КЛАССИЧЕСКАЯ МОРЕХОДНАЯ АСТРОНОМИЯ

Небесная сфера и сферические координаты светил

Горизонтальная система координат

Первая система экваториальных координат

Вторая система экваториальных координат

Параллактический треугольник и преобразование сферических координат

Координаты Солнца

Звездное небо

Основные созвездия и названия звезд

Как найти основные звезды

Астрономические наблюдения

Суточная программа астрономических наблюдений

Порядок выполнения астрономических определений

Проверка секстана перед наблюдением

Порядок решения некоторых астрономических задач

Основные соотношения и формулы

Определение широты по высоте Полярной звезды

Определение широты по меридиональной высоте Солнца

Определение долготы по высоте светила на первом вертикале (A = 90°)

Определение поправки компаса

НЕБЕСНАЯ СФЕРА И СФЕРИЧЕСКИЕ КООРДИНАТЫ СВЕТИЛ

Небесной сферой называют вспомогательную сферу, построенную произвольным радиусом, на которую спроектированы светила. За центр сферы обычно принимают точку О, соответствующую глазу наблюдателя. На рис. 1. изображена небесная сфера для наблюдателя, расположенного в некоторой точке земной поверхности в северной широте f. Отвесная линия, проходящая через центр и совпадающая с направлением силы тяжести, пересекает небесную сферу в точках *зенита "г"* и *надира "n"*. Плоскость, перпендикулярная отвесной линии и проходящая через центр сферы, называется плоскостью *истинного горизонта,* которая при пересечении с небесной сферой образует большой круг *NESW*.

Линия *PnPs*, параллельная оси вращения Земли, называется *осью мира,* а точки ее пересечения с небесной сферой *полюсами мира:* северным P_N и южным P_S. Полюс, расположенный в надгоризонтной части сферы, называется повышенным, а в подгоризонтной — пониженным. Наименование повышенного полюса всегда одноименно с наименованием широты наблюдателя. Большой круг QEQ'W, плоскость которого перпендикулярна оси мира и проходит через центр сферы, называется *небесным экватором.*

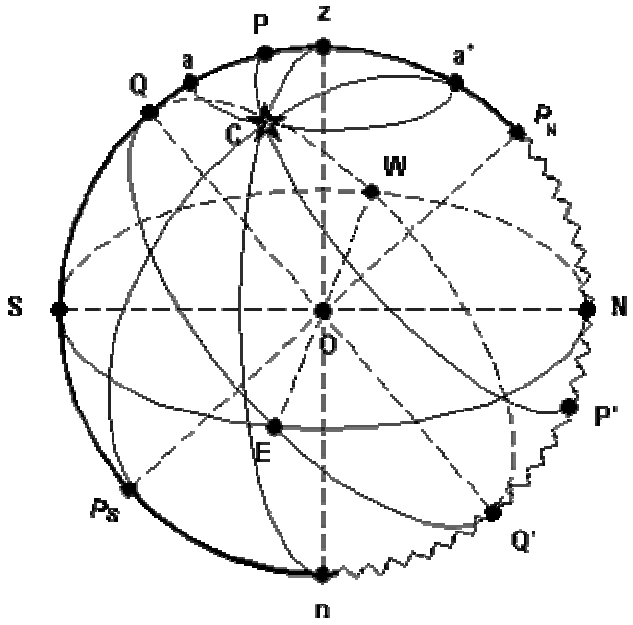


Рис. 6.1. Основные круги и точки на небесной сфере

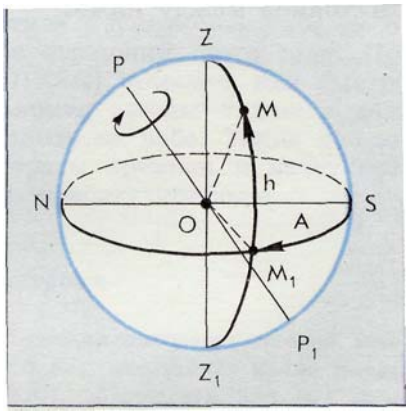
Большой круг $P_N nP_S Z$ называется *меридианом наблюдателя.* Ось мира делит его на полуденную $P_N zP_S$ и полуночную $P_N nP_S$части. Большие круги $P_N CP_S$, плоскости которых проходят через полюсы мира, называют *небесными меридианами,* или *кругами склонений.* Большие круги *гСп,* плоскости которых проходят через отвесную линию (точки зенита и надира), называют *вертикалами,* или *кругами высоты.* Вертикал, проходящий через точки E и W, называется *первым вертикалом.* Малые круги*PCP',* плоскости которых параллельны плоскости небесного экватора, называются *небесными параллелями.* Малые круги *aCa',* плоскости которых параллельны плоскости истинного горизонта, называются *альмукантаратами.* Плоскость экватора наклонна к плоскости горизонта под углом 90° — f. Ось мира составляет с плоскостью истинного горизонта угол, равный географической широте f места наблюдателя.

Горизонтальная система координат

Азимут светила A — сферический угол при зените или дуга истинного горизонта между меридианом наблюдателя и вертикалом светила.

Применяются три системы счета азимута. При полукруговом (практическом) счете за точку начала отсчета в северном полушарии принимают точку N, а в южном — точку S, т. е. точка начала отсчета полукругового азимута всегда одноименна с наименованием

широты места наблюдателя. Азимуты ограничиваются пределом в 180°. При четвертном счете азимуты отсчитываются от точек N и S в сторону E и W от 0 до 90°. При круговом (навигационном) счете азимут отсчитывается в любой широте от точки N в сторону E от 0 до 360°.

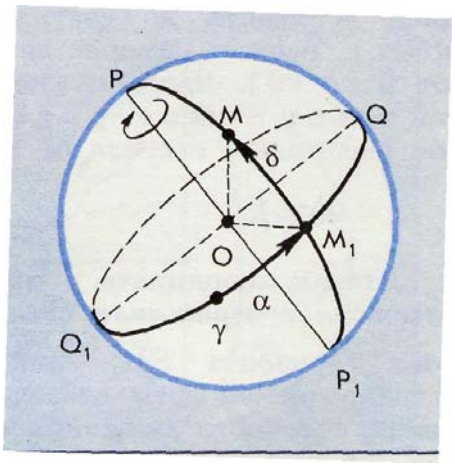


Высота светила h — угол при центре небесной сферы или дуга круга высоты (вертикала) между истинным горизонтом и центром светила. Высота отсчитывается от 0 до + 90° к зениту и от 0 до — 90° к надиру. Отрицательная высота называется *снижением светила.* Дополнение высоты до 90°, т. е. дуга между зенитом и светилом, называется *зенитным расстоянием z.* Зенитное расстояние отсчитывается от зенита и изменяется от 0 до 180°.

Если светило находится на меридиане наблюдателя, то его высоту называют *меридиональной высотой H,* а зенитное расстояние — *меридиональным зенитным расстоянием Z.* $z + h = 90°$; $Z + H = 90°$; $z = 90° - A$; $Z = 90° - H$.

Первая система экваториальных координат

Часовой угол светила t — сферический угол при полюсе мира или дуга экватора между меридианами наблюдателя и светила.



