

УДК 524.7

С. Л. Парновский, А. В. Тугай

Научно-исследовательская лаборатория «Астрономическая обсерватория»  
Киевского национального университета имени Тараса Шевченко  
04053 Киев-53, ул. Обсерваторная 3  
E-mail: par@observ.univ.kiev.ua

### Анализ анизотропии ориентаций галактик каталога 2MFGC

*Проанализирована анизотропия ориентации осей галактик каталога 2MFGC, содержащего более 18000 галактик с отношением длин малой и большой осей не более 0.33. Использовался метод анализа анизотропии, предложенный С. Л. Парновским, И. Д. Караченцевым и В. Е. Караченцевой. Для оценки статистической достоверности найденной анизотропии мы использовали метод Монте—Карло. Анизотропия каталога в целом оказалась незначительной, но анизотропия многих его подвыборок является статистически достоверной вплоть до уровня 99 %. Мы проанализировали возможную природу этой анизотропии для того, чтобы определить, является ли она реальной или вызвана ошибками измерения и селекцией данных.*

*АНАЛІЗ АНІЗОТРОПІЇ ОРІЄНТАЦІЙ ГАЛАКТИК КАТАЛОГУ 2MFGC, Парновський С. Л., Тугай А. В. — Проаналізована анізотропія орієнтації осей галактик каталогу 2MFGC, що містить більш ніж 18000 галактик з відношенням довжин малої та великої осей не більше 0.33. Використовувався метод аналізу анізотропії, запропонований С. Л. Парновським, І. Д. Караченцевим та В. Е. Караченцевою. Для оцінки статистичної значущості знайденої анізотропії ми скористалися методом Монте—Карло. Анізотропія каталогу в цілому виявилась несуттєвою, але анізотропія багатьох його підвбірок є статистично достовірною до рівня 99 %. Ми проаналізували можливу природу цієї анізотропії для того, щоб визначити, чи є вона реальною або викликана похибками вимірювання та селекцією даних.*

*ANALYSIS OF ORIENTATION ANISOTROPY OF 2MFGC GALAXIES, Parnovsky S. L., Tugay A. V. — The 2MFGC catalogue of galaxies selected from the 2MASS catalogue lists over 18000 galaxies with axial ratio no more than 0.33. Thus it is a good object for the application of the anisotropy analysis method proposed by S. L. Parnovsky, I. D. Karachentsev, and V. E. Karachentseva. To estimate statistical significance of the derived anisotropy in distribution of galaxy axes directions we used the Monte—Carlo method. The anisotropy of the whole catalogue is insignificant but the anisotropy of many*

*subsamples is statistically significant up to 99 % level. We analysed a possible nature of this anisotropy to determine whether it is real or induced by selection and measurement errors.*

## ВВЕДЕНИЕ

Исследования анизотропии ориентации галактик важны как для изучения крупномасштабной структуры Вселенной, так и для вопросов образования галактик. Они имеют долгую историю, начиная с работ Аббе 1875 г. Их развитие и результаты, полученные до 1994 г., изложены в работе [11]. Современные результаты описаны в работе [4]. На протяжении долгого времени изучение анизотропии ориентации галактик сводилось к статистическому анализу распределения их позиционных углов. Как правило, направление максимума или минимума этого распределения совпадало с небесным меридианом. Складывалось впечатление, что направление анизотропии совпадает с направлением земной оси, что ставило под сомнение реальность анизотропии. Действительно, в процессе измерения позиционных углов и размеров галактик возможны ошибки или неосознанная селекция данных. Как правило, возникающая при этом ложная анизотропия имеет выделенное направление именно вдоль небесного меридиана, поскольку от него отсчитываются позиционные углы галактик. Но в работе С. Л. Парновского и др. [11] было показано, что при произвольном направлении реальной анизотропии (избыток или недостаток в распределении ориентаций осей галактик), экстремумы распределения позиционных углов должны соответствовать углам  $0^\circ$  и  $90^\circ$ .

Там же был предложен новый подход к поиску возможной анизотропии, наиболее хорошо работающий для выборки плоских ориентированных «с ребра» галактик, и введена функция  $F$  положения на небесной сфере, которая в квадрупольном приближении равняется избытку (в процентах) распределения плотности вероятности ориентации осей галактик. Функция  $F$  симметрична относительно начала координат, а ее распределение по небу имеет парные экстремумы в противоположных направлениях. Ее применение показало, что галактики каталогов FGC (Flat galaxies catalogue) [7], UGC (Uppsala general catalogue of galaxies) [10] и ESO (The ESO/Uppsala Survey of the ESO(B) Atlas) [8] имеют подобные статистически достоверные анизотропии ориентаций. По мнению Флина эти направления связаны с ориентацией Местного Сверхскопления [3]. Позже предложенный метод использовался для исследования ориентации двойных галактик [2].

