам сферической тригонометрии.

Сферическим треугольником называется фигура, образованная от пересечения трех больших кругов небесной сферы (рис. 3).

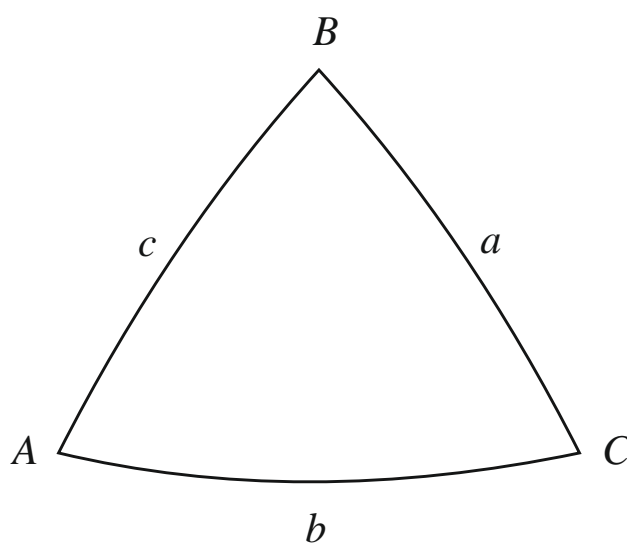


Рисунок 3 – Сферический треугольник

Для решения сферических треугольников используют следующие правила и формулы сферической тригонометрии.

### Формула косинуса стороны

---

<sup>1</sup>  $V = \frac{N+S}{4}$ , где  $N$  – две последние цифры номера зачётной книжки,  $S$  – количество букв в фамилии. Полученную величину необходимо округлить до целого в большую сторону. Если  $V > 30$ , от вычисленного числа следует отнять «30».

Правило: косинус стороны равен произведению косинусов двух других сторон, сложенному с произведением синусов этих сторон на косинус угла между ними.

$$\cos a = \cos b \cos c + \sin b \sin c \cos A. \quad (1)$$

### **Формула синусов**

Правило: произведение синуса стороны на синус прилежащего угла, равно произведению синусов противолежащих элементов.

$$\sin a \sin B = \sin b \sin A. \quad (2)$$

### **Формула пяти элементов**

Правило: произведение синуса стороны на косинус прилежащего угла равно произведению косинуса противолежащей этому углу стороны на синус третьей стороны, минус произведение синуса противолежащей этому углу стороны на косинус третьей стороны и на косинус угла между ними.

$$\sin a \cos B = \cos b \sin c - \sin b \cos c \cos A. \quad (3)$$

### **Формулы четырех элементов (котангенсов)**

Правило: для четырех элементов треугольника, расположенных рядом, правило читается так: произведение котангенса крайней стороны на синус внутренней, равно произведению косинусов внутренних элементов плюс произведение синуса внутреннего угла на котангенс крайнего угла. Например, для элементов  $A, c, B, a$  формула имеет вид:

$$\operatorname{ctg} a \sin c = \cos c \cos B + \sin B \operatorname{ctg} A. \quad (4)$$

Для решения сферического треугольника необходимо найти значения его углов  $A, B, C$ , пользуясь перечисленными правилами. Для контроля правильности решения следует использовать формулу синусов.

3. Решение прямоугольного сферического треугольника необходимо выполнять с использованием мнемонического правила Непера.

Если треугольник подписать следующим образом (рис. 4): катеты как дополнение до  $90^\circ$ , остальные элементы оставить без изменений, то правило

Непера читается так: косинус какого-либо элемента равен произведению котангенсов ближних к нему элементов или синусов дальних.

$$\cos(90 - b) = \operatorname{ctg} C \operatorname{ctg}(90 - c) = \sin B \sin a. \quad (5)$$

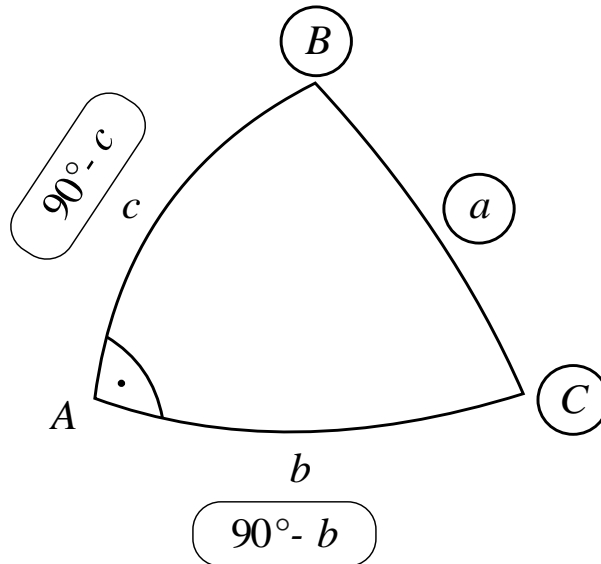


Рисунок 4 – Прямоугольный сферический треугольник;

катеты как дополнение до  $90^\circ$ , остальные элементы без изменений

Если прямоугольный сферический треугольник подписать следующим образом (рис. 5): катеты оставить без изменений, а остальные элементы подписать как дополнение до  $90^\circ$ , то синус какого-либо элемента будет равен произведению тангенсов ближних к нему элементов или косинусов дальних.

$$\sin b = \operatorname{tg} c \operatorname{tg}(90 - C) = \cos(90 - B) \cos(90 - a). \quad (6)$$

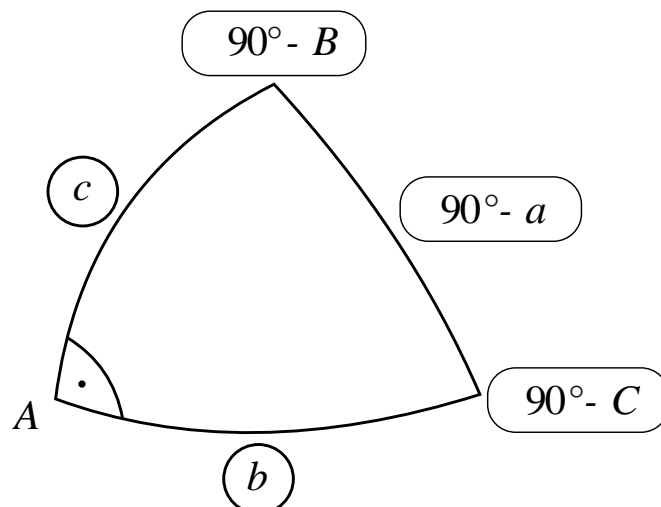


Рисунок 5 – Прямоугольный сферический треугольник;

катеты без изменений, остальные элементы как дополнение до  $90^\circ$

### ЗАДАНИЕ 3. ИЗУЧЕНИЕ ЗВЁЗДНОГО НЕБА И СУТОЧНОГО ДВИЖЕНИЯ ЗВЁЗД

#### Содержание задания:

1. Оpoznать на карте наиболее яркие звёзды и созвездия.
2. Вычислить угловое (дуговое) расстояние  $L$  между двумя звёздами.
3. Для пункта «Ростов» выбрать по паре звёзд незаходящих, восходящих и заходящих, не восходящих, имеющих элонгации, проходящих первый вертикал над горизонтом и под горизонтом; построить чертёж небесной сферы и указать на нём суточные параллели выбранных звёзд.

#### Исходные данные:

1. Карта звёздного неба ([прил. Б](#)).
2. В соответствии с  $V^2$  выбрать из табл. 1 номера звёзд по Астрономическому ежегоднику, выписать значения склонений  $\delta_i$  и прямых восхождений  $\alpha_i$  из прил. Б.
3. Из [прил. В](#) самостоятельно выбрать звёзды, удовлетворяющие условиям задания.

