

XXV Всероссийская олимпиада школьников по астрономии

Волгоград, 2018 г.

Практический тур

IX.7 ОКОЛО ВЕГИ

А.М. Татарников

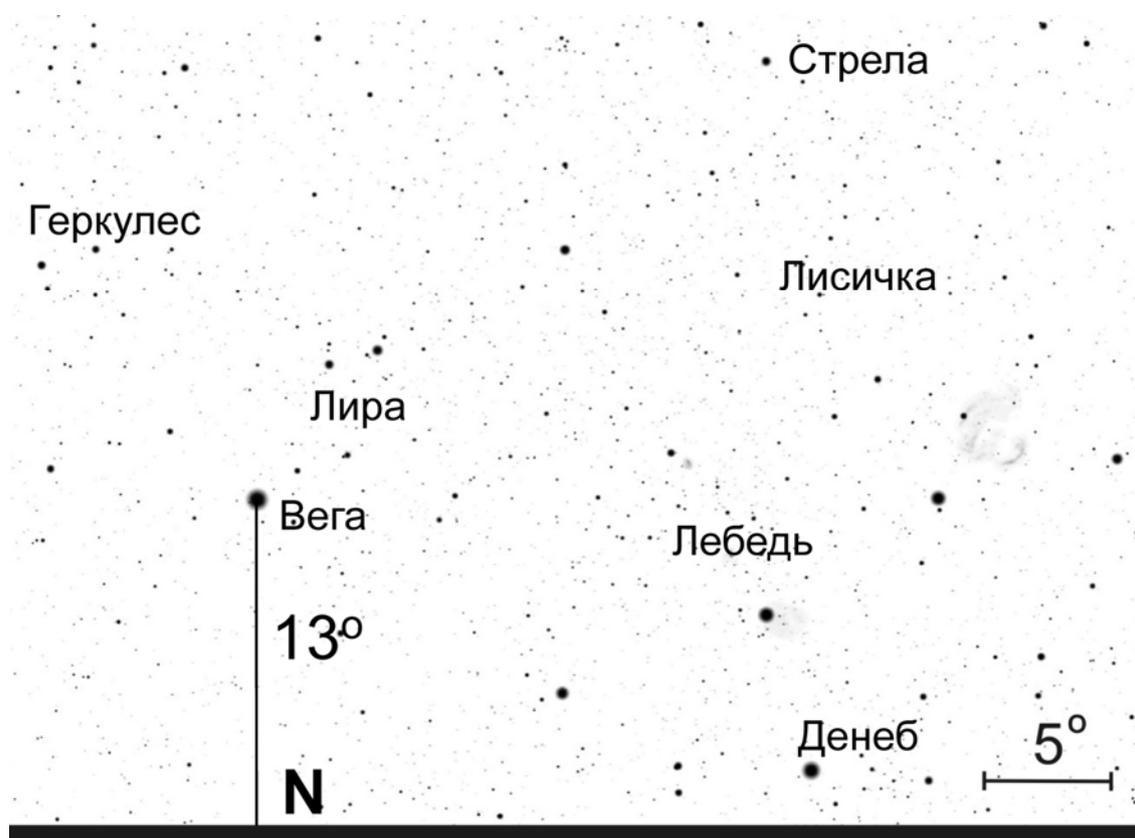


Условие. На рисунке представлена область неба с окрестностями звезды Вега ($\alpha=18^{\text{ч}}38^{\text{м}}$, $\delta=+38^{\circ}48'$) в момент ее верхней кульминации. Горизонт – темная полоса вдоль нижнего края рисунка. Подпишите названия известных вам созвездий и их главных звезд, укажите положение точек юга, севера, востока или запада на горизонте, если они попадают на рисунок. Определите широту места наблюдения.



Решение. На рисунке можно узнать созвездия Лиры со звездой Вега и Лебеда со звездой Денеб, но для нас, жителей северного полушария Земли, они выглядят перевернутыми. Учитывая, что картина наблюдается в момент верхней кульминации Веги, мы можем сделать

вывод, что картина наблюдается в южном полушарии. Высоту Веги над горизонтом h можно определить по масштабу рисунка, она равна 13° . Очевидно, что кульминация происходит над точкой севера, которую можно обозначить на рисунке. Угловой размер рисунка существенно меньше 90° , и другие основные точки горизонта (восток, юг, запад) на него не попадают.