Неожиданной оказалась анизотропия ориентаций не только физических, но и оптических пар. Ее причину вначале искали в эффектах общей теории относительности [1], но затем она была связана с неоднородностями распределения галактик по небу.

В данной работе метод, предложенный С. Л. Парновским и др. [11], применяется для исследования анизотропии ориентаций галактик каталога 2MFGC (2MASS-selected Flat Galaxy Catalog) [9], который содержит данные для 18020 галактик с отношением ИК-размеров в системе 2MASS (Two Micron All-Sky Survey), большим 3. Он очень хорошо подходит для применения именно данного метода, поскольку каталог охватывает всю небесную сферу, содержит много галактик, близких к тонким плоским галактикам, ориентированным «с ребра», для которых этот метод и был построен. Для каждой галактики в каталоге приведены экваториальные координаты, звездные величины в фотометрических ИК-полосах  $J$ ,  $H$  и  $K$ , кроновский радиус  $r$  в угловых секундах (см. ниже), отношение малой и большой осей  $b/a$  и позиционный угол, округленный до ближайшего значения, кратного

5°. Большой объем выборки позволяет использовать ее подвыборки, ограниченные по  $b/a$ , галактики которых еще ближе к плоским, ориентированным «с ребра» галактикам. Использование этих подвыборок желательно еще из-за того, что каталог содержит два значения степени сжатости. Одно отношение  $b/a$  является результатом усреднения соответствующих сжатий для трех полос, второе есть сжатие «суперизображения». Эти два значения  $b/a$  часто сильно разнятся. Критерием включения галактики в каталог 2MFGC является выполнение условия  $b/a \leq 0.33$  для любого из двух сжатий. Второе значение для  $b/a$  может при этом существенно превышать граничное значение 0.33. При рассмотрении подвыборок с ограничением отношения осей  $b/a \leq \xi$  мы включаем в них только галактики, для которых оба сжатия удовлетворяют этому условию. Такие галактики, естественно, лучше подходят на роль плоских, ориентированных «с ребра» галактик и для них более применим метод, предложенный С. Л. Парновским и др. [11]. В некоторых случаях мы будем использовать и подвыборки с противоположным условием  $b/a > \xi$ , которому должны удовлетворять оба отношения осей.

#### ИССЛЕДОВАНИЕ АНИЗОТРОПИИ ОРИЕНТАЦИИ ГАЛАКТИК 2MFGC

Для начала мы построили приведенное на рис. 1,  $a$  распределение функции  $F$  по небу для всех галактик каталога 2MFGC и определили для него максимальное и минимальное значения  $F_{\max}$  и  $F_{\min}$ . Отметим, что случайные отличия функции  $F$  от нуля для любого положения на небе описываются гауссианой с характерной шириной  $\sigma = 2\sqrt{2/N}$ , зависящей от количества галактик в выборке  $N$  [11]. Поэтому имеет смысл рассматривать величины  $F_{\max}\sigma$  и  $F_{\min}/\sigma$ . В нашем случае  $F_{\max} = 1.7\sigma$ ,  $F_{\min} = -2.2\sigma$ . Эти значения недостаточно велики, чтобы считать анизотропию статистически достоверной. Для более точной оценки вероятности того, что найденная анизотропия может возникнуть при случайном распределении позиционных углов галактик, мы воспользовались методом Монте-Карло. Мы построили по 1000 искусственных каталогов, положения галактик на небе в которых соответствуют положениям галактик 2MFGC, а позиционные углы имеют случайные значения, и вычислили для них значения максимума и минимума функции  $F$ . Была определена доля искусственных каталогов, у которых  $F_{\max}$  больше соответствующего значения для реальной подвыборки 2MFGC, а  $F_{\min}$  — меньше. Обозначим через  $N_1$  количество выборок, у которых значение  $F_{\min}$  меньше, чем у реальной выборки,  $N_2$  — количество выборок, у которых значение  $F_{\max}$  больше, чем у реальной выборки и  $N_3$  — количество выборок, для которых выполняются оба условия. Эти числа, разделенные на 1000, дают оценку вероятности того, что анизотропия является случайной. Для всего каталога 2MFGC мы получили  $N_1 = 383$ ,  $N_2 = 692$ ,  $N_3 = 343$ , что свидетельствует о недостаточной достоверности анизотропии.