Таблица 1 – Номера звёзд

$V$	I пара		II пара		III пара	
	№ по АЕ	№ по АЕ	№ по АЕ	№ по АЕ	№ по АЕ	№ по АЕ
1	2	27	182	245	326	508
2	15	53	200	261	356	140
3	27	55	615	278	373	319
4	48	74	245	311	666	527
5	74	119	264	644	674	100
6	83	132	281	345	451	261
7	97	142	311	373	479	451

<sup>2</sup>  $V = \frac{N+S}{5}$ , где  $N$  – две последние цифры номера зачётной книжки,  $S$  – количество букв в фамилии.

Полученную величину необходимо округлить до целого в большую сторону. Если  $V > 24$ , от вычисленного числа следует отнять «24».

8	100	143	326	400	506	27
9	119	152	356	427	527	221
10	140	171	373	451	558	389
11	149	188	400	479	2	264
12	170	208	674	497	27	245
13	186	216	451	527	55	264
14	200	221	479	558	74	281
15	211	245	506	2	103	293
16	221	261	532	15	140	318
17	245	278	539	592	167	345
18	253	280	702	54	200	365
19	261	281	4	83	615	400
20	278	302	27	119	245	424
21	299	643	54	140	261	451
22	319	650	74	171	278	463
23	345	373	101	200	299	465
24	365	400	132	615	319	508

### Порядок выполнения задания

1. Руководствуясь копией макета карты звёздного неба, следует научиться опознавать на небе наиболее яркие звёзды и созвездия. Изучить их латинские названия (список ярких звезд приведён в [прил. В](#)). Из прил. В следует отобрать те звёзды, которые имеют названия. Оpoznать на карте эти звёзды, выделить их красным цветом и подписать. Запомнить названия созвездий, в которые входят эти звёзды.

2. Угловое (дуговое) расстояние  $L$  между звёздами определяется из формулы

$$\arccos L = \sin \delta_1 \sin \delta_2 + \cos \delta_1 \cos \delta_2 \cos[(\alpha_2 - \alpha_1) \cdot 15], \quad (7)$$

где  $\delta_i$ ;  $\alpha_i$  – координаты звёзд.

При решении задачи необходимо привести подробные вычисления, результаты внести в табл. 2.

Таблица 2 – Вычисление углового расстояния между звёздами

№ по АЕ	Прямое восхождение $\alpha, ^h m s$	Склонение $\delta, ^\circ ' ''$	Вычисления	Угловое расстояние $L,$ $^\circ ' ''$

3. Для решения задачи определения суточного движения звёзд следует применяются следующие условия:

- звезда незаходящая, если  $\delta > (90^\circ - \varphi)$ ;
- звезда восходящая и заходящая, если  $-(90^\circ - \varphi) < \delta < +(90^\circ - \varphi)$ ;
- звезда невосходящая, если  $\delta < -(90^\circ - \varphi)$ ;
- звезда имеет элонгации, если  $\delta < \varphi$ ;
- звезда проходит первый вертикал над горизонтом, если  $0 < \delta < \varphi$ ;
- звезда проходит первый вертикал под горизонтом, если  $-(90^\circ - \varphi) < \delta < 0$ .

*Примечание:* широта Ростова-на-Дону  $\varphi = 47^\circ 15'$ ; одну звезду из числа восходящих и заходящих выбрать с положительным склонением ( $\delta$ ), а вторую с отрицательным.

Результаты решения задачи заносятся в табл. 3; чертёж оформляется на чертёжной бумаге: суточные параллели над горизонтом выделяются красным цветом, под горизонтом – синим, пересекающие горизонт – зелёным, все остальные элементы чертежа наносятся чёрной тушью.

Таблица 3 – Условия суточного движения звёзд

№ по АЕ	Сокращённое обозначение	Склонение $\delta,$ $^\circ ' ''$	Условие суточного движения

## ЗАДАНИЕ 4. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ГОРИЗОНТНЫХ КООРДИНАТ ЗВЁЗД В КУЛЬМИНАЦИЯХ И НА НЕКОТОРЫЙ МОМЕНТ ВРЕМЕНИ

### Содержание задания:

1. Для звёзд, выбранных по варианту  $V$  составить табл. 4.
2. Для пункта «Ростов» вычислить зенитные расстояния и азимуты звёзд, выбранных по варианту  $V$ . Координаты ( $Z, A$ ) необходимо определить на момент звёздного времени  $S$ . Все вычисления поместить в табл. 5.

### Исходные данные:

1. Номера звёзд выбираются по варианту, вычисленному в Задании 2 из табл. 1.
2. Момент звёздного времени определяется как  $S = F \pm 12^h + \left(\frac{F+N}{60}\right) + \left(\frac{N+K}{3600}\right)$ , где  $F$  – количество букв в фамилии;  $N$  – две последние цифры номера зачётной книжки;  $K$  – количество букв в имени.

### Порядок выполнения задания

1. При решении задания следует пользоваться следующими данными и формулами:

а) для звезды, находящейся в верхней кульминации, когда часовой угол  $t = 0^h$ :

- южная звезда (при  $\varphi > \delta$ ) имеет координаты

$$S = \alpha; Z = \varphi - \delta; A = 0; \quad (8)$$

- северная звезда (при  $\varphi < \delta$ ) имеет координаты:

$$S = \alpha; Z = \delta - \varphi; A = 180^\circ; \quad (9)$$

б) для звезды, находящейся в нижней кульминации, когда часовой угол  $t = 12^h$ :

- звезда, склонение которой  $-\varphi < \delta < 90^\circ$ , имеет координаты

$$S = \alpha \pm 12^h; Z = 180^\circ - (\varphi + \delta); A = 180^\circ; \quad (10)$$

- звезда, склонение которой  $-\varphi < \delta$ , имеет координаты

$$S = \alpha \pm 12^h; Z = 180^\circ + (\varphi + \delta); A = 0. \quad (11)$$



Таблица 4 – Координаты звёзд в кульминациях для пункта «Ростов»

Положение звезды		№ звезды по Астрономическому ежегоднику					
Верхняя кульминация	S						
	A						
	Z						
		над горизонтом (под горизонтом)	над горизонтом (под горизонтом)	над горизонтом (под горизонтом)	над горизонтом (под горизонтом)	над горизонтом (под горизонтом)	над горизонтом (под горизонтом)
$\varphi$		47° 15'					
$\delta$							
$\varphi + \delta$							
Нижняя кульминация	S						
	A						
	Z						
		под горизонтом (над горизонтом)	под горизонтом (над горизонтом)	под горизонтом (над горизонтом)	под горизонтом (над горизонтом)	под горизонтом (над горизонтом)	под горизонтом (над горизонтом)

2. Для решения этой задачи применяют формулы:

$$Z = \arccos\{\sin \delta \sin \varphi + \cos \delta \cos \varphi \cos[(S - \alpha) \cdot 15]\}; \quad (12)$$

$$A' = \arctg \left| \left( \frac{\cos \delta \sin t}{\cos \delta \sin \varphi \cos t - \sin \delta \cos \varphi} \right) \right|. \quad (13)$$

В формуле (13) величина  $t = [(S - \alpha) \cdot 15]$ , кроме того в данной формуле необходимо определить четверть, в которой находится азимут:

- $A = A'$ , если числитель и знаменатель положительные;
- $A = 180^\circ - A'$ , числитель положительный, знаменатель отрицательный;
- $A = 180^\circ + A'$ , числитель и знаменатель отрицательные;
- $A = 360^\circ - A'$ , числитель отрицательный, знаменатель положительный.

