

УДК 524.827-77

О ДВУХ НИЗКИХ ГАРМОНИКАХ КОРРЕЛЯЦИОННЫХ КАРТ МИКРОВОЛНОВОГО ФОНА

© 2012 О. В. Верховданов¹, Т. В. Кешелава², Я. В. Найденов¹

¹Специальная астрофизическая обсерватория РАН, Нижний Архыз, 369167 Россия

²Московский государственный университет, Москва, 119991 Россия

Поступила в редакцию 29 января 2012 г.; принята в печать 10 мая 2012 г.

Мы проанализировали две мощные корреляционные гармоники ($\ell = 3$ и $\ell = 6$), обнаруженные при корреляции сигнала ILC WMAP с данными субмиллиметрового и инфракрасных диапазонов каталогов FSC IRAS и Planck. Рассчитаны фазы мод этих мультиполей. В пятнах гармоник проведены подсчеты источников из обзоров NVSS, FIRST, FSC IRAS и Planck. Фазы корреляционных гармоник близки на разных наблюдательных частотах как для $\ell = 3$, так и для $\ell = 6$. Мы не исключаем, что часть слабого сигнала в данных ILC WMAP, проявляющегося в сильных корреляционных свойствах исследуемых мультиполей, может быть обусловлена внегалактическими источниками излучения.

Ключевые слова: космология; реликтовое излучение

1. ВВЕДЕНИЕ

В предыдущей статье [1] (Работа I) мы исследовали карты мозаичных корреляций данных микроволнового фона (Cosmic Microwave Background — СМВ) WMAP¹ [2–5] и положений инфракрасных и субмиллиметровых источников. Самой известной и широко используемой картой микроволнового фона является карта WMAP (Рис. 1) (Wilkinson Microwave Anisotropy Probe), показывающая распределение анизотропии реликтового излучения и построенная по многочастотным наблюдениям методом внутренней линейной комбинации ILC (ILC — Internal Linear Combination) фоновых компонент [2–5] по измерениям сигнала в пяти частотных полосах: 23 ГГц (полоса K), 33 ГГц

(полоса Ka), 41 ГГц (полоса Q), 61 ГГц (полоса V) и 94 ГГц (полоса W).

Для получения положения инфракрасных и субмиллиметровых источников в Работе I также использовались каталоги слабых источников (FSC) [6] обзора IRAS [7], каталог протяженных источников 2MASX [8] обзора всего неба 2MASS (2 Micron All-Sky Survey) [9] и каталог субмиллиметровых объектов миссии Planck² [10]. Для анализа данных каталогов применялись процедуры селекции базы данных CATS [11, 12] и пикселизации в пакете GLESP [13].

С помощью распределения величины сигнала в пикселях и угловых спектров мощности были исследованы статистические свойства карт корреляций ILC СМВ с каталогами субмиллиметровых и ИК-обзоров. Обнаружено одинаковое поведение ряда гармоник в картах корреляций с объектами каталогов FSC IRAS, 2MASX и Planck. Среди них выделяются две гармоники: мультиполь $\ell = 6$ (Рис. 2) и октуполь $\ell = 3$ (Рис. 3), которые могут отражать реальное распределение источников излучения, “просочившихся” в карту микроволнового фона. Гармоника $\ell = 6$ возникает на карте корреляции сигнала СМВ WMAP и положения объектов каталога FSC. Гармоника $\ell = 3$ (Рис. 3) — для корреляций карты WMAP и положений источников обзора Planck.

В Работе I было продемонстрировано, что положение пятен для ряда мультиполей выделяется

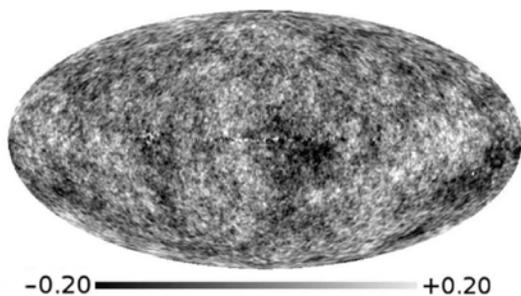


Рис. 1. Карта ILC СМВ по данным наблюдений седьмого года миссии WMAP в галактической системе координат.

¹<http://lambda.gsfc.nasa.gov>

²<http://www.rssd.esa.int/Planck/>

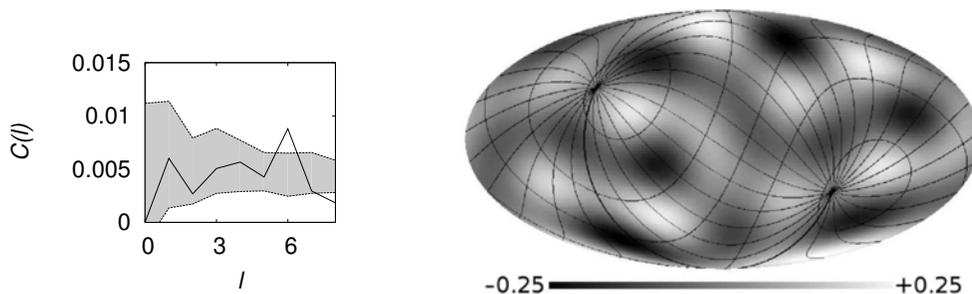


Рис. 2. Слева: угловой спектр мощности карты корреляций между сигналом WMAP ILC и положениями объектов FSC на длине волны $25 \mu\text{m}$. Серым цветом отмечен 1σ -разброс величины $C(\ell)$, рассчитанный по 200 случайным гауссовым моделям ΛCDM -космологии. Справа: карта шестой гармоники корреляционного сигнала между положением источников FSC (μm) и распределением излучения WMAP ILC со стороны квадратного пиксела $600'$. На карту наложена эклиптическая сетка координат.

