

УДК 524.827-17

## МОЗАИЧНОЕ КАРТОГРАФИРОВАНИЕ КОРРЕЛЯЦИЙ ФОНОВЫХ ИЗЛУЧЕНИЙ И РАСПРЕДЕЛЕНИЙ ИСТОЧНИКОВ

© 2009 О. В. Верховданов\*, М. Л. Хабибуллина, Е. К. Майорова

*Специальная астрофизическая обсерватория, Нижний Архыз, 369167 Россия*

Поступила в редакцию 13 октября 2008 г.; принята в печать 1 декабря 2008 г.

Предлагается метод картографирования корреляций на полной сфере, позволяющий проверять качество восстанавливаемых карт, их негауссовость и проводить исследования в разных диапазонах длин волн. Метод апробирован на данных WMAP (как восстановленной карты, так и фоновых компонент), а также на данных обзора NVSS. Обнаружено значительное смещение в корреляционных данных пылевой компоненты, что может быть обусловлено более сложной моделью пыли, чем используемая в настоящее время при разделении компонент. При исследовании корреляционных данных обзора NVSS продемонстрировано, что статистика совпадающих пятен в микроволновом фоне и обзоре NVSS соответствует ожидаемой в  $\Lambda$ CDM-модели, что может свидетельствовать о случайном совпадении пятен в данных NVSS и WMAP в области Холодного Пятна. Метод реализован в пакете GLESP.

Ключевые слова: *радиоисточники*

### 1. ВВЕДЕНИЕ

Полные обзоры небесной сферы в различных диапазонах длин волн привели к бурному развитию исследований глобальных свойств окружающего мира. Среди них и определение космологических параметров Вселенной в раннюю эпоху, и проблемы формирования крупномасштабной структуры Вселенной, и феномен темной энергии. Революционным шагом в современной космологии стали наблюдения космического микроволнового фонового излучения (СМВ — Cosmic Microwave Background) с помощью спутника WMAP<sup>1</sup> (Wilkinson Microwave Anisotropy Probe) [1–3], проведенные в пяти полосах: 23 ГГц (полоса K), 33 ГГц (полоса Ka), 41 ГГц (полоса Q), 61 ГГц (полоса V) и 94 ГГц (полоса W) с измерением интенсивности и поляризации. В результате анализа данных получены карты анизотропии и поляризации СМВ, фоновых компонент (синхротронного и свободно-свободного излучения, излучений пыли), а также рассчитаны их спектры мощности. Для не очень высоких гармоник ( $\ell < 100$ ) приведена карта распределения анизотропии СМВ, восстановленная из многочастотных наблюдений методом внутренней линейной комбинации (ILC — Internal Linear Combination) фоновых компонент [1].

Кроме данных микроволнового фона, в современных исследованиях на полной сфере активно используются карты обзоров в инфракрасном (ИК) [4], радио [5] и оптическом [6] диапазонах длин волн. С помощью корреляции СМВ и радиоизлучения исследуется как вклад радиоисточников в общий фон [7, 8], так и корреляционные свойства распределения радиоисточников и СМВ, проявляющиеся на больших масштабах ( $\theta > 2^\circ$ ), такие как эффект Сакса-Вольфа [9], и на малых масштабах (в основном,  $\theta < 4'$ ) [10], такие как эффект Сюняева-Зельдовича. Корреляции ИК и оптических обзоров (особенно с известными красными смещениями) с данными СМВ позволяют изучить формирование крупномасштабной структуры.

Другим важным направлением приложения корреляционных методов является исследование качества карт микроволнового фона и уровня их очистки от других типов излучения. Так, наличие корреляции СМВ и фоновых компонент [11, 12], вносимых Галактикой, говорит об оставшемся вкладе мешающего излучения в процедуру разделения компонент. Кроме того, присутствие коррелированных компонент в ряде диапазонов мультиполей приводит к изменению статистики сигнала СМВ, проявляющейся как негауссовость [13]. Это, в свою очередь, осложняет анализ карт исследуемого сигнала и их спектра мощности. Исследованию статистических свойств сигнала в карте ILC и обсуждению ее негауссовости было

\*E-mail: vo@sao.ru

<sup>1</sup><http://lambda.gsfc.nasa.gov>

посвящено достаточно много работ, проведенных различными методами, такими как фазовый анализ [12–14], максвеловские мультипольные вектора [15], вейвлеты [16–18], функционалы Минковского [19, 20]. Корреляционная методика в исследовании негауссовости позволяет выделить негауссовость определенного вида, например, обусловленную систематикой при анализе данных.