Для контроля правильности вычислений используют формулу:

$$\sin Z \sin A = \cos \delta \sin t. \quad (14)$$

Таблица 5 – Вычисление горизонтных координат светил

V	№ звезды по Астрономическому ежегоднику					
Элементы формул						
$\sin \delta$						
$\cos \delta$						
$\sin \varphi$						
$\cos \varphi$						
$\sin t$						
$\cos t$						
$Z$						
$A$						
$\sin Z \sin A$						
$\cos \delta \sin t$						

### ЗАДАНИЕ 5. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЗВЁЗДНОГО ВРЕМЕНИ

#### Содержание задания:

1. Определить среднее звёздное время в  $0^h$  на дату наблюдений.
2. Определить истинное звёздное время в  $0^h$  всемирного на дату наблюдений.

#### Исходные данные:

1. За дату наблюдений принимается «V» текущий месяц 20\_\_ г., где V – вариант, вычисленный в Задании 2.

#### Порядок выполнения задания

1. В соответствии с резолюцией XVIII Генеральной ассамблеи МАС гринвичское среднее звёздное время  $S_0^m$  в  $0^h$  UT1 определяется следующей формулой:

$$S_0^m = 6^h 41^m 50^s.54841 + 236^s.555367908d + 0^s.093104 \left( \frac{d}{36525} \right), \quad (15)$$

где  $d$  – количество суток, протекших от эпохи J 2000.0, январь 1, 12<sup>h</sup> ИТ1(J.D.2451545.0).

2. Истинное звёздное время обычно обозначается через  $S_0$  и определяется по формуле:

$$S_0 = S_0^m + N, \quad (16)$$

где  $N$  – нутация в прямом восхождении, величина которой колеблется в пределах  $\pm 1.2^s$  и определяется по формуле:

$$N = \frac{9.21'' \cos \Omega - 17.23'' \sin \Omega}{15}, \quad (17)$$

где  $\Omega$  — долгота восходящего узла лунной орбиты.

Для определения  $\Omega$  существует формула:

$$\Omega = 259^\circ 10' 79'' - 1934^\circ 08' 31.23'' * T + 7.48'' * 0,008'' * T^3, \quad (18)$$

где  $T$  – промежуток времени (в столетиях) от 1950 года до момента наблюдений.

## **ЗАДАНИЕ 6. ПЕРЕХОД ОТ ОДНОЙ СИСТЕМЫ ИЗМЕРЕНИЯ ВРЕМЕНИ К ДРУГОЙ**

### **Содержание задания:**

1. Найти звёздное время  $s$  для момента наблюдений звезды  $\alpha$  Тау в среднее ростовское время  $t$  на дату наблюдений.
2. Определить местное время  $t$  в Ростове-на-Дону на момент звёздного времени  $s$  на дату наблюдений.

### **Исходные данные:**

1. Значение среднего местного времени определяется как  $t = M + \left(\frac{M+F}{60}\right) + \left(\frac{N+F}{3600}\right)$ , где  $M$  – две первые цифры номера зачётной книжки;  $N$  – две последние цифры номера зачётной книжки;  $F$  – количество букв в фамилии.
2. Значение истинного звёздного времени берётся из Задания 4.
3. За дату наблюдений принимается « $V$ » текущий месяц 20\_\_ г., где  $V$  – вариант, вычисленный в Задании 2.
4. Долгота пункта наблюдений  $\lambda = 2^h 39^m$ .

### **Порядок выполнения задания**

1. Для вычисления звёздного времени  $s$  для данного момента наблюдений применяются две группы формул:

I группа	II группа
$s = s^0 + m + mk$	$s = S + \lambda$
$s = S^0 - \lambda k$	$T^0 = m - \lambda$
$k = 1/365.2422$	$S = S^0 + T^0 T^0 k$

Порядок и результаты вычислений записываются в табл. 6.

Таблица 6 – Определение звёздного времени для данного момента наблюдений

№ п/п	Элементы формул	Вычисления	№ п/п	Элементы формул	Вычисления
1	$S_0$		7	$m$	
2	$\lambda$		8	$\lambda$	
3	$s_0$		9	$T_0$	
4	$m$		10	$T_0 \cdot k$	
5	$m \cdot k$		11	$S_0$	
6	$s$		12	$\lambda$	
			13	$s$	

2. Для определения местного среднего времени  $m$  на момент звёздного времени  $s$  также применяются две группы формул:

I группа

$$= (S - S_0) - (S - S_0) \cdot v$$

$$s_0 = S_0 - \lambda k$$

$$v = 1/366,2422$$

II группа

$$m = T_0 + \lambda$$

$$T_0 = (S - S_0) - (S - S_0) \cdot v$$

$$S = s - \lambda$$

Порядок и результаты вычислений записываются в табл. 7.

Таблица 7 – Определение местного среднего времени на момент звёздного времени

№ п/п	Элементы формул	Вычисления	№ п/п	Элементы формул	Вычисления
1	$S_0$		8	$s$	
2	$-\lambda \cdot k$		9	$-\lambda$	
3	$S_0$		10	$S$	
4	$s$		11	$S_0$	
5	$(s - s_0)$		12	$(S - S_0)$	
6	$-(s - s_0) \cdot v$		13	$-(S - S_0) \cdot v$	
7	$m$		14	$T_0$	
			15	$\lambda$	
			16	$m$	

## ЗАДАНИЕ 7. СОСТАВЛЕНИЕ РАБОЧЕЙ ЭФЕМЕРИДЫ ПОЛЯРНОЙ ЗВЕЗДЫ

### Содержание задания:

1. Составить рабочую эфемериду Полярной звезды с интервалом  $20^m$  на дату наблюдения для астроопределений в Ростове-на-Дону на промежуток времени от  $T_d=18^h$  до  $T_d=24^h$ .

2. Результаты вычислений помещают в табл. 8.

### Исходные данные:

1. Пункт наблюдений Ростов-на-Дону имеет координаты  $\varphi = 47^\circ 15'$ ;  $\lambda = 2^h 39^m$ .

2. За дату наблюдений принимается «V» текущий месяц 20\_\_ г., где V – вариант, вычисленный в Задании 2.

3. «Таблица высот и азимутов Полярной» Астрономического Ежегодника.

### Порядок выполнения задания

1. По таблице высот и азимутов Полярной, для всех широт Земли и различных моментов звездного времени, можно определить горизонтные координаты Полярной (Z; A).

2. Для определения звёздного времени начала составления эфемерид, используется формула:

$$s = S_0 + (T_d - 3^h) + (T_d - 3^h) \cdot k \cdot \lambda, \quad (19)$$

где значение  $S_0$  берётся из Задания 4.

Таблица 8 – Рабочая эфемерида Полярной звезды

№ п/п	$s, ^h m$	$A, ^\circ '$	$Z, ^\circ '$
1			
2...			
18			

## ЗАДАНИЕ 8. ОПРЕДЕЛЕНИЕ АСТРОНОМИЧЕСКОГО АДМУТА ПО ЧАСОВОМУ УГЛУ СОЛНЦА

### Содержание задания:

1. Вычислить азимут Земного предмета по результатам наблюдений Солнца в Ростове-на-Дону.

### Исходные данные:

1. Данные для вычислений выбирают из [прил. Г](#) по вычисленному номеру варианта  $W$ .<sup>3</sup>

2. Координаты пункта наблюдений Ростов-на-Дону  $\varphi = 47^{\circ}15'$ ;  $\lambda = 2^h 39^m$ .

3. Склонение и часовой угол Солнца в момент наблюдений выбираются из таблицы постоянной эфемериды Солнца ([прил. Д](#)). В этой таблице на каждую дату даны значения видимого склонения Солнца (округлённые до секунд), а также значения вспомогательной величины  $E$  (округлённые до десятых долей секунды времени). Рядом с этими величинами помещены их часовые изменения.