Применяют две системы счета часовых углов: обыкновенный, или вестовый,— часовой угол отсчитывается от полуденной части меридиана наблюдателя всегда в сторону W от 0 до 360°; практический — часовой угол отсчитывают от полуденной части меридиана наблюдателя в сторону точек E или W от 0 до 180°. Вестовый часовой угол, если он превышает 180°, может быть переведен в практический остовый: $t_E = 360° — t_w$.

Склонение светила d — угол при центре сферы между плоскостью небесного экватора и направлением на светило или дуга круга склонения (меридиана светила) от экватора до центра светила. Склонение измеряется от 0 до ±90°, ему приписывают наименование N, если светило находится в северной половине сферы, и наименование S,— если в южной. Склонение считают положительным, если оно одноименно с широтой, и отрицательным, если оно разноименно с широтой.

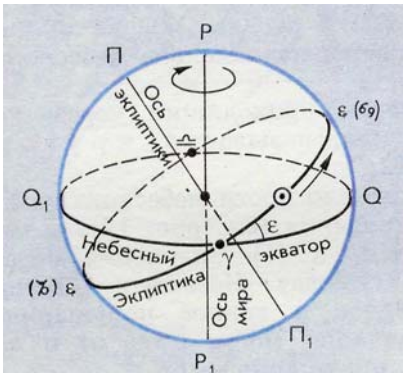
Вместо склонения иногда применяют его дополнение до 90°, т. е. дугу круга склонения от Северного полюса мира до светила, которая называется *полярным расстоянием* D. Полярное расстояние изменяется от 0 до 180°.

$$d + D = 90°$$

Вторая система экваториальных координат

Одной координатой в этой системе является, как и в первой, склонение светила 6, а в другой — *прямое восхождение a* — сферический угол при полюсе мира. a измеряется дугой небесного экватора от точки весеннего равноденствия (точка Овна g) в сторону, обратную вращению небесной сферы, до меридиана светила, т. е. в сторону движения Солнца по эклиптике.

Точка Овна находится на пересечении эклиптики с небесным экватором. В этой точке Солнце находится ежегодно 21 марта.



Эклиптика — плоскость, в которой движется Земля вокруг Солнца или большой круг небесной сферы (наклоненный к небесному экватору под углом 23°27"), по которому перемещается центр Солнца в его видимом годовом движении, отражающем движение Земли по ее орбите.

Величина, дополняющая прямое восхождение до 360°, называется *звездным дополнением* t*,

$$t^* = 360° - a.$$

Экваториальные координаты светил можно выбрать на любой момент из Морского Астрономического Ежегодника (МАЕ).

Параллактический треугольник и преобразование сферических координат

Сферический треугольник на небесной сфере, образованный пересечением меридиана наблюдателя, вертикала и меридиана светила, называется *параллактическим,* или *полярным, треугольником* светила. В зависимости от наименования широты места наблюдателя за постоянную вершину треугольника принимают повышенный Северный или Южный полюс мира (см. рис. 1).

Таблица 1. Основные соотношения между элементами параллактического треугольника

Величины		Расчетная формула	Определяемая величина и ее применение
данные	иском.		
f,d,t	*h*	sin *h* = sinf sind + cos f cosd cos *t*	Счислимая высота в способе высотных линий
f,d, *t*	*A*	ctg A = cos f tg dcosec *t*— sin f ctg *t*	Поправка компаса для нахождения ИП светила
f,d, A	*t*	Из предыдущей формулы при A = 90° cost = ctgf + tgd	Часовой угол светила, находящегося на первом вертикале
f,d, *h*	*t*	cos *t* = sec f secd sin *h* — tgf+ tg d	Местный часовой угол
f,d, *h*	*t*	Из предыдущей формулы при *h = 0* cos *t* = tgf+ tg d	Время истинного восхода и захода светил
f, *h, A*	d	sind = sinf sin *h* + cosf *cos h* cos*A*	Склонение светила
h, f	*A*	Из предыдущей формулы при *h* = 0 cos*A* = sin d sec f	Азимут восхода или захода светил
A, f	*h*	Из той же формулы при A= 90° sin*h* = sin d cosec f	Высота светила на первом вертикале
h, d,a	f	sin f = sin *h* sin d + cos *h cos* d cos a	Широта места судна
h, d, *t*	A	sin A = cos d sin *t* sec *h*	Азимут в способе высотных линий и при определении поправки компаса по Полярной звезде

Таблица 2. Определение знаков и значений координат

Координаты	Знаки координат и их значения	Знаки тригонометрических функции
Широта f (N или S)	Всегда ″+” меньше 90°	Все функции “+ ”
	Одноименно с f "+”	Все функции “+ ”
Склонение d (N или S)	Разноименно с f (в IV четверти) “—”	cos и sec "+", остальные “— ”
	Меньше 90°	
Высота *h*	Над горизонтом “+ ”	Все функции “+”
	Под горизонтом (в IV четверти) “— ”	cos и sec "+”, остальные “— ”
	Меньше 90°	
Азимут А, см. также табл.3.	Меньше 90° (в 1 четверти)	Все функции "+ ”
	Больше 90° (во 11 четверти)	sin и cosec “+” , остальные *— ”
	Если правая часть формулы с минусом, то А больше 90°. Первая буква наименования по f, вторая — по *t*	
Часовой угол *t* (практический)	Меньше 90° (в I четверти)	Все функции "+ ”
	Больше 90° (во II четверти)	sin и cosec “+”, остальные “—”
	Если правая часть формулы с минусом, то *t* больше 90°. Наименования по второй букве азимута или по указаниям к таблицам, применяемым при вычислениях	

Таблица 3. Наименование азимута четвертого счета при вычислении по sin A

Наименование d	Значение		1-я буква азимута	2-я буква азимута
	d	h_c		
Разноименно с широтой	Не имеют значения		Разноименна с широтой	Всегда одного наименования с часовым углом (практическим)
Одноименно с широтой	d < f	$h_c > h_1$	То же	
То же	d < f	$h_c < h_1$	Одноименна с широтой	
”	d > f	Не имеет значения	То же	

Примечание: h_1 — высота светила на первом вертикале по данным табл. 21 Мореходных таблиц МТ—75.

Координаты Солнца

Таблица 4. Экваториальные координаты Солнца

День	Дата	Склонение d®, град	Прямое восхождение a®. град.
Весеннего равноденствия	21.03	0	0
Летнего солнцестояния	22.06	23,5N	90
Осеннего равноденствия	23.09	0	180
Зимнего солнцестояния	22.12	23,5S	270

Суточное изменение склонения Солнца $d_®$ в течение месяца до и после дней весеннего и осеннего равноденствия равно 0,4°, в течение месяца до и после дней летнего и зимнего солнцестояний — 0,1°, в течение второго месяца после дней 21.03, 22.06, 23.09, и 22.12— 0,3°.

Суточное изменение прямого восхождения Солнца $a_®$ в течение всего года 1°.

Точные значения координат на любой момент выбирают из Морского астрономического ежегодника (МАЕ).

С помощью приведенных данных можно найти приближенную меридиональную высоту $H_®$ Солнца на данную дату в широте судна. Для этого рассчитываем на заданную дату $d_®$, затем находим

$$Z_® \sim f — d_® \quad \text{и} \quad H_® = 90° — Z_®.$$

Например, 25 декабря $d_®$ = 23,2° S. В широте (f = 45,5° N; $Z_®$ = 45,5° — (— 23,2°) = 68,7°; $H_®$ = 21,3°.