В данной статье мы обобщаем подход построения корреляций карт на различных угловых масштабах, описанный ранее в [21, 22]. Мы предлагаем метод мозаичного картографирования и визуализации корреляций карт на полной сфере для различных угловых масштабов поиска корреляций. Мы используем этот подход при построении и исследовании карт корреляций ILC и фоновых компонент WMAP5 (данные WMAP пятого года наблюдений) [2], а также ILC и радиисточников NVSS (NRAO VLA Sky Survey) [5].

## 2. МЕТОД КАРТОГРАФИРОВАНИЯ КОРРЕЛЯЦИЙ

Корреляция двух карт на сфере описывается корреляционным коэффициентом для мультиполя  $\ell$  как

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

где  $t_{\ell m}$  и  $s_{\ell m}$  — это вариации температуры СМВ и некоторого сигнала в гармоническом представлении, \* — знак сопряжения,  $\ell$  и  $m$  — номера сферической гармоники (мультиполя) и его моды в гармоническом разложении сигнала на сфере:

$$S(\theta, \phi) =$$

$$\sum_{\ell}^{\ell_{max}} \sum_{m=1}^{\ell} (a_{\ell, m} Y_{\ell, m}(\theta, \phi) + a_{\ell, -m} Y_{\ell, -m}(\theta, \phi)), \quad (2)$$

где  $Y_{\ell, m}$  — сферические функции,  $(\theta, \phi)$  — полярные координаты,  $a_{\ell, m}$  — коэффициенты при сферических гармониках, удовлетворяющие соотношению:

$$Y_{\ell, -m}(\theta, \phi) = (-1)^m Y_{\ell, m}^*(\theta, \phi),$$

$$a_{\ell, m} = (-1)^m a_{\ell, -m}^*. \quad (3)$$

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

усреднении по сфере внутри одной гармоники. В этом случае выделить коррелированные области уже практически не удается.

Мы предлагаем подход, реализованный в рамках пакета GLESP [23, 24], который позволяет обнаружить корреляции на исследуемых площадках определенного углового размера для карт, пикселизованных с более высоким разрешением. Метод реализован в пиксельном параметрическом пространстве. Картографирование корреляций состоит в присвоении пикселу с номером  $p$  результата корреляции внутри телесного угла  $\Xi_p$ , вычисляемой для двух карт, имеющих более высокое разрешение. В результате мы получаем новую карту, в которой значение в каждом пикселе отражает уровень корреляции исследуемых карт в данной площадке.

Коэффициент корреляции анизотропии температуры СМВ и некоторого сигнала для каждого пиксела  $p$  ( $p = 1, 2, \dots, N_0$ , где  $N_0$  — полное число пикселов на сфере), стягивающего телесный угол  $\Xi_p$  и вычисляемый для карт на сфере с исходным разрешением, определяемым  $\ell_{max}$  (далее везде для исходных карт взято значение  $\ell_{max} = 150$ ), есть

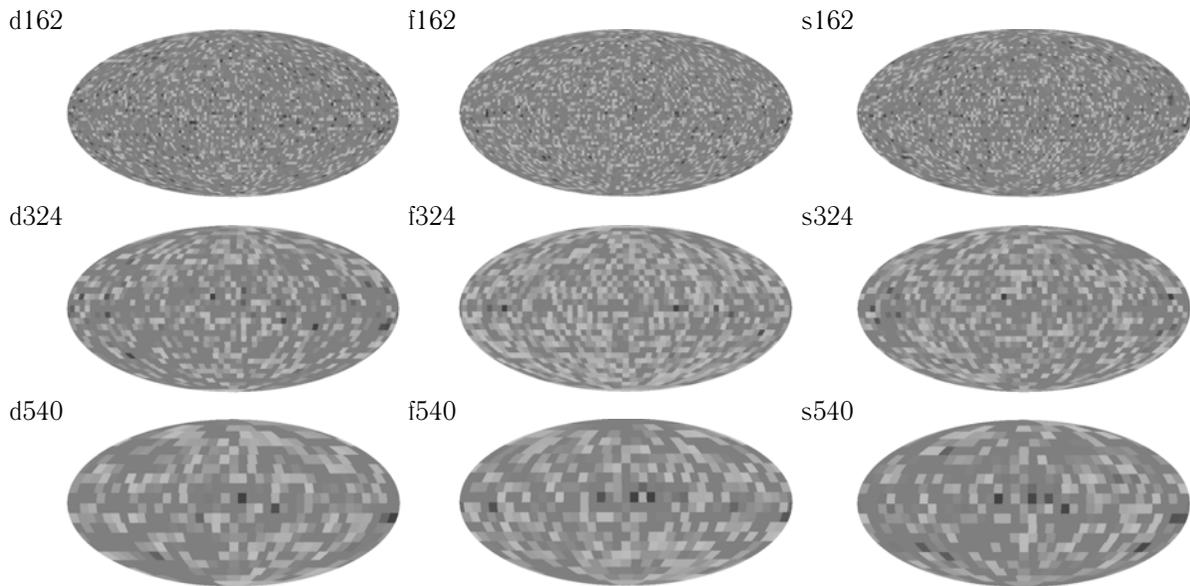
$$K(\Xi_p | \ell_{max}) = \frac{\sum_{p_{ij} \in \Xi_p} (\Delta T(\theta_i, \phi_j) - \overline{\Delta T(\Xi_p)})(S(\theta_i, \phi_j) - \overline{S(\Xi_p)})}{\sigma_{\Delta T_p} \sigma_{S_p}}, \quad (4)$$