Однако отсутствие анизотропии всей выборки не означает, что нет анизотропии для какой-то из ее частей. На следующем этапе мы построили подвыборки каталога 2MFGC, ограниченные различными предельными значениями инфракрасных звездных величин, отношений осей и кронковского радиуса. Для всех этих подвыборок были найдены значения  $F_{\max}$  и  $F_{\min}$ . Поскольку мы искали возможную статистически достоверную анизотропию, нас интересовали в первую очередь подвыборки, у которых  $F_{\max}/\sigma > 3$  или  $F_{\min}/\sigma < -3$ . Такие подвыборки были найдены, в частности, при ограничении снизу кронковского радиуса  $r$ . Эта величина определяется как размер эллиптического окна при измерении звездной величины галактики. Для

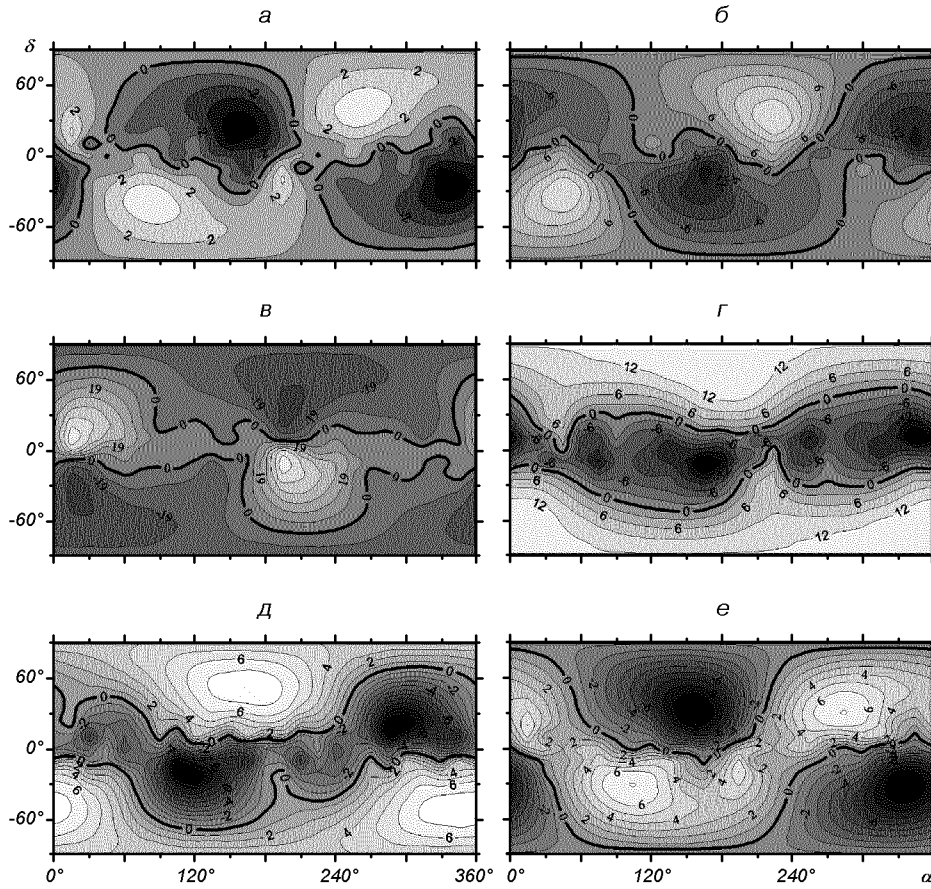


Рис. 1. Распределение по небу (в экваториальных координатах) функции анизотропии ориентации галактик каталога 2MFGC и его подвыборки: *a* — для всего каталога 2MFGC, *б* — подвыборка галактик, ограниченная значением  $r_{\min} = 36.5''$ , *в* — то же для  $r_{\min} = 70''$ , *г* — подвыборка галактик с отношением осей  $b/a \leq 0.24$ , *д* — подвыборка галактик со звездной величиной  $H \leq 12^m$ , *е* — то же для  $12^m < H \leq 13.8^m$ . На изолиниях анизотропии  $F$  приведены ее значения в процентах.

обзора 2MASS кроновская апертура бралась как умноженный на 2.5 первый момент радиуса, взятый с весом, пропорциональным интенсивности изображения [5].

