

ШИРОКОУГОЛЬНАЯ ПОЛЯРИМЕТРИЯ НОЧНОГО НЕБА. ИЗМЕРЕНИЯ СВЕЧЕНИЯ АТМОСФЕРЫ И ЗОДИАКАЛЬНОГО СВЕТА.

О.С. Угольников^{1,2}, И.А. Маслов¹

¹Институт космических исследований РАН, Москва

²Астрокосмический центр Физического института РАН, Москва

Поступила в редакцию 23.07.2003 г.

Работа посвящена анализу результатов широкоугольных поляриметрических наблюдений ночного неба, проведенных в декабре 2002 года в Южной лаборатории ГАИШ (Крым, Украина) в цветовой полосе, близкой к полосе V (эффективная длина волны 5250 Å). Предложен метод, с помощью которого свечение неба разделялось на основные компоненты: свечение атмосферы, излучение слабых звезд и зодиакальный свет. Построена поляризационная карта внеатмосферного излучения пяти зон неба вблизи эклиптики и показано, что вдали от антисолнечной точки поляризация фона неба определяется, в основном, зодиакальным светом. Для каждого наблюдательного периода получена зависимость атмосферного свечения и поглощения от времени.

1. ВВЕДЕНИЕ

Задача исследования фона ночного неба с давних времен не теряет свою актуальность для наблюдательной астрономии. Данная задача имеет важнейшее прикладное значение, так как при наблюдении любого астрономического объекта мы принимаем также излучение ночного неба от ближайших окрестностей данного объекта. Проводя наблюдения из космоса, мы избавляемся лишь от одной из компонент фона – свечения атмосферы, по-прежнему фиксируя все остальные, прежде всего зодиакальный свет и галактический фон. Именно величина фона неба часто является основным фактором, определяющим предельную чувствительность наблюдательной аппаратуры.

Кроме прикладных целей, измерения фона ночного неба проводятся непосредственно для анализа его компонент. Наблюдения зодиакального света важны для исследования межпланетной пыли, особенно интересными в этом случае будут поляризационные измерения. В последнее время точные измерения интенсивности зодиакального света проводятся также с целью выявления

внегалактического фонового излучения [1]. При выполнении подобных исследований особенно сложным является вопрос о выделении нужной компоненты свечения неба на фоне других компонент. При наземных наблюдениях прежде всего нужно вычесть атмосферную компоненту, состоящую из собственного свечения атмосферы и рассеянного света, в том числе от самого фона неба, а также учесть поглощение всего излучения в атмосфере. Данная задача существенно облегчается при наличии спектральных данных, так как компоненты фона ночного неба имеют различные спектральные особенности. Именно спектр зодиакального света, практически повторяющий спектр Солнца, использовался для выделения данной компоненты в [1].

Целью нашей работы является построение простого метода разделения фона ночного неба на различные компоненты по одноцветным поляризационным данным, применения этого метода к поляризационным измерениям фона неба вблизи полосы V и сравнения результатов с существующими оценками [2].

2. НАБЛЮДЕНИЯ

Поляриметрические наблюдения фона ночного неба были проведены в декабре 2002 года в Южной лаборатории ГАИШ (п. Научный, Крым, Украина) на высоте около 600 метров над уровнем моря. Фон неба регистрировался ПЗС-камерой ST-6 со светосильным (1:2) объективом, поляридом и спектральным фильтром, близким к цветовой полосе V, с эффективной длиной волны 5250 Å. Изображение неба, получаемое данной аппаратурой, имело размер 8.4 x 6.3 градуса. Измерения проводились с интервалом 80 секунд для трех положений оси поляроида, отстоящих друг от друга на 120°. Использовался тот же поляризационный фильтр, что и при атмосферных измерениях в 2000 году [3], его степень поляризации в данной цветовой полосе превышает 99.9%. Время каждой экспозиции составляло 18 секунд.

Измерения фона и поляризации ночного неба вблизи эклиптики производились в случае хороших атмосферных условий и при отсутствии на небе Луны. Суть данных наблюдений состояла в поочередном сканировании пяти зон неба вблизи эклиптики с прямыми восхождениями, равными 2, 4, 6, 8 и 10 часам. Многократная съемка каждой из этих зон в течение ночи давала возможность с хорошей точностью отслеживать изменение атмосферной составляющей фона ночного неба и атмосферного поглощения со временем, что в свою очередь позволяло выделять внеатмосферную компоненту фона неба.

Получаемые изображения области неба автоматически отождествлялись со звездным каталогом Tycho 2 [4], после точной координатной привязки производилась фотометрия ряда звезд и исключение всех звезд до 12^m (на основе того же каталога) методом наложения масок,

размер которых зависел от блеска звезды. Точность единичного измерения блеска звезды на широкоугольных снимках была невысокой (от примерно 0.05^m вблизи зенита до $0.10-0.15^m$ на больших зенитных расстояниях для звезд $5-6^m$) и данные фотометрии звезд использовались только для определения прозрачности атмосферы и абсолютной калибровки измерений. Очищенные от звезд изображения использовались для измерения яркости и поляризации фона неба. Данные величины вычислялись для участков неба со сторонами 4 минуты (1°) по прямому восхождению и 1° по склонению с центрами в точках с целыми (в градусах) величинами α и δ . Число участков внутри одной зоны составляло от 80 до 100.

На рисунке 1 показаны поляриметрические карты одной из зон неба (с прямым восхождением 6 часов) в горизонтальной системе координат, полученные в различные периоды ночи с 10 на 11 декабря, а на рисунке 2 – зависимость яркости участков неба внутри этой же зоны от их зенитного расстояния. По аналогии с [2] поверхностная яркость в настоящей работе выражается в числе звезд 10^m на один квадратный градус. Из рисунка видно, что при приближении данной зоны к горизонту появляется избыток яркости и поляризация в вертикальном направлении, связанные со свечением атмосферы Земли.

