

Из рис. 88 видно, что в любой момент:

$$t_m = t\Upsilon + \tau^*. \quad (57)$$

Часовой угол точки Овна  $t\Upsilon$  называют звездным временем. На звездной карте очень близко к меридиану точки Овна расположена звезда Кафф ( $\beta$  Кассиопеи), а на противолежащем меридиане расположена звезда Фекда ( $\gamma$  Большой Медведицы). Значит, по часовому углу звезды Кафф непосредственно из наблюдений можно узнать звездное время, а часовой угол звезды Фекда отличается от звездного времени на  $180^\circ$  (тогда  $t\Upsilon = t_m^* - 180^\circ$ ). Для оценки на небосводе часовых углов этих звезд полезно помнить, что угловое расстояние на реальном небосводе между звездами  $\beta$ — $\epsilon$  Кассиопеи приближенно равно  $15^\circ = 1^\text{ч}$ , а между звездами  $\alpha$ — $\eta$  Большой Медведицы оно равно  $25^\circ = 1,7^\text{ч}$ . На рис. 87:  $t\Upsilon = 30^\circ$ .

Если небесный экватор разделить на 24 части, то каждая часть будет равна  $15^\circ$ . Ее называют часом; поделив час на 60 частей, получают минуту ( $4^\text{м} = 1^\circ$  и  $1^\text{м} = 15$  дуговых минут), поделив минуту на 60 частей, получают секунду ( $4^\text{с} = 1'$  и  $1^\text{с} = 0,25'$ ). В часовой мере измеряют время и, когда это удобно для практики, часовые углы.

Применительно к рис. 88 географические и экваториальные координаты записывают так:

Место яхты . . . . .  $\varphi = 44^\circ N$ ,  $\lambda = 65^\circ O^{\text{ст}}$ .

Географическое место светила . . . . .  $\varphi^* = 50^\circ N$ ,  $\lambda^* = 35^\circ W$ .

Видимое место светила . . . . .  $\delta = 50^\circ N$ ,  $t_{\text{гр}} = 35^\circ W$  или  $t_m = t_{\text{гр}} + \lambda O^{\text{ст}} = 35^\circ + 65^\circ = 100^\circ W$ .

Звездное время . . . . .  $t\Upsilon = 28^\circ$  (или  $1^\text{ч} 52^\text{м}$ ).

Звездный угол (звездное дополнение)  $\tau^* = 72^\circ$ .

Прямое восхождение . . . . .  $\alpha = 288^\circ$ .

На рис. 87  $t\Upsilon = 30^\circ = 2^\text{ч}$ , так как  $\beta$  Кассиопеи наблюдается западнее по-

луденной части местного небесного меридиана, а  $\gamma$  Большой Медведицы — восточнее полуночной части местного меридиана. Звезда  $\alpha$  Лиры имеет  $t_m = -110^\circ W$ , а звезда  $\alpha$  Близнецов имеет часовой угол  $t_m = 85^\circ$ .

Экваториальные координаты навигационных звезд, наблюдения которых чаще всего встречаются в астронавигационных задачах, даны в приложении 4, а, воспроизведя с небольшими дополнениями сведения из МАЕ на высокосный, 1980 г. Звездная карта МАЕ (см. форзац) также основана на экваториальных координатах; в условиях яхтенного плавания она заменяет звездный глобус. В левой верхней части карты дана северная полярная часть звездного неба, а в правой верхней части — его южная полярная часть. В обоих случаях даны звезды со склонениями от  $30$  до  $90^\circ$ , меридианы имеют величины звездных углов  $\tau^*$  через  $30^\circ$ . Экваториальная область между параллелями  $\pm 23,5^\circ$  дана внизу; здесь по верхней рамке отчитывают прямые восхождения и звездное время, а по нижней — звездные углы (звездные дополнения)  $\tau^*$ . Правая стрелка показывает направление видимого суточного движения светил; слева внизу указаны широты, при которых данная параллель касается горизонта в точке юга.

**Пользование звездной картой.** Для опознания звезд карту необходимо сориентировать по широте места, направлению местного меридиана наблюдателя и времени наблюдений.

Наметив по часам момент  $T_c$  начала предстоящих наблюдений звезд (о системе счета времени на яхте см. § 7.2 и рис. 90) по схеме, данной в примере 1, прежде всего заговоренно вычисляют звездное время в момент  $T_c$ . Точность вычислений с погрешностью до получаса достаточна для работы с картой.

**Пример 1.** Намечены наблюдения звездного неба в Ленинграде (широта места  $\phi = 60^\circ N$ ) 12 февраля около  $T_c = 20^{\text{ч}}20^{\text{м}}$ .

Вычислить звездное время на начало наблюдений для работы с картой звездного неба\*.

Величина, действие	Условные обозначения	Решение
1. Стандартное время срока наблюдений 2. Разница между стандартным и теоретическим поясным временем по рис. 90	$T_c$ $\Delta T_c$	12 февраля $20,5^{\text{ч}}$ $-1^{\text{ч}}$
3. Поясное время (приближенное меридианное время) 4. Вспомогательная величина из прилож. 4, в на 12 февраля	$T_N \approx T_m$ $R$	12 февраля $19,5^{\text{ч}}$ $-14,5^{\text{ч}}$
5. Звездное время на местном меридиане	$t\Upsilon$	$5^{\text{ч}}$

#### Пояснения:

1. Если при выполнении пп. 1—3 получается отрицательная величина, то надо увеличить  $T_c$  на  $24^{\text{ч}}$ ; после вычитания  $\Delta T_c$  получится  $T_N$  на предыдущую календарную дату.

2. В нашей стране: с 1 октября по 1 апреля  $\Delta T_c$  равна  $-1^{\text{ч}}$ , а с 1 апреля по 1 октября  $\Delta T_c = -2^{\text{ч}}$ . В других случаях  $\Delta T_c$  есть разница между стандартным и поясным временем (рис. 90).

3. Разница между меридианным  $T_m$  и поясным  $T_N$  не превышает  $30^{\text{м}}$ .

4. Вспомогательная величина  $R$  выбирается по заданной дате наблюдений из прилож. 4, в с округлением до полчаса.

5. Получается всегда действием вычитания: п. 5 = п. 3 — п. 4; при необходимости увеличить  $T_N$  на  $24^{\text{ч}}$ .

Для работы на карте звездное время  $t\Upsilon$  переводят в градусную меру по табл. приложения 4, б либо в уме умножением на  $15^{\circ}$ :  $t\Upsilon = 5 \times 15 = 75^{\circ}$ .

Далее на карте по шкале прямых восходений следует найти меридиан  $75^{\circ}$  и точку его пересечения с экватором Е — она называется **полуденной точкой**. По широте места  $\phi = 60^\circ N$  находят ту параллель, которая касается горизонта в точке юга — при этом пользуются шкалой слева внизу карты. Звезды, расположенные южнее этой параллели, в данной северной широте никогда не видны.

Выйдя на наблюдения, прежде всего находят основные направления (ориентируясь по Полярной или по компасу): на север  $N$ , на восток  $O^{\text{st}}$ , на юг  $S$  и на запад  $W$ . Затем определяют положение небесного местного меридиана: он проходит от  $N$  через Северный полюс мира  $P_N$ , далее через точку над головой наблюдателя  $Z$  (зенит) и через точку  $S$ . Карту размещают так, чтобы полуденная точка Е была над точкой юга  $S$  и вычисленный меридиан  $75^{\circ}$  совпал с направлением местного меридиана; при этом высота точки Е должна быть равна  $90^{\circ} - \phi = 30^{\circ} S$ .

Близи местного меридиана, несколько восточнее точки юга, на высоте от  $20$  до  $40^{\circ}$  (по условию примера 1) опознают созвездие Ориона; на продолжении трехзвездной дуги «пояса Ориона» вправо и вверх располагается Альдебаран ( $\alpha$  Тельца). Продолжив эту же дугу влево и вниз, найдем самую яркую звезду зимнего неба Сириус ( $\alpha$  Большого Пса). Непосредственно над головой наблюдателя проходят те светила, у которых склонение равно широте места наблюдений; близко к

\* Все последующие примеры даны по такой же схеме.

зениту разместились созвездие Возничего.

На карте звездного неба северная полусфера дана с оцифровкой меридианов величинами  $t^*$ . Вычислив звездный угол точки Е ( $\tau^E = 360^\circ - t^v = 360^\circ - 75^\circ = 285^\circ$ ), найдем меридиан, проходящий через Полярную и зенит. Теперь над точкой севера опознаем звезды созвездия Геркулеса. На высоте  $60^\circ$  располагается Полярная, Кассиопея видна левее и выше Полярной (часовой угол звезды Кафф равен  $t_m = 75^\circ = 5^\circ O^{st}$ ). Большая Медведица видна правее и ниже Полярной, часовой угол звезды Фекда  $t_m = 255W = 105^\circ 0^{st}$ .

В результате вращения Земли вокруг своей оси наблюдается видимое вращение небосвода с востока на запад: если смотреть на север, то видимое движение светил происходит вокруг Полярной против хода часовской стрелки (см. рис. 87). Если же смотреть на юг, то видимое движение светил происходит по ходу часовской стрелки. В нашем примере созвездие Ориона перемещается слева направо — в сторону запада. Скорость видимого суточного движения светил составляет около  $15^\circ/\text{час}$ , поэтому экваториальное созвездие Ориона зайдет примерно спустя  $6^\text{ч}$  после его прохождения через меридиан места наблюдений (после кульминации). Это произойдет в  $T_c \approx 20^\text{ч} + 6^\text{ч} = 26^\text{ч} - 24^\text{ч} = 2^\text{ч}$  13 февраля.

Перед плаванием полезно потренироваться в опознании звезд на местности или с помощью карты звездного неба.

**Видимые движения светил Солнечной системы.** Кроме видимого суточного движения, в котором участвуют все светила, существует собственное перемещение по небесной сфере светил Солнечной системы (Солнца, планет, Луны) с разными периодами. В результате этого перемещения они по-разному видны на небосводе в различные календарные даты и периодически

появляются в различных участках звездного неба.

В течение года Земля совершает один оборот по орбите вокруг Солнца, поэтому Солнце имеет собственное годовое движение на фоне созвездий. Путь Солнца среди звезд, показанный пунктиром на карте звездного неба, называется **экклиптикой**: Солнце перемещается среди созвездий зодиакального пояса («круга животных»), проходя последовательно с марта по февраль созвездия Рыбы, Овна, Тельца, Близнецов, Льва, Девы, Весов, Скорпиона, Стрельца, Козерога, Водолея. Скорость этого перемещения составляет около  $1^\circ$  за сутки или  $30^\circ = 2^\text{ч}$  за месяц, поэтому картина звездного неба в данном месте и в данный час суток спустя месяц будет наблюдаваться на 2 часа раньше, спустя 15 суток — на 1 час раньше и т. п. В полночь на юге располагаются созвездия, отстоящие от Солнца по экватору на  $180^\circ = 12^\text{ч}$ . Например, 22 июня прямое восхождение Солнца  $\alpha = 90^\circ = 6^\text{ч}$  и в местную полночь на юге будут видны созвездия Змееносца и Лиры (см. приложение 4, б).

Из девяти планет Солнечной системы для целей навигации наблюдают только Венеру, Марс, Юпитер и Сатурн. Блеск планет бывает очень большим (иногда Венера видна днем невооруженным глазом), но изменяется в зависимости от взаимного расположения планеты, Земли и Солнца (конфигураций), смена которых происходит с периодом от 1 до 2 лет. Планеты всегда наблюдаются в пределах зодиакального пояса, недалеко от эклиптики. Сведения об их положении на небосводе на каждый день и характеристику их видимости можно получить из МАЕ или из Астрономического календаря, который ежегодно выпускает издательство «Наука».

Появление планеты может значительно исказить вид созвездия и затруднить его опознание, планета мо-

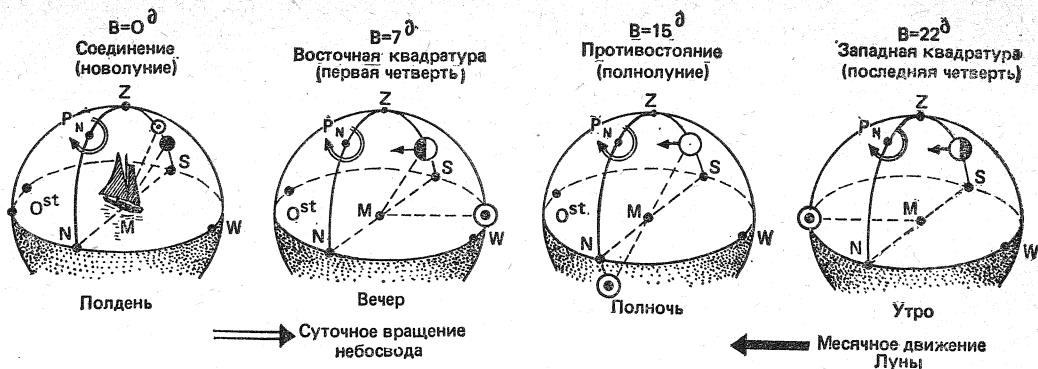


Рис. 89. Условия наблюдений Луны и лунная освещенность зависят от возраста Луны и широты места яхты

жет быть перепутана с навигационной звездой. Поэтому необходимо нанести видимые места планет на звездную карту для намеченного срока плавания (по указанным в МАЕ или Астрономическом календаре величинам  $\alpha$  и  $\delta$ ).

Венеру следует наносить не реже чем каждую неделю, Марс — через две недели, Юпитер и Сатурн — через месяц.

Луна также перемещается среди созвездий зодиакального пояса и имеет собственное движение с запада на восток примерно на величину своего видимого диска за каждый час. За сутки это смещение составляет около  $13^\circ \approx 50^m$ . Вид Луны на небе называется фазой, которая зависит от ее возраста.

Возраст Луны выражается в сутках и указывает количество суток, прошедших после того дня, когда Луна и Солнце были на одном небесном меридиане (рис. 89). При соединении Луны и Солнца возраст  $B=0$ , Луна обращена к нам неосвещенной стороной и не наблюдается на небе: эта фаза называется новолунием. В новолуние Луна проходит над точкой юга одновременно с Солнцем, возраст Луны на любую дату подсчитывают по формуле:

$$B = D + M + L, \quad (58)$$

где  $D$  — календарная дата;  
 $M$  — номер месяца в году;  
 $L$  — лунное число (в 1982 г. оно равно 2 и затем каждый год увеличивается на 11).

Например, 8 мая 1984 г.

$$L = 2 + 11 + 11 = 24$$

$$D = 8$$

$$\begin{array}{r} M = 5 \\ \hline B = 37 - 30 = 7^\circ \end{array}$$

Период смены фаз равен  $29,5^\circ = 30^\circ$ , поэтому его величину после расчета  $B$  при необходимости отбрасывают.

При  $B=7^\circ$  Луна расположена к востоку от Солнца и видна в первой четверти (молодая Луна); она восходит около полудня, во вторую половину дня видна вместе с Солнцем над горизонтом, вечером освещает юго-западную сторону горизонта и заходит около полуночи.

При  $B=15^\circ$  Луна и Солнце расположены на противоположных меридианах (в противостоянии, сизигии) — наблюдается полнолуние. Луна восходит вечером и до утра освещает ночной горизонт; здесь лунная освещенность максимальна.

При  $B=22^\circ$  Луна расположена к западу от Солнца и видна в последней

четверти (старая Луна), она восходит около полуночи, в первую половину дня вместе с Солнцем видна над горизонтом и заходит около полудня. Спустя неделю начнется новый период смены фаз Луны.

В плавании Луну наблюдают и днем, и ночью. Ее место на звездной карте отмечают непосредственно на намеченный срок наблюдений (по  $\alpha$  и  $\delta$ , указанным в Астрономическом календаре или МАЕ, при этом в МАЕ приходится находить  $\alpha^{\circ} = t_{\text{gp}} - t_{\text{rp}}^{\circ}$ ). Лунная освещенность в значительной степени зависит от фазы Луны и ее высоты над горизонтом; последняя же в течение месяца изменяется вследствие быстрого и большого изменения склонения Луны.

Описанная картина верна для наблюдений в  $\phi > 23,5^{\circ}N$ .

## 7.2. Ориентирование во времени

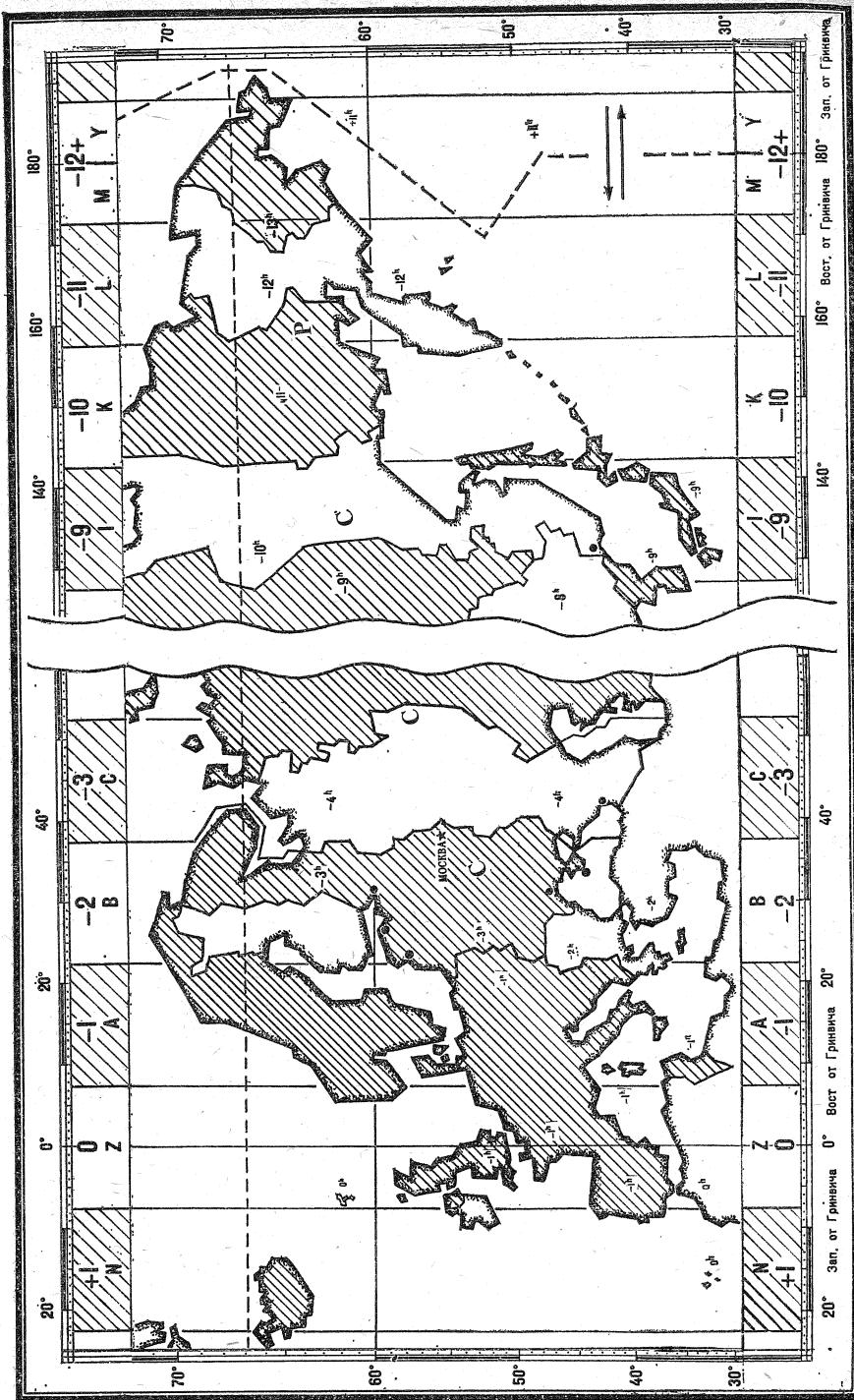
Время на яхте необходимо знать с различной точностью. Если для ведения навигационной прокладки требуется знать время с погрешностью не более минуты, то для астронавигационного определения долготы места яхты нужно знать его с погрешностью до 1 секунды, так как здесь ошибка во времени равна ошибке в найденной долготе ( $4^{\text{m}} = 1^{\circ}$ ,  $1^{\text{m}} = 15'$ ,  $4^{\text{c}} = 1'$  и т. д.).

Часы на яхте в автономном плавании могут быть установлены по разнообразным системам счета времени. Решение об этом принимает капитан — он должен позаботиться о том, чтобы время на яхте измерялось непрерывно и достаточно точно. Кроме того, при заходе в порты счет времени должен быть согласован со счетом времени, принятым в пункте захода. Потеря информации о времени при плавании в открытом море считается чрезвычайным происшествием, чреватым угрозой безопасности плавания.

**Системы измерения времени.** Принятые в различных странах системы измерения времени можно узнать по карте часовых поясов (карта № 90 080, издания ГУНиО МО СССР; такого же назначения карты публикуются в географических и морских атласах). Часть карты часовых поясов для европейских государств, а также для европейских и дальневосточных районов Советского Союза приведена на рис. 90. Здесь показано стандартное время, система счета которого определена постановлением (декретом) правительства данной страны и является обязательной на всей ее территории. В большинстве стран в основе стандартного времени (обозначается  $T_c$ ) лежит система счета по часовым поясам.

Повседневная жизнь организована по движению Солнца, и наши часы показывают солнечное время, следят за видимым суточным движением Солнца (рис. 91). Солнечное время измеряют от полуночи — с момента прохождения Солнцем полуночной части местного меридиана  $P_N N Q P_S$  наблюдателя  $M$ ; оно называется меридианным, или местным, солнечным временем (обозначается  $T_m^{\odot}$ ). Часовые углы Солнца измеряют от полуденной точки  $E$  экватора, поэтому до полудня местное солнечное время равно  $T_m^{\odot} = 12^{\text{u}} - t_{\text{ost}}^{\odot}$  и после полудня  $T_m^{\odot} = 12^{\text{u}} + t_{\text{w}}^{\odot}$ . Если с помощью компаса определить положение полуденной линии  $S-N$  на местности, затем глазомерно оценить положение точки  $E$  на небесном меридиане (по величине угла  $90^{\circ} - \phi$ ) и положение небесного экватора ( $OstEW$ ), а после этого — величину наблюдаемого восточного или западного часового угла Солнца, то по показанным формулам получим приближенную ориентировку во времени текущих суток.