Легко найти и даты начала и конца полярного дня и ночи. Приближенно условием начала и конца полярного дня принимают $d_®$ = 90° — (f + 1°) при $d_®$ одноименном с f, а условием начала и конца полярной ночи $f_®$ = 90°— (f—1°), при $f_®$ разноименном с f.

Изменение f на 1° приближенно учитывает полудиаметр Солнца и астрономическую рефракцию.

Например, в широте 75°N полярный день наступит и закончится при $d_®$ == 14° N, т. е. соответственно 1 мая и 13 августа, а полярная ночь будет длиться с 7 ноября до 5 февраля.

ЗВЕЗДНОЕ НЕБО

Основные созвездия и названия звезд

Таблица 5. **Созвездия**

Латинское название	Обозначение	Русское название	Латинское название	Обозначение	Русское название
Andromeda	And	Андромеда	Hydrus	Hyi	Южная Гидра
Aquila	Aql	Орел	Leo	Leo	Лев
Ara	Ara	Жертвенник	Lepus	Lep	Заяц
Aries	Ari	Овен	Libra	Lib	Весы
Auriga	Aur	Возничий	Lupus	Lup	Волк

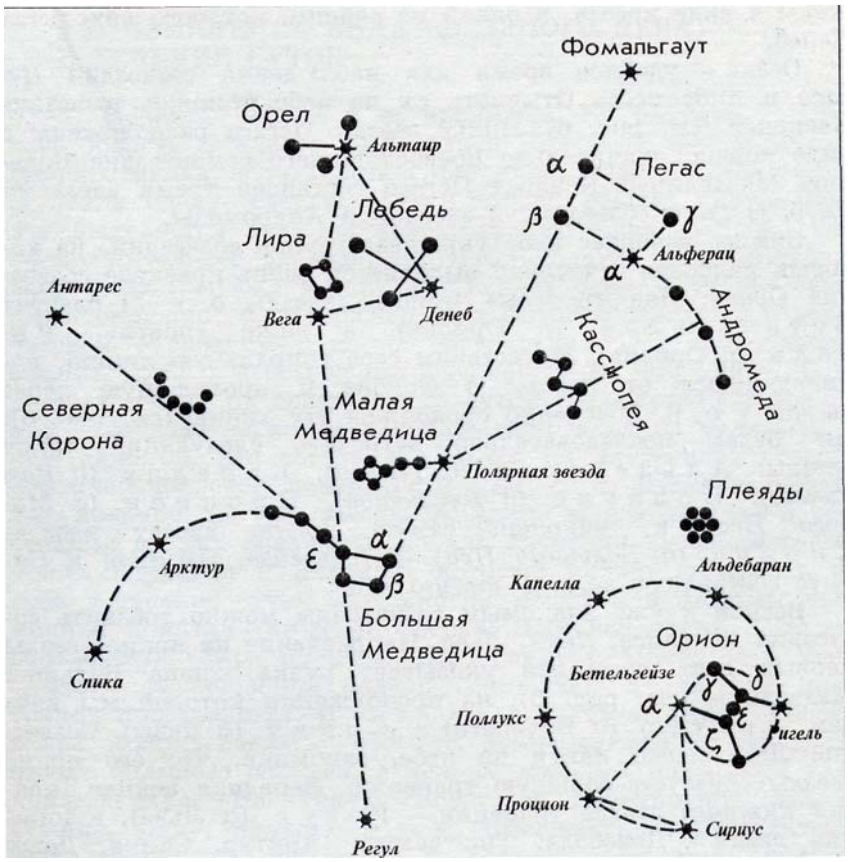
Bootes	Boo	Волопас	Lyra	Lyr	Лира
Canes Vena-tici	CVn	Гончие Псы	Musca	Mus	Муха
Canis Major	CMa	Большой Пес	Ophiuchuc	Oph	Змееносец
Canis Minor	CMi	Малый Пес	Orion	Ori	Орион
Capricorn us	Cap	Козерог	Pavo	Pav	Павлин
Carina	Car	Киль (Арго)	Pegasus	Peg	Пегас
Cassiopeia	Cas	Кассиопея	Perseus	Per	Персей
Centaurus	Cen	Центавр	Phoenix	Phe	Феникс
Cepheus	Cep	Цефей	Piscis Aus-trihus	PsA	Южная Рыба
Cetus	Cet	Кит	Puppis	Pup	Корма (Арго)
Columba	Col	Голубь	Sagittarius	Sgr	Стрелец
Corona Bo-realis	CrB	Северная Корона	Scorpius	Scr	Скорпион
Corvus	Crv	Ворон	Sepens	Ser	Змея
Crux	Cru	Южный Крест	Taurus	Tau	Телец
Cygnus	Cyg	Лебедь	Telescopium	Tel	Телескоп
Draco	Dra	Дракон	Triangulum Australe	TrA	Южный Треугольник
Eridanus	Eri	Эридан	Tucana	Tuc	Тукан
Gemini	Gem	Близнецы	Ursa Major	UMa	Большая Медведица
Grus	Gru	Журавль	Ursa Minor	UMi	Малая Медведица
Hercules	Her	Геркулес	Vela	Vel	Паруса (Арго)
Hydra	Hya	Гидра	Virgo	Vir	Дева

Таблица 6. Название звезд в созвездиях

№ по таблице видимых мест МАЕ	Полное название		Обозначение в созвездии
	русское	латинское	
87	Ал йот	Alioth	e Б. Медведицы
68	Альгиеба	Algeiba	g' Льва
3	Альгениб	Algenib	g Пегаса
19	Альголь	Algol	b Персея
24	Альдебаран	Aldebaran	a Тельца
151	Альдерамин	Alderamin	a Цефея
15	Аламак	Almak	g Андромеды
146	Альтаир	Altair	a Орла
111	Альфакка	Alphacca	a Сев. Короны
65	Альфард	Alphard	a Гидры
1	Альферас	Alpheratz	a Андромеды
21	Альциона	Alcyone	h Тельца

117	Антарес	Antares	a Скорпиона
99	Арктур	Arcturus	a Волопаса
11	Ахернар	Achernar	a Эридана
29	Беллятрикс	Bellatrix	g Ориона
94	Бенетнаш	Benetnasch	h Б. Медведицы
40	Бетельгейзе	Betelgeuse	a Ориона
139	Вега	Vega	a Лиры
149	Денеб	Deneb	a Лебедя
74	Денебола	Denebola	b Льва
72	Дубхе	Dubhe	a Б. Медведицы
44	Канопус	Canopus	a Арго
28	Капелла	Capella	a Возничего
54	Кастор	Castor	a Близнецов
2	Кафф	Caph	b Кассиопеи
106	Кохаб	Koch ab	b М. Медведицы
88	Кор Кароли	Cor Caroli	a Гончих Псов
159	Маркаб	Markab	a Пегаса
41	Менкалинан	Menkalinan	b Возничего
18	Менкар	Menkar	a Кита
71	Мерак	Merak	b Б. Медведицы
91	Мицар	Mizar	x Б. Медведицы
9	Мирах	Mirach	b Андромеды
43	Мирзам	Mirsam	b Большого Пса
20	Мирфак	Mirfak	a Персея
30	Нат	Nath	b Тельца
56	Поллукс	Pollux	b Близнецов
—	Полярная	Polaris	a М. Медведицы
55	Процион	Procyon	a Малого Пса
67	Регул	Regulus	a Льва
102	Ригил-Кент	Rigil Kent	a Центавра
27	Ригель	Rigel	b Ориона
158	Сеат	Scheat	b Пегаса
46	Сириус	Sirius	a Большого Пса
92	Спика	Spica	a Девы
75	Фекда	Phecda	g Б. Медведицы
157	Фомальхаут	Fomalhaut	a Южной Рыбы
97	Хадар	Hadar	b Центавра
16	Хамаль	Hamal	a Овна
6	Шедар	Schedar	a Кассиопеи
13	Шератан	Scheratan	b Овна

Как найти основные звезды



При изучении звездного неба пользуются звездными картами, составленными в определенных картографических проекциях, поэтому при сопоставлении звездного неба с картой необходимо учитывать искажения изображении в этих проекциях.