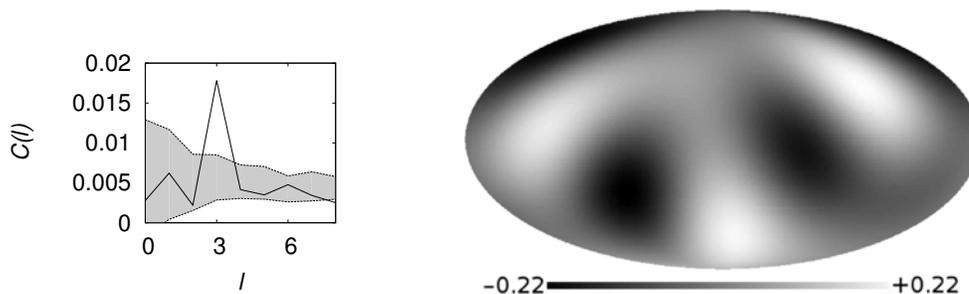


Рис. 3. Слева: угловой спектр мощности карты корреляций между сигналом WMAP ILC и положением на небесной сфере объектов Planck на частоте 217 ГГц . Серым цветом отмечен 1σ -разброс величины $C(\ell)$, рассчитанный по 200 случайным гауссовым моделям ΛCDM -космологии. Справа: карта третьей гармоники корреляционного сигнала между положением источников миссии Planck (217 ГГц) и WMAP ILC со стороны квадратного пиксела $600'$.

симметрией и амплитудой в эклиптической и экваториальной системах координат, что представляет интерес для более детального изучения. Следует сказать, что кроме названных гармоник, $\ell = 3$ и $\ell = 6$, были также отмечены гармоники $\ell = 8$ и $\ell = 12$ на некоторых корреляционных картах.

В данной работе мы исследуем проекционные свойства положения на сфере радиоисточников, попадающих в область пятен соответствующих гармоник ($\ell = 3$ и $\ell = 6$), имеющих наибольшую амплитуду.

2. АНАЛИЗ ГАРМОНИК

Для анализа пятен гармоник на корреляционных картах мы используем 5 каталогов: NVSS [14], FIRST [15], слабых источников (FSC) [6] обзора IRAS [7], каталог протяженных источников и субмиллиметровых объектов миссии Planck [10].

Обзор NVSS [14] был проведен с большой антенной решеткой (VLA) на частоте 1.4 ГГц в период с 1993 по 1996 г.г. и покрыл все небо выше склонения $\delta = -40^\circ$ ($33\,884^\circ$ или 82% небесной сферы). Каталог содержит 1.8×10^6 источников, и, согласно описанию, является полным на 99% до интегральных плотностей потоков $S_{1.4 \text{ ГГц}} = 3.5 \text{ мЯн}$, и

полным на 50% до плотностей потоков 2.5 мЯн . Обзор проводился в D-конфигурации радиотелескопа VLA, и размер по половинной мощности синтезированной диаграммы направленности (разрешение) составил около $45''$.

Обзор FIRST [15] также проводился на телескопе VLA на частоте 1.4 ГГц , но в B-конфигурации. Он покрывает северную и частично южную галактические полярные шапки и имеет разрешение порядка $5''$. Согласно авторам, полнота обзора на уровне 2.5 мЯн составляет 95% , а на уровне 1 мЯн — 80% . Каталог содержит $771\,076$ источников и покрывает 8565° (7954° на северном полюсе и 661° — на южном), что составляет 21% небесной сферы.

Инфракрасный астрономический спутник IRAS (Infrared Astronomical Satellite) провел в 1983 г. обзор небесной сферы на четырех длинах волн: 12 , 25 , 60 и $100 \mu\text{m}$ (соответственно 25 , 12 , 5 и 3 ТГц). В результате был получен каталог точечных источников (PSC), содержащий около $246\,000$ объектов [7]. Обзор слабых источников IRAS (с галактическими широтами $|b| > 10^\circ$) имеет лучшую чувствительность (примерно на 1 зв. величину) по

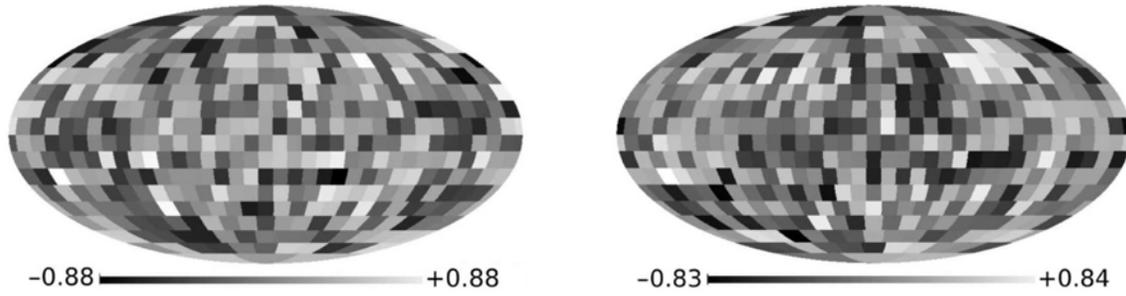


Рис. 4. Карты корреляций сигнала ILC с картой положений источников FSC IRAS на длине волны $25 \mu\text{m}$ (слева) и объектов Planck на частоте 217 ГГц (справа). Размер стороны пиксела на карте корреляционного сигнала — 10° .