Эфемерида называется «постоянной», потому что ею можно пользоваться в течение ряда лет, вводя поправки за начало года. Поправки за начало года приведены в [прил. Е](#).

### Порядок выполнения задания

1. Предварительно необходимо вычислить видимые координаты Солнца ( $\delta$ ,  $t$ ). Результаты записать в табл. 9.

Таблица 9 – Схема вычислений видимых координат Солнца

№ п/п	Элементы формул	Вычисления	№ п/п	Элементы формул	Вычисления
1	$T_{\text{хр}}$	Отсчёт по хронометру	14	$E_{\text{табл.}}$	Из прил. Г на дату
2	$u$	Поправка хронометра	15	$\nu_0'$	Часовые изменения $E$ из прил. Г
3	$n+1+1$	Номер пояса $+1^h$ за декрет $+1^h$ л.в.	16	$k\nu_0'$	
4	$M$	$T_{\text{хр}} + u - (n + 1 + 1)$	17	$E_0$	$E_0 = E_{\text{табл.}} + k\nu_0'$

<sup>3</sup>  $W = \frac{N+S}{5}$ , где  $N$  – две последние цифры номера зачётной книжки,  $S$  – количество букв в фамилии. Полученную величину необходимо округлить до целого в большую сторону. Если  $W > 20$ , от вычисленного числа следует отнять «20».

Продолжение таблицы 9

5	$M^h$	Значения $M$ в долях часа	18	$v'_F$	$v'=v_0'$ , если $F < 12^h$ , $v'=v_0+v_1/2$ , если $F > 12^h$
6	$k^h$	Из прил. Д для текущего года	19	$E$	$E = E_0 + v'_F$
7	$F^h$	$F^h = M^h + K^h$			
8	$\delta_{\text{табл.}}$	Из прил. Г на дату			
9	$v_0$	Часовые изменения $\delta$ из прил. Г			
10	$v_0k$	В секундах	20	$\lambda$	Долгота пункта
11	$\delta_0$	$\delta_0 = \delta_{\text{табл.}} + v_0k$	21	$m$	$m = M + \lambda$
12	$v_F$	$v=v_0$ , если $F < 12^h$ , $v=v_0+v_1/2$ , если $F > 12^h$	22	$t^h$	$t^h = m + E$
13	$\delta$	$\delta = \delta_0 + v_F$	23	$t^\bullet$	$t^\bullet = t \cdot 15$

2. Вычисляют направление на Солнце ( $A$ ) по формулам:

$$\operatorname{tg} A' = \left( \frac{1}{x-y} \right); x = \frac{\sin \varphi}{\operatorname{tg} t}; y = \frac{\cos \varphi \operatorname{tg} \delta}{\sin t}. \quad (20)$$

Четверть, в которой находится направление на Солнце, определяем по величине  $t$  – часового угла Солнца и знаку  $\operatorname{tg} A$ .

– если  $0 < t < 12^\circ$  и:

$\operatorname{tg} A'$  положительный,

$\operatorname{tg} A'$  отрицательный,

то  $A'$  лежит в 3-й четверти,

то  $A'$  лежит в 4-й четверти,

$$A_0 = 180^\circ + \operatorname{arctg} A'$$

$$A_0 = 360^\circ - \operatorname{arctg} A'$$

–  $12^\circ < t < 24^\circ$  и:

$\operatorname{tg} A'$  положительный,

$\operatorname{tg} A'$  отрицательный,

то  $A'$  лежит в 1-й четверти,

то  $A'$  лежит в 2-й четверти,

$$A_0 = \operatorname{arctg} A'$$

$$A_0 = 180^\circ - \operatorname{arctg} A'$$

3. Вычисляют «Место Севера» ( $M_N$ ) по формуле:

$$M_N = P - A, \quad (21)$$

где  $P$  – отсчёт по горизонтальному кругу при наведении на Солнце.

4. Вычисляют азимут Земного предмета ( $A$ ) по формуле:

$$A = B - M_N, \quad (22)$$

где  $B$  – отсчёт по горизонтальному кругу при наведении на земной предмет.

Результаты вычислений заносят в табл. 10.

Таблица 10 – Схема вычисления астрономического азимута

№ п/п	Элементы формул	Вычисления	№ п/п	Элементы формул	Вычисления
1	$\sin \varphi$		9	$A'$	
2	$\operatorname{tg} t$		10	четверть	
3	$x$		11	$A_0$	
4	$\cos \varphi$		12	$P$	
5	$\operatorname{tg} \delta$		13	$M_N$	
6	$\sin t$		14	$B$	
7	$y$		15	$A$	
8	$\operatorname{tg} A'$				

## ЗАДАНИЕ 9. ПРИБЛИЖЁННОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ ШИРОТЫ МЕСТА НАБЛЮДЕНИЯ ПО ИЗМЕРЕННЫМ ЗЕНИТНЫМ РАССТОЯНИЯМ ПОЛЯРНОЙ ЗВЕЗДЫ

### Содержание задания:

1. Используя результаты наблюдений Полярной звезды вычислить широту места наблюдений.

### Исходные данные:

1. Вариант задания определяется как  $R^4$ .
2. Результаты наблюдения Полярной звезды приведены в [прил. Ж](#).
3.  $\tau = 2.48''$ ;  $i = [(\text{л} + \text{п}) - 40] \cdot \frac{\tau}{2}$ ;  $\lambda = 2^h 39^m$ .
4. Дата наблюдений: 15.06 +  $R$ .

### Порядок выполнения задания

1. Вычисления широты места наблюдения выполняется в соответствии со схемой (табл. 11). Результаты вычислений заносятся в табл. 11.

2.  $\varphi = h + \text{I} + \text{II} + \text{III}$ .

---

<sup>4</sup>  $R = \frac{N+F}{7}$ , где  $N$  – две последние цифры номера зачётной книжки,  $F$  – количество букв в фамилии. Полученную величину необходимо округлить до целого в большую сторону. Если  $R > 16$ , от вычисленного числа следует отнять «16».



3.  $\zeta$  – отсчёт по вертикальному кругу при наведении на Полярную звезду плюс-минус место зенита  $M_Z$  ([прил. Ж](#)).

4.  $r_a$ , I, II, III,  $\delta$ ,  $\alpha$  выбираются из Астрономического Ежегодника.

5.  $\Delta'' = 90^\circ - \delta$ ;  $t = s - \alpha$ ;  $s = T + u$ .

Таблица 11 – Схема вычисления широты места наблюдения по измеренным зенитным расстояниям Полярной звезды

№ п/п	Формулы	КЛ		КП		№ п/п	Формулы	КЛ		КП	
		1	2	3	4			1	2	3	4
1	$T$					8	$Z$				
2	$u$					9	$h = 90 - Z$				
3	$s$					10	I				
4	$L, R$					11	II				
5	$M_Z$					12	III				
6	$\zeta$					13	$\varphi$				
7	$r_a$					14	$\varphi_{\text{ср}}$				

## ЗАДАНИЕ 10. ПРИБЛИЖЁННОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ АЗИМУТА ЗЕМНОГО ПРЕДМЕТА ПО ЧАСОВОМУ УГЛУ ПОЛЯРНОЙ ЗВЕЗДЫ

### Содержание задания:

1. Вычислить азимут земного предмета, используя результаты наблюдений Полярной звезды.

### Исходные данные:

1. Данные для вычислений выбирают из [прил. И](#) по вычисленному номеру варианта  $W$ .<sup>5</sup>

2. Координаты пункта наблюдений:  $\lambda = 3^h 48^m$ ,  $\varphi = 54^\circ 26' 24.5''$ .

3. Дата наблюдений:  $15.06 + W$ .

