

УДК 524.7

П. Ю. Шаров

Астрономическая обсерватория Киевского национального университета имени Тараса Шевченко,
04053 Киев, ул. Обсерваторная, 3

Применение метода POTENT к выборке плоских галактик из каталога RFGC

Применяется линейный «эйлеров» вариант метода POTENT к выборке из каталога плоских галактик RFGC, для которой известны радиальные пекулярные скорости, с целью проверки степени пригодности каталога для его использования методами восстановления поля плотности материи. На полученном поле плотности материи удается идентифицировать такие известные крупномасштабные структуры как Великий Атрактор, сверхскопление из созвездий Персея — Рыб, центр Местного Сверхскопления. Это позволяет считать результат проверки в целом положительным, что в дальнейшем делает перспективным применение к каталогу нелинейного «лагранжевого» варианта метода POTENT с целью более точного восстановления поля плотности материи.

ЗАСТОСУВАННЯ МЕТОДУ POTENT ДО ВИБІРКИ ПЛОСКИХ ГАЛАКТИК З КАТАЛОГУ RFGC, Шаров П. Ю. — Застосовується лінійний «ейлерів» варіант методу POTENT до вибірки з каталогу плоских галактик RFGC, для якої відомі радіальні пекулярні швидкості, з метою перевірки ступеня придатності каталогу для його використання методами відтворення поля густини матерії. На отриманому полі густини матерії можна ідентифікувати такі відомі великомасштабні структури, як Великий Атрактор, надкупчення із сузір'їв Персея — Риб, центр Місцевого Надкупчення. Це дозволяє вважати результат перевірки в цілому позитивним, що у подальшому робить перспективним застосування нелінійного «лагранжевого» варіанта методу POTENT з метою точнішого відтворення поля густини матерії.

POTENT APPLICATION TO THE SAMPLE OF FLAT GALAXIES FROM THE RFGC CATALOGUE, by Sharov P. Yu. — We apply the linear Eulerian version of the well-known POTENT method to the sample from the flat galaxies catalogue RFGC, with known radial peculiar velocities, in order to verify the extent to which the catalogue can be used by methods of mass density reconstruction. In the resulting mass density field one can identify such well-known large-scale structures as the Great Attractor, Perseus — Pisces supercluster, and the center of the Local Supercluster. This allows one to consider the result of the verification as being generally positive, which makes the non-linear Lagrangian version of the POTENT method promising for applying to the catalogue with the object of a more precise mass density reconstruction.

ВВЕДЕНИЕ

Ключевым моментом в изучении крупномасштабной структуры является измерение расстояний до галактик, независимо от значений их красного смещения. Это позволяет получить информацию о так называемых радиальных пекулярных скоростях галактик, определяемых как разность между составляющей, отвечающей за скорость удаления галактики по отношению к наблюдателю, вычисленную из значения ее красного смещения, и составляющей скорости галактики, отвечающей за хаббловское расширение: $V_{\text{пек}} = V - Hr$. Такая информация готова к непосредственному использованию в методах, целью которых является изучение крупномасштабных потоков, восстановление трехмерного векторного поля пекулярных скоростей, и главное, особенностей крупномасштабного распределения плотности массы на основе данных только о радиальных скоростях галактик.

В последнее время появились ряд мощных методов (VELMOD [13], фильтр Винера [7], POTENT [5]), позволяющих восстанавливать поля плотности. Мы будем использовать метод POTENT как наиболее известный. Большой частью для применения данного метода к реальным наблюдательным данным был создан каталог пекулярных скоростей галактик MarkIII [6, 12], в результате чего получены серьезные успехи на пути восстановления крупномасштабной картины распределения материи.

В то же время есть каталог плоских спиральных галактик RFGC [9], изначальной целью создания которого было исследование крупномасштабных потоков галактик. Именно, на основе подвыборки данного каталога, с использованием данных о лучевых скоростях и ширинах спектральной линии H I галактик, был создан список радиальных пекулярных скоростей 1271 галактики [8], а позднее — расширенная и модифицированная его версия, включающая 1501 галактику [2]. Это дало возможность непосредственного применения к каталогу различных методов обработки, использующих данные о пекулярных скоростях галактик. К каталогу RFGC метод POTENT никогда ранее не применялся, и цель данной работы — оценить пригодность вышеупомянутой подвыборки каталога RFGC для этого. Критерием проверки будет возможность идентифицировать наиболее известные особенности поля, обнаруженные другими методами исследования поля плотности материи, в том числе в результате применения метода POTENT к каталогу MarkIII. Сравнение результатов применения метода к обоим каталогам интересно, в частности, в силу того, что данные каталоги, охватывая приблизительно одно и то же пространство, являются практически полностью независимыми, обладая весьма малой долей общих галактик.