Для выделения атмосферной составляющей фона неба необходимо иметь данные об атмосферном поглощении, которое определялось на основе фотометрии звезд, попадающих на изображения неба, по закону Бугера. Величина атмосферной экстинкции в зените считалась линейной функцией времени, и измеренная яркость звезды J связана с ее зенитным расстоянием z по формуле

$$-2.5 \lg J = M_0 + m + (E_0 + E_1 t) \sec z \quad (1).$$

Здесь E_0 – атмосферное поглощение в зените в момент времени $t=0^h$ UT, а E_1 – изменение поглощения за 1 час (в звездных величинах). Подставляя в качестве m блеск звезды по каталогу Tycho 2, мы можем определить константу M_0 и тем самым установить абсолютную шкалу для измеряемых величин фона неба. Поочередное сканирование различных областей неба на различных зенитных расстояниях позволяет уменьшить систематические ошибки, возникающие из-за пространственной и временной неоднородности атмосферного поглощения. Величины E_0 и E_1 определялись для каждой ночи по методу наименьших квадратов и приведены в таблице 1. Анализ полученных результатов показал, что линейное представление зависимости атмосферного поглощения от времени $E(t)$ для четырех ночей наблюдений вполне достаточно и практически не имеет систематических отклонений. Обращает на себя внимание тот факт, что

атмосферное поглощение в трех из четырех случаев увеличивалось в течение ночи и лишь один раз оставалось практически постоянным.

3. ВЫДЕЛЕНИЕ ВНЕАТМОСФЕРНОЙ КОМПОНЕНТЫ СВЕЧЕНИЯ НОЧНОГО НЕБА.

Как известно, измерения интенсивности излучения при трех положениях поляроида дают информацию об интенсивности, степени и направления линейной поляризации этого излучения, то есть о трех компонентах вектора Стокса этого излучения. Наиболее удобным представлением этих компонент для настоящей задачи будет следующее

$$\mathbf{I} = \begin{cases} I \\ I p \cos 2\varphi \\ I p \sin 2\varphi \end{cases} \quad (2).$$

Здесь I и p – соответственно полная интенсивность и поляризация излучения, а φ – угол направления поляризации в некоторой системе координат. Заметим, что величина p формально может быть и отрицательной, замена p на $-p$ в данном уравнении эквивалентна повороту плоскости поляризации на 90° . В настоящей работе будут использоваться горизонтальная, экваториальная и гелиоцентрическая системы, в которых угол φ отсчитывается соответственно от направления, параллельного горизонту и небесному экватору и от направления на Солнце. Для точек небесной сферы, находящихся на эклиптике, гелиоцентрическая система совпадает с эклиптической. Векторы Стокса в этих системах координат далее будут обозначаться с индексами Н, Е и S соответственно.

Как видно из рисунков 1 и 2 и вполне логично вытекает из общих соображений, яркость атмосферной компоненты увеличивается с зенитным расстоянием, а ее поляризация направлена вертикально либо горизонтально, усиливаясь от зенита к горизонту. Вектор Стокса атмосферной компоненты в горизонтальной системе координат \mathbf{A}_H с достаточной для наших оценок точностью выражается в виде:

$$\mathbf{A}_H = \begin{cases} A_0(t)B(z) \\ A_0(t)B(z) \cdot p_A \sin z, \\ 0 \end{cases} \quad (3).$$

Функция $B(z)$ описывает увеличение интенсивности свечения атмосферы к горизонту с учетом самопоглощения ($z < 70^\circ$):

$$B(z) = \frac{1 - 10^{-0.4(E_0 + E_1 t) \sec z}}{1 - 10^{-0.4(E_0 + E_1 t)}} \quad (4)$$

и при малых значениях поглощения приблизительно равна атмосферной массе ($\sec z$).

Если поляризация атмосферной компоненты направлена вертикально (практически такая ситуация имеет место на рисунке 1), то вторая компонента вектора \mathbf{A}_H будет отрицательной. Как и в случае атмосферного поглощения, величина яркости атмосферного свечения в зените $A_0(t)$ является функцией времени. Ввиду малости поляризации атмосферного свечения и невысокой точности ее измерения коэффициент p_A мы предполагаем величиной постоянной (в течение одной ночи).

Зная расположение точки неба с координатами α и δ в момент времени t , а также угол между направлениями на зенит и полюс мира в этой точке, мы можем пересчитать вектор $\mathbf{A}_H(z, t)$ в экваториальную систему координат $\mathbf{A}_E(\alpha, \delta, t)$. Вычитая свечение атмосферы из полной яркости неба и исправляя полученную величину за атмосферное поглощение в данной точке неба, мы получаем вектор Стокса внеатмосферного фонового излучения:

$$\mathbf{C}_E(\alpha, \delta) = (\mathbf{I}_E(\alpha, \delta, t) - \mathbf{A}_E(\alpha, \delta, t)) \cdot 10^{0.4(E_0 + E_1 t) \sec z(\alpha, \delta, t)} \quad (5).$$