Сутки — это длительность одного оборота Земли вокруг своей оси, измеренная относительно направления на



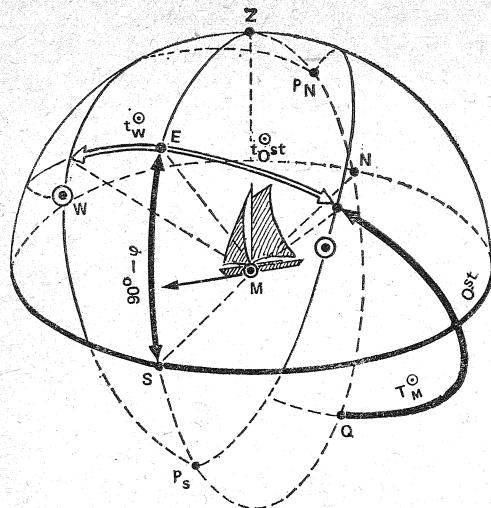


Рис. 91. Солнечное время по наблюденному часовому углу Солнца

Солнце. Они являются основной единицей измерения времени. Как уже было сказано в § 7.1, сутки делят на часы, минуты и секунды.

Ход местного солнечного времени воспроизводят солнечные часы, устройство которых показано на рис. 92. Эти часы можно изготовить самостоятельно. Экваториальные солнечные часы устанавливают отметкой 12<sup>ч</sup> на точку севера  $N$  и линию 24<sup>ч</sup>—12<sup>ч</sup> с возможно большей точностью совмещают с направлением полуденной линии  $S—N$ . Их циферблат имеет равномерную шкалу ( $15^{\circ} = 1^h$ ) и располагается под углом ( $90^{\circ} - \varphi$ ) к плоскости горизонта. Измеряемый момент времени отмечает на циферблате тень от што́ка, установленного в центре циферблата и перпендикулярно к нему. Точность такого измерения зависит от качества изготовления часов, масштаба делений циферблата (ошибка в отсчете момента по циферблату на  $1^{\circ}$  даст ошибку во времени на  $4^m$ , точности установки основания часов в плоскости горизонта и относительно полуденной линии  $S—N$ .

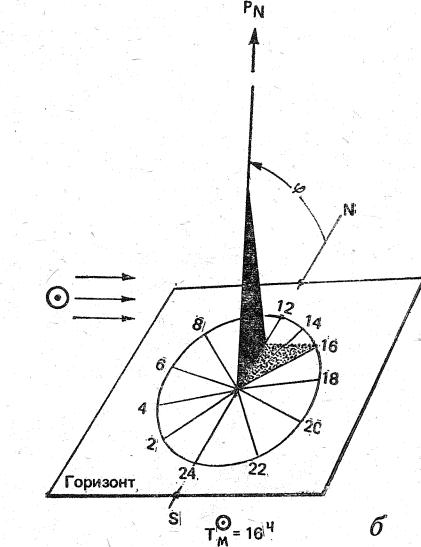
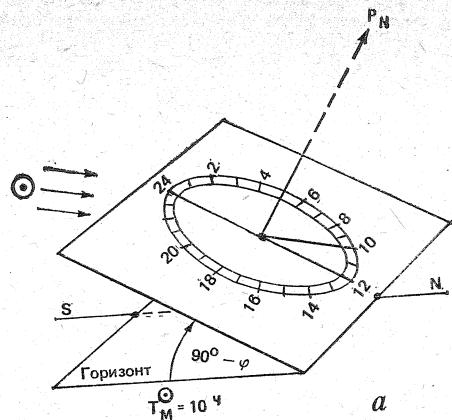


Рис. 92. Солнечные часы:  
а — экваториальные; б — горизонтальные

Циферблат горизонтальных солнечных часов устанавливается в плоскости горизонта, и его линия 24<sup>ч</sup>—12<sup>ч</sup> совмещается с полуденной линией  $S—N$ . Шкала циферблата этих часов неравномерна, ее вычисляют по формуле (59) с помощью микрокалькулятора или по таблицам натуральных величин тригонометрических функций:

$$\operatorname{tg} x = \sin \varphi \operatorname{tg} t, \quad (59)$$

где  $\varphi$  — широта места,  $t$  — интервал времени от полудня,

$x$  — угол между полуденной линией и отметкой часа, соответствующего  $t$ .

Теневая пластина устанавливается в плоскости местного меридиана, и ее верхний срез должен быть направлен на Северный полюс мира под углом  $\varphi$  к горизонту. Кроме отмеченных причин погрешность измерения времени по горизонтальным часам зависит от широты места и времени суток, она больше вблизи полудня и в малых широтах.

В морских условиях применению солнечных часов мешает качка, их надо устанавливать на азимутальном круге котелка магнитного компаса. Солнечные часы применяются в различных упрощенных ориентаторах для определения долготы места и момента наступления полудня\*. В момент полудня тень от вертикально установленного штока имеет наименьшую длину и располагается по линии от  $S$  к  $N$  (если  $\varphi > 23,5^\circ N$ ).

Измерив время по солнечным часам и сравнив его с показанием времени по механическим или электронным часам, обнаружим значительную разницу — иногда до  $2^\circ$  и даже более. Причина — в особенностях конструкции наших обычных часов и принятого стандартного времени для их установки.

Глядя на рис. 91, спроектируйте со стороны  $P_N$  изображенное на нем северное полушарие небесной сферы на плоскость экватора: в этой проекции полюс  $P_N$  будет в центре экватора, а все меридианы изобразятся прямыми линиями и их движение будет происходить с востока на запад, по часовой стрелке. Циферблат наших часов есть проекция северного полушария сферы на плоскость экватора, часовая стрелка есть меридиан Солнца, а ее движение

воспроизводит вращение Земли, точнее говоря — суточное вращение неба. Остается пояснить, что чаще всего циферблты часов ради удобства отсчета делят не на  $24^\circ$ , а на  $12^\circ$  и скорость вращения часовой стрелки увеличивают в два раза. Поэтому во второй половине суток для определения времени по такому циферблту приходится мысленно увеличивать отсчеты на  $12^\circ$ . Кроме того, стрелка часов движется всегда равномерно, а истинное Солнце изменяет свое положение на небосводе в течение года не вполне равномерно. Поэтому воспроизведенное обычными часами равномерное время (его называют **средним временем** и обозначают  $T$ ) на несколько минут отличается от солнечного времени  $T_m^{\odot}$  по солнечным часам.

Время, измеренное от полуночной части местного меридиана в средних единицах (т. е. средней за год длительностью суток, часа, минуты, секунды), называется **меридианным**, или **местным**, **средним временем** и обозначается  $T_m$ . Можно сказать, что наши часы воспроизводят движение условного равномерно идущего «среднего Солнца» (оно обозначено знаком  $\oplus$  на графике в приложении 4, б).

Угол  $\eta$ , который в данный день образуется между меридианами среднего Солнца и истинного Солнца, называется **уравнением времени**. Чтобы от показания времени  $T_m^{\odot}$  по солнечным часам перейти к показанию среднего времени  $T_m$ , надо величине  $T_m^{\odot}$  придать уравнение времени со знаком, указанным в приложении 4, в. Например, 24 июля по приложению  $\eta = +6,4^m$ , и если по солнечным часам в полдень всегда  $T_m = 12^h 00^m$ , то по нашим «средним» часам 24 июля время наступления полудня будет  $T_m = 12^h 06,4^m$  меридианного времени.

При пояснном счете среднего времени (см. рис. 90) весь земной шар делят на часовые пояса, теоретически

\* См. «Круизерфикс» — заменитель секстанта. «Катера и яхты», № 5 (75), 1978 г.

имеющие протяженность  $15^\circ = 1^{\text{ч}}$  по долготе. Эти пояса показаны на карте возле ее верхней и нижней рамок: они имеют буквенные и цифровые обозначения. В пределах часового пояса во всех его местах часы устанавливают по одному и тому же времени — по меридианному среднему времени центрального (осевого) меридиана данного пояса. Например, в пояссе  $Z(0)$  — по времени Гринвичского меридиана ( $\lambda=0^\circ$ ), в пояссе  $A(-1)$  — по времени меридиана  $\lambda=15^\circ \text{ Ost}$ , в пояссе  $B(-2)$  — по времени меридиана  $\lambda=30^\circ \text{ Ost}$ , в пояссе  $C(-3)$  — по времени меридиана  $\lambda=45^\circ \text{ Ost}$  и т. д. При переходе из поясса в пояс часы надо будет переставлять ровно на  $1^{\text{ч}}$ . При перемещении к востоку время «старше». Поясное время обозначается  $T_{\text{п}}$  и вычисляется по формуле:

$$T_{\text{п}} + T_{\text{гр}} \pm N_W^{ost}, \quad (60)$$

где  $\text{№}$  — номер часового пояса,  $T_{\text{гр}}$  — время нулевого часового пояса, которое называется **всемирным**, или **гринвичским**. Знаки у номеров часовых поясов, указанные на карте, служат для решения обратной задачи: расчета всемирного времени по известному показанию часов  $T_{\text{п}}$  и номеру того поясса  $\text{№}$ , по которому они фактически были установлены:

$$T_{\text{гр}} = T_{\text{п}} \mp N_W^{ost}. \quad (61)$$

В некоторых странах (например, в Швеции, ГДР, Финляндии) в качестве стандартного пользуются поясным временем. При этом фактические границы часовых поясов отклоняются от теоретических долготных границ, следя государственным или административным границам. При пользовании поясным временем отклонения меридианного времени от показаний часов в пределе не превышают получаса.

В ряде государств по экономическим соображениям (для того чтобы сместить рабочее время на светлую

часть суток и сэкономить электроэнергию) решением правительства поясное время увеличивают на один час (например, в Великобритании, Франции, Испании). В СССР такое время называется **декретным** и обозначается  $T_{\text{д}}$ . Вводится оно с 1 октября по 1 апреля. Соответствующие декретному времени номера часовых поясов на карте показаны в пределах соответствующих поясов непосредственно на территории страны. Например, Ленинград и Севастополь в зимний период живут по третьему часовому поясу ( $\text{№}=3 \text{ Ost}$ ), хотя географически расположены во втором часовом поясе.

На летний период в СССР и в ряде других стран (например, в Италии, Турции) часы переставляют на час вперед. В СССР это «летнее время»  $T_{\text{л}}$  действует с 1 апреля по 1 октября, при этом стандартное время ( $T_{\text{с}}=T_{\text{л}}$ ) отличается на  $+2^{\text{ч}}$  от поясного. Например, летом Ленинград, Мурманск, Севастополь живут по времени четвертого восточного пояса ( $\text{№}=4 \text{ Ost}$ ), а Владивосток — по времени одиннадцатого восточного пояса.

В повседневном обиходе (особенно часто в прессе) стандартное время именуют «местным». Этот термин не следует путать с рассмотренным теоретическим **меридианным местным временем**, которое показывают только солнечные часы.

Уходя в море, нужно точно знать, по времени какого часового пояса идут судовые часы, как надо изменить их показания, чтобы узнать всемирное время. Для стандартного времени Советского Союза:

$$\left. \begin{aligned} \text{зимой} & - T_{\text{гр}} = T_{\text{п}} - (\text{№} + 1^{\text{ч}}), \\ \text{летом} & - T_{\text{гр}} = T_{\text{п}} - (\text{№} + 2^{\text{ч}}), \end{aligned} \right\} \quad (62)$$

где  $\text{№}$  — номер теоретического часового пояса с учетом административных границ; зимнее и летнее время действуют в указанные сроки.

В некоторых астрономических пособиях всемирное время обозначают  $T_{\text{Ф}}$ .

Со стандартным, местным и поясным временем мы уже встречались в примере 1. Как мы уже говорили, показания наших часов могут значительно расходиться с показаниями часов солнечных.

**Пример 2.** 3 октября по солнечным часам наблюдали  $T_m^{\odot} = 14^{\text{ч}}24^{\text{м}}$  в долготе  $\lambda = 30^{\circ}15'0\text{s}$  (Ленинград). Определить показание обычных часов по стандартному времени в этот же момент.

1. Меридианное солнечное время 2. Уравнение времени (по прилож. 4, б)	$T_m^{\odot}$ $\eta$	3 октября 14 <sup>ч</sup> 24 <sup>м</sup> —11 <sup>м</sup>
3. Меридианное среднее время 4. Долгота места наблюдений в часовой зоне (по прилож. 4, б)	$T_m$ $\lambda$	3 октября 14 <sup>ч</sup> 13 <sup>м</sup> 2 <sup>о</sup> 01 <sup>м</sup> 0 <sup>s</sup>
5. Всемирное время 6. Стандартный часовой пояс	$T_{\text{гр}}$ $N_c$	3 октября 12 <sup>ч</sup> 12 <sup>м</sup> +3
7. Стандартное время	$T_c$	3 октября 15 <sup>ч</sup> 12 <sup>м</sup>

**Пояснения.** 1. Погрешность отсчета солнечного времени обычно не менее 1<sup>м</sup>, поэтому все величины округляют до 1<sup>м</sup>.

2. Обратить внимание на правильный учет знака  $\eta$ .

3. Вычислить ( $3 = 1 \pm 2$ ), придав к  $T_m$  уравнение времени  $\eta$ .

4. Обратить долготу места в часовую зону (см. прилож. 4, б).

5. Вычислить ( $5 = 3 \pm 4$ ), восточную долготу отнять, западную долготу прибавить. Если при вычитании получилась отрицательная величина, следует увеличить  $T_m$  на 24<sup>ч</sup> и уменьшить гринвичскую дату на единицу. Если при сложении получилась величина более 24<sup>ч</sup>, надо отбросить 24<sup>ч</sup> и гринвичскую дату увеличить на 1<sup>д</sup>.

6. Номер часового пояса для стандартного времени заданного населенного пункта определяют по карте (см. рис. 90) с учетом календарной даты. В Ленинграде после 1 октября:  $M_c = 3\text{ Ost}$ . Восточный часовой пояс прибавляют, а западный — вычитывают из  $T_{\text{гр}}$ .

7. Вычислить ( $7 = 5 \pm 6$ ). Проверить календарную дату; если  $T_c$  получилось отрицательным, наша дата на сутки меньше гринвичской — надо увеличить  $T_{\text{гр}}$  на 24<sup>ч</sup> и в итоге уменьшить дату 1<sup>д</sup>; если же  $T_c$  получилось более 24<sup>ч</sup>, наша дата на сутки больше гринвичской — надо в итоге отбросить 24<sup>ч</sup> и дату иметь больше на 1<sup>д</sup>.

При всех астронавигационных вычислениях необходимо тщательно проверять арифметические действия! Лучший способ проверки — обратное решение задачи от полученного результата к заданному условию.

Право решить вопрос, какое стандартное время использовать в качестве судового, в автономном плавании принадлежит капитану яхты. Слишком большое расхождение между меридианным местным временем и судовым временем на яхте (оно тоже обозначается  $T_c$ ) неудобно для жизни и дезориентирует в сроках и обстановке астронавигационных наблюдений.

Судовым временем является поясное время того часового пояса, по которому фактически установлены часы на яхте. По судовому времени ведут навигационную прокладку и организуют повседневный распорядок жизни. Перед заходом в порт во избежание возможных недоразумений проверяют соответствие своего судового времени стандартному времени в пункте захода

(лучше эти вопросы решить при подготовке к походу, пользуясь пособиями последних изданий — в некоторых странах иногда изменяют принятую систему счета стандартного времени).

1. Судовое время на яхте
2. Часовой пояс, по которому установлены часы на яхте

**Пример 3.** Часы на яхте установлены по летнему московскому времени ( $N_c = 40^{\text{st}}$ ). Определить стандартное время в порту Росток, если заход в порт намечен на 09<sup>ч</sup>00<sup>м</sup> по судовому времени 22 июня.

1. Судовое время на яхте	$T_c = T_{\text{л}} \pm N_{C_{\text{Ost}}}^W$	22 июня 09 <sup>ч</sup> 4 Ost
3. Всемирное время ( $3 = 1 \mp 2$ )	$T_{\text{гр}} \pm N_{C_{\text{W}}}^{\text{Ost}}$	22 июня 05 + 1 Ost
4. Часовой пояс, по которому в пункте захода установлено стандартное время (см. рис. 90, для ГДР)		
5. Стандартное время в пункте захода ( $5 = 3 \pm 4$ )	$T_c$	22 июня 06 <sup>ч</sup>

**Пояснения.** Правила знаков при  $N$  и  $N_c$  были пояснены в формулах (60—62); правила счета календарных дат — в предыдущем примере. Обратить внимание на неудобство выбранного времени захода в порт для гостей-приимных хозяев.

**Служба времени на яхте.** Службой времени называется система мероприятий и действий с измерителями времени в море, позволяющая в любой момент знать с достаточной точностью время для решения навигационных и других задач. Она включает завод измерителей времени, проверку их по радиосигналам времени, хранение информации о точном времени вплоть до следующего приема радиосигналов, определение точного времени в момент выполнения каких-либо навигационных измерений.

При ведении навигационной прокладки и при астрономическом определении поправки компаса погрешность измерения времени не должна превышать 1<sup>м</sup>. Такую точность измерения времени обеспечивают обычные наручные механические часы, если их проверять два-три раза в сутки. Электронные часы идут значительно точнее, их достаточно проверять один раз в сутки и по мере необходимости ставить вер-

ное время. Необходимым условием надежной работы часов является их своевременный завод (его делают утром каждого дня, если часы механические). Лучше иметь на яхте двое часов: одни часы электронные, а другие механические. Часы следует берегать от влаги и резких изменений температуры воздуха.

При определении широты места яхты по наблюдениям Полярной или полуденной высоты Солнца измерение времени с точностью до 1<sup>м</sup> также достаточно. Но при полном определении места яхты по светилам (широты и долготы совместно) требуется знать время с точностью до секунды, так как ошибка в регистрации момента наблюдений равна ошибке в долготе обсервованного места.

Для измерения времени с точностью до 1<sup>с</sup> необходимо прежде всего решительно покончить с привычкой представлять минутную стрелку часов «на верное время» (этого достаточно в случае измерения времени с точностью до 1<sup>м</sup>).

Определить точное время — это значит определить по радиосигналам времени поправку часов, а затем исправлять ею все замеченные при наблюде-

ниях светил моменты по мере необходимости.

Поправкой часов называется разность между эталонным временем подачи радиосигнала времени и замеченым показанием времени по часам в тот же момент. Радиосигналы времени для проверки часов передают многие широковещательные радиостанции (например, «Маяк»), и их можно принять несколько раз в сутки. Обычно эти сигналы имеют вид шести точек, стандартное время в момент подачи шестой точки объявляет диктор радиостанции.

Готовясь заблаговременно к определению поправки часов, прежде всего согласуют их минутную стрелку с показанием секундной стрелки (для точного измерения времени следует применять такие часы, которые имеют центральную секундную стрелку длиной не менее 1 см и четкие минутные деления на циферблате). Для этого при показании секунд, равном  $60^{\circ}$  ( $0^{\circ}$ ), минутную стрелку ставят на целое минутное деление циферблата. Если часы имеют цифровую индикацию показаний, надо также добиться согласованности в указании минут и секунд. Для навигационных целей предпочтительнее часы со стрелочной индикацией показаний.

В момент подачи шестой точки радиосигнала времени тщательно регистрируют и записывают показания часов  $T_{\text{ч}}$  (вначале пишут количество секунд). Запись времени всегда делают от  $0^{\circ}$  до  $24^{\circ}$ . Поправка часов вычисляется по формуле:

$$u_c = T_e - T_{\text{ч}}, \quad (63)$$

где  $T_e$  — эталонное стандартное время подачи радиосигнала,  $u_c$  — поправка часов относительно стандартного времени.

Если наше стандартное или судовое время отличается от стандартного времени подачи радиосигнала, объявлен-

ного диктором, то в формулу (63) надо вместо  $T_e$  подставить свое точное стандартное время (см. пример 4). В астронавигационных пособиях принято давать координаты светил по всемирному времени  $T_{\text{гр}}$ , поэтому при решении астронавигационных задач удобнее определять поправку часов относительно всемирного времени. Для этого вначале по приближенно известному судовому времени  $T_c$  и номеру своего часового пояса  $\mathcal{M}_c$  выясняют, какому всемирному времени соответствует переданный по радио эталонный сигнал, а после его приема и регистрации  $T_{\text{ч}}$  вычисляют искомую поправку:

$$u = T_{\text{гр}} - T_{\text{ч}}. \quad (64)$$

Поправка часов имеет знак «минус», если в момент подачи эталонного сигнала часы впереди верного времени, или же знак «плюс», если часы позади верного времени (не путать эти термины с понятиями «спешат» и «отстают»).

Теперь в любой не слишком отдаленный от приема радиосигналов момент  $T_{\text{ч}}$  по нашим часам можно узнать точное время:

$$\begin{aligned} \text{стандартное (судовое)} - T_c &= T_{\text{ч}} \pm u_c, \\ \text{всемирное} \quad - T_{\text{гр}} &= T_{\text{ч}} \pm u. \end{aligned} \quad (65)$$

Формулы (63—65) называют **формулами определения точного времени**. Нетрудно заметить, что величины  $u_c$  и  $u$  отличаются на значение номера часового пояса  $\mathcal{M}_c$ , принятого при первоначальной установке и пуске часов.

С течением времени полученная поправка устаревает, так как любые часы не могут полностью воспроизвести равномерный ход среднего солнечного времени. Поэтому возникает задача хранения времени на яхте в интервале между приемом радиосигналов этот интервал может оказаться слишком большим из-за обстоятельств плавания.

**Пример 4.** 30 июня около  $T_c = 10^{\text{ч}}$  (часы на яхте установлены по второму восточному поясу) приняли сигналы времени радиостанции «Маяк» (Москва) и заметили по шестой точке показания часов:

$$\begin{array}{l} \text{№ 1} \dots \dots \dots T_u = 10^{\text{ч}} 00^{\text{м}} 12^{\text{с}} \\ \text{№ 2} \dots \dots \dots T_q = 9 59 37 \end{array}$$

Определить поправки часов относительно судового времени и относительно всемирного времени.

Судовые часы		Часы № 1	Часы № 2
1. Летнее московское время подачи сигнала 2. Московский номер пояса по стандартному времени	$T_{\text{з}}$ $\text{№}_{\text{з}}$	30 июня 12 <sup>ч</sup> 00 <sup>м</sup> 00 <sup>с</sup> 4 Ost	
3. Всемирное время ( $3=1\pm 2$ ) 4. Номер пояса на яхте	$T_{\text{гр}}$ $\text{№}_{\text{c}}$	30 июня 08 00 00 +2 Ost	
5. Точное судовое время ( $5=3\pm 4$ ) 6. Показание времени по часам	$T_c$ $T_q$	30 июня 10 00 00 10 <sup>ч</sup> 00 <sup>м</sup> 12 <sup>с</sup>	9 <sup>ч</sup> 59 <sup>м</sup> 37 <sup>с</sup>
7. Поправка часов относительно $T_c$ ( $7=5-6$ )	$u_c$	-12 <sup>с</sup>	+23 <sup>с</sup>
8. Поправка часов относительно $T_{\text{гр}}$ ( $8=3-6$ )	$u$	-2 <sup>ч</sup> 00 <sup>м</sup> 12 <sup>с</sup>	-1 <sup>ч</sup> 59 <sup>м</sup> 37 <sup>с</sup>

Пояснения о правилах знаков при расчетах  $T_c$  и  $T_{\text{гр}}$  были даны в формулах (60—63).