Рассматривая результаты различных методов восстановления картины плотности материи, нельзя говорить о какой-либо высокой точности совпадения, и схожесть их заключается лишь в возможности идентифицировать те или иные крупнейшие структуры, не имея достаточно достоверной информации о самом их характере. Основными причинами этого, являются не столько недостатки применяемых методов, сколько недостаточное покрытие данными исследуемого объема, а также невысокая точность имеющихся данных. На рис. 1 приведены проекции на сверхгалактическую плоскость полей плотности, восстановленных с применением фильтра Винера (рис. 1, а) [13] и метода POTENT (рис. 1, б) [13] для данных каталога MarkIII. Основным результатом в обоих случаях являлось обнаружение двух наиболее известных на соответствующих масштабах гигантских структур — Великого Аттрактора (сверхскопление Гидры — Центавра совместно со сверхскоплением Павлин — Индеец — Телескоп) и сверхскопления Персея — Рыб, — а также протяженной пустоты между ними. Следует

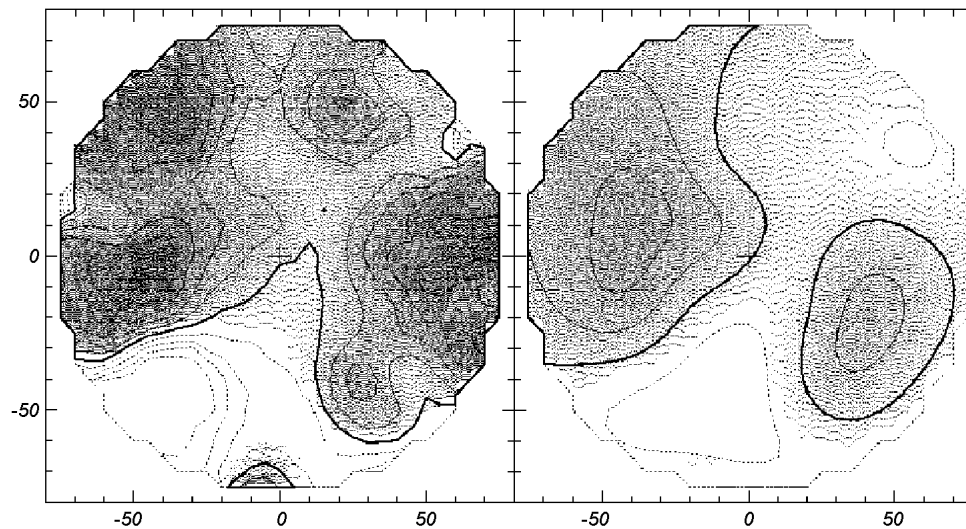


Рис. 1. Поле плотности в сверхгалактической плоскости, восстановленное с помощью методов POTENT (а) и фильтра Венера (б) на основе данных каталога MarkIII. Жирные линии — уровень средней плотности $\delta = 0$, пунктирные — области с $\delta < 0$, шаг контуров $\Delta\delta = 0.2$. Великий Аттрактор находится слева, сверхскопление в Персее — Рыбах — справа

упомануть, что одно из первых применений метода POTENT к реальным данным [3] (впоследствии существенно дополненным) практически не проявило сверхскопления Персея — Рыб, но показало ложную структуру повышенной плотности в прилегающей области.

Изначально нужно ожидать, что полученная в результате применения метода к каталогу RFGC картина распределения материи должна быть схожа с полученными результатами для каталога MarkIII. Поскольку исходными данными, используемыми методом, являются поля радиальных пекулярных скоростей каталогов, схожих результатов применения метода POTENT к данным двух каталогов нужно ожидать как минимум в том случае, если соответствующие эти поля схожи. В этом мы можем опираться на результаты сравнения полей радиальных пекулярных скоростей двух вышеупомянутых каталогов на основе мультипольной модели крупномасштабного движения [11], которое свидетельствует о достаточно высокой корреляции как между отдельными высшими членами мультипольного разложения, так и его остаточными членами, отвечающими за мелкомасштабные движения.