сравнению с PSC. Каталог источников этого обзора (FSC — Faint Source Catalog), содержащий около 236 000 объектов, для слабейших источников имеет достоверность порядка 99% на 12 и $25 \mu\text{m}$ и 80% на 60 и $100 \mu\text{m}$. Отметим, что около 20% “ложных” объектов, согласно [6], являются результатом излучения инфракрасных циррусов.

Используемая версия каталога источников, обнаруженных миссией Planck [10], получена в результате картографирования полной сферы плюс 60% всего неба за второй год миссии. Полный каталог содержит источники, зарегистрированные в девяти частотных каналах: 30, 44, 70, 100, 143, 217, 353, 545 и 857 ГГц. Соответствующие пределы обнаружения на уровне 10σ составили 0.49, 1.0, 0.67, 0.5, 0.33, 0.28, 0.25, 0.47 и 0.82 Ян для широт $|b| > 30^\circ$. Каталог включает звезды с пылевыми оболочками, радиогалактики, блазары, яркие инфракрасные галактики, холодные молекулярные облака, особенности галактической межзвездной среды, кандидаты в скопления с эффектом Зельдовича-Сюняева и неклассифицируемые источники.

Для анализа распределения источников мы проводим их подсчеты в областях диаметром 30° с центрами в горячих и холодных пятнах гармоник корреляционных карт.

При вычислении карты мозаичных корреляций [16, 17] (назовем ее \mathbf{M}_c) между сигналом ILC $\Delta T(\theta, \phi)$ и картами положений источников каталогов FSC и Planck $\Delta S(\theta, \phi)$ на сфере каждому пикселу (назовем его M-пикселом) с номером p ($p = 1, 2, \dots, N_0$, где N_0 — полное число пикселов на сфере) присваивается значение корреляционного коэффициента. Этот коэффициент вычисляется корреляцией данных в области неба, стягиваемой M-пикселом карты \mathbf{M}_c , из соответствующих площадок карт ΔT и ΔS . Т.е. коэффициент рассчитывается внутри телесного угла Ξ_p , стягиваемого данным M-пикселом. В результате такой процедуры, проведенной на всем небе, строится мозаичная карта \mathbf{M}_c с более низким разрешением, где каждый

M-пиксел отражает уровень корреляции исследуемых карт в заданном угловом размере. Т.е. для двух карт с исходным разрешением, задаваемым ℓ_{\max} , имеем

$$K(\Xi_p | \ell_{\max}) = \left(\sum_{p_{ij} \in \Xi_p} \left(\Delta T(\theta_i, \phi_j) - \overline{\Delta T(\Xi_p)} \right) \left(S(\theta_i, \phi_j) - \overline{S(\Xi_p)} \right) \right) / \sigma_{\Delta T_p} \sigma_{S_p}, \quad (1)$$

где $\Delta T(\theta_i, \phi_j)$ — анизотропия температуры СМВ в пикселе с координатами (θ_i, ϕ_j) , $S(\theta_i, \phi_j)$ — сигнал со второй карты в той же площадке, $\overline{\Delta T(\Xi_p)}$ и $\overline{S(\Xi_p)}$ — средние значения в M-пикселе Ξ_p , полученные из карт с большим разрешением ℓ_{\max} , $\sigma_{\Delta T_p}^2$ и $\sigma_{S_p}^2$ — соответствующие дисперсии. Квадратное окно корреляций Ξ_p задавалось равным $10^\circ \times 10^\circ$. Пример карт корреляций показан на Рис. 4.

При выделении гармоник из карт использовалось разложение вариаций сигнала ΔS по мультиполям в полярной системе координат (θ, ϕ) :

$$\Delta S(\theta, \phi) = \sum_{\ell=1}^{\infty} \sum_{m=-\ell}^{m=\ell} a_{\ell m} Y_{\ell m}(\theta, \phi), \quad (2)$$

где $Y_{\ell m}(\theta, \phi)$ — сферическая гармоника (мультиполь) с номером ℓ , и m — номер моды мультиполя. Угловой спектр мощности карты вычисляется с использованием коэффициентов $a_{\ell m}$ при сферических гармониках как

$$C(\ell) = \frac{1}{2\ell + 1} \left[|a_{\ell 0}|^2 + 2 \sum_{m=1}^{\ell} |a_{\ell m}|^2 \right]. \quad (3)$$

Уровень доверительных интервалов вычисляется моделированием методом Монте-Карло для стандартной космологической модели ΛCDM .

