

## Скопления и группы галактик в полях ESO 052, 151, 252, 341

Е. А. Панько

*Одесский национальный университет им. И. И. Мечникова,  
ул. Дворянская, 2, г. Одесса, Украина*

*Астрономическая обсерватория Николаевского государственного университета  
им. В. А. Сухомлинского,  
ул. Никольская, 24, г. Николаев, Украина  
E-mail: tajgeta@sp.mk.ua*

На базе каталога галактик Мюнстерского красного обзора неба для четырех участков южного неба размером  $5^\circ \times 5^\circ$  каждый проанализированы положения 63000 галактик звездной величины до  $r_F=19.3^m$  в фотометрической системе каталога. Поиск областей повышенной концентрации галактик проводился по методике построения двумерной мозаики Вороного. Найденные области повышенной концентрации интерпретированы как скопления и группы галактик. Для каждой из найденных структур определена ее форма в проекции на картинную плоскость и получен список галактик в поле структуры. Найденные детали крупномасштабного распределения галактик в исследованных полях хорошо подтверждаются сравнением с основными каталогами скоплений галактик ACO, APM и новым каталогом скоплений и групп галактик PF. Области, в которых концентрация галактик ниже средней, интерпретированы как возможные войды.

### Введение

В настоящее время активно обсуждается структура крупномасштабного распределения вещества во Вселенной, в первую очередь потому, что возможный механизм возникновения неоднородностей должен быть теснейшим образом связан с эволюцией Вселенной в целом. Излучающее вещество – галактики и их скопления – самый доступный для наблюдений индикатор этого распределения. Кроме того, изучение особенностей распределения галактик на небесной сфере и в пространстве является существенным и для “некосмологической” астрофизики, а именно для изучения эволюции и свойств галактик и скоплений галактик.

На основе анализа положений галактик Мюнстерского красного обзора неба (Münster Red Sky Survey, MRSS [1]) в 2006 году был создан каталог скоплений и групп галактик PF [2]. При создании каталога PF для обеспечения однородности исходной информации анализ проводился только в пределах статистической полноты исходного каталога MRSS, т. е. для галактик ярче  $r_F=18.3^m$ . Однако на значительной части пластинок Мюнстерского красного обзора неба есть качественные изображения галактик гораздо более слабых. Исследование этих площадок позволяет получить дополнительную информацию о распределении галактик в картинной плоскости. К примеру, исследование площадки ESO 606 с изображениями галактик до  $21.0^m$  позволило найти возможное сверхскопление галактик и оценить его размеры и расстояние до него [3].

Общей целью нашего исследования было определение основных параметров скоплений галактик в проекции на картинную плоскость в отдельных площадках ESO для галактик слабее  $r_F=18.3^m$ .

### Наблюдательный материал

В качестве наблюдательного базиса представленного исследования был выбран каталог галактик MRSS [1]. Он создан в результате сканирования и анализа фотопластинок Southern Sky Atlas R Schmidt, соответствующих 217 площадкам Европейской южной обсерватории (ESO), и покрывает около 5000 квадратных градусов на галактических широтах  $< -45^\circ$ . Негативы с размером рабочего поля  $5^\circ \times 5^\circ$  были получены на 1.0-метровой камере Шмидта обсерватории Ла Силла (Чили) на фотопластинках Eastman-Kodak IIIa-F в сочетании со светофильтром RG 630 в единой фотометрической системе  $r_F$ , [4]. Калибровка звездных величин проведена по CCD-фотометрии, выполненной для 1037 галактик и 1085 звезд, расположенных в 92 полях. Все возможные систематические ошибки фотометрии были тщательно исследованы и учтены [1]. Вместе с каталогом скоплений галактик APM [5], который покрывает приблизительно 4300 квадратных градусов той же части южного неба в синей спектральной области, эти два каталога представляют собой очень перспективный однородный набор данных для космологических исследований в южной части неба.

Подчеркнем высокое качество каталога галактик MRSS: он содержит только галактики (звезды отфильтровывались автоматической процедурой с дальнейшим визуальным контролем). Каталог включает 5.5 миллионов галактик и является полным до граничной звездной величины галактики  $r_F=18.3^m$ . Это означает, что все галактики, ярче этой величины, есть в каталоге. Для каждой галактики в каталоге приведены: номер по каталогу, размеры большой и малой осей, эллиптичность и позиционный угол изображения галактики, звездная величина в общей для всего каталога фотометрической системе  $r_F$ , экваториальные координаты в эпохе 2000.0. К сожалению, оценок расстояний в каталоге галактик MRSS нет, поэтому поиск скоплений и групп галактик мы проводили в двумерном варианте.

