

УДК 524.827-77

МУЛЬТИПОЛЬНЫЕ ДОМИНАНТЫ В МОЗАИЧНЫХ КАРТАХ КОРЕЛЛЯЦИЙ ДАННЫХ WMAP5

© 2010 О. В. Верховданов*, М. Л. Хабибуллина

Специальная астрофизическая обсерватория, Нижний Архыз, 369167 Россия

Поступила в редакцию 30 ноября 2010 г.; принята в печать 31 марта 2010 г.

Метод картографирования корреляций на полной сфере был применен для исследования свойств карты ILC, а также пылевой и синхротронной компонент фона. Обнаружена аномальная корреляция компонент с картой ILC в основной плоскости и полюсах эклиптической и экваториальной координатных систем. Кроме байеса в гистограмме пикселей корреляций, обнаружен доминирующий вклад квадруполь в спектр мощности карты мозаичных корреляций. Обсуждаются различные причины аномального сигнала.

Ключевые слова: *радиоисточники*

1. ВВЕДЕНИЕ

Практически сразу с появлением первых данных миссии WMAP [1–3] были обнаружены негауссовы проявления на низких гармониках: квадруполь и октуполь, выражающиеся в планарности и выравнивании обеих гармоник, на что указали Тегмарк и др. [4]. Ось, вдоль которой располагаются экстремумы этих мультиполей в карте WMAP, была названа впоследствии Осью Зла [5]. Следует сказать, что эта ось не является единственной выделенной осью в данных миссии. Естественная выделенная ось в данных WMAP лежит в плоскости Галактики. В следующих релизах данных миссии WMAP [6–9] существование Оси Зла было также подтверждено.

Были сделаны различные оценки значимости существования этой оси и высказано несколько гипотез о ее происхождении. В разных работах (например, [10, 11]) исследовался вклад фоновых компонент и их влияние на выравнивание мультиполей ($\ell = 2$ и $\ell = 3$), и отмечалась малая вероятность влияния фона на ориентацию низких мультиполей. В работе [11], где для оценок эффекта применялись мультипольные векторы, также замечено, что положение осей квадруполь и октуполь соответствует геометрии и направлению движения Солнечной системы и перпендикулярно эклиптической плоскости и плоскости, задаваемой направлением на диполь. Случайность такого эффекта авторы оценивают как маловероятную на уровне достоверности, превышающим 98% и исключают влияние остатков вклада от фоновых компонент.

В продолжение проводимых работ авторы [12] заключают, что характеристики низких мультиполей аномально сильно отличаются от случайных, что может быть обусловлено статистической неізотропностью Вселенной на больших масштабах, либо проблемами восстановления сигнала методом ILC (Internal Linear Combination — внутренняя линейная комбинация). Авторы [13] отмечают, что планарность квадруполь и октуполь не является статистически значимой. Они также подчеркивают, что остаточное излучение фонов в карте ILC не влияет существенно на уровень эффекта.

Для объяснения выделенности оси в ориентации мультиполей также развивались и космологические модели, в рамках которых можно было бы объяснить выравнивание квадруполь и октуполь. Разнообразные модели включают анизотропное расширение Вселенной, вращение и магнитное поле [14–16].

В других работах исследовался вклад эклиптической пыли в микроволновый фон. Авторы работы [17] построили комбинацию исходных данных каналов WMAP: $V + W - 2Q$, которую сгладили 7-градусной диаграммой. В эту комбинацию не входит CMB, но с ее помощью можно исследовать поведение крупномасштабного остаточного сигнала. Авторы показали присутствие в нем излучения, распределение которого коррелировано с положением эклиптической плоскости. В работе был исследован вклад зодиакальной пыли и показано, что уровень излучения этого вклада недостаточен для объяснения уровня остаточного сигнала комбинации карт. Кроме того, был оценен вклад неразрешенных источников, который также мог бы

*E-mail: vo@sao.ru

служить объяснением наблюдаемого эффекта. Авторы признают этот вклад также недостаточным.

Авторы другой работы [18] использовали данные WMAP и инфракрасных наблюдений и рассчитали параметры пылинок, которые могли бы дать соответствующий вклад в микроволновой фон. Авторы считают, что силикатные шарики размером несколько миллиметров в зодиакальном облаке и транс-нептунианском поясе с оптической толщиной порядка 10^{-7} могли бы объяснить дополнительное излучение на уровне $10 \mu\text{K}$ в микроволновом фоне в области эклиптики.

Мы исследовали проблему корреляционных свойств карт WMAP, учитывая факт [19], что ранее в различных областях распределения сигнала ILC уже были обнаружены повышенные корреляции. Кроме того, также известно [20–22], что большой вклад в негауссовость данных на различных мультиполях дают именно фоновые компоненты. Возвращаясь к работе [19], отметим, что распределение корреляционных коэффициентов в мозаичных площадках карты имело большой сдвиг для корреляций с пылевой компонентой фона. Это может быть обусловлено более сложной моделью распределения пыли, чем используемая в настоящее время при разделении компонент, и тогда эффект может проявиться в корреляции на других галактических широтах.

В данной работе мы продолжаем изучение обнаруженной корреляции [19] на различных угловых масштабах. Для исследования эффекта мы рассчитаем угловой спектр мощности мозаичной корреляционной карты и выделим в нем основные гармонические компоненты. Мы применим этот анализ для корреляций карты ILC как с пылевой компонентой, так и с синхротронным излучением.

2. МЕТОД МОЗАИЧНОЙ КОРРЕЛЯЦИИ

При исследовании свойств карт на различных угловых масштабах используется их разложение по сферическим гармоникам (мультиполям):

$$\Delta S(\theta, \phi) = \sum_{\ell=1}^{\infty} \sum_{m=-\ell}^{m=\ell} a_{\ell m} Y_{\ell m}(\theta, \phi). \quad (1)$$

Здесь $\Delta S(\theta, \phi)$ — вариации сигнала на сфере в полярных координатах, ℓ — номер мультиполя, m — номер моды мультиполя. Сферические гармоники определяются как

$$Y_{\ell m}(\theta, \phi) = \sqrt{\frac{(2\ell+1)(\ell-m)!}{4\pi(\ell+m)!}} P_{\ell}^m(x) e^{im\phi}, \quad (2)$$

где $x = \cos \theta$, а $P_{\ell}^m(x)$ — присоединенные полиномы Лежандра. Для непрерывной функции $\Delta S(x, \phi)$ коэффициенты разложения $a_{\ell m}$ выражаются как

$$a_{\ell m} = \int_{-1}^1 dx \int_0^{2\pi} \Delta S(x, \phi) Y_{\ell m}^*(x, \phi) d\phi, \quad (3)$$

где $Y_{\ell m}^*$ обозначает комплексное сопряжение $Y_{\ell m}$.

Корреляционные свойства двух карт распределения сигнала на сфере на заданных масштабах описываются корреляционным коэффициентом для соответствующего мультиполя ℓ как

$$K(\ell) = \frac{1}{2} \frac{\sum_{m=-\ell}^{\ell} t_{\ell m} s_{\ell m}^* + t_{\ell m}^* s_{\ell m}}{\left(\sum_{m=-\ell}^{\ell} |t_{\ell m}|^2 \sum_{m=-\ell}^{\ell} |s_{\ell m}|^2 \right)^{1/2}},$$

где $t_{\ell m}$ и $s_{\ell m}$ — это вариации двух сигналов в гармоническом представлении. Величина коэффициента $K(\ell)$ позволяет проверить корреляцию гармоник на сфере, т.е. сравнить свойства карт в заданном угловом масштабе. Однако при поиске коррелированных областей, не повторяющихся в других областях сферы, этот подход замазывает такие одиночные площадки при общем осреднении по сфере внутри одной гармоники. В этом случае выделить коррелированные области уже практически не удается.