Понятно, что на временных масштабах порядка нескольких часов вектор $\mathbf{C}_E(\alpha, \delta)$, не связанный с излучением атмосферы, не должен зависеть от времени. С другой стороны, на практике, предполагая некоторый вид вектора \mathbf{A}_H (3) и проводя в течение ночи N измерений компонент вектора $\mathbf{I}_E(\alpha, \delta, t)$, мы получаем N значений вектора \mathbf{C}_{Ei} , которые, вообще говоря, не будут одинаковыми. Критерием правильности выбора параметров вектора \mathbf{A}_H будет минимум среднеквадратичного отклонения векторов \mathbf{C}_{Ei} от вектора \mathbf{C}_E , равного среднему весовому этих векторов:

$$\sum_{i=1}^N q(\alpha, \delta, i) \cdot (\mathbf{C}_{Ei}(\alpha, \delta) - \mathbf{C}_E(\alpha, \delta))^2 = \min; \quad \mathbf{C}_E(\alpha, \delta) = \frac{\sum_{i=1}^N q(\alpha, \delta, i) \cdot \mathbf{C}_{Ei}(\alpha, \delta)}{\sum_{i=1}^N q(\alpha, \delta, i)} \quad (6).$$

Здесь $q(\alpha, \delta, i)$ – вес i -того измерения компонент вектора Стокса для участка с центром (α, δ) , пропорциональный числу пикселей ПЗС-матрицы, попавших в данный участок при измерении и не закрытых масками при исключении звезд. Разлагая квадрат векторов отклонения от среднего на три компоненты и суммируя последнее уравнение по всем измеряемым участкам неба (α, δ) , получаем окончательное выражение:

$$\sum_{\alpha} \sum_{\delta} \sum_i q(\alpha, \delta, i) \cdot (C_{Ei1}(\alpha, \delta) - C_{E1}(\alpha, \delta))^2 + \\ + \sum_{\alpha} \sum_{\delta} \sum_i q(\alpha, \delta, i) \cdot ((C_{Ei2}(\alpha, \delta) - C_{E2}(\alpha, \delta))^2 + (C_{Ei3}(\alpha, \delta) - C_{E3}(\alpha, \delta))^2) = \min (7).$$

Первая из сумм в уравнении (7) представляет собой сумму квадратов отклонений интенсивности от средних значений, в то время как вторая сумма связана с поляризацией. С учетом малости поляризации всех компонент свечения фона неба функцию $A_0(t)$, входящую в уравнение (3), нужно определять исходя из условия минимума первого слагаемого, фактически решая данную задачу без учета поляризации, а затем с учетом данной функции в уравнении (3) находить величину p_A из условия минимума второго слагаемого.

Рассмотрим минимум первого слагаемого уравнения (7) как условие, определяющее величины функции $A_0(t)$ во все моменты времени, в которые производились измерения. В первом приближении эта функция предполагалась линейной по времени:

$$A_0(t) = A_{00} + A_{01}t \quad (8),$$

и задача сводилась к нахождению величин A_{00} и A_{01} из условия минимума первого слагаемого в уравнения (7). Однако после этого для каждого момента t , в который определялся вектор Стокса фона неба в некоторой зоне, вычислялось отклонение полученной величины интенсивности заатмосферного фона $C_{Ei1}(\alpha, \delta)$ от величины $C_{E1}(\alpha, \delta)$, усредненное по всем входящим в эту зону участкам (α, δ) , и к значению функции $A_0(t)$ прибавлялась соответствующая поправка:

$$A_0(t) = A_{00} + A_{01}t + \\ + \frac{\sum_{\alpha} \sum_{\delta} (q(\alpha, \delta, i(t)) \cdot (C_{Ei1}(\alpha, \delta) - C_{E1}(\alpha, \delta)) \cdot 10^{-0.4(E_0 + E_1 t) \sec z(\alpha, \delta, i)} / B(z(\alpha, \delta, i)))}{\sum_{\alpha} \sum_{\delta} q(\alpha, \delta, i(t))} \quad (9).$$

На рисунке 3 показаны графики зависимости $A_0(t)$, рассчитанные по формуле (9) для четырех ночей наблюдения, линии соответствуют приближенной формуле (8). Видно, что в трех из четырех случаев линейное представление (8) неплохо описывает зависимость $A_0(t)$, и лишь в ночь с 10 на 11 декабря между 22 и 23 часами по всемирному времени произошло кратковременное увеличение атмосферного фона, которое не сопровождалось заметными изменениями атмосферного поглощения. В остальные моменты и даты сохранялась четкая тенденция к постепенному увеличению атмосферного фона со временем, и одновременно, как было установлено выше, ухудшалась прозрачность атмосферы.

В таблице 1 приведены параметры атмосферного фона неба в ночи наблюдений. Обращает на себя внимание и то, что в ночи на 10 и 11 декабря атмосферный фон оказался значительно выше, чем на 2 и 5 декабря, хотя 11 декабря атмосфера была прозрачнее, чем во все остальные ночи. Возможное объяснение этого эффекта состоит в выпадении снега в месте наблюдений между 5 и 10 декабря и, как следствие, существенном увеличении альбедо поверхности Земли. В последней колонке таблицы приведена среднеквадратическое отклонение интенсивности атмосферного свечения от формулы (3) с поправкой (9). Оно составляет несколько процентов от самой интенсивности.

Минимизируя второе слагаемое в уравнении (7) с учетом полученной зависимости $A_0(t)$, мы находим коэффициент p_A , входящий в формулу (3) и фактически равный поляризации атмосферной составляющей фона неба вблизи горизонта. Его значения для каждой из дат наблюдения приведены в таблице 1. Как и ожидалось из рисунка 1, эти значения отрицательны, то есть направление поляризации перпендикулярно горизонтальной плоскости. Данный факт указывает на то, что атмосферная компонента фона неба возникает, в основном, за счет рассеяния света, идущего от поверхности Земли. Причем величина поляризации атмосферного фона увеличивается с прозрачностью атмосферы, что можно видеть в таблице 1, что естественно, так как в прозрачной атмосфере увеличивается роль более поляризованного молекулярного рассеяния по сравнению с рассеянием на атмосферном аэрозоле.