Для нахождения широты в южном полушарии мы можем воспользоваться обобщенной формулой для высоты светила в верхней кульминации:

$$h = 90^\circ - |\varphi - \delta|;$$

$$|\varphi - \delta| = 77^\circ.$$

Учитывая, что Вега имеет большое положительное склонение, а также то, что кульминация происходит на севере (что соответствует отрицательному знаку выражения под модулем), получаем широту места наблюдения:

$$\varphi = -77^\circ + \delta = -90^\circ + \delta + h = -38^\circ.$$

На рисунке, кроме указанных выше созвездий, видны также части созвездий Геркулеса, Стрелы и Лисички.

Система оценивания (от одного члена жюри). Первая часть решения связана с определением широты места наблюдения. Для этого можно использовать формулу для высоты в верхней кульминации, справедливой для южного полушария, либо общую формулу, выделив в ней соответствующий случай. Формулу можно также вывести на основе рисунка. Этап оценивается в 6 баллов, которые не выставляются полностью (0 баллов), если эта широта оказывается положительной или если она вычисляется с помощью формул, применимых только для северного полушария, без опровержения этой формулы по ходу

решения. Ошибки более чем в 1 градус, вызванные неточностью измерений на рисунке, приводят к уменьшению этой оценки на 2 балла.

Правильное указание точки севера оценивается в 2 балла, которые не выставляются, если на рисунке указаны какие-либо другие стороны горизонта.

Указание созвездий Лиры, Лебеда, Геркулеса, Стрелы и Лисички, а также звезд Вега и Денеб оцениваются по 0.5 балла за каждое. Указание других объектов не влияет на оценку в случае их правильности и уменьшает оценку на 0.5 балла в случае ошибки. Итоговая оценка за этот этап получается округлением вверх (максимум – 4 балла) и не может быть меньше нуля.

IX.8 ПОСТОЯННАЯ ХАББЛА

А.М. Татарников



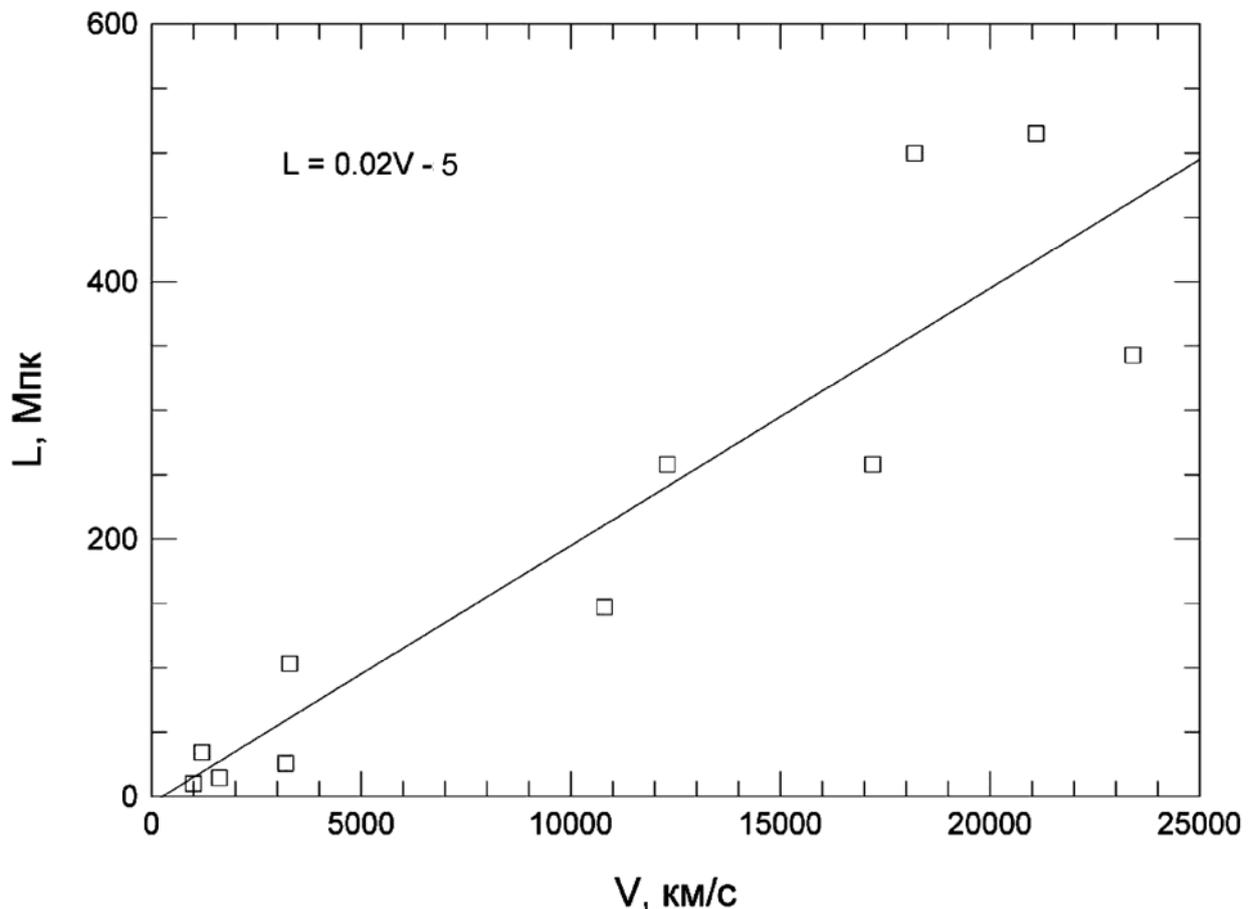
Условие. Некий любитель астрономии решил самостоятельно определить значение постоянной Хаббла H , связывающей скорость удаления далекой галактики v и расстояние до нее r ($v=H \cdot r$). Для этого он по разным каталогам и критериям отобрал спиральные галактики, относящиеся к типу SBbc – тому же, что и Галактика Млечный Путь. Вам дана составленная им таблица с лучевыми скоростями галактик и их угловыми размерами. Оцените значение постоянной Хаббла по этим данным. Проанализируйте полученный результат.

