РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ НАУК

ИЗВЕСТИЯ ГЛАВНОЙ АСТРОНОМИЧЕСКОЙ ОБСЕРВАТОРИИ В ПУЛКОВЕ

№ 219

Выпуск 3

Труды Второй Пулковской молодежной конференции

Санкт-Петербург
2009

РАНГОВЫЙ АНАЛИЗ КОСМИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Хайбуллов Р.А.
Ульяновский государственный университет, г. Ульяновск, Россия

Функциями науки является добывание нового знания, систематизация знаний, объяснение явлений и законов окружающего мира, а также создание научной целостной картины мира. К одному из наиболее общих законов развития биологической, технической, социальной систем относится закон рангового распределения (ЗРР). *Ранговое распределение* – это распределение, полученное в результате ранжирования. Под ранжированием понимается процедура упорядочения объектов системы по убывающей степени выраженности какого-либо качества, то есть выстраивание последовательности значений W параметра некоторой совокупности объектов, поставленных соответственно рангу. *Ранг* – это номер объекта по порядку в этом распределении (1, 2, 3…). Разнообразие параметров объектов устойчивой и стабильной системы математически выражается гиперболическим распределением Ципфа или законом рангового распределения (*H*-распределением) [1]:

$$W = A / r^{\beta}, \qquad (1)$$

где W – ранжируемый параметр; r – ранговый номер объекта; A – максимальное значение параметра объекта с рангом r =1, т.е. в первой точке (или коэффициент аппроксимации); β – ранговый коэффициент, характеризующий степень крутизны гиперболы.

Теория рангового анализа была перенесена из биологии и разработана для технических систем (техноценозов) более 30 лет назад профессором МЭИ Б.И. Кудриным (www kudrinbi.ru) [2, 3]. Как затем оказалось, устойчивость и стабильность других систем – экономических, экологических, лингвистических, социальных определяется выполнимостью ЗРР (1). Применением ЗРР в различных областях знаний занимается *ценология.*

Терминология в ценологическую теорию перенесена Б.И. Кудриным из теории биоценозов. Термин «*биоценоз»*, введённый Мёбиусом (1877), лёг в основу экологии как науки. Понятия «ценоз» («ценоз» – это сообщество), «особь», «популяция», «вид» перенесены из биологии в технику, а затем и во все другие ценологические направления различных областей знания. В ценологии *особь* – это объект ранжирования, элемент ценоза. Например, в технике «особи» – это отдельные технические устройства или их технические параметры, в социуме – это люди, в биосистемах, экосистемах – это растения, животные и т.д. *Ценозом* называют совокупность объектов системы, которые при ранжировании подчиняются ЗРР (1). Например, такая совокупность технических особей называется техноценозом, совокупность социальных объектов – социоценозом и т.д.

Ниже приведены примеры применимости ЗРР в различных областях знаний. На рис. 1 представлен техноценоз – ранговое распределение электропотребления промышленных предприятий [4].

Рис. 1. Ранговое гиперболическое *H*-распределение электропотребления предприятий W (r). Точки – эмпирические данные; сплошная линия – аппроксимационная кривая.

Рисунок 2 иллюстрирует социоценоз – ранговое распределение общего количества студентов W вузов по регионам РФ [5].

Рис. 2. Ранговое распределение количества студентов вузов по регионам Российской Федерации W(r), тыс. с аппроксимацией, где r – ранговый номер региона; A = 1170±30, (тыс.), β = 0,90± 0,05, корреляция – 0,97; r = 1 – г. Москва; r = 2 – г. Санкт-Петербург; r = 3 – Свердловская обл.; r = 4 – р. Татарстан; r = 5 – Ростовская обл.; r = 6 – Самарская обл.; r = 7 – Краснодарский край; r = 8 – Новосибирская обл.

Если ранжируется какой-либо параметр ценоза (системы), то распределение называется *ранговым параметрическим***.** В качестве ранжируемых параметров в техноценозах выступают технические параметры, характеризующие особь, например, размер, масса, мощность потребления, энергия излучения и т.д. В социоценозах, в частности, педагогических ценозах, ранжируемыми параметрами могут быть успеваемость, рейтинг в баллах участников олимпиад или тестирования; число учащихся, поступивших в вузы и так далее, а ранжируемыми объектами – сами учащиеся, классы, учебные группы, школы и так далее.