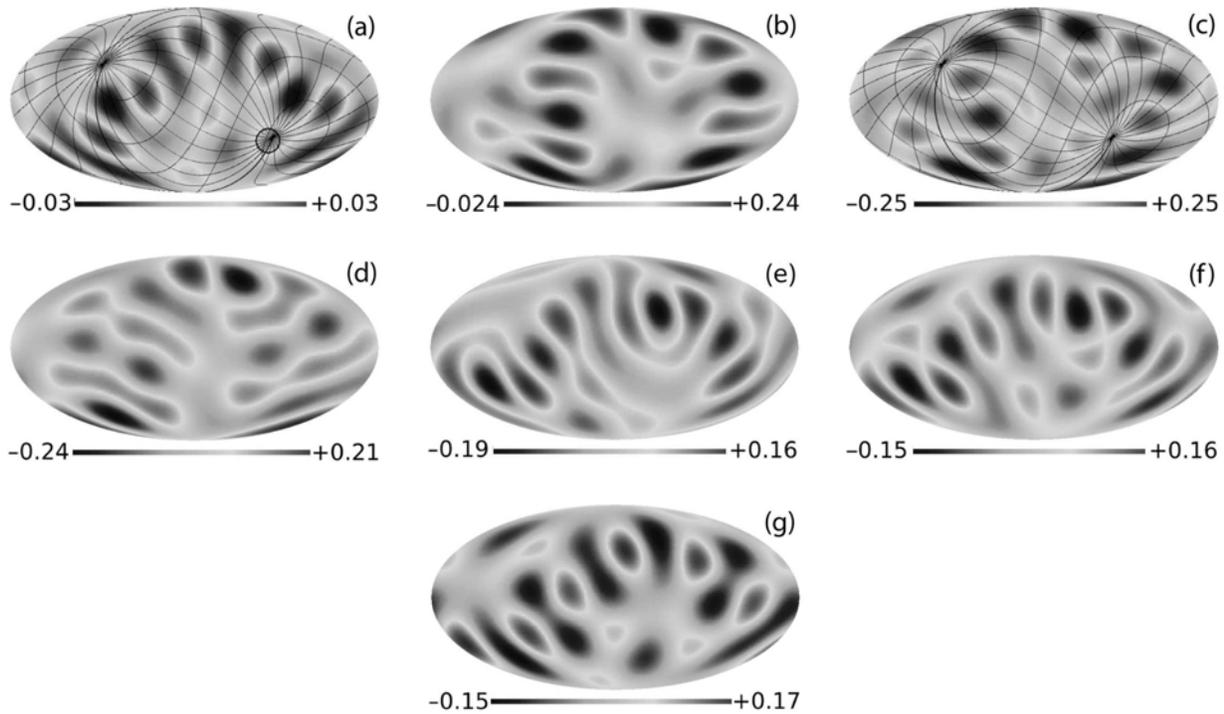


Рис. 5. 6-й мультиполь карты ILC (a) и карт корреляций: FSC IRAS vs ILC для длин волн $12 \mu\text{m}$ (b), $25 \mu\text{m}$ (c), $60 \mu\text{m}$ (d); положений источников Planck и ILC для частот 217 ГГц (e), 353 ГГц (f) и 545 ГГц (g). Изображения построены в галактической системе координат. На карты (a) и (c) нанесена сетка эклиптической системы координат. Черной окружностью на карте ILC (a) отмечено пятно, совпадающее с положением Большого Магелланова Облака ($b = 280^\circ.421$, $l = -32^\circ.932$) размером $10^\circ.75 \times 9^\circ.17$.

Таблица 1. Фазы ψ_{6m} мод мультиполя $\ell = 6$ (в радианах) для данных карты ILC и карт корреляции сигнала ILC с положением объектов FSC IRAS на длинах волн (12, 25 и $60 \mu\text{m}$) и с положением объектов Planck на частотах (217, 353 и 545 ГГц). В первом столбце приведены названия карт (\mathbf{M}_c — карта корреляций). В последнем столбце приведены величины средних углов (в радианах) 6-го мультиполя исследуемых карт, согласно уравнению (5)

Карта	ψ_{61}	ψ_{62}	ψ_{63}	ψ_{64}	ψ_{65}	ψ_{66}	Θ
ILC	1.167	5.894	3.250	6.243	3.801	1.209	0.677
$\mathbf{M}_c(\text{FSC}, 60 \mu\text{m})$	2.674	5.578	3.364	0.656	5.166	4.433	4.662
$\mathbf{M}_c(\text{FSC}, 25 \mu\text{m})$	2.249	5.480	3.321	3.073	0.086	5.100	4.167
$\mathbf{M}_c(\text{FSC}, 12 \mu\text{m})$	2.238	5.908	3.376	2.385	6.235	4.528	3.410
$\mathbf{M}_c(\text{Planck}, 217 \text{ ГГц})$	2.332	1.196	3.674	0.356	4.170	1.767	2.105
$\mathbf{M}_c(\text{Planck}, 353 \text{ ГГц})$	1.541	0.883	4.684	0.211	4.319	1.447	0.660
$\mathbf{M}_c(\text{Planck}, 545 \text{ ГГц})$	6.072	5.005	3.698	0.256	4.679	1.615	5.449

2.1. Корреляционный мультиполь $\ell = 6$

Особенности мультиполя $\ell = 6$, выделенного на корреляционных картах (Рис. 2): его положение и амплитуда, проявляются, как в самой карте ILC, так и в корреляциях сигнала ILC с положениями источников каталогов FSC и Planck (Рис. 5).