Распределение предельной звездной величины для всех 217 фотопластинок показано на рис. 1. Из рисунка видно, что предельные звездные величины для площадок обзора лежат в пределах от  $19.7^m$  до  $21.3^m$ , и только 8 площадок не содержат информации о галактиках слабее  $20.0^m$ .

Для детального исследования мы выбрали 4 площадки с большим количеством слабых галактик и провели анализ положений галактик в каждой из них. Информация о выбранных площадках представлена в таблице 1, в которой показано:

$N$  – общее количество галактик;

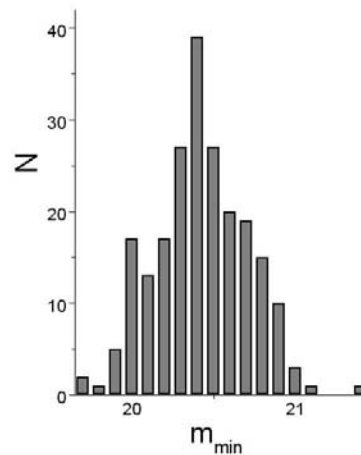
$N_{18}$  – количество галактик до звездной величины  $r_F=18.3^m$ , т. е. в пределах полноты каталога MRSS;

$N_{19}$  – количество галактик до звездной величины  $r_F=19.3^m$ ;

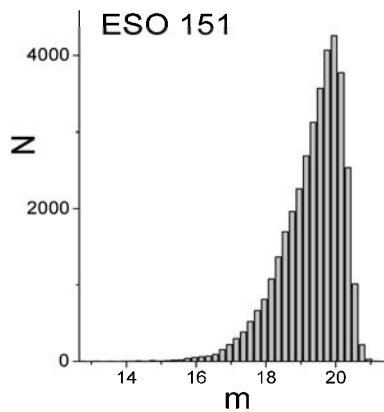
$m_{\max}, m_{\min}$  – звездные величины самой яркой и самой слабой галактики.

**Таблица 1.** Количество галактик и предельные звездные величины для четырех выбранных площадок

ESO field	$N$	$N_{18}$	$N_{19}$	$m_{\max}$	$m_{\min}$
52	29964	4337	13101	13.03	20.94
151	37030	4781	15163	12.7	21.38
252	41758	6609	18016	13.6	21.06
341	38219	5265	15914	11.94	20.78



**Рис. 1.** Распределение предельной звездной величины для всех 217 фотопластинок ESO



**Рис. 2.** Распределение по звездным величинам галактик в площадке ESO 151

На рис. 2 показана гистограмма распределения галактик по звездным величинам для одной из выбранных площадок – ESO 151. Для этой конкретной площадки можно утверждать, что до звездной величины  $19.8^m$  теорема Зелигера справедлива и список галактик в этих пределах полон. Все же для однородности результатов исследования как этих четырех, так и других глубоких площадок мы ограничилась списком галактик ярче  $19.3^m$ .