Все звезды в зависимости от видимого блеска делятся на классы, называемые звездными величинами. Этот термин, конечно, не относится к действительному размеру звезд.

Невооруженным глазом видны звезды 6-й величины. Более яркие светила имеют нулевую и отрицательные звездные величины. Например, Солнце светит, как звезда минус 27-й величины, полная Луна — минус 12-й величины, Венера — минус 4-й величины.

Самая яркая звезда Сириус имеет звездную величину минус 1,6; Канопус—минус 0,9; Бега—плюс 0,1; Капелла — плюс 0,2; Ригель — плюс 0,3; Арктур — плюс 0,2; Процион — плюс 0,5; Ахернар — плюс 0,6; а Центавра—плюс 0,1; Альтаир—плюс 0,9; Р Центавра — плюс 0,9; Полярная — плюс 2,1.

Самым известным созвездием северного полушария является созвездие Большая Медведица, состоящее из семи основных звезд приблизительно одной звездной величины. Они достаточно ярки, чтобы быть использованными для астрономических наблюдений и через них легче всего отыскать другие навигационные звезды.

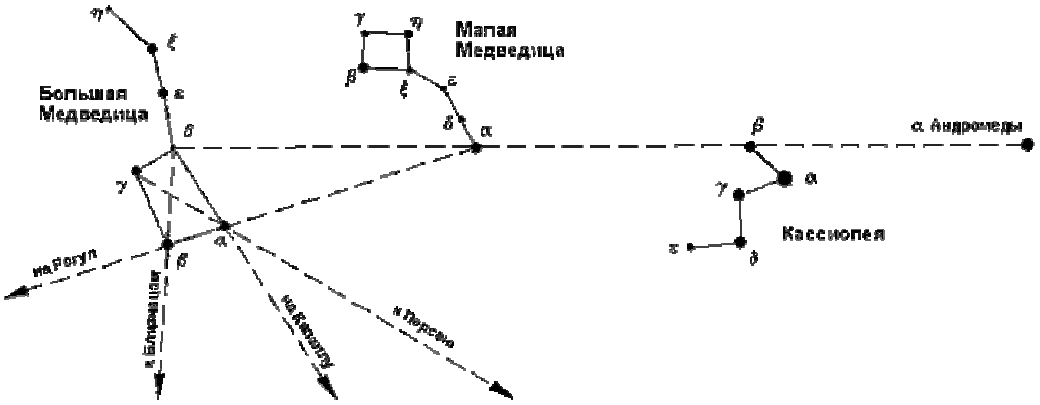


Рис. 2. Схема расположения звезд созвездий
Болшая и Малая Медведицы

Продлив линию, соединяющую звезды b и a Большой Медведицы, за a примерно на 5 расстояний между ними,получим место нахождения Полярной звезды (a Малой Медведицы). Рядом с ней находится северный полюс мира. Высота Полярной звезды над горизонтом равна приблизительно широте места наблюдателя.

Созвездие Кассиопея легко узнается на звездном небе по характерной форме расположения входящих в него звезд, напоминающей букву *W*. Созвездие находится на таком же расстоянии от Полярной звезды, как и Большая Медведица, только в прямо противоположной стороне (рис. 2).

Продолжив линию от Полярной звезды через b Кассиопеи на расстояние между ними, найдем звезду Альферас (a Андромеды). Она является как бы соединительным звеном между созвездиями Андромеда и Пегас, так как образует четвертый угол большого квадрата со звездами созвездия Пегас (рис. 3). Если продолжить диагональ a Пегаса — a Андромеды на расстояние, равное стороне этого квадрата, найдем звезду Мирах (b Андромеды) и дальше на продолжении диагонали звезду Аламак (g Андромеды).

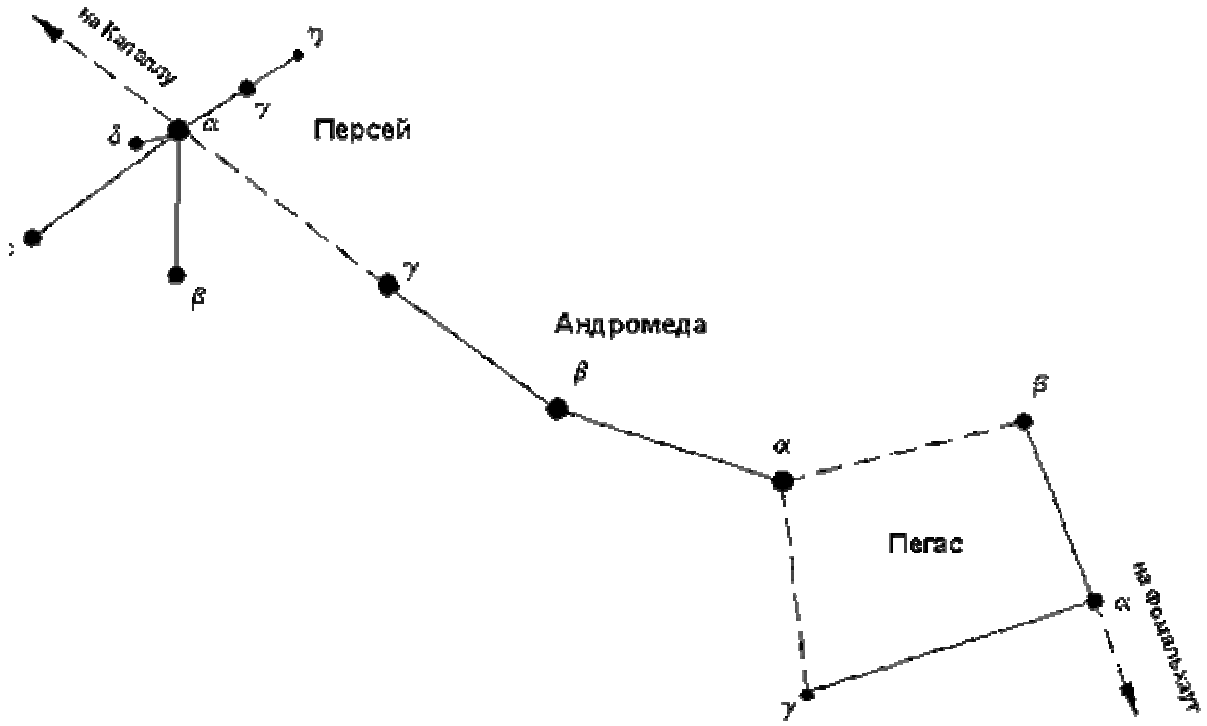


Рис. 3. Схема расположения звезд созвездий Пегас и Персей.