Если в качестве параметра рассматривается численность видов объектов, входящих в систему (на ценологическом языке – численность особей, составляющий вид в ценозе или мощность популяции), то в этом случае распределение называется *рангово-вым видовым*. Таким образом, в ранговом видовом распределении ранжируются виды. То есть особью является вид, а параметр W выражает число объектов, составляющих вид.

На основании многих экспериментальных данных установлено, что ценозы математически описываются с помощью гиперболических ранговых распределений (1). При этом наиболее устойчивые и эффективные системы описываются идеальной гиперболой с $\beta = 1$ [2-4].

Метод рангового анализа почти не разработан применительно к астрономической области знания. В астрономии известно распределение Хольцмарка для интенсивности гравитационного поля звёздных систем, которое имеет вид устойчивого негауссова распределения с характеристическим показателем 1,5. Методика применения рангового анализа для космических систем разработана недостаточно. В частности, определение параметров ранговой системы A и β осуществляется, в основном, непосредственно при аппроксимации экспериментальных кривых математической зависимостью (1) с помощью компьютерных технологий. Метод спрямления степенных функций в двойных логарифмических координатах, широко используемый физиками-исследователями, при изучении астроценозов не применялся. Между тем необходимо чётко ответить на вопрос: «Является ли наша галактика ценозом, а Солнечная система – частью ценоза»?

В работе [6] на основании рассмотрения только параметрических ранговых распределений объектов астрономических систем (галактики, планеты, спутники планет, яркие звезды на небе и пр.) даётся положительный ответ на этот вопрос. Однако авторы проводили аппроксимацию только полученных реальных гипербол, тогда как, чтобы доказать ценозность системы, необходимо проводить спрямление гипербол в двойных логарифмических координатах. Кроме того, авторы не проводили статистическую оценку результатов – расчёт погрешностей измерений.

Вышесказанное позволяет заключить, что проверка применимости ЗРР к космическим системам проведена с недостаточной достоверностью.

Целью настоящего исследования являлась дальнейшая проверка применимости теории рангового анализа к космическим системам. В связи с поставленной целью решались следующие задачи:

– исследование *рангово-видовых* распределений космических систем;

– проверка применения ЗРР к космическим системам с применением метода спрямления гиперболических ранговых распределений в двойном логарифмическом масштабе, что существенно повышает достоверность результатов;

– определение масштабов применимости теории рангового анализа к космическим системам;

– определение допустимых границ значений исследуемых параметров и погрешностей вычислений параметров A и β.

В настоящей работе приведены результаты проверки применимости закона рангового распределения к Вселенскому масштабу в виде параметрических ранговых распределений и в виде *рангово-видовых* распределений космических объектов. Методика рангового анализа дополнена этапом спрямления графического рангового H-распределения в двойных логарифмических координатах. Тангенс угла наклона прямой к оси абсцисс определяет параметр β. Принадлежность астрономических систем к ценозам доказана спрямлением ранговых распределений в двойных логарифмических координатах.

Обработка результатов и построение кривых, расчёт погрешностей измерений осуществлялись с помощью компьютерной программы Origin. Pro 7.5. Доверительный интервал допустимых значений рассматриваемых параметров составлял 2-5%.

Методика проверки на «ценозность», то есть принадлежность объектов системы к ценозу, включает в себя этапы-процедуры:

1. *Выделение системы для проверки на соответствие ЗРР.*

2. *Построение табулированного рангового распределения* параметров системы. Табулированное ранговое распределение по форме представляет собой таблицу из двух столбцов: параметров особей W выстроенных по рангу и рангового номера особи r (параметрического или видового).

Первый ранг присваивается особи, имеющей максимальное значение параметра, второй – особи, имеющей наибольшее значение параметра среди особей, кроме первой, и так далее.

3. *Построение графического рангового распределения* (параметрического или рангового видового). Все данные берутся из табулированного распределения. По оси абсцисс откладывается ранговый номер r , по оси ординат – исследуемый параметр W. График рангового распределения есть совокупность точек: каждой точке графика соответствует определенная особь или вид ценоза. Кривая Н-распределения имеет вид гиперболы.

4. *Аппроксимация распределений.* Суть метода аппроксимаций заключается в отыскании таких параметров аналитической зависимости, которые минимизируют сумму квадратов отклонений реально полученных эмпирических значений от значений, рассчитанных по аппроксимационной зависимости. Произвести аппроксимацию реального распределения математической зависимостью (1) и определить параметры гиперболы A и β целесообразно с помощью компьютерных программ.