Название	V, км/сек	Диаметр большой оси, '	Диаметр малой оси, '
Млечный путь	---	---	---
Gal1	-20	15	7
Gal2	3290	1	0.4
Gal3	300	10	2
Gal4	1000	10	9
Gal5	50	22	15
Gal6	3200	4	4
Gal7	1620	7	6.5
Gal8	12300	0.4	0.2
Gal9	23400	0.3	0.3
Gal10	120	17	16
Gal11	10800	0.7	0.7
Gal12	17200	0.4	0.4
Gal13	1200	3	1
Gal14	21100	0.2	0.1
Gal15	18200	0.2	0.1

Решение. Наша Галактика Млечный Путь также относится к типу SBbc. Поэтому будем считать, что галактики из представленной таблицы имеют такие же линейные размеры, что и Млечный путь, т.е. $R=15$ кпк. Тогда представленные в таблице угловые размеры могут быть использованы для вычисления расстояния до галактик и построения стандартного графика «расстояние-скорость» для определения величины постоянной Хаббла H . Помня о том, что о диаметре диска галактики говорит размер большой оси изображения, построим таблицу:

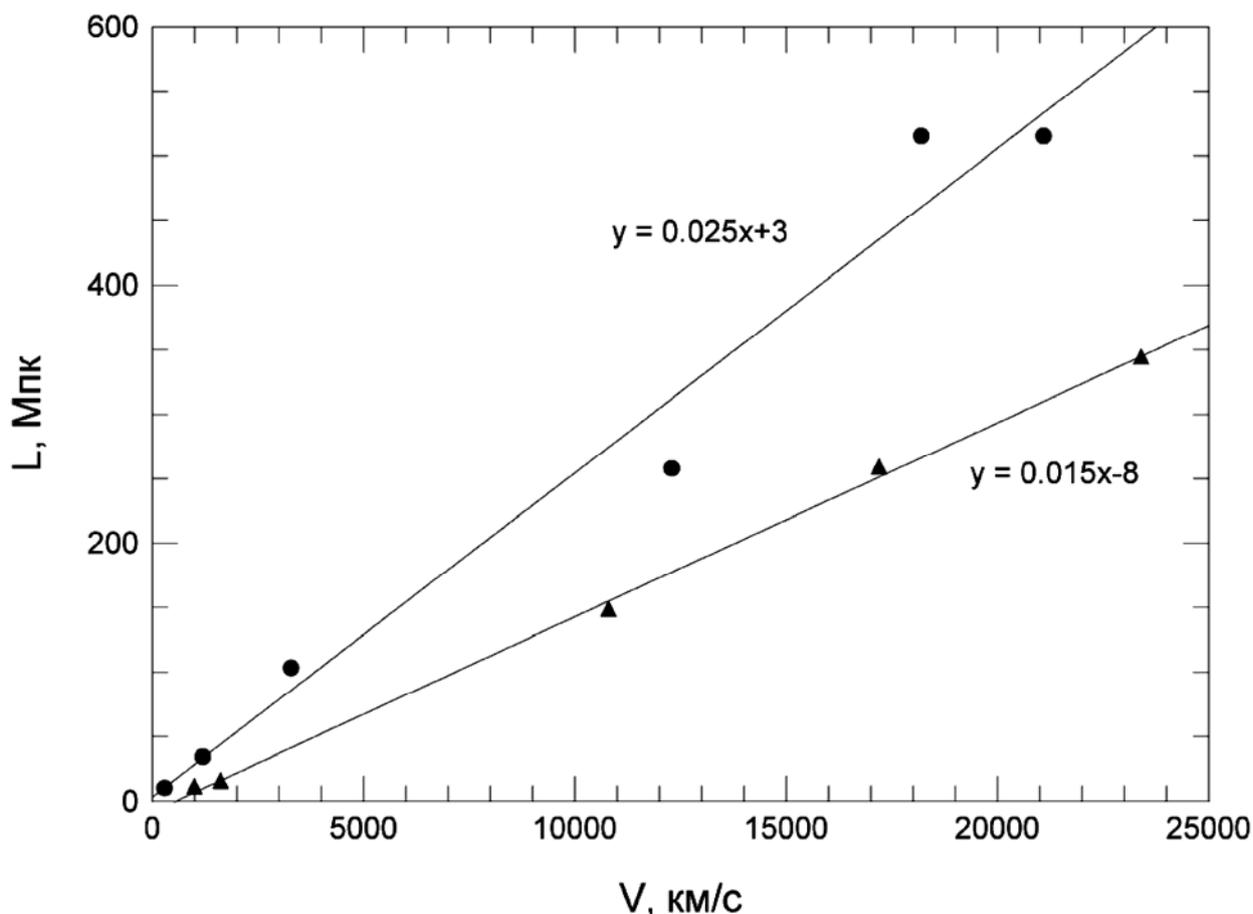
Название	V, км/сек	Диаметр большой оси, '	Расстояние, Мпк
Млечный путь	---	---	---
Gal1	-20	15	7
Gal2	3290	1	103
Gal3	300	10	10.3
Gal4	1000	10	10.3
Gal5	50	22	4.7
Gal6	3200	4	25.8
Gal7	1620	7	14.7
Gal8	12300	0.4	258
Gal9	23400	0.3	343
Gal10	120	17	6
Gal11	10800	0.7	147
Gal12	17200	0.4	258
Gal13	1200	3	34.3
Gal14	21100	0.2	515
Gal15	18200	0.2	515