На рис. 2, *a* изображены отношения  $F_{\max}/\sigma$  и  $F_{\min}/\sigma$  для подвыборки каталога 2MFGC с  $r \geq r_{\min}$  в зависимости от порогового значения кроновского радиуса  $r_{\min}$ , выраженного в секундах дуги. Видно, что среди подвыборок есть такие, для которых эти величины по модулю больше или близки к 3. Значимость анизотропии для подвыборок с  $36.5''$  и  $70''$  была проанализирована методом Монте-Карло. Первая выборка с  $r_{\min} = 36.5''$  содержит 2312 галактики и характеризуется значениями  $N_1 = 102$ ,  $N_2 = 79$ ,  $N_3 = 32$ . Во вторую выборку входит всего 222 галактики с  $r_{\min} = 70''$ ; моделирование дало для нее значения  $N_1 = 702$  и  $N_2 = N_3 = 26$ .

При исследовании возможной анизотропии следует принимать во внимание еще одно обстоятельство. Как было показано С. Л. Парновским и др. [11], плоские галактики каталога FGC имеют статистически достоверную

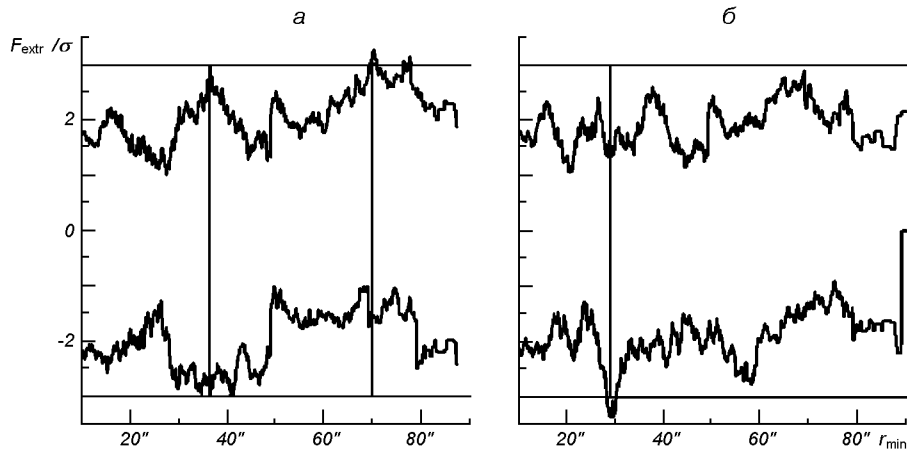


Рис. 2. Значения максимумов и минимумов функции  $F$  анизотропии ориентации галактик в единицах среднего квадратичного отклонения  $\sigma$  для подвыборок 2MFGC, ограниченных минимальным кроновским радиусом  $r_{\min}$ : *а* — для подвыборок полного каталога 2MFGC, *б* — для подвыборок, из которых исключены галактики RFGC и FGC. Вертикальными линиями отмечены подвыборки с наиболее выраженной анизотропией

анизотропию ориентации. Значительная часть галактик этого каталога вошла в 2MFGC, поэтому мы рассмотрели также подвыборки 2MFGC, из которых были исключены галактики FGC и галактики его обновленной версии RFGC [6] и остались только галактики, ориентации которых не исследовались ранее. Экстремальные значения  $F$  для таких подвыборок представлены на рис. 2, б. Для выборки с  $r_{\min} = 29.1''$  мы получаем значения  $F_{\min}/\sigma < -3.5$ . Поэтому мы оценили достоверность анизотропии также для этой подвыборки. Она содержит 3300 галактик и характеризуется значениями  $N_1 = N_3 = 21$ ,  $N_2 = 820$ . Таким образом, доля искусственных подвыборок с анизотропией ориентаций, большей, чем у реальных (в соответствии со значениями  $N_3$ ), лежит в пределах 2...3 %. При этом для второй выборки статистически достоверным является только максимум функции  $F$ . Для третьей выборки достоверным является только минимум.

Распределения по небу функции  $F$  для первых двух подвыборок представлены на рис. 1, б и в. Распределение для третьей подвыборки близко к распределению для первой (рис. 1, б), что свидетельствует о наличии анизотропии ориентаций галактик 2MFGC независимо от включения в рассмотрение данных каталога RFGC. На рис. 1, б и в области повышенных и пониженных значений  $F$  расположены противоположно. Например, в направлении с координатами  $\alpha = 210^\circ$ ,  $\delta = 30^\circ$  функция  $F$  имеет максимум для выборки с меньшими галактиками (рис. 1, б) и минимум для выборки с большими галактиками (рис. 1, в). Области максимума и минимума  $F$  меняются местами при  $r_{\min} = 49''$ ; на рис. 2, а при таком значении экстремумы анизотропии наименее выражены. Отметим, что положение минимума для третьей подвыборки совпадает с осью супергалактической системы координат, а положения максимумов второй и третьей подвыборок близки к супергалактическому экватору. Поэтому анизотропия может быть связана с ориентацией Местного Сверхскопления. Однако супергалактические широты для максимума и минимума функции  $F$  для первой подвыборки равны  $30^\circ$ , а супергалактическая широта для

минимума (статистически не существенного) второй подвыборки равна  $22^\circ$ .

