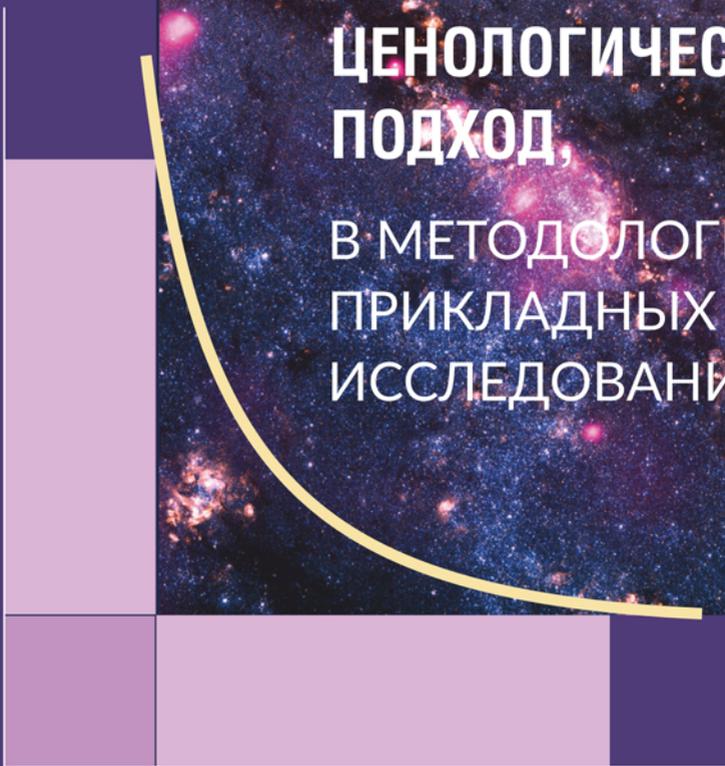


**РАНГОВЫЙ
АНАЛИЗ,
ИЛИ
ЦЕНОЛОГИЧЕСКИЙ
ПОДХОД,
В МЕТОДОЛОГИИ
ПРИКЛАДНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ**

Р. В. Гурина, Д. А. Евсеев



**Р. В. Гурина
Д. А. Евсеев**

**РАНГОВЫЙ АНАЛИЗ, ИЛИ ЦЕНОЛОГИЧЕСКИЙ ПОДХОД,
В МЕТОДОЛОГИИ ПРИКЛАДНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ**

**Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования
«Ульяновский государственный университет»**

Р. В. Гурина, Д. А. Евсеев

**РАНГОВЫЙ АНАЛИЗ,
ИЛИ ЦЕНОЛОГИЧЕСКИЙ ПОДХОД,
В МЕТОДОЛОГИИ
ПРИКЛАДНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ**

**Ульяновск
2018**

УДК 373.6:370.1
ББК 74/265/1+74/04
Г95

*Печатается по решению Ученого совета
инженерно-физического факультета высоких технологий
Ульяновского государственного университета
(протокол № 11 от 19 июня 2018 г.)*

Рецензенты:

доктор технических наук, профессор, академик Российской экологической академии,
профессор НИУ МЭИ **Б. И. Кудрин**;
доктор педагогических наук, ведущий научный сотрудник
Научно-учебного музея землеведения МГУ **М. А. Винник**

Гурина Р. В.

Г95 Ранговый анализ, или ценологический подход, в методологии прикладных исследований: [моногр.] / Р. В. Гурина, Д. А. Евсеев. – Ульяновск : УлГУ, 2018. – 287 с.
ISBN 978-5-88866-748-4

В монографии рассматриваются возможности использования в методологии научных исследований гиперболического закона рангового распределения на примере результатов исследований в естественно-научной (астрофизика) и гуманитарной (педагогика) областях знаний. Показана применимость ценологического подхода для изучения астрофизических систем на разных уровнях самоорганизации и возможностей прогнозирования их состояния. Выявлены закономерности функционирования образовательных систем и указаны пути их оптимизации с помощью рангового анализа, а также показано его использование для оценки и контроля качества обучения в общеобразовательных учреждениях.

Основная часть материалов, приведенных в монографии, является результатом оригинальных исследований авторов. Главы 1-4, 6 написаны Р. В. Гуриной, глава 5 – Р. В. Гуриной в соавторстве с Д. А. Евсеевым.

Монография предназначена для научных работников, аспирантов, преподавателей, студентов вузов и учреждений СПО, а также может быть интересна учителям и педагогам дополнительного образования.

УДК 373.6:370.1
ББК 74/265/1+74/04

ISBN 978-5-88866-748-4

©Гурина Р. В., Евсеев Д. А., 2018
©Ульяновский государственный университет, 2018

Список сокращений

- РР – ранговое распределение
- ГРР – гиперболическое ранговое распределение
- ЗРР – закон рангового распределения
- РА – ранговый анализ
- КМ* – космический мусор
- ИСЗ – искусственный спутник Земли
- ВВП – валовый внутренний продукт
- КМ – картина мира
- НКМ – научная картина мира
- ФКМ – физическая картина мира
- ИМС – интегральная микросхема
- СС – Солнечная система
- ОУ – образовательное учреждение
- СВ – случайная величина
- ЭПС – экзопланетные системы

Высшим долгом физиков является поиск тех общих элементарных законов, из которых путем чистой дедукции можно получить картину мира.

А. Эйнштейн

Введение

Наряду с вероятностными способами описания систем материального мира – распределением Больцмана, Максвелла, Гаусса, Ферми и др., многие реальные системы описываются *гиперболическими ранговыми распределениями* (ГРР). ГРР – неотъемлемая часть теоретических знаний о ценозах в третьей научной картине мира (НКМ). Применение ГРР для изучения и оптимизации ценозов составляет ядро рангового анализа (РА), или ценологического подхода.

Ценологическая теория была создана Б.И. Кудриным около 40 лет назад для техноценозов и быстро распространилась на новые области знаний последователями его школы (сайты <http://www.kudrinbi.ru>; <http://www.gnatukvi.ru>; <http://gurinarv.ulsu.ru>). В настоящее время в России и за рубежом в технике, экономике, биологии, социологии, науковедении и других естественных и общественных науках ценологический подход общепризнан. Особенно продуктивно он работает в сфере энергетики (Б.И. Кудрин, В.И. Гнатюк, Б.В. Жилин, В.А. Седнев, О.Е. Лагуткин и др.).

Однако РА не применялся в области астрофизики, поэтому апробация ценологического подхода в глобальных космических масштабах явилась важной задачей. В течение последних 10 лет РА апробировался в области физики и астрофизики на кафедре физических методов в прикладных исследованиях инженерно-физического факультета высоких технологий (ИФФВТ) Ульяновского государственного университета (УлГУ). Исследования показали, что совокупности космических объектов многих систем

(галактики, Солнечная система, скопления галактик и т.д.) представляют собой ценозы (космоценозы/астроценозы). Астроценозы отличаются от техноценозов и социоценозов тем, что человек не может влиять на их состояние, изменять и оптимизировать их: в космосе объекты жестко связаны между собой силами тяготения, определяющими их поведение.

Метод РА, разработанный Б.И. Кудриным, В.И. Гнатюком и др. для техноценозов, был адаптирован применительно к астроценозам с учетом их специфики и впервые применен для исследования ГРР параметров астрофизических систем на всех космических уровнях, в том числе для изучения экзопланетных систем, что обуславливает **актуальность и новизну** исследования.

На настоящий момент известно, что техническим системам-ценозам присуще свойство фрактальности. Как известно, понятие «*фрактал*» означает *бесконечное подобное повторение исходной фигуры*. Фрактал – структура, состоящая из самоподобных элементов. Однако для техноценозов фрактальность заключается в единстве свойств ранговых распределений (РР) и применяемого математического аппарата для описания ГРР на разных технологических уровнях. Техноценозы обладают свойством *вложенности*, т.е. системы низшего иерархического уровня рассматриваются как подсистемы более высокого уровня иерархии (предприятие – ценоз, состоящий из отделов (цехов-ценозов), область – ценоз, состоящий из предприятий и т.д.).

В главах 1 и 2 рассмотрены самоорганизующиеся системы с ГРР объектов в них и теория рангового анализа (ценологический подход). Формализованно структуру техноценоза любой ступени можно описать единым математическим выражением – законом гиперболического рангового распределения (*H*-распределением или «ципфойдой»): $W = A/r^\beta$ (формула 1.1 в главе 1), где W – ранжируемый параметр; r – ранговый номер (1, 2, 3...); A – максимальное значение параметра особи с рангом $r = 1$, т.е. в первой точке; β – ранговый коэффициент или степень крутизны гиперболы.

То же самое обнаружено в астрофизике: многие системы на разных космических уровнях – на планете Земля, в Солнечной системе, галактике, метагалактике, на микроуровне – являются также ценозами и описываются гиперболическим ранговым распределением (1.1), что показано в главе 3.

Самоподобие ГРР астрофизических ценозов согласуется с Теорией Бесконечной вложенности материи, обосновывающей иерархическую организацию природы: от элементарных частиц до мегаобъектов Вселенной. При этом выделяются *атомный, звездный и галактический уровни*. Однако, как указывалось выше, в нашем случае фрактальность выражена не в геометрическом самоподобии объектов на разных иерархических уровнях, а в самоорганизации материальных объектов на всех уровнях в *ценозы*, свойства которых описываются единым математическим аппаратом. Иными словами, в основе фрактальности, рассматриваемой в данной работе (*ценологической фрактальности*), – закон ГРР, по которому самоорганизуются космические объекты на всех уровнях, что составляет *новизну* исследования.

В данной работе рассматриваются также методы оценки степени соответствия ранговых распределений космических объектов закону ГРР на разных космических уровнях. В качестве оптимального выбран метод линейной корреляции Пирсона. С помощью этого метода доказана тесная связь между ГРР астрофизических объектов на разных космических уровнях, а также между ГРР экзопланет разных внесолнечных планетных систем по орбитальным и физическим параметрам (глава 3).

Известно, что разнообразие является важнейшей характеристикой систем и их устойчивости. Существует много методов его оценки. В данной работе рассмотрена, доказана и апробирована возможность применения метода Шеннона для оценки разнообразия глобальных систем космоса, а также предложен новый индекс оценки разнообразия для ГРР – величина, обратная ранговому коэффициенту – $1/\beta$ (глава 4). Предложенный индекс адекватно отражает разнообразие гиперболических ранговых распределений, отличается простотой вычисления и наглядностью.

Таким образом, *новизна* исследования также заключается в применении рангового анализа в области астрофизики с целью обнаружения самоорганизующихся космических систем на разных космических уровнях в гиперболические ранговые распределения и в определении метода оценки их разнообразия.

Исследование ГРР экзопланетных систем и сравнение с ГРР параметров объектов Солнечной системы дало неожиданные результаты: выявлена высокая степень их схожести, а это дает основание предположить, что кос-

могониические процессы образования планетных систем происходят по строго детерминированному сценарию. При этом космические объекты самоорганизуются в системы с негауссовыми гиперболическими ранговыми распределениями. Но каков механизм такой самоорганизации, пока не ясно.

Однако из логики вышесказанного возникает вопрос: «Существуют ли вообще в космосе системы с нормальным (гауссовым) распределением объектов?»

В ходе исследования было высказано предположение, что таковыми являются ударные (метеоритные) кратеры на планетах Солнечной системы, так как процессы их образования, скорее всего, носят случайный характер. Возникла задача проверки этого предположения, решение которой вылилось в отдельное интересное теоретическое исследование соответствия ГРР и гауссового распределений, изложенное в главе 5. Ранговое распределение кратеров Земли, Марса, Луны, Венеры, Титана по диаметрам оказалось гиперболическим, негауссовым.

Применение метода РА к изучению астрофизических систем позволило выявить прогностические возможности РА на примере определения физических и орбитальных параметров гипотетических планет Солнечной системы – Фаэтона и планеты X пояса Койпера (глава 6).

Ценология и ценологические представления стали неотъемлемой частью общей третьей научной картины мира, что свидетельствует об универсальности закона ГРР, его важности в системе научных знаний, значимости на философском уровне и в теории познания. Поэтому изучение и исследование систем с ГРР объектов на всех уровнях материального мира является *актуальным*. Следует отметить, что изучение ранговых распределений выходит за рамки образовательных вузовских программ и осуществляется на уровне исследовательских проектных выпускных квалификационных работ бакалавров и магистров. Представления о негауссовых статистиках в виде ГРР формируют адекватное восприятие реального мира. Место ценологии в современной научной картине мира и проблемы включения ценологических знаний в содержание современного образования рассматриваются в главе 6.

Таким образом, в монографии ценологическая теория развита применительно к областям астрофизики и образования, что определяет *теоретическую и практическую значимость* исследования.

Особенностью данной работы является плодотворное участие в исследовании студентов ИФФВТ, благодаря которым обработан обширный эмпирико-статистический астрономический материал в процессе решения поставленных задач, Результаты их научных поисков нашли отражение в выпускных квалифицированных работах, магистерских диссертациях, статьях и материалах конференций.

Изложенные в монографии результаты и выводы вносят вклад в методологию научных исследований и дополняют астрофизическую и, в целом, научную картину мира.

*...Вы верите в Бога, играющего в кости,
я – в полный закон и порядок в мире,
который существует объективно...*

Из письма А. Эйнштейна к Макс Бурну

Глава 1. САМООРГАНИЗАЦИЯ – ЗАКОН ПРИРОДЫ

1.1. Свойства синергетических систем и закономерности их образования

Синергетика как новое научное направление, связанное с процессами самоорганизации в природе, возникло во второй половине прошлого столетия. Авторы учения – Г. Хакен и И. Пригожин [1-4]. Их теория возникла из наблюдений над некоторыми **неравновесными физическими и химическими процессами в открытых системах** в условиях обмена с окружающей средой (химическими реакциями, образованием ячеек Бенара в жидкости, работой лазера, турбулентным движением жидкости, поведением ферромагнетиков и др.).

В таких системах имеет место протекание потоков вещества, энергии, заряда и т.д. Классическое поведение синергетического процесса самоорганизующейся системы описывается нелинейным и неустойчивым состоянием, в результате чего система попадает в точку невозврата, названную **точкой бифуркации**. Точка бифуркации – момент кризиса, потери устойчивости, когда возникает несколько путей развития, один из которых (узкий коридор) отличается значительной устойчивостью. Этот коридор (аттрактор) приводит систему в новое устойчивое состояние. Синергетический процесс характеризует *непредсказуемость пути выхода из точки бифуркации (прошлое влияет на будущее, но не определяет его)*.

Самоорганизация в природных и социальных системах как самопроизвольное возникновение **упорядоченных неравновесных структур** про-

исходит в силу объективных законов природы и общества. При этом условиями возникновения синергетических процессов являются [1-7]:

- обмен с окружающей средой (открытость систем);
- случайность – случайная природа внешних или внутренних воздействий;

- неустойчивость;
- нелинейность;
- необратимость;
- неравновесность;
- пороговый характер (внезапность) явлений самоорганизации [1-7].

Они же являются характеристиками (свойствами), следовательно, и признаками синергетических процессов. Существенным для синергетики является то, что в процессе перехода из одного устойчивого состояния в другое в открытых системах происходит понижение энтропии за счет взаимодействия с окружающей средой и отмечается образование новых структур [1-7]. У окружающей среды, наоборот, повышается энтропия: самоорганизация обеспечивается за счет упорядоченности. Это наблюдение привело к выводу о том, что именно синергетические процессы лежат в основе появления новых форм материи (морфогенеза). При этом в системе в процессе самоорганизации происходят следующие изменения:

- синхронизация частей системы;
- диссипация (рассеяние) энергии в неравновесной системе и возникновение диссипативной (неравновесной) структуры, которая рассеивает (диссипирует, трансформирует) постоянно поступающую в нее энергию.

Закономерности самоорганизации закреплены в **принципах универсального эволюционизма**, которые рассматривают [8]:

- все существующее в развитии;
- развитие как чередование медленных количественных и быстрых качественных изменений (бифуркаций);
- законы природы как принципы отбора допустимых состояний из всех мыслимых;
- фундаментальную и неустранимую роль случайности и неопределенности;
- непредсказуемость пути выхода из точки бифуркации (прошлое влияет на будущее, но не определяет его);

– устойчивость и надежность природных систем как результат их постоянного обновления.

Важными условиями протекания синергетических процессов являются *неустойчивость* и *нелинейность* [1-6]. На этапах неустойчивости, когда система переходит из одного устойчивого состояния в другое, наблюдается нелинейность. Процесс неустойчивости, связанный с качественными изменениями системы (в отличие от количественных), всегда является нелинейным, так как при переходе количества в качество объект меняет свою структуру, приобретает новые, до этого отсутствующие свойства.

Пример – процесс охлаждения воды и превращение ее в лед. Процесс охлаждения протекает без качественных изменений и носит линейный характер. В точке замерзания (бифуркации) количественные изменения переводят систему в новое кристаллическое состояние – лед. Переход связан с промежуточным неустойчивым состоянием, которое носит нелинейный характер. Далее охлаждение льда продолжается по линейному закону. Нелинейность и неустойчивость характерны для любых синергетических процессов, так как они связаны с переходом количества в качество.

И. Пригожин [2-4] и В. Эбелинг [5] подчеркивают важную роль *необратимости* (система не возвращается в свое первоначальное состояние) в процессах самоорганизации, считая ее необходимым условием этих процессов. Е.Д. Ушаковская отмечает, что процессы самоорганизации у таких систем необратимы лишь *на микроуровне*, на *макроуровне* они обратимы [9]. Например, обратимым является свойство ферромагнетиков: при нагревании теряют намагниченность, при охлаждении это свойство снова проявляется. Состояние намагниченности возвращается, но уже с другими доменами. Движение жидкости становится турбулентным каждый раз, когда число Рейнольдса больше 10⁴. При снижении числа Рейнольдса движение снова становится ламинарным. Также нельзя каждую молекулу ячейки Бенара вернуть в ее исходное состояние. То же самое можно сказать про взаимные превращения воды и льда, воды и пара.

С другой стороны в природе можно наблюдать необратимые процессы на всех уровнях. Например, получение искусственных алмазов из графита при высоких температуре и давлении. В биологии процессы развития организмов необратимы (старик не может снова стать ребенком).

Таким образом, **синергетические процессы могут быть как обратимыми, так и необратимыми.** Это связано с природой конкретного процесса, но не является условием самоорганизации [9].

1.2. Случайность и детерминизм в синергетике.

Междисциплинарный характер синергетики

Ученые с давних пор спорят о **роли случайности** и детерминизма.

Сторонники синергетики отводят *случайности* главенствующую роль в эволюционном процессе. Случайности приписывается творческое конструктивное начало – она строит мир [6]. При этом И. Пригожин признает, что в промежутке между бифуркациями главенствует детерминистическое описание, а путь аттрактора предопределен [2]. В. Эбелинг говорит, что после начального толчка дальнейшее движение системы носит закономерный характер. При этом нельзя утверждать, что этот толчок абсолютно случаен, а не вызван законом или некоторой силой, которую мы не знаем [5].

Еще меньше места случайности отводится в развитии биологических объектов: процессы, происходящие в онтогенезе (развитии организма), не могут иметь случайный характер. Все эти процессы развиваются в соответствии с генетической программой [10, 11]. Наоборот, для этих процессов характерны:

- устойчивость биологических структур на всех уровнях иерархии;
- наличие контролирующих и регулирующих функций, а также обратных связей на всех уровнях иерархии;
- запрограммированность и наличие цели.

Многие природные явления, кажущиеся случайными: извержения вулканов, землетрясения, ураганы и тайфуны – в результате их изучения переходят в разряд детерминированных, обусловленных силами и законами природы. Эти явления определяются циклической активностью планет, составом атмосферы, а также взаимодействием потоков воздуха, процессами переноса влаги и др. [12]. По мере развития науки и изучения указанных процессов случайность занимает в них все меньшее место.

Изначально авторы синергетического учения отметили явления самоорганизации только для отдельных физических и химических процессов, но в дальнейшем положения синергетики были распространены практически на все иерархические уровни Вселенной. Синергетика распространилась на биологию. Например, считается, что явления самоорганизации определяют процессы видообразования. Самоорганизация проявляется на уровне живой клетки, тканей, образованных из клеток, на уровне органов, систем органов, выполняющих определенные функции организма, и, наконец, всего организма в целом. И не только одного организма, но и всей популяции в целом – синергетические процессы регулируют численность, доводя ее до оптимального размера [8, 10, 11].

В дальнейшем синергетика распространялась на разные области человеческого знания и получила признание как в естественно-научных, так и гуманитарных областях, вплоть до учения об эволюции Вселенной [2-4, 6]. При этом все положения синергетики автоматически были перенесены на новые области. На микроуровне процессы самоорганизации проявляются как взаимодействие микрочастиц, на атомно-молекулярном уровне – как химические реакции. На макроуровне – в законах развития биосферы и техносферы планеты. На мегауровне – во взаимодействии звезд, галактик, скоплений галактик. На самом высоком уровне – как совокупность всех законов и сил, обеспечивающих эволюцию Вселенной. В результате, наша Вселенная признана неустойчивой, а основным фактором ее эволюции стала случайность [12, 13 и др.].

Из всех условий протекания синергетических процессов важнейшим является **условие открытости системы**, в которой протекает процесс. Распространив свою теорию на Вселенную, синергетика признала ее открытой. Открытость этого мира означает существование **суперсилы**, которая обеспечила рождение Вселенной и направляет наш материальный мир по пути эволюции, приводит к образованию новых более сложных форм живой и неживой природы [14, 15].