В работе [19] был предложен подход, реализованный во второй версии пакета GLESP [23], позволяющий обнаружить корреляции на исследуемых площадках определенного углового размера для двух карт. В этом методе каждому пикселу с номером p , стягивающему телесный угол Ξ_p , присваивается величина коэффициента кросс-корреляции $K(\Xi_p | \ell_{max})$ данных обеих карт на подлежащей площадке. Т.е. для двух сигналов T и S мы строим карту корреляций, где в каждый пиксел p ($p = 1, 2, \dots, N_0$, и N_0 — полное число пикселов на сфере) с углом Ξ_p , вычисляемый для карт на сфере с исходным разрешением, определяемым ℓ_{max} , записана величина

$$K(\Xi_p | \ell_{max}) = \frac{\sum_{p_{ij} \in \Xi_p} (T(\theta_i, \phi_j) - \overline{T(\Xi_p)})(S(\theta_i, \phi_j) - \overline{S(\Xi_p)})}{\sigma_{T_p} \sigma_{S_p}}. \quad (4)$$

Здесь $T(\theta_i, \phi_j)$ — величина сигнала T в пикселе с координатами (θ_i, ϕ_j) для исходного разрешения пикселизации сферы, $S(\theta_i, \phi_j)$ — величина другого сигнала в такой же площадке, $\overline{T(\Xi_p)}$ и $\overline{S(\Xi_p)}$ — средние значения в площадке Ξ_p , полученные по

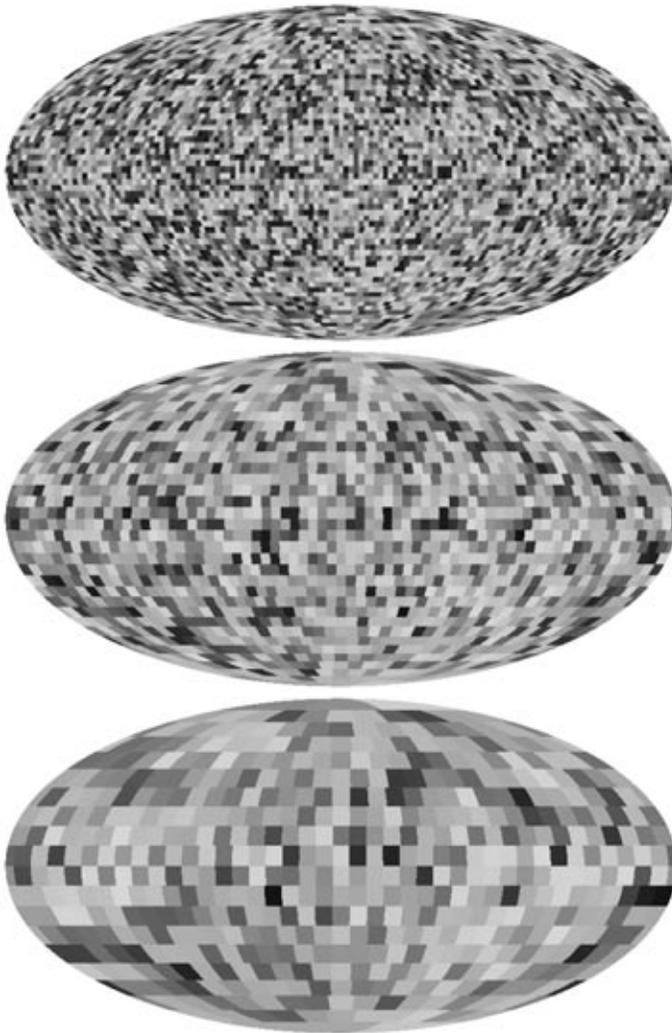


Рис. 1. Карты корреляционных коэффициентов на сфере, построенных для мозаичных корреляций карт ИС и пыли. Сверху вниз: карты для пикселизации со стороной пиксела 160, 300 и 540 минут дуги.

данным карт с более высоким разрешением, задаваемым ℓ_{max} , σ_{T_p} , и σ_{S_p} — соответствующие стандарты на этой площадке.

3. КОРРЕЛЯЦИИ КАРТЫ ИС И ПЫЛЕВОЙ ФОНОВОЙ КОМПОНЕНТЫ

В работе [19] был обнаружен значительный байес в распределении корреляционных коэффициентов для карт WMAP ИС и пыли. Рассмотрим это распределение внимательнее. Для этого построим мозаичные карты корреляций с пикселями со сторонами 160, 300 и 540 минут дуги с соответствующими максимальными мультиполями $\ell_{max}=33, 17$ и 9 в соответствии с определением (4). Полученные карты показаны на Рис. 1.

Распределение пикселей (корреляционных коэффициентов) для карт Рис. 1 показано на Рис. 2.

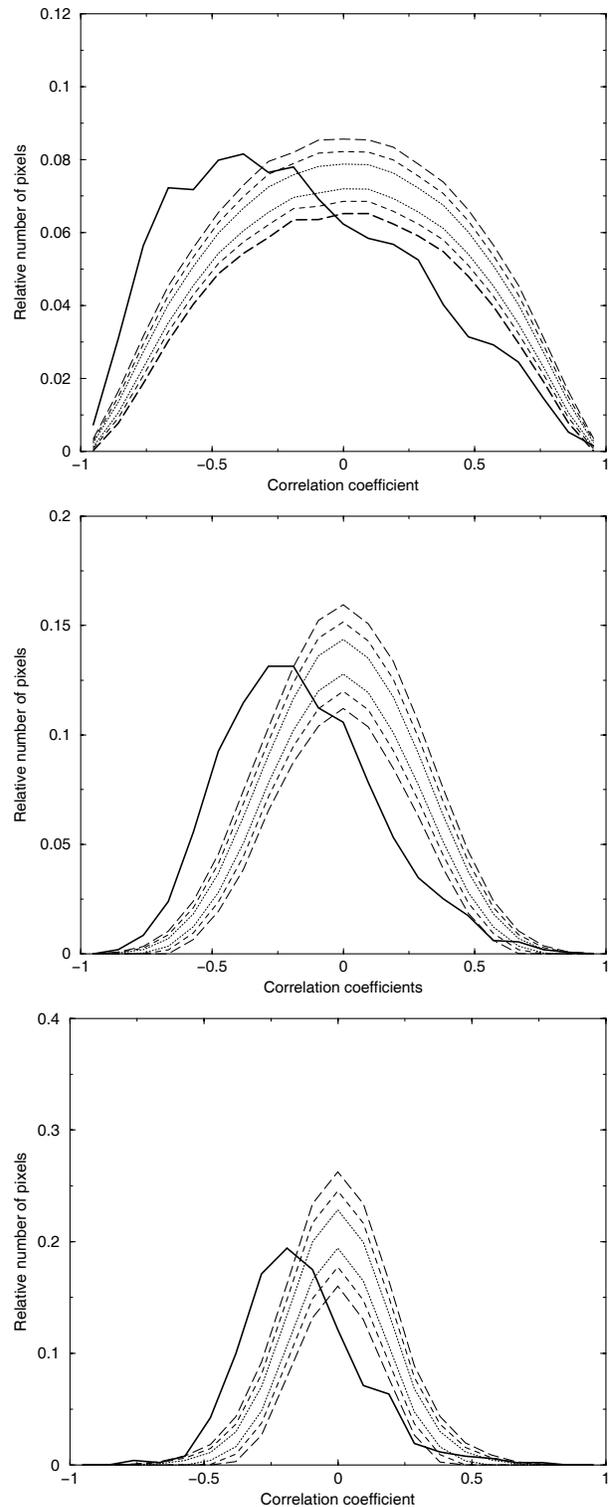


Рис. 2. Гистограммы распределения корреляционных коэффициентов для карт ИС и пыли. Сверху вниз: гистограммы для пикселизации со стороной пиксела 160, 300 и 540 минут дуги. Пунктиром, коротким и длинным штрихом отмечены уровни $\pm\sigma$, $\pm 2\sigma$ и $\pm 3\sigma$ в распределении пикселей для корреляции случайного сигнала, рассчитанного для Λ CDM-космологической модели, и пыли.