Так как величина постоянной Хаббла определяется крупномасштабным расширением Вселенной, то мы не можем при построении графика использовать близкие к нам галактики. Ограничимся при этом галактиками, имеющими скорости свыше 1000 км/с (допустимо использовать и галактику со скоростью 500 км/с – это не несет большой ошибки, но вот со скоростью 120 км/с – нет).



Нанесем на график $V(R)$ данные из 1 и 3 столбцов таблицы и проведем через точки прямую линию. Коэффициент ее наклона равен $1/H$. Отсюда мы получаем величину постоянной Хаббла: $H=50$ км/(с·Мпк).

Полученное нами значение не согласуется с современными данными. При построении графика мы руководствовались тем, что все галактики из списка имеют такой же тип, как и Млечный путь. Однако, при внимательном изучении таблицы мы можем увидеть, что часть галактик в ней наблюдаются под большим углом. При этом будет затруднительно (если вообще возможно) сделать вывод об их принадлежности именно к типу SBbc. Если мы построим отдельно соответствующие графики для галактик, наблюдаемых с ребра, и тех, что видны плашмя, то получим:



В этом случае для популяции галактик, наблюдающихся плашмя, $H=67$ км/(с·Мпк), а для второй популяции – $H=40$ км/(с·Мпк). Скорее всего, вторая группа представлена галактиками меньших размеров, чем Млечный Путь.