В данной работе мы используем метод POTENT в его простейшем линейном варианте, называемом «эйлеров POTENT» [5], поскольку обеспечиваемая им точность достаточна для достижения поставленной цели работы. Если выполняемая нами проверка докажет применимость метода к каталогу, на дальнейших этапах это даст право применить к каталогу RFGC, уже с целью восстановления крупномасштабной структуры, более сложный и более точный вариант метода — «лагранжев POTENT» [5], — непосредственно используемый авторами метода в применении к каталогу MarkIII [6].

КАТАЛОГ RFGC

Каталог RFGC [9] представляет собой однородную выборку из более чем 4000 тонких спиральных галактик, видимых с ребра, удовлетворяющих

следующим условиям: отношения большой и малой осей изображения галактики в синих лучах — больше 7; угловой размер большой оси галактики в синих лучах — более $0.6'$. Как показали создатели каталога, под такие критерии отбора подпадают большей частью галактики поля, обеспечивающие высокую пространственную однородность каталога и обладающие хорошими условиями для измерения ширины линии радиоизлучения водорода на длине волны 21 см. В работе [8] был представлен список из 1327 галактик каталога, обладающих данными о лучевых скоростях и ширинах линии H I, что послужило основой для создания списка радиальных пекулярных скоростей галактик указанной подвыборки на основе многопараметрической регрессии Талли — Фишера, построенной для модели коллективного движения галактик в дипольном приближении [8]. Позже в работе [1] был создан список радиальных пекулярных скоростей для подвыборки из 1271 галактики, коллективные движения которых анализировались в рамках трех моделей движения — дипольной, квадрупольной и октупольной. Роль расстояния до галактики в таких моделях играет первый член разложения коллективного движения для соответствующей модели. В работе [2] список радиальных пекулярных скоростей из [1] был модифицирован и расширен до 1501 галактики за счет новых данных, взятых из базы данных HyperLeda, для галактик RFGC, как входивших в уже имеющийся список пекулярных скоростей (с целью уменьшения отклонения лучевых скоростей галактик от линии регрессии), так и вообще не имевших ранее данных о ширинах линии H I, расстояниях и радиальных пекулярных скоростях. Ниже мы используем пекулярные скорости галактик, определенные именно для этой подвыборки в рамках октупольной модели. Следует заметить, что значения пекулярных скоростей, полученные в [2], незначительно отличаются от значений, предоставленных изначально в [8].

Как видно из рис. 2, все галактики равномерно распределены на небесной сфере, за исключением зоны избегания. Подвыборка обладает следующими характеристиками: среднее расстояние до галактик — 5800 км/с, медиана подвыборки — 5500 км/с, мода — 5200 км/с, пространственная полнота — около 5600 км/с. На больших расстояниях подвыборка обладает достаточно большой неоднородностью и асимметрией.

Из используемой подвыборки нам понадобится следующая информация для применения к ней метода POTENT: значение V_{3K} радиальной скорости

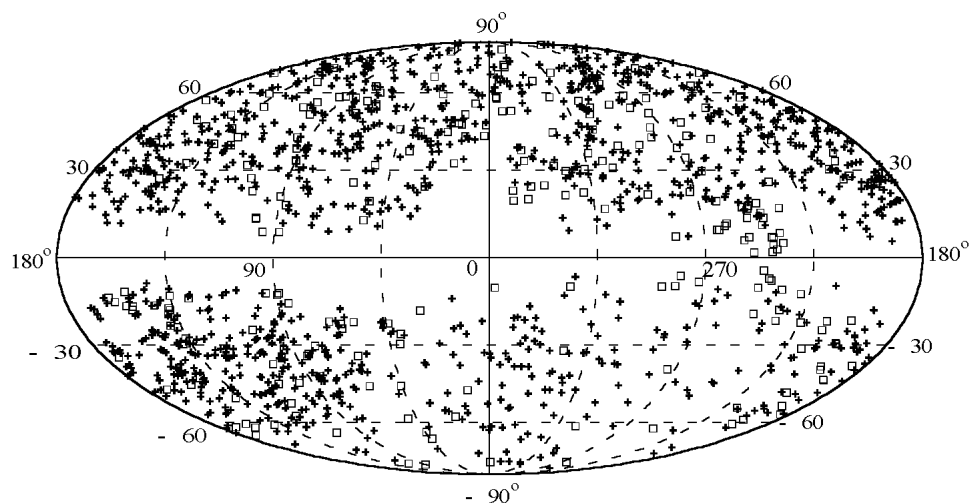


Рис. 2. Распределение по небу используемой выборки плоских галактик. Крестики — галактики, входящие в выборку, использовавшуюся ранее, квадратики — новые данные