5. *Аппроксимация гиперболы математической зависимостью (1) методом спрямления.* Применение метода спрямления к гиперболе включает следующие действия:

- Прологарифмируем зависимость (1):

$$\mathrm{Ln}\,(W) = \ln A - \beta \ln r. \qquad (2)$$

- Обозначим:

$$\mathrm{Ln}(W) = y; \quad \mathrm{Ln}A = b = \mathrm{const}; \quad \mathrm{Ln}\,r = x. \qquad (3)$$

- Представим функцию (2) с учётом (3) в виде:

$$У = b - \beta\, x. \qquad (4)$$

Уравнение (4) – это линейная функция. При построении линеаризованной гиперболы по оси ординат откладывается Ln(W), а по оси абсцисс – Ln r.

- Составим таблицу экспериментальных (реальных) значений ln (W) и ln r.

Таблица 1.

r	W	Название особей (объектов ранжирования)	ln r	ln (W)	$\beta \pm \Delta\beta$	$A \pm \Delta A$
1.						
2.						

- Построим экспериментальный график зависимости

$$\ln (W) = f (\ln r).$$

- Проведём линию спрямления таким образом, чтобы большинство точек легло на прямую линию и оказалось вблизи неё.
- Определим границу допустимых значений параметра W и погрешности измерений $\Delta\beta$ и ΔA также с помощью компьютерной программы.
- Сравним графическое распределение с табулированным распределением по этапам:

  - нахождение аномальных точек по графику;
  - определение их координат и их идентификация с особями по табулированному распределению;
  - анализ причин аномалий и поиск способов их объяснений.

6. *Анализ ценоза.* Анализ системы (ценоза) состоит в сравнении идеальной кривой с реальной и выявлении аномальных точек, выпадающих из доверительного интервала значений параметра, После выявления аномалий на графическом распределении по табулированному распределению определяются особи, «ответственные» за аномалии. Далее дается объяснение выявленному несоответствию. Если система – ценоз управляема человеком, как в случае техноценозов, экономических и социальных ценозов – намечаются конкретные практические меры по устранению аномалий. В этом состоит сущность и практическая ценность рангового анализа. Для астрономических ценозов, биологических ценозов, в процессы развития которых невозможно вмешательство человека, можно лишь анализировать, объяснять происходящее и пытаться прогнозировать прошлое и будущее этих систем.

Ниже приведены результаты наших исследований. При этом построение рассмотренных в работе графиков не являлось выборочным или целенаправленным. Брались любые таблицы астрономических величин, наиболее полно отражающие параметрические характеристики ценоза.

Также как и опушка леса являет собой биоценоз, в котором представлены разнообразные виды растений, наша галактика представляет собой астроценоз, состоящий из различных объектов, объединённых в виды: звёзды, туманности, звёздные скопления, переменные звёзды и т.д. В галактике (как и на опушке леса) есть редкие виды, представленные несколькими особями и есть самый многочисленный вид объектов, представляющий самую многочисленную касту ценоза (субкарлики).

На рис. 3а представлено ранговое распределение ближайших галактик по массам. На рис. 3б – этот же график в двойном логарифмическом масштабе в виде прямой. Спрямление доказывает принадлежность данного распределения к распределению Ципфа (1).

а)

б)

Рис. 3. Ранговое распределение масс ближайших галактик, выраженных в солнечных массах (A= 1002 ±16; β = 1,600 ±0,045):
а) График W(r); б) График ln W= f(ln r).

На рисунке 4 а, б представлено ранговое распределение орбитальных периодов пульсаров.

а)

б)

Рис. 4. Ранговое распределение орбитальных периодов пульсаров A = 548±12; β = 1,48±0,04.
а) График W(r); б) График ln W = f(ln r).

На рис. 5 а, б представлено рангово-видовое распределение классов звёзд нашей галактики по температуре их поверхности. Данные для построения распределения взяты из спектральной классификации звёзд, разработанной в Гарвардской обсерватории в 1890–1924 гг.

а)

б)

Рис. 5. Рангово-видовое распределение классов звёзд нашей галактики по температуре их поверхности, W – температура поверхности звезды определённого класса звёзд (К), r – ранговый номер класса звёзд; A = 81892±3402; β = 1,33±0,06.