Скорость изменения поправки часов называется **ходом часов**; величина изменения поправки часов за сутки называется **суточным ходом**. Для определения суточного хода в течение недели при подготовке к плаванию проведите серию определений поправки часов по радиосигналам; определите систематическое изменение поправки часов  $\Delta u$  за срок наблюдений серии  $\Delta T$  и вычислите суточный ход  $\omega$  (в размерности  $\text{с}/\text{сутки}$ ) по формуле (66). Приближенно суточный ход можно найти как отношение разности последней  $u_n$  и первой из полученных поправок  $u_1$  к интервалу времени  $(T_n - T_1)$  между ними, при условии, что  $\Delta T > 7^{\text{д}}$  и внешняя обстановка работы часов не изменилась.

$$\omega = \frac{\Delta u}{\Delta T^{\text{д}}} \approx \frac{(u_n - u_1)}{(T_n - T_1)}. \quad (66)$$

Приближенной формулой обычно пользуются в море.

Если суточный ход имеет знак «плюс», то часы отстают — идут медленнее равномерно текущего среднего времени, уменьшая отрицательную поправку или увеличивая положительную. Если суточный ход имеет знак «минус», то часы спешат — идут быстрее равномерно текущего среднего времени, увеличивая отрицательную поправку и уменьшая положительную.

Знание суточного хода решает проблему хранения времени: в любой необходимый момент за последним моментом  $T_p$  приема радиосигналов времени и определения по ним поправки часов  $u_p$ :

$$u = u_p \pm \omega (T - T_p)^{\text{д}}, \quad (67)$$

где  $T$  — момент, на который требуется найти поправку часов. Формулу (67) называют **формулой хранения времени**, ее применение показано в примерах 5 и 6.

**Применение секундомера при астронавигационных наблюдениях.** Хорошо отрегулированные перед плаванием секундомеры дают за полчаса работы погрешность показаний не более 1—2<sup>с</sup>, поэтому ими можно пользоваться при астронавигационных обсервациях. Секундомер, пущенный в ход непосредственно по радиосигналу времени, соответствующему какому-то моменту  $T_{\text{гр}}^0$ , позволяет по замеченному его показанию  $T_{\text{сек}}$  найти всемирное время наблюдений:

$$T_{\text{гр}} = T_{\text{гр}}^0 + T_{\text{сек}} \quad (68)$$

Если же секундомер пущен в ход на каком-то начальном показании часов  $T_{\text{ч}}^0$ , то всемирное время наблюдений будет (см. пример 7):

$$T_{\text{гр}} = T_{\text{ч}}^0 + T_{\text{сек}} \pm u \quad (69)$$

**Пример 5.** 7 июля около  $T_{\text{ч}} = 10^{\text{ч}}$  ( $\lambda_{\text{ч}} = 2^{\circ}0^{\text{st}}$ ) по радиосигналам определили поправки часов № 1 и № 2 относительно всемирного времени:  $u_1 = -2^{\text{ч}}00^{\text{м}}34^{\text{с}}$ ,  $u_2 = -1^{\text{ч}}59^{\text{м}}19,5^{\text{с}}$ . Определить суточный ход часов после 30 июня (см. пример 4).

Судовые часы		Часы № 1	Часы № 2
1. Последний срок приема радиосигналов времени	$T_{\text{п}}$	7 июля	$T_{\text{гр}} = 8^{\text{ч}}$
2. Предыдущий срок	$T_1$	30 июня	$T_{\text{гр}} = 8^{\text{ч}}$
3. Интервал (в сутках и их десятых долях) ( $3=1-2$ )	$\Delta T$	7 <sup>д</sup>	0
4. Последняя поправка часов по радиосигналам	$u_{\text{п}}$	$-2^{\text{ч}}00^{\text{м}}34^{\text{с}}$	$-1^{\text{ч}}59^{\text{м}}19,5^{\text{с}}$
5. Предыдущая поправка часов по радиосигналам	$u_1$	$-2\ 00\ 12$	$-1\ 59\ 37$
6. Изменение поправки (6=4—5)	$\Delta u$	$-22^{\text{с}}$	$+17,5^{\text{с}}$
7. Суточный ход с/сутки (7=6:3)	$\omega$	$-3,1^{\text{с}}$	$+2,5^{\text{с}}$

**Пример 6.** 10 июля около  $T_{\text{ч}} = 02^{\text{ч}}30^{\text{м}}$  ( $\lambda_{\text{ч}} = 2^{\circ}0^{\text{st}}$ ) по команде «Ноль!» наблюдателя (в один и тот же физический момент) замечены показания часов № 1 и № 2:

$$T_1 = 2^{\text{ч}}20^{\text{м}}19^{\text{с}}, \quad T_2 = 2^{\text{ч}}18^{\text{м}}50^{\text{с}}.$$

Определить всемирное время в момент команды «Ноль!» (по исходным данным примера 5).

Судовые часы		Часы № 1	Часы № 2
1. Судовое время приближенно	$T_{\text{ч}}$	10 июля	$02^{\text{ч}}30^{\text{м}}$
2. Номер пояса на яхте	$N_{\text{ч}}$		$2^{\circ}0^{\text{st}}$

Судовые часы		Часы № 1	Часы № 2
3. Всемирное время ( $3=1\pm 2$ )	$T_{\text{гр}}$	10 июля	00 30 = 24 30
4. Последний прием радиосигналов времени	$T_p$	7 июля	8 <sup>ч</sup> по $T_{\text{гр}}$
5. Интервал времени ( $5=3-4$ )	$T - T_p$	$2\lambda + \frac{16,5^{\circ}}{24} = 2,7\lambda$	
6. Суточный ход часов	$\omega$	-3,1	+2,5
7. Изменение поправки часов ( $7=6\times 5$ )	$\Delta u$	-8,5 <sup>с</sup>	
8. Последняя поправка часов по радиосигналам	$u_p$	-2 <sup>ч</sup> 00 <sup>м</sup> 34 <sup>с</sup>	-1 <sup>ч</sup> 59 <sup>м</sup> 19,5 <sup>с</sup>
9. Новая поправка ( $9=8+7$ )	$u$	-2 00 42,5	-1 59 12,5
10. Момент наблюдений по часам	$T$	2 20 19	2 18 50
11. Всемирное время наблюдений в момент команды «Ноль!» с точностью до 1 <sup>с</sup> ( $11=9+10$ )	$T_{\text{гр}}$	0 19 36,5 10 июля	0 19 37,5

Вывод: служба времени ведется правильно. Промахов в поправках часов и вычислениях нет.

**Пример 7.** 10 июля по часам № 1 в момент  $T_q^o = 2^{\circ}30'00^{\circ}$  пущен секундомер, поправка часов  $u = -2^{\circ}00'42,5^{\circ}$ . При измерении высоты светила зарегистрирован момент по секундомеру  $T_{\text{сек}} = 23^{\circ}41'$ . Вычислить всемирное время измерения высоты.

**Решение:** 10 июля  $T_q^o = 2^{\circ}30'00^{\circ}$ .

$$\dot{u} = -2 00 42,5$$

При пуске: 10 июля  $T_{\text{гр}} = 0 29 17,5$   
 $T_{\text{сек}} = 23 41$

При наблюдениях: 10 июля  $T_{\text{гр}} = 0^{\circ}52'58,5^{\circ}$ .

**Приближенное ориентирование во времени по наблюдениям светил.** Если из-за обстоятельств плавания потеряна ориентировка во времени, ее можно восстановить по наблюдениям светила одним из следующих способов:

1. Изготовьте из подручных средств солнечные часы, как показано на рис. 92. Измерив с их помощью меридианное солнечное время  $T_m^{\odot}$  и действуя по схеме, данной в примере 2, получите меридианное (местное) сред-

нее время  $T_m$  с погрешностью до 3—4<sup>м</sup>. Точность пересчета  $T_m$  в  $T_c$  зависит от того, насколько хорошо известна долгота своего места (погрешность в долготе на 15' дает погрешность во времени, равную 1<sup>м</sup> и т. п.).

2. Меридианное время  $T_m$  восхода и захода верхнего края Солнца по дате и известным координатам места наблюдений можно вычислить по МАЕ или, с меньшей точностью, по графикам  $T_m^{\odot}$  из МТ-75\*. Наблюдая Солнце в момент восхода или захода его верхнего края, установите на вычисленное  $T_m$  свои часы. Затем наметьте вперед какой-либо удобный момент  $T_m$ , пересчитайте его в  $T_c$  по схеме, данной в примере 2; дождитесь наступления намеченного  $T_m$  и переставьте часы на  $T_c$ .

3. Приближенно оцените время по часовому углу Солнца, как это показано на рис. 91 и объяснено в § 7.2.

\* См. Мореходные таблицы (МТ-75), ГУНиО, МО, 1975. Приложение 10.

4. По наименьшей длине солнечной тени от вертикально установленного шеста зафиксируйте наступление местного полудня  $T_m^{\odot} = 12^{\text{ч}}00^{\text{м}}$ . Эта работа будет выполнена точнее, если по часам зарегистрировать моменты наступления нескольких теней равной длины до и после полудня, а затем взять средние результаты. По схеме, данной в примере 2, вычислите среднее местное время  $T_m$  по известному  $T_m^{\odot}$ . Вычтя из  $T_m$  показание своих часов  $T_{\text{ч}}$  на момент полудня, получите поправку часов относительно меридианного среднего времени.

5. Наблюдая звездное небо, опознайте Полярную, Кассиопею и Большую Медведицу (см. рис. 87). Глазомерно оцените звездное время  $t^{\Upsilon}$ : оно равно часовому углу звезды Кафф. Если измерен часовий угол звезды Фекда, то  $t^{\Upsilon} = t_m^* - 12^{\circ}$ . Выбрав из приложения 4, в вспомогательную величину  $R$ , прибавьте ее к  $t^{\Upsilon}$  — получите меридианное среднее время  $T_m$ . При тщательных измерениях  $T_m$  по звездам можно оценить с погрешностью до  $10^{\text{м}}$ . При необходимости переведите  $T_m$  в судовое время по схеме, данной в примере 2.

Пример 8. 8 декабря наблюдали (см. рис. 87):

Звезды		Кафф	Фекда
1. Часовой угол звезды	$t_m^*$	$2^{\text{ч}} (30^{\circ})$	$14^{\text{ч}} (210^{\circ})$ —12
2. Звездное время 3. $R$ из приложения 4, в	$t^{\Upsilon}$	$2^{\text{ч}} 19^{\text{м}}$	$2^{\text{ч}} 19^{\text{м}}$
4. Меридианное время	$T_m$	$21^{\text{ч}}$	$21^{\text{ч}}$

### 7.3. Оценка астронавигационной обстановки

Человек лучше работает, лучше видит и опознает ориентиры, если обстановка наблюдений известна ему заранее и он предвидит развитие событий. В сложных морских условиях это верно вдвойне; астронавигационные обсервации лучше заранее продумывать и планировать все необходимые наблюдения. Для этого надо заранее вычислять сроки наступления сумерек по судовому времени, уметь оценивать расположение светил на небосводе как в темное, так и в светлое время суток. Расчеты освещенности горизонта важны и в интересах безопасности плавания: большинство аварий происходит в темное время суток.

**Солнечная освещенность.** Освещен-

ность небосвода и морского горизонта по различным направлениям от наблюдателя зависит от направления на Солнце и его высоты, которые изменяются в течение дня, а также со сменой района плавания или календарной даты. В данном месте и в летний день для наблюдателя в северном полушарии Земли картина видимого суточного движения Солнца показана схематически на рис. 93, где линия горизонта развернута к востоку и к западу от точки юга. После полуночи (точка 1) Солнце перемещается по небесной параллели и приближается к линии горизонта. При его снижении на  $-12^{\circ}$  (точка 2) начинает светить и становится различимой линия горизонта, что позволяет начать измерения высот звезд навигационным секстантом — начинаются утренние навигаци-

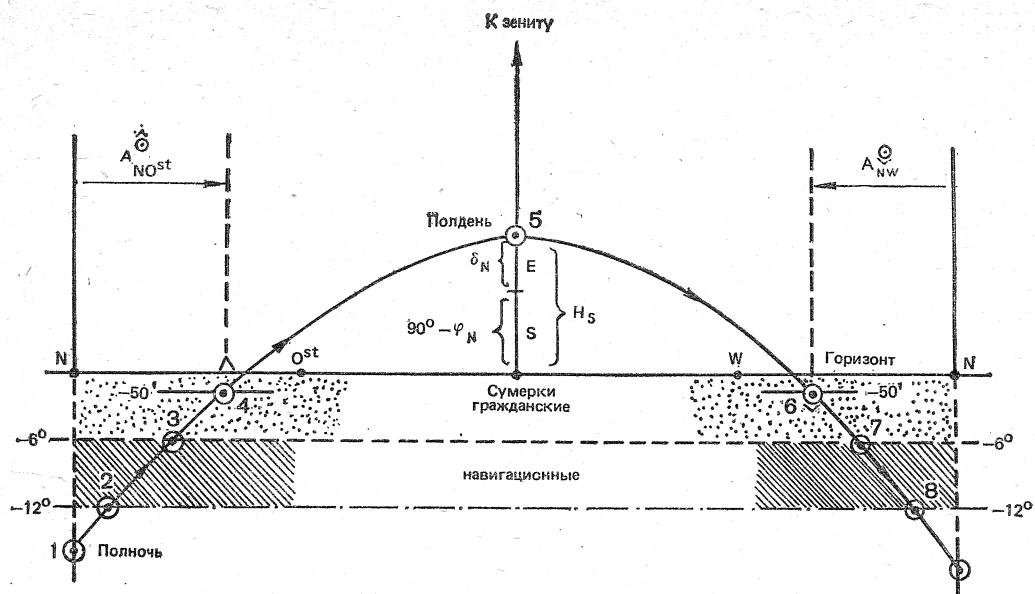


Рис. 93. Естественная солнечная освещенность в течение суток

**онные сумерки.** С приходом Солнца на снижение  $-6^\circ$  светает настолько, что звезды перестают быть видимыми невооруженным глазом — заканчиваются навигационные и начинаются **утренние гражданские сумерки**, которые делятся до восхода верхнего края Солнца (наблюдаются при снижении Солнца около  $-50'$  от уровня моря). В оптику секстанта навигационные звезды видны и в начале гражданских сумерек, поэтому данные измерения высот звезд при ясном горизонте наиболее точны, если выполняются в непосредственной близости к моменту окончания навигационных и начала утренних гражданских сумерек.

В полдень (точка 5) Солнце достигает наибольшей высоты  $H = (90^\circ - \varphi_N) \pm \delta_s^N$ , освещенность максимальна. Вечером после захода верхнего края Солнца (в точке 6) наступают **вечерние гражданские сумерки**; они заканчиваются при снижении Солнца на  $-6^\circ$ , и начинают вечерние навигационные сумерки. Вечерние наблюдения

звезд навигационным сектантом возможны до его снижения на  $-12^\circ$  (точка 8), но лучше всего их делать вблизи конца гражданских и начала вечерних навигационных сумерек (точка 7).

Моменты судового времени восхода и захода Солнца вычисляют по МАЕ и МТ-75; моменты наступления сумерек вычисляют по МАЕ.

**Лунная освещенность.** При астронавигационных наблюдениях лунная освещенность учитывается как фактор, позволяющий измерять высоты звезд в ночное время. Она определяется возрастом Луны (см. § 7.1) и оптимальна при высоте  $10-40^\circ$  в периоды между квадратурами и полнолунием. Полная оценка лунной освещенности производится по МАЕ, приближенное представление о ней можно составить по формуле (58) и рис. 89.

Оценивать астронавигационную обстановку (освещенность горизонта и видимость светил, их расположение на небосводе) лучше всего при подготовке к плаванию, тогда в море потребу-

ется лишь незначительное ее уточнение применительно к конкретному месту и времени наблюдений.

#### 7.4. Определение направления движения яхты и поправки компаса по наблюдениям светила

В главе 6 говорилось, что направление движения яхты определяется путевым углом ПУ, который находят с учетом истинного курса яхты ИК и угла сноса  $c$ . Истинный курс, в свою очередь, можно определить по компасному курсу и поправке компаса:  $ИК = КК + \Delta K$ .

В отсутствие компаса ИК можно определить по известному истинному пеленгу светила и курсовому углу светила КУ:  $ИК = ИП \pm КУ$  (КУ левого борта прибавляется, КУ правого борта вычитается).

В открытом море единственный способ определения поправки компаса — астрономический, так же как и единственный путь для ориентирования по направлению движения (без компаса), — это курсоуказание относительно направления на наблюдалось светило, с последующим вычислением ИК по КУ и ИП светила. Режим «открытого моря» в прибрежном плавании часто создается из-за потери из видимости береговых ориентиров при ухудшении горизонтальной видимости и т. п.

**Ориентирование относительно направления на Полярную.** Полярная — лучший объект для ориентирования по направлению (см. рис. 87), так как ее истинный пеленг находится достаточно точно при самом приближенном представлении о месте яхты и времени наблюдений.

ИП Полярной легко определяется по наблюдаемому на небе расположению созвездий Кассиопеи или Большой Медведицы, так как Полярная удалена от Северного полюса мира  $P_N$  на  $1^\circ$  в сторону звезды в Кассиопеи (противоположно направлению на  $\eta$  Большой

Медведицы). Если  $\epsilon$  Кассиопеи или Бенетнаш наблюдаются на одной вертикали (в одной вертикальной плоскости) с Полярной, то ее  $ИП = 0^\circ = 360^\circ$ . Если Кассиопея наблюдалась слева от Полярной (рис. 94, а), то приближенно можно принять ИП Полярной  $= 359^\circ$  при широте места менее  $50^\circ$  или ИП Полярной  $= 358^\circ$  при широте места от  $50^\circ$  до  $65^\circ$ . Если Бенетнаш наблюдалась слева от Полярной, то ИП Полярной соответственно широте места равен  $1^\circ$  или  $2^\circ$  (рис. 94, б).

Более точно и в любой момент наблюдений ИП Полярной получается из прилож. 4,  $g$  входом по широте места (или по высоте Полярной) и по звездному времени  $t\Upsilon$ , которое может быть вычислено по приложению 4,  $v$  или 4,  $d$  (см. примеры 7 и 9) или же получено непосредственно глазомерной оценкой часового угла звезды Кафф или звезды Фекда (см. § 7.2 и пример 8).

Измерив КП Полярной и вычислив ее ИП на момент измерения, можно найти поправку компаса:  $\Delta K = ИП - КП$ . Если непосредственное пеленгование звезды с компаса невозможно, то с несколько меньшей точностью КП получается при одновременном измерении курсового угла звезды и компасного курса:  $КП = КК \pm КУ$ .

Найденная величина  $\Delta K$  полезна не только для контроля правильности курсоуказания. Если на показания магнитного компаса не влияет близко расположенное железо или магнитная буря, то поправка компаса должна быть равна найденному по морской карте магнитному склонению в данной местности. Нарушение этого равенства является одним из признаков неверного знания координат места наблюдений.

В отсутствие компаса курсоуказание по Полярной осуществляется приведением ее на курсовой угол, при котором яхта пойдет по намеченному пути:  $КУ = ИП - (ПУ - c)$ . После приведения Полярной на вычисленный КУ, удобно

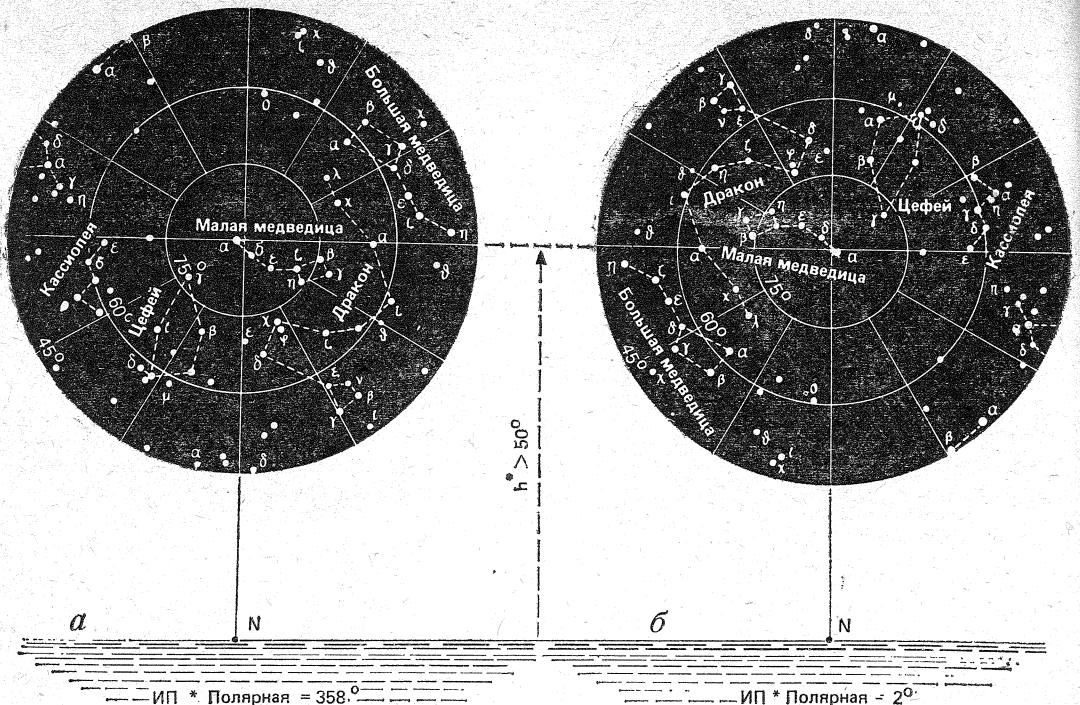


Рис. 94. Истинный пеленг Полярной по расположению созвездий Кассиопеи и Большой Медведицы относительно горизонта

заметить какое-либо яркое светило, наблюдаемое на малой высоте по носу яхты, и править по КУ на это светило. С течением времени направления на светила изменяются; изменение же ИП Полярной мало и легко определяется по прилож. 4, г. Курсовой угол вспомогательного светила, наблюдаемого по носу, необходимо уточнять по мере надобности.

**Пример 9.** 20 сентября в момент по судовому времени  $T_c = 04^{\text{ч}}52^{\text{м}}$  наблюдали звездное небо в виде показанного на рис. 87. Место яхты:  $\phi = 58^{\circ}05'N$ ,  $\lambda = 17^{\circ}02'0^{\text{ст}}$ . Часы

установлены по летнему московскому времени,  $\lambda_c = 4^{\text{ч}}0^{\text{м}}$ . Измерили компасный пеленг Полярной КП =  $3,0^\circ$ . Требуется:

1. Определить поправку компаса.
2. Вычислить КУ, на который в отсутствие компаса следует привести Полярную, если задан ПУ =  $60^\circ$  и угол сноса  $c = +8^\circ$ .