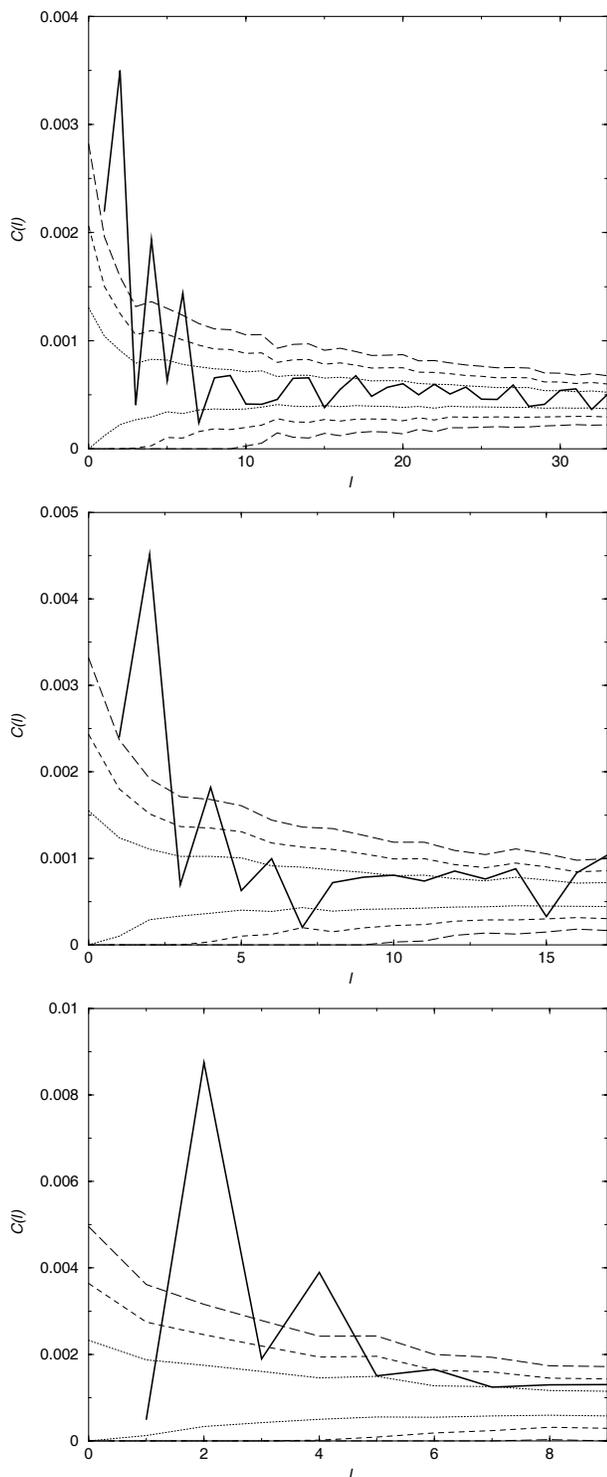


Рис. 3. Спектры мощности $C(\ell)$ карт корреляционных коэффициентов сигналов ILC и пыли. Сверху вниз: спектры мощности для пикселизации со стороны пиксела 160, 300 и 540 минут дуги. Пунктиром, коротким и длинным штрихом отмечены уровни $\pm\sigma$, $\pm 2\sigma$ и $\pm 3\sigma$ в разбросе величин сигнала для корреляции случайной карты и пыли.

Пунктирными, короткими и длинными штриховыми линиями на Рис. 2 отмечены уровни $\pm\sigma$, $\pm 2\sigma$ и $\pm 3\sigma$ в распределении пикселей для корреляции случайного сигнала и пыли. Эти уровни были получены осреднением результатов вычислений для 200 смоделированных случайных карт со спектром мощности в космологии Λ CDM. Кроме сдвига распределения в отрицательные величины, наблюдается существенное искажение формы самого распределения, отличающего его от нормального. Медианные значения распределений для корреляционных пикселей 160', 300' и 540' соответственно -0.2187 , -0.2326 и -0.2736 . Следует заметить, что байес получаемого распределения подобен байесу, получаемому при статистических оценках качества восстановления сигнала квадрупольа методом ILC [24].

Сдвиг распределения в отрицательную сторону задает монополь в карте корреляций. Он, скорее всего, связан с процедурой разделения компонент и наблюдается также в корреляциях одномерных сечений [25, 26]. Однако искажение формы может быть вызвано наличием в картах усиленных корреляций более высоких мультиполей. Для исследования этого явления построим угловой спектр мощности:

$$C(\ell) = \frac{1}{2\ell + 1} \left[|a_{\ell 0}|^2 + 2 \sum_{m=1}^{\ell} |a_{\ell m}|^2 \right]. \quad (5)$$

Спектры мощности карт с соответствующими $\ell_{max}=33, 17$ и 9 показаны на Рис. 3. Пунктирными, короткими и длинными штриховыми линиями здесь отмечены уровни σ , 2σ и 3σ в разбросе величин спектра для корреляции пыли и случайных карт. Сигнал монополя предварительно был удален. Из Рис. 3. ясно видно, что для всех трех спектров мощность квадрупольа значительно превышает мощность остальных гармоник. Используя разложение по формуле (1), выделим эту гармонику из данных карты корреляций. Результаты продемонстрированы на Рис. 4.

Особенностью этого квадрупольа является его чувствительность одновременно к двум выделенным системам координат: эклиптической и экваториальной, что демонстрируется Рис. 5. Из рисунка видно, что холодные пятна вблизи галактических полюсов лежат в плоскости эклиптики, а горячие пятна в точности попадают в экваториальные полюса.

Отметим также четвертую гармонику в спектре мощности для данных корреляций с масштабом 160 минут дуги. Ее амплитуда тоже превышает уровень 3σ . Из карты этого мультиполя (Рис. 6) видно, что данная корреляция определяется структурами в Галактической плоскости, что, в общем, является ожидаемым на масштабах $15^\circ-20^\circ$.