4. АНАЛИЗ ВНЕАТМОСФЕРНОГО ФОНА НЕБА.

Описанный в предыдущем параграфе метод позволил определить вектор Стокса внеатмосферного фона неба $C_E(\alpha, \delta)$ для областей, попавших в пять зон вблизи эклиптики, среди которых проводился обзор. Далее перед нами стоит задача разделения данного фона на две компоненты:

$$C_E(\alpha, \delta) = S_E(\alpha, \delta) + Z_E(\alpha, \delta) \quad (10),$$

где $S_E(\alpha, \delta)$ – вклад звезд слабее 12^m в фон неба, а оставшаяся часть $Z_E(\alpha, \delta)$ состоит главным образом из зодиакального света. Во избежание систематических отклонений дальнейший анализ мы будем проводить по данным, усредненным по трем датам наблюдений, во время которых измерялись все пять зон неба (ночи на 2, 5 и 11 декабря).

На рисунке 4 (верхние точки) показана зависимость интенсивности внеатмосферного фона S_{E1} от эклиптической долготы вблизи эклиптики. Хотя максимум вблизи долготы 90° , где эклиптика пересекается с Млечным Путем, отчетливо виден, внеатмосферный фон в этой области неба менее чем в 2 раза превышает фон в окрестных областях, хотя количество звезд и их вклад в фон неба вблизи Млечного Пути резко возрастает. Из этого можно сделать вывод, что свет слабых звезд (с блеском слабее 12^m), особенно вдали от Млечного Пути, не является основной компонентой внеатмосферного фона, значительно уступая зодиакальному свету.

В том, что зодиакальный свет доминирует во внеатмосферном фоне неба, можно убедиться также из рисунка 5, на котором приведена поляризационная карта внеатмосферного фона для пяти зон неба. На карте показана эклиптика и положение антисолнечной точки для середины периода наблюдений (7 декабря). Видно, что с удалением от этой точки появляется поляризация, направленная перпендикулярно плоскости эклиптики, то есть перпендикулярно направлению на Солнце, что может быть связано только с рассеянием солнечного света в межпланетной среде, так как наблюдения проводились ночью, и все слои атмосферы Земли находились в тени.

Однако вклад света слабых звезд хоть и не является доминирующим, но все же достаточно велик, о чем свидетельствует тот же пик на долготе 90° на рисунке 4. В отличие от работы [1], при широкоугольных наблюдениях с короткофокусной оптикой исключать звезды слабее 12^m не представляется возможным, и для разделения внеатмосферного фона $C_E(\alpha, \delta)$ в соответствии с формулой (10) необходимы априорные данные о звездной компоненте фона ночного неба S_E . Будем считать интенсивность звездного фона S_{E1} функцией галактической широты точки неба b_G :

$$S_{E1} = S_0 M(b_G) \quad (11),$$

где функция $M(b_G)$ пропорциональна плотности звезд каталога Tycho 2 ярче 12^m на данной галактической широте в области неба, где проводились наблюдения, и нормированная так, что $N(0) = 1$. Использование другого звездного каталога с большей предельной звездной величиной (например, Guide Star Catalogue [5]), а также более слабых звезд из каталога Tycho 2 не приведет к

улучшению точности, так как полнота этих каталогов на множестве слабых звезд зависит от области неба, внося систематические ошибки в статистическую картину. Интенсивность второй компоненты внеатмосферного фона мы представляем квадратичной функцией эклиптической долготы l_E (эклиптическая широта наблюдаемых областей близка к нулю), тем самым получая разложение интенсивности фона C_{E1} :

$$C_{E1}(\alpha, \delta) = S_0 M(b_G(\alpha, \delta)) + Z_0 + Z_1 l_E(\alpha, \delta) + Z_2 l_E^2(\alpha, \delta) + r(\alpha, \delta) \quad (12).$$

Здесь $r(\alpha, \delta)$ – отклонение фона C_{E1} от представленного разложения. Минимизируя это отклонение, мы находим по методу наименьших квадратов величины S_0 , Z_0 , Z_1 и Z_2 . Вид полученной функции показан на рисунке 4 (верхняя кривая). Нижние точки и кривая на этом же рисунке получаются после вычитания звездной компоненты, то есть фактически соответствуют зодиакальному свету. Полученные значения интенсивности зодиакального света практически совпадают с данными [2], показанными на рисунке пунктирной линией. Близость галактического экватора и антисолнечной точки в период наблюдений сильно затрудняют наблюдения известного эффекта “противосияния” зодиакального света, связанного с максимумом функции рассеяния межпланетной пыли при рассеянии под углом в 180° . Однако мы можем обратить внимание на повышенную интенсивность зодиакального света на эклиптических долготах от 60° до 90° , что вполне может быть связано с данным эффектом.

Звездная компонента фона неба характеризуется не только своей интенсивностью, но и поляризацией, которую необходимо знать для вычисления второй и третьей компонент векторов $\mathbf{S}_E(\alpha, \delta)$ и $\mathbf{Z}_E(\alpha, \delta)$. Однако, данные о поляризации доступны только для небольшого количества звезд, причем достаточно ярких. Компиляция нескольких существующих каталогов поляризации света звезд сделана в [6], однако даже при использовании этого каталога в каждую из пяти зон обзора попадает всего от нескольких десятков до двух сотен звезд с измеренной поляризацией. На основе этих данных выводилось средняя величина и направление поляризации света звезд, постоянные внутри одной зоны, что вместе с данными об интенсивности характеризовало вектор \mathbf{S}_E .