**Решение:**

1. Определение ИП Полярной:  
а) глазомерно: так как в Кассиопеи (или Бенетнаш) видна на одной вертикали с Полярной, то ее ИП =  $0^\circ$ ;

б) при определении звездного времени по звезде Кафф (или Фекде):  
часовой угол \* Кафф  $t_m = 2^{\text{ч}} = 30^\circ = t^\gamma$ ;  
часовой угол \* Фекда  $t_m = 210^\circ$ ;  
 $t^\gamma = 210^\circ - 180^\circ = 30^\circ$ .

Из прилож. 4, г по широте места и  $t^\gamma$ : ИП =  $360^\circ$ ,  $1^\circ = 0,1^\circ$ ;

в) при вычислении звездного времени с помощью приложения 4, в.

1. Судовое время измерения компасного пеленга	$T_c$ $\pm N_{C_w}^{Ost}$	сентябрь, 20 04 <sup>ч</sup> 52 <sup>м</sup>
2. Часовой пояс на яхте		4 Ost
3. Всемирное время ( $3=1\pm 2$ )	$T_{gp}$ $\pm \lambda_W^O$	сентябрь, 20 00 <sup>ч</sup> 52 <sup>м</sup>
4. Долгота места		1 <sup>ч</sup> 08 <sup>м</sup>
5. Меридианное время ( $5=3\pm 4$ )	$T_m$ $R$	сентябрь, 20 02 <sup>ч</sup> 00 <sup>м</sup> 12 <sup>м</sup>
6. Вспомогательная величина		
7. Звездное время ( $7=5-6$ )	$t_Y$	01 <sup>ч</sup> 48 <sup>м</sup>
8. ИП Полярной из прилож. 4, г	ИП	$360,1^\circ = 0,1^\circ$

Пояснения к расчетам даны в примерах 1, 3, в § 7.2 для действий 1—3. При действии 4 долгота места переводится в часовую меру по прилож. 4, б с округлением до целой минуты. В действии 6 — суточное изменение  $R$  умножено на интервал времени (23 сентября — 20 сентября) и с учетом данных нижней шкалы взято  $R = 12^m = 4^m \times 3$ .

**Примечание.** Звездное время с очень высокой точностью может быть вычислено по МАЕ или по прил. 4, д, но при ориентировании по Полярной этого не требуется (см. пример 12).

2. Вычисление поправки компаса:

$$\Delta K = IP - KP = 0,1^\circ - 3,0^\circ = -2,9^\circ.$$

3. Вычисление КУ Полярной для курсоуказания (пренебрегая долями градуса, несущественными для навигации на яхте):

$$KU = 0^\circ - [60^\circ - (+8^\circ)] = -52^\circ \quad (\text{левого борта}).$$

Схема решения этого примера понятна из рис. 87.

**Ориентирование относительно направления на звезду или Солнце.** Хорошая штурманская практика предполагает систематический контроль за поправкой компаса и правильностью текущего курсоуказания. Поправку компаса рекомендуется определять после поворота на новый курс и каждый раз при смене вахты. Для ориен-

тирования по направлению движения и определения поправки компаса можно наблюдать любое светило (например, звезду α Близнецов — см. рис. 87).

Порядок действий при определении поправки компаса по наблюдениям любого светила показан на рис. 95. Поясним эту работу:

1. При подготовке к наблюдениям следует проверить пеленгатор компаса и показания рабочих часов — они должны быть установлены по точному судовому или всемирному времени с погрешностью не более 0,1 м (см. раздел 7.2). Опознав наблюдаемые светила, выберите из них наиболее выгодное для пеленгования — оно должно быть хорошо видно от компаса и иметь малую высоту: чем меньше высота светила, тем точнее получается поправка компаса. Хорошо наблюдать то светило, которое непосредственно видно через предметную мишень пеленгатора (без помощи откидного зеркала).

2. Одновременно регистрируют компасный пеленг светила  $KP_i$  и момент по часам  $T_i$  (с точностью до 0,2 м). При измерении пеленга необходимо со всей

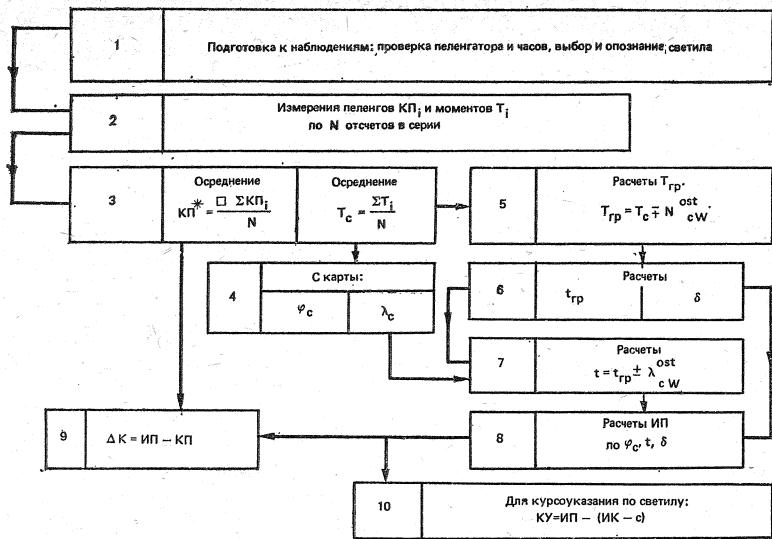


Рис. 95. Структурно-формульная схема курсоуказания по светилу и определения поправки компаса

возможной точностью удерживать котелок компаса в горизонтальной плоскости и, наведя нить пеленгатора на звезду или центр диска Солнца, немедленно произвести точный отсчет КП<sub>i</sub> и записать его. Сразу после записи КП<sub>i</sub> записать показание часов, отбросив 0,1—0,2<sup>м</sup> (потраченные на запись КП). При работе с помощником по команде наблюдателя «Ноль!» в момент измерения КП<sub>i</sub> помощник регистрирует и записывает показание часов  $T_i$ , а затем продиктованный наблюдателем отсчет КП<sub>i</sub>. Для компенсации случайных погрешностей принято измерять серию пеленгов и моментов.

3. Расчет средних арифметических значений величин КП и Т. В отсутствие пеленгатора или в случае невозможности пеленговать непосредственно по компасу, следует одновременно регистрировать курсовой угол светила, компасный курс и момент времени, а затем вычислять КП<sub>i</sub> светила.

4. На средний момент пеленгования  $T$  по навигационной прокладке пути яхты находят ее координаты  $\varphi_c$  и  $\lambda_c$ .

5—7. Вычисляют всемирное время наблюдений  $T_{rp}$ , соответствующие ему координаты географического места светила  $\delta$  и  $t_{rp}$ ,  $t_m$ . Детальное пояснение этого этапа изложено в § 7.5.

8. По широте места наблюдений  $\varphi_c$ , склонению светила  $\delta$  и местному часовому углу светила  $t_m$  находят истинный пеленг светила ИП.

9. Сравнив ИП и КП, находят поправку компаса  $\Delta K = \text{ИП} - \text{КП}$ , справедливую для того компасного курса, на котором пеленговали светило.

При плавании без компаса по ИП светила вычисляют тот КУ, на котором следует удерживать светило для следования по заданному направлению пути (см. пример 9). Знание этого КУ полезно и для текущего контроля за направлением движения при курсоуказании по компасу.

На восьмом этапе работы ИП све-

тила может быть найден с помощью ЭКВМ, по таблицам ВАС-58 или по номограмме № 90199 (ее можно получить вместе с навигационными картами в порту).

Правила расчета ИП светила с помощью таблиц ВАС-58 даны непосредственно в их описании. Отметим только, что эти таблицы дают азимут в полукруговом счете, и его надо будет обратить в ИП (см. § 7.1).

«Клавишный алгоритм» и тестовую задачу расчета ИП светила на ЭКВМ типа «Электроника» рассмотрим на примере определения поправки компаса по наблюдениям Солнца.

**Пример 10.** 13 апреля в Эгейском море для определения поправки компаса измерили серию КП Солнца:

$KP_i$	$T_i$
253,1°	15 <sup>ч</sup> 48,5 м
253,2	49,1
253,0	49,6
253,4	50,2
253,7	50,7

$\varphi_c = 38^{\circ}35,4'N;$   
 $\lambda = 25^{\circ}08,2'0''E$   
 $KK = 200^{\circ}$

Средние:  $KP\odot = 253,3^{\circ}$  и  $T = 15^{\text{ч}}49,7^{\text{м}}$ .  
Судовое время — по 2 восточному поясу.  
По МАЕ на момент  $T_{\text{гр}} = 15^{\text{ч}}49,7 - 2 = 13^{\text{ч}}49,7^{\text{м}}$  вычислили:

$$\delta^{\odot} = 8^{\circ}55,6'N \text{ и } t_m = 52^{\circ}06,4'W.$$

### Рассчитать ИП Солнца и поправку компаса

1	Очистить память ЭКВМ согласно инструкции по ее эксплуатации									
	Аргументы		Операции						Индикатор	
2	$t_m = 52^{\circ}06,4'W$	6,4	$\div$	60	$+$	52	$=$	(п. 5 и 9)	52,106666	
3	$\varphi = 38^{\circ}35,4'N$	35,4	$\div$	60	$+$	38	$=$	(п. 6 и 8)	38,59	
4	$\delta = 8^{\circ}55,6'N$	55,6	$\div$	60	$+$	8	$=$	(п. 7)	8,92666666	
5	52,10667	$\Phi$	$cos$	$\Phi$	ЗАП				0,614194	
6	38,59	$\Phi$	$tg$	X	$\Phi$	ИП	$=$	(—) $\Phi$ $\leftarrow$	0,614194	
7	8,92667	$\Phi$	$tg$	$\Phi$	П+	(или П—, если $\delta$ южное*)			0,157073	
8	38,59	$\Phi$	$cos$	X	$\Phi$	ИП	$=$	$\Phi$ $\leftarrow$	-0,3330556	
9	52,10667	$\Phi$	$sin$	$\div$	$\Phi$	ИП	$=$	$\Phi$ $arc$ $tg$	$A' =$ -71,74335	
10	Если $A' = + \dots$ , то $A_n = A'$ ; иначе:	$+$	180	$=$					$A_n =$ 108,25665 N W	
11	Если $A_n = \dots NO^{st}$ , то ИП = $A_n$ ; иначе:	(—)	$+$	360	$=$				ИП = 251,7°	
12	Средний компасный пеленг								$KP = 253,3^{\circ}$	
13	Поправка компаса								$\Delta K = -1,6^{\circ}$	

\* Только при плавании в северных широтах; иначе [П—] при  $\delta$  северном

Пп. 2—4: исходные величины выражают в градусах и их долях; в некоторых ЭКВМ возможен непосредственный ввод дуговых минут; в круглых скобках указан адрес для записи показаний индикатора в пп. 5—9. Дальнейшие показания индикатора записывать нет необходимости вплоть до получения

конечного результата; здесь они приведены только для иллюстрации решения тестовой задачи.

Пп. 5—9: решение выполняется простым набором аргументов и последовательным нажатием клавиш операций, в ходе чего реализуется формула:

$$\operatorname{tg} A = \frac{\sin t_M}{(\operatorname{tg} \delta - \operatorname{tg} \varphi \cos t_M) \cos \varphi} . \quad (70)$$

Во многих ЭКВМ клавиша функции  $\Phi$  обозначена по латыни  $F$ . В ЭКВМ с большим количеством регистров памяти расчет азимута более экономичен. Подобно показанному «claveишному алгоритму», нетрудно составить удобное пособие для работы на любой имеющейся ЭКВМ.

Обратить внимание на перемену знака с  $\boxed{[+]} \rightarrow \boxed{[-]}$  для южного склонения светила.

П.10: формула дает азимут полукругового счета — первая буква его наименования одинакова с наименованием широты места наблюдений, вторая определяется по наименованию часового угла в полукруговом счете. Полезно сравнить полученный  $A_p$  с КП светила для проверки правильности его наименования соответственно стороне горизонта, на которой наблюдали светило (на востоке или на западе).

П.11: правило перевода  $A_p$  в ИП дано для плавания в северных широтах.

Для быстрого вычисления ИП светила с погрешностью до  $1^\circ$ , приемлемой для плавания на яхте, удобна номограмма № 90 199 издания ГУНиО МО. Схема правой половины этой номограммы, применяемой в северных широтах, и порядок действий при пользовании ею приведены в приложении 4, з. Решение примера 10 по номограмме дает ИП =  $252^\circ$ . Она особенно удобна для курсоуказания по светилу, так как быстро и наглядно показывает изменение ИП светила с течением времени. Помня, что каждые 4 минуты западный часовой угол возрастает (восточный — уменьшается) на  $1^\circ$ , получим в рассматриваемом примере:

спустя  $15^m$  после пеленгования  $t \approx 56^\circ$  и ИП =  $255^\circ$ ,

спустя  $30^m$  после пеленгования  $t \approx 60^\circ$  и ИП =  $258^\circ$ .

Перемена широты места и склонения влияют менее заметно и учитываются по мере необходимости.

**Ориентирование по наблюдениям Солнца вблизи горизонта.** Центр Солнца находится в плоскости истинного горизонта (перпендикулярной от-

весной линии) в тот момент, когда с яхты наблюдается высота его нижнего края над видимым в средних условиях морским горизонтом, равная около  $0^\circ 18' \approx 0,5$  видимого диаметра Солнца. Это явление называется истинным восходом (заходом) Солнца, азимут которого легко получить по приложению 4, е (номограмма из МТ-75). Входом по широте места и склонению Солнца в день наблюдений (полученному, например, из приложения 4, в) выбирается азимут явления в полукруговом счете; ключ к номограмме показан на рисунке.

По табл. 20, а, б МТ-75 таким же путем получается полукруговой азимут восхода (захода) верхнего края Солнца на горизонте, видимый с высоты глаза 12 м. В МТ-63 аналогичная таблица дает азимут этого явления при наблюдениях с уровня моря.

Во всех этих случаях азимуты переводят в ИП, как это было дано в примере 10, после чего можно приближенно определить поправку компаса по наблюденному КП восхода (захода).

Этот способ применяют при плавании в малых и умеренных широтах, но наблюдениям часто препятствует плохая видимость горизонта.

Если от восхода и до захода Солнца широта места изменяется незначительно, то, измерив компасный пеленг  $\widehat{\text{видимого восхода КП}} \odot$  и видимого захода  $\text{КП} \odot$ , можно определить поправку компаса, не пользуясь никакими пособиями (см. рис. 93 и 96). Средний пеленг, вычисленный по двум имеющимся, равен компасному пеленгу истинной точки юга  $S$ , поэтому:

$$\Delta K = 180^\circ - \frac{\widehat{\text{КП}} \odot + \widehat{\text{КП}} \odot}{2} . \quad (71)$$

При наличии секстанта направление на юг может быть приближенно определено по наступлению наибольшей

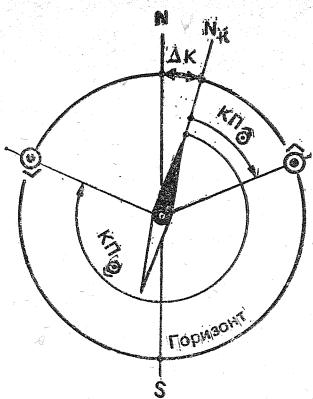


Рис. 96. Определение поправки компаса по пеленгам восхода и захода Солнца

наблюдаемой высоты Солнца (соответствует моменту наступления кратчайшей тени от вертикально установленного шеста). Направление на точки востока и запада может быть приближенно определено по приходу Солнца на высоту, указанную в табл. 21 (МТ-75), либо по восходу и заходу звезды δ Ориона (верхняя в «поясе Ориона»).

Изложенные правила и рекомендации ориентирования по наблюдениям направлений на светила даны в предположении плавания в северных широтах выше параллели  $23,5^{\circ}N$ .

### 7.5. Ориентирование по местонахождению

Астронавигационные способы определения места доступны в любом районе плавания и в любое время суток, если по метеорологическим условиям светила можно наблюдать, а другие способы исключаются обстановкой. Астронавигационные способы обсервации проверены вековой практикой мореплавания. Во многих случаях они дают наиболее точный результат, а часто являются единственными возможными способами контроля счисления пути.

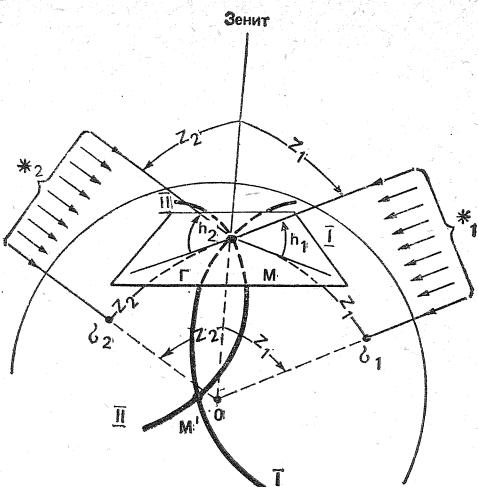


Рис. 97. Астронавигационное место яхты определяется точкой пересечения кругов равных высот I—I и II—II на поверхности Земли

**Принцип определения географического места яхты по наблюдениям светил.** Предположим, что яхта находится в точке М Атлантического океана (рис. 97) и на морской карте это место изображается в точке  $\bar{M}$  (рис. 98). Отвесная линия в месте нахождения яхты имеет направление  $OM$  — на яхте его можно указать с помощью отвеса (груза, подвешенного на нити) или относительно направления на горизонт, так как плоскость горизонта Г всегда перпендикулярна отвесной линии.

По определению географических координат (см. гл. 6) видно, что они изменяются вследствие изменения направления отвесной линии при перемещении из одного места на Земле в другое: плоскость меридиана места всегда проходит через ось вращения Земли и отвесную линию в данном месте, широта указывает угол  $\phi$  между плоскостью экватора и направлением отвесной линии, долгота  $\lambda_0$  определяет положение меридиана места относительно начального (Гринвичского) меридиана. Поэтому для опре-

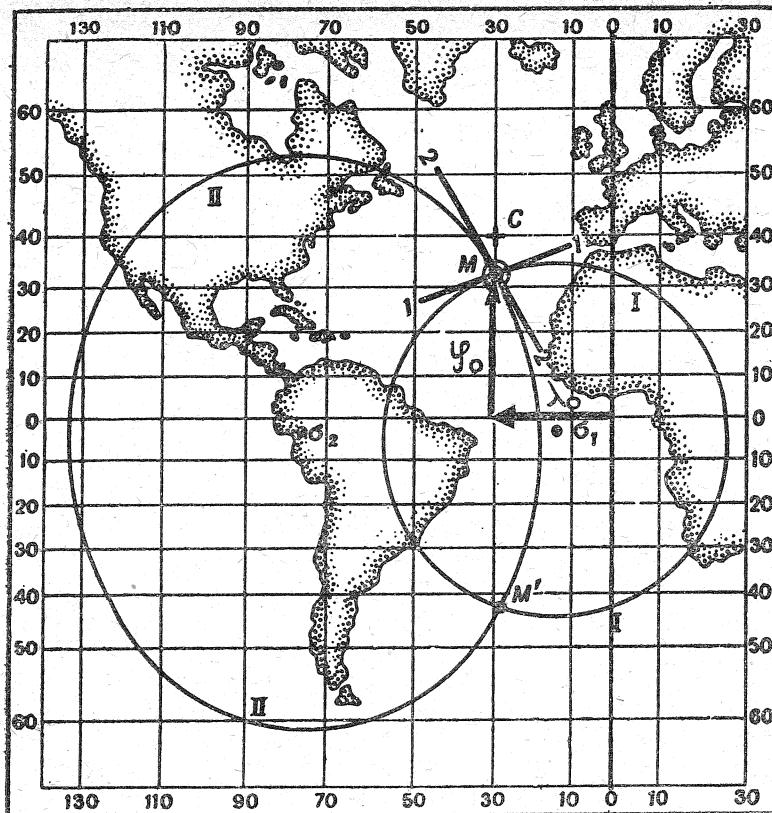


Рис. 98. На морской карте круги равных высот — сложные кривые, их заменяют высотными линиями положения 1—1 и 2—2

деления географического места яхты достаточно найти направление отвесной линии в месте наблюдений относительно направлений на внешние ориентиры, географическое положение которых известно.

Если с яхты наблюдаются светила  $*_1$  и  $*_2$ , то можно полагать, что географические места этих светил известны — в § 7.1 было пояснено, что широта точки  $\sigma_1$  тождественна склонению светила  $*_1$  ( $\phi^* = \delta_1$ ), а ее долгота — гринвичскому часовому углу светила  $(\lambda_1^* = t_{\text{гр}})$  в полукруговом счете; аналогично можно записать, что  $\Phi_2^* =$

$= \delta_2$ ;  $\lambda_2^* = t_{\text{гр}}$ . Склонения и гринвичские часовые углы светил легко получить на момент наблюдений из МАЕ или другого пособия аналогичного назначения. Следовательно, географические места светил  $\sigma_1$  и  $\sigma_2$  можно рассматривать в качестве «маяков» и относительно них определить место яхты, если измерить расстояния  $z_1$  и  $z_2$ . Подобно навигационному определению места яхты по расстояниям до двух маяков, астронавигационное место яхты получится в пересечении двух окружностей, описанных радиусами  $z_1$  и  $z_2$  из соответствующих им географических мест светил  $\sigma_1$  и  $\sigma_2$ . Двойственность решения задачи легкоразрешима: расстояние между возможными местами  $M$  и  $M'$  очень велико, и

счислимое место С указывает, что яхта была в точке М.

Расстояния  $z_1$  и  $z_2$  можно получить двумя путями, учитывая, что лучи от светил, приходящие в центр Земли и на яхту, параллельны. Расстояние  $z_1$  равно длине дуги, измеряющей угол  $z_1$  при центре Земли. Но этот угол равен углу между отвесной линией  $Mz$  и направлением на светило  $M\sigma_1$ , иначе говоря — зенитному расстоянию первого светила. Аналогично расстояние  $z_2$  равно зенитному расстоянию второго светила. Непосредственное измерение зенитных расстояний  $z_1$  и  $z_2$  можно выполнить астролябией (см. рис. 103), где положение ответной линии определяется с помощью отвеса.

В морских условиях измерения зенитных расстояний астролябией трудны и не всегда достаточно точны. Лучший результат дает применение навигационного секстана, которым измеряют угол между плоскостью горизонта и направлением на светило, т. е. высоту светила  $h$ . По известной высоте легко найти зенитное расстояние:  $z_1 = 90^\circ - h$ .