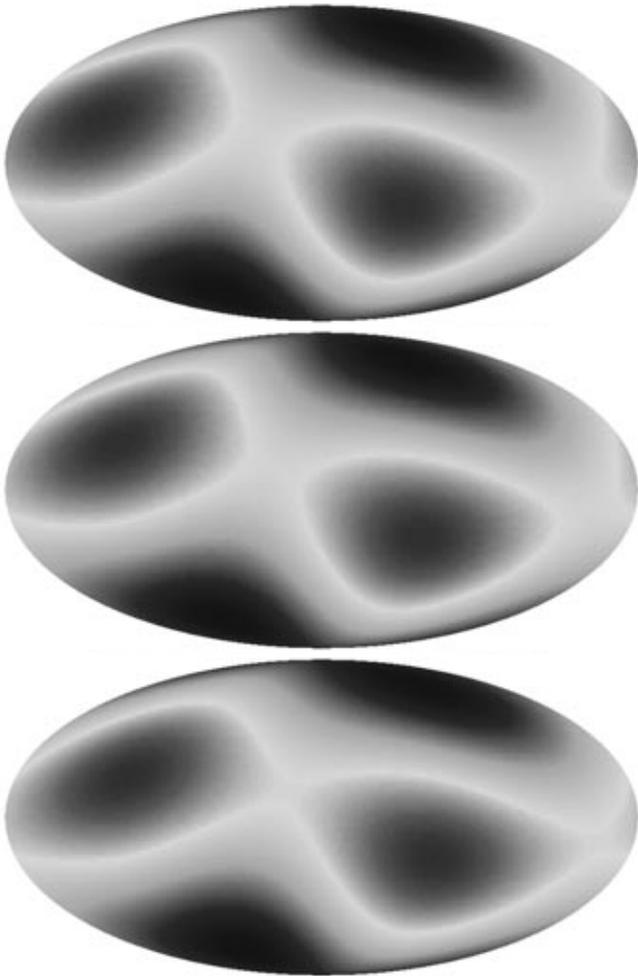


Рис. 4. Квадруполь, выделенный из карт корреляций карт ИЛС и пыли. Сверху вниз: карты для пикселизации корреляций внутри площадок со стороной 160, 300 и 540 минут дуги.

Возвращаясь к квадруполью, покажем, что удаление области Галактической плоскости из вычислений не влияет на положение этой гармоники. Для этой цели используем маску Кр0, которая доступна на сайте миссии WMAP¹ и применяется для экранирования излучения Галактической плоскости и точечных источников.

На Рис. 7 показана карта корреляций сигналов пыли и ИЛС в площадках со стороной 160 минут дуги с наложенной маской Кр0. Там же показана гистограмма отсчетов вне области маски. Хотя полный спектр мощности в данном случае не имеет физического смысла, мы все равно его применяем для оценки статистических свойств сигнала, используя при этом набор смоделированных карт с наложенной маской. Тогда на основе сравнительных характеристик можно провести статисти-

ческий анализ. На Рис. 7 приведен угловой спектр мощности, вычисленный на полной сфере, на которой в пиксели, попадающие в область маски Кр0, записаны нулевые значения. Пунктирной и штриховыми линиями показаны уровни σ , 2σ и 3σ в разбросе величин сигнала для корреляции случайной карты и пыли с наложенной маской. Отметим, что отношение амплитуды квадруполья в спектре в исследуемой карте корреляций к 3σ -уровню, ожидаемому из случайных карт, без использования маски равно 2.2, а в случае использования маски — отношение равно 5.5. Т.е. экранирование Галактической плоскости увеличивает значимость вклада квадрупольной гармоники в карту корреляций. На Рис. 7 также показана карта квадруполья, ось максимумов которой оказалась развернута по отношению к показанной на Рис. 4 из-за присутствия маски при спектральном анализе, а ось минимумов осталась без изменений.

4. КОРРЕЛЯЦИИ КАРТЫ ИЛС И СИНХРОТРОННОЙ ФОНОВОЙ КОМПОНЕНТЫ

В работе [19] обсуждались корреляционные карты сигналов ИЛС и синхротронного излучения, в которых также визуально выделяется плоскость Галактики (Рис. 8), но отсутствует ярко выраженное отклонение гистограммы от гауссова распределения (Рис. 9), как это происходит для корреляций распределения сигнала ИЛС и излучения пыли (Рис. 2). Но отметим, что для всех трех гистограмм распределения отсчетов, построенных для окон 160, 300 и 540 минут дуги, все же имеется отклонение от гауссова случая выше уровня 1σ .

Построим спектры мощности карт мозаичных корреляций для сигнала ИЛС и синхротронного излучения, таким же образом как и для карт пыли. Они приведены на Рис. 10 для разных корреляционных окон. На каждом из графиков также показаны пределы разброса сигнала на уровнях $\pm\sigma$, $\pm 2\sigma$ и $\pm 3\sigma$, вычисленные по данным 200 корреляционных карт для случайного сигнала в Λ CDM-космологии. Монополь в картах для корреляционных окон 160 и 300 минут дуги предварительно удален.

Из анализа спектра видно, что, как и в случае пыли, имеется значительно выдающаяся гармоника $\ell = 2$. Для исследования ее ориентации построим ее карту (Рис. 11).

На Рис. 11 обращает на себя внимание положение гармоники, ориентация которой также не совпадает с Галактической плоскостью. И хотя горячие пятна существенно сдвинуты относительно максимумов карт корреляций с пылью (Рис. 4), положение холодных пятен (минимумов) показывает замечательную чувствительность как к плоскости

¹<http://lambda.gsfc.nasa.gov>

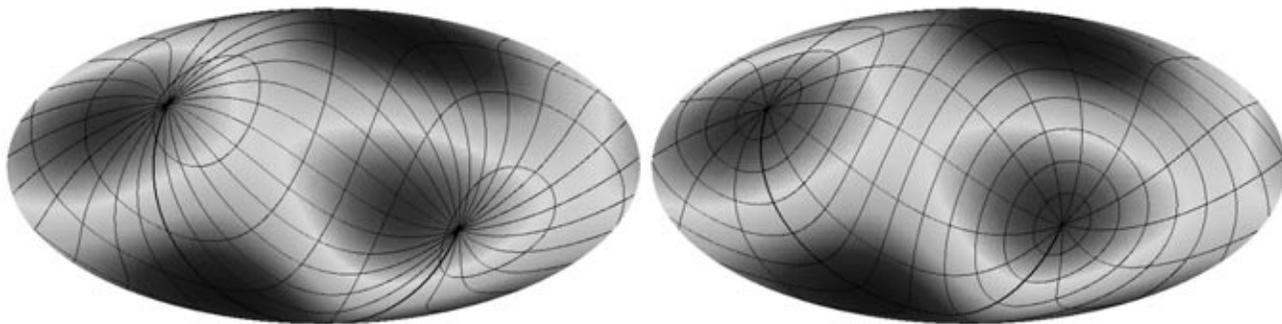


Рис. 5. Эклиптическая (слева) и экваториальная (справа) системы координат на карте квадруполя, построенной по данным с пикселизацией 160 минут дуги. Полюса координатных систем попадают на горячие пятна (светло-серые), экватор проходит через холодные пятна (темно-серые).

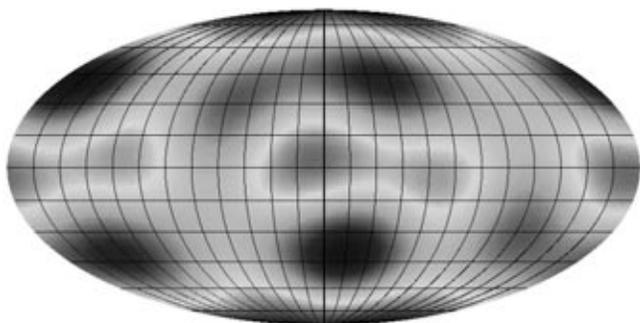


Рис. 6. Карта мультиполя 4 с наложенной галактической сеткой координат. Карта построена для корреляционного окна 160 минут дуги.