Более подробный анализ привел нас к выводу о том, что описанная анизотропия является, скорее всего, эффектом селекции в определении кроновского радиуса при составлении каталога 2MASS. Приведем несколько аргументов в пользу этого предположения. Распределение галактик каталога по  $r$  имеет резкие пики для значений  $49''$ ,  $59''$ ,  $69''$ ,  $79''$  и  $89''$ . Например, в каталог входит 153 галактики с  $r = 49.0''$  и всего лишь пять галактик с  $r = 48.9''$  и четыре галактики с  $r = 49.1''$ . Заметим, что подобные эффекты селекции наблюдаются также в распределении галактик по отношению осей для «суперизображений». Это отношение выражается в сотых долях, и количество сотых долей практически всегда четное. Например, количество галактик с отношением осей 0.28, 0.30 и 0.32 равно 3582, 4419 и 1435, в то время как число галактик с отношением 0.29, 0.31 и 0.33 намного меньше — 176, 9 и 2 соответственно.

При построении рисунков, описывающих распределение функции анизотропии для подвыборок с ограничением по кроновскому радиусу, наблюдается следующая картина. При  $r_{\min} > 49.0''$  графики близки друг к другу вплоть до подвыборки с  $r_{\min} = 49.1''$ , содержащей 804 галактики. Типичное распределение функции  $F$  приведено на рис. 1, *в*. При уменьшении  $r_{\min}$  на 0.1 выборка увеличивается на 153 галактики, которые кардинально изменяют картину распределения функции анизотропии: области положительных и отрицательных значений функции  $F$  меняются местами. Качественная картина не меняется при дальнейшем уменьшении  $r_{\min}$ . Примером такого поведения является рис. 1, *б*. Картина не изменяется при исключении из выборки галактик FGC/RFGC. Такое практически взаимно противоположное распределение анизотропии ориентаций галактик с большими и маленькими кроновскими радиусами позволяет предположить возможность селекции при определении кроновских радиусов галактик каталога 2MFGC в зависимости от их позиционных углов, что наиболее проявляется при размерах около  $49''$ .

Далее мы будем рассматривать подвыборки каталога, ограниченные по непосредственно наблюдаемым параметрам галактик — отношению осей и звездным величинам в полосах  $J$ ,  $H$  и  $K$ , используя описанный подход для определения характерных значений, ограничивающих параметры подвыборки. Полученные результаты приведены в таблице. Отметим, что мы старались использовать только выборки с  $N > 1000$ , поэтому здесь не представлены подвыборки, сильно нарушающие это условие, например выборки с  $b/a \leq 0.2$ . В таблице приводятся результаты и для ряда подвыборок каталога 2MFGC, из которых были удалены все галактики, входящие в каталог RFGC или любую часть каталога FGC, например в FGCA. Как видно, модули экстремумов  $F$  для некоторых подвыборок достигают  $4\sigma$ . Это обстоятельство, а также значения полученных по методу Монте—Карло величин  $N_1$ ,  $N_2$  и  $N_3$  свидетельствуют о несомненной статистической достоверности анизотропии ориентаций галактик этих подвыборок каталога 2MFGC.

Далее мы рассмотрим выборки с наиболее существенной анизотропией и попытаемся проанализировать ее причину. Для этого необходимы картины распределения функции анизотропии  $F$  по небесной сфере. Естественно, мы не можем привести распределения для каждой из подвыборок, а ограничимся типичными распределениями для подвыборок с наиболее статистически существенной анизотропией (рис. 1, *г—е*).

Наш анализ мы начнем с подвыборок, ограниченных по отношению осей  $b/a$ . Из таблицы видно, что чем меньше граничное значение этого

Экстремумы функции анизотропии  $F$  и оценка значимости анизотропии подвыборок 2MFGC