Нетрудно видеть, что в любой точке окружности радиуса  $z$  высота светила одинакова, поэтому ее называют **кругом равных высот**. Круг равных высот на морской карте отличается от окружности, кроме того, в подавляющем большинстве случаев географические места светил не помещаются на путевой карте. Поэтому непосредственно круги равных высот радиусами  $z_1$  и  $z_2$  не строят. Небольшие отрезки кругов равных высот вблизи счислимого места полагают прямыми 1—1 и 2—2 (рис. 98); их называют **высотными линиями положения** и строят на путевых картах при астронавигационных обсервациях.

Таким образом, для астронавигационного определения места необходимо:

— измерить высоты (или зенитные

расстояния) светил и соответствующие им моменты времени;

— вычислить координаты географических мест светил на моменты измерений высот;

— построить высотные линии положения на путевой карте;

— привести эти линии положения к одному месту наблюдений (если яхта в ходе наблюдений перемещалась) и найти обсервованное место, а также рассчитать точное судовое время обсервации;

— сравнить результаты счисления и обсерваций, принять решение о причинах обнаруженного сноса яхты с намеченного пути и необходимой корректуре навигационной прокладки.

Точность обсервации в первую очередь зависит от точности измерений высот, а также точности их исправления поправками, компенсирующими погрешности секстана и влияние внешней среды. Надо помнить, что высотная линия положения очень чувствительна к погрешностям в высоте светила. Например, погрешность в высоте на  $1'$  дает смещение линии положения от верного места яхты на 1 милю, т. е. погрешность высоты равна погрешности линии положения.

**Измерение и исправление высоты светила.** Для измерения высоты светила секстан устанавливают в вертикальной плоскости, проходящей через светило  $\sigma$  (рис. 99). Малое зеркало (2) и большое зеркало (5) секстана перпендикулярны плоскости его рамы (3). В рабочем положении секстан удерживают рукояткой (9), опирающейся на планку (8). Наблюдения выполняют с помощью **ночной трубы** (7); ее поле зрения показано справа внизу или **дневной трубы** (6), имеющей большее увеличение, но меньшее поле зрения и перевернутое изображение.

Луч от прямовидимого в трубу горизонта Г непосредственно попадает в глаз наблюдателя О (в необходимых

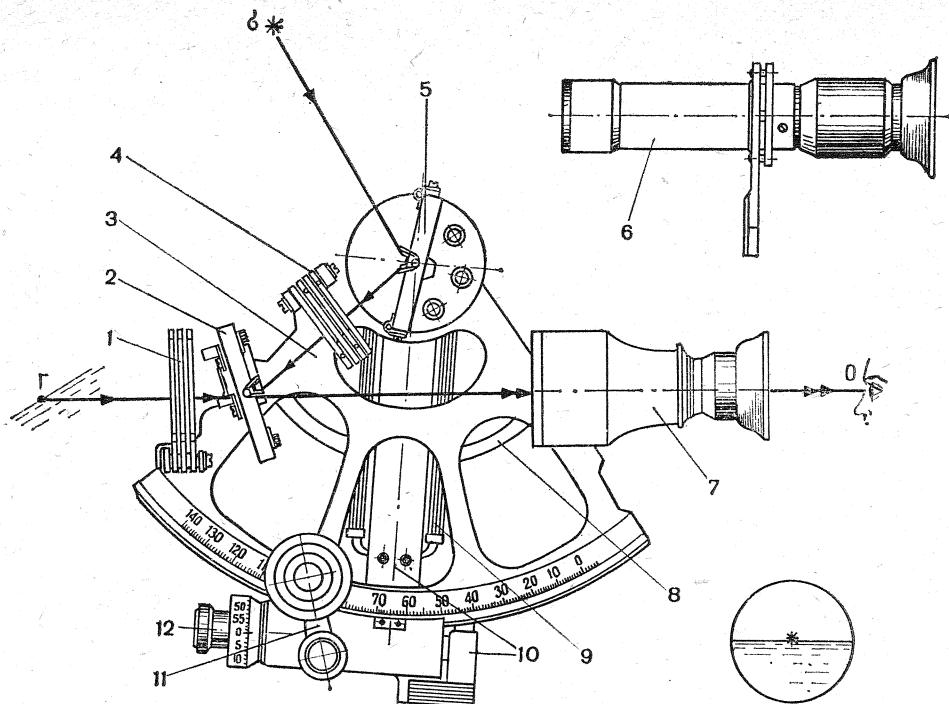


Рис. 99. Секстан навигационный в тропическом исполнении (ЧНО-Т)

случаях контрастность линии горизонта улучшают светофильтрами (1). Луч от светила с попадает в большое зеркало, которое разворачивают подвижной линейкой — алидадой (10) в такое положение, при котором луч от светила пройдет к малому зеркалу и от него — к глазу наблюдателя. Таким путем добиваются приближенного сведения изображения горизонта и отраженного изображения светила в поле зрения трубы. Отпустив стопор алидады, вращением барабана **точного отсчета** (12) добиваются точного совмещения изображения светила и горизонта при вертикальном положении рамы секстана. Отсчет высоты получают суммированием грубого отсчета по градусной шкале лимба, нанесенного на раме, и точного отсчета по минутной шкале на барабане.

Ночью пользуются **осветителем** шкал (11). При наблюдениях Солнца между большим и малым зеркалами устанавливают один из **светофильтров** (4).

При подготовке к плаванию проверяют параллельность оси трубы плоскости рамы секстана (рис. 100, а) с помощью уголковых диоптров, входящих в комплект секстана, — их ставят на лимб и наводят на удаленный предмет. С помощью отвертки вращают регулировочные винты на оправе стойки трубы и приводят горизонтальный срез предмета в середину поля зрения.

При подготовке к морским наблюдениям проверяют с помощью диоптров перпендикулярность большого зеркала плоскости рамы (рис. 100, б), регулируя зеркало винтом, имеющимся на его тыльной стороне.

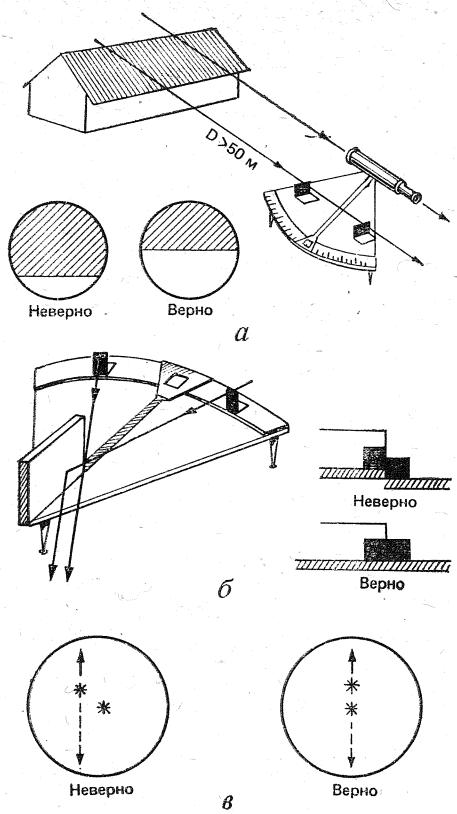


Рис. 100. Проверка секстана:

*а* — проверка параллельности оптической трубы по предмету, расположенному далее 50 м; *б* — проверка перпендикулярности большого зеркала; *в* — проверка перпендикулярности малого зеркала

Затем наводят секстан на удаленный предмет и проверяют перпендикулярность малого зеркала плоскости рамы (рис. 100, *в*): при вращении барабана около нулевого отсчета отраженное изображение предмета должно проходить точно через прямовидимое его изображение. При необходимости положение малого зеркала исправляют вращением винта, расположенного на его тыльной стороне у внешнего края оправы.

При наблюдениях определяют поправку секстана и измеряют высоты светил. Для определения поправки устанавливают отсчет  $0^\circ$  и наводят

трубу на удаленный предмет (более 1 мили) или светило. Совмещают прямовидимое и отраженное изображение этого предмета (светила) и читают получившийся отсчет секстана  $oc_i$ . Поправку секстана находят по формуле:  $i = 0^\circ$  ( $360^\circ$ ) —  $oc_i$ ; она может быть положительной или отрицательной. При расстоянии до объекта, над которым измеряется высота светила, менее 1 мили поправку секстана всегда определяют по этому объекту.

Высоты светила измеряют в два этапа. На первом этапе изображение светила приводят к линии горизонта: для этого устанавливают отсчет около  $0^\circ$ , наводят трубу на светило (при работе с Солнцем не следует забывать установить светофильтры), затем опускают трубу к горизонту и одновременно передвижением алиады в сторону больших отсчетовдерживают отраженное светило в поле зрения; грубо совместив изображение светила с горизонтом, отпускают стопор алиады.

Второй этап — собственно измерение высоты состоит в том, чтобы «покачиванием» секстана найти такое его положение, при котором высота будет измерена в вертикальной плоскости (рис. 101). Для этого наблюдатель держивает большое зеркало направленным на светило, а трубу перемещает по дуге  $l-l$  над горизонтом и добивается совмещения светила с горизонтом в нижней точке этой дуги.

Совмещения светила с горизонтом в ходе покачивания секстана можно добиться двумя методами:

«методом ожидания» прихода светила на заранее установленный отсчет секстана: несколько «притопив» светило на восточной части горизонта (или «приподняв» его над западной частью горизонта), наблюдатель покачивает секстан и выжидает прихода светила в касание с горизонтом;

«методом приведения» светила в ходе покачивания на горизонт при вра-

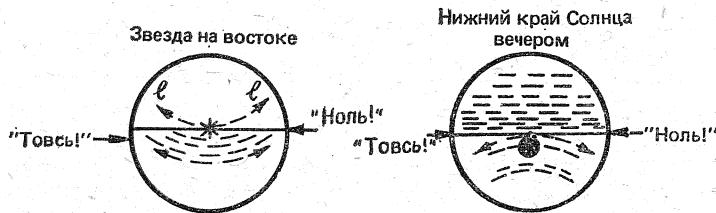
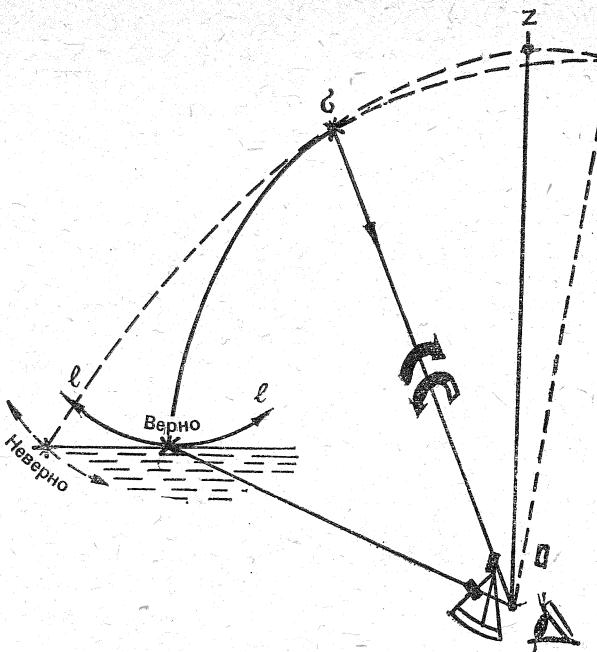


Рис. 101. Измерение высоты светила методом покачивания секстанта относительно луча, приходящего от светила

щении отсчетного барабана — метод труднее, поэтому его применяют только для измерения медленно меняющихся близмеридиональных высот.

В обоих методах главным является фиксация момента касания светилом горизонта строго в нижней точке дуги  $l-l$ . При измерениях высот Солнца в касание с линией горизонта обычно приводят его нижний край, но если края диска Солнца по метеорологическим условиям отчетливо не видны, то допустимо измерять высоту середины солнечного диска.

Овладение искусством измерения высот лучше начинать с утренних или вечерних наблюдений Солнца по «методу ожидания». Измерять высоты надо с помощником, который по команде наблюдателя «Товсы!» должен внимательно следить за показаниями часов, а по команде «Ноль!» в момент касания светилом горизонта записывать момент по часам (секунды, затем минуты и часы) и продиктованный ему отсчет секстанта. Для сглаживания случайных погрешностей измерения ведут серией из пяти высот

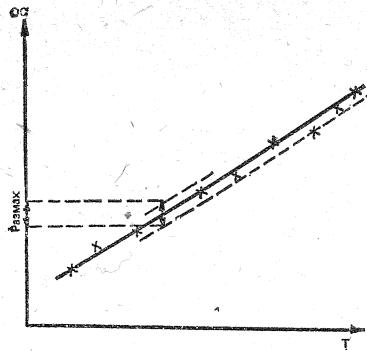


Рис. 102. Оценка качества измерений высот по их наибольшему выборочному размаху

и выводят средние арифметические результаты, которые точнее более чем в два раза одного из единичных отсчетов высоты. Во избежание промахов в конце серии измерений помощник проверяет правильность последнего отсчета на секстане, а наблюдатель — правильность записи показаний часов.

Для проверки навыков в измерении высот нужно измерить серию из десяти высот в течение 5 мин. Затем построить на миллиметровой бумаге график измеренных высот (рис. 102) в масштабе 1 мм = 1° и 1 см = 1'. Приведя осредняющую линию по полученным отметкам высот, найдем наибольший размах измерений на сумму максимальных отклонений в большую и меньшую сторону от осредняющей. Если наибольший размах высот при наблюдениях Солнца не превышает 3' (при наблюдениях звезд — 5'), то навыки наблюдателя удовлетворительны; при размахе 2' он заслуживает хорошей оценки, при размахе менее 1' — отличной.

Измерения высот при необходимости может выполнять один наблюдатель двумя методами:

— в момент касания светилом горизонта начать мысленный подсчет текущих секунд: «ноль — одна», «ноль — две», «ноль — три» и т. д.; по

счету, например, «пять» заметить и записать показание часов; отбросив от этого показания 5 секунд, найти момент измерения высоты;

— в момент измерения высотыпустить в ход секундомер, а затем остановить его на каком-то показании часов; вычитание отсчета секундомера из этого показания дает момент измерения высоты.

В умелых руках секстан — надежный и точный мореходный инструмент. С меньшей точностью и в отсутствие качки высота (или зенитное расстояние) светила может быть измерена самодельной астролябией, устройство которой ясно из рис. 103. При наблюдениях плоскость астролябии совмещают с вертикальной плоскостью, проходящей через светило. При наблюдениях Солнца \* отсчет высоты ведут по тени от центрального штифта (рис. 103, а). Наблюдая, например, зенитные расстояния звезд, применяют их прямое визирование (рис.

\* Этот метод применяется в «Круизер-Фиксе».

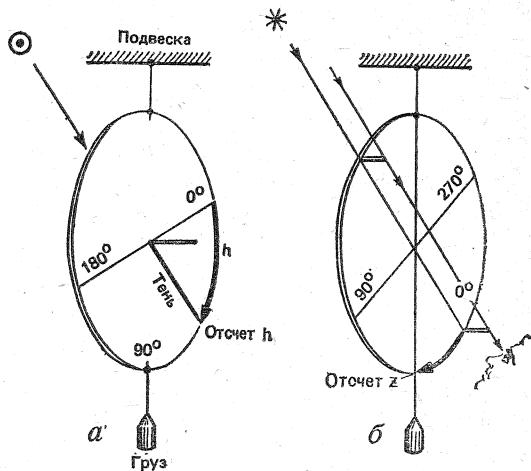


Рис. 103. Астролябия — простейший инструмент для измерений высот и зенитных расстояний:

а — теневой метод наблюдений Солнца; б — глазомерный метод наблюдений звезды

103, б). Работать с астролябией следует особенно тщательно, так как ошибка в отсчете высоты на  $0,1^\circ$  смещает линию положения на 6 миль в сторону светила или же от него.

Дважды в сутки высоту Солнца можно определять без всяких инструментов и дополнительных поправок: в момент восхода (наблюдаемого с борта яхты) или захода верхнего его края, высота центра Солнца от истинного горизонта равна около  $-53'$ , а при восходе или заходе нижнего края  $-21'$ .

Отсчет высоты по секстану должен быть исправлен определенной наблюдателем поправкой  $i$  и инструментальной поправкой  $s$ , которая выбирается из заводского формуляра секстана по величине отсчета высоты. В результате получается измеренная высота светила  $h'$ . Далее следует ввести поправку за наклонение видимого горизонта, которая при наблюдениях с яхты выбирается из приложения 4, ж (а)

1. Средний отсчет секстана
2. Поправка секстана (полная)

3. Измеренная высота ( $3=1\pm 2$ )

4. Наклонение горизонта из прил. 4, ж (а) по высоте глаза

5. Видимая высота звезды над истинным горизонтом:  $5=3-4$

6. Рефракция из прил. 4, ж (б)

7. Истинная высота ( $7=5-6$ )

и всегда вычитается из измеренной высоты (обозначается  $\Delta h_a$ ). В результате получается видимая высота светила  $h_v$ . Из приложения 4, ж (б) входом по  $h_v$  получается поправка  $\Delta h_p$  за рефракцию. Высота края Солнца исправляется поправкой за величину его полудиаметра, как указано на графике в приложении 4, в. В результате формулы исправления высоты имеют вид:

для звезд

$$h = oc \pm i \pm s - \Delta h_d - \Delta h_p; \quad \left. \right\} (72)$$

для Солнца

$$h = oc \pm i \pm s - \Delta h_d - \Delta h_p \pm R. \quad \left. \right\}$$

Пример 11. А. Навигационным секстаном измерена высота звезды Арктур: средний отсчет секстана из серии наблюденных  $oc = 40^\circ 42,7'$ , отсчет секстана при определении его поправки  $oc_l = 0^\circ 01,2'$ , инструментальная поправка секстана из формуляра по отсчету высоты  $s = +0,3'$ . Высота глаза наблюдателя над уровнем моря  $e = 2,2$  метра. Найти истинную высоту светила  $h$ .

	$oc$ $i \pm s$	$40^\circ 42,7'$ -0,9
3. Измеренная высота ( $3=1\pm 2$ )	$h'$ $\Delta h_d$	$40^\circ 41,8$ -2,6
4. Наклонение горизонта из прил. 4, ж (а) по высоте глаза		
5. Видимая высота звезды над истинным горизонтом: $5=3-4$	$h_v$	$40^\circ 39,2$
6. Рефракция из прил. 4, ж (б)	$\Delta h_p$	-1,1
7. Истинная высота ( $7=5-6$ )	$h$	$40^\circ 38,1'$

Б. Навигационным секстаном измерена высота нижнего края Солнца (см. рис. 101):  $oc = 45^\circ 39,0'$ ,  $oc_l = 359^\circ 57,6'$ ,  $s = +0,2'$ . Высота глаза  $e = 2,6$  м. Истинная высота центра Солнца:

$h = 45^\circ 39,0' + 2,4' + 0,2' - 2,8' - 0,8' + 16,1' = 45^\circ 53,9'$ . Вычисления выполнены вначале по пп. 1—7 предыдущей схемы, а затем (по рис. 147) по календарной дате наблюдений (например, 15 марта) выбрана и учтена величина полудиаметра Солнца.

Примечание. При наблюдениях малых высот и необходимости получить высоту с максимально возможной точностью дополнительно можно учесть поправки за температуру воздуха, за давление воздуха, за параллакс Солнца — соответствующие таблицы имеются в ВАС-58, МАЕ и МТ-75. При наблюдениях астролябией необходим учет только рефракции на малых высотах.

Вычисления координат географических мест светил на моменты измере-

**ний высот.** Аргументом для вычислений координат географических мест светил (или, что то же, экваториальных координат светил) служит всемирное время  $T_{\text{гр}}$ . Способы получения его на яхте по показаниям часов  $T$  были детально рассмотрены в примерах 6 и 7. Наиболее точно склонения и гринвичские часовые углы любых светил получают из МАЕ; правила и примеры этих вычислений детально изложены в описании МАЕ. В отсутствие МАЕ экваториальные координаты звезд и Солнца с точностью, вполне приемлемой для яхтенного плавания, можно получить из Астрономического календаря\* и приложений, 4, а, 4, б и 4, д.

**A. Вычисление склонения и гринвичского часового угла звезды.** Склонение навигационной звезды выбирается и приводится к сроку наблюдений согласно приложению 4, а; одновременно со склонением получается звездный угол  $\tau^*$ . В соответствии с формулой (63) для получения гринвичского часового угла звезды достаточно звездный угол просуммировать со звездным гринвичским временем, которое проще всего получается с помощью приложения 4, д. В дальней-

\* Астрономический календарь (ежегодник, переменная часть) 198... г. М., «Наука».

шем потребуется местный часовой угол звезды, отсчитанный от меридиана счислимого места яхты (формула 56), и его расчет удобно включить в эту же схему. Порядок вычислений поясняется примерами 12 и 13.

**Б. Вычисление склонения и местного часового угла Солнца по Астрономическому календарю.** В Астрономическом календаре на  $T_{\text{гр}} = 0^\circ$  каждой даты года даются склонение Солнца и его часовое изменение  $\Delta\delta$ , а также уравнение времени  $\eta$ . При наличии микрокалькулятора необременительно вычислить склонение и часовой угол Солнца по следующим формулам:

$$\left. \begin{aligned} \delta &= \delta_t \pm \frac{\Delta\delta_t}{60} \cdot T_{\text{гр}}^u; \\ t_{\text{гр}}^\odot &= T_{\text{гр}} \pm \eta_t \pm \frac{\Delta\eta}{24} \cdot T_{\text{гр}}^u \pm 12^\circ. \end{aligned} \right\} \quad (73)$$

Вычисления по этим формулам пояснены в примере 14.

**Пример 12.** 26 июля 1983 г. около  $T_c = 21^\circ 05' \text{M}$  ( $N_{\text{c}} = 1W$ ). Измерили высоту звезды Арктур в момент  $T = 21^\circ 12' 41'' \text{C}$ , поправка часов  $u = +1^\circ 00' 37'' \text{C}$ . Долгота места по счислению  $\lambda_c = 23^\circ 13,7' \text{W}$ . Вычислить местный часовой угол и склонение звезды.