Если продолжить диагональ большого квадрата a Пегаса — a Андромеды еще дальше, приблизительно на 2 расстояния между этими звездами, то найдем звезду Мирфак (a Персея). Созвездие Персей можно также найти, продолжив линию звезд g — a Большой Медведицы на 5,5 расстояний между ними (см. рис. 2).

Продолжив линию, соединяющую звезды d и a Большой Медведицы, за звезду a приблизительно на 5 расстояний между ними, найдем звезду Капелла (a Возничего), которая лежит на пересечении этой линии с продолжением линии созвездия Андромеды — a Персея.

Продолжив дугу, образованную изогнутой ручкой ковша Большой Медведицы, на длину ручки (рис. 6.4), найдем звезду Арктур (a Волопаса), по блеску равную Капелле. Продолжая эту дугу дальше в том же направ лении, находим звезду Спика (a Девы) со звездной величиной плюс 1,2.

Следуя по линии от g Большой Медведицы через конец ручки ковша (h Большой Медведицы), встретим созвездие Северная Корона, состоящее из семи довольно слабых звезд, образующих полукруг, обращенный выпуклостью к Арктуру. Среднюю и наиболее яркую звезду Альфакка (a Северной Короны) называют Жемчужиной Короны.

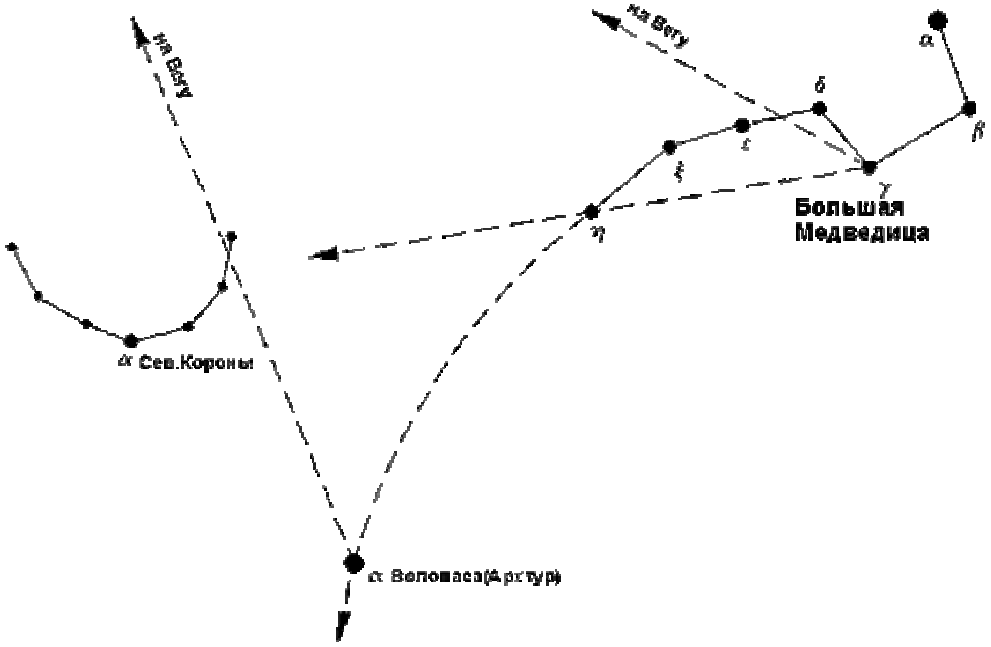


Рис. 4. Схема расположения звезд созвездий Большая Медведица и Северная Корона.

Если провести линию от Арктура до Северной Короны, а затем продолжить ее приблизительно на 1,5 расстояния, то найдем звезду Вега (a Лиры) — одну из наиболее ярких звезд. Звезду Вега можно также найти, проведя линию от звезды у Большой Медведицы между звездами d и e этого же созвездия.

К югу от созвездия Лира находится созвездие Орел. В нем на одной линии находятся три яркие звезды, средняя из которых Альтаир.

На середине линии, соединяющей Альтаир и Полярную, находится звезда Денеб (a Лебедя).

На продолжении линии, соединяющей звезды d и a Большой Медведицы и созвездие Капелла, лежит звезда Альдебаран (a Тельца). Эту звезду можно найти также, проведя линию от Полярной звезды между звездами Капелла и a Персея. Альдебаран будет первой приметной звездой на этой линии. Звездная величина Альдебарана плюс 1,1.

На продолжении линии звезд d и b Большой Медведицы, отложив четыре расстояния между ними, найдем звезды Кастор и Поллукс (a и b Близнецов). Звездные величины их

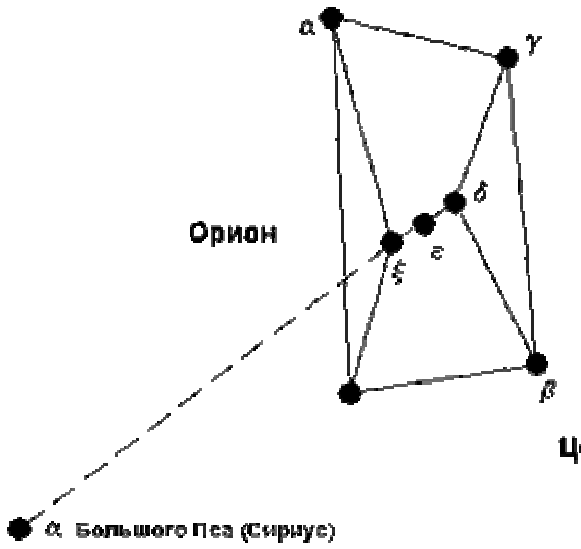
соответственно плюс 2,0 и плюс 1,2.

Звезды Кастор и Альдебаран образуют с Капеллой равнобедренный треугольник, в котором Капелла является вершиной.

На продолжении линии звезд a — b Большой Медведицы в сторону, противоположную Полярной звезде, на расстоянии приблизительно равном двум длинам созвездия Большая Медведица найдем звезды Регул (a Льва) и Денебола (b Льва). Регул заметно ярче Денеболы, их звездные величины соответственно плюс 1,2 и плюс 2,2.

Продолжив линию звезд d — b Большой Медведицы за созвездие Близнецы, найдем самую яркую звезду Сириус (a Большого Пса). Примерно на равном расстоянии между Сириусом и Поллуксом находится звезда Процион (a Малого Пса).

Созвездие Орион из-за своей характерной формы хорошо знакомо каждому моряку. Четыре яркие звезды созвездия, в том числе Бетельгейзе и Ригель, образуют четырехугольник, а еще три яркие звезды x, e и d в центре четырехугольника образуют так называемый пояс Ооиона (Рис.5).