Одним из видов самоорганизации живой и неживой природы является самоорганизация по ценологическому принципу в **ценозы** – системы с гиперболическим ранговым распределением объектов в них.

1.3. Самоорганизация объектов различной природы в системы с гиперболическим ранговым распределением

1.3.1. Гиперболические ранговые распределения (*H*-распределения) различной природы

Закон гиперболического рангового распределения. Техноценозы. Под **ранговым распределением (РР)** понимается распределение, полученное в результате процедуры ранжирования последовательности значений параметра, поставленных соответственно рангу. **Ранг** (r) – это номер объекта (особи) по порядку в РР. Ранжирование – процедура выстраивания в ряд объектов по степени выраженности какого-либо параметра W в порядке убывания этого параметра, при этом каждому объекту присваивается номер (ранг) в порядке убывания W . Первый номер ($r = 1$) присваивается объекту с максимальным значением параметра W и так далее. Реальные РР могут выражаться различными математическими зависимостями и иметь соответственный графический вид, однако наиболее важными являются гиперболические ранговые распределения (ГРР), так как они отражают признак «ценозности» – принадлежности совокупности ранжируемых объектов (элементов, особей) к ценозам.

Теория ценозов применительно к техническим изделиям была разработана профессором МЭИ Б.И. Кудриным более 40 лет назад (www.kudrinbi.ru) и успешно внедрена в практику [16-23]. Картина мира, основанная на теории глобального эволюционизма, характеризуется переходом к изучению этого мира, опираясь на целостные образования – ценозы различной природы.

Ценоз – это сообщество. Особь – элемент (единица) ценоза, он же и объект ранжирования. Термин *биоценоз*, введенный Мебиусом (1877), лег в основу экологии как науки. Количество особей в ценозе определяет мощность популяции.

Однако не любое сообщество – ценоз. основополагающий признак сообществ-ценозов – РР объектов в нем представляет гиперболическое распределение (*H*-распределение) [16]:

$$W = \frac{A}{r^\beta}, \quad (1.1)$$

где W – ранжируемый параметр особей; r – ранговый номер особи (1, 2, 3 ...); A – максимальное значение параметра особи с рангом $r = 1$, т.е. в первой точке; β – ранговый коэффициент, характеризующий степень крутизны гиперболы.

Терминология пришла из биологии, из теории биоценозов. Б.И. Кудрин перенес понятия «ценоз», «особь», «популяция», «вид» из биологии в технику: в технике «особи» – отдельные технические изделия, технические параметры, а многочисленную совокупность технических изделий (особей), РР которых выражается законом (1.1), называют **техноценозом** [1-3].

Впервые графическое ГРР построил Ципф, исследуя частоту встречи слов в тексте [24], поэтому ГРР (1.1) называется распределением Ципфа. Обнаруженную устойчивость Ципф объяснил тем, что человек во всем стремится экономить свои усилия (принцип минимума усилий), в том числе и в языке: человеческое общение складывается из стремления говорящего быть понятым при минимуме затраченных усилий и стремлении слушателя понять текст говорящего при минимуме затраченных усилий.

Авторская формулировка и математическая запись закона Ципфа таковы: если слова любого текста ранжировать по частоте использования, то произведение ранга на частоту есть величина постоянная:

$$F \cdot R = C, \quad (1.2)$$

где F – частота появления слова в тексте; R – ранг слова (наиболее часто употребляемое слово получает ранг 1, следующее – 2 и т.д.); C – константа.

Ципф экспериментально определил, что $C \approx 0,1$. Очевидно, что (1.1) и (1.2) отличаются лишь формой записи. В формуле (1.1) закона Ципфа, которая используется в настоящей работе, $F = W$, $R = r$, $C = A$. Графическое изображение закона Ципфа иллюстрирует рис. 1.1.

Оптимальное состояние техноценозов достигается при $0,5 \leq \beta \leq 1,5$, а идеальное при $\beta = 1$ [25, 26]. По эмпирическим данным строится график $W(r)$, который представляет собой гиперболу – ципфоиду.

Таким образом, *ценоз* – многочисленная совокупность элементов (особей), которая подчиняется гиперболическому закону рангового распределения (ЗРР) и представляет собой распределение Ципфа (*H*-распределение). Если ранжируется какой-либо параметр ценоза, то РР называется ранговым *параметрическим*. Если в системе ранжируются ви-

ды, в качестве параметра W выступает численность вида (в абсолютных единицах или процентном отношении), такое распределение называется *рангово-видовым* распределением. Чаще всего в таких РР ранжируемым параметром W является доля вида в составе системы в процентном выражении. Существует еще *видовое* РР. Оно строится так: по оси ординат откладывается видообразующий параметр, а по оси абсцисс – соответствующая мощность вида (популяции) – абсолютное число особей, составляющих вид (популяцию). График видового РР также является гиперболой. Непременным атрибутом сообществ-ценозов является борьба особей или видов за ресурсы [16-23].

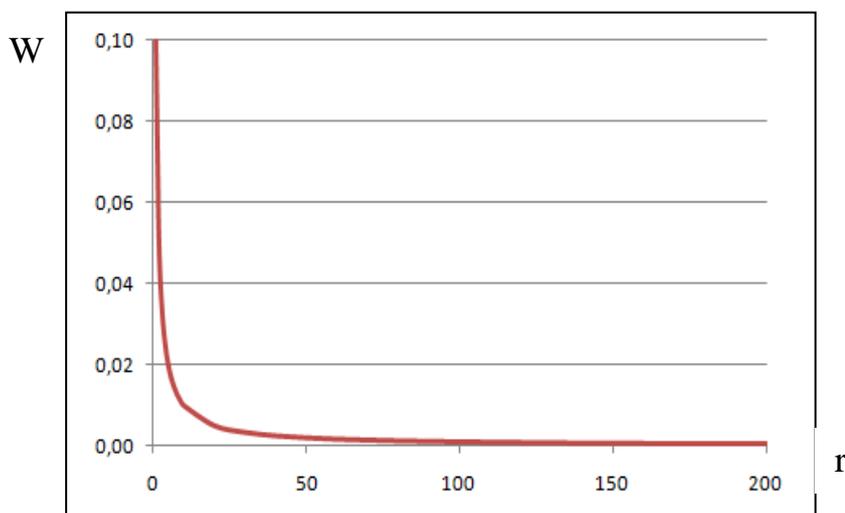


Рис. 1.1. Ципфоида

Закон оптимального построения техноценозов гласит, что оптимальное состояние достигается при значении рангового коэффициента β , близком к единице [25, 26]. Однако это распространяется лишь на некоторый идеальный техноценоз, функционирующий абсолютно изолированно. Таковых на практике не бывает. Ценозы динамичны. С течением времени объекты меняют ранги, осуществляя «перескок» в сторону низкого или более высокого ранга (с первых мест с большим значением параметра W на более низкие места с меньшими значениями параметра W , и наоборот), но характер графика ГРР $W(r)$ не меняется.

Системное свойство ценозов. Идеальный ценоз. Являются ли ценозы системами? То есть присущи ли известные системные признаки це-

нозам? По этому поводу существуют разные суждения. Б.И. Кудрин утверждает, что «ценоз не является системой, так как характеризуется корреляционно незначимыми слабыми связями и слабыми взаимодействиями между 90 % штук-особей как одного, так и разных видов» [19, с. 409]. Б.В. Жилин, Ю.А. Шрейдер и другие авторы обоснованно утверждают, что ценоз является системой [27-29].

В данной работе отстаивается свойство системности ценозов [30]. Оно обосновывается важнейшим *структурно-функциональным принципом* теории систем, суть которого заключается в следующем: «Если все характеристики объектов как систем зависят от свойств составляющих их компонентов и взаимосвязей последних, то эти характеристики могут быть выражены математически в виде функций той или иной структуры, элементами которой могут быть вещи, свойства, состояния, связи, стадии, фазы и этапы функционирования и развития» [31, с. 33]. Из этого принципа следует: если совокупности физических (технических и др.) характеристик объектов связаны математической зависимостью (1.1), то они являются **системными параметрами**, а ценоз является **системой** [30].

Существует ли идеальный техноценоз и каков он? Идеальный техноценоз – это абстрактная модель, подобно модели идеального газа, идеальной тепловой машине Карно и т.д. в физике. Реальный техноценоз имеет в графическом РР искажения, которые указывают пути их устранения и позволяют увидеть практические рекомендации для оптимизации ценоза.

В рамках развития ценологического подхода Б.В. Жилиным предложено понятие «идеального *H*-распределения» – *H-i*-распределения. Модели *H-i*-распределения имеют несколько вариантов реализации, но стремятся к единственному варианту. В процессе жизненного цикла поведение техноценозов обусловлено воздействиями среды. В периоды стабильного существования структура приближается к *H-i*-распределению и, напротив, при сильном внешнем воздействии отдаляется от *H-i*-распределения. Показано, что стремление к *H-i*-распределению – это естественное свойство техноценозов.

Техноценоз всегда стремится к воссозданию идеальной структуры (т.е. к *H-i*-распределению), которое может происходить эволюционно или революционно (с потрясениями). Этот процесс иллюстрирует один из основных признаков системы – связь системы со средой. Техноценоз с нару-

шенной структурой может сравнительно длительно функционировать за счет расхода дополнительных сил и ресурсов среды [27].

«Таким образом, следует рассматривать ценоз как систему, в которой присутствуют явления самоорганизации, способные корректировать структуру ценоза так, что она стремится к $H-i$ -распределению. Следует признать, что это характерно и для техноценозов, хотя лицо, принимающее решение (группа лиц) и создающее такую систему, естественно, не ставит себе таких целей. Можно говорить либо о том, что техноценоз формирует свою структуру, т.е., если хотите, «диктует» человеку корректировки такой структуры, либо человек сам формирует такую структуру, т.к. она отвечает минимальным затратам, расходам на ее содержание, эксплуатацию и др., при этом не ставя себе целью воздействовать на структуру в целом» [27, с. 402].

Технический ценоз (и другие виды ценозов) находится в устойчивом состоянии, если при видовом его моделировании 5-10 % особей-изделий относится к «новым кастам» (уникальным, редким), что составляет 40-60 % видового состава, а 40-60 % всех особей-изделий попадает в «саранчевые (массовые) касты», охватывающие 5-10 % общего числа видов. Любой ценоз с нарушением этого соотношения попадает (переходит) в неустойчивое состояние [1, 2].

Подход, разработанный Б.И. Кудриным, явился революционным применительно к *технической реальности*, выделению и описанию технических ценозов.

Свойства ценозов. Описание особей сообщества уравнением (1.1) является необходимым условием «ценозности», но недостаточным. Дополнительными и достаточными условиями признания сообщества как ценоза (также их признаками и свойствами) по аналогии с био-, экоценозами [10, 11] являются:

- общность территории или единая среда обитания [10, 11, 32, 33];
- конкурентная борьба за ресурсы [10, 11, 32, 33];
- слабая связь между объектами (особями) ценоза [10, 11, 32, 33];
- динамичность – способность особей менять параметры, следовательно, и ранги при сохранении формы РР (1.1).
- способность сообщества к саморегулированию и самоорганизации [10, 11, 32, 33];

- системность, означающая, что гиперболическое ранговое распределение – системное свойство сообщества-ценоза [29, 30];
- фрактальность (это свойство подробнее рассмотрено ниже);
- для техноценозов – наличие документации на изделие, маркировка изделий или их классов (видов) [32, с. 17].

Остановимся на последнем признаке. Рождение техноценоза связано с массовым изготовлением унифицированных серий и «возможностью выделить каждую штуку-особь-машину (единицу оборудования) как некий индивид и обозначить эту индивидуальность, в частности, присвоением данной штуке-особи номера, выдачей «паспорта», обозначением ИНН. Простейшие изделия, не «доросшие» до паспорта, не могут образовать ценозы (болты и гайки, гвозди и шурупы)» [32, с. 17]. Иными словами, для техноценоза обязательным является *наличие документации на изделия*, присвоение маркировки.

В отличие от биоценозов конкурентная борьба в технике определяется не хищниками и другими внешними факторами, а свойствами самих изделий-особей. Уничтожение той или иной серии (популяции) технических изделий происходит эволюционно, так как они закономерно «устаревают» и их показатели становятся «хуже», чем у вновь пришедшей популяции [32, с. 25].

За рубежом и в России в экономике, биологии, социологии, науковедении – в различных естественных и общественных науках – ценологический подход общепризнан и быстро распространяется на новые области знаний. Ю.Л. Щапова успешно применила этот подход в археологии, доказав, что совокупность технических изделий далекого прошлого представляет собой древние техноценозы [34]. В.В. Фуфаев развил ценологическую теорию в банковской сфере экономики, спрогнозировав состояние банковской системы России в период банковского кризиса, при этом определив наиболее стабильные банки [35, 36].

Самоорганизация и фрактальность – вот общие признаки, характеризующие ценозы.

Ниже приводятся примеры ценозов из различных областей знаний.

Экономические ценозы. ГРР ВВП стран мира и Евросоюза, аппроксимированные математической зависимостью (1.1) с довольно высокой точностью: квадрат коэффициента регрессии R^2 , показывающий степень

приближения эмпирической зависимости к аппроксимационной теоретической кривой равен 0,86 и 0,85 соответственно [37] (употребление символа квадрата коэффициента регрессии R^2 или R^2 или Re^2 отличается в разных компьютерных программах; так как в исследовании использовались различные программы, в данной работе употребляются все три символа).

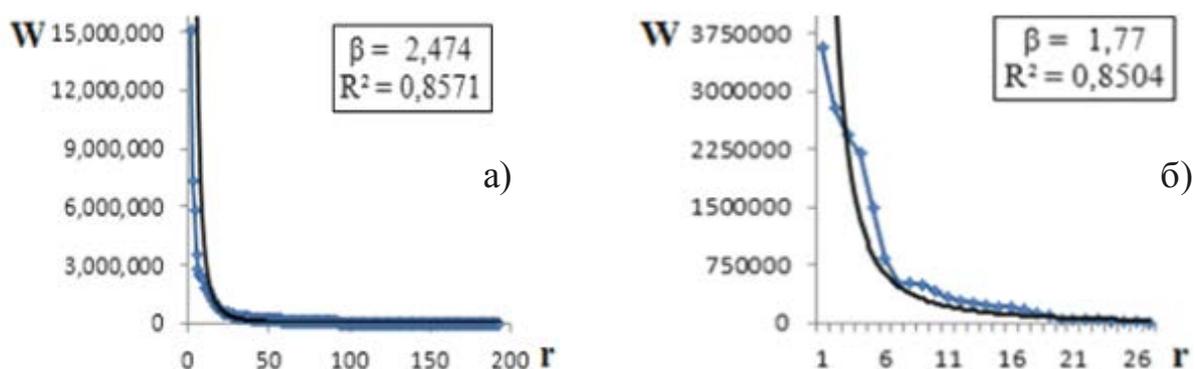


Рис. 1.2. ГРР стран мира и Евросоюза по ВВП:

- а) стран мира на 2011 год; $r = 1$ – США, 2 – Китай, 3 – Япония, 4 – Германия, 9 – Россия, 34 – Греция, 192 – Тувалу; W – ВВП в млн долл., r – ранговый номер страны;
 б) стран ЕС на 2012 год; $r = 1$ – Германия, 12 – Греция, 27 – Мальта

Графики показывают: из 192 стран мира (рис. 1.2, а) 80 % мирового богатства сосредоточено лишь в 18 странах, которые составляют 9,4 % от общего числа (18/192). Примерно также обстоят дела в Евросоюзе: 76 % богатства 27 стран ЕС сосредоточено в 6 странах ($r = 1-6$), составляющих 22 % всех стран Евросоюза (рис 1.2, б).

Закон ГРР для различных реальных систем дает объяснение того факта, что лучших объектов в любом ценозе мало – не более 20 %. Основной же «вес» в систематике ГРР принадлежит среднестатистическому большинству (по терминологии ценологической теории – «саранчевой касте (популяции)»).

Закон ГРР (1.1) являет собой уточненную версию широко известного закона Парето или принципа дисбаланса 80/20, согласно которому диспропорция является неотъемлемым свойством системы [38, 39]. Например, в бизнесе 20 % ассортимента ходовой продукции дает 80 % дохода; 20 % профессоров учреждения выполняют 80 % всей научной работы; лишь

20 % детей используют 80 % возможностей, представляемых системой образования страны; 20 % преступников совершают 80 % преступлений; около 80 % европейского ВВП сосредоточено в шести странах и т.д.

Согласно вышесказанному, Германии никогда не удастся подтянуть проблемные страны Евросоюза до своего экономического уровня вопреки объективным законам ГРР (1.1) и Парето. Совокупность стран ЕС представляет собой устойчивый ценоз с неравномерным развитием экономик, который объективно описывается законом ГРР (1.1) (рис. 1.2, б), поэтому в ценологии закон (1.1) фигурирует как уточненный закон Парето – Кудрина и обосновывает закономерности функционирования ранговой системы; обе составляющие: лучшие – редкие элитные образцы – 20 % («ноева каста») и «саранчевое большинство» – 80 % – сосуществуют только вместе, образуя устойчивую систему-ценоз. Если их разделить – система рухнет или, при условии живучести системы, образует две новые системы, однако с тем же соотношением 20/80 и тем же ГРР (1.1) особей в них.

Б.И. Кудрин заостряет внимание на неясном пока *механизме самоорганизации объектов в структуры с H -распределением, подобные тем, что существуют в биологии, – электротехнические ценозы* [17, 18]. «120 тысяч электродвигателей, установленных на Магнитке, образуют достаточно правильную видовую кривую H -распределения, так как эти двигатели устанавливались там на протяжении семидесяти лет, тысячами и тысячами инженеров, работавших независимо друг от друга, живших в разное время, в разных городах и даже странах, то возникает вопрос о механизме порождения строго определенной структуры, о механизме самоорганизации. Ведь создана система, где при установке каждого ее элемента никто из создателей даже и не предполагал необходимость выстраивания всей массы двигателей по кривой H -распределения (не предполагал этого и создатель «Евгения Онегина», идеально выстроивший слова по повторяемости в пределах им же определенного и используемого словаря). И точно такая же кривая устойчиво наблюдается и в биоценозах» [17, с. 107].

Педагогические социоценозы. На рис. 1.3 приведен график РР (рейтинга) команд директоров школ, участников конкурса 2013 года (копия с сайта <http://konkurs.direktor.ru/>). Число участников – 705 человек из 77 регионов РФ (общее число регионов – 83). Организатор конкурса – журнал «Директор школы». Число участников из Ульяновской области – 4.

Не вызывает сомнения, что организаторы конкурса не ставили задачу подогнать критерии и показатели конкурса под выстраивание всех участников по рейтинговой кривой H -распределения.



Рис. 1.3. Рейтинговое распределение участников по регионам РФ:
 1 – Республика Татарстан, 2 – Новгородская область, 3 – Ростовская область,
 4 – Воронежская область, 5 – Республика Дагестан, 6 – Ставропольский край,
 7 – Московская область, 77 – Республика Карелия

Однако, как и в техносценах, можно лишь констатировать, что так выходит. Почему?

Это необъяснимо, как и многое другое: например, физики до сих пор не могут объяснить закон инерции и руководствуются принципом Маха, который предположил, что движение тела по инерции обусловлено влиянием на него всех тел Вселенной.

В социальной сфере «особи» – это люди, организованные в социальные группы (классы, учебные группы), тогда мощность популяции – это количество учащихся в группе. Школа – это тоже социосцена, состоящий из особей – отдельных структурных единиц – классов [41-58]. Здесь мощность популяции – количество классов в школе. Совокупность школ – это сцена более крупного масштаба, где особью, структурной единицей является школа.

В качестве ранжируемых параметров W в техноценозах выступают *технические* или *физические параметры*, характеризующие особь, например, размер, масса, мощность потребления, энергия излучения и т.д. В социоценозах, в частности педагогических ценозах, ранжируемые параметры – это успеваемость, рейтинг в баллах участников олимпиад или тестирования; число учащихся, поступивших в вузы и так далее, а ранжируемыми особями выступают сами учащиеся, классы, учебные группы, школы и так далее.

Для примера на рис. 1.4 приведен график рангового распределения рейтинга в баллах (W) участников олимпиады – учащихся школ Железнодорожного района г. Ульяновска (2005) с аппроксимацией [47].

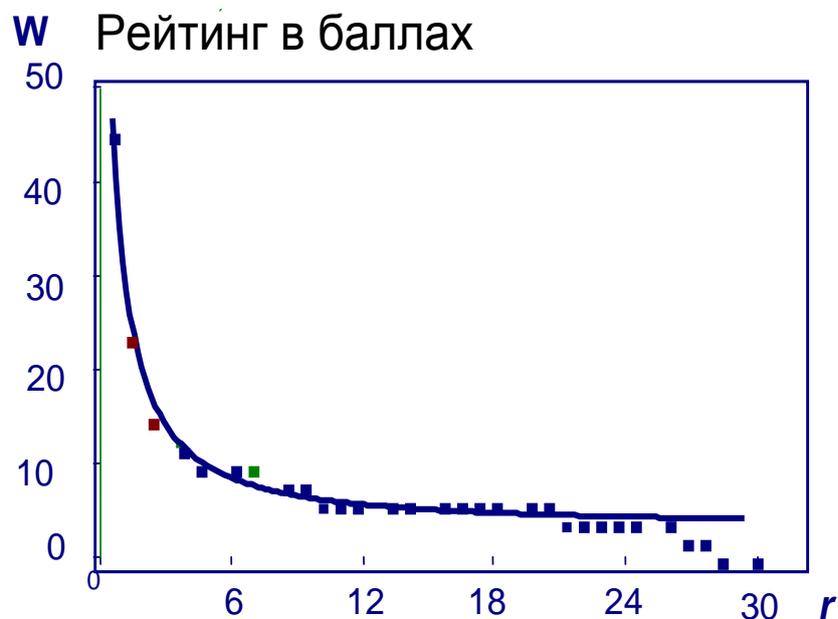


Рис. 1.4. График рангового распределения рейтинга олимпиадных работ по физике учащихся школ

Ценологический подход позволяет формировать среду здоровой конкуренции в образовательной деятельности учащихся.