а) График W(r); б) График ln W= f(ln r).

1 – W (голубые), 2 – O (голубые), 3 – B (голубовато-белые), 4 – A (белые), 5 – F (желтоватые), 6 – G (желтые), 7 – K (оранжевые), 8 – M (красные), L – (темно-красные), T – (коричневые)

Рис. 8 иллюстрирует рангово-видовое распределение теоретически рассчитанного населения нашей галактики по видам космических объектов, построенное с использованием данных таблицы 46.19 [7, с. 985].

Рис. 8. Рангово-видовое распределение населения нашей галактики, W – численность вида (теоретически рассчитанное количество объектов подсистемы), r – ранговый номер вида (подсистемы); $A = 10^{11} \pm 0{,}05 \cdot 10^{11}$; $\beta = 6{,}64 \pm 0{,}014$.

а) График W(r); б) График ln W = f(ln r).

При этом ранговое распределение численности населения нашей галактики представлено следующими видами космических объектов [7, с. 985]: 1 – субкарлики, 2– белые карлики, 3 – тёмные пылевые туманности, 4 – долгопериодические переменные звёзды, 5 – новые звёзды, 6 – звёзды класса B, 7 – Планетарные туманности, 8– долгопериодические переменные с периодом P = 150-200 дней, 9 – переменные типа RV Тельца, 10 – звёзды класса RN, 11 – рассеянные звёздные скопления, 12 – долгопериодические цефеиды, 13 – долгопериодические цефеиды типа W Девы, 14 – короткопериодические цефеиды, 15 – звёзды класса O, 16 – звёзды класса S, 17 – шаровые звёздные скопления.

Также построены табулированные и графические ранговые распределения:
– распространённости элементов в космосе;
– светимости рентгеновских пульсаров;
– периодов полуправильных переменных звезд и другие (в статье не приводятся).

Таким образом, полученные результаты свидетельствуют:

- закон рангового параметрического и рангово-видового *H*-распределения применим к процессам вселенского масштаба;
- получено соответствие реальных и теоретических зависимостей параметрических и рангово-видовых распределений астрономических объектов нашей галактики, подтверждающее, что наша галактика является ценозом;
- астрономическая картина Мира дополнена еще одним элементом знания – представлением о ранговых распределениях космических объектов систем, которые могут быть описаны распределением Ципфа.

В заключение автор благодарит научного руководителя проф. Р.В. Гурину за консультации и помощь в работе.

Литература

1. *Zipf J.K.* Human behaviour and the principle of least effort [Текст] // J.K. Zipf. – Cambridge (Mass.): Addison-Wesley Pres, 1949, XI. – 574 p.
2. *Кудрин Б.И.* Введение в технетику. 2-е изд., переработанное, дополненное. Томск: Изд. Томск. госуниверситета, 1993. – 552 с.
3. *Кудрин Б.И.* Техногенная самоорганизация. Для технариев электрики и философов // Вып. 25. «Ценологические исследования». – М.: Центр системных исследований. – 2004. – 248 с.
4. *Гнатюк В.И.* Закон оптимального построения техноценозов: Монография / Ценологические исследования. – Вып.29. – М.: Изд-во ТГУ – Центр системных исследований, 2005. – 384 с.
5. *Гурина Р.В., Хайбуллов Р.А.* Ценологический подход в образовании // Учёные записки Педагогического института Саратовского государственного университета им. Н.Г. Чернышевского. Серия Психология. Педагогика, 2009, том 2, №1 (5). – С.56-62.
6. *Гурина Р.В., Ланин А.А.* Ценологические исследования космических объектов// Тр. Международного форума по проблемам науки, техники и образования. Т.3 / Под ред. В.П. Савиных, В.В. Вишневского. – М.: Академия наук о Земле, 2004. – С.6-8.
7. Таблицы физических величин. Справочник. / Под ред. акад. И.К. Кикоина. - М.: Атомиздат, 1976. – 1008 с.

RANK ANALYSIS OF COSMIC SYSTEMS

Khaibullov R. A.
Ulyanovsk State University

The given article deals with the possibilities of using the rank analysis for investigation of the quality of the astronomy systems. The curves of rank distributions objects of **c**osmic systems correspond to the classical H-distribution of Zipf. Rank analysis is the one of methods of cosmic systems investigation. World astronomy picture is added by the knowledge element – rank H-distribution objects in cosmic systems.