Несмотря на различие карт 6-го мультиполя,

все они имеют схожую структуру: мощная гармоника начинается в южном левом галактическом квадранте ($b < 0^\circ$, $0^\circ < l < 180^\circ$), поднимается в северное полушарие и спускается в южный правый квадрант ($b < 0^\circ$, $180^\circ < l < 360^\circ$). Некоторые фазовые характеристики этих гармоник оказываются также близкими. Мы рассчитали фазы $\psi_{\ell m}$, используя

комплексное представление $a_{\ell m} = |a_{\ell m}| \exp(i\psi_{\ell m})$, а также нашли средний угол мультиполя, используя тригонометрические моменты [18]:

$$\begin{aligned} \mathbf{Si}(\ell) &= \frac{1}{2\ell + 1} \sum_{m=-\ell}^{\ell} \sin \phi_{\ell, m}, \\ \mathbf{Ci}(\ell) &= \frac{1}{2\ell + 1} \sum_{m=-\ell}^{\ell} \cos \phi_{\ell, m}. \end{aligned} \quad (4)$$

и рассчитав средний угол для заданного мультиполя ℓ как арктангенс отношения средних значений синуса и косинуса для мультиполя:

$$\Theta(\ell) = \arctan \left(\frac{\mathbf{Si}(\ell)}{\mathbf{Ci}(\ell)} \right). \quad (5)$$

Они приведены в Таблице 1.

Как видно из этой таблицы, схожие структуры на картах разных корреляций объясняются близкими значениями фаз ψ_{6m} у мод 6-го мультиполя, особенно заметными для 2-ой, 3-ей и 4-ой мод (см. соответствующие столбцы). Это говорит, в частности, о том, что структура гармоники $\ell = 6$ может быть связана не с первичными возмущениями плотности, а со свойствами распределения плотности радиисточников на небе. Проявление ее в корреляционных картах работает в пользу этого заключения.

Для исследования одной из возможных причин расположения экстремумов 6-го мультиполя ILC мы провели подсчеты источников в районе пятен и приводим результаты в Таблице 2. Особенности мультиполя $\ell = 6$ ILC являются: (1) попадание пятна No. 6 точно на положение Большого Магелланова облака; (2) практически симметричное положение пятен No. 6, 8, 18 и 19 относительно плоскости и центра Галактики (Рис. 6 и 7).

Эффект симметрии усиливается также превышением более чем в полтора раза числа источников в пятнах No. 6 (что и ожидается для БМО), 18 и 19 из каталога Planck, и в пятнах 6 и 18 из каталога FSC IRAS. Кроме того, эффект структуры мультиполя $\ell = 6$ может быть усилен из-за того, что южный эклиптический полюс (галактические координаты: $l = 97^\circ 742$, $b = -60^\circ 181$) находится недалеко от БМО. Данные каталога NVSS не показывают больших отклонений от среднего, что соответствует исследованиям статистики корреляций ILC и NVSS [19], а обзор FIRST покрывает лишь небольшую часть сферы.

Таблица 2. Количество объектов, обнаруживаемых в горячих и холодных пятнах 6-го мультиполя ILC, из каталогов FIRST, NVSS, Planck и FSC IRAS. Номера пятен, соответствующих Рис. 6, приведены в первом столбце. Символ рядом с номером пятна является характеристикой экстремума: h — максимум, с — минимум. Во втором столбце даны галактические координаты центров пятен. Пятна No. 10, 11, 12, 13 и 14 пропущены, так как находятся в плоскости Галактики и в анализе не участвовали. Шестое пятно совпадает с положением Большого Магелланова Облака (размер галактики БМО $10^\circ 75' \times 9^\circ 17'$). Отметка “-” около числа источников в колонке FIRST показывает, что подсчет источников неполный из-за неполноты обзора. Знак “-” в столбце означает отсутствие данных в обзоре (зона вне наблюдений)

No.	l , deg	b , deg	FIRST	NVSS	Planck	IRAS
1h	8.911	-65.614	-	4061	38	225
2c	121.288	-60.294	2854-	4599	26	185
3h	178.218	-49.654	3464-	4401	41	354
4c	224.655	-42.561	-	3897	29	354
5c	320.879	-40.788	-	-	24	467
6h	276.238	-33.694	-	-	421	918
7c	42.772	-31.921	930-	4094	71	334
8h	98.020	-31.921	-	4148	71	307
9c	199.604	-19.507	-	4335	113	391
15c	165.743	+10.640	-	4359	67	526
16c	19.604	+19.507	7036	4292	62	336
17h	222.772	+31.921	-	3905	26	341
18h	278.020	+31.921	1695-	4110	104	589
19c	96.238	+33.694	-	4160	146	373
20c	140.792	+40.788	7046	4131	35	381
21h	44.554	+42.561	6784	4202	25	371
22c	358.218	+49.654	6516	4075	75	206
23h	301.188	+60.294	7124	3981	22	328

2.2. Корреляционный мультиполь $\ell = 3$

Октуполь (гармоника $\ell = 3$) карты корреляций сигнала ILC с положениями источников Planck (см. Рис. 3) является доминирующей по амплитуде гармоникой для данных Planck на частотах 30, 44, 100, 143, 217 ГГц (Рис. 8) с превышением уровня разброса 3σ , получаемого при моделировании гауссова сигнала СМВ. Гармоника начинается в

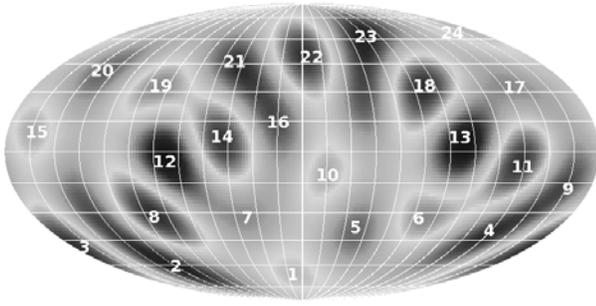


Рис. 6. Номера исследуемых зон (горячих и холодных пятен) для 6-го мультиполя карты WMAP ILC. На карту наложена галактическая координатная сетка.