1.3.2. Фрактальность – неотъемлемое свойство техноценозов

Слово «**фрактал**» образовано от латинского **fractus** и в переводе означает *состоящий из фрагментов*. Оно было предложено Бенуа Мандельбротом в 1975 году для обозначения нерегулярных, но самоподобных структур, которыми он занимался. Рождение фрактальной геометрии принято связывать с выходом в 1977 году книги Мандельброта «*The Fractal Geometry of Nature*» [59].

По Мандельброту, *фракталом называется структура, состоящая из частей, которые в каком-то смысле подобны целому*. Понятие «фрактал» означает *бесконечное подобное повторение исходной фигуры*, как равного размера, так и постройка меньших и больших масштабов из исходного геометрического элемента через наращивание подобными же элементами. Матрешка – пример фрактального объекта.

Фрактал – структура, состоящая из самоподобных элементов одинакового или разного размера, математическое множество, обладающее свойством самоподобия, то есть однородности в различных шкалах измерения и на разных уровнях, отдельные элементы которого наследуют свойства родительских структур [59, 60].

Таким образом, одним из основных свойств фракталов является *самоподобие*. В самом простом случае небольшая часть фрактала содержит информацию о всем фрактале, так как сложные объекты состоят из одинаковых по составу и конфигурации элементов. Например, распределение диаметра, длины и количества всех веток самого крупного дерева в лесу соответствует распределению диаметра, длины и количества деревьев в лесу. В технике мы наблюдаем то же самое.

О.Е. Лагуткин указывает на тот факт, что ранговое распределение электродвигателей в цехе соответствует распределению цехов промышленного предприятия. При этом величина рангового коэффициента характеризует структуру объекта [61]. «Свойство фрактальности присуще ценологическим системам, но оно заключается не в прямой зависимости параметров исследования, а в единстве свойств выделяемых ценозов и применяемого математического аппарата». «Техноценозы обладают свойством вложенности, т.е. системы низшего иерархического уровня рассматриваются как объекты системы более высокого уровня иерархии (предпри-

ятие – ценоз, состоящий из ценозов, область – ценоз, состоящий из предприятий... Формализованно структуру ценоза любой ступени можно описать единой формулой. Однако диапазоны изменения характеристических показателей индивидуальны как для самих показателей, так и для выделяемых техноценозов» [61, с. 99].

Ранговые коэффициенты не должны быть одинаковы для ценозов разных уровней иерархий. О.Е. Лагуткин здесь четко отмечает качественное различие между геометрической фрактальностью Мандельброта и функциональной фрактальностью, обнаруженной у техноценозов.

В астрофизике: ценозы разных уровней – на планете Земля, в Солнечной системе, галактике, метagalактике, на микроуровне – описываются ГРР (1.1).

Вышесказанное подтверждает Теория Бесконечной вложенности материи [62, 63]. Эта теория обосновывает иерархическую организацию природы: от элементарных частиц до мегаобъектов Вселенной, выделяя *атомный, звездный и галактический уровни*. При этом утверждается их самоподобие: для каждого класса объектов или явлений в данном масштабном уровне есть аналогичный класс объектов или явлений в любом другом масштабном уровне. Самоподобные аналоги объектов и явлений различных уровней имеют совпадающую морфологию, кинематику и динамику.

Модель иерархического строения Вселенной разработана Карлом Шарлье на основе идеи Ламберта, изложенной в «Космологических письмах об устройстве Мироздания» (1761) [62]. Карл Шарлье – шведский астроном, один из основоположников фрактальной космологии и теории физической космологии. В 1908 году Шарлье опубликовал теорию строения Вселенной, согласно которой Вселенная представляет собой бесконечную совокупность входящих друг в друга систем все возрастающего порядка сложности [63]. Теория Шарлье предполагает распределение в бесконечном пространстве Вселенной астрономических объектов по принципу самоподобных структур (фракталов). В XXI веке идеи фрактальной космологии не пользуются существенной поддержкой академической науки, и применение теории фракталов к космологии остается предметом теоретических исследований.

Как указывалось выше, в нашем случае фрактальность выражена в самоорганизации материи на разных иерархических уровнях не по геометрическому принципу, а посредством самоорганизации материальных объектов на всех уровнях в *ценозы*, свойства которых описываются единым математическим аппаратом по ценологическому принципу [61, 64-69].

Таким образом, космические ценозы обладают фрактальностью функционального типа, в отличие от геометрической фрактальности Мандельброта и Шарлье. Чтобы разделить эти понятия, далее фрактальность ценозов будет называться *ценологической фрактальностью*. В ее основе – закон ГРР космических объектов, в соответствии с которым самоорганизуется материя на всех космических уровнях.

Глава 2.

РАНГОВЫЙ АНАЛИЗ В ИССЛЕДОВАНИИ ЦЕНОЗОВ РАЗЛИЧНОЙ ПРИРОДЫ

2.1. Метод рангового анализа в исследовании техноценозов

Метод **рангового анализа**, или ценологический подход, довольно давно и широко применяется для исследования эффективности технических систем. В.И. Гнатюком разработан метод РА для оптимизации технических систем-ценозов [25, 26]. «Ранговый анализ – метод исследования больших технических систем общего ценологического типа (техноценозов), имеющий целью их статистический анализ, а также оптимизацию, и полагающий в качестве основного критерия форму видовых и ранговых распределений» [26, с. 135].

Методики построения гиперболических ранговых распределений (ГРР) и их последующее использование в целях оптимизации ценоза составляют основной смысл РА, содержание и технология которого представляют собой новое направление, принесшее большие практические результаты. Оптимизация техноценоза по данным параметрам сводится к оптимальному управлению на системном уровне. При этом в качестве *канонической* принимается не кривая идеального *H-i*-распределения, а *аппроксимационная* кривая эмпирического ГРР. Оптимальное управление техноценозами реализуется в рамках **трех основных процедур** [26]:

- интервального оценивания;
- нормирования потребления ресурсов;
- прогнозирования.

Процедура интервального оценивания задает доверительный интервал вокруг аппроксимационной кривой и показывает область нормального потребления ресурсов в техноценозе (рис. 2.1, а) [26, с. 187].

В качестве примера реальных техноценозов представлены гиперболические параметрические РР цен на вентиляторы, предназначенные для корпусов компьютеров $W(r)$ различных фирм-производителей, продаваемых компанией SIM (рис. 2.1, б.) [70, с. 120], и РР месячного электропотребления 147 детских садов г. Ульяновска (рис. 2.1, в) [71, с. 32].

Совокупность технических особей – вентиляторы для корпусов компьютеров – теоретически является идеальным техноценозом с $\beta = 1$ (рис. 2.1, б). Отклонения реальной кривой от теоретической в виде «горба» и «хвоста» свидетельствуют о необходимости оптимизации системы или политики цен.

График гиперболы (рис. 2.1, в) имеет «заваливающийся» вниз «хвост», который свидетельствует о слишком низком электропотреблении в 35 детских садах с ранговыми номерами 112-147 (что составляет 23,8 % от общего числа садиков), то есть о серьезных нарушениях в данной популяции детских учреждений. Требуется выяснение причин и принятие мер (ремонт системы электроснабжения, выделение средств на оплату потребляемой электроэнергии), то есть оптимизация системы. Из графика видно, что на 13 объектов (9 %) приходится большая часть потребляемой энергии (крупные потребители).

Функциональные параметры характеризуют процесс эксплуатации технических изделий в техноценозе.

Процедуры РА в процессе оптимизации техноценоза осуществляются в два основных этапа [25, 26]:

- **Статистический анализ.** Осуществляется статистическая обработка эмпирических данных по техноценозу и построение эмпирического табулированного и графического РР $W(r)$. По графику выявляются объекты с аномальным потреблением ресурсов;
- **Оптимизация потребления ресурсов техноценозом.** Осуществляется прогноз процесса потребления ресурсов объектами техноценоза на предстоящие 5-7 и более лет.

Целью оптимизации является минимизация потребления техноценозом энергетических ресурсов при условии сохранения основных функционально-технических показателей. Оптимизация техноценозов, по В.И. Гнатькову, осуществляется двумя путями, которые определили 2 вида (типа) оптимизации техноценозов [25]:

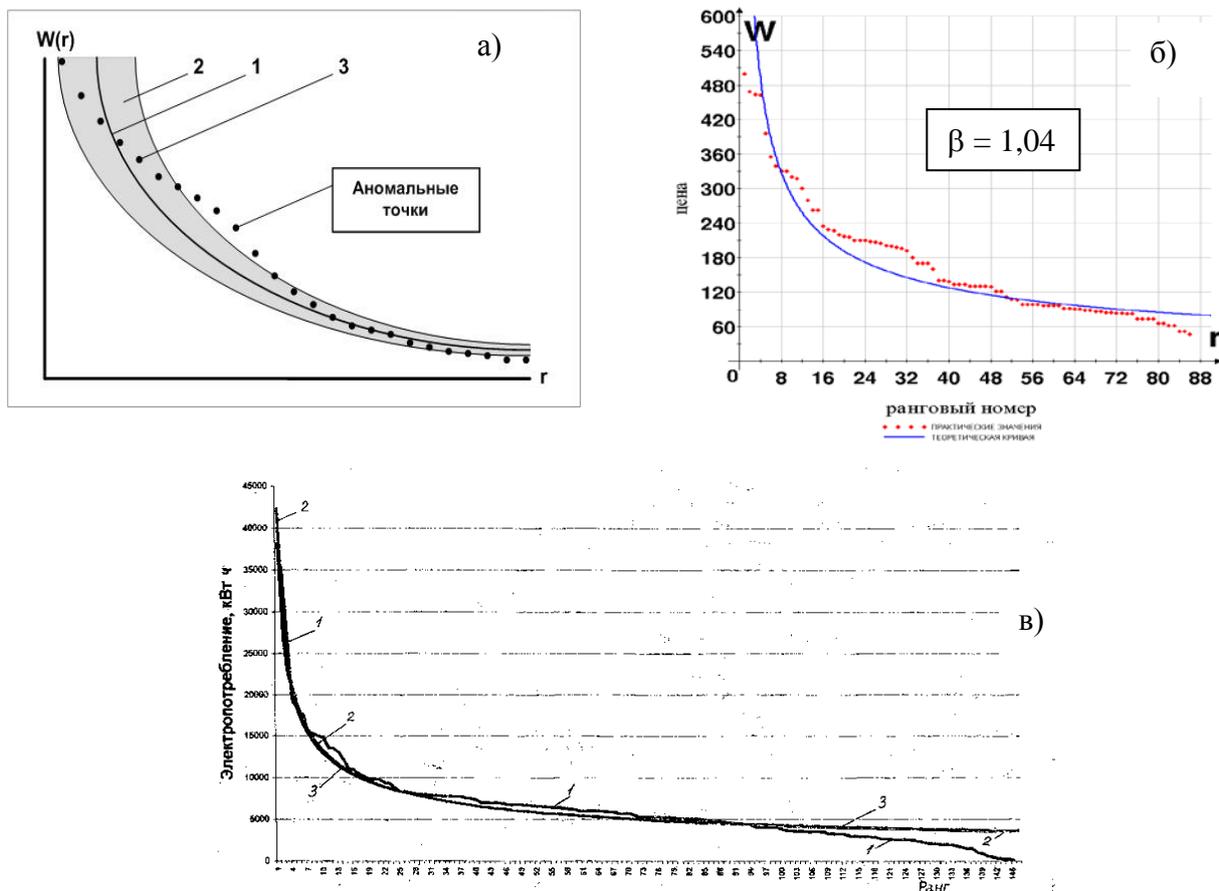


Рис. 2.1. Техноценозы:

- а) пояснение к процедуре параметрической оптимизации: 1 – аппроксимационная кривая; 2 – доверительный интервал; 3 – эмпирические точки РР [26, с. 187];
- б) ГРР цен на вентиляторы для корпусов компьютеров, продаваемых компанией SIM, где W – цена вентиляторов различных фирм производителей, r – ранговый номер [70, с. 120];
- в) ГРР электропотребления W (кВт·ч) за март месяц 147 детских садов г. Ульяновска: 1 – эмпирическая кривая с «завалом хвоста»; 2 – идеальная расчетная кривая [71, с. 32]

1. *Номенклатурная оптимизация* – целенаправленное изменение численности ценоза, устремляющее реальное РР по форме к идеальному (1.1).

В техноценозе – это избавление от хлама, перевод отработанной техники в разряд металлолома [25]. В биоценозе-стае – это изгнание или уничтожение слабых особей [10, 11]. В учебной группе – это отсев неуспевающих [47].

2. *Параметрическая оптимизация* – целенаправленное улучшение параметров отдельных особей, приводящее ценоз к более устойчивому, эффективному состоянию. В техноценозе – это замена старой техники

улучшенными образцами. В педагогическом ценозе – учебной группе (классе) – это улучшение показателей успеваемости отстающих [47].

Отметим, что процедура оптимизации не применима к космическим (астрофизическим) ценозам. Изучая их эмпирические и аппроксимационные ГРР, можно лишь извлечь ту или иную полезную научную информацию о состоянии астроценоза, установив характер отклонений реального РР от H -распределения, выяснить, на что указывают эти отклонения.

2.2. Ранговый анализ как универсальный метод в изучении любых видов ценозов

Изучив методику применения РА для техноценозов [25-37], выделим общие (универсальные) элементы РА с целью распространения на все виды ценозов, в том числе астрофизические. Таким образом, РА как общеметодологический метод исследования включает следующие универсальные этапы-процедуры [25-26; 47-51, 72-76].

1. Выделение ценоза – совокупности объектов изучаемого сообщества (системы).

2. Выделение параметров ранжирования. Такими параметрами могут выступать масса, размеры объектов, стоимость, энергетическая надежность, процентное содержание элементов в составе исследуемого объекта, баллы ЕГЭ участников тестирования и т.д.

3. Параметрическое описание ценоза. Создание электронной таблицы (базы данных), содержащей систематизированную информацию о параметрах отдельных особей ценоза.

4. Построение табулированного эмпирического (параметрического или рангово-видового) РР. Табулированное РР – это таблица из нескольких столбцов (табл. 2.1), в которые заносятся параметры W особей, выстроенных по рангу в порядке убывания W и рангового номера особи r ($r = 1, 2, 3, \dots$), а также значения их логарифмов, если планируется построение ГРР в двойном логарифмическом масштабе.

Первый ранг имеет особь с максимальным значением параметра $W = A$, второй ранг имеет особь с наибольшим значением параметра после первого и т.д.

Табулированное ранговое распределение параметров особей

Название элемента	r (ранг)	W (параметр)	ln r	ln W
1				
2 ...				

5. Построение графического эмпирического (параметрического или рангово-видового) РР. График эмпирической ранговой кривой имеет вид гиперболы: по оси абсцисс откладывается ранговый номер r , по оси ординат – исследуемый параметр W (рис. 2.2, а). Все данные берутся из табулированного РР.

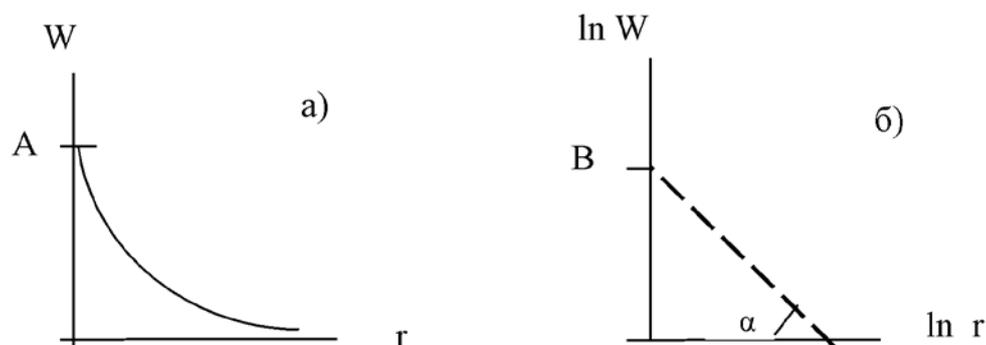


Рис. 2.2. Гипербола $W(r)$ (а) и «спрямленная» гиперболическая зависимость в двойном логарифмическом масштабе $\ln W$ ($\ln r$) (б); $B = \ln A$, $\beta = \operatorname{tg} \alpha$ [51, с. 230; 72, с. 262]

Примечание. При построении видового распределения по оси абсцисс откладывается численность популяции (число особей в популяции), по оси ординат – число видов.

6. Аппроксимация эмпирических РР. Аппроксимация и определение параметров РР, как правило, проводится с помощью компьютерных программ. С их помощью задается доверительный интервал, находятся параметры кривой распределения A , B , $\beta = \operatorname{tg} \alpha = \ln A$, также определяется коэффициент регрессии Re (или R), показывающий степень приближения эмпирической гиперболы к аппроксимационной (при использовании компьютерных программ для построения графиков в легенде обычно обозначается квадрат коэффициента регрессии, обозначаемый R^2 или Re^2). Про-

водится аппроксимационная идеальная кривая (в случае необходимости – по обе стороны от нее – линии доверительного интервала).

7. Линеаризация ГРР: построение эмпирического РР в логарифмических координатах $\ln W(\ln r)$ [51, с. 228-230; 72-75].

Поясним процесс линеаризации зависимости (1.1). Прологарифмировав зависимость (1.1) $W = A/r^\beta$, получаем:

$$\ln W = \ln A - \beta \ln r. \quad (2.1)$$

Обозначив:

$$\ln W = y; \ln A = B = \text{const}; \ln r = x, \quad (2.2)$$

получаем (2.2) в виде:

$$y = B - \beta x. \quad (2.3)$$

Уравнение (2.3) – это убывающая линейная функция (рис. 2.2, б). При этом по оси ординат откладывается $\ln W$, а по оси абсцисс – $\ln r$. Данные эмпирических значений $\ln W$ и $\ln r$ берутся из табулированного РР (табл. 2.1). Коэффициент β определяется с использованием компьютерных программ или «вручную» по формуле:

$$\beta = \text{tg}\alpha = \ln A / \ln r, \quad (2.4)$$

коэффициент A определяется из условия: $r = 1, W_1 = A$.

8. Аппроксимация эмпирической зависимости $\ln W(\ln r)$ к линейной $y = B - \beta x$.

Эта процедура производится также с использованием компьютерных программ, позволяющих определить параметры $B = \ln A, \beta = \text{tg}\alpha$; задать доверительный интервал, определить коэффициент регрессии Re (или Re^2), выражающий степень приближения эмпирического графика $\ln W(\ln r)$ к линейному виду. Вырисовывается аппроксимационная прямая.

9. Оптимизация ценоза (для био-, техно-, социоценозов) [25, 26; 72-75].

Процедура оптимизации системы-ценоза состоит в совместной работе с табулированным и графическим распределениями и сравнении аппроксимационной кривой с реальной, которая имеет, как правило, искажения, после чего делают вывод: что практически нужно сделать в ценозе, чтобы точки реальной кривой стремились лечь на идеальную кривую. Чем

ближе эмпирическая кривая распределения приближается к идеальной кривой вида (1.1), тем устойчивее система. Этот этап оптимизации включает следующие процедуры (действия) [25].

- *Теоретическая часть* – параллельная работа с табулированным и графическим РР:

- нахождение аномальных точек и искажений по графику;
- определение их координат и их идентификация с реальными особями по табулированному распределению;

- *Практическая часть* – работа с реальными объектами ценоза по улучшению их параметров:

- анализ реальных причин аномалий и поиск способов их устранения (управленческих, экономических, производственных и т.д.);
- устранение аномалий в реальном ценозе [25].

Каков характер отклонений в реальных ГРР объектов ценозов от канонического H -распределения и на что они указывают?

Аномалии реального графика РР ценоза могут быть нескольких видов [72-80].

1. Одна или несколько точек, выпадающие из графика.

Это означает, что соответствующие точкам объекты ценоза (популяции) не принадлежат системе: либо «промах» в измерениях параметра именно этих объектов, либо система неполна и при добавлении объектов в систему все точки лягут на аппроксимационную кривую.

2. Выпадающие точки образуют на графике гиперболы «хвост», загибающийся вниз («маргинальные» точки) (рис. 2.1, б, в).

В реальной системе – это та часть особей, которая тормозит функционирование системы. В техноценозах – это металлолом, изношенная техника, аварийные строения, от которых необходимо избавляться либо ремонтировать (что затратно); в студенческом социуме – это двоечники-студенты, которых следует либо отчислить, либо подтянуть их успеваемость хотя бы до минимально необходимого уровня (на теоретическом графике – это канонический «хвост» гиперболы).

3. Множество точек выпадают из графика, образуют «горбы» и «впадины» (график рис. 2.1, а).

Это означает, что система нуждается в оптимизации (технической, социальной), что может достигаться изменением численности ценоза (популяции) или улучшением параметров особей ценоза (популяции).

Также это свидетельствует о неполноте системы или о недостаточности сведений о полноте системы. При добавлении объектов в систему реальная гипербола приближается к каноническому виду (рис. 2.3, а и 2.4, а). При этом чем полнее система, тем больше коэффициент регрессии.