Понятно, что такой метод не может претендовать на высокую точность, но с учетом невысокого вклада слабых звезд в фон неба и их слабой поляризации, его можно использовать с целью оценки поляризации зодиакального света.

Полученный вектор Стокса \mathbf{Z}_E пересчитывался в гелиоцентрическую систему координат (вектор \mathbf{Z}_S). На рисунке 6 показана зависимость поляризации в направлении, перпендикулярном направлению на Солнце ($-Z_{S2}/Z_{S1}$), для данной компоненты фона неба от эклиптической долготы

L , пунктирная линия соответствует данным [2]. Несмотря на приближенный характер вычисления компонент вектора Z_E , можно сделать вывод, что при условии хорошей прозрачности атмосферы и отсутствия Луны зодиакальный свет остается основной компонентой фона ночного неба и именно он определяет поляризацию неба (кроме областей вблизи антисолнечной точки и невысоко над горизонтом).

5. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В настоящей работе был рассмотрен метод, позволяющий провести разделение фона ночного неба на различные компоненты на основе многократных поляризационных измерений нескольких зон неба вблизи цветовой полосы V . Полученные результаты показывают очень хорошее согласие с существующими оценками [2], что указывает на эффективность измерения фона и, в частности, его внеатмосферной компоненты, при помощи используемой аппаратуры и методики. Несмотря на значительный вклад атмосферной составляющей фона, она вычиталась с точностью до нескольких процентов при вычислении величины атмосферного свечения и поглощения как функций времени.

Исключение звезд ярче 12^m существенно уменьшает вклад галактической составляющей в измеренный фон неба, облегчая его учет, что в свою очередь открывает возможности исследований зодиакального света. При условии хорошей прозрачности атмосферы даже на небольшой высоте над уровнем моря вклад этой компоненты фона даже больше, чем вклад атмосферного свечения, а вдали от антисолнечной точки небесной сферы зодиакальный свет является основным фактором, определяющим поляризацию фона неба.

Для обнаружения и исследования отдельных деталей зодиакального и галактического фона необходимо повышение чувствительности. При многократном измерении нескольких зон неба с общей площадью 200-400 квадратных градусов описанная аппаратура и метод обработки позволяют получить среднеквадратичный разброс разностей поляризованной составляющей фона для соседних участков порядка нескольких звезд 10^m на квадратный градус. Это позволяет исследовать поляризацию излучения слабых хвостов комет и надеяться на достижение необходимой чувствительности для обнаружения световых эхо исторических сверхновых [7].

1. Bernstein R.A., Freedman W.L., Madore B.F. The First Detections of the Extragalactic Background Light at 3000, 5500 and 8000 A (II): Measurement of Foreground Zodiacal Light // Astrophysical Journal. 2002. V.571. P.85-106.
2. Аллен К.У. Астрофизические величины. М.: Мир, 1977.
3. Угольников О.С., Маслов И.А. Многоцветная поляриметрия сумеречного неба. Роль многократного рассеяния света как функция длины волны // Космические исследования. 2002. Т.40. N3. Стр.242-251.
4. Hog E., Fabricius C., Makarov V.V. et al. The Tycho-2 Catalogue on CD-ROM. Copenhagen University Observatory. 2000.
5. Jenkner H., Lasker B.M., Sturch C.R., McLean B.J., Shara M.M., Russel J.L. The Guide Star Catalogue Version 1.1: Production, Database Organization and Population Statistics // Astronomical Journal. 1990. V.99. P.2082-2099.
6. Heiles C. 9286 Stars. An Agglomeration of Stellar Polarization Catalogs // E-print astro-ph/9910303. 1999.
7. Маслов И.А. Возможность обнаружения световых эхо галактических сверхновых методом широкоугольной поляриметрии // Письма в Астрономический журнал. 2000. Т.26. N7. Стр.499-504.

Дата, 2002 г.	Поглощение, $E(t)$, m	Атмосферный фон в зените, $A_0(t)$, $10^m/\sigma^2$	Поляризация у горизонта, $p_A, \%$	Ошибка, ΔA , $10^m/\sigma^2$
2. XII	$0.163 + 0.030 * UT$	$193.687 + 10.408 * UT$	-4.33	3.805
5. XII	$0.163 + 0.000 * UT$	$155.223 + 4.910 * UT$	-3.71	4.788
10. XII	$0.196 + 0.008 * UT$	$252.002 + 12.922 * UT$	-2.66	4.068
11. XII	$0.124 + 0.003 * UT$	$229.772 + 0.287 * UT$	-5.60	6.589

Таблица 1. Параметры атмосферного поглощения и атмосферного фона ночного неба по данным наблюдений.