### Порядок выполнения задания

1. Азимут земного предмета из результатов наблюдений можно вычислить по формулам:

<sup>5</sup>  $W = \frac{N+S}{5}$ , где  $N$  – две последние цифры номера зачётной книжки,  $S$  – количество букв в фамилии. Полученную величину необходимо округлить до целого в большую сторону. Если  $W > 20$ , от вычисленного числа следует отнять «20».

$$A = a + Q; Q = M - P; a = -\frac{y}{\cos(\varphi + x)}, \quad (23)$$

где  $M$  – средний отсчёт по горизонтальному кругу при наведении на земной предмет;  $P$  – средний отсчёт по горизонтальному кругу при наведении на Полярную звезду;  $x = \Delta \cos t; y = \Delta \sin t$ ;  $\Delta = 90^\circ - \delta$ ;  $t = (T_{\text{ср}} + u) - \alpha$ ;  $u = u_1 + \omega(T_{\text{ср}} - T_1)$ ;  $\alpha, \delta$  – координаты Полярной звезды на дату наблюдений;  $T_{\text{ср}}$  – средний отсчёт по хронометру;  $\varphi$  – широта места наблюдений;  $u_1, T_1, \omega$  – исходные данные.

2. Вычисления широты азимута земного предмета выполняется в соответствии со схемой (табл. 12). Результаты вычислений заносятся в табл. 12.

Таблица 12 – Схема вычисления азимута земного предмета по часовому углу Полярной звезды

№ п/п	Формулы	Вычисления	№ п/п	Формулы	Вычисления
1	$T_{\text{ср.}}$		10	$\cos t$	
2	$u$		11	$x$	
3	$T_{\text{ср.}} + u$		12	$\cos(x + \varphi)$	
4	$\alpha$		13	$M$	
5	$t^h$		14	$P$	
6	$t^\circ$		15	$Q$	
7	$y$		16	$a$	
8	$\sin t$		17	$A$	
9	$\Delta$				

## ЛИТЕРАТУРА

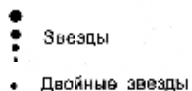
1. Абалакин В.К. Геодезическая астрономия и астрометрия: справочное пособие. – М.: Картцентр-Геодезиздат, 1996. – 435 с.
2. Бакулин П.И., Блинов И.С. Служба точного времени. – М., Наука, 1977. – 352 с.
3. Белова Н.А. Курс сферической астрономии. – М.: Недра, 1971. – 183 с.
4. Блажко С.Н. Курс практической астрономии. – М. – Л., 1951. – 322 с.

5. *Иванов А.А.* Курс астрономии: введение в астрономию и сферическую астрономию. – Л. – М.: Изд-во Главсевморпути, 1940. – 303 с.
6. *Пандул И.С.* Астрономические определения. – М.: Надра, 1983. – 127 с.
7. *Редичкин Н.Н., Самсонова Н.В.* Курс общей астрономии. Часть I: Учебное пособие. – Ростов-на-Дону: Рост. гос. строит. ун-т, 2015, 81 с.
8. *Халхунов В.З.* Сферическая астрономия. – М.: Недра, 1972, 304 с.

#### Приложение А

№ варианта	Косоугольный сферический треугольник		Прямоугольный сферический треугольник	
	Дано	Найти	Дано	Найти
1, 11, 21	$a, b, c$	$A, B, C$	$a, b$	$B, C, c$
2, 12, 22	$A, c, B$	$a, C, b$	$a, C$	$b, c, B$
3, 13, 23	$a, b, C$	$A, B, c$	$a, B$	$b, c, C$
4, 14, 24	$c, B, a$	$C, b, A$	$b, B$	$a, c, C$
5, 15, 25	$a, c, B$	$A, C, b$	$B, C$	$a, b, c$
6, 16, 26	$B, a, C$	$b, A, C$	$b, C$	$a, c, B$
7, 17, 27	$a, C, b$	$A, c, B$	$a, b$	$c, B, C$
8, 18, 28	$b, c, A$	$B, C, a$	$a, C$	$b, c, B$
9, 19, 29	$C, b, A$	$c, B, a$	$b, B$	$a, c, C$
10, 20, 30	$b, A, C$	$B, a, c$	$b, C$	$a, c, B$
<b>Контроль</b>	$\frac{\sin a}{\sin A} = \frac{\sin b}{\sin B} = \frac{\sin c}{\sin C}$		$\cos C = \sin B \cos c$	

## Карта звёздного неба



## Средние места звёзд

№ по АЕ	Сокращённое обозначение	$\alpha$ (J 2000.0) h m s	Годовые изменения $\alpha$ , s	$\delta$ (J 2000.0) ° ' "	Годовые изменения $\delta$ , "	Название звезды	Созвездие
1	2	5	6	7	8	9	10
N4	$\alpha$ Umi	2 31 48.704	+62.39	+89 15 50.72	+16.16	Полярная	Малая Медведица
2	$\alpha$ And	0 08 23.265	+3.111	+29 05 25.58	+19.87		
4	$\gamma$ Peg	00 13 14.154	+3.095	+15 11 00.80	+20.00	Альгениб	Пегас
15	$\beta$ Cet	0 43 35.372	+3.010	- 17 59 11.82	+19.72		
27	$\beta$ And	1 09 43.931	+3.374	+35 37 13.95	+19.02		
592	$\alpha$ Eri	1 37 42.852	+2.229	- 57 14 12.18	+18.22		
48	$\beta$ Ari	1 54 38.401	+3.324	+20 48 28.82	+17.49		
53	$\gamma$ And	2 03 53.963	+3.703	+42 19 46.99	+17.15		
54	$\alpha$ Ari	2 07 10.403	+3.393	+23 27 44.66	+16.90		
55	$\beta$ Tri	2 09 32.625	+3.586	+34 59 14.24	+16.90		
57a	$\alpha$ Cet	2 19 20.723	+3.034	- 2 58 39.46	+19.72		
74	$\alpha$ Cet	3 02 16.773	+3.142	+ 4 05 22.93	+13.97		
83	$\alpha$ Per	3 24 19.365	+4.307	+49 51 40.34	+12.60	Мирфак	Персей
97	$\eta$ Tau	3 47 29.073	+3.576	+24 06 18.38	+10.94		
100	$\zeta$ Per	3 54 07.922	+3.783	+31 53 01.01	+10.48		
101	$\epsilon$ Per	3 57 51.227	+4.041	+40 00 36.72	+10.19		
103	$\gamma$ Eri	3 58 01.763	+2.802	- 13 30 30.71	+10.08		
119	$\alpha$ Tau	4 35 55.237	+3.448	+16 30 33.39	+7.03	Альдебаран	Телец
132	$\iota$ Aur	4 56 59.617	+3.915	+33 09 57.93	+5.46		
140	$\beta$ Eri	5 07 50.972	+2.952	- 5 05 11.23	+4.47		
142	$\beta$ Ori	5 14 32.268	+2.886	- 8 12 05.98	+3.98	Ригель	Орион
143	$\alpha$ Aur	5 16 41.353	+4.440	+45 59 52.90	+3.38	Капелла	Возничий
148	$\gamma$ Ori	5 25 07.857	+3.221	+ 6 20 58.74	+3.05	Беллатрикс	Орион
149	$\beta$ Tau	5 26 17.511	+3.797	+28 36 26.67	+2.80	Нат	Телец
150	$\beta$ Lep	5 28 14.720	+2.573	- 20 45 34.09	+2.70		
152	$\delta$ Ori	5 32 00.398	+3.068	- 0 17 56.88	+2.47		
153	$\alpha$ Lep	5 32 43.802	+2.648	- 17 49 20.26	+2.41		
605	$\nu$ Ori	5 35 25.974	+2.937	- 5 54 35.61	+2.17		
157	$\epsilon$ Ori	5 36 12.809	+3.047	- 1 12 07.02	+2.10		
158	$\zeta$ Agl	5 37 38.681	+3.589	+21 08 33.06	+1.96		
606	$\alpha$ Col	5 39 38.947	+2.175	- 34 04 27.01	+1.77		
160	$\zeta'$ Ori	5 40 45.505	+3.030	- 1 56 33.55	+1.71		
162	$\chi$ Ori	5 47 45.387	+2.848	- 9 40 10.75	+1.09		
167	$\alpha$ Ori	5 55 10.307	+3.250	+ 7 24 25.35	+0.46	Бетельгейзе	Орион
170	$\beta$ Aur	5 59 31.720	+4.403	+44 56 50.78	+0.08	Менкалинан	Возничий
171	$\theta$ Aur	5 59 43.283	+4.093	+37 12 44.69	- 0.02		
182	$\beta$ CMa	6 22 41.969	+2.644	- 17 57 21.37	- 1.96		
186	$\gamma$ Gem	6 37 42.725	+3.466	+16 23 57.43	- 3.29		
188	$\epsilon$ Gem	6 43 55.923	+3.690	+25 07 51.91	- 3.80		
190	$\alpha$ CMa	6 45 08.871	+2.643	- 16 42 57.99	-5.10	Сириус	Большой Пёс
198	$\epsilon$ CMa	6 58 37.548	+2.359	- 28 58 19.50	-5.05		
200	$\delta$ CMa	7 08 23.480	+2.441	- 26 23 35.55	-5.87		
612	$\pi$ Pup <sup>7</sup>	7 17 08.554	+2.120	- 37 05 51.08	- 6.60		
613	$\eta$ CMa	7 24 05.699	+2.375	- 29 18 11.23	- 7.16		
208	$\beta$ CMi	7 27 09.039	+3.253	+ 8 17 21.50	- 7.45		
211	$\alpha$ Gem	7 34 35.997	+3.824	+31 53 18.53	- 8.11	Кастор	Близнецы
213	$\alpha$ CMi	7 39 18.113	+3.139	+ 5 13 30.06	- 9.41	Процион	Малый Пёс
216	$\beta$ Gem	7 45 18.946	+3.666	+28 01 34.26	- 8.91	Поллукс	Близнецы