Система оценивания (от одного члена жюри). Первым этапом решения является оценка расстояний до галактик. При этом радиус нашей Галактики может приниматься от 12 до 20 кпк, что изменяет окончательный ответ, но не влияет на оценку. Данный этап решения оценивается в 3 балла. Последующее определение коэффициента пропорциональности между скоростью и расстоянием оценивается в 7 баллов при условии четкого математического исполнения методом наименьших квадратов или его упрощенным вариантом:

$$H = \frac{\sum v_i R_i}{\sum R_i^2}.$$

Это эквивалентно усреднению отношений (v/R) с весом R – учитываются, прежде всего, далекие галактики. Если вместо этого делается обычное усреднение отношений (v/R) , оценка уменьшается на 4 балла. Еще 2 балла вычитается, если из анализа не исключаются близкие галактики. Если величина постоянной Хаббла определяется графически, оценка за второй этап уменьшается до 5 баллов. 2 балла выставляются за анализ полученного результата.

В случае записи величины постоянной Хаббла, близкой к справочному значению (68 км/с) без корректного анализа данных в условии задачи максимальная оценка за все решение не превышает 2 баллов.

IX/X.9 МЕЖДУ ЭКВАТОРОМ И ПОЛЮСОМ

О.С. Угольников



Условие. Перед Вами фотографии, сделанные в некоторой точке Земли. Определите примерную дату и истинное солнечное время съемки. Считать, что все фото получены одновременно.



Решение. Приведенные фотографии дают возможность определить местоположение (широту) и горизонтальные координаты Солнца (азимут, высота). Вместе с дополнительной информацией, имеющейся на фото, это достаточно, чтобы понять, в какой сезон и время производилась съемка.

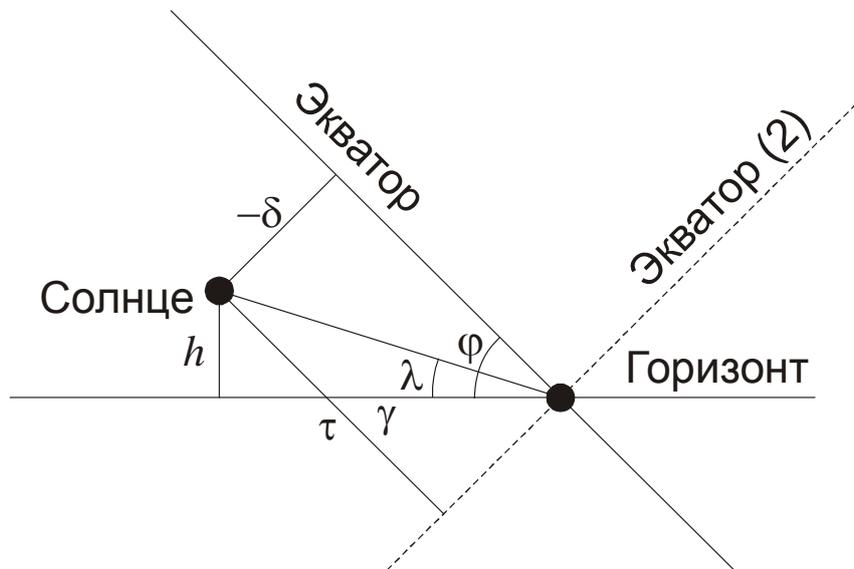
Фото 2 сразу дает нам значение широты места: $+45^\circ$. Помимо этого, мы видим, что указатель содержит два длинных плеча, направленных вдоль линии «запад-восток». Эти плечи не

видны на фото 4, так как сливаются с изображением самого столба. Следовательно, на фото 4 столб располагается точно к востоку или западу от фотокамеры. Проведем на этом фото линию, которая совпадет с направлением на запад или восток на поверхности Земли. Обратим внимание, что сама площадка и выложенная на ней плитка не ориентирована вдоль линии «запад-восток».



Самым сложным моментом анализа фото является перенос данной линии с фото 4 на фото 3, который можно сделать на основе изображений тротуарных плиток. Мы видим, что направление «запад-восток» образует достаточно большой угол γ с тенью столба. Этот угол равен $90^\circ - A$ или $-90^\circ - A$, где A – текущий азимут Солнца. Измерение этого угла напрямую по фото 3 дает значение 35° . Оговоримся, что здесь возможны погрешности, связанные с наклонной проекцией фото.