где  $\Delta T(\theta_i, \phi_j)$  — величина анизотропии температуры СМВ в пикселе с координатами  $(\theta_i, \phi_j)$  для заданного разрешения пикселизации сферы,  $S(\theta_i, \phi_j)$  — величина другого сигнала в той же площадке,  $\overline{\Delta T(\Xi_p)}$  и  $\overline{S(\Xi_p)}$  — средние значения в площадке  $\Xi_p$ , полученные по данным карт с более высоким разрешением, задаваемым  $\ell_{max}$ ,  $\sigma_{\Delta T_p}$  и  $\sigma_{S_p}$  — соответствующие стандарты на этой площадке.

## 3. КАРТЫ КОРРЕЛЯЦИЙ ILC WMAP5 И ФОНОВЫХ КОМПОНЕНТ

Одно из приложений данного подхода — проверка качества очистки сигнала СМВ, выделяемого из многочастотных наблюдений. Наличие остаточного (коррелированного) сигнала в данных СМВ может привести к смещению оценки (байесу) мощности в ряде диапазонов мультиполей [25], что, в свою очередь, ведет к понижению точности определения космологических параметров.

Используя данные WMAP: карту синхротронного излучения в полосе К, свободно-свободного излучения в полосе V, излучения пыли в полосе W и, наконец, карту ILC, мы построили карты корреляции фонов и ILC на различных угловых масштабах.



**Рис. 1.** Корреляционные карты ILC и галактических фонов: пыли, свободно-свободного и синхротронного излучений (слева направо), для различных корреляционных окон: 162', 324' и 540' (сверху вниз). Тон пикселей отражает величину корреляционных коэффициентов от  $-1.0$  до  $1.0$ . Более светлый тон соответствует меньшему абсолютному значению коэффициента корреляции.

Как было ранее показано в ряде работ, посвященных анализу карты ILC и изучению статистики сигнала в ней [11–13], имеются серьезные аргументы, говорящие о том, что в данной карте на различных угловых масштабах присутствует остаточный вклад фоновых компонент, который, в частности, и дает обнаруживаемую негауссовость. Этот вклад может проявляться также в обнаруженной ранее связи в квадруполе между очищенной картой микроволнового фона и галактическими компонентами излучения [25–27]. Согласно работам команды WMAP [1, 2], карта ILC не предназначена для исследования СМВ на высоких мультиполях, но может быть применена для анализа фоновых компонент. Ее мы и используем для анализа свойств фона.