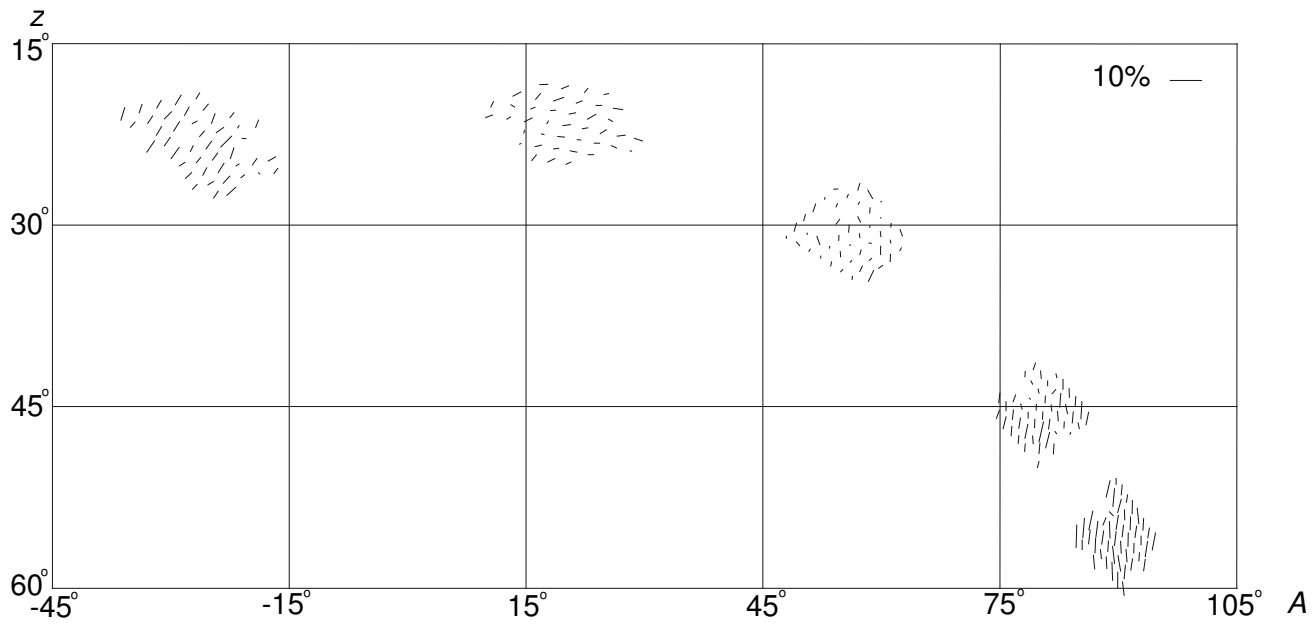


Рисунок 1. Поляризация участков неба внутри зоны с $\alpha = 6^h$ при различных положениях этой зоны на небе в течение ночи на 11.XII.2002 г.

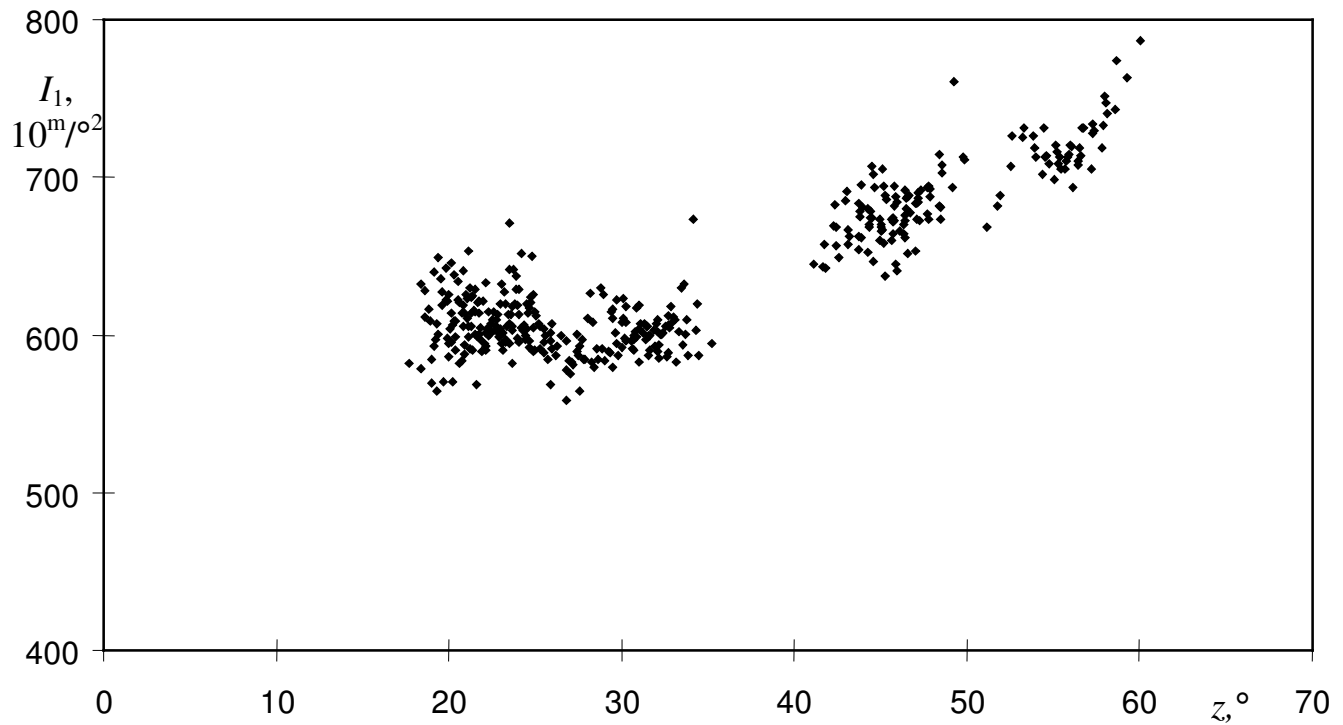


Рисунок 2. Интенсивность фона ночного неба на участках внутри зоны с $\alpha = 6^h$ в зависимости от зенитного расстояния в течение ночи на 11.XII.2002 г.