На рис. 2.3 и 2.4 показаны графики ранговых распределений удельного сопротивления металлов при температурах 200 К и 600 К, построенные по данным химического справочника А.И. Волкова и И.М. Жарского [76, с. 449]. W – ранжируемый параметр – удельное сопротивление металла (мкОм·см), r – ранговый номер металла.

Графики (рис. 2.3, а, б) построены по 22 точкам полной системы, графики (рис. 2.4, а, б) по 22 точкам неполной системы, так как при 600 К 7 элементов расплавились. Расплавление 7 элементов сделало систему неполной и привело к резкому искажению графика – появлению «заваливающегося хвоста» (рис. 2.4, а) и излому на логарифмическом графике (рис. 2.4, б). На графиках (рис. 2.4) отсутствуют точки, соответствующие расплавленным элементам: К (337 К), Вi (271 К), Рb (327 К), Cs (28 К), Li (18 К), К (63,4 К), Na (97,7 К). В скобках указаны температуры плавления. Точки уже плохо ложатся на теоретическую кривую графика (рис. 2.4, а); логарифмический график (рис. 2.4, б) также искажен.

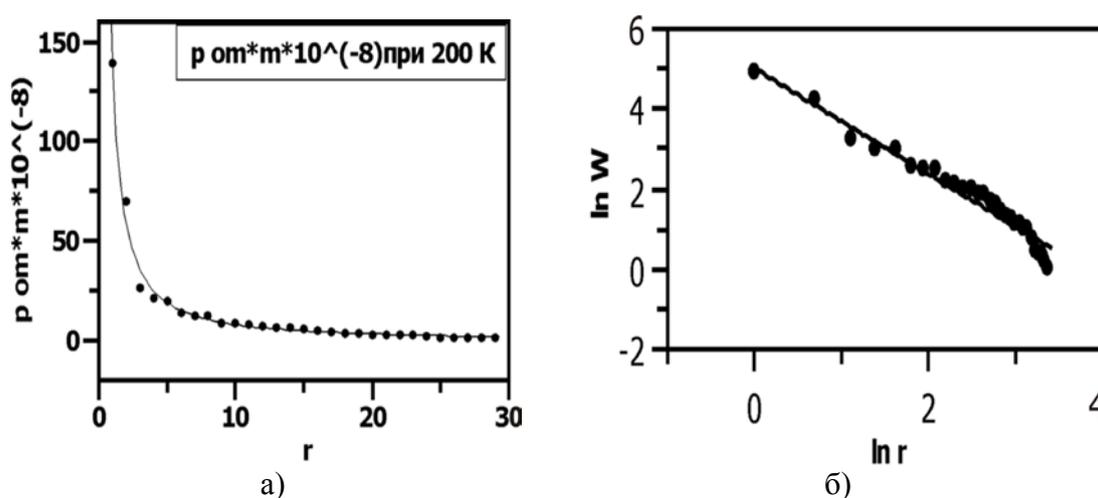


Рис. 2.3. Ранговое распределение 29 металлов по удельному сопротивлению при 200 К: а) график $W(r)$; $Re = 0,99$; б) график $\ln W (\ln r)$; $Re = 0,96$; $\beta = 1,33$; $A = 5 \cdot 10^{-8}$ Ом·м; $r = 1 - Mn$; $r = 2 - Bi$; ...; $r = 29 - Ag$ [77, с. 87]

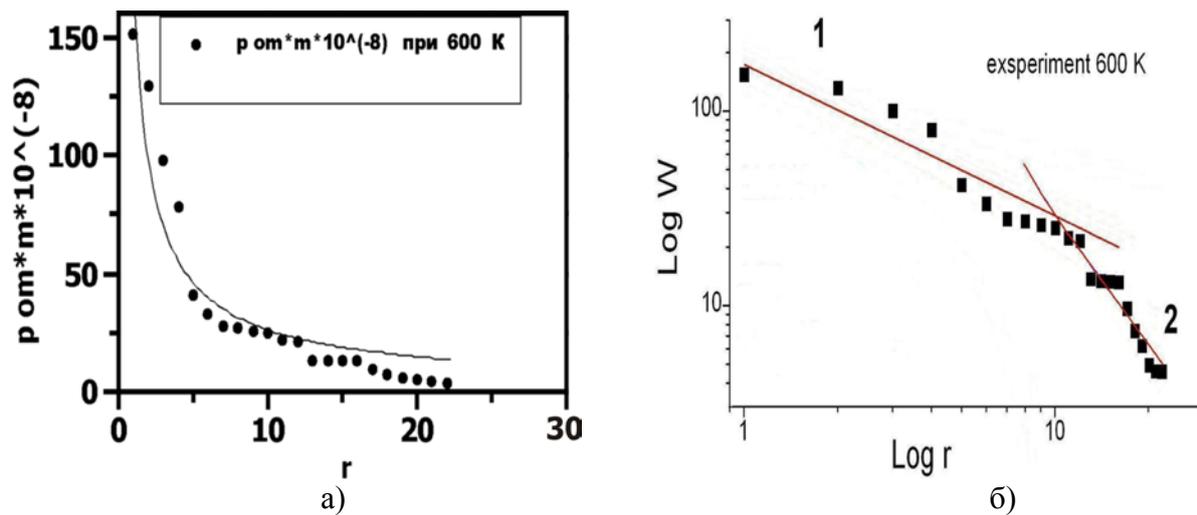


Рис. 2.4. Ранговое распределение 22 металлов по удельному сопротивлению при 600 К:
 а) график $W(r)$; $Re = 0,899$;
 б) график $\ln W(\ln r)$; $r = 1 - Mn$; $r = 2 - Zr$; ...; $r = 22 - Ag$ [77, с. 87]

Таким образом, при уменьшении числа элементов системы, т.е. уменьшении полноты системы, график искривился, коэффициент регрессии уменьшился.

Последние 6 элементов на графиках (рис. 2.4) образуют «заваливающийся хвост». Эти элементы образуют группу кандидатов на расплавление при дальнейшем увеличении температуры. Хотя они пребывают в твердой фазе при 600 К, однако эта температура в разной степени близка к температуре их плавления, что существенно влияет на их свойства. В скобках указаны их температуры плавления по шкале Кельвина: $r = 17 - Mg$ (650 К), $r = 18 - Ca$ (842 К); $r = 19 - Al$ (660 К); $r = 20 - Cu$ (1084 К); $r = 21 - Ag$ (1050 К); $r = 22 - Be$ (1287 К). Это свидетельствует о резком изменении физических свойств этих элементов, которые уже нельзя отнести к прежней системе.

4. Резкий излом на логарифмическом графике прямой $\ln W(\ln r)$, разделяющий ее на 2 отрезка под углом друг к другу. Это означает, что система состоит из двух подсистем. Подобный случай представлен графиком (рис. 2.4, б). Возможно несколько изломов.

5. Отступление графика от гиперболы и вырождение ее в другую функциональную зависимость (параболу, прямую и т.п.). В этом случае не имеет смысла говорить о ценозе и его оптимизации.

2.3. Ценологический подход в образовании как организационно-управленческое условие эффективной подготовки учащихся

2.3.1. Использование рангового анализа в педагогических исследованиях

Рассмотрим возможности практического использования РА в педагогике и методику его применения в этой области [41-58, 81-89], (<http://www.gurinarv.ulsu.ru>).

Особую роль РР играют в школах и вузах. Образовательные учреждения (ОУ) живут и функционируют в условиях постоянного ранжирования текущей успеваемости, успешности участия в олимпиадах разного уровня, рейтингового оценивания (тестирование, конкурсы), ЕГЭ и т.д. Выяснено, ОУ являются педагогическими (образовательными) ценозами.

В классах есть особо одаренные учащиеся – олимпиадники, победители творческих конкурсов (будущая профессиональная элита), учащиеся со средними способностями (их большинство) и часть учащихся со способностями ниже средних (как правило, они относятся к категории слабоуспевающих). Результаты итоговой успеваемости, олимпиад, конкурсов, ЕГЭ представляются в виде набранной учащимся суммы баллов, очков и распределяются по степени убывания. Чаще всего эти результаты регистрируются в табулированном виде (рейтинговые таблицы), которые позволяют выявить лучших, средних и худших в грубых пределах, рамки которых устанавливаются субъективным мнением оценщиков (учителей, завучей, организаторов конкурсов и олимпиад). Однако табулированная форма рейтинга успеваемости учащихся не дает представления о наличии аномалий в образовательном процессе. Сколько лучших, сколько худших элементов должно входить в состав образовательной системы для ее устойчивого функционирования? На этот вопрос в табулированной форме ранжирования нет ответа. Необходимо графическое построение РР и применение РА для ответа на эти вопросы.

Образовательные ранговые системы подчиняются классическому закону ГРР (1.1) [41-58, 75]. Пример теоретического графика типичного ГРР – результат рейтинговой оценки участников образовательного процесса (рис. 2.5, а). Знание закона ГРР (1.1) необходимо для управления обра-

зовательным процессом и его прогнозированию. Как отмечалось выше, наличие табулированного РР не дает информации о характере убывания: убывание может происходить по любому другому закону, например, линейному (рис. 2.5, б, график 1), параболическому (рис. 2.5, б, кривая 2).

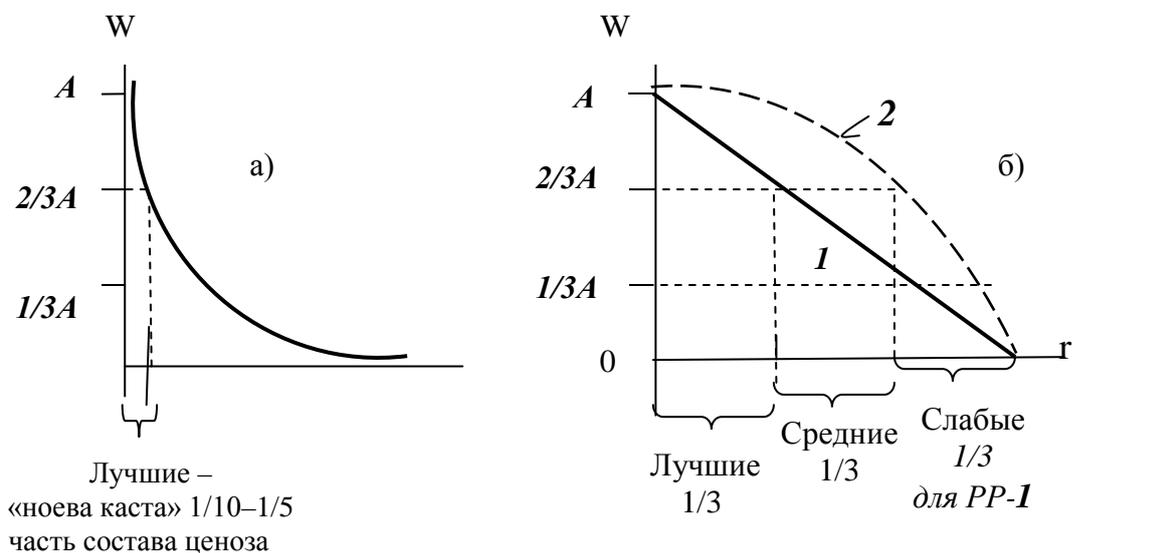


Рис. 2.5. Графики РР (теоретические) в коллективах учащихся по успеваемости:
 а) типичное гиперболическое РР учащихся по успеваемости;
 б) нетипичное убывание графика РР учащихся по успеваемости:
 1 – линейное, 2 – параболическое [51, с. 221; 85, с. 112]

Наглядная форма закона (1.1) в виде графика дает объяснение того факта, что лучших особей, составляющих «ноеву касту», по терминологии Б.И. Кудрина, в любом ценозе мало – в среднем около 10 %, но не более 20 % – это зависит от крутизны кривой распределения – коэффициента β . Чем больше крутизна, тем меньше элитная прослойка. Основной же «вес» в систематике гиперболического распределения принадлежит среднестатистическому большинству процесса. Лучшие образцы составляют интеллектуальную элиту (популяцию), что иллюстрируется на графике (рис. 2.5, а).

Если бы убывание шло линейно (рис. 2.5, б, график 1), то число лучших, средних и слабых было бы поровну – по 1/3 в каждой категории. Если бы убывание шло параболически, то лучших было бы 2/3 от общего количества. Но это не так, лучших всегда мало – 1/10-1/5 часть от общего количества, и этот факт иллюстрирует график (рис. 2.5, а).

Проверка на «ценозность» педагогических систем была осуществлена и описана в работах [41-58, 81-87]. Было построено и исследовано более 200 графиков: рейтинговые распределения школьников-участников олимпиад по физике и математике, проводимых Ульяновским государственным университетом, по результатам в баллах; рейтинговые распределения школ г. Ульяновска по количеству выпускников, поступивших в УлГУ; распределения учащихся классов по итоговой успеваемости, по результатам контрольных работ, ЕГЭ, РР количества студентов по регионам и многие другие. Построения и аппроксимации их РР показали один и тот же результат: эти РР являются H -распределениями вида (1.1).

2.3.2. Ранговый анализ в оценке и оптимизации диагностического инструментария рейтинга образовательных учреждений

Рейтинг образовательных учреждений (систем) на разных уровнях – российском, региональном, на уровне отдельного образовательного учреждения – иллюстрируют рис. 2.6-2.9. Графики (рис. 2.6, а, б) представляют ГРР рейтингов 100 лучших общеобразовательных учреждений РФ (а) и вузов (б).

График (рис. 2.6, а) построен по данным рейтинговой таблицы, опубликованной в журнале «Карьера» № 4, 2001 г., график (рис. 2.6, б) – по данным сайта www.gaexpert.ru. Аппроксимация эмпирических графиков ГРР с помощью компьютерной программы с высокой степенью точности отражает функциональную зависимость (1.1). При этом $R^2 = 0,95$ (а) и $R^2 = 0,88$ (б). Коэффициент регрессии R отражает степень соответствия эмпирической и теоретической кривых. На рис. 2.7 (б) представлен график рейтинга 100 лучших вузов России в 2012 г. Коэффициент регрессии $R = 0,9$ свидетельствует о том, что совокупность вузов России представляет собой глобальную систему-ценоз. Следовательно, система критериев и показателей для итоговой рейтинговой оценки *учебных заведений является адекватной* и позволяет объективно выделить 100 лучших образовательных учреждений России.

На рис. 2.7 (а) представлен график РР школ г. Ульяновска по числу выпускников, поступивших в УлГУ в 2000 году.

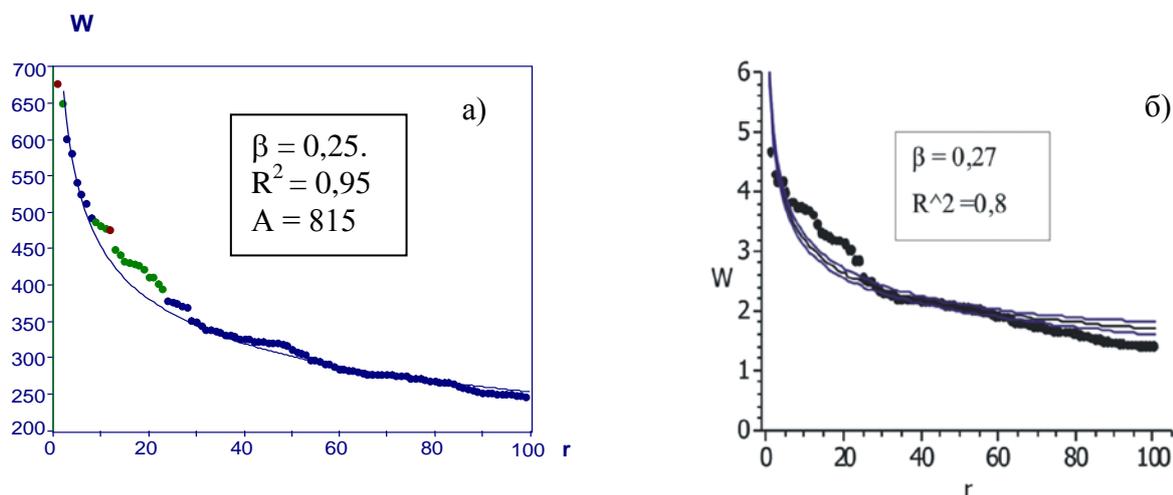


Рис. 2.6. Графики рейтинговых ГРР образовательных учреждений РФ [85, с. 117]:
 а) РР 100 лучших средних общеобразовательных учреждений России (школы, лицеи, гимназии) в 2000 г. с аппроксимацией; $A = 612,8$; $\beta = 0,5$; $r = 1$ – Московская экономическая школа; $r = 100$ – гимназия № 15218 г. Москвы;
 б) рейтинг 100 лучших вузов России в 2012 г. по итоговому рейтинговому функционалу W ; r – ранговый номер вуза; $r = 1$ – МГУ; $r = 2$ – МГТУ им. Н.Э. Баумана; $r = 90$ – УлГУ; $r = 100$ – Новосибирский госуниверситет экономики и управления

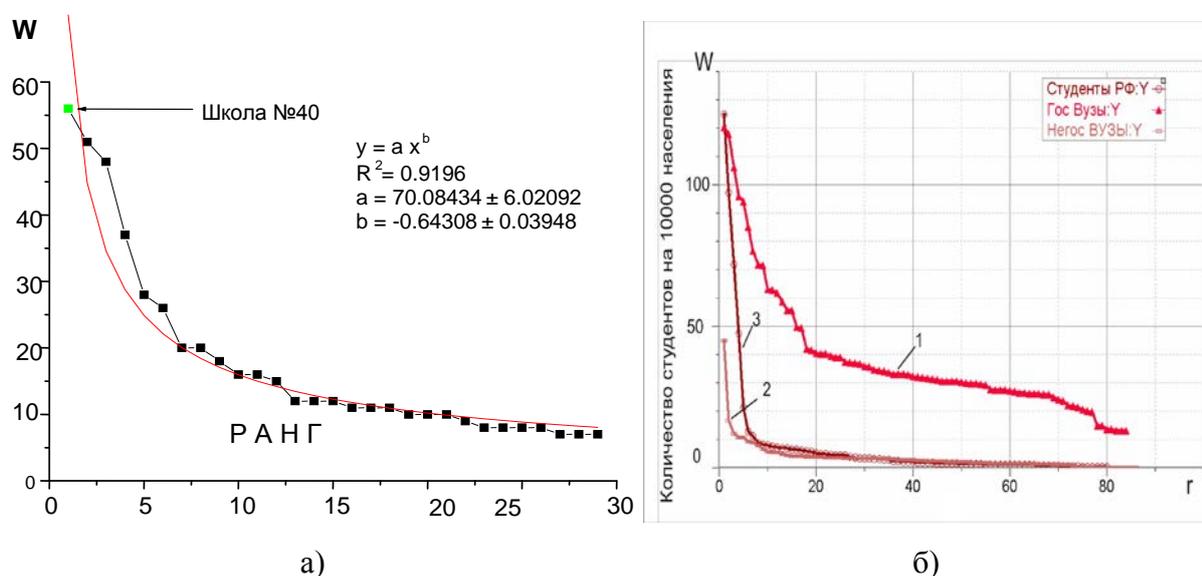


Рис. 2.7. Графики РР:
 а) РР школ г. Ульяновска по числу выпускников, поступивших в УлГУ в 2000 г. с аппроксимацией: r – ранговый номер школы; W – число выпускников, поступивших в УлГУ из определенной школы $A = 63,25$, $\beta = 0,64$; $R^2 = 0,92$ [47, с. 18];
 б) РР количества студентов вузов $W(r)$ на 10000 населения по субъектам РФ в 2010 г.: 1 – РР студентов государственных вузов; 2 – РР студентов негосударственных вузов; 3 – общее РР студентов вузов (государственных + негосударственных) [85, с. 120]

Рис. 2.7 (б) иллюстрирует РР количества студентов вузов на 10000 населения по регионам (субъектам) РФ.

Рис. 2.8 отображает график РР школ г. Ульяновска по числу выпускников, поступивших в УлГУ в 2003 году на разные факультеты по внебюджетному приему, и имеет параметры: $A = 113$; $\beta = 0,8$. Из графика видно, что 3 номинации – юристы, медики и лингвисты – составляют около 50 % внебюджетников.

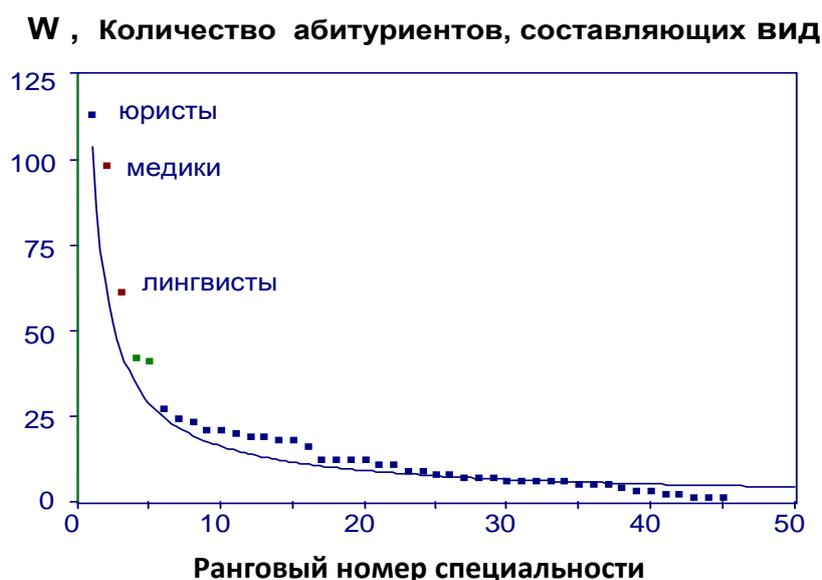


Рис. 2.8. График рангового видового распределения количества абитуриентов W различных школ г. Ульяновска, зачисленных в 2003 г. на различные специальности в УлГУ по внебюджетному приему; r – видовой ранг специальности [47, с. 16]

Как видно из рис. 2.6-2.8, графики представляют собой ГРР, соответствующие математической зависимости (1.1). Аппроксимированная кривая хорошо ложится на эмпирические кривые. Следовательно, студенчество России представляет собой глобальную систему-ценоз, часть этого ценоза (популяция) – студенчество УлГУ г. Ульяновска.