галактики, полученное из измерений ее красного смещения и приведенное к системе отсчета реликтового излучения; расстояние до галактики, определенное без использования значения красного смещения по зависимости Талли — Фишера. Пространственные положения галактик мы определяем с помощью расстояний и значений направляющих косинусов в экваториальной системе небесных координат.

МЕТОД POTENT

Известно, что распределение галактик не обязательно отражает распределение всей массы, включая темную материю, но предполагается, что галактики являются пробными телами, реагирующими на общее гравитационное поле посредством проявления поля пекулярных скоростей. Теория метода построена на выводах стандартной теории гравитационной неустойчивости — уравнениях, описывающих эволюцию флуктуаций гравитирующей жидкости без давления в эпоху преобладания вещества.

Простейший вариант метода POTENT основан на допущении о том, что крупномасштабная структура развивалась из начальных флуктуаций под воздействием сил гравитации в соответствии с линейной теорией возмущений. В этом случае для восстановления трехмерного поля пекулярных скоростей, заключающегося в нахождении тангенциальных составляющих скоростей галактик из данных о радиальных составляющих, дополнительная информация берется из естественного для случая линейной эволюции предположения о том, что поле скоростей в лагранжевом пространстве, то есть в системе координат, привязанной к начальным условиям, является безвихревым. Из этого следует, что векторное поле пекулярных скоростей $\mathbf{v}(\mathbf{r})$ может быть представлено как градиент некоторого скалярного поля, или, иначе, потенциала скорости $\Phi(\mathbf{r})$. В этом заключается так называемое предположение о потенциальном потоке:

$$\mathbf{v}(\mathbf{r}) = -\nabla\Phi(\mathbf{r}). \quad (1)$$

Скалярный же потенциал скорости может быть получен в любой точке путем интегрирования известных из наблюдений радиальных составляющих пекулярных скоростей $u(r, \theta, \varphi)$ вдоль радиуса-вектора пространственного положения этой точки:

$$\Phi(\mathbf{r}) = -\int_0^r u(r', \theta, \varphi) dr'. \quad (2)$$

При условии линейного режима значение потенциала скорости Φ оказывается прямо пропорциональным гравитационному потенциалу $\varphi_g = \text{const}$:

$$\Phi = \frac{2}{3} \frac{f(\Omega)}{\Omega H} \varphi_g, \quad f(\Omega) \approx \Omega^{0.6}, \quad (3)$$

где H — постоянная Хаббла, G — гравитационная постоянная, Ω — космологический параметр плотности. Это позволяет просто применить теорему Пуассона для нахождения поля флуктуаций плотности массы $\delta(\mathbf{x}, t) = (\rho - \rho_0)/\rho_0$:

$$\nabla^2 \varphi_g(\mathbf{x}) = 4\pi G a^2 (\rho - \rho_0), \quad (4)$$

где a — масштабный множитель, ρ — плотность массы, ρ_0 — средняя плотность массы. Используя определение

$$\Omega = \frac{8\pi G \rho_0}{3H^2} \quad (5)$$

и принимая $a = 1$, находим непосредственное соотношение между полем флуктуаций плотности δ и скалярным потенциалом скорости Φ :

$$\delta = \frac{\nabla^2 \Phi}{\Omega^{0.6} H}, \quad (6)$$

где оператор Лапласа берется по расстоянию. Если при вычислении потенциала скорости (2) вместо интегрирования по обычному расстоянию dr' использовать расстояние $dr'_v = H dr'$, выраженное в единицах скорости и не зависящее от конкретного значения постоянной Хаббла, то соответствующий аналог потенциала скорости равен $\Phi_v = H\Phi$, а для вычисления поля плотности δ получим

$$\delta = \frac{\nabla_v^2 \Phi_v}{\Omega^{0.6}}, \quad (7)$$

где $\nabla_v = H^{-1} \nabla$. Из (7) видно, что выражение для δ , как и следовало ожидать, не зависит от постоянной Хаббла. Заметим также, что выражение (1) для восстановления векторного поля пекулярных скоростей не изменяет своей формы в терминах расстояний, выраженных в единицах скорости:

$$\mathbf{v} = -\nabla \Phi \equiv -\nabla_v \Phi_v. \quad (8)$$

Метод «эйлеров POTENT» [5] базируется на дополнительном упрощении, заключающемся в том, что делается предположение о потенциальном потоке в эйлеровом пространстве. Это позволяет применять вышеприведенные для лагранжевого пространства формулы в эйлеровом пространстве, т. е. непосредственно к наблюдательным данным.