Продолжение приложения В

1	2	5	6	7	8	9	10
615	$\zeta$ Pup <sup>9</sup>	8 03 35.052	+2.110	-40 00 11.64	- 10.26		
221	$\rho$ Pup <sup>10</sup>	8 07 32.645	+2.556	- 24 18 15.45	- 10.52		
245	$\alpha$ Hya	9 27 35.247	+2.949	- 8 39 31.15	- 15.72		
253	$\varepsilon$ Leo	9 45 51.071	+3.398	+23 46 27.21	- 16.70		
261	$\alpha$ Leo	10 08 22.315	+3.191	+11 58 01.89	- 17.69	Регул	Лев
264	$\gamma'$ Leo	10 19 58.337	+3.301	+19 50 29.56	- 18.30		
278	$\alpha$ UMa	11 03 43.666	+3.668	+61 45 03.22	- 19.50	Дубхе	Большая Медведица
280	$\psi$ UMa	11 09 39.798	+3.357	+44 29 54.60	- 19.58		
281	$\delta$ Leo	11 14 06.495	+3.185	+20 31 25.30	- 19.77		
293	$\beta$ Leo	11 49 03.580	+3.058	+14 34 19.35	- 20.13	Денебола	Лев
299	$\varepsilon$ Crv	12 10 07.485	+3.093	- 22 37 11.15	- 20.01		
302	$\gamma$ Crv	12 15 48.366	+3.092	- 17 32 30.97	- 19.97		
311	$\beta$ Crv	12 34 23.238	+3.160	- 23 23 48.31	- 19.88		
318	CVnsg <sup>2</sup>	12 56 01.664	+2.800	+38 19 06.21	-19.40		
319	$\varepsilon$ Vir	13 02 10.602	+2.987	+10 57 32.88	-19.30		
643	$\gamma$ Hya	13 18 55.293	+3.271	- 23 10 17.66	-18.92		
644	$\iota$ Cen	13 20 35.822	+3.388	- 36 42 44.32	-18.91		
326	$\alpha$ Vir	13 25 11.587	+3.167	- 11 09 40.71	-18.71	Спика	Дева
336	$\eta$ Boo	13 54 41.074	+2.857	+18 23 51.72	-17.96		
650	$\theta$ Gen	14 06 40.951	+3.547	- 36 22 12.03	-17.60		
345	$\alpha$ Boo	14 15 39.677	+2.738	+19 10 56.71	-18.65	Арктур	Волопас
356	$\varepsilon$ Boo	14 44 59.220	+2.621	+27 04 27.11	-15.07		
655	$\alpha^2$ Lib <sup>2</sup>	14 50 52.713	+3.327	- 16 02 30.42	-14.81		
365	$\beta$ Lib	15 17 00.420	+3.235	- 9 22 58.54	-13.13		
373	$\alpha$ CrB	15 34 41.276	+2.542	+26 42 52.94	-11.98	Гемма	Северная Корона
660	$\gamma$ Lupm	15 35 08.449	+4.014	- 41 10 00.61	-11.90		
377	$\alpha$ Ser	15 44 16.087	+2.959	+ 6 25 32.31	-11.17		
663	$\pi$ Sco	15 58 51.120	+3.639	- 26 06 50.75	-10.16		
664	$\delta$ Sco	16 00 20.008	+3.556	- 22 37 18.04	-10.05		
389	$\beta$ Sco pr	16 05 26.233	+3.496	- 19 48 19.50	- 9.66		
392	$\delta$ Oph	16 14 20.743	+3.149	- 3 41 39.55	- 9.09		
665	$\sigma$ Sco	16 21 11.317	+3.655	- 25 35 34.17	- 8.43		
666	$\alpha$ Sco	16 29 24.439	+3.686	- 26 25 55.15	- 7.77	Антарес	Скорпион
400	$\beta$ Her	16 30 13.201	+2.581	+21 29 22.56	- 7.69		
667	$\tau$ Sco	16 35 52.960	+3.743	- 28 12 57.72	- 7.25		
404	$\zeta$ Oph	16 37 09.542	+3.309	- 10 34 01.56	- 7.09		
405	$\zeta$ Her	16 41 17.202	+2.264	- 31 36 10.62	- 6.38		
668	$\alpha$ TrA	16 48 39.869	+6.391	- 69 01 39.82	- 6.23		
669	$\varepsilon$ Sco	16 50 09.820	+3.894	- 34 17 35.72	- 6.30		
413	$\eta$ Oph	17 10 22.685	+3.445	- 15 43 29.46	- 4.24		
674	$\lambda$ Sco	17 33 36.534	+4.078	- 37 06 13.72	-2.37		
424	$\alpha$ Oph	17 34 56.076	+2.787	+12 33 36.14	-2.44		
676	$\chi$ Sco	17 42 29.276	+4.154	- 39 01 48.09	- 1.60		
427	$\beta$ Oph	17 43 28.358	+2.966	+ 4 34 02.26	- 1.31		
678	$\gamma$ Sgr	18 05 48.491	+3.855	- 30 25 26.69	+0.29		
679	$\delta$ Sgr	18 20 59.655	+3.841	- 29 49 41.33	+1.77		
680	$\varepsilon$ Sgr	18 24 10.327	+3.981	- 34 23 04.73	+1.95		
451	$\lambda$ Sgr	18 27 58.246	+3.702	- 25 25 18.15	+2.22		
453	$\alpha$ Lyr	18 36 56.332	+2.032	+38 47 01.17	+3.48	Вега	Лиры
682	$\sigma$ Sgr	18 55 15.924	+3.718	- 26 17 48.23	+4.70		
684	$\zeta$ Sgr m	19 02 36.699	+3.813	- 29 52 49.12	+5.37		
463	$\zeta$ Agl	19 05 24.611	+2.758	+13 51 48.43	+5.52		
465	$\pi$ Sgr	19 09 45.836	+3.565	- 21 01 25.06	+5.94		