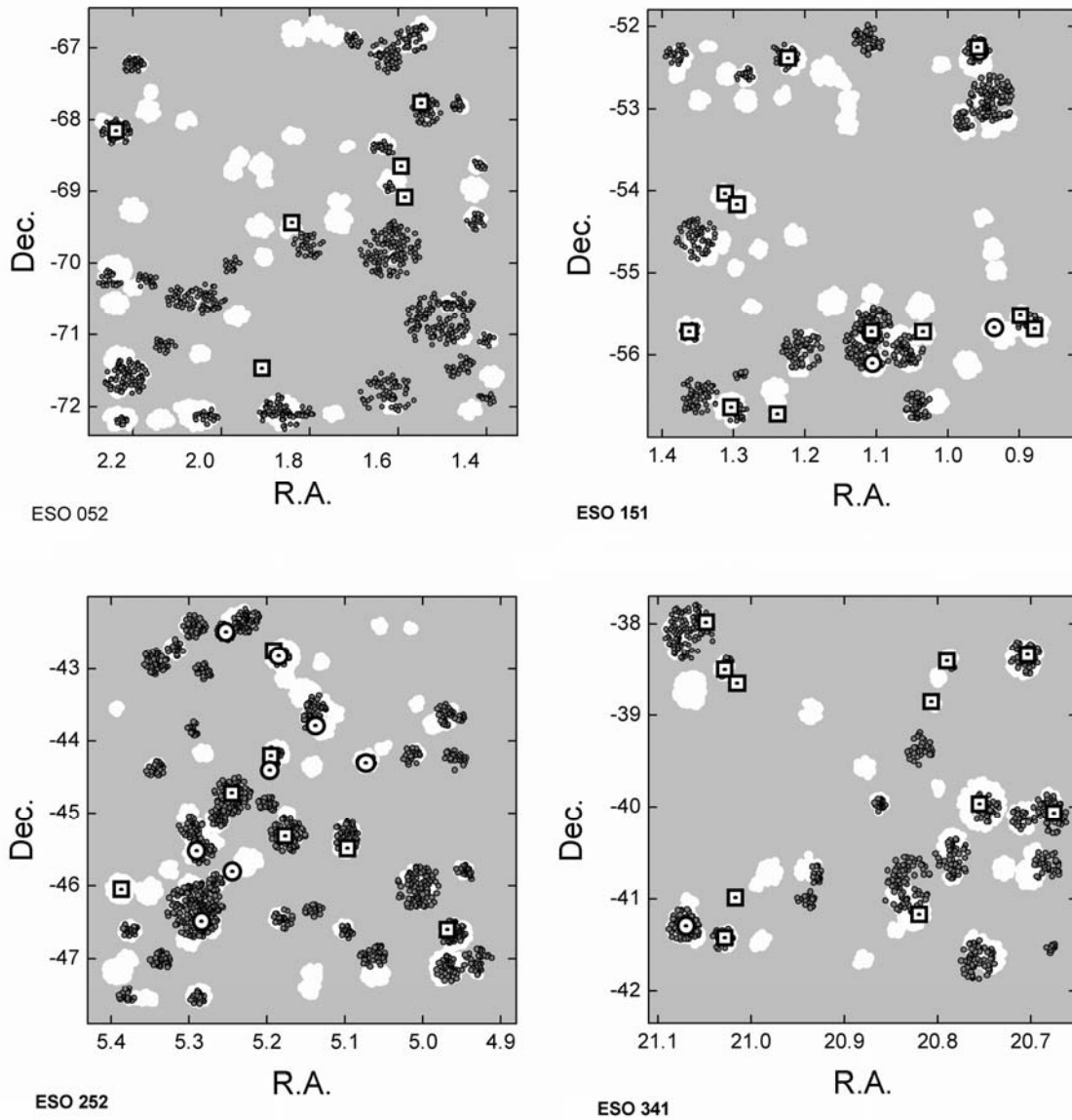
### Методика поиска скоплений и групп галактик

Для поиска областей повышенной плотности галактик в глубоких площадках мы выбрали методику построения мозаики Вороного (Voronoi Tessellation Technique), далее VTT. В последнее время эта методика применяется достаточно часто (например, статьи [6-10] и цитируемые в них). Применение метода VTT обосновывалось во многих работах. Как показали, например Рамелла и др. в работах [7, 11], Панько и Флин [9, 12], VTT позволяет обнаруживать как симметричные скопления объектов, так и скопления неправильной формы. Построение двумерной мозаики Вороного сводится к разбиению плоскости на многоугольные ячейки, в каждой из которых находится один и только один объект. Разбиение проводится таким образом, что каждая точка внутри ячейки Вороного расположена ближе к объекту, вокруг которого построена эта ячейка, чем к любому другому объекту. При этом плоскость естественным образом делится на участки, размер которых определяется только локальной плотностью объектов. Величина, обратная площади отдельной ячейки, принимается за локальную плотность объектов в пределах ячейки. Далее определяется контраст плотности, и это единственный параметр, значение которого приходится задавать [12]. Именно по контрасту плотности выделяются связные области, которые и интерпретируются как крупномасштабные структуры – скопления и группы галактик. Далее для каждой из найденных структур мы определяем параметры максимально близкого к внешнему контуру эллипса (размеры осей, эллиптичность и позиционный угол большой оси); количество галактик в пределах выделенной области и количество галактик в пределах выделенной области в интервале звездных величин до  $m_3+3^m$ , где  $m_3$  – звездная величина третьей по яркости галактики. Детально процедура описана в [2]. В добавок к вычисленным параметрам для каждой из найденных структур мы получаем полный список галактик в пределах структуры со всеми характеристиками каждой галактики, как это дано в MRSS [1].