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА POTENT К КАТАЛОГУ RFGC

В качестве начала процедуры в пространстве, занимаемом рассматриваемой подвыборкой, мы строим сетку в сферической системе координат (r, θ, φ) , центр которой помещается в точку наблюдения. Затем находим в каждом из узлов сетки значение радиальной пекулярной скорости путем сглаживания окном с гауссовым профилем. Далее вычисляем значение потенциала скорости в каждом узле сетки путем суммирования по отрезкам радиуса-вектора данного узла значений усредненной по концам отрезков сглаженной радиальной скорости, умноженных на длину отрезков:

$$\Phi_v = \sum_i \frac{v_i + v_{i+1}}{2} H \Delta r.$$

В силу особенностей процедуры сглаживания вокруг центра координат образуется необработанная сферическая область с радиусом порядка размера сглаживающего окна. Поэтому значения радиальной скорости в точках, попадающих в эту область, вычислялись отдельно как проекции вычисленного в [2] вектора дипольного коллективного движения данной подвыборки ($b = 17^\circ$, $l = 315^\circ$, $v = 350$ км/с) на радиальные направления в каждой такой точке.

Далее вычисляем значение «градиента» потенциала скорости, т. е. трехмерной пекулярной скорости в узлах сферической сетки:

$$\mathbf{v}_{\text{сф}} = -H^{-1} \left(\frac{\Delta \Phi_v}{\Delta r}, \frac{\Delta \Phi_v}{\Delta \theta}, \frac{\Delta \Phi_v}{\Delta \varphi} \right).$$

Затем путем сглаживания гауссовым окном, как это делалось вначале при переходе к сферической сетке, находим значения векторного поля

скоростей v в узлах декартовой сетки в сверхгалактической системе координат.

В силу ограниченной пространственной полноты используемой подвыборки каталога RFGC получить сравнительно качественную картину полей векторной пекулярной скорости и флуктуаций плотности возможно приблизительно на максимальном масштабе до 5000 км/с. Как будет показано ниже, использование метода на больших масштабах приводит к сильным искажениям картины. Трехмерное, векторное, поле скоростей мы находили при следующих конкретных значениях параметров вычисления. Параметр гауссового профиля окна сглаживания при вычислении значений поля радиальных пекулярных скоростей в точках сетки сферической системы координат составлял 250 км/с на расстояниях до 2000 км/с и 500 км/с — для расстояний выше 2000 км/с. Это связано с убывающей концентрацией галактик с расстоянием в используемой подвыборке. Радиус сглаживающего окна устанавливался равным удвоенному значению параметра гауссового профиля, и по мере необходимости увеличивался так, чтобы обеспечить попадание минимум трех галактик внутрь окна. Количество делений сферической сетки по углам θ , φ и радиусу r составляет 40, 80 и 15 соответственно. Параметр гауссового профиля окна сглаживания при переходе от сферической сетки к декартовой равнялся 1200 км/с; шаг декартовой сетки — 500 км/с. На рис. 3, а приведена проекция слоя $\Delta SGZ = (-1500, +1500)$ полученного векторного поля скоростей на сверхгалактическую плоскость.

Для того чтобы получить трехмерное поле флуктуаций плотности массы, необходимо применить теорему Пуассона, то есть фактически подсчитать дивергенцию найденного трехмерного поля пекулярных скоростей:

$$\delta = -\nabla_v \cdot v \Omega^{-0.6} = -H^{-1} \left(\frac{\Delta v_x}{\Delta x} + \frac{\Delta v_y}{\Delta y} + \frac{\Delta v_z}{\Delta z} \right) \Omega^{-0.6} \equiv \nabla_v^2 \Phi_v \Omega^{-0.6}.$$

На рис. 3, б приведена проекция слоя $\Delta SGZ = (-1500, +1500)$ полученного поля плотности на сверхгалактическую плоскость. Как следствие нелинейности используемого нами метода, на восстановленном поле плотности встречались области с отрицательными значениями δ , что лишено смысла. На приведенных здесь проекциях эти области ограничены контурами минимально допустимого значения $\delta = -1$, и явно не отображены.