Расчет  $\delta$  и  $\tau^*$  на срок наблюдений — см. в примечании к прилож. 4, а. Полная схема вычисления часового угла звезды:

1. Судовое время начала наблюдений (приближенно)	$T_c$	26.07; 21 <sup>°</sup> 05 <sup>M</sup>
2. Номер часового пояса на яхте	$N_c$	1 W
3. Гринвичская дата и приближ. время	$T_{\text{гр}}$	26.07; 22 <sup>°</sup> 05 <sup>M</sup>
4. Момент наблюдений по часам	$T$	1 <sup>°</sup> 12'41 <sup>C</sup>
5. Поправка часов относительно $T_{\text{гр}}$	$u$	+1 <sup>°</sup> 00'37 <sup>C</sup>
6. Точное всемирное время измерения	$T_{\text{гр}}$	22 <sup>°</sup> 13'18 <sup>C</sup>

7. Исходное звездное время по прилож. 4, $\delta$ входом по заданному году и месяцу	$a$	278°28,8'
8. Поправка для текущего года из прилож. 4, $\delta$ (если это необходимо)	$b$	0,0
9. Поправка на дату из прилож. 4, $\delta$	$c$	24 38,5
10. Поправка за 22 <sup>ч</sup> из прилож. 4, $\delta$	$g$	330 54,2
11. Поправка за 13 <sup>м</sup> из прилож. 4, $\delta$	$d$	3 15,5
12. Поправка за 18 <sup>с</sup> из прилож. 4, $\delta$	$e$	4,5
13. Гринвичское звездное время ( $13 = a + b + c + g + d + e$ , отбросить 360°, если необходимо)	$t_{\text{гр}}^{\Upsilon}$	637°21,5'
14. Долгота места счислимая	$\pm \lambda_0^{\text{ст}}$	277°21,5' 23°13,7'W
15. Местное звездное время ( $15 = 13 \pm 14$ )	$t_m^{\Upsilon}$	254 07,8
16. Звездный угол из прилож. 4, $a$	$t^*$	146 16,5
17. Местный часовой угол звезды ( $17 = 15 + 16$ , отбросить 360°, если необходимо)	$t_m$	40°24,3' W
18. $360^\circ - t^w$ , если $t^w > 180^\circ$	$t_m$	0 <sup>st</sup>

В п. 8 поправка выбирается по текущему календарному году; например, в 1995 г. поправка будет  $\delta = 6,0'$  (за 12 лет, или 3 периода, после 1983 г.).

Тщательно проверьте: выполнив действия согласно указанному в схеме порядку, повторите вычисления в обратном направлении (от искомого к заданному).

**Пример 13.** Вычислить звездное гринвичское время по Астрономическому календарю на 26 июля 1981 г.  $T_{\text{гр}} = 22^{\text{ч}}13^{\text{м}}18^{\text{с}}$ .

Из Астрономического календаря 1981 г., июль 26,  $T_{\text{гр}} = 0^{\text{ч}}$ :

$$S_0 = t_0^{\Upsilon} = 20^{\text{ч}}14^{\text{м}}24^{\text{с}}$$

Из прилож. 4,  $\delta$

в градусной мере:  $t_0 = 303^\circ36,0'$

Из прилож. 4,  $\delta$  за 22<sup>ч</sup>:  $g = 330 54,2$

за 13<sup>м</sup>:  $d = 3 15,5$

за 18<sup>с</sup>:  $e = 4,5$

Звездное гринвичское время  $t_{\text{гр}}^{\Upsilon} = 277^{\text{ч}}50,2'$

**Пример 14.** 15 марта 1981 г. около  $T_c = 13^{\text{ч}}00^{\text{м}}$  ( $\lambda_c = 4^{\text{ст}}$ ) в момент  $T = 12^{\text{ч}}56^{\text{м}}31^{\text{с}}$  измерили высоту Солнца. Поправка часов  $\alpha = -4^{\text{ч}}01^{\text{м}}02^{\text{с}}$ . Долгота места по счисле-

нию  $\lambda_c = 45^\circ14,9' 0^{\text{ст}}$ . Вычислить склонение и местный часовой угол Солнца по Астрономическому календарю.

A. Расчет аргумента — всемирного времени.

1. Приближенное  $T_c$ , 1981 г., март 15 = 13<sup>ч</sup>00<sup>м</sup>  
2. Часовой пояс на яхте № = 4<sup>ст</sup>

3. Приближенное  $T_{\text{гр}}$  март 15 = 09 00<sup>с</sup>  
4. Показание часов  $T$  = 12<sup>ч</sup>56<sup>м</sup>31<sup>с</sup>  
5. Поправка часов  $\alpha$  = -4<sup>ч</sup>01<sup>м</sup>02<sup>с</sup>

6. Точное всемирное время  $T_{\text{гр}}$  = 8<sup>ч</sup>55<sup>м</sup>29<sup>с</sup>

**Примечание.** Проверяйте соответствие приближенного и точного  $T_{\text{гр}}$ .

Б. Расчет склонения.

7. Часовое изменение склонения из Астрономического календаря, вход по дате  $T_{\text{гр}}$ :  $\Delta\delta_t = +59,2$ .

8. Всемирное время в часах и их десятых долях:  $T_{\text{гр}} = 8,92^{\text{ч}}$ .

9. Перемена склонения за  $T_{\text{гр}}$  ( $9 = 7 \times 8$ , с округлением до десятых долей минуты):  $\Delta\delta = +8,8'$ .

10. Табличное склонение (до десятых долей минуты):  $\delta_1 = -2^\circ15,4'$ .

11. Склонение Солнца ( $11 = \pm 10 \pm 9$ ):  $\delta = -2^\circ06,6'$  (южное).

**Примечание.** В Астрономическом календаре северному склонению присвоен знак + и южному склонению знак -. Знак часового изменения в календаре дается алгебраически: например, знак + соответствует уменьшению отрицательного склонения и увеличению положительного склонения. Внимательно следите за указанными в календаре знаками. Тщательно переводите минуты и секунды в доли часа при выполнении п. 8, а затем дуговые секунды и дуговые минуты — во всех случаях делением на 60.

B. Расчет местного часового угла.

12. Уравнение времени на заданную дату  $T_{\text{гр}}: \eta_t + 9^{\text{m}}06,5^{\text{c}}$

13. Уравнение времени на следующую дату:  $+8^{\text{h}}49,5$

14. Изменение за сутки ( $14 = 13 - 12$ ):

$$\Delta = -17,0$$

15. Изменение за час ( $15 = \Delta : 24^{\text{ч}}$ ): =  $= -0,708$

16. Изменение за  $T_{\text{гр}}$  ( $16 = 15 \times 8$ ):  $\Delta \eta = -6,3$

17. Уравнение времени на момент наблюдений Солнца ( $17 = \pm 12 \pm 16$ , до  $1^{\circ}$ ):  $\eta = +9^{\text{m}}00^{\text{c}}$

18. Солнечное время наблюдений ( $18 = 6 \pm 17$ , из  $T_{\text{гр}}$  алгебраически вычесть  $\eta$ ):  $T_{\text{гр}}^{\odot} = 8^{\text{ч}}46^{\text{м}}29^{\text{с}}$

19. Если  $T_{\text{гр}} < 12^{\text{ч}}$ , то прибавить  $12^{\text{ч}}$ ; если  $T_{\text{гр}} > 12^{\text{ч}}$ , то вычесть  $12^{\text{ч}}$  ( $19 = 18 \pm \pm 12^{\text{ч}}$ ):  $t_{\text{гр}}^{\odot} = 20^{\text{h}}46^{\text{m}}29^{\text{s}}$

20. Перевести  $t_{\text{гр}}^{\odot}$  в градусную меру по прилож. 4, б:  $t_{\text{гр}}^{\odot} = 311^{\circ}37,2' W$

21. Долгота места счислимая (восточная (+)):  $\lambda = 45^{\circ}14,9' Ost$

22. Местный часовой угол Солнца ( $22 = 20 \pm 21$ ):  $t_m^{\odot} = 356^{\circ}52,1' W$

23.  $360^{\circ} - t^W$ , если  $t^W > 180^{\circ}$ :  $t_m^{\odot} = 3^{\circ}07,9' Ost$

**Примечание.** Следите за правильностью учета знака  $\eta$  и его изменения. Тщательно проверяйте арифметические действия.

**Вычисление элементов высотной линии положения и ее прокладка на морской карте.** На рис. 98 дана морская путевая карта, охватывающая район пересечения кругов равных высот I—I и II—II вблизи счислимого места яхты С (рис. 104). Для определения места яхты М достаточно на путевой карте построить высотные линии положения 1—1 и 2—2. Так как географические места светил  $\sigma_1$  и  $\sigma_2$  находятся за рамкой путевой карты,

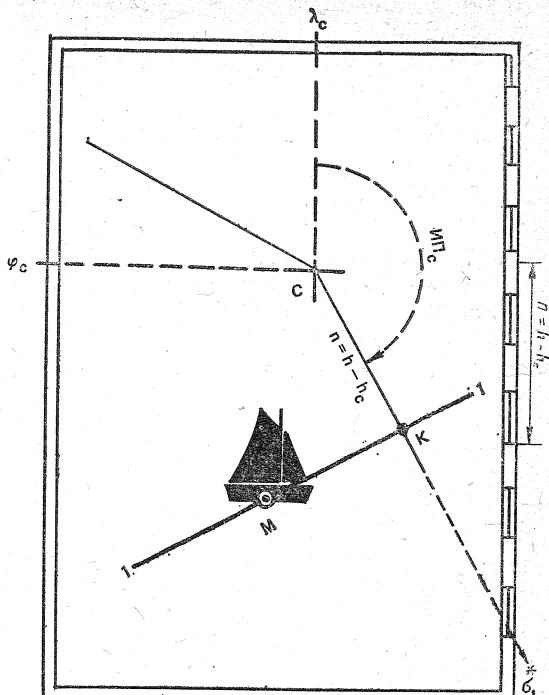


Рис. 104. При любом выборе расчетной (счислимой) точки С высотная линия положения проходит через место яхты в момент измерения высоты светила

то высотные линии положения строят по вычисляемым заранее кратчайшим расстояниям от счислимого места С до линий положения; эти кратчайшие расстояния называют «переносами» и обозначают  $n$ . Можно представить себе, что в момент измерения высоты светила через точку С также проходит какой-то круг равных высот, соответствующий высоте светила  $h_c$  в этой точке; поэтому перенос равен разности высот светила в точке М (на линии положения 1—1) и в точке С в один и тот же момент. Высотная линия положения, являясь касательной к кругу равных высот, перпендикулярна его радиусу; кратчайшее расстояние от точки С до линии положения  $n = CK$  соответствует направлению на географическое место светила из

точки С. На основании изложенного формулируются следующие правила построения высотной линии положения на карте:

— на момент наблюдений  $T_c$  по прокладке получают координаты счислимого места яхты  $\varphi_c$  и  $\lambda_c$ ;

— по известным координатам географического места светила  $\delta$ ,  $t_{\text{пр}}$  и счислимым координатам яхты вычисляют счислимую высоту  $h_c$  и счислимый азимут  $A_c$  светила;

— по известной истинной и счислимой высоте светила вычисляют перенос  $n = h - h_c$  (с его знаком);

— по элементам  $n$  и  $A_c$  от принятой в расчетах точки С ( $\varphi_c$ ;  $\lambda_c$ ) строят линию положения: вначале прокладывают линию счислимого пеленга, затем по боковой рамке карты изменяют величину переноса ( $1' = 1$  миля) и прокладывают его от точки С в сторону светила при  $+n$  или в противоположную сторону при  $-n$ , через полученную таким образом определяющую точку К линии положения перпендикулярно линии пеленга проводят линию положения, например 1—1.

Необходимо твердо уяснить следующие свойства высотной линии положения:

1. Она может быть получена измерением высоты любого наблюдаемого светила, как угодно расположенного по азимуту.

2. Ее положение на местности не зависит от выбора расчетной точки С: ошибки счисления повлияют на величину и направление переноса, но линия положения обязательно пройдет через место яхты М в момент измерения высоты.

3. Величина переноса не может быть больше ошибки счисления.

4. Расстояние от места яхты М до определяющей точки К всегда меньше ошибки счислимого места С, поэтому даже по одной линии положения можно уточнить счисление переносом его в определяющую точку.

5. Любая погрешность в измерении или вычислении высоты светила вызывает равновеликую погрешность в высотной линии положения.

Правила вычисления истинной высоты светила и координат географического места светила были рассмотрены выше. Остается научиться вычислять высоту светила по заданным широте  $\varphi_c$ , склонению  $\delta$  и местному часовому углу  $t_m = t_{\text{пр}} \pm \lambda_c$ . Эта задача может быть точно решена на ЭКВМ и по таблицам «ВАС-58» (вычисление азимута светила изложено в § 7.4). При не слишком больших погрешностях счисления для прокладки линий положения можно пользоваться истинными пеленгами светил, полученными из их компасных пеленгов (измерениях сразу же после наблюдений высоты каждого светила).

Вычисление высоты светила на ЭКВМ проще всего выполняется с использованием ранее вычисленного азимута (см. пример 10).

**Пример 15.** Вычислить высоту светила 13 апреля в Эгейском море для счислимой точки с координатами  $\varphi_c = 38^{\circ}35,4'N$ ;  $\lambda_c = 25^{\circ}08,2' Ost$  на момент  $T_c = 15^{\text{ч}}49^{\text{м}}42^{\text{с}}$ . По МАЕ было вычислено: Солнце  $\delta = 8^{\circ}55,6'N$ ,  $t_m = 52^{\circ}06,4'W$ .

Продолжая схему вычисления азимута (из примера 10) после выполнения п. 11, имеем:

12	108,25665	[Ф] sin [Ф] 1/x [Ф] ЗАП	1,0530051
13	8,92667	[Ф] cos [Х] [Ф] ИП [=] [Ф] ЗАП	1,0402511
14	52,10667	[Ф] sin [Х] [Ф] ИП [=] [Ф] arc cos	
15	34,82297	[—] 34 [=] [Х] 60 [=]	49,3782≈49,4

**Ответ:** высота счислимая  $h_c = 34^{\circ}49,4'$ .

Пояснения. 12. Аргументом служит  $A_p$ , полученный на 10-м этапе расчета азимута.

13. Аргументом служит склонение, полученное на 4-м этапе.

14. Аргументом служит часовой угол, полученный на 2-м этапе.

15. Записать показание индикатора после 14-го этапа, представляющее собой исконую высоту в градусах и их долях. Далее перевести доли градуса в дуговые минуты с точностью до  $0,1'$ .

В примере 15 реализована формула  $\cos h_c = \operatorname{cosec} A \cos \delta \sin t_m$ , пригодная в тех случаях, когда высота заведомо положительна (отрицательные высоты могут встретиться при наблюдениях Солнца в непосредственной близости к горизонту).

В примере 16 рассмотрены вычисления высоты светила по формуле:  $\sin h_c = \cos \varphi \cos \delta (\operatorname{tg} \varphi \operatorname{tg} \delta + \cos t_m)$ , пригодной для любых высот. В этом случае азимут на ЭКВМ можно не вычислять, получая его с достаточной для построения линии положения точностью, пользуясь измеренными пеленгами или номограммой № 90199.

**Пример 16.** Вычислить высоту светила для заданных координат  $\varphi_c$ ,  $\delta$ ,  $t_m$ . Найти перенос  $n$  и ИП<sub>c</sub>.

А. Высота звезды Арктур 26 июля 1983 г. по условию примера 12.

1 Очистить память ЭКВМ согласно инструкции по ее эксплуатации		
Аргументы	Операции	Индикатор
2 $\varphi_c = 59^{\circ}20,0'N$	20 $\div$ 60 $+$ 59 $=$	59,33333
3 $\delta = 19^{\circ}16,4'S$	16,4 $\div$ 60 $+$ 19 $=$	19,27333
4 $t_m = 40^{\circ}24,3'W$	24,3 $\div$ 60 $+$ 40 $=$	40,405
5 $\varphi$ 59,33333	$\boxed{\Phi}$ $\boxed{\operatorname{tg}}$ $\boxed{\Phi}$ $\boxed{\text{Зап}}$	1,686426
6 $\delta$ 19,27333	$\boxed{\Phi}$ $\boxed{\operatorname{tg}}$ $\boxed{X}$ $\boxed{\Phi}$ $\boxed{\text{ИП}}$ $=$ $(-)$ * $\boxed{\Phi}$ $\leftarrow$	1,686426
7, $t_m$ 40,405	$\boxed{\Phi}$ $\boxed{\cos}$ $\boxed{\Phi}$ $\boxed{P+}$	0,761482
8 $\delta$ 19,27333	$\boxed{\Phi}$ $\boxed{\cos}$ $\boxed{X}$ $\boxed{\Phi}$ $\boxed{\text{ИП}}$ $=$ $\boxed{\Phi}$ $\rightarrow$	1,3511779
9 $\varphi$ 59,33333	$\boxed{\Phi}$ $\boxed{\cos}$ $\boxed{X}$ $\boxed{\Phi}$ $\boxed{\text{ИП}}$ $=$ $\boxed{\Phi}$ $\operatorname{arc}$ $\sin$	40,58195
10	$\boxed{-} 40 \quad \boxed{=} \quad \boxed{X} \quad 60 \quad \boxed{=}$	34,917

**Ответ:** высота счислимая  $h_c = 40^{\circ}34,9'$ . В примере 11.А имели:  $h = 40^{\circ}38,1'$ ; перенос  $n = +3,2'$ . По номограмме № 90199: ИП<sub>c</sub> —  $= 234^{\circ}$ .

**Указание.** На 6-м этапе клавиша  $\boxed{(-)}$  включается только при склонении разноименном с широтой места (в северном полушарии Земли — только при южном склонении светила). Общий порядок вычислений был пояснен в примерах 10 и 15.

Б. Высота Солнца 15 марта 1981 г. по условию примера 14 для аргументов  $\varphi_c = 41^{\circ}47,3'N$ ,  $\delta = 2^{\circ}06,6'S$ ,  $t = 3^{\circ}07,9'0^{\text{st}}$ . Действуя последовательно по пп. 1—10 «клавишного алгоритма», получаем  $h_c = 46^{\circ}00,6'$ .

В примере 11.Б имели:  $h = 45^{\circ}53,9'$ ; перенос  $n = h - h_c = -6,7'$ ; по номограмме ИП<sub>c</sub> =  $176^{\circ}$ .

Правила вычисления высот и азимутов по таблицам «ВАС-58» и примеры даны в описании этих таблиц. При решении задачи определения места яхты настоятельно рекомендуется упрощать вычисления по этим таблицам с помощью «метода перемещения». счислимого места: широта счислимая округляется до ближайшего целого градуса, а при вычислении местного часового угла после получения его в круговом счете (п. 17 в примере 12 или п. 22 в примере 12) округляют результат до целого ближайшего градуса. Например:

17.  $t_m = 40^{\circ}24,3'W$
18.  $t_{\Pi} = 40^{\circ}W$
19.  $\Delta\lambda = t_{\Pi} - t_m = -24,3'$
22.  $t_m = 356^{\circ}52,1'W$
23.  $t_{\Pi} = 357^{\circ}W$
24.  $\Delta\lambda = t_{\Pi} - t_m = +7,9'$
25.  $t_{\Pi} = 3^{\circ}0^{\text{st}}$

Вычисления  $h_c$ ; А<sub>c</sub> ведут с округленными таким путем величинами широты и часового угла и с заданным склонением. После расчета переноса каждую линию положения прокладывают из своего перемещенного места: оно располагается на параллели целого градуса широты в удалении от счислимого меридиана  $\lambda$  на величину разности долгот  $\Delta\lambda = t_{\Pi} - t_m$  (при этом  $-\Delta\lambda$  прокладывают к западу, а  $+\Delta\lambda$  — к востоку). Пример прокладки от перемещенных мест показан на рис. 108 для случая определения места по трем высотным линиям положения.

Возле проложенной на карте высотной линии положения должно быть написано судовое время, в момент которого яхта находилась на ней. Этот момент  $T_c$  получается прибавлением с необходимым знаком номера часовового пояса №<sub>c</sub> к точному всемирному времени измерения высоты  $T_{\text{гр}}$ . Например, при наблюдениях высоты звезды Арктур (см. пример 12) линия положения получена на момент:

$$T_c = 22^{\text{h}}13^{\text{m}}18^{\text{s}} - 1^{\text{h}} \approx 21^{\text{h}}13^{\text{m}}.$$

В примере 14 линия положения по Солнцу получена на момент:

$$T_c = 8^{\text{h}}55^{\text{m}}29^{\text{s}} + 4^{\text{h}} = 12^{\text{h}}56^{\text{m}}.$$

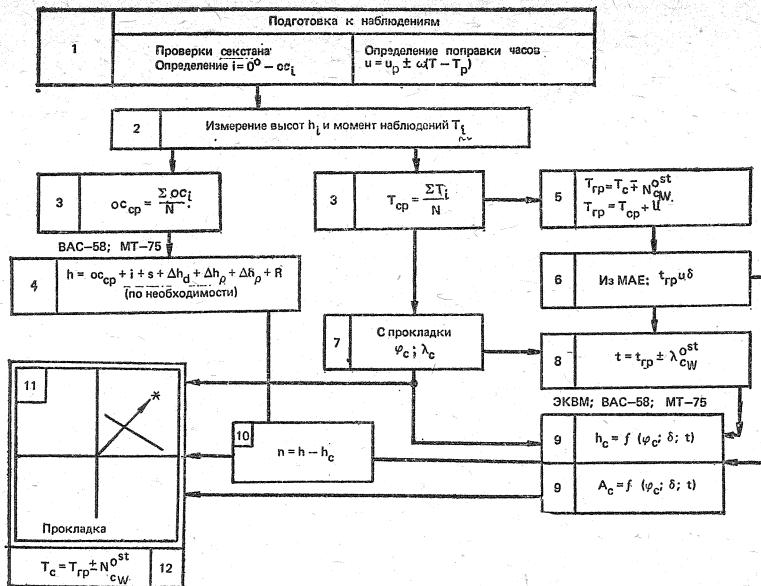


Рис. 105. Структурно-формульная схема получения высотной линии положения

Организация и последовательность работы для получения высотной линии положения показаны на рис. 105. Содержание этапов работы было рассмотрено в данной главе выше.

**Линия положения по высоте Полярной.** Измерив высоту Полярной (см. рис. 87 и 94), легко определить широту места яхты. Для этого следует исправить наблюденную высоту необходимыми поправками, вычислить звездное время наблюдений  $t_m^Y$  и по нему из таблиц «Широта по высоте Полярной», имеемых в МАЕ, выбрать поправки для перехода от истинной высоты звезды к обсервованной широте места  $\varphi_0$ . Линией положения здесь является обсервованная параллель  $\varphi_0$ .

В отсутствие МАЕ эту задачу решают приближенно:

$$\varphi_0 = h - (90^\circ - \delta) \cos(t_m^Y + \tau^*), \quad (74)$$

где  $\delta$  и  $\tau^*$  — координаты Полярной из приложения 4, а. Для грубого ориентирования можно принять удаление

Полярной от Северного полюса мира равным  $\Delta = 51'$ . Тогда при расположении в Кассиопеи на небосводе, показанном на рис. 87, получится  $\varphi_0 = h - 51'$ . При нахождении в Кассиопеи над точкой севера и ниже Полярной получится  $\varphi_0 = h + 51'$ . В случаях, показанных на рис. 94, непосредственно  $\varphi_0 = h$ .

