

## Приложение.

**Расчет азимута восхода (захода) светил** производят по формуле, данной в пособии Т.М. Потемкиной и В.А. Юревича [Потемкина, Юревич, 1998, с. 18]:

$$\cos A = (\sin \delta - (\sin \varphi \times \sin h)) / (\cos \varphi \times \cos h), \text{ где}$$

$\delta$  – склонение восходящего (заходящего) светила на линии астрономического горизонта в градусах,

$h$  – высота восходящего (заходящего) светила на линии астрономического горизонта в градусах,

$\varphi$  – географическая широта точки наблюдателя в градусах.

Высота восхода (захода) Солнца на линии астрономического горизонта, равного  $0^\circ$  от уровня моря, для которого даются данные в астрономических программах, будет равна, с учетом поправок на рефракцию, равную  $-0,6^\circ$  для высоты  $0^\circ$  и на величину радиуса диска Солнца для верхней точки восходящего (заходящего) светила  $-0,25^\circ$ , и поправку на дальность расстояния до точки восхода (захода) Солнца  $0,0045^\circ$  на 1 км

$$h = 0^\circ - 0,25^\circ - 0,6^\circ - 0,0045^\circ \times n \text{ км} = -0,85^\circ.$$

Но реальная высота линии местного астрономического горизонта восходящего (заходящего) Солнца в градусах, находится из нескольких сочетаний:

1) суммы высоты площадки наблюдателя над уровнем моря, например, 242 м (значение по карте или GPS) + высоты до глаз наблюдателя, например, + 1,5 м, дающей высоту линии местного астрономического горизонта, равную

$$H \text{ м. а.} = 242 \text{ м} + 1,5 \text{ м} = 243,5 \text{ м.}$$

2) высоты местной линии горизонта  $H \text{ м.}$  в виде ближайшей возвышенности, над которой наблюдается восходящее (заходящее) Солнце, допустим,  $H \text{ м.} = 246,5 \text{ м}$  (значение по карте или GPS),

3) дает разницу с линией местного астрономического горизонта  $246,5 \text{ м} - 243,5 \text{ м} = 3 \text{ м.}$

4) тогда искомая высота точки восхода (захода) Солнца на местной линии горизонта в градусах находится через соотношения:  $\text{tg} = 3 \text{ м} / 200 \text{ м} = 0,015$ .  $\text{Arctg } 0,015 = 0,86^\circ$ .

Значит, высота восхода (захода) Солнца на местной линии горизонта  $h_m = 0,86^\circ$ . Применяем к этой теоретической высоте все поправки:

на верхний край диска Солнца по его радиусу  $-0,25^\circ$ , на рефракцию для высоты  $0,86^\circ$  равную  $-0,44^\circ$  (смотрите Таблицу Аллена, с. 182) и на дальность горизонта  $-0,0045^\circ$  на каждый км, т. е. в рассматриваемом нами случае  $-0,0045^\circ \times 0,2 \text{ км} = 0,0009^\circ$ . Высота восходящего (заходящего) Солнца равна  $h = 0,86^\circ - 0,25^\circ - 0,44^\circ - 0,0009^\circ = 0,17^\circ$ . Для Луны применяются те же поправки, но ещё добавляется параллакс Луны  $+0,95^\circ$ .

Азимут для захода высчитывается из разности  $360^\circ$ - найденное значение азимута для восхода.

Поправка на рефракцию рассчитывается методом интерполяции исходя из табличных значений, данных в пособии К.У. Аллена «Астрофизические величины» [Аллен, 1977, с. 182].

**Таблица зависимости величины рефракции от высоты светила над горизонтом [Аллен, К.У. Астрофизические величины. М.: «Мир», 1977. С. 182-279]**

Величина рефракции на некоторых высотах (при температуре  $10^\circ\text{C}$  и давлении 760 мм рт. ст.)