эклиптики (Рис. 11, слева, квадруполь для масштаба 160 минут дуги), так и к экваториальной плоскости (Рис. 11, справа, квадруполь для масштаба 540 минут дуги). Оба минимума в обеих картах практически лежат на соответствующей нулевой широте.

5. ОБСУЖДЕНИЕ

Устойчивое наличие осей квадруполя, соединяющих холодные и горячие пятна, расположенные в одних и тех же областях неба для различных окон корреляции карт ИС и пылевой компоненты в сочетании с спектром мощности, многократно превышающем 1σ , говорит о высоком уровне негауссовости низких мультиполей сигнала WMAP. Отличие этой работы от других, в которых также показана негауссовость низких мультиполей WMAP (см. Введение), заключается не только в применяемом методе, но еще и в двух особенностях: (1) показано, что при чистке данных WMAP методом ИС пылевая компонента дает сильную антикорреляцию выделяемому СВВ, проявляющуюся как в распределении корреляционных коэффициентов, так и в угловом спектре мощности. Синхротронная

компонента проявляется в данном подходе существенно лишь в спектре мощности; (2) распределение корреляционных коэффициентов позволяет говорить об особом сигнале, “знающем” не только об эклиптической системе координат, но скорее даже об экваториальной.

Обратим внимание, что два отрицательных пятна, обнаруженные в квадруполе карты корреляций, составлены из отрицательных величин, что говорит о противоположном поведении выделенной ИС карты и фоновых компонент в этих областях. Отрицательные области квадруполя строго соответствуют положению зон положительного остаточного сигнала, обнаруженных в работе [10]. Этот факт подтверждает выделенность этих областей карты WMAP. Важным моментом, с нашей точки зрения, является положение этих пятен, которое совершенно не кажется случайным. Координаты минимумов холодных пятен квадруполя близки к координатам $(0,0)$ и $(180^\circ, 0)$ как в эклиптической, так и в экваториальной системах координат, а положение горячих пятен (полюса либо в эклиптической, либо в экваториальной систем) чувствительно к размеру выбранного корреляционного масштаба. Мы продемонстрировали этот эффект нанесением координатной сетки на карту квадруполя (Рис. 5 и 11).

Отметим, что уверенно сказать, чем вызвана чувствительность к системе координат, пока нельзя. Можно отметить несколько потенциальных эффектов, могущих сыграть свою роль в усилении сигнала в эклиптике:

- наличие пылевой компоненты в плоскости эклиптики; несмотря на слабость вклада зодиакальной пыли [10], не исключено пока влияние силиконовых конденсатов [18];
- наличие микроволнового фона, определяемого солнечным ветром; результаты исследований в этом направлении, представленные в виде карт распределения сигнала на

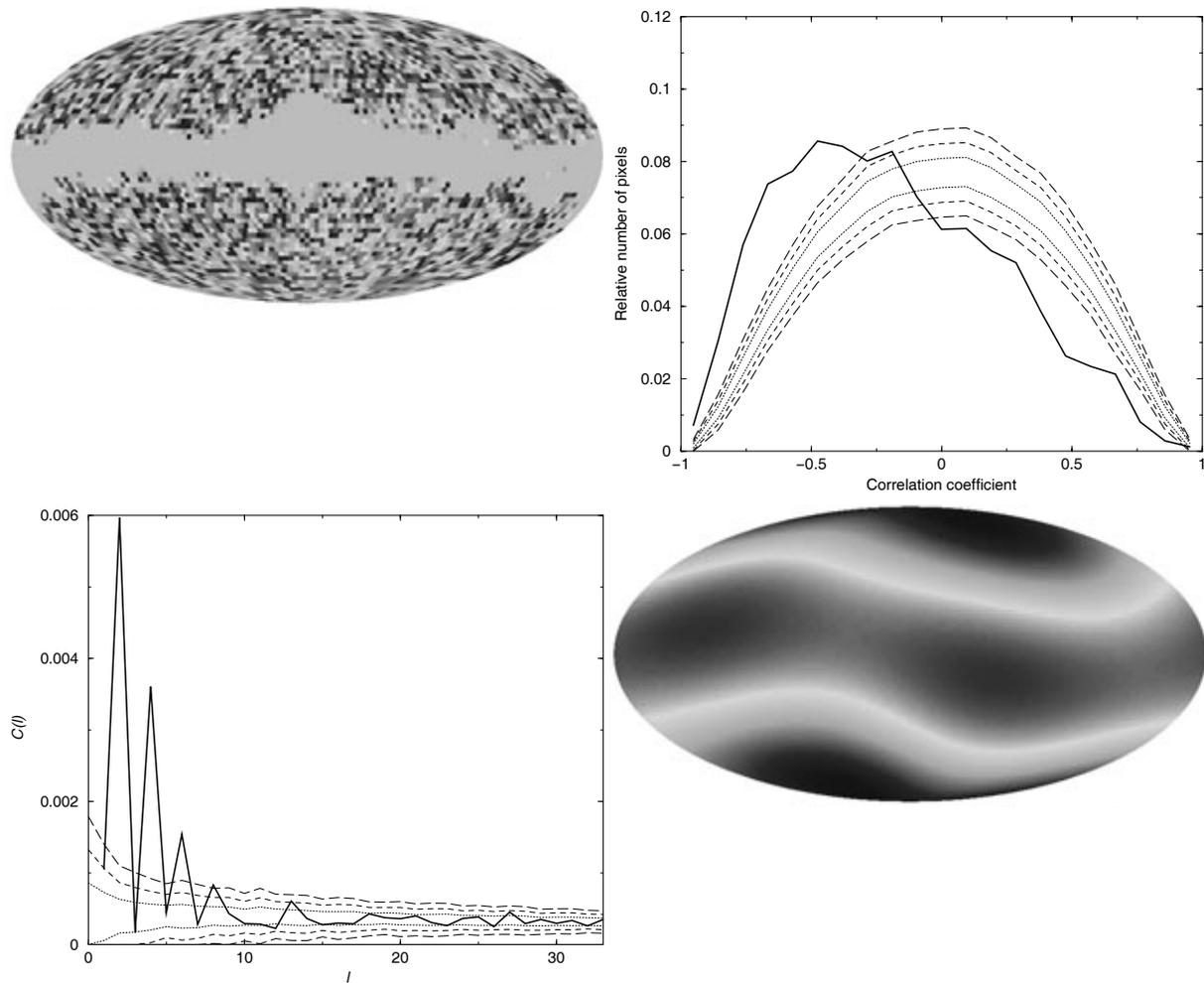


Рис. 7. Карта корреляций сигналов ILC и пыли для корреляционного окна 160 минут дуги и ее статистические диаграммы. На карту наложена маска Кр0. Диаграммы рассчитывались с учетом маски. Вверху слева: карта корреляций для пикселей со стороны 160 минут дуги. Вверху справа: гистограмма распределения пикселей в этой карте вне маски Кр0. Пунктиром, коротким и длинным штрихом отмечены уровни σ , 2σ и 3σ в разбросе величин сигнала для корреляции случайной карты и пыли с наложенной маской. Внизу слева: спектр мощности. Пунктирными и штриховыми линиями показан разброс, оцененный как на предыдущем рисунке. Внизу справа: карта квадруполя.

полной сфере, пока отсутствуют; кроме того, подобный фон должен быть переменным в связи с активностью Солнца;

- остаточный шум, связанный с неравномерной чувствительностью в пикселе WMAP в зависимости от удаленности от плоскости эклиптики; проведенная мозаичная корреляция и моделирование для шумовой карты WMAP продемонстрировали очень низкие корреляционные характеристики с картой ILC (Рис. 12);
- Влияние огромных пылевых поясов у планет-гигантов на эффекты разделения компонент микроволнового излучения, остатки которого выделяются в плоскости эклиптики.