Увеличим теперь рассматриваемый масштаб до 8000 км/с. Проекция поля плотности на этом масштабе, аналогичная изображенной на рис. 3, б, представлена на рис. 4. Как видно, поле плотности обладает тем недостатком, что большинство его особенностей имеют тенденцию к вытягиванию в радиальном направлении, что сильно затрудняет определение их расположения, размеров и формы. Это связано с тем, что на расстояниях, где каталог становится пространственно неполным и используемая выборка из каталога RFGC имеет сильный недостаток в концентрации галактик, во время сглаживания окном переменного радиуса на периферии имеет место искусственное влияние значений пекулярной скорости от приближенных к центру расстояний на более удаленные в радиальном направлении, что в результате проявляется в виде радиально вытянутых структур. Для демонстрации того, что данный эффект является следствием падения концентрации галактик с расстоянием на рисунке точками отмечены галактики, попадающие в слой $\Delta SGZ = (-1500, +1500)$. Видно, что вытянутости находятся за пределами пространственной полноты каталога и там, где галактик вообще нет.

Возвращаясь к рис. 3, б, изображающему проекцию поля на масштабе до 5000 км/с, отметим основные выделяющиеся особенности и проведем наиболее очевидные отождествления с уже известными крупномасштабными

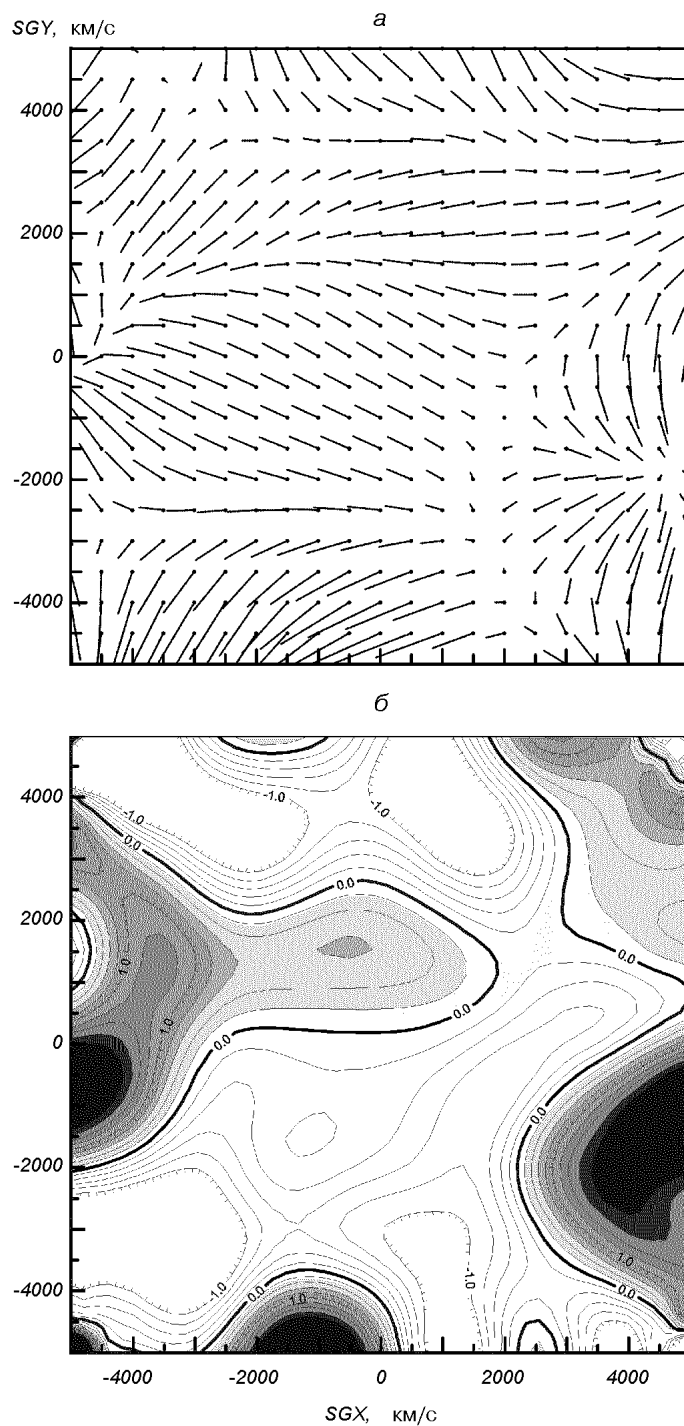


Рис. 3. Проекция на сверхгалактическую плоскость слоя $\Delta SGZ = (-1500, 1500)$ на масштабе 5000 км/с: *а* — восстановленного векторного поля пекулярных скоростей (длины отрезков соответствуют масштабам на координатных осях); *б* — восстановленного поля флуктуации плотности (жирные контуры — уровень средней плотности $\delta = 0$, шаг контуров $\Delta\delta = 0.2$)

структурами, в том числе теми, которые идентифицируются среди результатов применения метода POTENT к каталогу MarkIII [4, 6, 10]. Обширный участок повышенной плотности с центром около $(SGX, SGY) = (-4500, -1000)$ можно отождествить со сверхскоплением из созвездий Павлин —