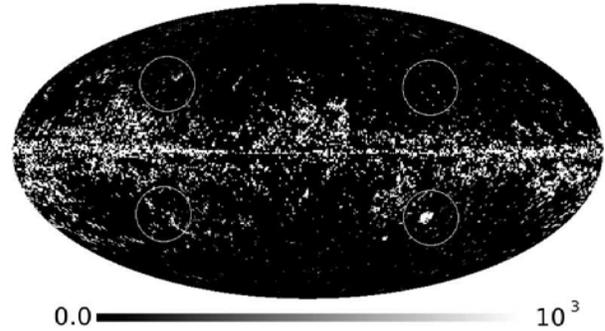


Рис. 7. Симметричные области пятен из 6-го мультиполя WMAP ILC, наложенные на карту с источниками Planck на частоте 353 ГГц.

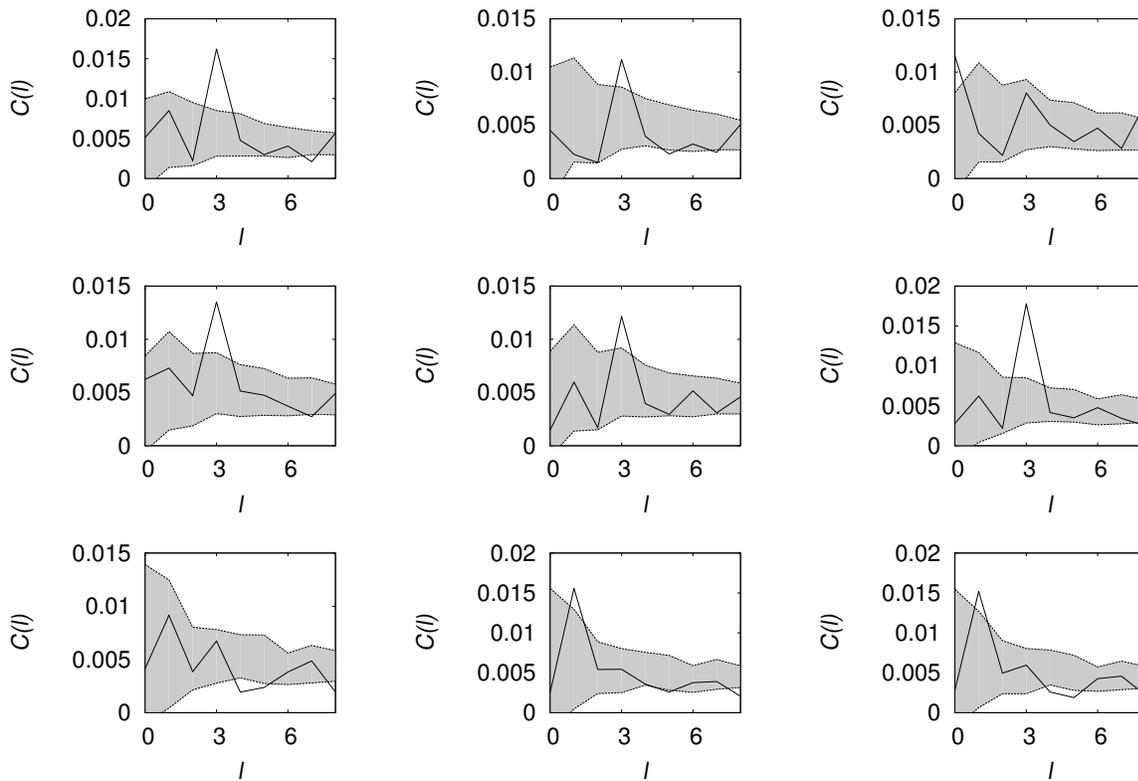


Рис. 8. Слева направо сверху вниз: угловые спектры мощности карт корреляций ILC с картами положений источников Planck на частотах 30, 44, 70, 100, 143, 217, 353, 545 и 847 ГГц. Размер окна корреляций — $10^\circ \times 10^\circ$.

северном левом ($b > 0^\circ$, $0^\circ < l < 180^\circ$) галактическом квадранте, спускается в южную полушару и поднимается в северное полушарие ($b > 0^\circ$, $180^\circ < l < 360^\circ$). Окутуполь перестает быть видимым относительно модельных угловых спектров мощности на частотах 545 и 857 ГГц. Кроме того, на высоких частотах значительно меняются и фазовые характеристики (Рис. 9 и Таблица 3). Также отметим, что на более высоких частотах, как, например, в данных IRAS, такого пика также нет.

В Таблице 3 приведены фазовые характери-

стики корреляционного окутуполя. На частотах 30–353 ГГц фазы мод близки по своим значениям (см. соответствующие столбцы, особенно для мод $m = 2$ и $m = 3$). Также обращает на себя внимание уменьшение среднего угла Θ с ростом частоты (кроме, величины Θ на 217 ГГц) и изменение структуры гармоник, задаваемой положением ярких пятен (пример см. на правой картинке Рис. 9, для которой $\Theta < \pi$).