Критерий отбора	$N$	$F_{\min}, \%$	$F_{\max}, \%$	$F_{\min}/\sigma$	$F_{\max}/\sigma$	$N_1$	$N_2$	$N_3$
весь 2MFGC	18020	-4.6	3.5	-2.2	1.7	383	692	343
$b/a \leq 0.22$	1540	-22.0	14.5	-3.0	2.0	36	444	33
$b/a \leq 0.24$	2597	-15.4	12.1	-2.8	2.2	96	330	75
$b/a \leq 0.26$	4045	-6.9	6.5	-1.55	1.5	756	799	643
$J \leq 13$	5605	-9.5	7.9	-2.5	2.1	186	383	138
$J > 13$	12415	-8.3	7.1	-3.3	2.8	38	88	27
$J \leq 14.8$	17271	-5.0	4.0	-2.3	1.9	305	562	255
$J > 14.8$	749	-16.7	12.5	-1.6	1.2	709	923	675
$13 < J \leq 14.8$	11668	-9.6	7.3	-3.7	2.8	9	108	6
$K \leq 11.4$	3338	-12.2	9.9	-2.5	2.0	188	441	146
$K > 11.4$	14683	-7.4	5.3	-3.2	2.3	31	265	25
$K \leq 13.5$	16950	-5.7	4.2	-2.6	1.9	162	473	135
$K > 13.5$	1070	-14.1	18.1	-1.6	2.1	705	410	355
$11.4 < K \leq 13.5$	13613	-9.0	6.2	-3.7	2.6	10	146	9
$H \leq 12$	4547	-11.1	7.7	-2.65	1.8	154	556	135
$H > 12$	13474	-8.0	6.6	-3.3	2.7	25	112	17
$H \leq 13.8$	16600	-5.7	4.5	-2.6	2.0	177	399	133
$H > 13.8$	1420	-15.7	11.7	-2.1	1.6	378	727	331
$12 < H \leq 13.8$	12054	-10.0	7.1	-3.9	2.7	6	97	6
$12 < H \leq 13.8,$ $b/a \leq 0.33$	8329	-10.6	8.3	-3.4	2.7	19	131	14
$12 < H \leq 13.8,$ $b/a \leq 0.3$	5263	-12.9	13.1	-3.3	3.4	23	22	11
$12 < H \leq 13.8,$ $b/a \leq 0.26$	2240	-14.3	16.4	-2.4	2.7	218	103	59
$12 < H \leq 13.8,$ $b/a \leq 0.24$	1321	-15.7	18.1	-2.0	2.3	432	243	171
$12 < H \leq 13.8,$ $b/a > 0.26$	6749	-12.9	9.1	-3.8	2.6	12	153	10
Подвыборки без RFGC/FGC-галактик								
2MFGC	15534	-4.8	3.9	-2.1	1.7	437	613	355
$b/a \leq 0.22$	782	-26.6	14.8	-2.6	1.5	120	799	118
$b/a \leq 0.24$	1558	-15.4	11.3	-2.2	1.6	335	713	299
$b/a \leq 0.26$	2687	-9.3	9.5	-1.7	1.7	648	612	460
$J \leq 13$	4803	-12.3	8.7	-3.0	2.1	48	380	43
$J > 13$	10733	-9.4	7.0	-3.4	2.6	16	160	12
$J \leq 14.8$	14818	-5.4	3.9	-2.3	1.7	307	646	264
$13 < J \leq 14.8$	10016	-10.7	7.1	-3.8	2.5	2	181	2
$K \leq 11.4$	2868	-12.4	11.9	-2.3	2.3	284	316	171
$K > 11.4$	12668	-8.0	5.0	-3.2	2.0	43	428	40
$K \leq 13.5$	14530	-6.1	4.2	-2.6	1.8	172	594	157
$11.4 < K \leq 13.5$	11663	-9.8	6.1	-3.8	2.3	9	257	8
$H \leq 12$	3905	-13.3	8.3	-2.9	1.8	71	554	67
$H > 12$	11631	-8.7	6.3	-3.3	2.4	30	216	25
$H \leq 13.8$	14198	-6.3	4.5	-2.7	1.9	133	516	114
$12 < H \leq 13.8$	10294	-11.3	7.1	-4.0	2.5	0	153	0
$12 < H \leq 13.8,$ $b/a \leq 0.33$	6796	-11.8	8.3	-3.4	2.4	9	227	8
$12 < H \leq 13.8,$ $b/a \leq 0.3$	3995	-14.1	11.5	-3.2	2.6	43	137	31
$12 < H \leq 13.8,$ $b/a \leq 0.26$	1412	-12.8	17.9	-1.7	2.4	672	233	208
$12 < H \leq 13.8,$ $b/a > 0.26$	6335	-13.9	9.8	-3.9	2.8	2	101	2