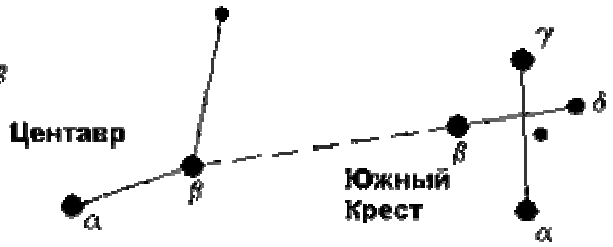


Рис. 5. Схема расположения звезд созвездия Орион и звезды Сириус

Рис. 6. Схема расположения звезд созвездий Южный Крест и Центавр

Созвездие Орион может служить дополнительным ориентиром для отыскания звезды Капелла, которая находится посредине между этим созвездием и Полярной звездой.

Если продолжить линию пояса Ориона влево на расстояние равное диагонали Бетельгейзе — Ригель, то вновь найдем звезду Сириус.

Продолжив линию от Проциона к Сириусу на расстояние между ними, найдем звезду a Голубя (звездная величина плюс 2,7). Если теперь проведем линию от звезды Ригель через звезду a созвездия Голубя и продолжим ее дальше на половину расстояния между ними, найдем звезду Канопус (a Арго) со звездной величиной плюс 1,0.

Продолжив сторону большого квадрата b — a созвездия Пегас за звезду a на три расстояния между b и a Пегаса, найдем звезду Фомальхаут (a созвездия Южной Рыбы).

Одним из самых отличительных созвездий южного неба является Южный Крест, а самой яркой звездой этого созвездия звезда Акрукс a со звездной величиной плюс 1. Самая северная звезда Южного Креста g имеет звездную величину плюс 1,5.

На продолжении линии звезд d — b созвездия Южного Креста находится пара звезд b и a созвездия Центавр (рис. 6.6).

Одна из наиболее ярких звезд Ахернар (a Эридана) находится на середине отрезка прямой, соединяющей звезды Фомальхаут и Канопус.

АСТРОНОМИЧЕСКИЕ НАБЛЮДЕНИЯ

Суточная программа, астрономических наблюдений

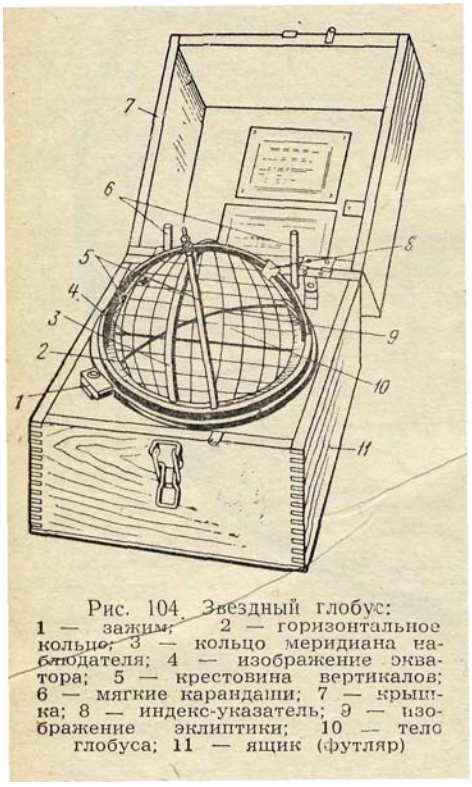


Рис. 104. Звездный глобус: 1 — зажим; 2 — горизонтальное кольцо; 3 — кольцо меридиана наблюдателя; 4 — изображение экватора; 5 — крестовина вертикалов; 6 — мягкие карандаши; 7 — крышка; 8 — индекс-указатель; 9 — изображение эклиптики; 10 — тело глобуса; 11 — ящик (футляр)

Н о ч ь. На каждой вахте и на каждом новом курсе определяют общие поправки компасов. Рассчитывают судовое время начала утренних навигационных сумерек и время восхода Солнца.

У т р е н н и е с у м е р к и. Выполняют обсервацию по одновременным наблюдениям нескольких светил.

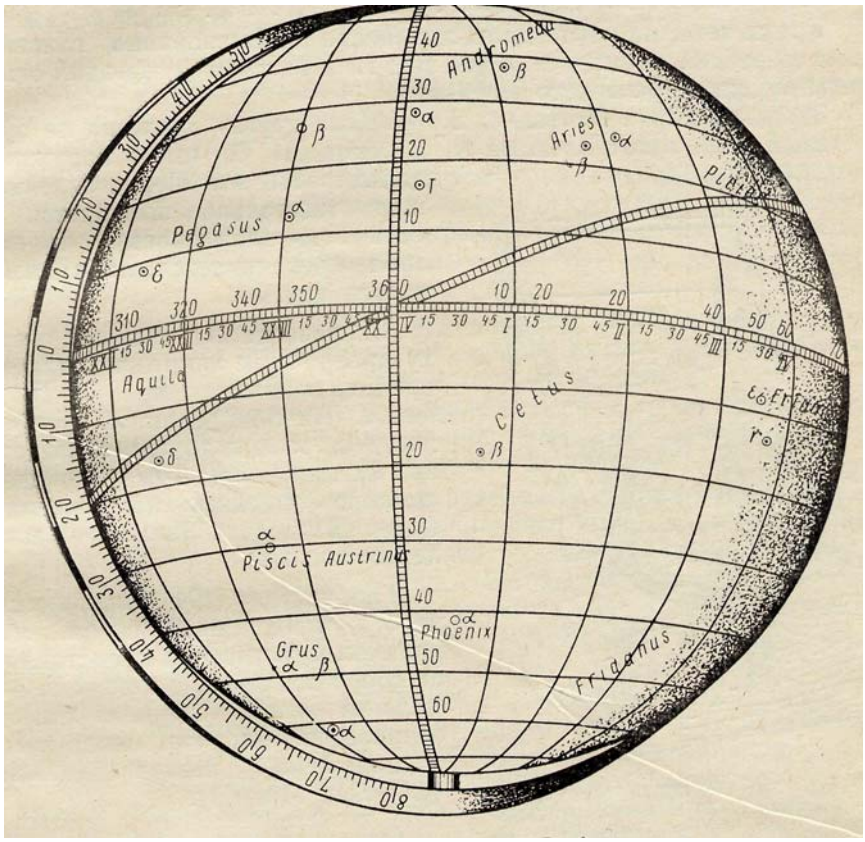
У т р о. На каждой вахте и на каждом новом курсе определяют общие поправки компасов по Солнцу. Возможна обсервация по одновременным наблюдениям Луны и Солнца, если фаза Луны — последняя четверть.

Д е н ь. Выполняют обсервацию по разновременным наблюдениям Солнца.

В е ч е р. На каждой вахте и на каждом новом курсе определяют общие поправки компасов по Солнцу. Рассчитывают судовое время захода Солнца. Возможна обсервация по одновременным наблюдениям Луны и Солнца, если фаза Луны — первая четверть.

В е ч е р н и е с у м е р к и. Выполняют обсервацию по одновременным наблюдениям нескольких светил.

Порядок выполнения астрономических определений



1. Планирование наблюдений, подбор светил и предварительный расчет судового времени выхода на наблюдения.
2. Выверка приборов, определение поправки *i* индекса секстана, проверка хода хронометра и секундомеров.
3. Определение высоты глаза наблюдателя.
4. Измерение высот или пеленгов светил с фиксированием отсчетов хронометра и лага.
5. Снятие с карты счислимых координат.
6. Определение приближенного значения всемирного времени и его

даты; расчет точных моментов всемирного времени для каждого наблюдения; расчет судового времени для вычисляемой точки.