### Результаты и обсуждение

Для каждой из четырех площадок мы провели поиск структур для всех галактик ярче  $19.3^m$ . Всего было проанализированы положения более чем 60 тысяч галактик. Для сравнения мы выбрали структуры из каталога PF. На рис. 3 показаны положения всех найденных структур для четырех площадок. Скопления и группы галактик для выборки ярче  $19.3^m$  показаны как белые

области. В дальнейшем мы будем называть эти объекты скоплениями расширенной выборки. Галактики, входящие в структуры каталога PF показаны как темные точки. Для всех площадок были также выбраны скопления галактик из каталогов ACO [13] и APM [5]. На рисунке центры этих скоплений показаны соответственно квадратными и круглыми символами.



**Рис. 3.** Положения скоплений и групп галактик в четырех глубоких площадках ESO. Скопления из каталога PF показаны серыми точками, белые области соответствуют скоплениям, найденным для выборки в пределах  $19.3^m$ . Центры скоплений галактик из каталогов ACO и APM отмечены соответственно квадратными и круглыми символами

Центр площадки ESO 052 лежит в точке с координатами R.A.= $1^h48^m$ , Dec.= $-69^{\circ}30'$ . Всего в этой площадке найдены изображения 30087 галактик в диапазоне звездных величин от  $13.03^m$  до  $20.94^m$ . В пределах полноты базового каталога в этой площадке расположено только 4355 галактик и 13101 галактик ярче  $19.3^m$ . В каталоге ACO в этой области находятся 6 скопления галактик, в каталог APM эта область не вошла. В каталоге PF пределах в площадке лежат 10 скоплений с количеством галактик больше 50. При анализе расширенной выборки найдено 55 структур, в 17 из которых насчитывается больше 50 членов. Самое большое скопление PF 0161-6984 (R.A.= $1.61^h$ , Dec.= $-69.84^{\circ}$ ) имеет размеры около 0.4 квад-

ратного градуса и содержит 261 галактику ярче  $m_3+3^m$ . Расположенная рядом структура с центром около точки  $R.A.=1.51^h$ ,  $Dec.=-70.7^\circ$  в каталоге PF подразделяется на 2, насчитывающие 109 и 38 галактик. Интересно, что для двух самых богатых скоплений каталога PF аналоги из расширенной выборки гораздо беднее – насчитывают меньше 50 галактик. Можно утверждать, что оба эти скопления расположены близко к нашей галактике. Две области с центрами  $R.A.=2.07^h$ ,  $Dec.=-69.63^\circ$  и  $R.A.=1.76^h$ ,  $Dec.=-70.9^\circ$  с радиусами  $0.6^\circ$  и  $1^\circ$  можно рассматривать как возможные войды.

Центр площадки ESO 151 лежит в точке с координатами  $R.A.=1.12^h$ ,  $Dec.=-54.4^\circ$ . На пластинке найдены изображения 37030 галактик от  $12.7^m$  до  $21.38^m$ . В пределах полноты базового каталога насчитывается только 4781 галактик, в расширенную выборку попадают 15163 галактик. В этой площадке находятся 7 скоплений каталога PF с количеством галактик больше 50; 11 скоплений каталога ACO и 2 скопления APM, причем совпадения между всеми тремя каталогами хорошее. 24 скопления расширенной выборки насчитывают больше 50 галактик. Все скопления ACO имеют аналоги среди скоплений расширенной выборки, в том числе и 4 скопления ACO, не имеющие аналогов в каталоге PF. Оба скопления APM соответствуют скоплениям расширенной выборки, но одно из них не имеет аналога ни в ACO, ни в PF. Возможный войд с радиусом  $1.1^\circ$  имеет координаты центра  $R.A.=1.08^h$ ,  $Dec.=-54.2^\circ$ .