Открытое недавно инфракрасным телескопом NASA Spitzer ² [27] гигантское пылевое кольцо размером более градуса должно дать неучтенный вклад в излучение в плоскости эклиптики в результате множественных прохождений через диаграмму направленности антенны WMAP. Уровень такого вклада в микроволновом диапазоне не оценивался.

Удивительным остается обнаружение в корреляциях экваториальной системы координат, наблюдаемой в положении горячих и холодных пятен квадруполя. Возможность ее физического проявления в точке Лагранжа L2 кажется сомнительным. Нет никаких данных о существовании у Земли

²http://science.nasa.gov/headlines/y2009/07oct_giantring.htm

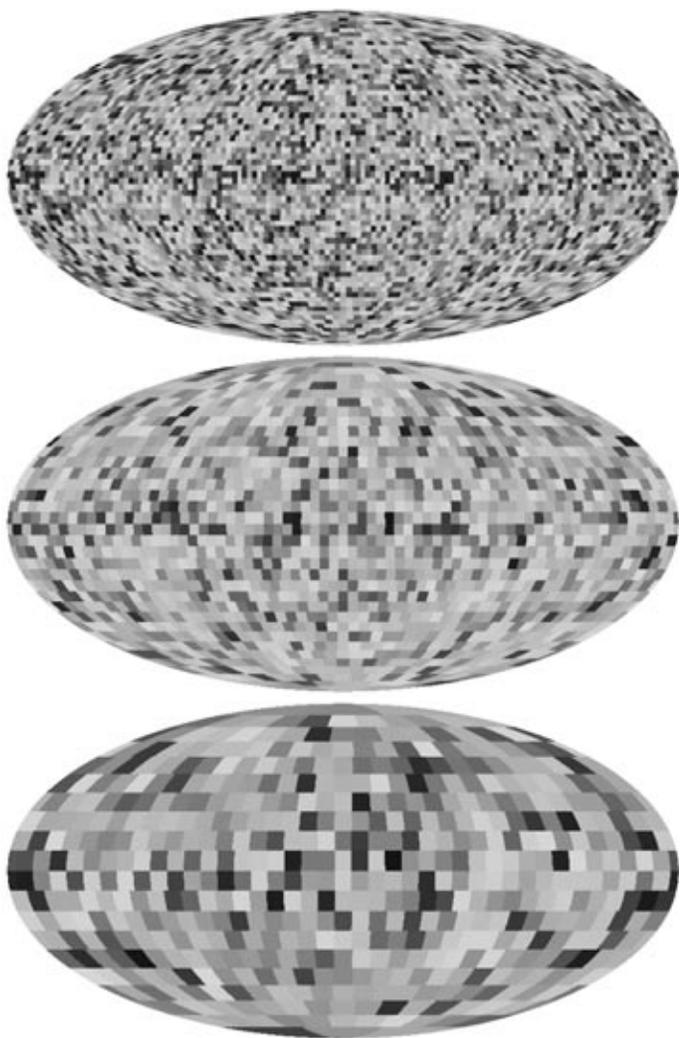


Рис. 8. Карты корреляционных коэффициентов на сфере, построенные для мозаичных корреляций сигнала ИЛС и синхротронного излучения. Сверху вниз: карты для пикселизации со стороной пиксела 160, 300 и 540 минут дуги.

гигантского пылевого кольца, подобного обнаруженному у Сатурна, что наблюдалось бы и с Земли, и со спутников; нет подтверждений существования гигантского хвоста магнитосферы Земли, протянувшегося до L2, в которой могли бы существовать области излучения микроволн. Не исключен, но не понятен в данном случае эффект систематики, возможно, связанный с процессом наблюдений. Если считать, что негауссовы отклонения характеристик низких мультиполей могут быть связаны с проблемой разделения компонент, включая плохо изученное излучение плоскости эклиптики, то вопрос, каким образом данные корреляции оказываются чувствительны к экваториальной системе, требует дополнительного изучения.

В этом плане представляют интерес ожидаемые данные миссии Planck, которые, благодаря лучшей

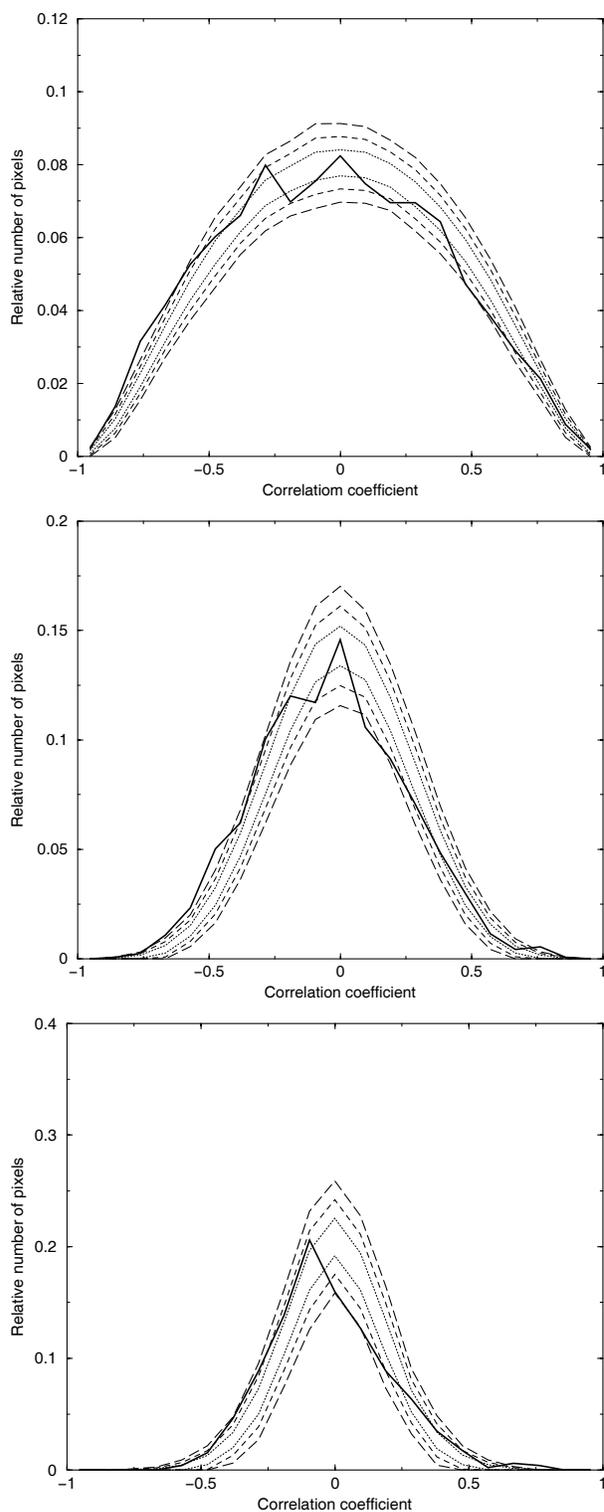


Рис. 9. Гистограммы распределения корреляционных коэффициентов для карт ИЛС и синхротронного излучения. Сверху вниз: гистограммы для пикселизации со стороной пиксела 160, 300 и 540 минут дуги. Пунктиром, коротким и длинным штрихом отмечены уровни $\pm\sigma$, $\pm 2\sigma$ и $\pm 3\sigma$ в распределении пикселей для корреляции случайного сигнала и синхротронного излучения. Случайный сигнал рассчитывался в Λ CDM-космологической модели.