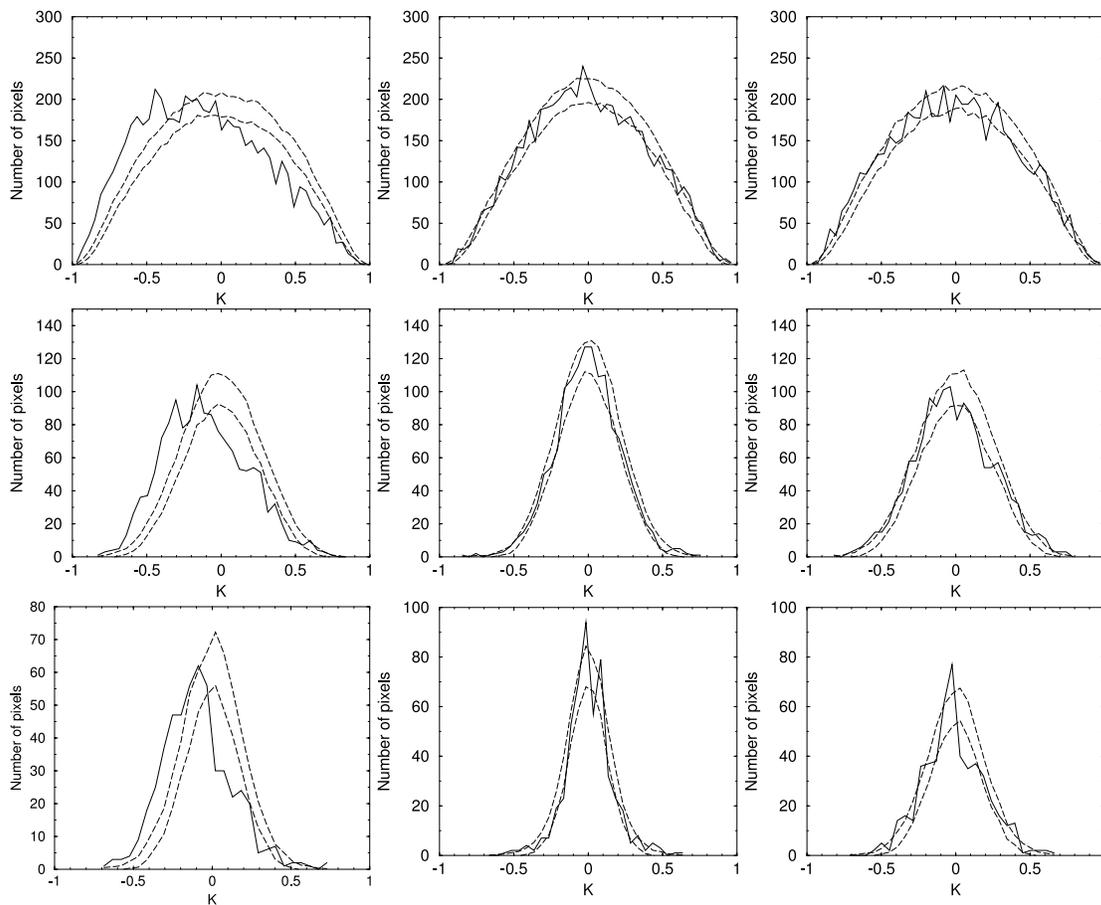
В предыдущей работе [21], используя одномерные сечения, мы применили подход поиска корреляций карт фоновых излучений миссии WMAP и установили, в частности, что в сечениях карт WMAP на склонении  $\delta = 41^\circ$  присутствует сигнал, коррелированный и антикоррелированный с данными разделяемых компонент. Кроме того, на угловых масштабах, характерных для плоскости Галактики ( $\ell=10-20$ ), обнаружены значимые (по сравнению с модельными картами) корреляции с галактическими компонентами фона, которые могут быть следствием проявления остаточных невязок при выделении сигнала.

В данной работе мы построили карты корреляций ILC и фоновых компонент WMAP5 на полной сфере. Кроме того, мы оценили статистическую

значимость выделенных коррелированных площадок методом Монте-Карло, сравнив их с картами случайных гауссовых полей, сгенерированных на полной небесной сфере для космологической модели  $\Lambda$ CDM [3]. Результат картографирования корреляций карт фонов и ILC приведены на Рис. 1 для окон корреляции со сторонами 162', 324', 540' (соответственно  $\ell_{max1} = 33, 16$  и  $10$ ) для трех фоновых компонент. Размеры окон выбирались таким образом, чтобы попасть в диапазон угловых масштабов влияния Галактики ( $\ell=10-20$ ), а также возможного эффекта Сакса-Вольфа ( $\ell \leq 45$ ).

На картах Рис.1 явно прослеживается плоскость Галактики. Важным показателем является статистика величины корреляции в каждом пикселе. Мы построили гистограммы для всех приведенных карт и сравнили их с аналогичными результатами для модельных карт. Модельные карты генерировались в предположении, что данные СМВ есть результат случайного гауссова процесса с угловым спектром мощности, соответствующим космологической  $\Lambda$ CDM-модели. Всего было построено 50 модельных случайных карт с использованием процедуры 'cl2map' пакета GLESP [23, 24], и с их помощью оценен допустимый интервал, определяемый дисперсией разброса корреляционных значений. Распределение значений пикселей показаны на Рис. 2. Допустимые границы уровня корреляций, построенные по данным моделирования, показаны пунктирными линиями.

У распределений двух фоновых компонент (пыль и синхротрон) наблюдается сдвиг в область



**Рис. 2.** Распределения величин корреляционных индексов в пикселях корреляционных карт ILC и галактических фонов: излучения пыли, свободно-свободного и синхротронного излучений (слева направо), для различных корреляционных окон: 162', 324' и 540' (сверху вниз). Допустимые границы уровня корреляций, построенные по данным моделирования, показаны пунктирными линиями.

антикорреляций. Причем в случае пылевой компоненты сдвиг наблюдается на всех исследуемых масштабах, а для синхротронного излучения — на гистограммах для 324' и 540'. Гистограмма для свободно-свободного излучения показывает распределение в пределах нормы, соответствующее СМВ, как случайному гауссову процессу. Необходимо отметить, что аналогичный сдвиг в распределении был обнаружен для низких мультиполей при анализе метода ILC восстановления сигнала [25, 27] путем генерации модельных карт с последующим смешиванием их с фоновыми компонентами, восстановления сигнала, затем корреляции восстановленных карт и построения распределения корреляционных коэффициентов. В данном подходе оценка распределения состояла лишь из двух шагов: построение карты корреляций и вычисление гистограммы распределения значений в пикселях.