Центр площадки ESO 252 имеет координаты  $R.A.=5.15^h$ ,  $Dec.=-45.0^\circ$ . В пределах полноты базового каталога насчитывается только 6609 галактик, в расширенную выборку попадают 18016 галактик. Это самая богатая галактиками площадка из всех 217 полей ESO. Она богата и скоплениями, возможных войдов не найдено. В пределах этой площадки находятся 7 скоплений ACO и 8 скоплений APM. В каталоге PF в этой площадке находятся 12 скоплений с количеством галактик больше 50. В расширенной выборке мы нашли 33 скопления с количеством членов больше 50. Самое большое из скоплений PF в этой площадке PF 0529-4634 ( $R.A.=05.29^h$ ,  $Dec.=-46.34^\circ$ ) насчитывает 199 галактик и занимает на небе  $0.5$  квадратного градуса. В расширенной выборке в этом скоплении количество галактик возрастает до 380, при этом аналог этому скоплению находится только в APM. Скопление PF 0500-4603 ( $R.A.=5.00^h$ ,  $Dec.=-46.03^\circ$ , площадь  $0.3$  квадратного градуса) насчитывает 99 галактик; в расширенной выборке оно подразделяется на 3 с количеством галактик 49, 51 и 44, однако соответствий ни в ACO, ни в APM не имеет.

В пределах площадки ESO 341 (координаты центра  $R.A.=20.85^h$ ,  $Dec.=-40.0^\circ$ ) в расширенной выборке найдено всего 11 скоплений с количеством галактик больше 50. При этом в каталоге ACO в этой площадке расположены 10 скоплений, в каталоге APM – 1; в каталоге PF только 7 скоплений насчитывают больше 50 галактик, хотя площадка в пределах полноты базового каталога насчитывает 5265 галактик, в расширенную выборку попадают 159141 галактик. Проглядываются две незаполненные области, но частично их границы лежат за пределами площадки. Третья пустая область радиусом  $0.7$  градуса имеет координаты центра  $R.A.=20.73^h$ ,  $Dec.=-39.15^\circ$ . Совпадение найденных скоплений с каталогами APM и ACO хорошее, хотя между собой они не совпадают.

Для всех четырех площадок можно отметить следующее: скопления и группы галактик, найденные при анализе расширенного списка галактик, дополняют и детализируют картину крупномасштабного распределения областей повышенной плотности галактик каталога PF. Положения скоплений каталогов ACO и APM вполне соответствуют найденным. Некоторые скопления каталогов ACO и APM, которые не имели соответствий в каталоге PF, в расширенной версии их находят. Только одно скопление ACO на все четыре площадки не имеет аналога в нашей работе. Это скопление ACO 2954. Различия положений скоплений галактик из разных каталогов связаны с наблюдательным материалом и методикой поиска.

Для каждой из найденных структур в числе основных параметров мы получили звездную величину десятой по яркости галактики  $m_{10}$ . Это дает возможность создать статистическую калибровку расстояний. В каталоге PF эта величина естественно ограничена значением  $r_F=18.3^m$ . Для структур расширенной выборки по всем площадкам  $m_{10}$  увеличивается до  $19^m$ , калибровочную зависимость можно будет построить с большей точностью.

## Заключение

Мы показали, что анализ расширенного списка галактик каталога MRSS дает дополнительную информацию о распределении галактик в картинной плоскости, проявляются статистически более дальние скопления. Реальность найденных скоплений подтверждается совпадениями с основными каталогами скоплений галактик ACO и APM, при этом мы получаем детальную картину крупномасштабного распределения галактик в проекции на небесную сферу. Области, в которых не найдены крупномасштабные структуры, прорисовываются более четко.

Дальнейшая работа в этом направлении будет посвящена анализу расширенного списка галактик в площадках ESO 28, 29, 32, 55, 76, в которых также есть информация о большом количестве слабых галактик.

Автор благодарит Академию Свентокшыскую (Польша) за частичную поддержку этой работы. В работе использованы данные, полученные в NASA's Astrophysics Data System Bibliographic Services.