7. Выборка из МАЕ склонений и местных часовых | углов светил на момент наблюдения.

8. Вычисление счислимых значений высот и азимутов светил.

9. Исправление отсчетов секстана — получение обсервованных высот светил.

10. Расчет элементов линий положения, выполнение графических построений, включая приведение к одному зениту, снятие обсервованных координат.

11. Анализ результатов определения.

Проверка секстана перед наблюдением

Инструментальные поправки секстана s (погрешности изготовления) приводятся в его формуляре. Значения инструментальных поправок изменяются с течением времени, поэтому секстаны следует раз в три года сдавать для переаттестации в навигационную камеру.

Проверка положения трубы (не реже чем раз в 3 мес). Секстан с установленной на нем отфокусированной трубой ставят на неподвижное основание. У концов лимба располагают диоптры и визируют по их верхним срезам какой-нибудь удаленный предмет. Труба установлена правильно (ось трубы параллельна плоскости лимба), если визируемая часть предмета окажется в центре поля зрения трубы. При необходимости положение трубы регулируют с помощью винтов на ее соединительном кольце.

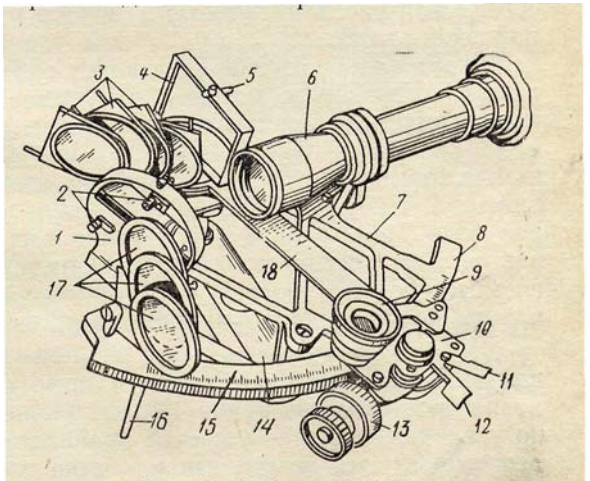


Рис. 70. Секстан СНО-М:
1 — малое зеркало; 2 — регулировочные винты малого зеркала; 3 — светофильтры большого зеркала; 4 — большое зеркало; 5 — регулировочный винт большого зеркала; 6 — астрономическая труба; 7 — рама; 8 — лимб; 9 — лупа-осветитель; 10 — стопорное устройство; 11 — неподвижная ручка; 12 — подвижная ручка; 13 — отсчетное устройство; 14 — рукоятка; 15 — зубчатая рейка; 16 — ножка; 17 — светофильтры малого зеркала; 18 — алидада

Проверка перпендикулярности большого зеркала к плоскости лимба, секстан без трубы. Для этого секстан устанавливают на горизонтальное основание, алидаду подводят на отсчет около 35°, а на лимб у его концов помещают диоптры. Наблюдая через большое зеркало правый диоптр, смещают его по лимбу так, чтобы он был виден в правой стороне зеркала, при левом диоптре, видимом у края правой стороны зеркала. Если верхние срезы диоптров не окажутся на одном уровне, регулируют положение большого зеркала, поворачивая имеющийся на нем винт с помощью ключика из комплекта секстана.

Проверка перпендикулярности малого зеркала к плоскости лимба выполняется после проверки и правильной установки большого зеркала. Секстан вооружают трубой, устанавливают отсчет секстана (ОС) на 0° и наблюдают светило. Если дважды отраженное изображение светила при вращении отсчетного барабана проходит точно (перекрывая прямовидное изображение), малое зеркало установлено правильно. Если изображения точно не совмещаются, проводят регулировку малого зеркала с помощью винта малого зеркала (верхнего, когда секстан стоит).

Для уменьшения поправки индекса *i* секстана устанавливают ОС на *0°00,0′*. Наводят трубу секстана на горизонт (или на светило) и, не изменяя ОС, совмещают оба изображения горизонта (или светила) вращением винта малого зеркала (нижнего, когда секстан стоит). После этого проверяют перпендикулярность малого зеркала к плоскости лимба, а затем определяют уменьшенную поправку индекса.

ПОРЯДОК РЕШЕНИЯ НЕКОТОРЫХ АСТРОНОМИЧЕСКИХ ЗАДАЧ

Основные соотношения и формулы

При решении различных задач мореходной астрономии используются следующие основные соотношения и формулы.

Для определения даты на меридиане Гринвича и приближенного всемирного времени $T_{гр}$ к судовому времени Tc прибавляют западный (или отнимают восточный) номер часового пояса: $T_{гр} = T_c + №_W$, $T_{гр} = T_c — №_E$.

Для определения всемирного времени $T_{гр}$ показания хронометра $T_{хр}$ исправляют его поправкой $u_{хр}$ (и прибавляют 12 ч, если это необходимо): $T_{гр} = T_{хр} + u_{хр} + (12ч)$.

При определении местного часового угла $t_м$ к гринвичскому часовому углу $t_{гр}$ прибавляют восточную (или отнимают западную) долготу l: $t_м = t_{гр} + l_W$, $t_м = t_{гр} — l_E$.

Определяя местный часовой угол звезды $t_м^*$, к местному часовому углу точки Овна $t_м^в$ прибавляют звездное дополнение t*: $t_м^* = t_м^в + t^*$.

Исправление высот светил:

для получения измеренной высоты светила h' отсчет навигационного секстана ОС исправляют поправкой индекса i и инструментальной поправкой s:

$$h' = ОС + i + s.$$

Для получения видимой высоты светила $h_в$ высоту h' светила исправляют поправкой за наклонение видимого горизонта d:

$$h_в = h' — d.$$

Чтобы получить истинную высоту светила h, видимую высоту $h_в$ исправляют поправками за астрономическую рефракцию $Dh_г$ и параллакс Dh_p, а для видимых высот до 50° дополнительными поправками за изменение средней астрономической рефракции в зависимости от температуры Dh_t и давления воздуха $Dh_В$:

$$h = h_в + Dh_г + Dh_p + Dh_t + Dh_В.$$

Определение широты по высоте Полярной звезды

Широту f_o рассчитывают по формуле

$$f_o = h + I + II + III,$$

где h — истинная высота Полярной звезды; I, II, III — поправки, выбираемые из МАЕ.

Схема вычислений

T_c №	$T_{хр}$ + W — E $u_{хр}$		ОС i+s	
			h' d	(табл. 11-а МТ—75)
$T_{гр}$	Дата $T_{гр}$ За часы $t^g_{гр}$ За минуты и секунды $Dt^g_{гр}$		$h_в$	
	$t^g_{гр}$ l	+ W — E	Dh_p	(табл. 9-а МТ—75)
	$t^g_м$		Dh_t Dh_B	(табл. 14-а МТ—75) (табл. 14-6 МТ—75)
			h I попр II попр III попр	
			f_o	

Порядок действия.