Сдвиг в распределении корреляционных коэффициентов может быть связан с недоучетом используемой моделью распределения пыли в нашей

Галактике, причем избыток в отрицательных величинах коэффициентов говорит в пользу гипотезы, что в соответствующих пикселях коррелированные сигналы СМВ и пыли имеют противоположный знак. Этот факт может быть использован при коррекции вклада пылевой компоненты. В дальнейшем предполагается проведение дополнительных исследований обнаруженного байеса.

#### 4. КАРТЫ КОРРЕЛЯЦИЙ ILC WMAP5 И NVSS

Рассмотрим еще одно приложение корреляционного картографирования. Среди исследований карт СМВ выделяются работы по изучению темной энергии с использованием интегрального эффекта Сакса-Вольфа [9], регистрируемого в работах по корреляциям между картами СМВ и распределением источников NVSS [28, 29].

Обзор NVSS [5] является самым полным обзором Северного неба. Он был проведен с Большой Антенной Решеткой (VLA) на частоте 1.4 ГГц с

1993 по 1996 г.г., имеет высокую чувствительность и покрывает все небо выше склонения  $\delta = -40^\circ$  (33884  $\square^\circ$  или 82% небесной сферы). Обзор активно используется для различных статистических исследований в области космологии. Каталог этого обзора содержит  $1.8 \times 10^6$  источников и, согласно описанию, является полным на 99% до плотностей интегральных потоков более  $S_{1.4\text{ГГц}} = 3.5$  мЯн и полным на 50% до плотностей потоков 2.5 мЯн. Обзор проводился в D-конфигурации радиотелескопа VLA, и размер синтезированной диаграммы направленности на уровне половинной мощности, определяющий разрешение, составил около  $45''$ . Данные обзора NVSS доступны на сайте NRAO<sup>2</sup>, виртуальном телескопе SkyView<sup>3</sup> и в базе данных CATS<sup>4</sup> [30, 31].

По данным WMAP CMB и NVSS были также обнаружены негауссовы особенности, плохо согласующиеся с инфляционной  $\Lambda$ CDM-моделью, такие, например, как Холодное Пятно (далее CS — Cold Spot). Оно имеет размер порядка  $10^\circ$  и галактические координаты ( $l=209^\circ$ ,  $b=-57^\circ$ ). CS, статистически выделяемое в распределении CMB, является одной из особенностей карт, противоречащих гипотезе однородных гауссовых флуктуаций фона. Изначально оно было отмечено как отклонение от гауссовой статистики при применении вейвлет-анализа [16, 18] в данных первого года наблюдений миссии WMAP. Позднее в области CS было обнаружено понижение пространственной плотности радиоисточников в картах NVSS [32], что позволило сделать предположение о существовании гигантского войда размером порядка 140 Мпс, удаленного от нас до  $z < 1$ , вызывающего гравитационную аномалию, которая приводит к интегральному эффекту Сакса-Вольфа [9] и проявляется как CS. В то же время были приведены серьезные аргументы, указывающие, что в данной карте на различных угловых масштабах присутствует остаточный вклад галактических фоновых компонент, который и дает обнаруживаемую негауссовость. Этот вклад может проявляться в обнаруженной ранее связи в квадруполье между очищенной картой микроволнового фона и галактическими компонентами излучения [26, 27] и, кроме того, определять свойства низких мультиполей  $\ell \leq 20$ , приводя к неустойчивому их восстановлению [25, 27]. В частности, влиянием этих мультиполей могут быть объяснены особенности CS: отклонение статистики кластеров пиков вокруг пятна [33], а именно, увеличение числа положительных пиков. Независимое

изучение свойств пятна, обнаруженного в области с близкими координатами на картах и подсчетах радиоисточников в обзоре NVSS [5], показало, что исследуемое Холодное Пятно, гигантские размеры и существование которого трудно объяснить в рамках космологической  $\Lambda$ CDM-модели, может быть простым статистическим отклонением, вызванным систематическими эффектами [34].

Ранее мы провели корреляционный анализ обзоров NVSS и WMAP5, предварительно модифицировав карту NVSS, методом одномерных сечений для различных угловых масштабов [22]. Для построения модифицированной карты NVSS мы использовали характеристику, представляющую собой средний квадрат плотностей потоков источников в площадке заданного размера с центром в пикселе, определяемым выбранной площадкой. В результате мы обнаружили, что статистика корреляций на исследуемых масштабах ( $0.75^\circ$ ,  $3^\circ$ ,  $4.5^\circ$  и  $6.75^\circ$ ) не отличается от ожидаемых случайных карт. Таким образом, можно сделать вывод, что выявленные корреляции могут быть обусловлены статистическим совпадением.