## Литература

1. Ungruhe R., Seitter W. C., Duerbeck H. W. J. The Muenster Red Sky Survey: Large-scale structures in the universe. *J. Astron. Data.* 2003, vol. 9, pp. 1-12.
2. Panko E., Flin P. A Catalogue of Galaxy Clusters and Groups Based on the Muenster Red Sky Survey. *J. Astron. Data.* 2006, vol. 12, pp. 1-19.
3. Panko E., Flin P. A new galaxy supercluster? *Astron.&Astrophys. Trans.* 2006, vol. 25, pp. 445-462.
4. Couch W. J., Newell E. B. Photometric System for Limiting JF Photography. Part One - the Primary Standards. *Astron. Soc. of the Pacific. Publ.* 1980, vol. 92, pp. 746-751.
5. Dalton G. B., Maddox S. J., Sutherland W. J. and Efstathiou G. The APM galaxy survey. V. Catalogues of galaxy clusters. *MNRAS*, 1997, vol. 289, pp. 263-284.
6. Icke V., van de Weygaert R. Fragmenting the universe. *Astron. Astroph.* 1987, vol. 184, pp. 16-32.
7. Zaninetti L. Dynamical Voronoi tessellation. I – The two-dimensional case. *Astron. Astroph.* 1989, vol. 224, pp. 345 -350.
8. Ramella M., Nonino M., Boschin W., Fadda D. Cluster Identification via Voronoi Tessellation. *Observational Cosmology: The Development of Galaxy Systems*, ASP Conference Series, vol. 176, edited by G. Giuricin, M. Mezzetti and P. Salucci (Astronomical Society of the Pacific, San Francisco, California) 1999, pp. 108-112.
9. Panko E., Flin P. Application of the Voronoi Tessellation Technique for Galaxy Cluster Search in the Munster Red Sky Survey. "Outskirts of Galaxy Clusters: Intense Life in the Suburbs", IAU Colloquium 195, edited by A. Diaferio (Cambridge University Press, Cambridge), 2004, pp. 245–247.
10. Vavilova I., Melnik O. Voronoi tessellation for galaxy distribution. *Mathematics and its Applications.* 2005, vol. 55, pp. 203-212.
11. Ramella M., Boschin W., Fadda D., Nonino M. Finding galaxy clusters using Voronoi tessellations. *Astron. Astroph.* 2001, Vol. 368, pp. 776-786.
12. Panko E., Flin P. Distribution of galaxies in clusters A2333 and A3846. *Astrophysics and Cosmology after Gamov. Proceedings of the Gamov Memorial International Conference* Ed. By S. Bisnovaty-Kogan, S. Silich, E. Terlevish et al. (Cambridge Scientific Publishers, Cambridge, UK), 2007, pp. 293-297.
13. Abell G. O., Corwin H. G., Olowin R. P. A catalog of rich clusters of galaxies. *Astrophys. J. Suppl. Ser.* 1989, vol. 70, pp. 1-138.

## Скупчення та групи галактик в полях ESO 052, 151, 252, 341

### О. О. Панько

На базі каталогу галактик Мюнстерського червоного огляду неба для чотирьох ділянок південного неба розміром  $5^\circ \times 5^\circ$  проаналізовано положення 63000 галактик зоряної величини до  $r_F = 19.3^m$  в фотометричній системі каталогу. Пошук областей підвищеної концентрації галактик виконувався за методикою побудови двовимірної мозаїки Вороного. Знайдені області підвищен-

ної концентрації інтерпретовано як скупчення і групи галактик. Для кожної із знайдених структур визначено її форму у проекції на картинну площину і одержано список галактик у полі структури. Знайдені деталі великомасштабного розподілу галактик у досліджуваних полях добре підтверджуються порівнянням з основними каталогами скупчень галактик АСО, АРМ та новим каталогом скупчень і груп галактик РР. Області, де концентрація галактик нижча середньої, інтерпретовано як можливі войди.

## **Galaxy Clusters and Groups in ESO Fields 052, 151, 252, 341**

**E. A. Panko**

The observational basis for this study was The Galaxy Catalogue of the Münster Red Sky Survey. The positions of about 63000 galaxies brighter than  $19.3^m$  (catalogue photometric system) in four  $5^\circ \times 5^\circ$  fields were studied. The analysis employed the Voronoi tessellation method for the galaxy cluster search. Areas exhibiting increased concentrations of galaxies were interpreted as galaxy clusters and groups. We obtained both shape of each galaxy cluster and list of galaxies in cluster field. Our results were compared with the galaxy clusters of the ACO and APM catalogs, as well as with the new PF catalog of galaxy clusters and groups. Areas exhibiting below-average concentrations of galaxies were interpreted as possible voids.