На рис. 2.9 представлены ГРР, отражающие научную деятельность преподавателей Ульяновского госуниверситета (УлГУ). Рис. 2.9 (а) иллюстрирует рейтинг по числу публикаций, рис. 2.9 (б) – по индексу Хирша в 2014 году (построено по данным сайта www.ulsu.ru).

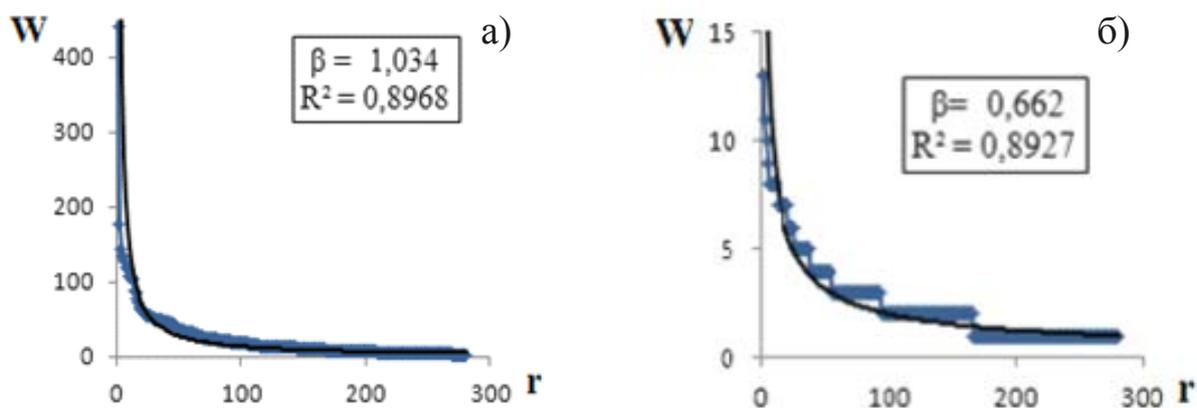


Рис. 2.9. Рейтинговые ГРР преподавателей УлГУ [82, с. 30]:
 а) по количеству публикаций W ; б) по индексу Хирша, W – показатель Хирша;
 r – ранговый номер преподавателя в рейтинговой таблице
 (1 – рейтинг проф. В.В. Учайкина)

Высокое значение квадрата коэффициента регрессии $R^2 = 0,89$ свидетельствует о наличии устойчивого сообщества-ценоза ученых в УлГУ.

Как применять закон рангового распределения для управления образовательными системами?

Как было сказано выше (гл. 1; 1.2), в настоящее время закон ГРР рассматривается как уточненный закон Парето 80/20, или закон Парето – Кудрина. Гиперболическое ранговое убывание отражает на более тонком уровне принцип 80/20 [59, 60]. Закон Парето называют принципом наименьшего усилия, принципом дисбаланса, согласно которому небольшая доля вкладываемых средств (усилий) – 20 % – отвечает за большую долю – 80 % результатов (получаемой продукции или заработанного вознаграждения). Мы привыкли думать, что 50 % ресурсов, вложенных в дело, дадут 50 % результат (конечного продукта), а 100 % – 100 % результат. Однако это «вредное» заблуждение, не соответствующее действительности (20 % профессоров учреждения выполняют 80 % всей научной работы; лишь 20 % детей используют 80 % возможностей, представляемых системой образования в данной стране, и т.д.).

К сожалению, принцип Парето до сих пор плохо учитывается в педагогике. Заблуждением является ожидание, что все 100 % учащихся должны понять новый материал, объясняемый учителем. Если учитель при этом «выложился», а 20 % учащихся поняли 80 % объясняемого материала – надо считать это хорошим результатом. При планировании определенного

объема работы (например, при написании квалификационных работ) надо учитывать, что на доскональное выполнение всех 100 % будет затрачено неоправданно много времени. Стоит остановиться, когда работа выполнена на 80 % – это уже соответствует достаточно высокому стандарту, а выполнение остальных 20 % работы отнимет у вас гораздо больше времени, чем стоит на него затратить (точнее, 80 % времени, отведенного на всю работу).

Советская система образования содержала идею всеобщего равенства, в том числе и в образовании. В стремлении выучить всех до определенного стандарта огромные усилия учителей тратились на работу с отстающими. Принцип баланса 50/50 (сколько затратил – столько получил) – неверен. Понимание и использование принципа 80/20 дает реальное представление об окружающем мире и свидетельствует о наличии ценологического мышления.

У ценозов свои законы. Например, в любом классе, в любой школе есть отличники и двоечники. Но если собрать всех отличников в одном классе, то спустя время в нем образуются свои двоечники, если еще и еще раз отберем – все повторится. Например, в профильные лицейские физико-математические классы при УлГУ производится конкурсный отбор, при этом средний балл аттестата за основную школу – 4, 5. В конце 1-го полугодия в классах образуется гиперболическая ранговая система с отличниками и двоечниками. Победители олимпиад, отличники, как правило, образуют сильный блок – интеллектуальную элиту. Основная масса учащихся попадает в среднеуспевающие. В том числе образуются и «двоечники»; если их слишком много – более 10 % – системе угрожает опасность: образовательные цели могут быть не достигнуты. Придя из другой школы отличниками или «хорошистами», часть учащихся попадает в категорию отстающих. В специализированных лицейских и гимназических классах с конкурсным набором происходит отсев неуспевающих (номенклатурная оптимизация) или тех учащихся, кто неверно выбрал образовательную траекторию. Лицейские и гимназические классы при вузах представляют собой жесткие ранговые системы.

В вузы с тщательным конкурсным отбором попадают лучшие из лучших, но и здесь к началу второго семестра образуется ранговая система с успешными студентами и отстающими «хвостистами». Это закон. Так в

социуме, так в природе, так в технике. Причем нигде нельзя обойтись без «двоечников» и без «отличников», без «плохой» продукции и «хорошей». Если тех или других не будет – ценоз развалится, рухнет. Однако двоечников не должно быть слишком много – закон гиперболы должен соблюдаться, иначе система не достигнет учебных целей.

2.3.3. Оптимизация валидности тестов, олимпиадных, контрольных и тестовых заданий методом рангового анализа

РА может быть использован для проверки валидности (пригодности) и надежности олимпиадных, контрольных и тестовых заданий, а также проверки их объективности [45, 47, 51, 55, 58, 75]. Правильно составленные и правильно проверенные олимпиадные, тестовые и контрольные задания приводят к результатам, которые адекватно отражаются законом ГРР. Любые искажения в валидности и надежности тестовых заданий дадут искажения в форме гиперболической кривой РР тестируемых учащихся по оценочным баллам (выпадение точек из теоретической аппроксимированной кривой, «горбы», «хвосты», «изломы»). Однако эти утверждения справедливы лишь при выполнении необходимого условия: отсутствие обмена информацией среди учащихся и списывания. Только тогда искажения в кривой H -распределения можно будет отнести непосредственно к качеству тестовых заданий.

Если тестовые задания слишком трудные для учащихся, и они не справились с ними, то график РР будет близок к прямой, параллельной оси абсцисс (рангов) и лежащей близко к ней; если же тестовое задание слишком легкое, и все успешно справились с ним (не исключено, что этот хороший результат обусловлен списыванием), то график будет близок к прямой, параллельной оси абсцисс, лежащей высоко, на уровне максимальных оценочных баллов за тест. Графики невалидных тестовых и контрольных заданий приведены на рис. 2.10.

Пример удовлетворительной и хорошей валидности контрольных заданий по физике представлен на рис. 2.11, фактически отражающем РР результатов тестирования (а) и контрольной работы (б).

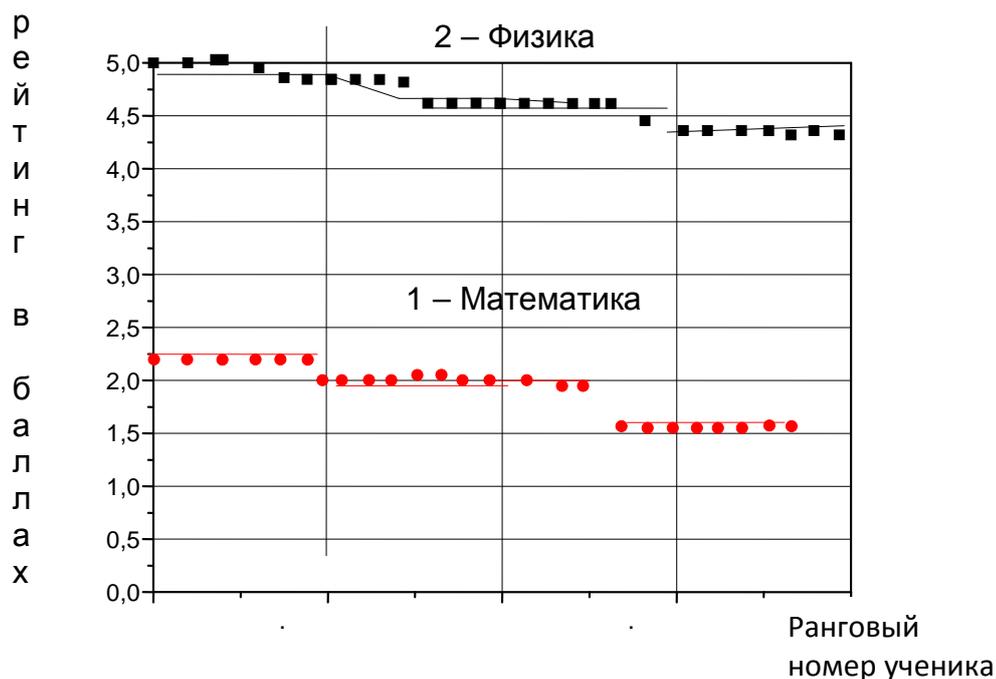


Рис. 2.10. Графики рейтингового распределения учащихся 11 «В» ФМК, отражающие результаты тестирования по невалидным тестам: 1 – классный тест по математике слишком сложный – никто не справился (20 апреля 2005 г.); 2 – тест по физике (контрольная работа) слишком легкий (28 апреля 2005 г.) [75, с. 169]

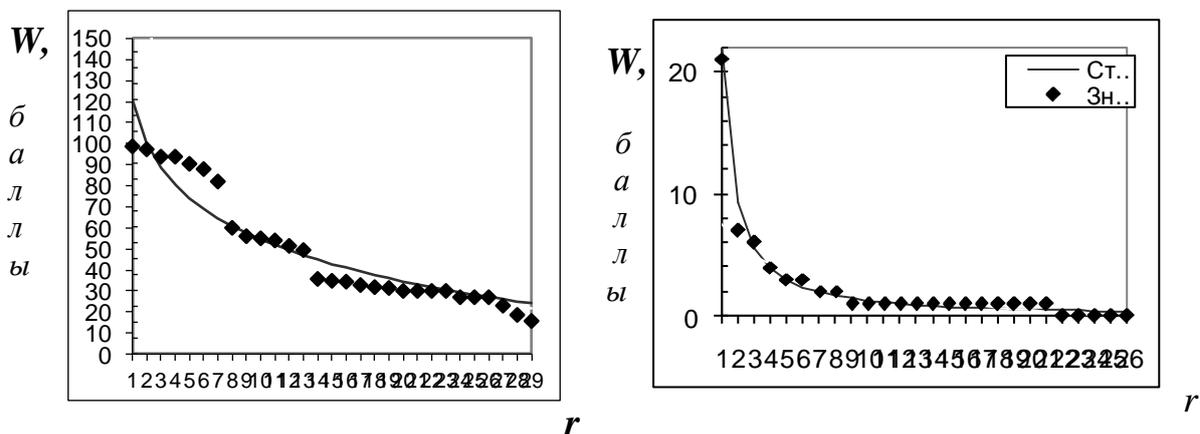


Рис. 2.11. График рангового распределения учащихся по образовательным результатам: а) РР результатов тестирования по физике в 11 «В» классе (число участников – 29, апрель 2005 г., валидность удовлетворительная, W – рейтинг в баллах, r – ранговый номер учащегося: $A = 120$, $\beta = 0,76$) [75, с. 170]; б) РР учащихся по рейтингу контрольной работы по физике в 11 «В» классе (число учащихся – 26, февраль 2006 г., задания валидны и надежны, W – рейтинг в баллах, r – ранговый номер учащегося: $A = 22$, $\beta = 0,9$) [75, с. 170]

Характер ГРР на графике (рис. 2.11, а) сильно нарушен, но тест позволяет дифференцировать учащихся: выделяются по знаниям сильные, слабые и средние учащиеся. Пример валидной контрольной работы (разноразрядные задания, рейтинговая система оценки) представлен на рис. 2.11 (б). График (рис. 2.11, б) свидетельствует о том, что при организации контрольной работы выполнены следующие условия: никто из учащихся не списывал, так как каждый учащийся имел свой вариант задания, иначе появились бы выпадающие из графика точки. Правильно распределено количество баллов, оценивающее сложность задач; подбор заданий и проверка работ осуществлены квалифицированно.

Из изложенного выше следует, что оценку валидности тестовых заданий можно произвести с помощью кривых РР результатов тестирования, сравнив их с эталонными графиками при условии исключения факторов списывания и взаимного консультирования учащихся, которые приводят к искажению графика ГРР.

Таким образом, построение ГРР результатов тестирования (проверки контрольных заданий) и последующий их РА позволяют проводить оценку диагностического инструментария образовательного процесса и выделить по крайней мере три уровня валидности [47, 51, 75]:

1) **задания не валидны** (слишком трудны или слишком просты, реальный график рангового распределения – это прямая, параллельная оси рангов, лежащая на уровне самых высоких баллов или на уровне самых низких баллов) (рис. 2.10);

2) **удовлетворительная валидность, или средний уровень валидности:**

– реальный график $W(r)$ показывает спад рейтинга, но по прямой линии или по линии, не являющейся гиперболой;

– реальный график $W(r)$ является искаженной гиперболой, аппроксимирующей зависимостью (1.1) с низким значением β и коэффициента регрессии из-за сильных искажений (рис. 2.11, а);

3) **высокая валидность – гипербола со значением β около 1 (высокий уровень валидности)** (рис. 2.11, б).

При желании возможно выделить еще один уровень валидности – **между высоким и средним.**

Надежность и валидность заданий гарантируются:

- квалифицированным подбором заданий разного уровня трудности;
- объективным распределением оценочных баллов за каждое задание.

После определения уровня валидности заданий переходят к этапу *оптимизации содержания тестовых (контрольных) заданий*:

1) слишком простые задания усложняются (или слишком сложные упрощаются);

2) увеличивается число ответов в закрытых тестах; увеличивается число вариантов контрольных работ (оптимально – каждый учащийся имеет индивидуальное задание);

3) качество ответов в тестах улучшается с целью уменьшения вероятности отгадывания (исключаются ответы-подсказки или явно неадекватные ответы).

Тестовый контроль с использованием закрытых тестов предполагает угадывание правильного ответа, что является основным недостатком, который отмечают все противники тестов. Однако неоспоримым преимуществом является быстрая и легкая проверка учителем результатов, особенно если тесты выведены на компьютер.

Опыты показали, что случайное отгадывание правильного ответа составляет в среднем от 20 % (валидные тесты) до 30 % (менее валидные и надежные). Проводился эксперимент, в котором участвовали 40 учащихся 11 «В» и 11 «Г» Лицея физики, математики и информатики № 40 при УлГУ г. Ульяновска. Участникам эксперимента предлагалось наугад нажимать клавиши, т.е. пытаться без решения отгадывать правильные ответы. Опыт показал: в компьютерных тестах (по 20 заданий в каждом тесте и по 6 ответов на каждое задание) отгадывание правильных ответов учащимися при случайном нажатии клавиш составило в среднем 29,7 % по отношению к максимально допустимому количеству баллов. Причем учащимся предлагались тесты из разных разделов физики с максимально допустимым количеством баллов – 64, 73, 81. Таким образом, нижняя граница оценки за тест должна устанавливаться из случайного нажатия кнопок (предварительный эксперимент). Для наших тестов оценка «2» ставится за 30 % правильно набранных баллов. Далее преподаватель выстраивает шкалу оценок, отталкиваясь от нижней границы – 30 %.

2.3.4. Формирование ценологического мышления

Сформированное у учащихся *ценологическое мышление* характеризуется системным восприятием мира и видением окружающей действительности как ценологической реальности.

Ценологическое мышление предполагает осознание каждым учащимся себя как «особи» в разных ранговых распределениях: успеваемость по различным предметам, спортивные успехи, способности к разным видам искусства (музыке, танцам, рисованию и т.д.). В любом классе среди учащихся должны быть «звезды», но должны быть и «слабые», и это нормальное устойчивое состояние системы. И те, и другие, и третьи составляют систему, и если эта система подчинена гиперболической зависимости, то это ее нормальное стабильное состояние – система устойчива. Наличие слабых учащихся – необходимость.

Наш опыт показывает, что учащиеся с ценологическим мышлением бережно относятся к слабым. Феномен изгоев исчезает: слабое звено необходимо – оно, как и другие звенья, стабилизирует систему. Осознание этого феномена составляет основу ценологического мышления. Знание закона ГРР (1.1) мотивирует и побуждает к действию: учащиеся осознают, что возможно движение как вверх, так и вниз по ранговой кривой и необходимо двигаться вверх. Осознание своего места в ранговой системе позволяет оценить свои возможности в постановке реальных целей и задач, найти средства, с помощью которых каждый учащийся сможет «двигаться вверх по ранговой кривой». В целях оптимизации процесса обучения в школе по любому предмету можно использовать РА. Учащиеся очень любят графическое представление успеваемости в виде ранговых кривых, которые являются мотивационным средством, побуждающим учащихся непрерывно следить за своим рейтингом и поднимать его. Это имеет большое воспитательное значение, так как ученики привыкают жить в ранговой системе.

Среди учащихся всегда есть стремление быть первым среди других хоть в чем-то, и задача учителей найти для каждого учащегося такое распределение, в котором он будет в числе лучших (учеба, спорт, художественная самодеятельность, хозяйственная деятельность, музыка, шахматы личностные качества и т.д.).

Таким образом:

- Образовательные структуры и системы также в большинстве случаев представляют собой ценозы.
- Гиперболический закон рангового распределения отражает рейтинговую систему оценки знаний, является ее математическим выражением, а графическая визуализация обеспечивает ее наглядность.
- Учет закона рангового распределения является управленческим условием функционирования образовательной системы, так как позволяет производить объективную оценку качества средств образовательного процесса (валидности и надежности тестовых, контрольных заданий) и намечать пути их оптимизации.
- Применение РА в педагогических системах имеет широкие прогностические возможности: он позволяет прогнозировать результаты обучения (количество двоек на группу на любом экзамене должно составлять 5-10 % от общего числа оценок, то же относится к отличным оценкам).
- Ранговый анализ может быть использован в технологии оценки и контроля качества образования в образовательных учреждениях. Использование закона ГРР (1.1) позволяет устанавливать объективные рейтинговые рамки любых оценочных мероприятий в педагогических системах.
- Использование рангового анализа в обучении формирует *ценологическое мышление*.

2.4. Исследование космического мусора методом рангового анализа

2.4.1. Космический мусор как часть техносферы и его опасность для Земли

Вокруг Земли в последние десятилетия образовался **космический мусор (КМ*)** – организованная человеком техническая реальность – совокупность обломков космических кораблей и ИСЗ, являющаяся опасным фактором воздействия на функционирующие космические аппараты, вращающиеся вокруг Земли. Искусственные спутники и космические корабли со временем становятся мусором. Прямую опасность для Земли представляют объекты космического мусора при их неконтролируемом сходе с орбиты и выпадении обломков на населенные пункты, промышленные объ-

екты, транспортные коммуникации и т.п. Обломки захламляют околоземную орбиту и все пространство космоса в целом. КМ* представляет реальную угрозу тем спутникам, которые обеспечивают связь на Земле, следят за погодой, отслеживают метеоритную опасность и т.д.

В настоящее время космический мусор рассматривается как объект оборонно-космического комплекса и его исследования различными методами актуальны [90].

По разным оценкам в районе низких околоземных орбит вплоть до высот около 2000 км находится порядка *300 тыс. техногенных объектов общей массой до 5000 тонн*, по данным Управления ООН по вопросам космического пространства [91]. Общее число таких объектов (поперечником более 1 см) может достигать 60 000-100 000. Из них только порядка 10 % обнаруживаются, отслеживаются и каталогизируются наземными радиолокационными и оптическими средствами и только около 6 % отслеживаемых объектов – действующие. Около 22 % объектов прекратили функционирование, 17 % представляют собой отработанные ступени и блоки ракет-носителей и около 55 % – отходы, технологические элементы, сопутствующие запускам, и обломки взрывов [91-92].

2.4.2. Космический мусор как новый вид техноценоза

Земные техноценозы довольно хорошо изучены, и люди научились ими управлять и прогнозировать их состояние [93]. Однако является ли космический мусор новым видом техноценоза? Является ли космический мусор технической реальностью, самоорганизующейся в ценоз, или случайным набором обломков, можно ли им управлять?