видимая (искажённая рефракцией) высота, градусы	величина рефракции, <u>минуты дуги:</u>
90	0
70	0,4
50	0,8
30	1,7
20	2,6
10	5,3
5	9,9
4	11,8
3	14,4
2	18,4
1	24,7
0	35,4

Для расчета высоты восходящего (заходящего) светила по представленной выше схеме расчета можно сделать небольшую подпрограмму расчета высоты светил, например, в excel.

Полезно знать разницу между азимутом восхода (захода) Солнца на линии астрономического горизонта 0 м над уровнем моря и азимутом восхода (захода) Солнца над местной линией горизонта, т.к. эта разница сохраняется и для древних времён в данной местности, и тогда достаточно будет посчитать азимут восхода (захода) Солнца на астрономическом горизонте при  $h = 0$  м над уровнем моря и применить разницу.

Для расчета азимута восхода (захода) Солнца в дни солнцестояний в древности, надо учесть, что **склонение восхода Солнца в солнцестояние  $\delta$ , равное углу наклона Экватора к Эклиптике  $\epsilon$** , который в наше время равен  $23,433^\circ$ , но до нашего времени был больше и уменьшался, примерно, на  $47''$  в столетие по современным указаниям [Жаров, 2006, с. 355], т.е.  $0,013^\circ$  в столетие. Но это изменение не линейно, и годится только для приблизительного расчета, чтобы примерно определить эпоху памятника. Для более точного расчета, надо брать точные значения склонения  $\delta$  Солнца на предполагаемые рассчитываемые годы в астропрограмме, например, в StarCalc или Stellarium. Изменения угла наклона Экватора к Эклиптике  $\epsilon$  зависит от большого цикла качания этих плоскостей относительно друг друга в пределах  $5^\circ$ , от  $21,5^\circ$  до  $26,5^\circ$ , и обратно, примерно, за 80 тысяч лет. Во времена смены направления угла наклона в противоположную сторону скорости изменения угла  $\epsilon$  замедляются.

Как определить дату события в древности, например, дату летнего солнцестояния? Нужно найти ту дату, при которой Солнце будет иметь максимальное значение  $+\delta$ , равное углу  $\epsilon$ . Найденная дата будет отличаться от современной. В зимнее солнцестояние в древности нужно будет найти дату с минимальным значением склонения Солнца  $-\delta$ , равным углу  $\epsilon$ . В равноденствие склонение Солнца  $\delta$  всегда равно нулю, поэтому и на местности азимут будет определяться в том же самом месте, что и в древности.

Например, на Усть-Ташлинском кургане азимут восхода Солнца в летнее солнцестояние на линии астрономического горизонта, рассчитанный на дату 22.06.2018 г в 4ч 45м, равен  $48,43^\circ$ .

Это же событие происходило 100 лет назад, а именно, 23.06.1918 г. в 4ч 45м, чуть позже точного момента летнего солнцестояния, происходившего 22.06.1918 г. в 10ч 54м при  $\alpha = 6ч 00м 00с$ , поэтому, момент солнцестояния должен был отслеживаться утром следующего дня. Склонение восходящего Солнца на тот момент 23.06.1918 г. в 4ч 45м было  $\delta = 23^\circ 26' 51,1'' = 23,4475^\circ$ .

Азимут восхода Солнца на линии астрономического горизонта в летнее солнцестояние 23.06.1918 г. в 4ч 45м, при  $\delta = 23,4475^\circ$  и  $h = -0,85^\circ$  равен  $48,40^\circ$ .

Разница азимутов восходов Солнца в летнее солнцестояние на линии астрономического горизонта  $0^\circ$  от уровня моря за 100 лет на Усть-Ташлинском кургане с «усами» составляет, примерно,  $48,43^\circ - 48,40^\circ = 0,03^\circ$  - округлённый результат. Но в процессе расчёта надо оперировать более точными значениями, а именно  $48,4310^\circ - 48,4048^\circ = 0,0262^\circ$ , т.к. это же число, доведённое до тысяч лет, даст более точный расчёт, а потом уже результат можно будет округлить.

Вот теперь уже, оперируя разностью результатов между современной расчётной датой и древней, можно будет сравнивать значение азимута на местной линии горизонта.