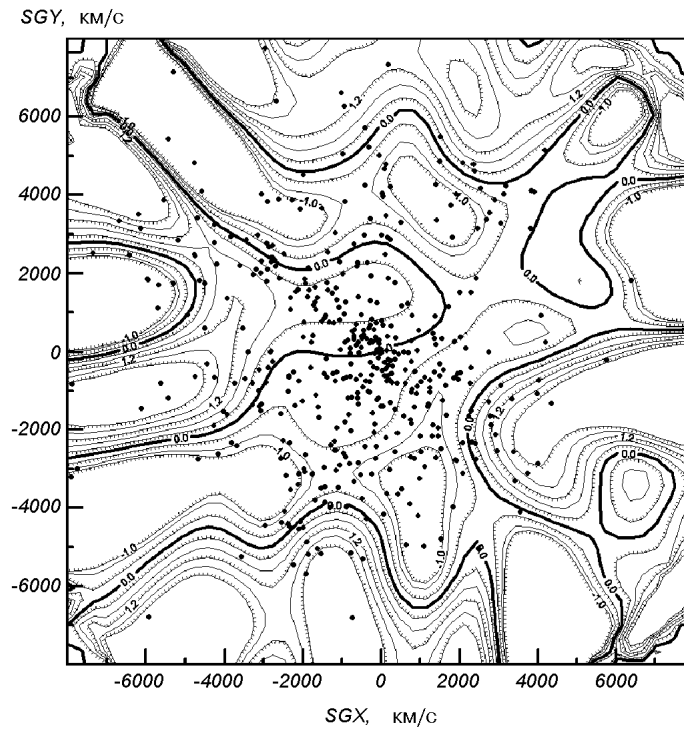


Рис. 4. Проекция на сверхгалактическую плоскость слоя $\Delta SGZ = (-1500, 1500)$ восстановленного поля флуктуации плотности на масштабе 8000 км/с. Жирный контур — средней плотности $\delta = 0$, шаг контуров $\Delta\delta = 0.2$, точки — галактики используемой подвыборки, находящиеся в слое

Индеец — Телескоп. Немного меньший максимум в области $(SGX, SGY) = (-3500, 1500)$ отождествляется со сверхскоплением из созвездий Гидры — Центавра, которое плавно соединяется со сверхскоплением Павлин — Индеец — Телескоп и образует совместно с ним известную гигантскую структуру Великий Аттрактор. Весьма заметный и обширный максимум плотности с центром около $(SGX, SGY) = (-500, 1500)$ хорошо отражает положение местного сверхскопления с центром в созвездии Девы. Очень крупный и обширный максимум с центром с приблизительными координатами $(SGX, SGY) = (4000, -2000)$, без сомнения, отражает сверхскопление из созвездий Персея — Рыб. Стоит также отметить хорошо известную протяженную пустоту, находящуюся в промежутке между Великим Аттрактором и сверхскоплением Персея — Рыб. Интересной особенностью, которую сложно отождествить с какой-либо известной структурой, является довольно высокий максимум плотности около $(SGX, SGY) = (-1000, -4500)$. Из рис. 4 видно, что в этой области каталог обладает немалым количеством галактик, и нужно принять во внимание, что эта особенность может не быть артефактом, но являться неким реальным максимумом плотности. Однако проверка этого предположения не входит в задачи нашей работы и должна стать предметом более детального исследования.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Сравнивая проекции на сверхгалактическую плоскость полученного нами поля плотности (рис. 3, б) и поля, полученного в результате применения метода POTENT к каталогу MarkIII (рис. 1, б), можно увидеть совпадение