## Окончание приложения В

1	2	5	6	7	8	9	10
79	$\delta$ Cyg	19 44 58.527	+1.876	+45 07 50.64	+8.89		
480	$\gamma$ Aql	19 46 15.585	+2.852	+10 36 47.77	+8.94		
482	$\alpha$ Aql	19 50 47.002	+2.927	+ 8 52 06.03	+9.68	Альтаир	Орёл
497	$\gamma$ Cyg	20 22 13.704	+2.155	+40 15 24.14	+11.64		
506	$\alpha$ Cyg	20 41 25.917	+2.047	+45 16 49.31	+12.97	Денеб	Лебедь
508	$\varepsilon$ Cyg	20 46 12.684	+2.430	+33 58 12.92	+13.61		
527	$\beta$ Agr	21 31 33.538	+3.155	- 5 34 16.25	+15.96		
532	$\varepsilon$ Peg	21 44 11.164	+2.947	+ 9 52 29.92	+16.61		
694	$\delta$ Cap	21 47 02.448	+3.306	- 16 07 38.27	+16.45		
539	$\alpha$ Agr	22 05 47.038	+3.080	- 0 19 11.47	+17.58		
558	$\eta$ Peg	22 43 00.143	+2.819	+30 13 16.52	+18.89		
702	$\alpha$ PsA	22 57 39.055	+3.306	- 29 37 20.10	+19.13	Фомальгаут	Южные Рыбы
565	$\beta$ Peg	23 03 46.464	+2.915	+28 04 58.10	+19.57		
566	$\alpha$ Peg	23 04 45.658	+2.992	+15 12 18.90	+19.41		

## Приложение Г

## Результаты наблюдения Солнца

W	Отсчет по хронометру, <i>h m s</i>	Отсчет по горизонтальному кругу, <i>° ' "</i>		$U_{\text{хр}}$	Дата
		на Солнце	на земной предмет		
1	2	3	4	5	6
1	17 45 24.0	3 06 03.9	254 14 42.3	0	21.05
2	17 52 53.5	4 30 06.4	254 14 45.1	0	21.05
3	18 15 51.5	8 40 09.1	254 14 40.3	0	21.05
4	18 21 42.5	9 43 22.2	254 14 43.7	0	21.05
5	16 03 11.0	341 46 23.0	254 34 13.5	0	24.05
6	16 10 05.0	343 31 52.5	254 34 22.5	0	24.05
7	16 23 38.0	346 50 30.6	254 34 17.8	0	24.05
8	16 30 48.0	348 31 11.4	254 34 22.0	0	24.05
9	16 55 43.5	354 02 06.9	254 34 18.1	0	24.05
10	17 03 49.5	355 43 25.6	254 34 28.3	0	24.05
11	17 28 04.5	0 34 33.6	254 34 32.6	0	24.05
12	17 35 39.0	2 02 19.5	254 34 15.1	0	24.05
13	17 48 37.0	4 29 28.9	254 34 27.2	0	24.05
14	17 52 49.0	5 16 08.4	254 34 33.1	0	24.05
15	18 01 13.5	7 17 53.8	254 34 22.2	0	24.05

## Окончание приложения Г

1	2	3	4	5	6
16	18 05 26.0	7 33 55.2	254 34 21.0	0	24.05
17	15 31 04.0	57 25 21.9	338 46 56.4	0	27.05
18	15 34 29.5	58 27 27.4	338 47 06.1	0	27.05
19	15 50 32.0	63 03 43.9	338 47 32.1	0	27.05
20	15 57 50.5	65 02 21.5	338 47 30.8	0	27.05

## Приложение Д

## Постоянная эфемерида Солнца

Дата	Видимое склонение $\delta$ , ° ' "	Часовые изменения $\nu$ , "	Величина $E$ , $h m s$	Часовые изменения $\nu'$ , $s$
1	2	3	4	5
10.05	17 33 56	39.4	12 03 37.6	+0.10
11.05	17 49 33	38.7	12 03 39.8	+0.08
12.05	18 04 52	37.9	12 03 41.4	+0.05
13.05	18 19 53	37.2	12 03 42.4	+0.03
14.05	18 34 35	36.4	12 03 42.8	+0.01
15.05	18 48 58	35.6	12 03 42.6	-0.02
16.05	19 03 03	34.8	12 03 41.8	-0.04
17.05	19 16 48	34.0	12 03 40.5	-0.07
18.05	19 30 13	33.1	12 03 38.6	-0.09
19.05	19 43 19	32.3	12 03 36.1	-0.12
20.05	19 56 04	31.5	12 03 33.0	-0.14
21.05	20 08 29	30.6	12 03 29.4	-0.16
22.05	20 20 34	29.7	12 03 25.3	-0.18
23.05	20 32 17	28.9	12 03 20.6	-0.21
24.05	20 43 39	28.0	12 03 15.4	-0.23
25.05	20 54 40	27.1	12 03 09.7	-0.25
26.05	21 05 20	26.2	12 03 03.6	-0.27
27.05	21 15 37	25.3	12 02 57.0	-0.29
28.05	21 25 32	24.3	12 02 49.9	-0.30



Приложение Е

**Поправка за начало года**

Год	k		Год	k	
	<i>h m s</i>	В долях часа		<i>h m s</i>	В долях часа
2015	-10 51 44	-10.862	2027	-11 36 44	-11.612
2016	+7 19 31	+7.326	2028	+6 34 31	+6.575
2017	+1 30 46	+1.513	2029	+0 45 46	+0.763
2018	-4 17 59	-4.300	2030	-5 02 59	-5.050
2019	-10 06 44	-10.112	2031	-10 51 44	-10.862
2020	+8 04 31	+8.075	2032	+7 19 31	+7.326
2021	+2 15 46	+2.263	2033	+1 30 46	+1.513
2022	-3 32 59	-3.550	2034	-4 17 59	-4.300
2023	-9 21 43	-9.362	2035	-10 06 44	-10.112
2024	+8 49 31	+8.825	2036	+8 04 31	+8.075
2025	+0 00 47	+0.013	2037	+2 15 46	+2.263
2026	-5 47 59	-5.800	2038	-3 32 59	-3.550

Приложение Ж

**Результаты наблюдений Полярной звезды**

<i>R</i>	Круг	Уровень	Хронометр	Вертикальный круг	$U_x$	$t^\circ, C$	$B,$ мм	$M_Z$
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	КП	8.0-33.3	19 01 08	324 52 45	+3 05	+15.0	753.5	359 58 02
		7.4-32.9	19 05 45	324 53 47				
	КЛ	8.2-33.8	19 10 55	35 00 32				
		8.0-33.3	19 16 25	34 59 39				
2	КП	12.1-29.0	17 39 43	324 36 35	+1 28	+18.0	746.6	0 00 26
		11.6-28.5	17 41 25	324 36 56				
	КЛ	8.4-25.5	17 44 16	35 23 29				
		7.8-24.8	17 45 57	35 23 38				