В Таблице 4 приведены подсчеты источников в областях пятен корреляционного окутуполя, за

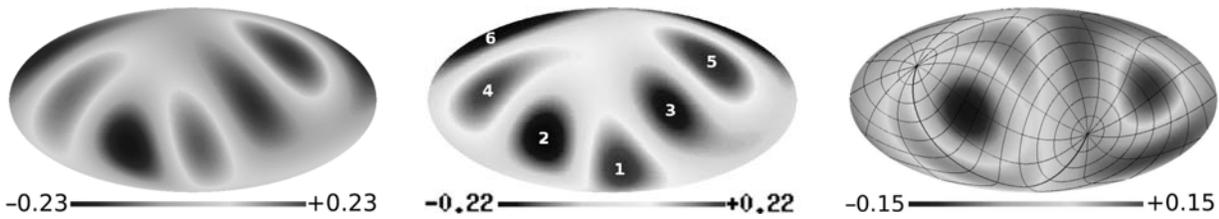


Рис. 9. Мультиполь $\ell = 3$ карт корреляций ILC с картой положений источников Planck на частотах 30 (слева), 217 (в центре) и 847 ГГц (справа) в галактической системе координат. На правую карту наложена сетка экваториальной системы координат. Ее полюса попадают на особые (седловидные) точки.

исключением плоскости Галактики. Отметим, что в южном полушарии ($b < 0^\circ$) пятна содержат больше источников каталогов Planck, чем северные пятна. Вообще, между северной и южной полусферами распределение источников Planck неравномерно: при $b < 0^\circ$ на юге находится 53% объектов из списка на 30 ГГц, 55% на 44 ГГц, 55% на 70 ГГц, 54% на 100 ГГц, 52% на 143 ГГц, 56% на 217 ГГц, 56% на 343 ГГц, 55% на 545 ГГц и 50% на 857 ГГц. Из приведенных цифр видно, что на всех частотах (кроме 857 ГГц), где имеется доминирование южной полусферы по числу источников, наблюдается и пик в спектре мощности.

3. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Мы проанализировали две мощные корреляционные гармоники, обнаруженные в Работе I при корреляции сигнала ILC WMAP с данными субмиллиметрового и инфракрасных диапазонов. Бы-

ли рассчитаны фазы мод мультиполя и проведены подсчеты источников в пятнах гармоник.

Фазовый анализ подтверждает, что гармоника $\ell = 6$ сигнала ILC WMAP имеет схожие свойства с мультиполем $\ell = 6$ в картах корреляций с данными FSC IRAS и Planck. Чувствительность корреляционной гармоники к эклиптической системе координат может быть связана, в частности, с близким положением Большого Магелланова Облака к южному эклиптическому полюсу, а также большим числом субмиллиметровых и ИК-источников, попадающих в экстремумы мультиполя. Мы не исключаем, что часть сигнала в 6-ой гармонике ILC WMAP обусловлена либо этими, либо связанными с ними источниками излучения (например, галактическими облаками, искажающими CMB).

Самая мощная гармоника в изучаемых мозаичных картах, $\ell = 3$ (Рис. 8), при корреляциях с источниками Planck имеет очень близкие фазы мод для всех рабочих частот миссии, кроме 545 и 847 ГГц. Это говорит об общей природе этой

Таблица 3. Фазы мод октуполя $\ell = 3$ (в радианах) карт корреляции сигнала ILC с положением источников каталога Planck. В первом столбце приведены частоты миссии Planck. В последнем столбце приведены величины (в радианах) средних углов (см. уравнение 5) октуполя исследуемых карт

ν , ГГц	ψ_{31}	ψ_{32}	ψ_{33}	Θ
30	4.461	3.611	2.876	3.644
44	3.892	3.631	3.020	3.518
70	4.780	3.222	2.763	3.506
100	3.684	3.628	2.676	3.342
143	3.537	3.560	2.730	3.283
217	3.736	3.541	2.803	3.367
353	2.955	3.784	2.843	3.185
545	1.825	4.718	2.754	2.855
857	2.191	5.179	1.884	2.037

Таблица 4. Количество объектов, обнаруживаемых в горячих и холодных пятнах 3-го мультиполя карты корреляций сигнала ILC с картой положений объектов Planck на частоте 217 ГГц. Номера пятен, соответствующих пронумерованным областям на Рис. 9 (средняя карта), приведены в первом столбце. Символ у номера пятна является характеристикой экстремума: h — максимум, c — минимум. Во втором столбце даны галактические координаты центров пятен. Пятна No. 3 и 4 пропущены, так как находятся в плоскости Галактики и в анализе не участвовали. Знак “—” в столбце означает отсутствие данных в обзоре (зона вне наблюдений)

No.	l , deg	b , deg	NVSS	Planck	IRAS
1h	347.525	-58.521	—	37	330
2c	73.069	-30.147	4004	91	142
5h	253.069	+30.147	3907	16	242
6c	167.525	+58.521	4232	26	314

гармоники на разных частотах. Как уже отмечалось в Работе I, октуполь карты корреляций данных Planck vs ILC имеет сходство (положение, форму и направление) с Магеллановым Поток, наблюдающимся в линии 21 см и протянувшимся на сфере примерно на 200° [20]. Для проверки этой версии нужно исследовать корреляции ILC с распределением газовых облаков, что предполагается в дальнейшем при наличии соответствующих данных. По результатам этой работы можно сказать, что в южные пятна октуполя попадает большее число объектов, чем в северные. Формирующие гармонику источники имеют, скорее всего, внегалактическое происхождение, т.к. в каталогах на частотах 30 и 44 ГГц находятся в основном внегалактические объекты.