**Линия положения по полуденной высоте Солнца** (см. рис. 93). Вычислив момент наступления полудня по судовому времени (см. приложение 4, в, пример Б), начните измерять серию высот Солнца примерно за 5—10<sup>м</sup> до полудня. Продолжайте измерения до тех пор, пока высоты не начнут явно уменьшаться. Выберите из записанной серии высот наибольший отсчет, исправьте, как мы говорили раньше, — получится истинная меридиональная высота Солнца  $H_s$ . Обсервованную широту места наблюдений находят по формуле:

$$\varphi_0 = (90^\circ - H_s) \pm \delta, \quad (75)$$

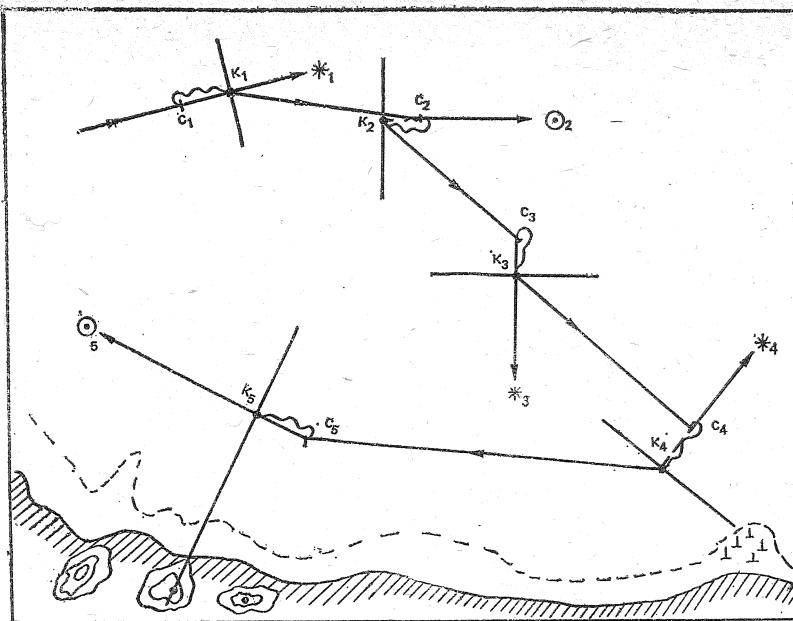


Рис. 106. Одна высотная линия положения дает ценную навигационную информацию и способствует безаварийному плаванию

где северное склонение Солнца прибавляется, а южное — вычитается; склонение Солнца на момент полудня получают из МАЕ или Астрономического календаря, а при приближенном измерении высоты астролябией — из приложения 4, в\*.

**Ориентирование по одной высотной линии положения.** При наличии одной высотной линии положения счисление уточняют переносом его в определяющую точку линии положения К (см. рис. 104). При измерениях навигационным секстантом в средних условиях погрешность высотной линии положения редко превышает 2—3 мили, поэтому ее использование для корректуры счисления яхты часто дает хороший результат. Основные варианты этой корректуры показаны на рис. 106:

1. Наблюдая светило по направле-

нию пути (или в противоположном направлении), уточним пройденное расстояние.

2. Наблюдая светило по пеленгу 90° или 270°, уточним долготу места яхты.

3. Наблюдая светило по пеленгу 180° или 0°, уточним широту места яхты.

4. Наблюдая светило по перпендикуляру к направлению пути, можем проверить — не ведет ли наш путь к опасности или к опасному сближению с берегом?

5. Приближаясь к незнакомому берегу, с помощью высотной линии положения можно опознать береговые ориентиры (горы и т. п.).

**Определение места яхты по двум и более высотным линиям положения.** В сумерки при наблюдениях звезд интервалы между измерениями их высот обычно составляют 5—10 м, но могут быть и больше; днем над горизонтом чаще всего наблюдается только

\* Этот способ определения широты места реализован в «Круйзерфиксе».

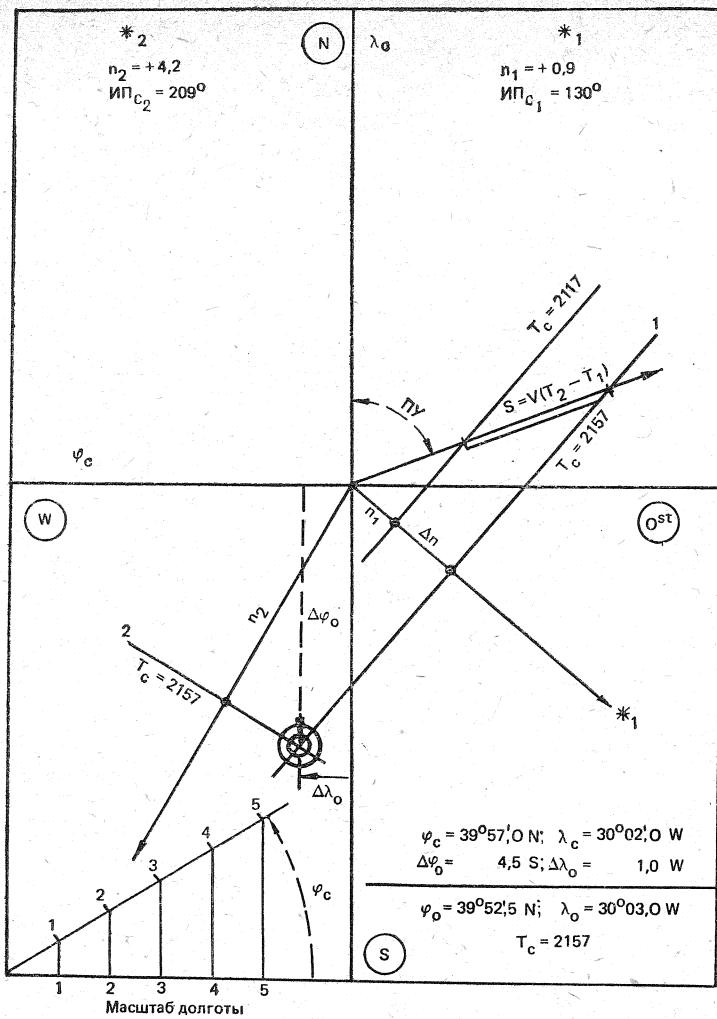


Рис. 107. Для надежного контроля счисления необходимо иметь не менее двух линий положения, т. е. решить «задачу двух высот» (показана прокладка на листе бумаги)

Солнце, и для получения второй линии положения приходится выждать 2—3 часа после первых наблюдений (пока направление на Солнце не изменится на 40—50°). При рассмотрении принципа астронавигационного определения яхты (см. рис. 97 и 98) мы пренебрегли ее перемещением в интервале времени между измерением

высоты первого и второго светил, но теперь учтем ее движение.

На рис. 107 показаны две высотные линии положения; предположим, что на первой из них яхта была в момент  $T_c = 21^{\text{ч}}17^{\text{м}}$  и на второй — в момент  $T_c = 21^{\text{ч}}57^{\text{м}}$ . Яхта следовала по направлению ПУ = 70° со скоростью 4 уз. Чтобы получить место яхты на

последний момент наблюдений, достаточно от любой точки первой линии положения проложить направление пути и сместить ее параллельно самой себе на величину плавания между наблюдениями высот  $S = V(T_2 - T_1)$ , в нашем примере — на величину  $S = \frac{8}{60} (57^m - 17^m) = 2,7$  мили. Обсервованное место будет в точке М пересечения второй и первой приведенных линий положения. Выполненное действие называют «приведением к одному месту наблюдений» (иногда говорят — «к одному зениту»), его же можно выполнить введением поправки в перенос  $n$  за движение яхты:

$$\Delta n = V(T_2 - T_1) \cos KU, \quad (76)$$

где КУ — курсовой угол светила; знак (+) у поправки  $\Delta n$  будет при  $KU < 90^\circ$  любого борта.

В ВАС-58 и МТ-75 имеется таблица, дающая скорость изменения высоты светила из-за движения яхты по аргументам  $V$  и КУ; тогда  $\Delta n =$

$= \Delta h_1^m (T_2 - T_1)^m$ . Сравнительно небольшая скорость движения яхты позволяет пользоваться изложенным способом приведения к одному месту наблюдений при интервалах времени до 3—4 часов.

При необходимости прокладку высотных линий положений можно выполнить на миллиметровой бумаге, если предварительно построить масштаб для отсчета широт и долгот (показан на рис. 107 внизу слева); по наклонной линии отсчитывают величины переносов и разности широт (она соответствует боковой рамке карты), а по нижней рамке — разности долгот. Широту и долготу обсервированного места находят, придав поправки  $\Delta\phi_0$  и  $\Delta\lambda_0$  к координатам точки, принятой для вычисления элементов линий положения:

$$\Phi_0 = \Phi_c \pm \Delta\phi_0; \lambda_0 = \lambda_c \pm \Delta\lambda_0. \quad (77)$$

По этим координатам обсервированное место наносят на карту, обозначают время обсервации (момент, к которому

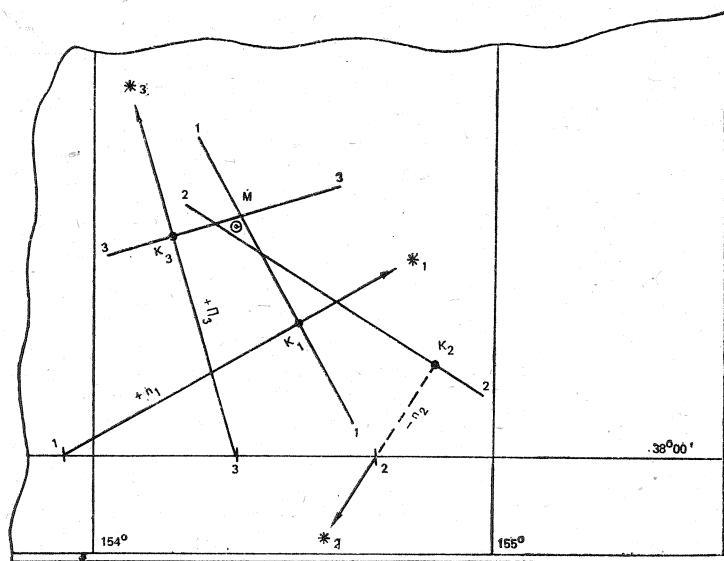


Рис. 108. «Задача трех высот» дает точную и надежную обсервацию (показана прокладка на морской карте при работе по методу перемещенных мест)

привели все линии положения), сравнивают обсервованное и счислимое место для принятия решения о дальнейшем движении яхты.

Для большей точности и надежности обсервации рекомендуется при возможности определяться по высотам трех светил. Прокладка трех высотных линий положения на карте (по методу перемещения счислимого места с аналитическим приведением к одному месту наблюдений высот) показана на рис. 108. В пересечении трех линий положения чаще всего образуется треугольник как следствие погрешностей наблюдений и вычислений; обсервованное место принимают в «центре тяжести» этого треугольника — всегда внутри него.

**Общие рекомендации по астронавигационному ориентированию на яхте.** Успех работы в море во многом зависит от подготовки к плаванию: подбора и проверки пособий и мореходных инструментов, тренировки в определении поправок инструментов и в измерениях высот, предварительной оценки астронавигационной обстановки в намеченном районе и в намеченный срок плавания.

«Служение стихиям не терпит суеты», поэтому нужно заблаговременно планировать астронавигационные наблюдения и обрабатывать их по заранее составленным вычислительным схемам, приучить себя контролировать наблюдение и вычисление. Качество астронавигационных обсерваций зависит прежде всего от точности измерения и исправления высот светил, поэтому важно наблюдать звезды в ранние сумерки при наиболее четко видимом горизонте.

При обсервации по двум звездам выгодно иметь разность азимутов (угол пересечения линий положения) около  $60^{\circ}$ — $70^{\circ}$ , нежелательно без особой необходимости иметь разность

азимутов двух светил более  $120^{\circ}$ . При наблюдениях трех и более светил хорошо, чтобы они были симметрично расположены по всему горизонту и примерно на одинаковых высотах (для трех звезд — с разностью азимутов в  $120^{\circ}$  между соседними светилами).

В дневное время надо стремиться получить две линии положения по Солнцу с кратчайшим интервалом времени между ними, но при условии, что разность первого и второго азимутов Солнца около  $40^{\circ}$ — $50^{\circ}$  (в крайнем случае — не менее  $30^{\circ}$ ). Погрешности счисления в интервале между наблюдениями высот полностью входят в погрешность обсервации — любая обсервация устраняет только ту погрешность счисления, которая была в момент наблюдений первой высоты. Днем при возможности надо совместно наблюдать Солнце и Луну, если у вас имеется МАЕ.

При соблюдении всех правил астронавигационные обсервации — надежное средство контроля счисления. Никогда не надо подправлять по догадке или по наитию результаты обсерваций, подвергать их сомнению только из-за больших расхождений с результатами счисления пути: сомнительные результаты наблюдений могут быть опровергнуты только новыми наблюдениями. Надежность обсерваций значительно повышается, если наблюдения и вычисления независимо и одновременно выполняют два человека.

Если погода благоприятна, то в течение суток обеспечивают четыре астронавигационные обсервации: по звездам в утренние сумерки, варианты «утро — полдень» и «полдень — вечер» по Солнцу, по звездам в вечерние сумерки. Попутно с определением места, а также днем и ночью по мере необходимости производят определение поправки компаса.

## Глава 8

### ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЯ НА ЯХТЕ

Успех морского плавания, особенно на парусном судне, в значительной степени зависит от погоды, т. е. от состояния атмосферы у земной поверхности в данный момент и на данном месте. Явления природы, создающие погоду на море, рассматривают две смежные науки: метеорология, изучающая земную атмосферу и происходящие в ней физические явления и процессы, и океанология, исследующая, в частности, физические свойства водной среды (гидросфера).

К основным метеорологическим элементам атмосферы, определяющим ее физическое состояние и процессы, происходящие в ней, относятся: атмосферное давление, температура и влажность воздуха, облачность, осадки, видимость и ветер. В океанологии элементами, так или иначе влияющими на состояние погоды, считаются такие гидрологические явления, как волнение, морские течения (в том числе и приливо-отливные), температура, соленость и плотность воды.

В отличие от общей гидрометеорологии, которая занимается изучением перечисленных элементов и их взаимодействия, навигационная гидрометеорология носит более узкий характер. Ее задача — помочь мореплавателю разбираться в гидрометеорологической обстановке, уметь ее анализировать, правильно, по инструментальным и визуальным наблюдениям оценивать состояние погоды на ближайшее время и, используя официальные прогнозы по радио, уметь определять ожидаемую погоду по местным признакам.

#### 8.1. Атмосферное давление

Основным элементом при прогнозировании погоды в море можно считать атмосферное давление. Старин-

ная морская поговорка довольно убедительно говорит об этом:

Если барометра стрелки падение  
Требует в море внимания и бдения,  
То штурман тогда лишь спокойно заснет,  
Когда он высоко и кверху идет.

Физическая сущность атмосферного давления — это вес столба воздуха от верхней границы атмосферы до земной (водной) поверхности. Плотность воздуха постоянно меняется от колебаний температуры и влажности и от давления верхних слоев атмосферы на нижние. Вместе с изменением плотности воздуха меняется его вес и атмосферное давление.

Нормальным атмосферным давлением принято считать массу ртутного столба высотой 760 мм на площади 1 см<sup>2</sup>, находящейся на уровне Мирового океана (уровне моря), при температуре 0°C и на широте места 45°.

В практике метеорологических наблюдений атмосферное давление измеряется миллиметрами ртутного столба, или миллибарами (мбар). Специальные таблицы для перевода единиц атмосферного давления имеются в «Мореходных таблицах» (МТ-75).

Для измерения давления в судовых условиях применяют два прибора — барометр-анероид и барограф.

Шкала анероида (рис. 109) градуирована в миллиметрах ртутного столба, а в последние годы — в гектопаскалях (гПа)\*. На яхте анероид должен храниться в горизонтальном положении.

Показания анероида снимают, не вынимая его из футляра, и исправляют их тремя поправками, которые находят в паспорте прибора:

1. Поправка шкалы — по величине давления.

\* По международной системе единиц (СИ) стандартное атмосферное давление составляет 1000 гПа = 1000 мбар = 760 мм рт. ст.

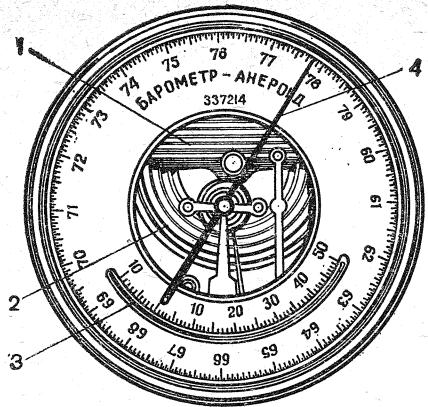


Рис. 109. Барометр-анероид:

1 — пружина; 2 — анероидная коробка; 3 — термометр-атташе; 4 — отсчет 778,5 мм

2. Поправка на температуру прибора получается при умножении температурного коэффициента «*c*» на температуру прибора «*t*» по формуле  $d = c \cdot t$ .

3. Добавочная поправка — на механическое состояние пружины анероида и барокоробки. Эта поправка должна иметь дату определения в паспорте.

Для удобства определения поправки на температуру прибора в анероид включен полуокруглый «термометр-

атташе». Так как поправки анероида могут время от времени изменяться, то перед выходом в плавание его необходимо проверить.

**Барограф** — прибор, ведущий непрерывную запись атмосферного давления на специальной бумажной ленте — барограмме (рис. 110). Он удобен тем, что позволяет судить об изменении атмосферного давления во времени, или, как говорят, о барометрической (барической) тенденции. Барабан, на который надевается барограмма, имеет часовой механизм с заводом, при котором лента совершает полный оборот в течение недели. Барограмма имеет сетку, на которой нанесены по горизонтали временные интервалы — часы и сутки, а по вертикали — давление в миллибарах.

Меняют ленту раз в неделю. При этом на обороте новой барограммы необходимо записывать дату, время начала записи (с точностью до минуты) и координаты яхты. Начало записи должно точно соответствовать моменту записи по судовым часам. В это же время заводят часовой механизм барографа. Держать барограф можно на отдельной полочеке или прямо на штурманском столе. В обоих случаях

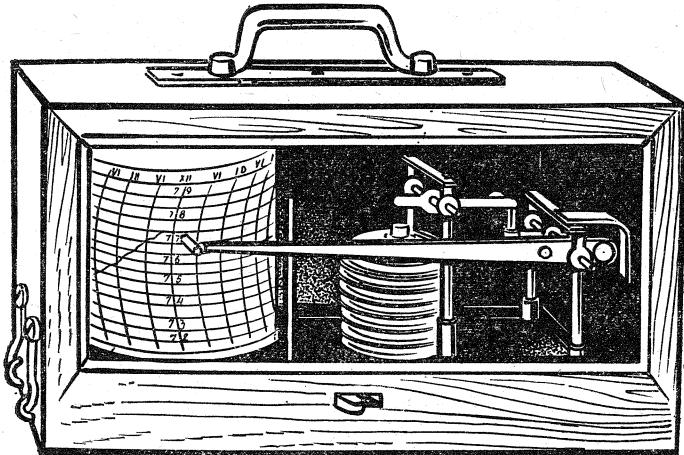


Рис. 110. Барограф

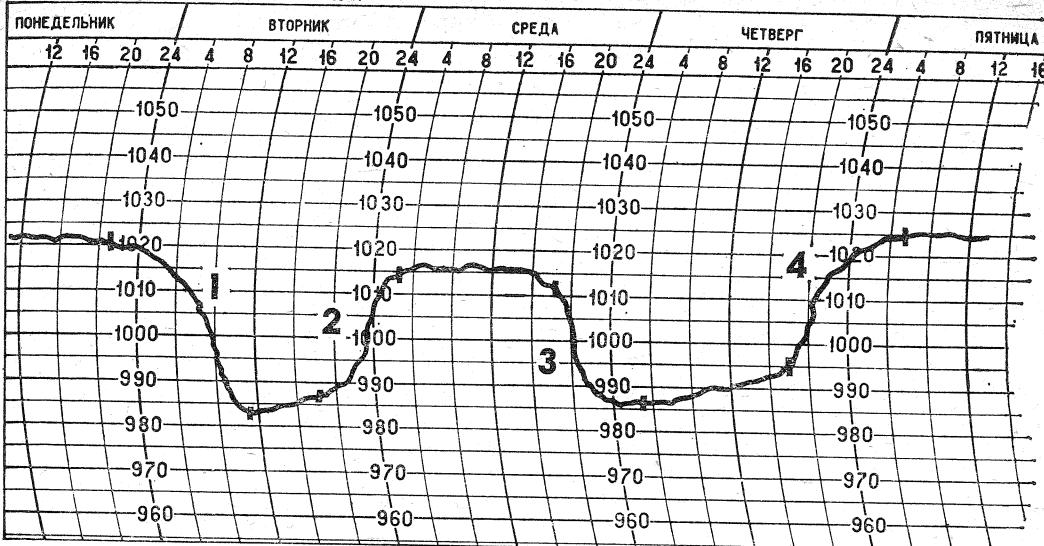


Рис. 111. Примеры барических тенденций.

Кривая выпуклостью вверх: при падении давления — значительное ухудшение погоды (1), при повышении — к улучшению погоды (4). Кривая выпуклостью вниз: при падении давления — ослабление ветра, некоторое улучшение погоды (3); при повышении — может усиливаться ветер (2)

прибор нужно страховывать от падения при крене или на волнении. Ставить барограф следуют на амортизирующую прокладку (поролон или губчатую резину).

Барометрическую тенденцию (рис. 111) определяют по характеру кривой на барограмме, как правило, за последние три часа.

В суточном ходе атмосферного давления имеется два максимума — около 10 и 22 часов и два минимума — около 4 и 16 часов.

Показания барометра обычно записывают в судовой журнал при смене вахт, а при неустойчивой погоде — не реже чем через 2 часа. В последнем случае давление надо наблюдать чаще и при резком изменении его падения запись делается сразу же.

На справочных или синоптических картах точки с одинаковым атмосферным давлением соединены сплошны-

ми линиями — изобарами. Все нанесенные на карту изобары составляют барическое поле данного района. Отдельные участки барического поля, отличающиеся своей конфигурацией и типичной разностью давлений, называют барическими системами — областями с замкнутыми или незамкнутыми изобарами, с повышенным или пониженным атмосферным давлением.

Различают две замкнутые (основные) барические системы:

**циклон** (барический минимум) — область, ограниченная концентрически замкнутыми изобарами, давление в которой понижается от периферии к центру, где наблюдается самое низкое давление (в умеренных широтах — 990—1005 мбар);

**антициклон** (барический максимум) — область, также ограниченная изобарами, но отличающаяся от циклона тем, что высокое атмосферное

давление в центре антициклона уменьшается к его периферии.

Незамкнутые изобары складываются в три барические системы:

ложбина — область низкого давления, отходящая от циклона;

гребень — область высокого давления, отходящая от антициклона;

седловина — барическая система, расположенная крестообразно между соседними двумя циклонами и двумя антициклонами.