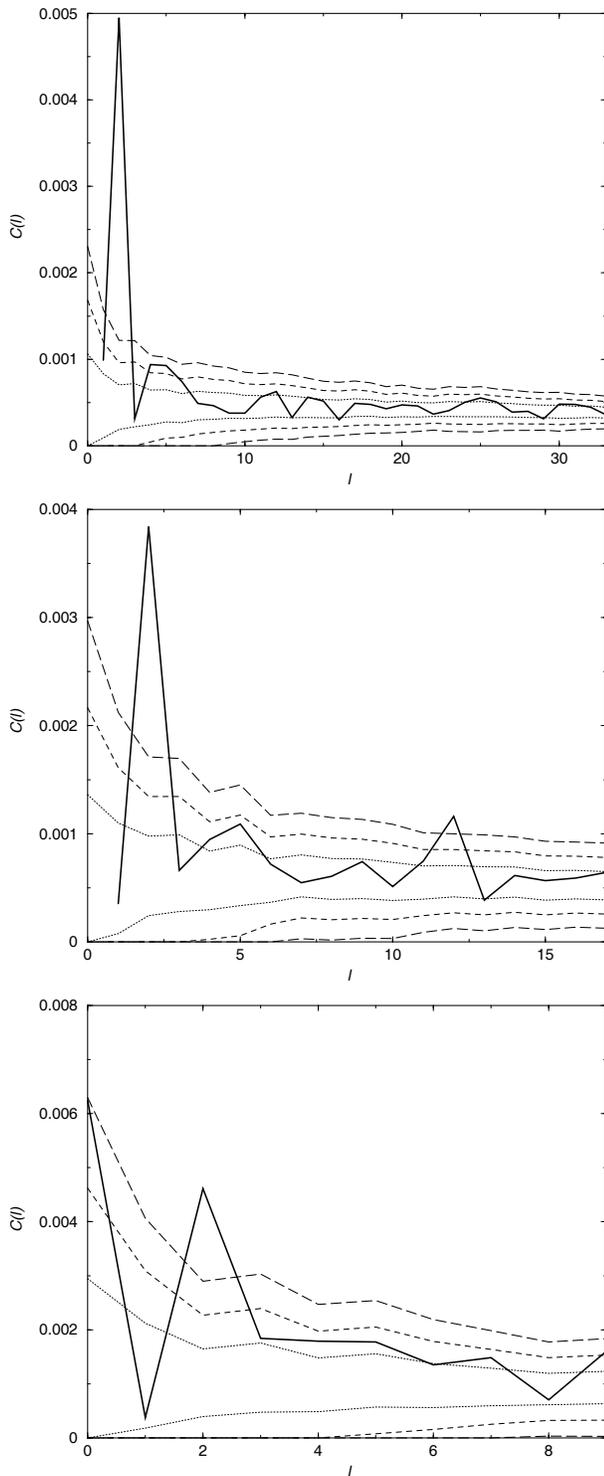


Рис. 10. Спектры мощности $C(l)$ карт корреляционных коэффициентов сигналов ИЛС и синхротронного излучения. Сверху вниз: спектры мощности для пикселизации со стороной пиксела 160, 300 и 540 минут дуги. Пунктиром, коротким и длинным штрихом отмечены уровни $\pm\sigma$, $\pm 2\sigma$ и $\pm 3\sigma$ в разбросе величин сигнала для корреляции случайной карты и пыли и синхротронного излучения.

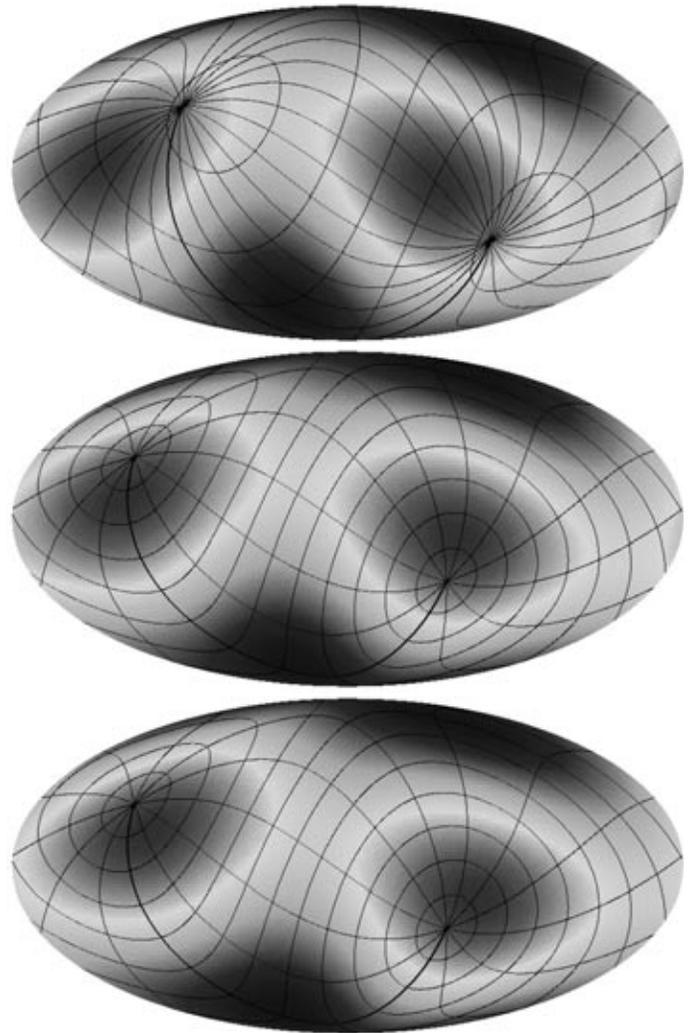


Рис. 11. Квадруполь, выделенный из карт корреляций карт ИЛС и синхротронного излучения. Сверху вниз: карты для пикселизации корреляций внутри площадок со стороной 160, 300 и 540 минут дуги. На первую карту наложена сетка эклиптической системы координат, на вторую и третью — экваториальная. Полюса координатных систем попадают на горячие пятна (светло-серые), экватор проходит через холодные пятна (темно-серые).

чувствительности и разрешению, позволят построить и исследовать мозаичные карты корреляций в области эклиптической и экваториальной плоскостей.