Дополнительный анализ обнаруженных корреляционных свойств СМВ с положением объектов будет сделан после опубликования карт СМВ миссии Planck.

БЛАГОДАРНОСТИ

В данной работе авторы использовали базу данных CATS (<http://cats.sao.ru>) [11, 21], систему обработки радиоастрономических данных FADPS (http://sed.sao.ru/~vo/fadps_e.html) [22, 23] и пакет GLESP (<http://www.glesp.nbi.dk>) [24, 25] для анализа данных на сфере. О. В. Верходанов также благодарит за поддержку Фонд Дмитрия Зимина “Династия”.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. O. V. Verkhodanov, Ya. V. Naiden, *Astrophysical Bulletin* **67**, 1 (2012).
2. C. L. Bennett, M. Halpern, G. Hinshaw, et al., *Astrophys. J. Suppl.* **148**, 1 (2003).
3. G. Hinshaw, D. N. Spergel, L. Verde, et al., *Astrophys. J. Suppl.* **170**, 288 (2007).
4. G. Hinshaw, J. L. Weiland, R. S. Hill, et al., *Astrophys. J. Suppl.* **180**, 225 (2009).
5. N. Jarosik, C. L. Bennett, J. Dunkley, et al., *Astrophys. J. Suppl.* **192**, 14 (2011).
6. C. A. Beichman, G. Neugebauer, H. J. Habing, et al., *Infrared astronomical satellite (IRAS) catalogs and atlases, IRAS Faint source catalog* (1988).
7. C. A. Beichman, G. Neugebauer, H. J. Habing, et al., *Infrared astronomical satellite (IRAS) catalogs and atlases, Vol. 1: Explanatory supplement* (1988).
8. 2MASS team, *2MASS Second Incremental Data Release Catalogs and Tables* (2002).
9. R. M. Cutri, M. F. Skrutskie, S. Van Dyk, et al., *Explanatory Supplement to the 2MASS Second Incremental Data Release* (2002); <http://www.ipac.caltech.edu/2mass>.
10. Planck Collaboration: P. A. R. Ade, N. Aghanim, M. Arnaud, et al., *Astronom. and Astrophys.* **536**, A7 (2011).
11. O. V. Verkhodanov, S. A. Trushkin, H. Andernach, and V. N. Chernenkov, *Bull. Spec. Astrophys. Obs.* **58**, 118 (2005).
12. O. V. Verkhodanov, S. A. Trushkin, H. Andernach, and V. N. Chernenkov, *Data Science Journal* **8**, 34 (2009).
13. A. G. Doroshkevich, P. D. Naselsky, O. V. Verkhodanov, et al., *Intern. J. Mod. Phys.* **14**, 275 (2003).
14. J. J. Condon, W. D. Cotton, E. W. Greisen, et al., *Astronom. J.* **115**, 1693 (1998).
15. R. L. White, R. H. Becker, D. J. Helfand, and M. D. Gregg, *Astrophys. J.* **475**, 479 (1997).
16. O. V. Verkhodanov, M. L. Khabibullina, and E. K. Majorova, *Astrophysical Bulletin* **64**, 263 (2009).
17. O. V. Verkhodanov and M. L. Khabibullina, *Astrophysical Bulletin* **65**, 390 (2010).
18. M. Hansen, A. M. Frejsel, J. Kim, et al., *Phys. Rev. D* **83**, 103508 (2011).
19. O. V. Verkhodanov, M. L. Khabibullina, E. K. Majorova, and Yu. N. Parijskij, *Astrophysical Bulletin* **63**, 366 (2008).
20. D. L. Nidever, S. R. Majewski, B. W. Butler, and L. Nigra, *Astrophys. J.* **723**, 1618 (2010).
21. O. V. Verkhodanov, S. A. Trushkin, H. Andernach, and V. N. Chernenkov, *ASP Conf. Ser.* **322**, 46 (1997).
22. O. V. Verkhodanov, *ASP Conf. Ser.* **125**, 46 (1997).
23. O. V. Verkhodanov, B. L. Erukhimov, M. L. Monosov, et al., *Bull. Spec. Astrophys. Obs.* **36**, 132 (1993).
24. O. V. Verkhodanov, A. G. Doroshkevich, P. D. Naselsky, et al., *Bull. Spec. Astrophys. Obs.* **58**, 40 (2005).
25. A. G. Doroshkevich, O. B. Verkhodanov, P. D. Naselsky, et al., *Intern. J. Mod. Phys.* **20**, 1053 (2011).

On Two Low Harmonics of CMB Correlation Maps

O.V. Verkhodanov, T.V. Keshelava, Ya.V. Naiden

We have analyzed two powerful correlation harmonics ($\ell = 3$ and $\ell = 6$) found in the correlation of the ILC WMAP signal with the submillimeter and infrared range data from the FSC IRAS and Planck catalogs. The mode phases of these multipoles were computed. In the spots we have found in the harmonics, the source counts were made from the NVSS, FIRST, FSC IRAS and Planck surveys. The correlation harmonic phases are close at different observational frequencies both for $\ell = 3$ and $\ell = 6$. We do not exclude that a part of the weak signal in the ILC WMAP data, manifested in the strong correlation properties of the investigated multipoles may be due to extragalactic radiation sources.

Keywords: *cosmology: cosmic background radiation*