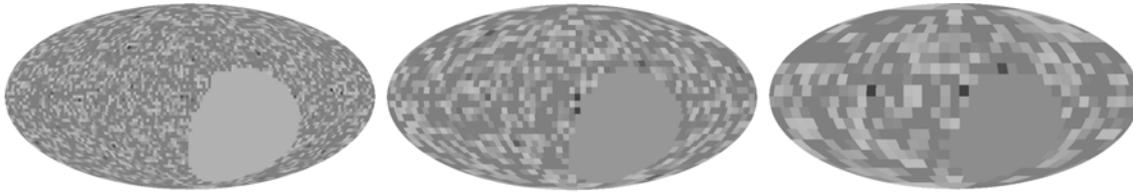
В данной работе проведено картографирование корреляционных свойств на сфере, используя те же данные WMAP5 и NVSS. Результаты показаны на Рис. 3 и 4. При анализе статистики карт (Рис. 4) учитывалось отсутствие данных NVSS в области склонений  $\delta < -40^\circ$ . Карту NVSS мы строили двумя способами: (1) подсчитывая число источников в каждом пикселе и (2) складывая плотности потоков радиоисточников, попадающих в область пиксела. В связи с тем, что корреляционные свойства практически не отличаются (различие меньше 1%), мы весь анализ продемонстрируем для первого случая.

Как видно из Рис. 4, статистика коррелированных величин пикселей находится внутри допустимых случайных отклонений, что подтверждает сделанные ранее оценки [22]. Это говорит о том, что в распределении корреляционных коэффициентов не обнаружен сигнал, имеющий уровень выше  $1\sigma$  на выделенных масштабах, обусловленный, например, взаимодействием с крупномасштабной структурой и темной энергией, проявляющихся через эффект Сакса-Вольфа. С другой стороны, так как распределение коэффициентов соответствует ожидаемым случайным совпадениям для гауссовых возмущений в  $\Lambda$ CDM-модели, можно сделать вывод, что выделенных негауссовых пятен чрезвычайно мало, если они вообще есть. А с учетом того, что само Холодное Пятно может быть результатом локальной модуляции сферических гармоник, возникшей в результате разделения компонент [33], можно заключить, что данный феномен, наблюдаемый одновременно в CMB и NVSS, скорее всего, не является аномалией и может быть систематикой

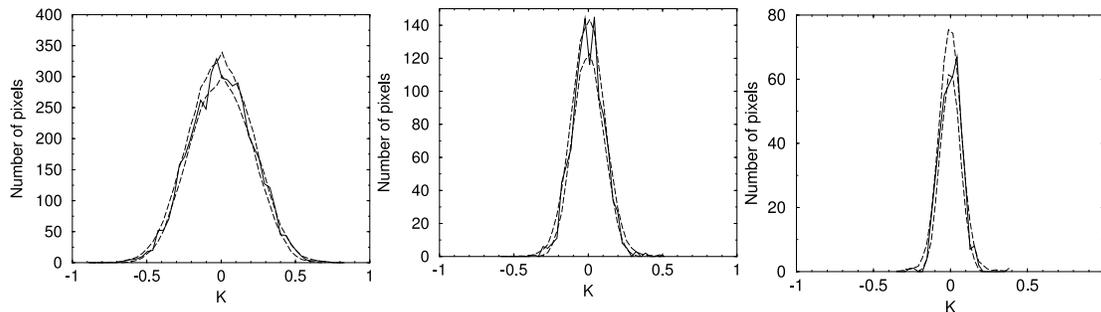
<sup>2</sup><http://www.cv.nrao.edu/nvss/>

<sup>3</sup><http://skyview.gsfc.nasa.gov>

<sup>4</sup><http://cats.sao.ru>



**Рис. 3.** Корреляционные карты ILC и NVSS для различных корреляционных окон: 162', 324' и 540' (справа налево). В нижней правой части каждого рисунка экранирована область, которая не рассматривалась при анализе из-за отсутствия наблюдений NVSS в диапазоне  $\delta < -40^\circ$ .



**Рис. 4.** Распределения величин корреляционных индексов в пикселях корреляционных карт ILC и NVSS для различных корреляционных окон: 162', 324' и 540' (справа налево). Допустимые границы уровня корреляций, построенные по данным моделирования, показаны пунктирными линиями.

(переоценкой фона) при анализе данных WMAP и случайным совпадением со статистически незначимой особенностью распределения NVSS.