отношения, тем больше анизотропия ориентации галактик подвыборки. При этом увеличиваются не только абсолютные значения экстремумов  $F$ , но и отношение  $|F_{\min}|/\sigma$ , а числа  $N_1$  и  $N_3$  уменьшаются. В результате статистическая достоверность минимума анизотропии превышает 95 % для подвыборки с  $b/a \leq 0.22$ . Достоверность максимума существенно ниже. Распределение функции  $F$  по небу для этого случая показано на рис. 1, *г*. Видно, что полоса минимума лежит вдоль небесного экватора, а максимум близок к полюсу мира. Похожее распределение характеризует и подвыборки с  $b/a \leq 0.24$  и  $b/a \leq 0.26$ . Направление анизотропии совпадает с небесными меридианами. Именно такую картину дает ложная анизотропия, возникающая из-за ошибок измерения позиционных углов или селекции данных [11]. Поэтому, несмотря на формальную статистическую достоверность анизотропии, нет оснований считать ее реальной. Отметим, что распределение функции анизотропии в достаточной степени совпадает с соответствующим распределением для FGC-галактик, полученным в работе [11]. Поэтому отбрасывание этих галактик приводит к уменьшению до 85...90 % статистической достоверности минимума анизотропии. В таблице это проявляется в уменьшении  $|F_{\min}|/\sigma$  и увеличении  $N_1$  и  $N_3$ .

Рассмотрим теперь подвыборки, ограниченные по звездным величинам. Для каждой из полос  $J$ ,  $H$  или  $K$  по графикам, аналогичным рис. 2, можно определить значения выделенных звездных величин, делящих интервал их изменения на три части. Наиболее слабые галактики ( $J > 14.8^m$  или  $K > 13.5^m$  или  $H > 13.8^m$ ) не имеют статистически достоверной анизотропии. После их отбрасывания мы получаем подвыборки  $J \leq 14.8^m$ ,  $K \leq 13.5^m$  и  $H \leq 13.8^m$ , обладающие большей анизотропией, чем каталог 2MFGC в целом. Наиболее яркие галактики с  $J \leq 13^m$ ,  $K \leq 11.4^m$  или  $H \leq 12^m$  имеют анизотропию со статистической достоверностью на уровне 85 %.

Распределение функции анизотропии  $F$  по небесной сфере для подвыборки с  $H \leq 12^m$  приведено на рис. 1, *д*, распределения для остальных двух подвыборок очень похожи на него. Оно противоположно по знаку распределению для всего каталога, изображенному на рис. 1, *а*. Кроме того, оно в достаточной степени противоположно и распределению анизотропии ориентаций галактик FGC. Поэтому их исключение приводит к увеличению достоверности анизотропии, как это видно из таблицы. Рассмотрим теперь подвыборку из галактик, звездные величины которых лежат между указанными верхним и нижним пределами. Картина распределения функции  $F$  для подвыборки с  $12^m < H \leq 13.8^m$  представлена на рис. 1, *е*. К ней весьма близки распределения для подвыборок с  $13^m < J \leq 14.8^m$  и  $11.4^m < K \leq 13.5^m$ . Она в основном повторяет картину распределения анизотропии для всех галактик каталога (рис. 1, *а*), но ее статистическая достоверность превышает 99 % для минимума и 90 % для максимума. Область положительных значений  $F$  образует полосу, окружающую области минимума. В целом распределение плотности вероятности ориентации осей галактик данных подвыборок близко к сплюсненному эллипсоиду вращения. Для более ярких галактик картина «инвертируется» (см. рис. 1, *д*), как это было и при ограничении кроновского радиуса. Если рассмотреть подвыборки, ограниченные как по звездной величине, так и по отношению осей, то из таблицы видно, что полученная для подвыборки с  $12^m < H \leq 13.8^m$  анизотропия ориентации обеспечивается не тонкими галактиками, а галактиками с  $b/a > 0.26$ , для которых труднее точно измерить позиционные углы. Это обстоятельство вместе с «инвертированием» ставят под сомнение реальность наблюдаемой анизотропии. В то же время ряд обстоятельств свидетельствует в пользу ее реальности. Положение максимума анизотропии близко к оси сверхгалактической системы координат, а минимума — к ее экватору. Эти



положения отличаются от положений максимума и минимума для галактик FGC сдвигом приблизительно на  $60^\circ$  по  $\alpha$ . При отбрасывании галактик FGC несколько уменьшается доверительная вероятность максимума. Достоверность же минимума превышает 99 % для всей подвыборки с  $12^m < H \leq 13.8^m$ . В то же время для наиболее тонких галактик с  $b/a \leq 0.26$  он становится статистически несущественным. Поэтому из имеющихся данных невозможно сделать однозначный вывод о реальности анизотропии подвыборки с  $12^m < H \leq 13.8^m$  и подвыборок с  $13^m < J \leq 14.8^m$  и  $11.4^m < K \leq 13.5^m$ . Возможно, это можно будет сделать после повторного измерения позиционных углов галактик каталога 2MFGC с точностью до  $1^\circ$ .

#### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Мы провели анализ анизотропии ориентаций галактик каталога 2MFGC. Статистическая достоверность полученной анизотропии определялась по методу Монте—Карло. Показано, что каталог в целом не обладает статистически достоверной анизотропией. Однако некоторые его подвыборки, ограниченные по параметрам, непосредственно определяемым из наблюдений, имеют анизотропию ориентаций с достоверностью более 90 %. При этом картина распределения функции анизотропии  $F$  по небесной сфере для подвыборки наиболее тонких галактик (рис. 1,  $z$ ) указывает на ложную анизотропию, вызванную ошибками измерения и селекцией данных. Наиболее существенная анизотропия выявляется в подвыборках с  $12^m < H \leq 13.8^m$ ,  $13^m < J \leq 14.8^m$  и  $11.4^m < K \leq 13.5^m$ , однако она обеспечивается в основном галактиками с отношением осей  $b/a > 0.26$ . Для более ярких галактик происходит «инвертирование» картины распределения анизотропии. Эти два обстоятельства свидетельствуют против реальности выявленной анизотропии. В то же время большая статистическая достоверность минимума анизотропии и близость ориентации анизотропии к ориентации Местного Сверхскопления говорит в пользу ее реальности. Вопрос о реальности обнаруженной анизотропии ориентаций осей галактик, скорее всего, будет решен только после измерения позиционных углов галактик каталога 2MFGC с точностью до  $1^\circ$ . Статистически достоверная анизотропия наблюдается и для подвыборок, ограниченных минимальным значением кроновского радиуса. При этом экстремумы анизотропии во многих случаях связаны с ориентацией Местного Сверхскопления. Ряд обстоятельств заставляет считать такую анизотропию ложной, вызванной селекцией галактик при определении кроновского радиуса, приводящей к неявной зависимости кроновского радиуса от ориентаций галактик. Это проявляется в «инверсии» картины распределения функции анизотропии при переходе параметра обрезания по кроновскому радиусу  $r_{\min}$  через значение  $49.0''$ .

Таким образом, каталог 2MFGC является потенциально хорошим инструментом для поиска и исследования анизотропии ориентации галактик. Однако ошибки измерения и селекция данных при его создании не позволяют сделать вывод об истинности выявленной статистически значимой анизотропии его подвыборок.

Авторы благодарны С. Н. Митроновой за каталог 2MFGC в электронной форме, а также Ю. Н. Кудре за ценные обсуждения.

1. Парновский С. Л., Кудря Ю. Н., Александров А. Н. Видимая анизотропия в ориентации внегалактических объектов, вызванная кривизной пространства-времени // ЖЭТФ.— 1994.—106, № 6 (12).—С. 1559—1571.
2. Парновский С. Л., Кудря Ю. Н., Караченцев И. Д. Анизотропия в ориентации пар галактик // Письма в Астрон. журн.—1997.—23, № 7-8.—С. 586—594.

3. *Flin P.* Global or local anisotropy in galaxy orientation? // *Comments Astrophys.*—1995—**18**.—P. 81.
4. *Hu F. X., Wu G. X., Song G. X., et al.* Orientation of galaxies in the local supercluster: A review // *Astrophys. and Space Sci.*—2006.—**302**.—P. 43—59.
5. *Jarrett T. H., Chester T., Cutri R., et al.* 2MASS extended source catalog: Overview and algorithms // *Astron. J.*—2000.—**119**, N 5.—P. 2498—2531.
6. *Karachentsev I. D., Karachentseva V. E., Kudrya Yu. N., et al.* The Revised Flat Galaxy Catalogue // *Bull. SAO.*—1999.—**47**.—P. 5—185.
7. *Karachentsev I. D., Karachentseva V. E., Parnovsky S. L.* Flat Galaxy Catalogue // *Astron. Nachr.*—1993.—**314**.—P. 97—222.
8. *Lauberts A.* The ESO / Uppsala survey of the ESO(B) atlas. — Munich: ESO, 1982.
9. *Mitronova S. N., Karachentsev I. D., Karachentseva V. E., et al.* The 2MASS-selected Flat Galaxy Catalog // *Bull. SAO.*—2004.—**57**.—P. 5—163.
10. *Nilson P.* Uppsala general catalogue of galaxies // *Uppsala Astron. Obser. Ann.*—1973.—Band 6.
11. *Parnovsky S. L., Karachentsev I. D., Karachentseva V. E.* Global anisotropy of galaxy orientations // *Mon. Notic. Roy. Astron. Soc.*—1994.—**268**, N 3.—P. 665—680.

Поступила в редакцию 05.07.07