Обозначим важные задачи изучения КМ* как технической реальности:

- **проверка применимости закона ГРР (1.1) к объектам КМ*;**
- **выявление отличительных признаков КМ* как нового вида техноценоза от других видов известных земных техноценозов;**
- **поиск возможностей прогнозирования состояния околоземного КМ* с помощью РА**, как это делается для земных техноценозов, чтобы научиться управлять им и уменьшить угрозу человечеству.

Методом исследования являлся РА, средством – программа QtiPlot-0.9.7.9. В результате проведенного исследования выяснено, что космиче-

ский мусор – это сформировавшийся техноценоз [94, 95]. Ниже приводятся результаты РА космического мусора.

КМ* оценивается по таким параметрам, как: масса, размер, отношение площади к массе S/m . Для построения графиков РР объектов мусора были взяты данные проекта «Пулкон» – 213 объектов КМ*, для которых известны их параметры [91, 92].

Особенностью в изучении КМ* является то, что куски мусора характеризуются таким параметром, как отношение площади поперечного сечения куска к массе S/m (если представить тонкие куски единичной массы, то это число будет являть собой их площадь поверхности). Тогда параметр – $N S/m$; m^2/kg – произведение числа кусков вида на размер куска отражает общую площадь (геометрический размер) данного вида КМ* – специфический параметр КМ*. Из [91, 92] получена информация о размерах кусков КМ* и их количестве, позволившая построить табулированное РР (табл. 2.1), а затем графические РР мусора по специфическому параметру $N S/m$; m^2/kg .

Таблица 2.1

**РР 213 объектов мусора по параметру $N S/m$ – размеру популяций;
S – площадь кусков, N – мощность популяции (вида)**

Параметр, характеризующий отдельную особь вида, S/m , m^2/kg	Кол-во штук в виде, N, шт.	Размер вида W, $N S/m$, m^2/kg	Ранг, r	$\ln r$	$\ln W$
50,000	9	450,000	1	0,000	6,109
10,000	27	270,000	2	0,693	5,598
20,000	13	260,000	3	1,099	5,561
5,000	44	220,000	4	1,386	5,394
2,000	42	84,000	5	1,609	4,431
1,000	11	11,000	6	1,792	2,398
0,500	16	8,000	7	1,946	2,079
0,100	20	2,000	8	2,079	0,693
0,200	6	1,200	9	2,197	0,182
0,050	9	0,450	10	2,303	-0,799
0,020	6	0,120	11	2,398	-2,120
0,010	6	0,060	12	2,485	-2,813
0,005	3	0,015	13	2,565	-4,200
0,002	1	0,002	14	2,639	-6,215

На графиках (рис. 2.12) представлены РР мусора по параметру $N S/m$. Специфические изломы на графиках в виде двух гипербол и двух отрезков прямых указывают на существование двух подсистем [94] – двух фракций КМ* – мелкой и более крупной.

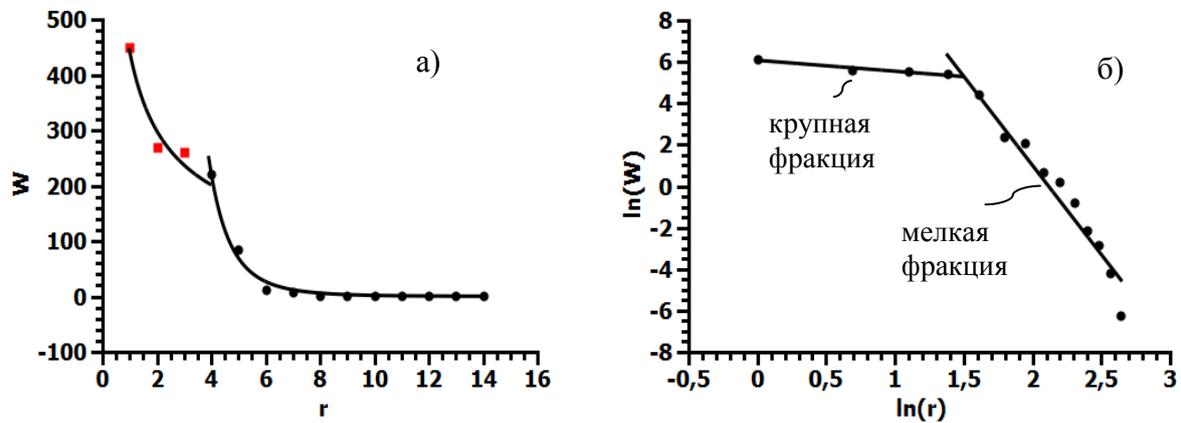


Рис. 2.12. Графики РР космического мусора по параметру $N S/m = W$ (без аппроксимации): а) график непосредственно РР $W(r)$; б) график того же РР в двойном логарифмическом масштабе [94, с. 54]

В таблице 2.2 представлено табулированное РР КМ* по количеству объектов в виде – мощность вида. Видовым параметром в данном случае является отношение площади поперечного сечения объекта к его массе S/m , m^2/kg . Вид в данном случае – совокупность объектов КМ* с определенным параметром S/m . Ранжируемая величина – количество объектов в виде $W = N$. Первый вид – малые объекты 2 и 5 m^2/kg , численность – 86 штук.

Таблица 2.2

РР КМ* по количеству объектов в виде [94, с. 54]

r	Видовой параметр $S/m; m^2/kg$	Кол-во объектов в виде (мощность вида) $W = N$	$\ln r$	$\ln W$
1	5,000; 2,000	86,000	0,000	4,33
2	10,000	27,000	1,099	3,296
3	0,100	20,000	1,386	2,996
4	0,500	16,000	1,609	2,773
5	20,000	13,000	1,792	2,565
6	1,000	11,000	1,946	2,398

r	Видовой параметр $S/m; m^2/kg$	Кол-во объектов в виде (мощность вида) $W = N$	$\ln r$	$\ln W$
7	50,000	9,000	2,079	2,197
8	0,050	9,000	2,197	2,197
9	0,200	6,000	2,303	1,792
10	0,020	6,000	2,398	1,792
11	0,010	6,000	2,485	1,792
12	0,005	3,000	2,565	1,099
13	0,002	1,000	2,639	0,000

Графики (рис. 2.13 а, б) – это ГРР объектов КМ* по их количеству в виде.

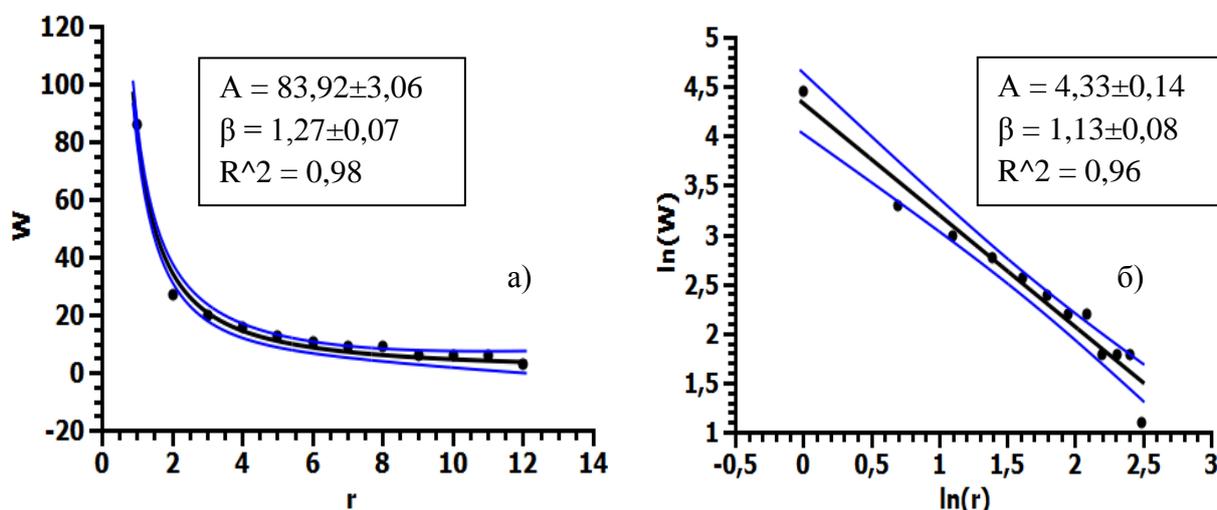


Рис. 2.13. Рангово-видовое распределение КМ* [95, с. 265]:

- а) график РР количества объектов в виде $W = N$ согласно данным таблицы;
 б) то же в двойном логарифмическом масштабе

Из графиков видно, что кривые с большой точностью аппроксимируются гиперболой: квадрат коэффициента регрессии R^2 , отражающий степень приближения эмпирических точек к теоретическим графикам имеет высокое значение – 0,98 (а) и 0,96 (б). По обе стороны от аппроксимационных графиков располагаются линии доверительного интервала, составляющего 0,95. Из графиков видно, что эмпирические точки почти все входят в доверительный интервал. Видовым параметром в данном случае является отношение площади поперечного сечения объекта к его массе

S/m ; m^2/kg . Вышеизложенное свидетельствует о том, что КМ* сформировался как техноценоз.

На следующих графиках (рис. 2.14 а, б) по данным таблицы 2.3 построены графики *видового распределения* КМ* в зависимости от мощности вида. Вид в данном случае – группа объектов, имеющих определенное отношение площади к массе S/m (например, если для объекта КМ* S/m равно $50 m^2/kg$, это означает принадлежность этого объекта к виду № 1). Оговоримся, что номер вида здесь не является ранговым числом – нумерация видов введена условно.

Таблица 2.3

Видовое РР: зависимость видового параметра КМ* от мощности популяции КМ* (количества кусков КМ* в виде) [94, с. 56]

Видовой параметр $W = S/m, m^2/kg$	50	20	10	5	1,5	0,1
Число объектов вида N , штук	9	13	27	44	53	67
Условный № вида	1	2	3	4	5	6

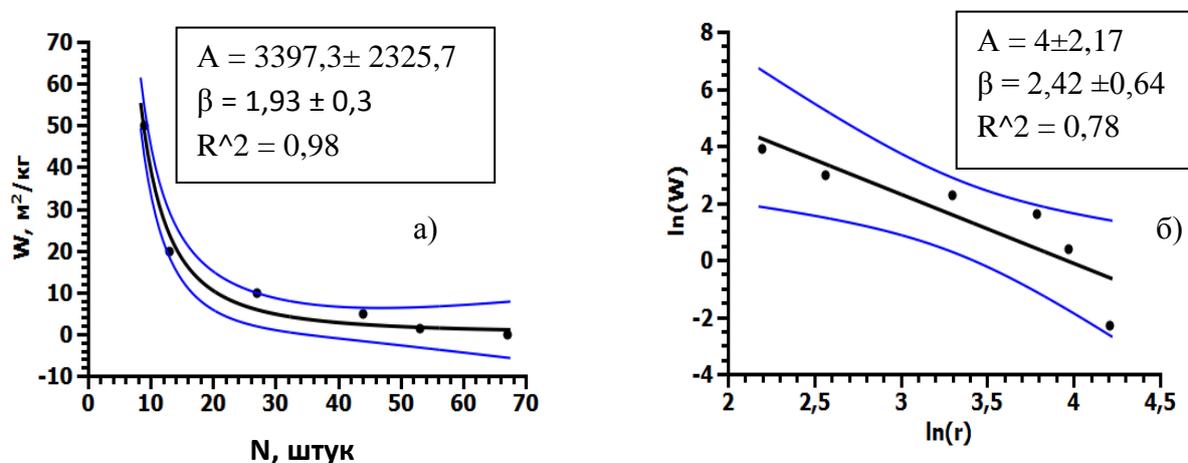


Рис. 2.14. Графики видового РР космического мусора [94, с. 56]:
а) зависимость видового параметра $S/m = W$ от мощности вида;
б) то же в двойном логарифмическом масштабе

Видовое эмпирическое РР с высокой степенью точности соответствует аппроксимационному ГРР (сплошная линия посередине двух граничных линий доверительного интервала, равного 0,95): квадрат коэффициента регрессии R^2 имеет высокое значение в обоих случаях – 0,98 (а) и 0,78 (б). Среднее значение $\langle R^2 \rangle = 0,88$.

Таким образом, на основании построений ГРР объектов КМ* можно заключить, что КМ* сформировался как новый вид техноценоза – *космотехноценоз*.

Специфическими особенностями КМ* как космотехноценоза являются:

1. Среда обитания КМ* – космос. Специфическим ресурсом в космосе является пространство и борьба тел за этот ресурс, которая осуществляется механизмом гравитационного притяжения.

2. Свойство КМ* как космотехноценоза, в отличие от наземного техноценоза, заключается в его удаленности, что затрудняет управление им человеком, обуславливая более слабую связь «человек-техноценоз». Данное свойство делает весьма затруднительным или вообще невозможным осуществление оптимизации космотехноценоза.

3. КМ*, в отличие от наземного техноценоза, имеет свойство бесконтрольно саморазмножаться. Человек лишь может просчитывать скорость и размеры (масштабы) размножения.

Так как законы развития техноценозов изучены, полученные знания позволят выработать механизмы и выявить специфику управления КМ* – новым видом техноценоза.

Цель оптимизационных мероприятий с космическим мусором – это снижение техногенного засорения околоземного пространства.

Исследования проблемы засорения показали, что искусственные способы очистки космоса настолько дороги, что данная проблема может быть решена только в международном масштабе. При этом уровень техногенного засорения космоса будет возрастать вследствие разрушений существующих космических аппаратов и их ступеней из-за взрывов и столкновений с частицами космического мусора.

Перспектива дальнейших исследований – на основании техноценологической теории и метода РА разработать модель способа борьбы с космическим мусором.

Глава 3. ИЕРАРХИЯ САМООРГАНИЗУЮЩИХСЯ КОСМИЧЕСКИХ СИСТЕМ С ГИПЕРБОЛИЧЕСКИМИ РАНГОВЫМИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯМИ

3.1. Фрактальная иерархическая самоорганизации материи

Модель иерархического строения Вселенной, разработанная К. Шарлье [62], представляет Вселенную как *бесконечную совокупность входящих друг в друга систем* все возрастающего порядка сложности: самоподобные аналоги объектов и явлений различных уровней с совпадающей морфологией, кинематикой и динамикой. То же утверждает Теория Бесконечной вложенности материи: для каждого класса объектов или явлений в данном масштабном уровне есть аналогичный класс объектов или явлений в любом другом масштабном уровне, то есть глобальная иерархия природы является дискретной [62, 63]. При этом основными положениями Теории являются следующие:

- Вселенная состоит из бесконечного числа вложенных фрактальных уровней материи с подобными друг другу характеристиками;
- каждый уровень материи включает в себя носители с определенным спектром размеров и масс. Материя самоорганизуется в стабильные состояния;
- Вселенная вечна, в отличие от современных теорий Большого взрыва. Носители материи постоянно рождаются и затем трансформируются в носители своего и/или других уровней;
- пространство имеет дробную размерность, стремящуюся к 3 (трем). Точное число зависит от строения материи и ее распределения в пространстве. Время в данной теории – самостоятельная координата и является производным от скорости движения материи;

- ход времени и вычислений гораздо быстрее на микроуровне и медленнее на макроуровне;
- электромагнитное поле – модификация гравитационного, то есть является гравитационным полем нижележащего уровня материи.

Отметим вклад других ученых в данное направление.

Ирландский ученый *Фурнье Д'Альба* в 1907 году в своей работе «Два новых мира: Инфрамир и супрамир» [96] сделал предположение, что иерархическая лестница организации материи простирается также вовнутрь материи в сторону уменьшения. У Фурнье Д'Альба отношение линейных размеров звезды и атома выражается числом 10^{22} . Такое соотношение пространственных размеров Фурнье Д'Альба распространил и на время: одна секунда на «нулевом» уровне равна сотням триллионов лет в инфрамире, а секунда в супрамире равна сотням триллионов земных лет.

Французский ученый *Бенуа Мандельброт* – создатель математической теории простых иерархических (рекуррентных) самоподобных множеств, для описания самоподобных систем ввел термин *фрактал*. Космологические и философские взгляды Мандельброта хорошо отображены в его работах, посвященных фрактальной структуре Вселенной [59, 60].

Из современных исследователей, развивающих модель космологического самоподобия (The Self-Similar Cosmological Model), американский ученый *Роберт Ольдершоу* в ряде работ с 1978 года выделил три основных уровня материи – *атомный, звездный и галактический уровни* [97]. На данных уровнях материя сосредоточена в виде нуклонов, звезд, галактик. Наблюдаются следующие примеры подобия во Вселенной:

- вращение носителей друг возле друга под действием силы, убывающей обратно пропорционально квадрату расстояния;
- джеты и выбросы материи одинаковой формы в звездных и галактических системах;
- отношение размеров самых больших атомов к размеру нуклона того же порядка, что и отношение размера больших звездных систем к размеру нейтронной звезды;
- зависимости между спином и массой, между магнитным моментом и спином имеют одинаковую форму у атомных и звездных систем;
- зависимость между радиусами и периодами колебаний электрона в Ридберговских атомах очень похожа на закон Кеплера для планет.

Ольдершоу осуществляет сопоставление Солнечной системы и Ридберговского атома с номером орбиты $n = 168$ через коэффициенты подобия по массе, размерам и времени протекания процессов между атомными и звездными системами. Он считает, что элементарные частицы следует представлять как заряженные и вращающиеся черные дыры.

На уровне звезд и галактик также предполагаются объекты, подобные электрону и протону. В частности, на уровне звезд черным дырам приписывается электрический заряд величиной до $1,5 \cdot 10^{18}$ Кл. На уровне галактик электрону соответствуют шаровые скопления звезд, а протону и более массивным атомным ядрам – галактики. Для электрона Ольдершоу вводит понятие *гало*, состоящее из мельчайших частиц, образующих вещество электрона. Это гало окружает ядро электрона так же, как внешние звезды шарового скопления окружают ядро скопления. Идеи Ольдершоу в настоящее время развиваются *С.Г. Федосиным* [98, 99] и другими авторами.

Гиперболические РР (1.1) относятся к *фрактальным распределениям*. Фрактальные распределения известны давно. Свойства этих распределений были изучены Парето (1897) и Леви (1925). Парето было обнаружено, что распределение доходов населения хорошо аппроксимируется *лог-нормальным* распределением (см. прил. к параграфу 3.1), за исключением приблизительно трех процентов наивысших индивидуальных доходов. В частотном выражении это распределение имеет максимум, как гауссово, но оно несимметрично, так как имеет длинный хвост (в специальной литературе его называют «толстый хвост»). На этом участке доход начинает следовать гиперболическому закону, что дает утолщение хвоста. Грубо говоря, *вероятность того, что один человек в десять раз богаче другого, подчиняется нормальному распределению*, но вероятность стократного превышения благосостояния оказывается намного больше той, что предсказывается нормальным распределением. В экономической литературе такие распределения носят названия Парето, или Парето – Леви, или устойчивые паретовские распределения [36, 39, 100].

Парето предположил, что этот утолщенный «хвост», вероятно, возникает потому, что богатый может более эффективно умножать свое богатство, чем средний индивид, чтобы достичь более высокого благосостояния и более высоких доходов [38, 39]. Форма этих *фрактальных распределений* в сравнении с нормальным распределением характеризуется

высоким пиком и толстыми «хвостами». Фрактальные распределения имеют еще одну фрактальную характеристику: прерывистость [59, 60].

В нормальном распределении большие изменения происходят из-за большого количества малых изменений. В случае *фрактального распределения* большие перемены происходят как следствия малого количества больших изменений.

В этой главе нами выделяются 5 уровней организации космической материи по признаку «ценности», или *ценологическому принципу*, то есть организации материи в ценозы с гиперболическим РР объектов в них:

- 1. Земной уровень.**
- 2. Уровень Солнечной системы – планетарный.**
- 3. Галактический (наша Галактика).**
- 4. Метагалактический уровень (метагалактика).**
- 5. Микроуровень (микрочастицы), распространяющийся на все предыдущие уровни.**

На каждом уровне организации материи выполняется закон гиперболического РР (1.1), что доказывает фрактальность строения Вселенной, наряду с результатами вышеназванных авторов.

При этом рассмотрены следующие РР на каждом уровне:

- на Земном уровне – РР объектов различных геофизических систем и составов (атмосферы, гидросферы, литосферы, кратеров на поверхности планеты Земля);
- на уровне Солнечной системы – РР планет, спутников планет и астероидов, комет по различным параметрам;
- на галактическом уровне – системы и объекты, входящие в состав нашей галактики (классы звезд, звездные скопления, внесолнечные планетные системы и другие объекты), и их ранговые распределения по различным параметрам;
- на метагалактическом уровне – РР галактик, скоплений галактик по массам, светимости галактик состава межгалактической среды;
- на микроуровне – РР состава космического излучения, РР энергии атома водорода по энергетическим уровням.

Во всех случаях и на всех уровнях показана самоорганизация материи в системы-ценозы с гиперболическими ранговыми распределениями объектов в них.

В нашем случае самоподобие фрактальных уровней Вселенной выражено самоорганизацией материи на разных иерархических уровнях в *ценозы*, которые описываются единым математическим аппаратом [61]. То есть, в отличие от *структурной* уровневой фрактальной самоорганизации, в нашем случае рассматривается уровневая *функциональная* фрактальность.