## 5. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Мы представили метод картографирования корреляций на сфере для заданного углового масштаба. Метод картографирования корреляций программно реализован в рамках пакета GLESP. Предложенный подход позволяет исследовать на сфере свойства случайного сигнала СМВ, имеющего единственную реализацию, основываясь только на его статистических свойствах, а именно эргодичности, когда по множеству реализаций реликтового излучения в разных областях сферы можно сделать вывод о его реализации во множестве подобных Вселенных и, тем самым, оценить его вероятные значения. Мы продемонстрировали возможности метода для данных WMAP5 (карты ILC и фоновых излучений: синхротронного, свободно-свободного и пыли). Для построенных карт корреляций был обнаружен сдвиг в распределении значений пикселей в сторону антикорреляций для пыли и синхротронного излучения на масштабах 162', 324' и 540'. Это говорит о возможной переоценке вклада этих фонов в методе разделения компонент ILC. Избыток в отрицательных величинах коэффициентов говорит о том, что в соответствующих пикселях коррелированные сигналы СМВ и пыли имеют противоположный

знак. Этот факт может быть использован при коррекции вклада пылевой компоненты. Предполагается дальнейшее исследование этой проблемы.

Описанный подход также применялся при исследовании корреляционных свойств карты СМВ и карты NVSS. В распределении корреляционных коэффициентов не обнаружен дополнительный сигнал уровнем выше  $1\sigma$  над ожидаемым при случайном совпадении гауссовых возмущений в космологической модели  $\Lambda$ CDM. Такое распределение корреляций говорит в пользу того, что Холодное Пятно, проявляющееся одновременно в СМВ и NVSS, может быть результатом случайного совпадения, и для его объяснения нет необходимости привлекать новую физику.

## БЛАГОДАРНОСТИ

Мы выражаем благодарность NASA за возможность использования архива (NASA Legacy Archive), откуда были взяты данные WMAP. Мы также признательны авторам пакета HEALPix<sup>5</sup>, с помощью которого были преобразованы карты WMAP в коэффициенты  $a_{\ell m}$ . В работе использован пакет GLESP<sup>6</sup> [23, 24] для дальнейшего анализа данных СМВ на сфере и система обработки одномерных данных FADPS<sup>7</sup> [36, 37]. Данная работа была поддержана

<sup>5</sup><http://www.eso.org/science/healpix/> [35]

<sup>6</sup><http://www.glesp.nbi.dk>

<sup>7</sup>[http://sed.sao.ru/~vo/fadps\\_e.html](http://sed.sao.ru/~vo/fadps_e.html)