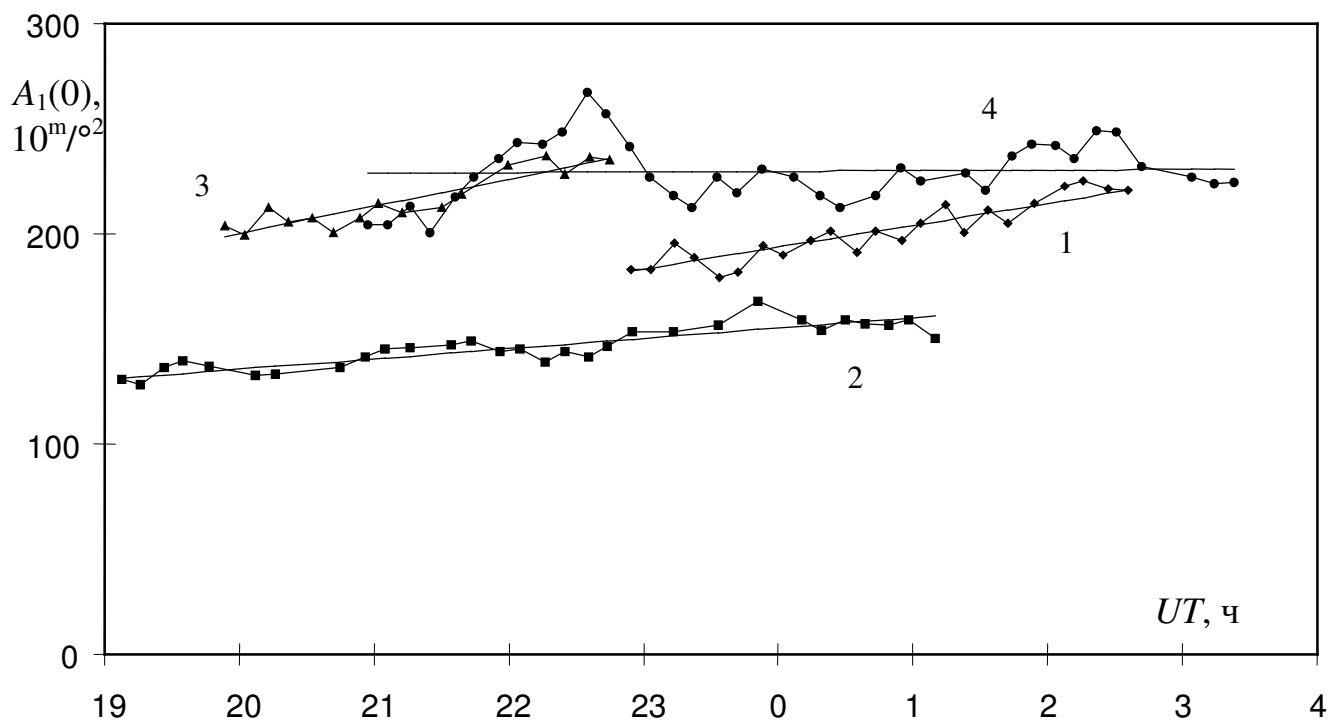


Рисунок 3. Зависимости яркости атмосферного фона ночного неба в зените от времени для всех ночей наблюдения (1 – ночь на 2.XII, 2 – ночь на 5.XII, 3 – ночь на 10.XII, 4 – ночь на 11.XII.2002 г.), сплошные линии – приближение (8).

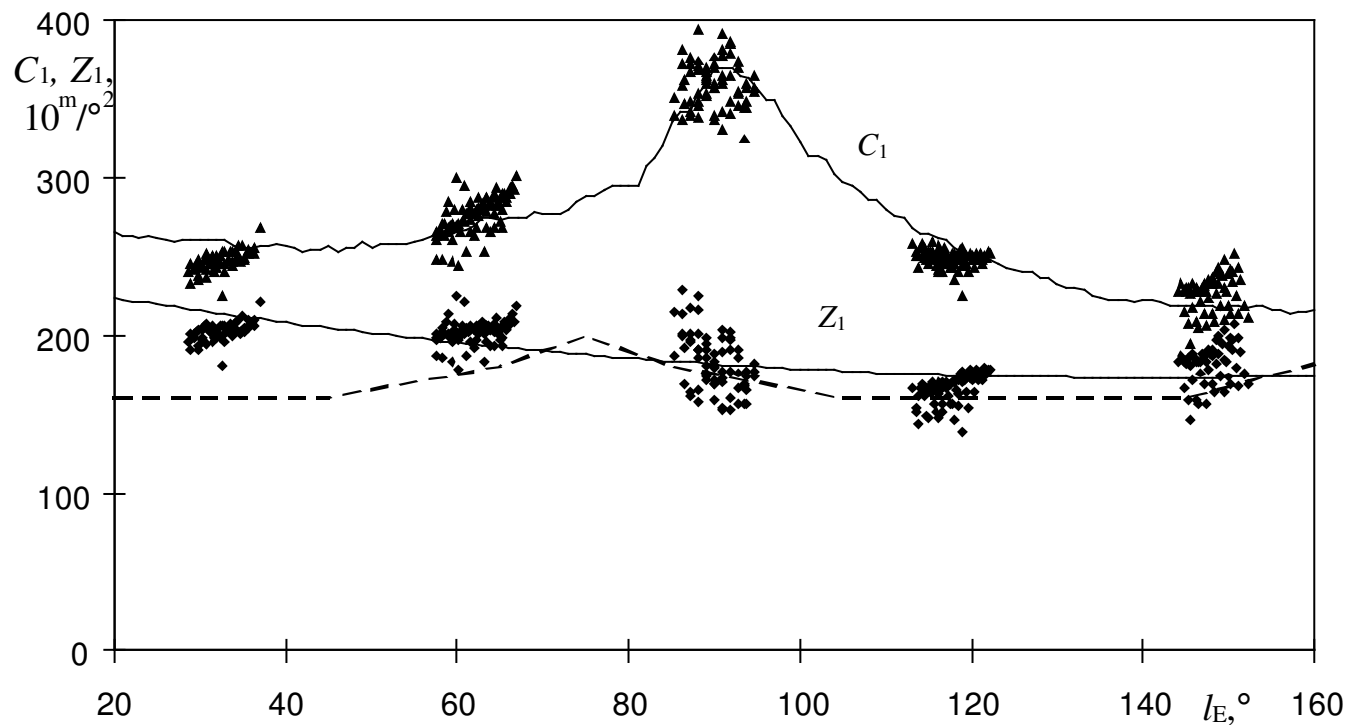


Рисунок 4. Зависимость интенсивности всего внеатмосферного фона и зодиакального света от эклиптической долготы. Сплошные линии – приближение (12), пунктир – данные [2] для эклиптической долготы Солнца 255°.