Высоту Солнца над горизонтом можно определить по фото 1, сравнивая рост ребенка и длину его тени: $h=12^\circ$. Теперь нам надо найти склонение Солнца. Учитывая оценочный характер и не очень высокую точность всех углов, особенно γ , воспользуемся плоским представлением участка неба:



Предположим, что на фото 4 столб располагается к западу от наблюдателя, и Солнце уже клонится к закату. Направление от точки запада к Солнцу образует угол λ с горизонтом:

$$\lambda = \operatorname{arctg} \frac{h}{\gamma} = 19^\circ.$$

Склонение Солнца отрицательно и составляет

$$\delta = -\frac{h}{\sin \lambda} \sin(\varphi - \lambda) = -16^\circ.$$

Мы можем также определить, какой угловой путь нужно пройти Солнцу до пересечения с линией, перпендикулярной экватору (дополнение часового угла до 6 часов):

$$\tau = \frac{h}{\sin \lambda} \sin\left(\frac{\pi}{2} - \varphi + \lambda\right) = 33^\circ$$

или 2 часа 12 минут. Тогда истинное солнечное время есть $18\text{ч} - \tau = 15\text{ч}48\text{м}$. Проведенные расчеты позволяют нам сразу отбросить другой случай – если бы Солнце только взошло на северо-востоке (пунктирная линия экватора на рисунке). С учетом широты, равной 45° , мы бы получили значение склонения, равное τ или $+33^\circ$, чего не может быть.

Итак, нам уже известно истинное солнечное время съемки ($15\text{ч}48\text{м}$) и склонение Солнца (-16°). Таким оно бывает в начале февраля и начале ноября. Широта, соответствующая южным районам России, и осенние листья на деревьях и земле позволяют выбрать один правильный ответ: первые дни ноября.

Интересно, что несмотря на существенные упрощения, мы получили ответ, весьма близкий к точному. Фото были сделаны 5 ноября в $15\text{ч}37\text{м}$ по истинному солнечному времени.

Система оценивания (от одного члена жюри). Для решения задания участники олимпиады должны определить по фотографиям горизонтальные координаты Солнца. Высота достаточно легко находится по фото 1, ее правильное определение оценивается в 2 балла, допустимая погрешность – 1° . При погрешности до 2° за этот этап выставляется половина баллов (1), дальнейшее решение оценивается в полной мере.

Определение азимута (точнее говоря, его отличия от направления на запад или восток) представляет собой более сложную задачу и оценивается в 3 балла. Допустимая точность составляет 5° . При погрешности до 7° оценка снижается до 2 баллов, при погрешности до 10° – до 1 балла, при условии, что методика определения азимута корректна. Участники олимпиады могут не делать примерную оценку по фото 3, а пытаться определить угол по плиточному узору на площадке, что при условии верного исполнения засчитывается полностью. Если же делается предположение, что площадка ориентирована вдоль линии «запад-восток», и не оценивается наклон желтой линии на фото 3, то вне зависимости от ответа весь этот этап решения задачи не засчитывается (0 баллов).

В случае существенных ошибок на этих этапах последующие этапы оцениваются наполовину (если полученные значения одной или двух горизонтальных координат Солнца отличаются от правильных более чем на 15°) или не оцениваются вовсе (отличие больше 30°).

При переходе от найденных углов к координатам Солнца необходимо рассмотреть разные случаи. Предположение, что Солнце находится в восточной стороне неба и вывод о том, что такого не может быть (склонение Солнца слишком высоко) оценивается в 2 балла. Если этот случай не рассматривается, данные баллы не выставляются. Если этот случай оказывается возможным вследствие ошибок, допущенных на предыдущих этапах, то за этап выставляется либо 1 балл (указывается на несоответствие пейзажа эпохе летнего солнцестояния), либо 0 баллов (случай считается правильным).

Вычисление склонения и часового угла Солнца оцениваются по 2 балла. Они могут производиться как с помощью формул сферической тригонометрии (с обязательным рассмотрением всех возможных случаев ориентации столба и наблюдателя – запад и восток), так и на основе приближенного анализа, приведенного выше. Наконец, 1 балл выставляется за правильную оценку даты. Если при этом не оговаривается второе решение (февраль), этот балл не выставляется.