3.2. Самоорганизация объектов в геофизические системы с гиперболическим ранговым распределением

Доказательства фрактальной самоорганизации материи в ценозы на уровне Земли – результаты построения параметрических и рангово-видовых ГРР геофизических объектов со спрямлением в двойном логарифмическом масштабе. Рассмотрены следующие ГРР:

- 1) *состава земной коры (литосфера, гидросфера);*
- 2) *ресурсов воды на планете;*
- 3) *состава океанической воды;*
- 4) *состава Мертвого моря;*
- 5) *состава атмосферы Земли;*
- 6) *диаметров метеоритных кратеров поверхности Земли;*
- 7) *жизненно важных элементов.*

Все геофизические параметры Земли взяты из справочника геофизика [100]. Таблицы с геофизическими данными из этого справочника приведены в приложении к главе 3 (табл. П.3.1–П.3.8). По данным таблиц построены графические ГРР (а) и их линейные модификации в двойном логарифмическом масштабе (б).

1) Ранговое распределение состава земной коры

Литосфера – верхняя твердая каменная оболочка Земли. Из справочника [100] взяты значения состава литосферы (табл. П.3.1). На рис. 3.1 представлены графики РР процентного *состава земной коры* $W(r)$.

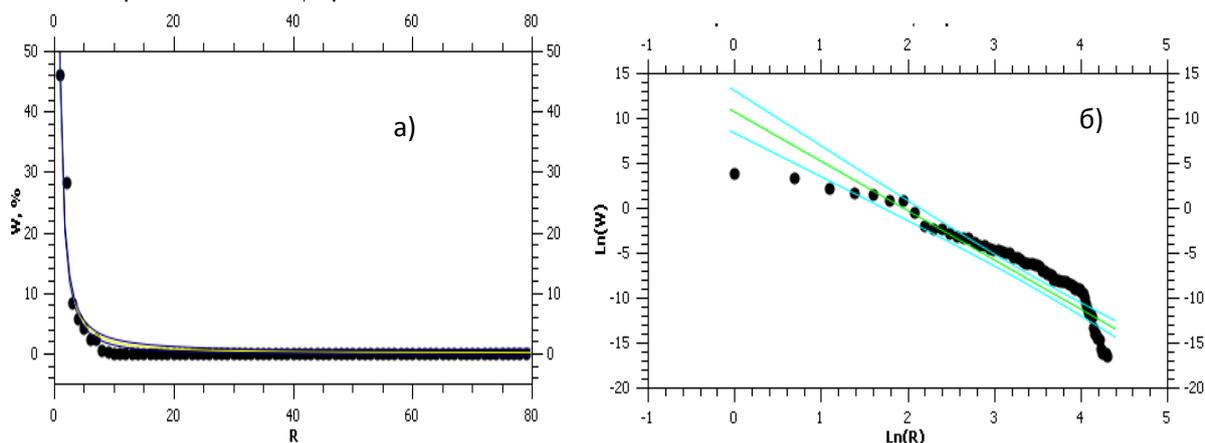


Рис. 3.1. Графики параметрического РР состава земной коры $W(r)$ (литосфера), выраженного в %. Элементы: $r = 1 - O$ (46,1 %), $r = 79 - Rn$ ($4 \cdot 10^{-17}$ %):
 а) график $W(r)$, $\beta = 1,42 \pm 0,05$ коэффициент регрессии $R^2 = 0,95$ [97, с. 170];
 б) график $\ln W = f(\ln r)$, $\beta = 5,50 \pm 0,01$; $R^2 = 0,95$

W – ранжируемый параметр – процентное содержание элемента, r – ранговый номер элемента в порядке убывания W . Видно, что реальные точки хорошо ложатся на аппроксимационные графики, что свидетельствует о том, что рассмотренное распределение подчиняется закону РР (1.1). Выпадение из прямой последних точек логарифмического графика, скорее всего, связано с неточностью измерения чрезвычайно малых величин последних в РР элементов состава земной коры.

Гидросфера – водная оболочка Земли – совокупность океанов, морей, озер, рек, болот, а также подземных вод. Гидросфера покрывает около 71 % земной поверхности; объем ее около 1390 млн км³. Ее принято делить на *Мировой океан, континентальные поверхностные воды и подземные воды.*

Рис. 3.2 иллюстрирует графические РР с аппроксимацией гиперболой (1.1), построенные по данным таблицы П.3.2. По графику спрямления (рис. 3.2, б) можно видеть, что 3 нижние точки выпадают из общего распределения. Это может быть связано с неточностью измерения очень малых величин – процентного содержания четырех последних элементов радия $Ra - 8,9 \cdot 10^{-15}$ % ($r = 72$); протактиния $Pa - 5 \cdot 10^{-15}$ % ($r = 73$); полония $Po - 1,5 \cdot 10^{-18}$ % ($r = 74$), радона $Rn - 6 \cdot 10^{-20}$ % с ранговым номером $r = 75$.

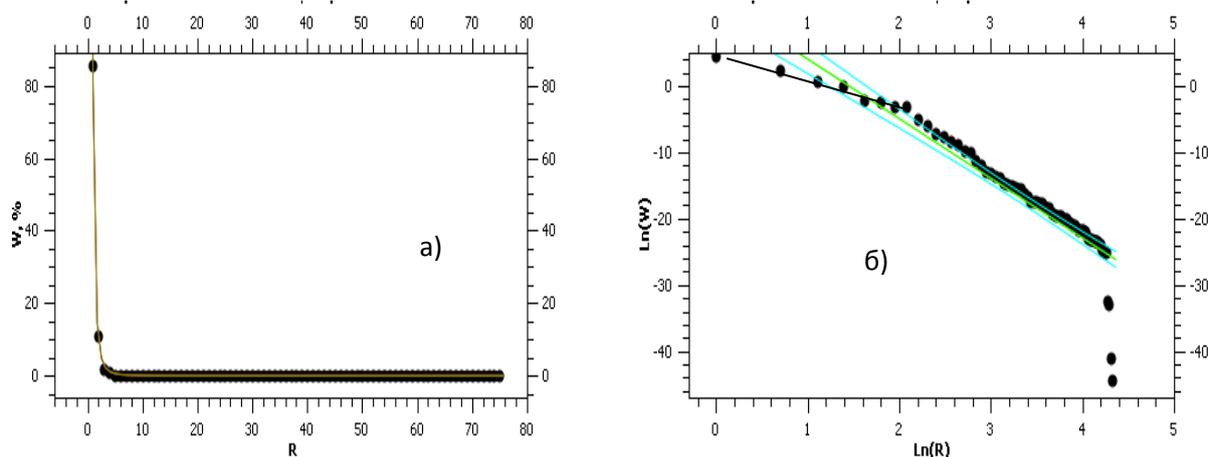


Рис. 3.2. Графики параметрического РР состава гидросферы $W(r)$ (выраженного в %).

Элементы: $r = 1 - O$ (85,7 %), $r = 75 - Rn$ ($6 \cdot 10^{-20}$ %);

а) график $W(r)$, $\beta = 3,07 \pm 0,02$, $R^2 = 0,999$ [97, с. 170];

б) график $\ln W = f(\ln r)$, $\beta = 8,99 \pm 0,44$; $R^2 = 0,85$

Другая версия – это элементы подсистемы подземных вод, так как радиоактивные элементы (радий-226, протактиний-231, радон-222, полоний-218) в основном содержатся в грунтовых водах. В главе 2 было показано, что изломы на логарифмических графиках ГРР свидетельствуют о наличии подсистем.

Несколько верхних точек также образуют излом на логарифмическом графике и соответствуют элементам, образующим подсистему Мирового океана, так как 88 % солей хлоридов натрия и магния – $NaCl$, $MgCl_2$ – входят в состав морской воды (таблицы П.3.2, а, б).

Если отбросить 4 последние точки и построить РР для 71 элемента от кислорода O (85,7 %) до европия Eu ($1,3 \cdot 10^{-11}$ %), получим прямую с лучшим коэффициентом регрессии $R^2 = 0,974$, при этом $\beta = 8,16 \pm 0,16$.

2) Рангово-видовое распределение ресурсов воды на планете

На рис. 3.3 представлены графики рангово-видового распределения ресурсов воды на планете Земля, построенные по данным таблицы П.3.3.

Из графика (рис. 3.3, б) видно: все точки значений входят в доверительный интервал. По физико-географическим особенностям океан подразделяется на отдельные океаны, моря, заливы, бухты и проливы. Общая концентрация растворенных солей меняется в зависимости от прихода пресных вод и испарения.

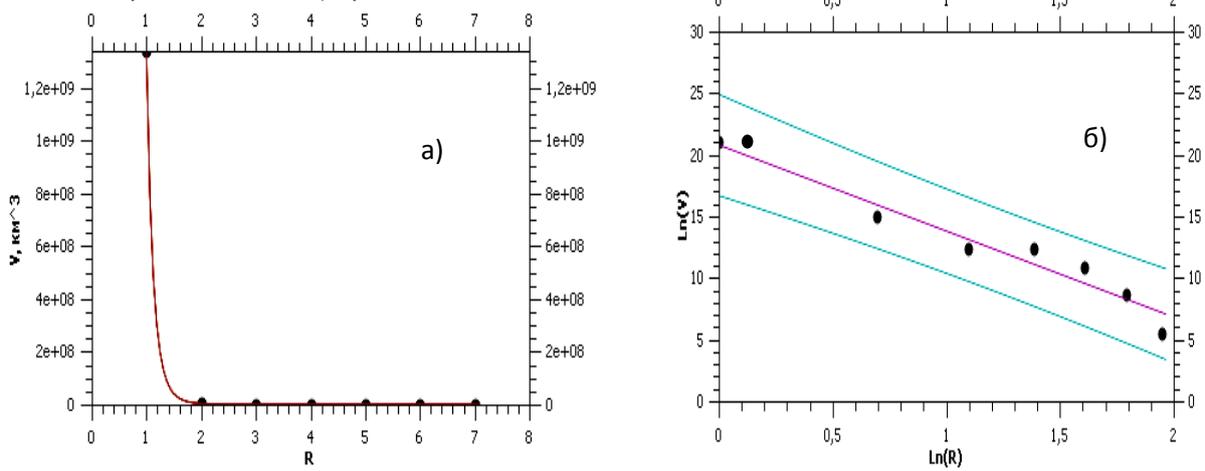


Рис. 3.3. Графики рангово-видового распределения ресурсов воды на планете $V(r)$, выраженного в км^3 :

а) график $V(r)$, $\beta = 8,57 \pm 0,05$, $R^2 = 0,999$ [97, с. 170];

б) график $\ln V(\ln r)$, $\beta = 6,98 \pm 0,74$; $R^2 = 0,95$

3) Ранговое распределение состава океанической воды представлено на рис. 3.4. Построено по данным таблицы П.3.4.

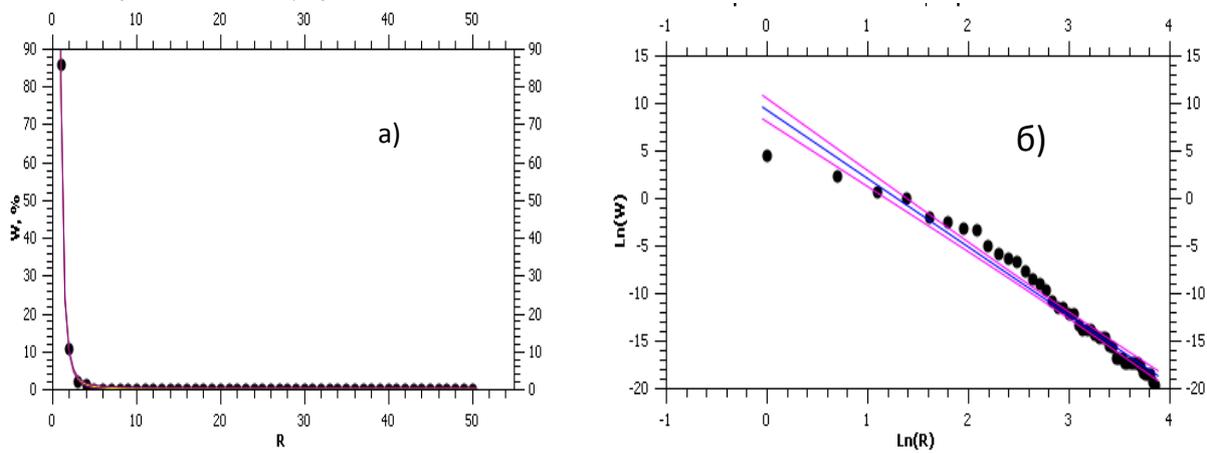


Рис. 3.4. Графики параметрического РР состава океанической воды $W(r)$, выраженного в %. Элементы: $r = 1 - O$ (85,94 %), $r = 50 - Ra$ ($3 \cdot 10^{-10}$ %);

а) график $W(r)$, $\beta = 3,08 \pm 0,19$, $R^2 = 0,999$ [97, с. 170];

б) график $\ln W = f(\ln r)$, $\beta = 7,198 \pm 0,200$; $R^2 = 0,97$

Коэффициент регрессии близок к единице: на графике (рис. 3.4, а) $R^2 = 0,999$. На линейном графике (рис. 3.4, б) практически все точки значений исследуемого параметра входят в доверительный интервал, $R^2 = 0,97$.

4) Ранговое распределение химического состава Мертвого моря

Мертвое море – соленое бессточное озеро в Палестине и Иордании. Соленость воды в 7,5 раза больше солености морской воды. Рис. 3.5 иллюстрирует РР состава Мертвого моря, построенные по данным таблицы П.3.5.

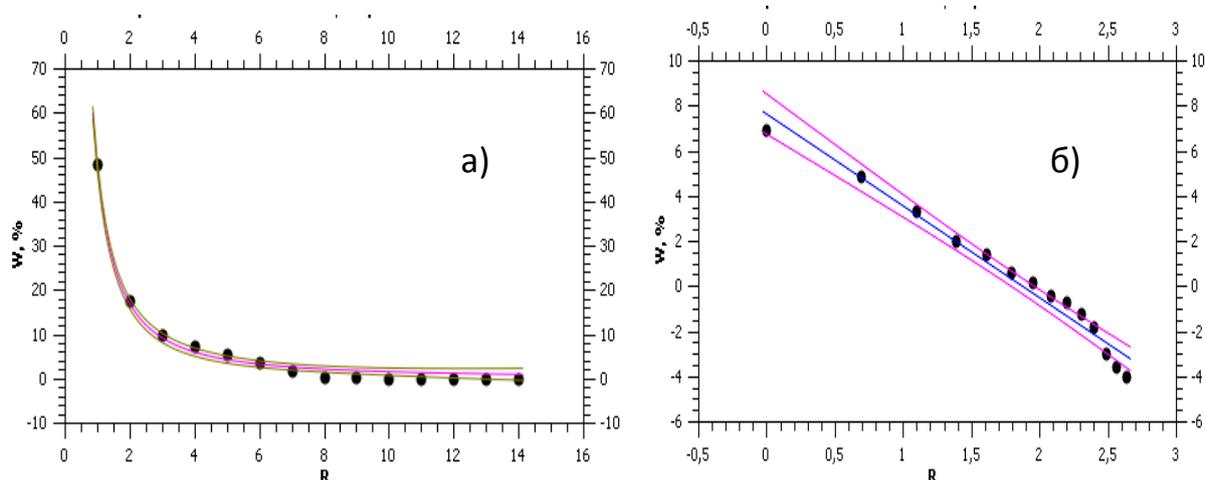


Рис. 3.5. График параметрического РР состава Мертвого моря $W(r)$, выраженного в %. Элементы: $r = 1 - \text{Cl}$, $r = 14 - \text{Li}$;
а) график $W(r)$, $\beta = 1,52 \pm 0,05$, $R^2 = 0,992$ [97, с. 170];
б) график $\ln W(\ln r)$, $\beta = 4,07 \pm 0,20$; $R^2 = 0,97$

В обоих графиках РР все точки входят в доверительный интервал.

5) Ранговое распределение состава атмосферы Земли

Атмосфера – газообразная оболочка Земли, в которой большую часть занимает азот – N_2 (78 %), на втором месте – кислород – около 16 %. РР процентного состава атмосферы Земли представлено на рис. 3.6, построенном по данным таблицы П.3.6.

По графику спрямления (рис. 3.6, б) можно видеть, что последний элемент выпадает из общего распределения. Скорее всего, это связано с неточностью измерений очень малого параметра $\sim 5 \cdot 10^{-9}$ %.

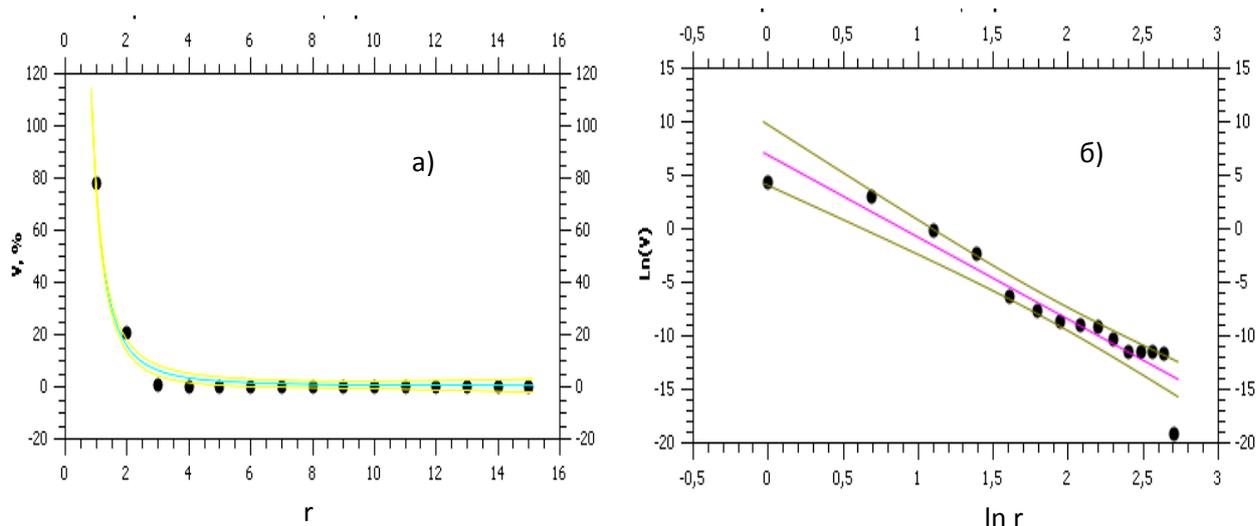


Рис. 3.6. График параметрического РР состава атмосферы Земли $V(r)$, выраженного в %. Элементы $r = 1 \text{ N}_2$ (78 %), $r = 15 \text{ SO}_2$ ($\sim 5 \cdot 10^{-9}$):

а) график $W(r)$, $\beta = 2,33 \pm 0,17$, $R^2 = 0,988$;

б) график $\ln W = f(\ln r)$, $\beta = 7,66 \pm 0,06$; $R^2 = 0,913$

б) Исследование системы ударных кратеров Земли методом РА

На территории современной России в настоящее время открыто лишь 18 достоверных крупных метеоритных кратеров. Самый большой кратер Попигаи, 100 км, самый маленький – Смердячее, 0,25 км. Рис. 3.7 отражает ГРР диаметров этих кратеров. Таблица П.3.7 [100-102] содержит список достоверных и предполагаемых взрывных метеоритных кратеров, расположенных на территории России. По данным таблицы построены РР (рис. 3.7), из которых видно, что несколько точек выпадает из графика теоретической кривой, образуя искажение в виде «впадины», которое можно объяснить недостаточно полной выборкой, то есть неполнотой информации о системе (версию о неточности изменения земных кратеров отбрасываем как несостоятельную). Вышесказанное подтверждается также плохим «спрямлением» графика РР в двойном логарифмическом масштабе (рис. 3.7, б).

И, в самом деле, при построении ГРР диаметров кратеров всего земного шара – их известно на сегодняшний день 46 [103-105], искажение на графике «сглаживается», квадрат коэффициента регрессии R^2 возрастает с 0,8 до 0,99 (рис. 3.8).