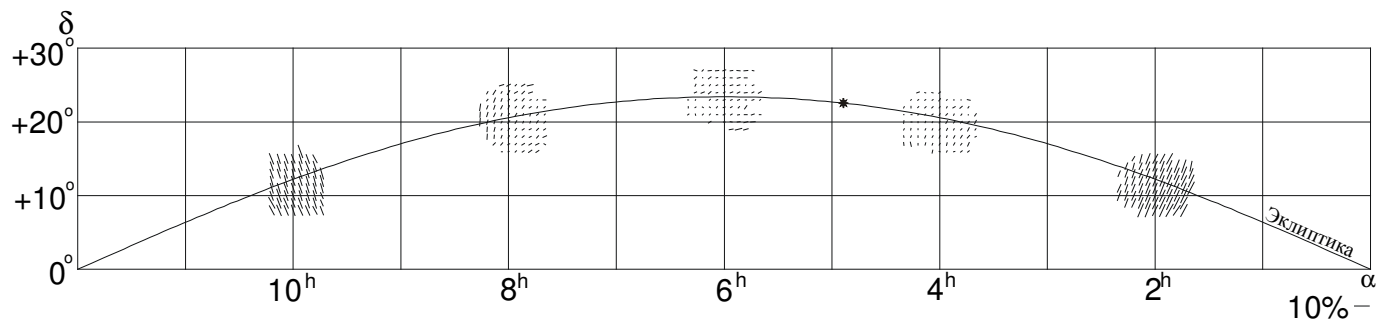


Рисунок 5. Поляризация внеатмосферного фона неба в пяти исследуемых зонах. Звездочкой показано положение антисолнечной точки на 7.XII.

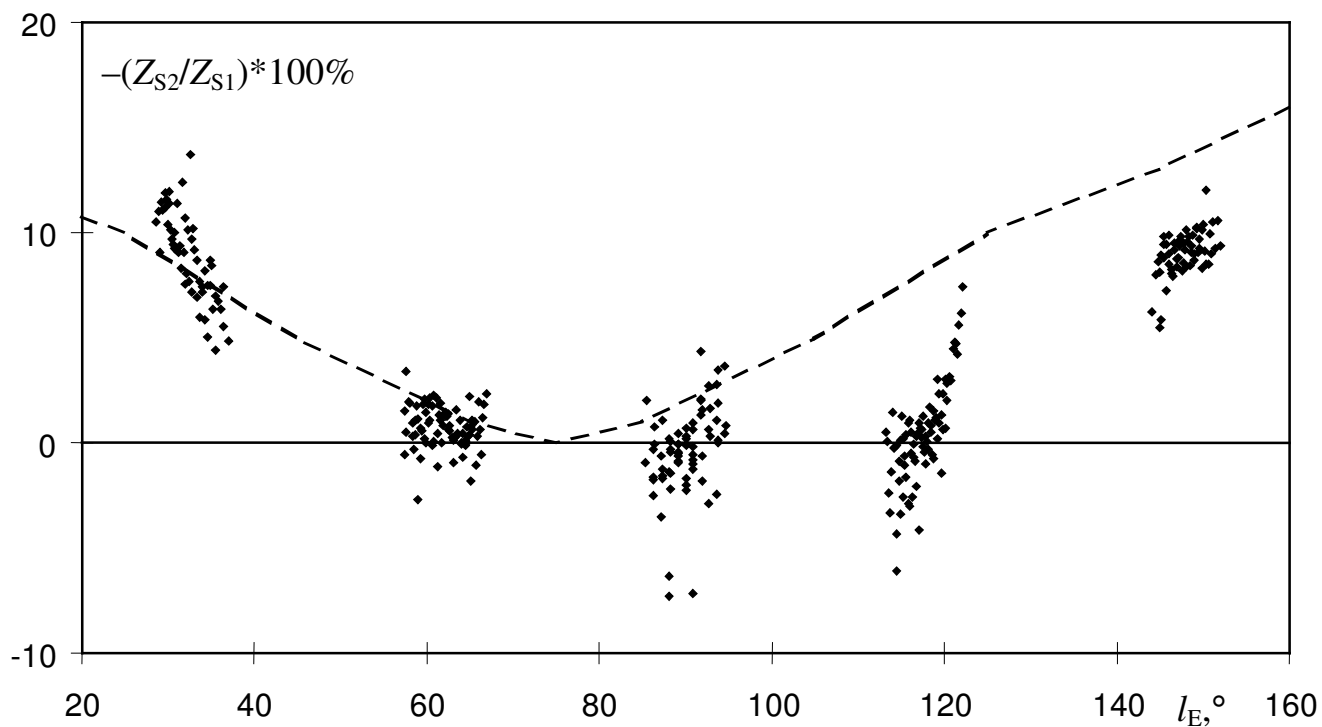


Рисунок 6. Составляющая поляризации зодиакального света, перпендикулярная направлению на Солнце, в зависимости от эклиптической долготы. Пунктир – данные [2] для эклиптической долготы Солнца, равной 255°.