грантом “Ведущие научные школы России” и грантами РФФИ №09-02-00298 и 09-02-92659-ИНД. О.В.В. также благодарит РФФИ за частичную поддержку грантом № 08-02-00159.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. C. L. Bennett, M. Halpern, G. Hinshaw, et al., *Astrophys. J. Supp.* **148**, 1 (2003); astro-ph/0302207.
2. G. Hinshaw, J. L. Weiland, R. S. Hill, et al., *Astrophys. J. Supp.*, submitted, (2008); arXiv:0803.0732.
3. E. Komatsu, J. Dunkley, M. R. Nolta, et al., *Astrophys. J. Supp.*, submitted, (2008); arXiv:0803.0547.
4. M. F. Skrutskie, S. E. Schneider, R. Stiening, et al., in *The Impact of Large Scale Near-IR Sky Surveys*, Ed. by F. Garzon et al. (Kluwer Acad. Publ. Comp., Dordrecht 1997) p.25.
5. J. J. Condon, W. D. Cotton, E. W. Greisen, et al., *Astronom. J.* **115**, 1693 (1998).
6. D. P. Schneider, P. B. Hall, G. T. Richards, et al., *Astronom. J.* **134**, 102 (2007).
7. K. M. Huffenberger, H. K. Eriksen, and F. K. Hansen, *Astrophys. J.* **651L**, 81 (2006); astro-ph/0606538.
8. O. V. Verkhodanov and Yu. N. Parijskij, *Radio galaxies and Cosmology*, (Fiz.Mat.Lit., Moscow 2009) [in Russian] (in press).
9. R. K. Sachs and A. M. Wolfe, *Astrophys. J.* **147**, 73 (1967).
10. R. A. Sunyaev and Ya. B. Zeldovich, *Astrophys. Sp. Sci.* **7**, 3 (1970).
11. P. D. Naselsky, A. G. Doroshkevich, and O. V. Verkhodanov, *Astrophys. J.* **599**, L53 (2003); astro-ph/0310542.
12. P. D. Naselsky, A. G. Doroshkevich, and O. V. Verkhodanov, *Monthly Notices Roy. Astronom. Soc.* **349**, 695 (2004); astro-ph/0310601.
13. L.-Y. Chiang, P. D. Naselsky, O. V. Verkhodanov, and M. J. Way, *Astrophys. J.* **590**, L65 (2003); astro-ph/0303643.
14. P. Coles, P. Dineen, J. Earl, and D. Wright, *Monthly Notices Roy. Astronom. Soc.* **350**, 989 (2004); astro-ph/0310252.
15. C. J. Copi, D. Huterer, and G. D. Starkman, *Phys. Rev. D* **70**, 043515 (2004); astro-ph/0310511.
16. P. Vielva, E. Martinez-Gonzalez, R. B. Barreiro, et al., *Astrophys. J.* **609**, 22 (2004), astro-ph/0310273.
17. P. Mukherjee and Y. Wang, *Astrophys. J.* **613**, 51 (2004).
18. M. Cruz, E. Martinez-Gonzalez, P. Vielva, and L. Cayon, *Monthly Notices Roy. Astronom. Soc.* **356**, 29 (2005).
19. H. K. Eriksen, D. I. Novikov, P. B. Lilje, et al., *Astrophys. J.* **612**, 64 (2004).
20. C.-G. Park, C. Park, and J. R. Gott III, *Astrophys. J.* **660**, 959 (2006); astro-ph/0608129.
21. M. L. Khabibullina, O. V. Verkhodanov, and Yu. N. Parijskij, *Astrophysical Bulletin* **63**, 101 (2008).
22. O. V. Verkhodanov, M. L. Khabibullina, E. K. Majorova, and Yu. N. Parijskij, *Astrophysical Bulletin* **63**, 366 (2008).
23. A. G. Doroshkevich, P. D. Naselsky, O. V. Verkhodanov, et al., *Int. J. Mod. Phys. D* **14**, 275 (2003); astro-ph/0305537.
24. O. V. Verkhodanov, A. G. Doroshkevich, P. D. Naselsky, et al., *Bull. Spec. Astrophys. Obs.* **58**, 40 (2005).
25. P. D. Naselsky, O. V. Verkhodanov, and M. T. B. Nielsen, *Astrophysical Bulletin* **63**, 216 (2008); arXiv:0707.1484.
26. P. D. Naselsky and O. V. Verkhodanov, *Int. J. Mod. Phys. D* **17**, 179 (2008); astro-ph/0609409.
27. P. D. Naselsky and O. V. Verkhodanov, *Astrophysical Bulletin* **62**, 218 (2007).
28. M. R. Nolta, E. L. Wright, L. Page, et al., *Astrophys. J.* **608**, 10 (2004); astro-ph/0305097.
29. J. D. McEwen, P. Vielva, M. P. Hobson, et al., *Monthly Notices Roy. Astronom. Soc.* **376**, 1211 (2007); astro-ph/0602398.
30. O. V. Verkhodanov, S. A. Trushkin, H. Andernach, and V. N. Chernenkov, in *Astronomical Data Analysis Software and Systems VI*, Ed. by G. Hunt and H. E. Payne, ASP Conf. Ser. **322**, 46 (1997).
31. O. V. Verkhodanov, S. A. Trushkin, H. Andernach, and V. N. Chernenkov, *Bull. Spec. Astrophys. Obs.* **58**, 118 (2005); arXiv:0705.2959.
32. L. Rudnick, S. Brown, and L. R. Williams, *Astrophys. J.* **671**, 40 (2007); arXiv:0704.0908.
33. P. D. Naselsky, P. R. Christensen, P. Coles, et al., (2007); arXiv:0712.1118.
34. K. M. Smith and D. Huterer, arXiv:0805.2751
35. K. Górski, E. Hivon, A. J. Banday, B. D. Wandelt, et al., *Astrophys. J.* **622**, 759 (2005).
36. O. V. Verkhodanov, in *Astronomical Data Analysis Software and Systems VI*, Ed. by G. Hunt and H. E. Payne, ASP Conf. Ser., **125**, 46 (1997).
37. O. V. Verkhodanov, B. L. Erukhimov, M. L. Monosov, et al., *Bull. Spec. Astrophys. Obs.* **36**, 132 (1993).

**TESSELLATED MAPPING OF COSMIC BACKGROUND RADIATION CORRELATIONS  
AND SOURCE DISTRIBUTIONS****O.V. Verkhodanov, M.L. Khabibullina, E.K. Majorova**

We offer a method of correlations mapping on the full celestial sphere that allows to check the quality of reconstructed maps, their non-Gaussianity and conduct experiments in various frequency ranges. The method was evaluated on the WMAP data, both on the reconstructed maps and foreground components, and on the NRAO VLA Sky Survey (NVSS) data. We detected a significant shift in the correlation data of the dust component, which can be preconditioned by a more complex dust model than the one currently in use for component separation. While studying the NVSS correlation data, we demonstrated that the statistics of the coinciding spots in the microwave background and in the NVSS survey corresponds to the one expected in the  $\Lambda$ CDM model. This can testify for a chance coincidence of the spots in the NVSS and WMAP data in the CMB Cold Spot region. Our method is software-implemented in the GLESP package.

Key words: *radiosources*