



**XXXII Санкт-Петербургская
Астрономическая олимпиада**
практический тур, решения

2025
2
марта

9 класс

Вам дана фотография северного оленя, сделанная в его естественной среде обитания и при естественном освещении. Прямо над оленем — Луна. Определите для этой фотографии возможные географические координаты места, где она была снята, а также возможные даты и примерное местное время съемки.



Решение:

Сразу же поменяем черно-белую фотографию оленя, использовавшуюся на туре, на цветную: так симпатичнее, к тому же цветной вариант содержит дополнительную подсказку, которую мы обсудим чуть позже.

В этой задаче не нужно ничего измерять, вполне достаточно внимательно посмотреть на то, что мы видим. Кроме собственно оленя (сообщающего важную для ответа деталь — дело происходит

в Северном полушарии Земли), мы видим Луну практически в первой четверти, терминатор которой расположен практически вертикально. При этом сама Луна находится на очень небольшой высоте над горизонтом: интервал от нее до горизонта близок к ее угловому диаметру, т.е. ее высота над горизонтом всего около 1° . Освещение естественное, олень неплохо освещен (причем источник света находится справа) — это день или, в крайнем случае, гражданские сумерки. В то же время освещенная сторона Луны повернута чуть к горизонту, так что и Солнце, находящееся примерно на 90° западнее Луны, тоже примерно на горизонте — мы наблюдаем примерно во время захода Солнца. На цветной картинке дополнительно видна розовая подсветка шеи оленя, подтверждающая то, что Солнце находится на горизонте. Наконец, на земле лежит снег (и его слой не очень тонкий — заметная часть ног оленя в него погружена).

Теперь задумаемся о точности, с которой мы сможем что-то определить. Ориентироваться приходится на Луну, а ее орбита наклонена к плоскости эклиптики на 5° — при прочих равных условиях Луна может оказаться на $\pm 5^\circ$ выше или ниже среднего положения. Это, в частности, определяет возможную точность результатов, поскольку конкретную информацию об ориентации орбиты Луны мы не знаем.

С учетом предыдущего замечания можно считать, что Луна в среднем расположена на эклиптике. Солнце, естественно, находится на ней же, и по фотографии можно сказать, что эклиптика примерно совпадает с горизонтом. Поскольку угол наклона небесного экватора к эклиптике известен и равен $\varepsilon \approx 23^\circ$, это означает, что в данной местности и угол между небесным экватором и горизонтом равен ε , а тогда модуль широты места наблюдения должен быть равен $|\varphi| = 90^\circ - \varepsilon = 67^\circ$. Как мы уже знаем, дело происходит в Северном полушарии, так что вариант только один: $\varphi \approx 67^\circ$, это Северный полярный круг (что вполне соответствует ареалу обитания северного оленя).

Попробуем понять, в какое время эклиптика может совпасть с горизонтом. Прямая, по которой пересекаются горизонт и небесный экватор — это линия «восток–запад». Поскольку эклиптика должна быть повернута по отношению к экватору так же, как горизонт, это означает, что точки востока и запада совпадают с точками пересечения небесного экватора и эклиптики, т.е. с точками весеннего и осеннего равноденствия. Отсюда следует вывод, что в момент съемки звездное время равно либо 6^h , либо 18^h .

Однако не все комбинации подобных вариантов возможны. Например, рассмотрим ситуацию, когда совпадают точка весеннего равноденствия и точка запада. В южном (и «летнем» направлении) эклиптика должна оказаться над экватором, а тот, в свою очередь, над горизонтом. Эклиптика и горизонт окажутся, вопреки желаемому, повернуты на максимальный угол друг к другу. Аналогичным образом можно показать, что точка осеннего равноденствия не может совпадать с точкой востока. Поэтому вариант только один: точка весеннего равноденствия совпадает с точкой востока, точка осеннего равноденствия — с точкой запада, а это означает, что звездное время может равняться только 18^h .

Попробуем перебрать варианты. В день весеннего равноденствия истинное солнечное время и звездное время отличаются на 12^h , в полдень звездное время равно 0^h , а в момент захода Солнца — 6^h , и этот вариант нас не устраивает. Затем звездное время постепенно обгоняет солнечное, а момент захода Солнца, наоборот, происходит все позже и позже по солнечному времени вплоть до летнего солнцестояния, так что этот интервал года — астрономическая весна — нам явно не подходит. Для астрономического лета можно получить аналогичный результат, но проще сообразить, что даже около полярного круга снег не лежит круглогодично.

В день осеннего равноденствия все сходится: звездное время совпадает с солнечным, заход происходит в 6^h и звездного, и солнечного времени в точке запада, она же точка осеннего равноденствия. В дальнейшем же и Солнце заходит все раньше, и звездное время уходит вперед по отношению к солнечному. Сразу же сделать вывод, что одно изменение не может компенсировать другое трудно, но все же можно. За три последующих месяца, вплоть до зимнего солнцестояния, солнечное время отстанет от звездного на 6 часов, а момент захода Солнца сдвинется по времени на 12 часов (в день зимнего солнцестояния на Северном полярном круге практически наступает полярная ночь). При этом быстрее всего продолжительность дня меняется в окрестности равноденствий, поэтому сдвиг между звездным и солнечным временами в течение интервала не «компенсирует» все более ранний заход Солнца.

Наконец, в окрестности дня зимнего солнцестояния восход Солнца, полдень и заход происходят почти одновременно и случается это в окрестности 18^h звездного времени. Формально в нужный момент мы не попадаем, но можем оказаться очень близко от него. Затем, в течение астрономической зимы, момент захода Солнца будет происходить все позже по солнечному времени, звездное время опять пойдет вперед и подходящая для нас ситуация не наступит.

Итого делаем вывод: подходящие для нас даты — это окрестности либо осеннего равноденствия, либо зимнего солнцестояния. И вот тут самое время вспомнить про снег, в котором стоит олень. Погода может преподнести разные сюрпризы, но все-таки даже на таких широтах в окрестности дня осеннего равноденствия снег если и выпадает, то первый в сезоне и не в таком количестве. Поэтому остается один вариант: снимок сделан в 20-х числах декабря примерно в 12 часов местного солнечного времени (в полдень). Олень при этом стоит восточнее фотографа. Широта места съемок — примерно 67° северной широты. А вот про долготу что-либо определенное сказать сложно, можно исключить разве что диапазон долгот от 45° западной долготы до 15° восточной долготы, соответствующий Атлантическому океану (и внутренним областям Гренландии).

Осталось сообщить реальный ответ. Эта фотография снята 21 декабря 2023 года в точке с координатами 65° северной широты, 21° восточной долготы (это северная часть Швеции). Точное время съемки неизвестно, однако координаты и дата не оставляют никакой другой возможности, кроме примерного полудня.

П.А.Тараканов