1. Измеряем секстаном высоту Полярной звезды и одновременно замечаем T_c и отсчет хронометра.
2. Из ежедневных таблиц МАЕ по гринвичской дате и по $T_{гр}$ выбираем гринвичский часовой угол точки Овна $t^g_{гр}$ на табличный момент всемирного времени, ближайший меньший к рассчитанному моменту $T_{гр}$.
3. Из основных инерполяционных таблиц (приложение 4 МАЕ), соответствующих минуте всемирного времени $T_{гр}$, в графе “Точка Овна” находим полное изменение $Dt^g_{гр}$ за минуты и секунды $T_{гр}$.
4. Складываем значения величин $t^g_{гр}$ и $Dt^g_{гр}$, результат представит значение гринвичского часового угла точки . Овна $t^g_{гр}$ для заданного момента $T_{гр}$.
5. Полученный гринвичский часовой угол точки Овна $t^g_{гр}$ переводим в местный часовой угол $t^g_м$ по формуле

$$t^g_м = t^g_{гр} \pm l^W_E$$

6. Отсчет секстана ОС исправляем поправками для получения истинной h.
7. Из таблиц МАЕ “Широта по высоте Полярной” выбираем три поправки к высоте Полярной.

Определение широты по меридиональной высоте Солнца

За меридиональную высоту Солнца H® обычно принимают наибольшую из измеренных высот H_1, и широту f рассчитывают по формуле

$$f_1 = (90° — H_l) + d.$$

Вследствие изменения склонения наблюдаемого светила и широты места при движении судна светило в момент наибольшей высоты находится вне меридиана наблюдателя, и поэтому рассчитанную широту требуется исправить поправкой

$$Df = ((D - y)/21.7)^2 (tgf_1 + tgd)$$

где D — часовое изменение склонения $d_®$ в минутах дуги выбирается из МАЕ, причем D положительно, если светило приближается к повышенному полюсу, и отрицательно, если удаляется от него;

у — часовое изменение широты в минутах (у=*V*cosПУ), у; положительно, если *РШ* одноименна с широтой, и отрицательно, если *РШ* разноименна с широтой (у можно выбрать из табл. 24 МТ—75 как *РШ* за плавание данным курсом в течение часа)

ОпределивD и f, находят их разность.

Затем из таблицы 6-а МТ—75 выбирают tgf_1, tgd и определяют их разность.

Из табл. 19 МТ—75 по найденным разностям D — у и tgf — tgd выбирают значение Df.

Окончательно

$$f_0 = f_1 - Df.$$

Наибольшая высота наблюдается до кульминации, если Солнце позади траверза судна, и после кульминации, если Солнце впереди траверза. Поскольку опережение (отставание) может превышать 20 мин, это надо учитывать при выходе на наблюдения.

Схема вычислений

T_c	$T_{хр}$	ОС i+s	кN(s)
№	+ W — E $u_{хр}$		
$T_{гр}$	Дата $T_{гр}$	$H_®$ d	кN(s) (табл 11-а МТ—75)
Из МАЕ D Табл. 24 у	$d_т$ Dd	$H'_{в®}$ $DH'_®$	N(S) (табл. 8 МТ—75)
МТ—75 D — у	$d_®$	$DH'_т$ $DH_в$	(табл. 14-а МТ—75) (табл. 14-6 МТ—75)
(Из табл. 6-а МТ—75) tg f_1 (Из табл. 6-а МТ—75) tgd		$H_®$	N (S)
		$Z' = 90 - H'_®$ $d_®$	S(N) +, если одноименно с Z' —. если разноименно с
tg f_1 — tgd Если Z' и $d_®$ разноименны, то f_1 приписывают наименование большей из них.		f_1 Df_1	(Из табл. 19 МТ—75)
		f_0	

В широтах до 50°, если изменение широты за 1 ч не превышает 12', можно принимать f_1 за f_0.

Для определения времени выхода на наблюдения рассчитывают T_c кульминации Солнца по схеме:

$T_к$		Момент кульминации Солнца на Гринвиче выбирается из МАЕ
l	+W - E	По таблице МАЕ для перевода дуговой меры во временную
$T_{гр}$ №	- W +E	
T_c		

Определение долготы по высоте светила на первом вертикале (А =90°)

$$l_E = t_м — t_{гр}$$

Часовые углы в этой формуле считаем к W;

$t_{гр}$ — выбираем из МАЕ по замеченному времени наблюдения;
$t_м$ — местный часовой угол рассчитываем по измеренной высоте, склонению из МАЕ и счислимой широте по формуле

$$\cos t = \sin h \sec f \sec d — \operatorname{tg} f \operatorname{tg} d,$$

которую для упрощения вычислении преобразуем в вид

$$\lg \sin^2 t/2 = \lg 0{,}5 + \lg \sec f + \lg \sec d + \lg \cos (f—d) + b,$$

где b— вспомогательный логарифм. Его выбираем из таблиц логарифмов разностей b (табл. 3-б МТ—75) по аргументу Гаусса (А. Г. lg cos ((f—d) — lg sin *h).*

С х е м а в ы ч и с л е н и й

1) исправляем высоту и рассчитываем $t_{гр}$ и d по МАЕ;
2) рассчитываем местный часовой угол.

И з т а б л и ц МТ—75

f	Счислимая	sec	Табл. 5-а		
d	Из МАЕ	sec	Табл.5-а		
f—d		cos	Табл. 5-а	cos	Табл. 5-а
h	0,5	lg	9,69897	sin	Табл. 5-а
	Исправленная				
		S b	Табл.3-б	.А.Г.	
		$\sin^2 t/2$	Табл.5-а		
		t	E		

Переводим восточный часовой угол в западный t_w =360° — t_E.

Рассчитываем долготу $l_E = t_w — t_{гр}$.

Если l_E > 180°, переводим в lw = 360° —l_E .

Так как азимут светила при измерении высоты был 90°, то полученная долгота практически свободна от ошибок из-за неточности широты.

Определение поправки компаса

DK= А—КП,

где А — азимут светила в круговом счете (для определения А используются табл. 20-а и 20-6 МТ—75);

КП — компасный пеленг на светило.

Способ определения поправки компаса путем пеленгования верхнего края Солнца в моменты его восхода или захода является приближенным, особенно в высоких широтах, вследствие неустойчивой астрономической рефракции при малых высотах Солнца.

При пеленговании светил с высотой более 30° ошибки быстро возрастают Следует избегать применения откидного зеркала пеленгатора и критически относиться к поправке компаса, если при пеленговании использовали зеркало. Необходимо следить, чтобы пеленгатор не имел наклона относительно плоскости вертикала светила. Замечать отсчет пеленга следует только после нескольких предварительных прицеливании. Для устранения промахов следует пеленговать светило сериями из трех—пяти измерений пеленгов и моментов с последующим осреднением результатов.

Для вычислений пользуются таблицами ТИПС*, ВАС** или ТВА***, в которых приведены правила их использования.

Порядок действий:

измеряем три—пять пеленгов светила, замечая моменты $T_{хр}$ с точностью до 10 с;

замечаем судовое время T_c , отсчет лага ол и КК, снимаем с карты f_c и l_c;

рассчитываем средний $T_{хр}$;

определяем $T_{гр}$ и находим по МАЕ $t_м$ и d светила;

по f_c , d и $t_м$ рассчитываем по таблицам азимут светила;

рассчитываем средний КП и находим DК.

В частном случае поправку компаса DК определяют по пеленгу на Полярную звезду. Порядок действий описан в пояснении к МАЕ, с помощью которого делаются все вычисления, кроме исправления высоты. Расчеты местного часового угла Полярной звезды можно вести с точностью до 0,1°.