Продолжение приложения Ж

1	2	3	4	5	6	7	8	9
3	КП	8.3-31.9	15 45 37	324 16 45	+0 42	+12.5	745.5	359 59 00
		8.3-31.9	15 47 37	324 16 30				
	КЛ	8.6-32.1	15 53 47	35 40 17				
		8.2-31.8	15 56 08	35 39 30				
4	КП	10.2-27.5	18 01 40	324 40 29	+1 28	+18.0	746.6	0 00 26
		10.3-25.9	18 03 20	324 41 18				
	КЛ	9.0-26.4	18 05 59	35 18 52				
		9.4-27.0	18 07 27	35 18 36				
5	КЛ	8.6-33.4	16 32 50	35 33 33	+3 00	+14.7	756.0	359 58 02
		9.0-34.0	16 45 00	35 31 32				
	КП	7.0-32.2	17 03 00	324 27 26				
		6.0-31.2	17 09 25	324 28 43				
6	КЛ	8.4-25.7	17 49 58	35 22 17	+1 28	+18.0	746.6	0 00 26
		8.3-25.8	17 51 39	35 21 56				
	КП	10.6-27.9	17 54 44	324 39 31	+1 28	+18.0	746.6	0 00 26
		10.4-27.8	17 56 59	324 39 58				
7	КЛ	6.8-31.8	17 39 15	35 21 42	+3 01	+4.7	756.0	0 01 07
		6.9-31.9	17 43 43	35 20 45				
	КП	8.2-33.3	17 57 30	324 38 10				
		8.1-33.1	18 03 40	324 39 30				
8	КЛ	5.5-34.8	20 38 48	34 43 40	+0 08	+14.5	750.5	0 01 07
		5.4-34.8	20 41 29	34 42 03				
	КП	5.5-35.0	20 45 29	325 20 05				
		5.7-35.2	20 48 20	325 20 47				
9	КЛ	5.3-35.0	20 19 40	34 48 24	+0 08	+15.0	750.5	0 00 26
		5.5-34.9	20 26 09	34 46 48				
	КП	5.3-34.7	20 32 06	325 16 47				
		5.3-34.7	20 34 50	325 17 27				

## Окончание приложения Ж

1	2	3	4	5	6	7	8	9
10	КЛ	10.0-27.7	18 23 56	35 14 57	+1 28	+18.0	746.6	0 00 46
		9.7-27.5	18 26 16	35 14 27				
	КП	10.4-28.1	18 29 27	324 47 08				
		10.4-28.1	18 31 16	324 47 33				
11	КЛ	8.0-31.5	11 57 48	43 17 45	-0 17	+15.0	756.0	0 00 46
		7.5-32.0	12 00 41	43 17 55				
	КП	7.7-31.0	12 20 26	316 36 48				
		8.1-30.0	12 25 26	316 36 33				
12	КЛ	5.0-40.1	12 03 28	43 18 44	-0 17	+15.0	756.0	0 00 46
		5.5-42.3	12 04 31	43 18 33				
	КП	6.0-40.0	12 27 13	316 36 35				
		6.1-39.5	12 28 44	316 36 13				
13	КП	7.5-31.2	16 23 27	316 35 02	-0 18	+15.0	756.0	0 00 46
		7.7-31.0	16 24 49	316 35 27				
	КЛ	8.0-32.0	16 40 58	43 19 52	-0 18	+15.0	756.0	0 00 46
		8.5-31.5	16 58 43	43 18 18				
14	КП	6.7-40.2	16 26 22	316 35 30	-0 18	+15.0	756.0	0 00 54
		6.8-35.0	16 32 04	316 35 42				
	КЛ	6.8-37.0	17 01 02	43 18 11				
		6.0-35.0	17 02 07	43 18 03				
15	КП	8.2-31.5	19 35 44	317 03 46	-0 19	+15.0	756.0	0 00 46
		8.1-30.5	19 39 21	317 04 07				
	КЛ	8.0-32.0	19 48 42	42 50 56				
		8.3-33.3	19 50 31	42 50 24				
16	КП	7.5-35.0	16 24 08	316 35 15	-0 18	+15.0	756.0	0 00 54
		7.3-31.3	16 29 13	316 35 36				
	КЛ	7.5-32.5	16 49 52	43 19 05				
		7.8-32.2	17 01 35	43 18 07				

Результаты наблюдения Полярной звезды

W	Круг	Объект набл.	T	ГК	W	Круг	Объект набл.	T	ГК
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	КЛ	з.п.		20°10'41"	7	КЛ	з.п.		0 00 20
		Пол.	0 32 25.0	268 57 57			Пол.	17 25 40.0	249 28 11
	КП	Пол.	0 53 02.3	88 50 28		КП	Пол.	17 40 40.0	69 30 12
		з.п.		200 10 46			з.п.		179 59 58
2	КЛ	з.п.		20 10 42	8	КЛ	з.п.		0 00 22
		Пол.	0 36 35.0	268 56 52			Пол.	17 28 30.0	249 28 53
	КП	Пол.	0 49 50.0	88 51 45		КП	Пол.	17 38 00.0	69 30 34
		з.п.		200 10 48			з.п.		179 59 56
3	КП	з.п.		210 15 51	9	КП	з.п.		190 05 49
		Пол.	1 04 16.3	98 50 49			Пол.	23 40 41.3	79 13 21
	КЛ	Пол.	1 29 37.7	278 39 59		КЛ	Пол.	23 58 47.0	259 06 27
		з.п.		30 15 47			з.п.		10 05 43
4	КП	з.п.		210 14 52	10	КП	з.п.		190 05 48
		Пол.	1 07 36.3	98 49 27			Пол.	23 43 52.3	79 12 12
	КЛ	Пол.	1 21 35.0	278 43 20		КЛ	Пол.	23 55 11.7	259 07 47
		з.п.		30 15 45			з.п.		10 05 42
5	КЛ	з.п.		40 20 25	11	КП	з.п.		230°24'37"
		Пол.	2 29 51.3	288 18 50			Пол.	21 07 22.3	120 09 33
	КП	Пол.	2 50 22.2	108 10 23		КЛ	Пол.	21 22 45.0	300 07 15
		з.п.		220 20 29			з.п.		50 24 32
6	КЛ	з.п.		40 20 25	12	КП	з.п.		230 24 37
		Пол.	2 33 50.3	288 17 09			Пол.	21 10 09.0	120 09 14
	КП	Пол.	2 44 20.7	108 12 54		КЛ	Пол.	21 19 18.7	300 07 47
		з.п.		220 20 32			з.п.		50 24 33

## Окончание приложения И

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
13	КЛ	з.п.		60 30 39	17	КЛ	з.п.		80 40 43
		Пол.	21 36 05.0	310 11 22			Пол.	22 36 20.0	330 08 08
	КП	Пол.	21 53 24.0	130 08 22		КП	Пол.	22 52 15.0	150 03 52
		з.п.		240 30 47			з.п.		260 40 48
14	КЛ	з.п.		60 30 39	18	КЛ	з.п.		80 40 44
		Пол.	21 39 30.0	310 10 45			Пол.	22 39 05.7	330 07 20
	КП	Пол.	21 49 40.0	130 09 06		КП	Пол.	22 49 37.0	150 04 36
		з.п.		240 30 47			з.п.		260 40 52
15	КП	з.п.		250 35 26	19	КП	з.п.		270 45 24
		Пол.	22 10 20.0	140 09 20			Пол.	23 04 51.0	160 04 40
	КЛ	Пол.	22 26 16.3	320 05 16		КЛ	Пол.	23 19 55.0	339 59 41
		з.п.		70 35 20			з.п.		90 45 38
16	КП	з.п.		250 35 25	20	КП	з.п.		270 45 25
		Пол.	22 13 01.0	140 09 44			Пол.	23 07 34.0	160 03 51
	КЛ	Пол.	22 23 31.0	320 05 57		КЛ	Пол.	23 16 42.3	340 00 42
		з.п.		70 35 18			з.п.		90 45 15