## 8.2. Температура воздуха

Температура воздуха в нижних слоях атмосферы складывается в основном из температуры подстилающей поверхности — земли или воды, получающей основную часть тепловой энергии солнца. тепло приземных слоев воздуха верхним передается двумя путями:

— непосредственным вертикальным смешиванием теплых нижних слоев с верхними в результате конвекции, т. е. когда теплый воздух поднимается вверх, а более холодный воздух верхних или соседних слоев заменяет его. Над морем конвекция всегда усиливается ночью, при незначительном изменении температуры воды и более сильном охлаждении верхних слоев воздуха;

— вихреобразным, т. е. турбулентным, беспорядочным движением воздушных масс, переносящих тепло в самых различных направлениях.

Температура воздуха зависит и от состояния погоды. При сплошной облачности перепады температуры значительно меньше, чем при ясном небе. Во время дождя и после него температура может понижаться.

Наконец, зависит температура воздуха и от широты местности: в тропиках теплее, чем в умеренных или высоких широтах.

При наблюдении за температурой различают ее суточный и годовой ход.

В спортивном мореплавании практическое значение имеет суточный ход, т. е. изменение температуры в течение суток в определенном районе. Обычно суточный ход температуры воздуха над морем достигает минимума через 2–3 часа после восхода солнца, а максимума — к 15–16 часам. Такой суточный ход характерен лишь для устойчивой хорошей погоды. Нарушается он при теплообменных процессах в атмосфере, например при смене теплых воздушных масс холодными. В таких случаях ночная температура может оказаться выше дневной.

Суточная амплитуда температуры воздуха — разность между самой высокой и самой низкой температурой за сутки зависит также от облачности, при которой она уменьшается, и от времени года. В открытых морях и океанах суточная амплитуда составляет около 1,0–1,5°C, а в закрытых морях может достигать 10–15°C. Все это необходимо учитывать, так как характер суточного хода имеет прямое отношение к погоде. Так, нарушение правильного суточного хода температуры предвещает ухудшение погоды, а при резком понижении дневной температуры после ненастя можно ждать улучшения погоды. Ухудшение погоды может наступить и при повышении температуры к вечеру.

## 8.3. Влажность воздуха, облачность, осадки

Источником влаги в воздухе является вода, испаряющаяся с подстилающей поверхности океанов, морей, озер, рек, водохранилищ. Эта влага находится в атмосфере в трех состояниях: газообразном — в виде пара, жидким — в виде разной величины капель и твердом — в виде снега, града и других ледяных образований. Поскольку водяной пар — составная часть атмосферы, он существенно влияет на все атмосферные процессы.

Влажность воздуха определяется наличием в нем водяного пара, и зависит она от количества его массы. В метеорологии учитывают два вида влажности: **абсолютную**, выраженную массой водяного пара, содержащегося в единице объема воздуха ( $\text{кг}/\text{м}^3$ ), и **относительную**, выраженную отношением абсолютной влажности к ее максимальному значению при данной температуре. При 100% относительной влажности в воздухе может произойти конденсация водяных паров с выпадением воды. Температура, при которой это случается, называется **точкой росы**.

Наглядный пример жидкого и твердого состояния влаги в атмосфере — облака, состоящие из мельчайших капелек воды, кристалликов льда или их смеси. Необходимое условие образования облаков — насыщение водяных паров до состояния **конденсации** (превращение пара в воду) или **сублимации** (превращение пара в ледяные кристаллы, минуя жидкую фазу) и понижение температуры воздуха до критической. Кроме того, в воздухе должны находиться так называемые **ядра конденсации** (или **сублимации**). Основная масса ядер конденсации состоит из частиц соли, попавших в атмосферу из испаряющихся водной пыли и брызг во время штормов. Взвешенные в воздухе частицы соли переносятся воздушными потоками до встречи с водяными капельками. Ядрами конденсации могут быть и микроскопические частицы пыли и дымообразующих веществ. Переохлажденные капельки с ядер конденсации, замерзающие при низких температурах, могут сублимироваться и образовывать ледяные кристаллики.

В основу классификации облачных структур взяты латинские слова, характеризующие их внешний вид: **стратус** (*Stratus*) — слой, **кумулюс** (*cumulus*) — куча, **циррус** (*cirrus*) — перо, **альтус** (*altus*) — высокий, **опакус**

(*opacus*) — плотный, **нимбус** (*nimbus*) — дождь, **трансливидус** (*translucidus*) — просвечивающий, **фрактус** (*fractus*) — разорванный, **хумилис** (*humilis*) — низкий. Классификация выглядит следующим образом:

## I. Облака нижнего яруса

1. **Слоистые облака** (стратус — *St*) — высота 0,05—0,5 км. Сплошной, однородный, серый, низконависающий покров. Обычно дают моросящие осадки. В отдельных случаях могут простираться до видимого горизонта.

2. **Слоисто-кучевые** (стратокумуллюс — *Sc*) — высота нижнего края 0,3—1,5 км. Сплошной волнистообразный серый покров, перемежающийся волнами и более светлыми промежутками между ними (*Sc opacus*). Выше 0,6 км образуются слоисто-кучевые просвечивающие облака (*Sc translucidus*) серого цвета с просветами. Могут давать морось.

3. **Слоисто-дождевые** (нимбостратус — *Ns*) — высота 0,1—1,0 км. Похожи на слоистые, но имеют более темный цвет. Сопровождаются обложными осадками.

4. **Разорванно-слоистые** (фрактостратус — *Fs*) — сильно изорванные слоистые с просветами.

## II. Облака вертикального развития.

5. **Кучевые облака** (кумулюс — *Cu*) — высота от 0,3 до 1,5 км. Белые кучи с серым плоским основанием и белыми кучеобразными вершинами. К ним относятся кучевые облака хорошей погоды (кумулехумилис — *Cu hum*), разорванно-кучевые (фрактокумуллюс — *Fa cu*) и мощные кучевые (кумулюс конгестус — *Cu cong*). Эти облака осадков не дают (рис. 112).

6. **Кучево-дождевые** (кумуленимбус — *Cb*) — вершинами достигают высоты перистых облаков (6—10 км), походят на горы или высокие башни. Темное основание лежит на высоте около 0,5 км. Вершины ярко-белые,

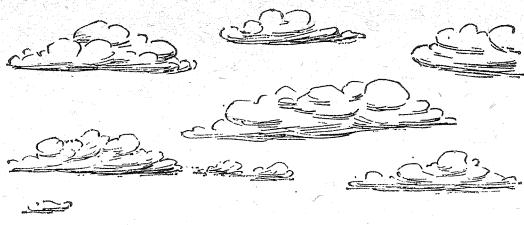


Рис. 112. Кучевые облака хорошей погоды

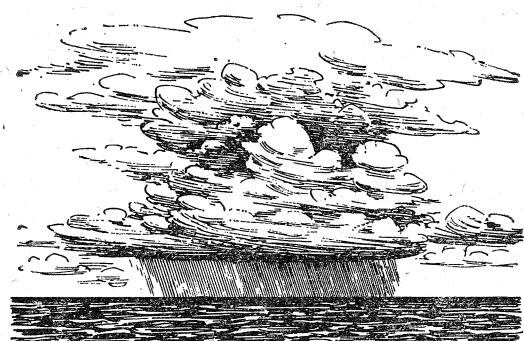


Рис. 113. Кучево-дождевое облако («наковальня»)

состоят из ледяных кристалликов. Верхняя часть облака обычно размыта в стороны, имеет вид наковальни. Эти облака несут сильные ливневые осадки, грозы, град, сопровождаются шквалами (рис. 113).

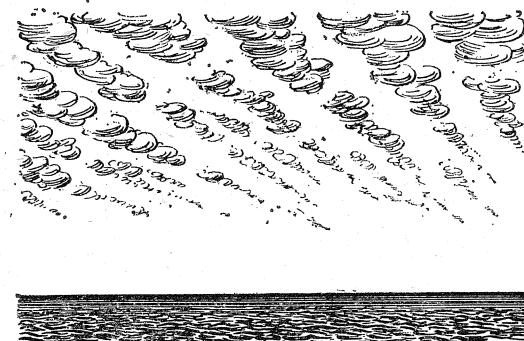


Рис. 114. Высококучевые облака («барашки»)

### III. Облака среднего яруса.

7. **Высококучевые** (альтокумулюс — *Ac*) — образуются на высоте 2—6 км, имеют вид светлых слоистокучевых просвечивающих облаков в сочетании с параллельными полосами, пластинообразных и хлопьевых образований, параллельных гряд, осадков не дают (рис. 114).

8. **Высокослоистые** (альтостратус — *As*) — образуются на высоте 3—5 км в виде пелены светло-серого или синеватого цвета. Могут быть просвечивающимися и плотные, создающие пасмурность.

Все облака среднего яруса имеют смешанную структуру из смеси капелек с ледяными кристаллами. Осадки, выпадающие из них летом, поверхности земли не достигают.

### IV. Облака верхнего яруса.

9. **Перистые** (циррус — *Ci*) — легкие, волокнисто-нитевидной формы в виде белых отдельных волокон, иногда «коготков» (рис. 115).

10. **Перисто-кучевые** (циррокумулюс — *Cc*) — мелкие «барашки», иногда похожие на рыбью чешую. Могут наблюдаваться вместе с перистыми облаками.

11. **Перисто-слоистые** (цирростратус — *Cs*) — тонкая белесая прозрачная пелена, на фоне которой вокруг солнца или луны может образоваться ореол из цветных колец, так называемые круги Гало. Эти и похожие явления — эффект преломления и отражения света в ледяных кристалликах, из которых и состоят перистые облака.

Облака верхнего яруса находятся на высоте 6—10 км.

Конденсат атмосферного водяного пара, выпадающий из облаков или образующийся на поверхности земли и наземных предметах, называется атмосферными осадками, которые могут быть жидкими (дождь, морося; на земле — роса) и твердыми (снег,

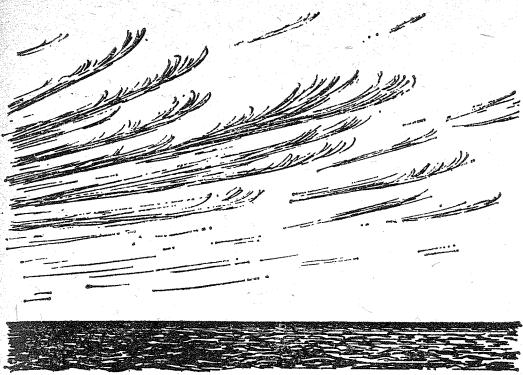


Рис. 115. Перистые облака

снежная крупа, град; на земле — иней, изморозь, гололед).

По своему характеру выпадающие осадки могут быть:

**ливневыми** — внезапными и быстрыми выпадениями дождя, снега, крупы или града из кучево-дождевых облаков обычно весной и летом;

**обложными** — продолжительный и равномерный дождь или снег, выпадающий из высокослоистых или слоисто-дождевых облаков при пасмурной погоде и на большой площади; в умеренных широтах преобладают осенью и зимой;

**моросящими** (морось) — мельчайшие капельки воды, не оставляющие следа на воде; выпадают из низких слоистых облаков или из густого тумана; чаще всего бывают осенью.

Скопление микроскопических капелек воды в нижних слоях атмосферы, при которых горизонтальная видимость составляет менее полукилометра, называют **туманом**. Образуются туманы при высокой относительной (около 100 %) влажности и в присутствии в воздухе ядер конденсации. По причинам, их вызывающим, туманы делятся на:

**радиационные**, возникающие над сушей в предутренние часы из-за потери тепла подстилающей поверхностью.

С повышением дневной температуры быстро рассеиваются. Для мореплавателя такие туманы, лежащие низко над землей (позвоночные), опасны тем, что, появляясь на побережье, могут закрывать плавучие и береговые знаки навигационного ограждения. При этом могут быть видимы высоко расположенные верхние части зданий, маяков, других береговых предметов. Над морем радиационные туманы появляются только в высоких широтах при большой относительной влажности воздуха;

**адвективные\***, образующиеся на воде при перемещении теплого влажного воздуха над охлажденной поверхностью моря. Плотны и устойчивы к ветрам до 10 м/с. Перемещаясь с ветром, они заволакивают большие районы. Видимость в адвективных туманах охлаждения может быть от нескольких десятков до нескольких метров. Имея большую высоту над уровнем моря, такой туман усложняет плавание, закрывая не только встречные суда, но и огни маяков;

**адвективные туманы парения**, невысокие, до нескольких метров, клубящиеся туманы, возникающие при перемещении холодного воздуха над теплой поверхностью моря. Встречаются при вторжении холодных масс арктического воздуха на незамерзающие моря в холодное время года.

Разновидностью тумана является туманная дымка, видимость при которой 0,5—5 миль.

Кроме осадков и туманов на ухудшение видимости может влиять **сухая мгла** — механическое помутнение атмосферы, которое встречается в море вблизи берегов при прохождении мимо больших промышленных городов. Мгла состоит из дыма фабричных труб, концентрации в воздухе различных неулавливаемых частиц пыли, выхлопов двигателей автотранспорта,

\* Адвекция (лат.) — перенос.

дымы лесных пожаров и т. д. Другой вид мглы образуется в результате сноса ветром с берега (с сухих песчаных равнин и пустынь) в море пыли и мелкого песка. Смесь тумана и мглы называют **смогом**.

В сухую жаркую погоду в море можно наблюдать явление оптической мутности атмосферы, когда сильные конвективные токи воздуха различной плотности перемешивают его. При этом в неоднородной воздушной среде при разных температуре и давлении резко меняются условия отражения,

рассеивания и преломления световых лучей: предметы теряют свою четкость, становятся расплывчатыми и искаженными, снижая тем условия видимости.

В отличие от навигационной метеорологическая видимость определяется предельным расстоянием видимости наблюдаемого предмета в условиях данной погоды. Для определения дневной дальности метеорологической видимости существует десятибалльная шкала (табл. 5).

Таблица 5

**Шкала метеорологической видимости (для летнего плавания)**

Дальность видимости	Характеристика видимости	Условия видимости	Баллы
До $\frac{1}{4}$ каб. До 1 каб. До 2—3 каб.	Очень плохая	Очень сильный туман Сильный туман Умеренный туман	0 1 2
Около 0,5 мили От 0,5 до 1 мили	Плохая	Слабый туман Очень сильный дождь, умеренная дымка или мгла	3 4
1—2 мили 2—5 миль	Средняя	Сильный дождь, слабая дымка или мгла Умеренный дождь	5 6
5—11 миль	Хорошая	Слабый дождь	7
11—27 миль	Очень хорошая	Без осадков	8
Свыше 27 миль	Отличная	Совершенно чистый воздух	9

#### **8.4. Ветер. Общая циркуляция атмосферы**

Перемещение масс воздуха из области высокого атмосферного давления в область с низким давлением называется **ветром**.

Скорость ветра определяется вели-

чиной барического градиента, т. е. разностью атмосферного давления на установленную единицу расстояния, равную 60 милям ( $1^{\circ}$  широты), в сторону падения давления. Поэтому скорость ветра тем больше, чем больше барический градиент.

Величину и направление бариче-

ского градиента на карте изобар показывают в виде вектора перпендикулярного изобаре большего давления, направленного в сторону меньшего давления. Вследствие вращения Земли (под влиянием силы Кориолиса) направление ветра не совпадает с вектором барического градиента, а отклоняется в северном полушарии вправо, в южном — влево. В средних широтах это отклонение достигает  $60^{\circ}$ .

На отклонение ветра влияет также кривизна самих изобар, вызывающая криволинейное движение воздуха под действием центробежной силы, направленной по радиусу кривизны. В циклоне центробежная сила направлена против силы градиента, а в антициклоне совпадает с ней. Поэтому при одинаковом градиенте скорость ветра в циклоне всегда меньше, чем в антициклоне.

По традиции направление ветра считается из той точки горизонта, откуда он дует. Иначе говоря, ветер дует в компас, направление обозначается в румбах\* (иногда в градусах). Также в компас принято определять направление зыби, а из компаса, в направлении на горизонт, морские течения.

Единицами измерения скорости ветра являются «метр в секунду», «километр в час», «узел». Практически же скорость ветра с помощью анемометра измеряется в м/с или приближенно оценивается «сила ветра» по шкале Бофорта (табл. 6).

Для измерения скорости ветра в судовых условиях применяется ручной анемометр (рис. 116). Ветер, вращая крестовину с четырьмя полыми полушариями, приводит в движение счетчик прибора, который через три стрелки дает показания на циферблатах. Точное значение скорости ветра надо узнать из таблицы поправок в аттестате анемометра.

\* В настоящее время синоним направления,

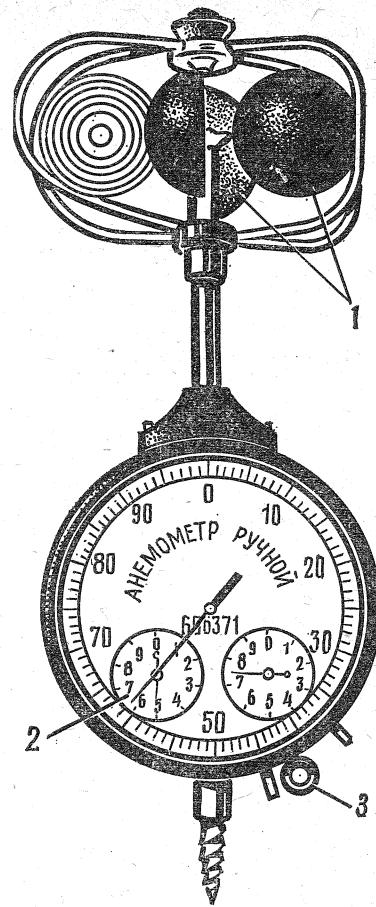


Рис. 116. Ручной анемометр:  
1 — полушария крестовины; 2 — отчет 6175; 3 — стопор (арретир)

При порывистом ветре определяют его среднюю скорость — по нескольким сделанным подряд измерениям и находят среднее арифметическое значение. Другой способ: проводят наблюдение в течение нескольких минут, а затем делят полученную разность отсчетов на соответствующее число секунд.

Ветер по своей структуре не однороден. Он может быть струйным (ламинарным), когда слои воздуха движутся не перемешиваясь, их частицы не переходят из слоя в слой. Такое дви-

Таблица 6

**Шкала для визуальной оценки силы ветра (уточненная Всемирной метеорологической ассоциацией в 1963 г.)**

Баллы Бофорга	Характеристика ветра	Скорость ветра м/с интервал	Действие ветра		Давление Н/м <sup>2</sup> (кгс/м <sup>2</sup> )
			на судне	на море	
0 (0)	Штиль	0—0,2	Дым поднимается вертикально. Вымпел неподвижен	Зеркально-гладкая поверхность	0
1 (1)	Тихий	1 0,3—1,5	По дыму можно определить направление ветра	Рябь. Пены на гребнях нет	0,1
2 (2)	Легкий	3 1,6—3,3	Легкий поток воздуха. Слегка колеблются флаги и вымпелы	Короткие волны. Гребни кажутся стекловидными	0,5
3 (3)	Слабый	5 3,4—5,4	Дым вытягивается по ветру и развеивает флаги и вымпелы	Короткие волны. Гребни образуют стекловидную пену. Изредка образуются маленькие белые барашки	0,2
4 (4)	Умеренный	7 5,5—7,9	Вытягиваются вымпелы, заполаскивают флаги	Удлиненные волны. Белые барашки видны во многих местах	4
5 (4)	Свежий	9 8,0—10,7	Вытягиваются и полощут большие флаги	Развитые в длину, но не крупные волны. Повсюду видны барашки. Отдельные брызги	6
6 (5)	Сильный	12 10,8—13,8	Начинают гудеть провода и снасти	Образуются крупные волны. Белые пенистые гребни занимают большие площади. Ветер начинает срывать брызги	11
7 (6)	Крепкий	15 13,9—17,1	Свист ветра около снастей и надстроек. Становится трудно ходить против ветра	Волны громоздятся, гребни срываются, пена ложится полосами по ветру	17
8 (7)	Очень крепкий	19 17,2—20,7	Движение против ветра заметно затрудняется	Умеренно-длинные волны. На гребнях начинают взлетать брызги. Полосы пены ложатся рядами по направлению ветра	25
9 (8)	Шторм	23 20,8—24,4	Возможны небольшие повреждения в надстройках. Могут сорваться неукрепленные предметы	Высокие волны с широкими плотными полосами пены. Гребни опрокидываются, рассыпаясь в брызги, которые ухудшают видимость	35

Баллы Бофорта	Характеристика ветра	Скорость ветра м/с интервал	Действие ветра		Давление Н/м <sup>2</sup> (кгс/м <sup>2</sup> )
			на судне	на море	
10 (8)	Сильный шторм	27 24,5—28,4	Возможны более значительные повреждения в оснастке и надстройках	Очень высокие волны с длинными, загибающимися гребнями. Ветер срывает пену большими хлопьями. Поверхность моря белая от пены. Грохот волн, похожий на удары. Видимость плохая	46
11 (9)	Жестокий шторм	31 28,5—32,6	Возможны разрушения в надстройках, палубе и такелаже	Исклюючительно высокие волны. Небольшие и средние суда временами скрываются из виду. Море покрыто длинными белыми хлопьями пены, скрывающимися с гребней. Видимость плохая	64
12 (9)	Ураган	32,7 и более	Опустошительные разрушения	Воздух наполнен пеной и брызгами. Море покрыто полосами пены. Видимость очень плохая	Свыше 74

Приложение. Так как по настоящей таблице можно определять и состояние моря, в графе «баллы Бофорта» в скобках указаны также баллы волнения.

жение воздуха обычно бывает при слабых ветрах. Если же скорость ветра превышает 4 м/с, то частицы воздуха начинают двигаться беспорядочно, его слои перемешиваются и приобретают турбулентный характер. Чем выше скорость ветра, тем больше турбулентность, тем больше скачки скорости в отдельных точках воздушного потока и тем более порывистым становится ветер. Табл. 7 показывает, как меняется ветер в зависимости от его скорости и направления.

Шквалистый ветер характерен не только частыми и резкими колебаниями скорости, но и сильнейшими от-

дельными порывами продолжительностью до нескольких минут. Ветер, который резко увеличивает свою скорость в течение очень короткого промежутка времени на фоне слабого ветра или штиля, называют шквalom. Чаще всего шквалы налетают при прохождении мощных кучево-дождевых облаков и нередко сопровождаются грозой и ливнями. Скорость шквального ветра достигает 20 м/с и более, а в отдельных порывах — 30—40 м/с. При этом наблюдаются неожиданные повороты ветра до нескольких румбов. Основной причиной шквала является взаимодействие восходящего потока теплого воздуха в передней части кучево-дождевого облака и нисходящего воздуха, охлажденного ливневым дождем, в тыловой его части.