таких крупнейших структур, как Великий Аттрактор и скопления в Персее — Рыбах. Несмотря на применение здесь сильно упрощенной версии метода POTENT, этого результата вполне достаточно, чтобы сделать положительный вывод о пригодности каталога RFGC для использования данного рода методами. Хотя пространственная полнота каталога RFGC, ограничивающая масштаб восстанавливаемой картины плотности, а также точность определения пекулярных скоростей приблизительно равны аналогичным параметрам каталога MarkIII, среди явных преимуществ каталога RFGC можно отметить большую пространственную однородность, а также однородность самих данных за счет использования единой для всей используемой подвыборки обобщенной зависимости Талли — Фишера. Таким образом, имеет смысл в дальнейшем применить нелинейный, «лагранжев», вариант метода POTENT к данной подвыборке непосредственно для восстановления крупномасштабной структуры с целью уточнения положения, размеров и формы известных особенностей поля, и, возможно, определения еще не известных особенностей.

Автор благодарен С. Л. Парновскому за предложение темы и помощь в работе, а также А. В. Тугаю за предоставленный рис. 2.

1. Парновский С. Л., Кудря Ю. Н., Караченцева В. Е., Караченцев И. Д. Коллективные движения плоских галактик на масштабах 100 Мпк в квадрупольном и октупольном приближениях // Письма в Астрон. журн.—2001.—27, № 12.—С. 1—11.
2. Парновский С. Л., Тугай А. В. Коллективные движения плоских галактик на масштабе 100 Мпк с использованием новых данных // Письма в Астрон. журн.—2004.
3. Bertschinger E., Dekel A., Faber S. M., Dressler A., Burstein D. Potential, velocity, and density fields from sparse and noisy redshift-distance samples: Application: Cosmography within 6000 kilometers per second // Astrophys. J.—1990.—364, N 2.—P. 370—395.
4. Branchini E., Teodoro L., Schmoldt I., et al. Velocity fields from IRAS-PSCz survey // Mon. Notic. Roy. Astron. Soc.—1999.—304.—P. 893—897.
5. Dekel A., Bertschinger E., Faber S. M. Potential, velocity and density fields from sparse and noisy redshift-distance samples: method // Astrophys. J.—1990.—364, N 2.—P. 349—369.
6. Dekel A., Eldar A., Kolatt T., et al. POTENT reconstruction from Mark III velocities // Astrophys. J.—1999.—522, N 1.—P. 1—38.
7. Hoffman Y., Eldar A., Zaroubi, S., Dekel A. The large-scale tidal velocity field. — 2001.—astro-ph/0102190.
8. Karachentsev I. D., Karachentseva V. E., Kudrya Yu. N., et al. A list of peculiar velocities of RFGC galaxies // Bull. SAO.—2000.—50.—P. 5—38.
9. Karachentsev I. D., Karachentseva V. E., Kudrya Yu. N., et al. The revised flat galaxy catalogue // Bull. SAO.—1999.—47.—P. 5—185.
10. Marinoni C., Monaco P., Giuricin G., Costantini B. Galaxy Distances in the nearby universe: Corrections for Peculiar Motions // Astrophys. J.—1998.—505, N 2.—P. 484—505.
11. Parnovsky S. L., Sharov P. Yu. Comparison of velocity fields of the galaxies from the catalogs RFGC and MarkIII // Astrophys. and Space Sci.—2003.—284.—P. 1097—1110.
12. Willick J. A., Courteau S., Faber S. M., et al. Homogeneous velocity-distance data for peculiar velocity analysis. III. The Mark III Catalog of galaxy peculiar velocities // Astrophys. J. Suppl. Ser.—1997.—109, N 2.—P. 333—391.
13. Willick J. A., Strauss M. A., Dekel A., Kolatt T. Maximum likelihood comparisons of Tully — Fisher and redshift data: Constraints on Ω and biasing (VELMOD) // Astrophys. J.—1997.—486.—P. 629—664.

Поступила в редакцию 10.04.03