БЛАГОДАРНОСТИ

Авторы благодарны П.Д. Насельскому за полезную дискуссию. Мы благодарим NASA за возможность использования архива (NASA Legacy Archive), откуда были взяты данные WMAP. Мы также признательны авторам пакета

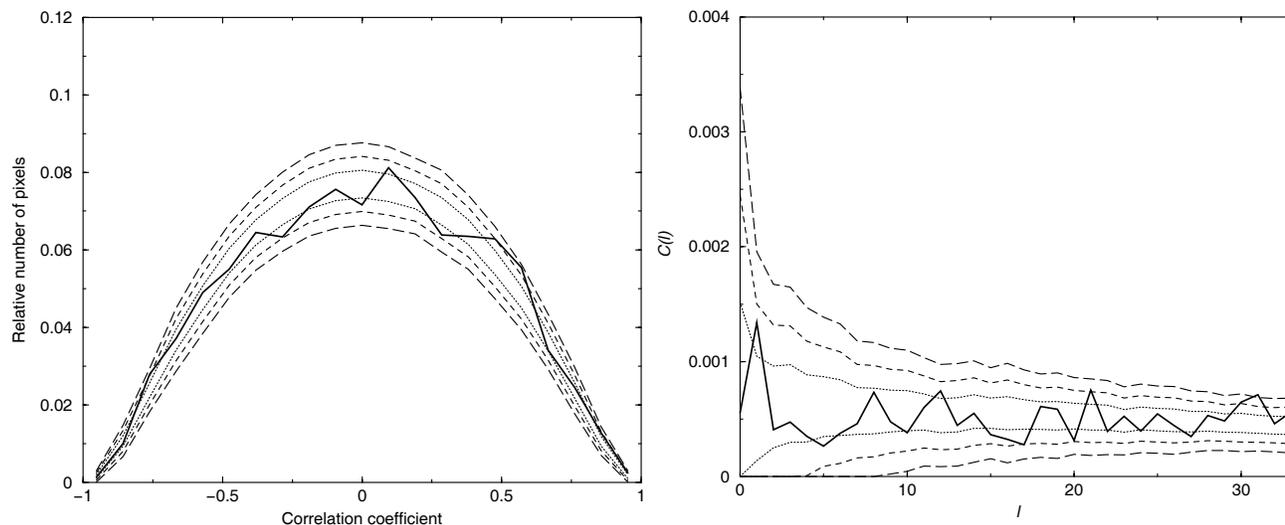


Рис. 12. Слева: гистограмма пикселей для карты мозаичных корреляций ИС и шума. Справа: спектр мощности этой карты. Корреляции вычислялись внутри площадок со стороны 160 минут дуги. Пунктиром, коротким и длинным штрихом отмечены уровни σ , 2σ и 3σ в распределении пикселей для корреляции случайного и шумового сигналов.

HEALPix³ [28], с помощью которого были преобразованы карты WMAP в коэффициенты $a_{\ell m}$. В работе использован пакет GLESP⁴ [29, 30] для дальнейшего анализа данных СМВ на сфере. Данная работа была поддержана грантом “Ведущие научные школы России” и грантом РФФИ №09-02-00298. О.В.В. благодарит также за частичную поддержку Фонд Содействия Отечественной Науке (программа “Молодые доктора РАН”) и Фонд “Династия”.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. C. L. Bennett, M. Halpern, G. Hinshaw et al., *Astrophys. J. Suppl.* **148**, 1 (2003), astro-ph/0302207.
2. C. L. Bennett, R. S. Hill, G. Hinshaw et al., *Astrophys. J. Suppl.* **148**, 97 (2003), astro-ph/0302208.
3. D. N. Spergel, L. Verde, H. V. Peiris, et al., *Astrophys. J. Suppl.* **148**, 175 (2003), astro-ph/0302209.
4. M. Tegmark, A. de Oliveira-Costa and A. Hamilton, *Phys. Rev. D* **68**, 123523 (2003), astro-ph/03022496.
5. K. Land and J. Magueijo, *Phys. Rev. Lett.* **95** 071301 (2005).
6. G. Hinshaw, D. N. Spergel, L. Verde et al., *Astrophys. J. Suppl.* **170**, 288 (2007), astro-ph/0603451.
7. D. N. Spergel et al., *Astrophys. J. Suppl.* **170**, 377 (2007), astro-ph/0603449.
8. G. Hinshaw, J. L. Weiland, R. S. Hill et al., *Astrophys. J. Suppl.* **180**, 225 (2009), arXiv:0803.0732.
9. E. Komatsu, J. Dunkley, M. R. Nolte et al., *Astrophys. J. Suppl.* **180**, 330 (2009), arXiv:0803.0547.
10. A. Gruppuso and C. Alessandro, *JCAP* **08**, 004 (2009).
11. C. J. Copi, D. Huterer, D. J. Schwarz, and G. D. Starkman, *Monthly Notices Roy. Astronom. Soc.* **367**, 79 (2006).
12. C. J. Copi, D. Huterer, D. J. Schwarz, and G. D. Starkman, *Monthly Notices Roy. Astronom. Soc.* **399**, 295 (2009).
13. C.-G. Park, C. Park and J. R. Gott III, *Astrophys. J.* **660**, 959 (2007), astro-ph/0608129.
14. T. R. Jaffe, A. J. Banday, H. K. Eriksen, et al., *Astronom. and Astrophys.* **460**, 393 (2006).
15. M. Demianski and A. G. Doroshkevich, *Phys. Rev. D* **751**, 3517 (2007).
16. T. Koivisto and D. F. Mota, *JCAP* **06**, 018 (2008).
17. J. M. Diego, M. Cruz, J. Gonzalez-Nuevo, et al., arXiv: 0901.4344 (2009).
18. V. Dikarev, O. Preuss, S. Solanki, et al., *Astrophys. J.* **705**, 670 (2009).
19. O. V. Verkhodanov, M. L. Khabibullina and E. K. Majorova, *Astrophysical Bulletin* **64**, 263 (2009).
20. P. D. Naselsky, A. G. Doroshkevich and O. V. Verkhodanov, *Astrophys. J.* **599**, L53 (2003), astro-ph/0310542.
21. P. D. Naselsky, A. G. Doroshkevich and O. V. Verkhodanov, *Monthly Notices Roy. Astronom. Soc.* **349**, 695 (2004), astro-ph/0310601.
22. P. D. Naselsky and O. V. Verkhodanov, *Astrophysical Bulletin* **62**, 203 (2007).
23. A. G. Doroshkevich, O. B. Verkhodanov, O. P. Naselsky, et al., arXiv:0904.2517 (2009).
24. P. D. Naselsky, O. V. Verkhodanov and M. T. B. Nielsen, *Astrophysical Bulletin* **63**, 216 (2008), arXiv:0707.1484.

³<http://www.eso.org/science/healpix/>

⁴<http://www.glesp.nbi.dk>

25. M. L. Khabibullina, O. V. Verkhodanov, and Yu. N. Parijskij, *Astrophysical Bulletin* **63**, 95 (2008).
26. M. L. Khabibullina, O. V. Verkhodanov, and Yu. N. Parijskij, In “*Practical Cosmology*”, V.II, *Proc. Internat. Conf. “Problems of Practical Cosmology”*, Ed. by Yu. Baryshev, Igor N. Taganov, and P. Teerikorpi (Russian Geograph. Soc., St.Petersburg, 2008), p. 239.
27. W. Clavin, <http://www.spitzer.caltech.edu/Media/releases/ssc2009-19/release.shtml> (2009).
28. K. Górski, E. Hivon, A. J. Banday, et al., *Astrophys. J.* **622**, 759 (2005).
29. A. G. Doroshkevich, P. D. Naselsky, O. V. Verkhodanov, et al., *Intern. J. Mod. Phys. D* **14**, 275 (2003), astro-ph/0305537.
30. O. V. Verkhodanov, A. G. Doroshkevich, P. D. Naselsky et al., *Bull. Spec. Astrophys. Obs.* **58**, 40 (2005).

DOMINANT MULTIPOLES IN WMAP5 MOSAIC DATA CORRELATION MAPS

O.V. Verkhodanov, M.L. Khabibullina

The method of correlation mapping on the full sphere is used to study the properties of the ILC map, as well as the dust and synchrotron background components. An anomalous correlation of the components with the ILC map in the main plane and in the poles of the ecliptic and equatorial coordinate systems was discovered. Apart from the bias, a dominant quadrupole contribution in the power spectrum of the mosaic correlation maps was found in the pixel correlation histogram. Various causes of the anomalous signal are discussed.

Key words: *radio continuum: general*