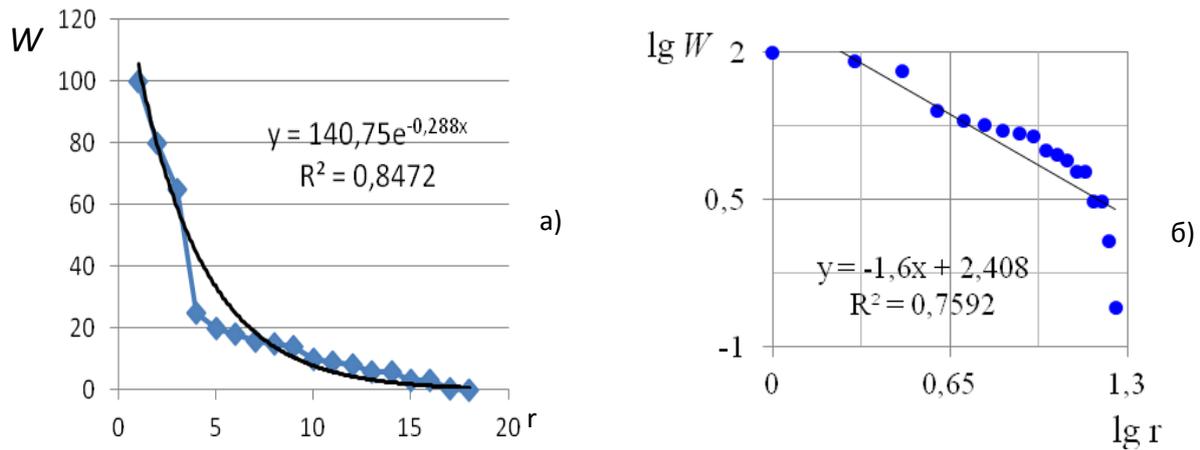


Рис. 3.7. РР метеоритных кратеров на территории России:
 а) график $W(r)$, W – диаметр кратера, км; $\beta = 0,3$, $R^2 = 0,85$;
 $r = 1$ – Попигай, 100 км, $r = 18$ – Смердячее, 0,25 км;
 б) РР в логарифмическом масштабе $\ln W(\ln r)$; $\beta = 1,6$; $R^2 = 0,76$

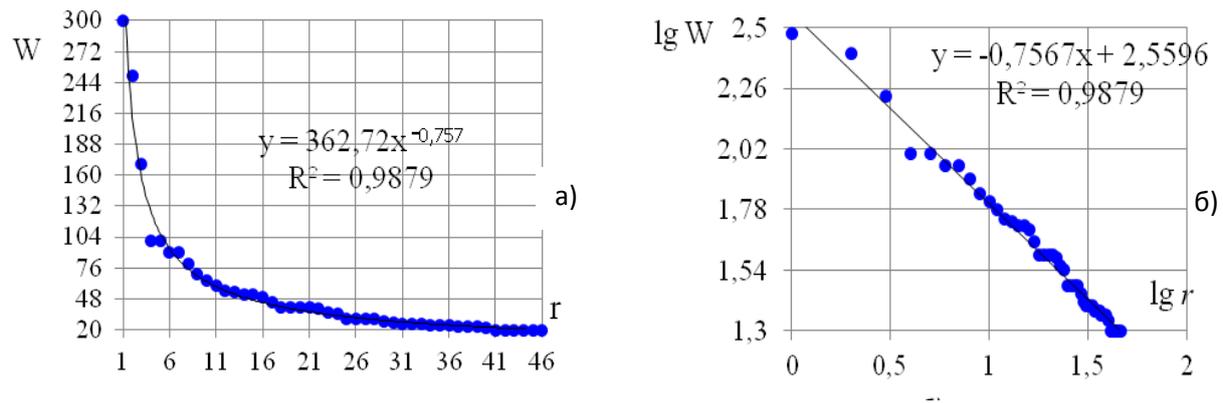


Рис. 3.8. РР метеоритных кратеров на территории Земли:
 1 – Вредефорт, 300 км, ЮАР, 46 – Хигбури, 0,25 км, Зимбабве;
 а) график $W(r)$, $\beta = 0,76$, $R^2 = 0,989$;
 б) РР в логарифмическом масштабе $\ln W(\ln r)$, $\beta = 0,76$, $R^2 = 0,989$

Сравнение и анализ графических гиперболических РР земных метеоритных кратеров показали, что при увеличении выборки – числа объектов в РР – растет соответствие реального и теоретического РР. Искажения графика РР свидетельствуют о неполноте информации о системе (рис. 3.7). Считается, что на территории России реально имеется 100-200 ударных кратеров диаметром более 10 км, которые еще ждут своего обнаружения [106].

7) *Ранговое распределение жизненно важных элементов* построено по данным таблицы П.3.8 и изображено на рис. 3.9.

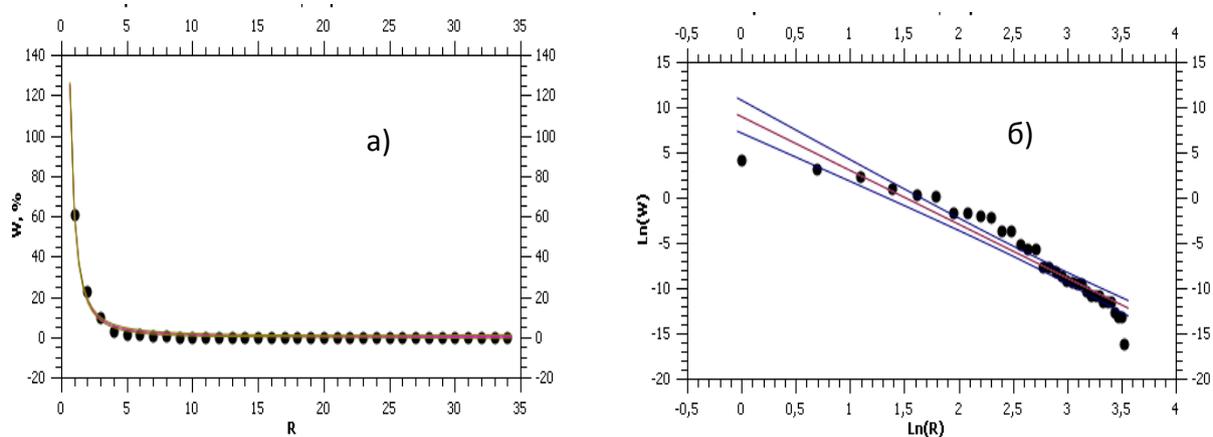


Рис. 3.9. Графики параметрического РР состава жизненно важных элементов $W(r)$, выраженного в %; элементы: $r = 1$, кислород O (61 %), $r = 34$, уран $U(1 \cdot 10^{-7})$ %, а) график $W(r)$, $\beta = 1,76 \pm 0,06$; $R^2 = 0,988$; б) график $\ln W(\ln r)$, $\beta = 8,94 \pm 0,89$; $R^2 = 0,913$

Видно, что большинство эмпирических точек графиков входят в доверительный интервал. Среднее значение квадрата регрессии R^2 для РР $W(r)$ составляет 0,986, для логарифмических графиков – 0,897, что отражает высокий уровень соответствия теоретических и эмпирических зависимостей.

8) *Ранговые распределения веществ по различным физическим параметрам*

Ниже приводятся графики параметрических ГРР физических свойств веществ (металлов, диэлектриков, жидкостей), построенные по данным справочников [76, 107] и опубликованные в работах [77-79], доказывающие принадлежность этих веществ к классу физических земных ценозов (рис. 3.10-3.16).

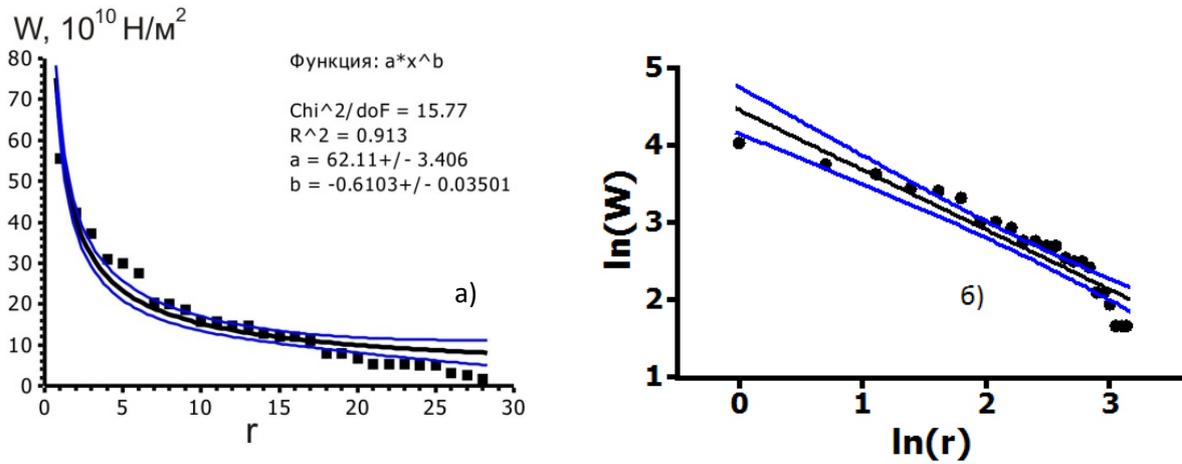


Рис. 3.10. Ранговое распределение 28 металлов по модулю Юнга, где W – модуль Юнга, 10^{10} , Н/м^2 ; r – ранговый номер металла:
 а) график $W(r)$; $r = 1$ – осмий; $r = 28$ – свинец; $A = 56$; $\beta = 0,6$; $R^2 = 0,91$;
 б) график $\ln W(\ln r)$: $\beta = 0,94$; $R^2 = 0,82$

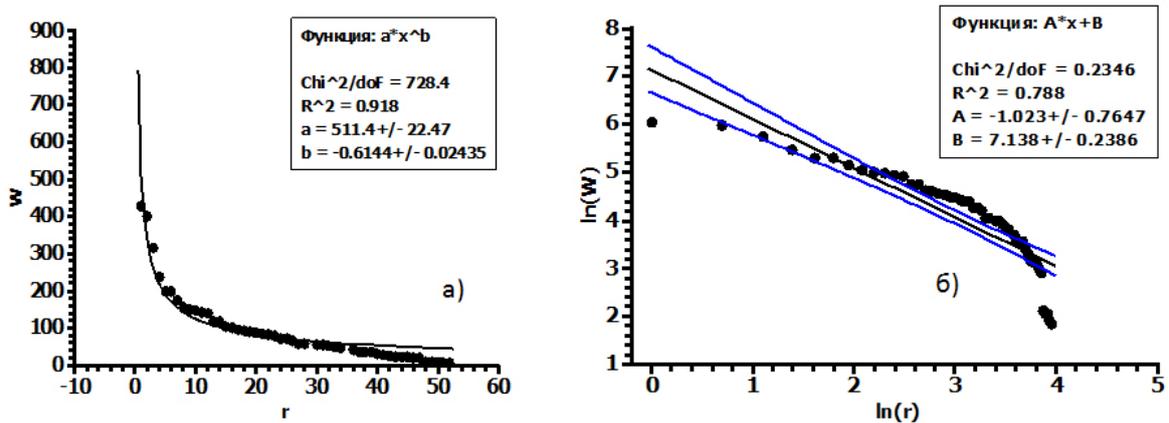


Рис. 3.11. Ранговое распределение 52 металлов по теплопроводности; r – ранг:
 а) график $W(r)$; $A = 511$; $\beta = 0,6$; $R^2 = 0,92$;
 б) график $\ln W(\ln r)$; $\beta = 1$; $R^2 = 0,79$

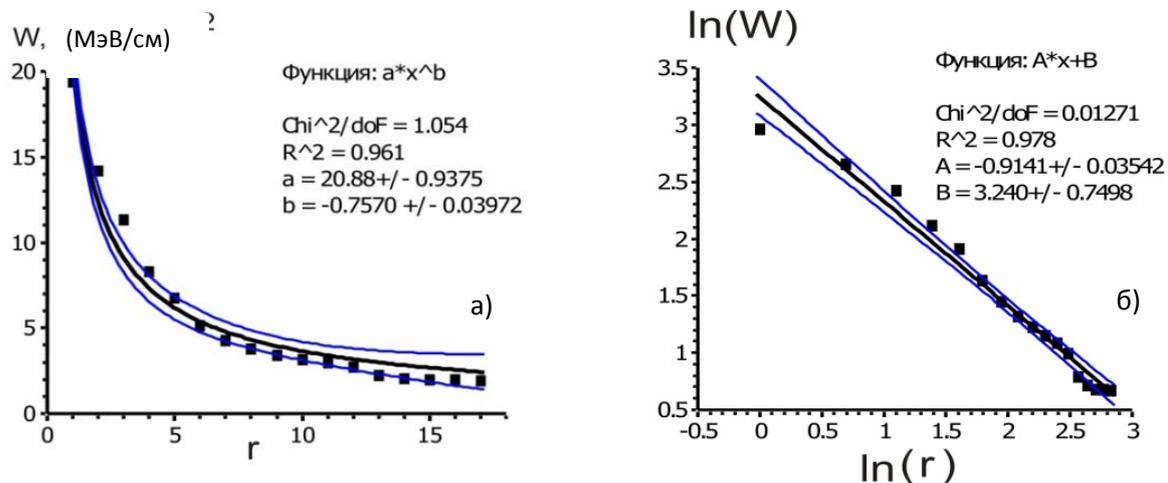


Рис. 3.12. Ранговое распределение протонов по энергии, отнесенной к их пробегу в воздухе; где W – энергия протона, приходящаяся на единицу длины пробега в воздухе; r – ранг:

а) график $W(r)$; $A = 20,88$ МэВ/см; $\beta = 0,76$; регрессия $R^2 = 0,96$;

б) график $\ln W(\ln r)$; $\beta = 0,9$; регрессия $R^2 = 0,98$

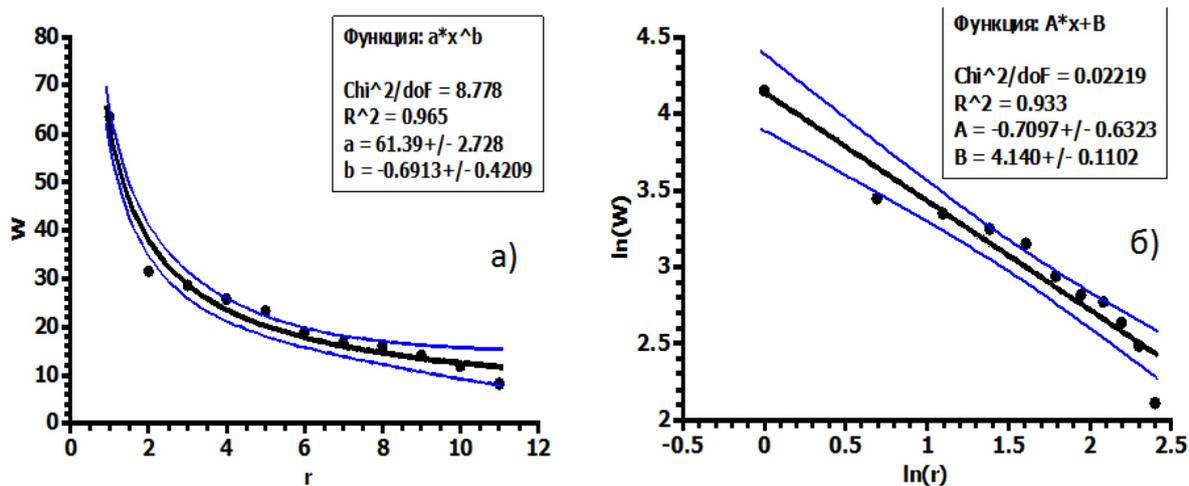


Рис. 3.13. Ранговое распределение 11 металлов по коэффициенту теплового расширения W ; r – ранг:
 а) график $W(r)$; $A = 61,4$; $\beta = 0,7$; регрессия $R^2 = 0,974$
 б) график $\ln W = f(\ln r)$; $\beta = 0,71$; регрессия $R^2 = 0,93$

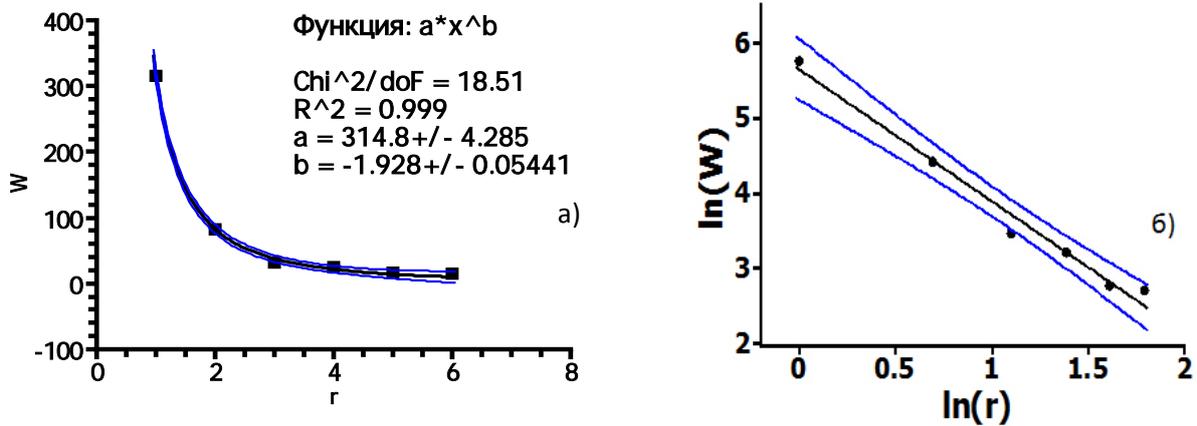


Рис. 3.14. Ранговое распределение электролитов по удельному сопротивлению W , 10^{-3} Ом·м, r – ранг; при $t = 18$ °С и 10 % концентрации водного раствора:
 а) график $W(r)$; $r = 1$ – медный купорос ($W = 315 \cdot 10^{-3}$ Ом·м); $r = 2$ – хлорид натрия ($W = 83 \cdot 10^{-3}$ Ом·м); $r = 6$ – серная кислота ($W = 15 \cdot 10^{-3}$ Ом·м);
 $A = 315$; $\beta = 1,9$; регрессия $R^2 = 0,999$;
 б) график $\ln W = f(\ln r)$; $\beta = 1,75$; регрессия $R^2 = 0,98$

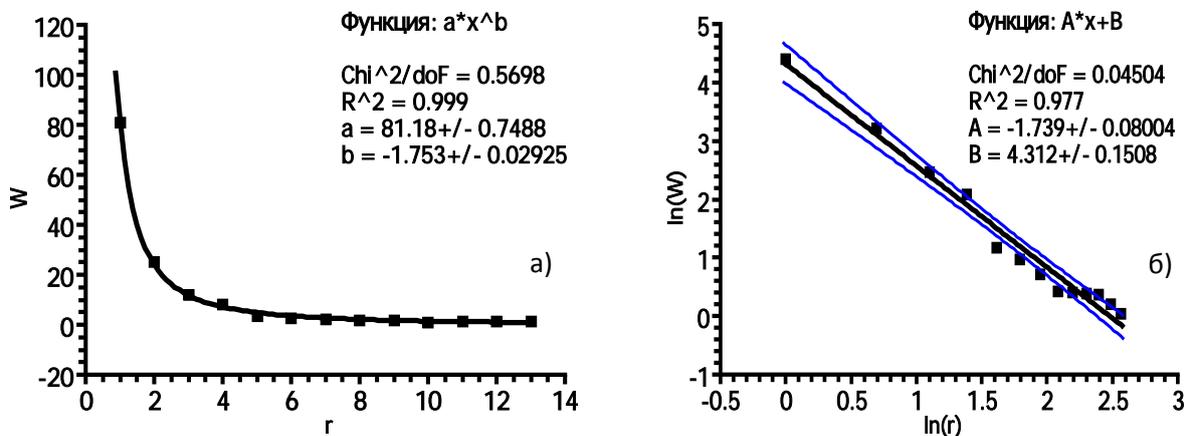


Рис. 3.15. Ранговое распределение 13 неорганических жидкостей по диэлектрической проницаемости W ; r – ранг:
 а) график $W(r)$; $r = 1$ – вода дистиллированная ($W = 81$); $r = 13$ – гелий ($W = 1,048$);
 $A = 81,18$; $\beta = 1,8$; регрессия $R^2 = 0,999$;
 б) график $\ln W(\ln r)$; $\beta = 1,74$; регрессия $R^2 = 0,98$

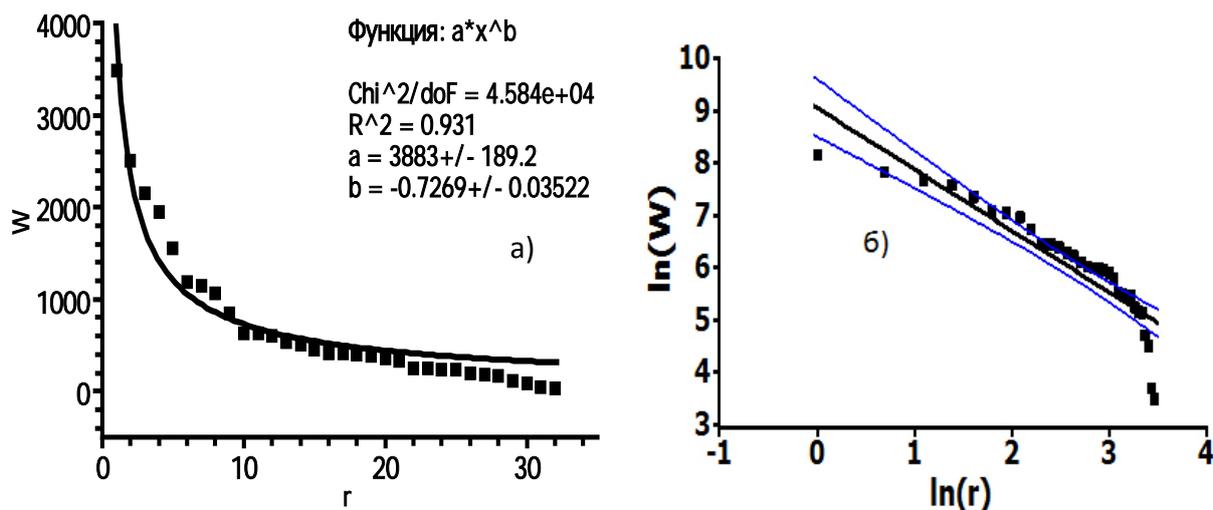


Рис. 3.16. Ранговое распределение твердости 32 металлов по шкале Бринелля.

W – твердость, МПа; r – ранг:

а) график $W(r)$; $A = 3883$; $\beta = 0,73$; регрессия $R^2 = 0,93$;

б) график $\ln W = f(\ln r)$; $\beta = 0,82$; регрессия $R^2 = 0,82$; $r = 1$ – осмий ($W = 3487$ МПа),
 $r = 2$ – рутений ($W = 2500$ МПа), $r = 32$ – свинец ($W = 33$ МПа)

Аппроксимация математической зависимостью (1.1) показала: все эмпирические кривые соответствуют H -распределению с высокой точностью.

Компьютерное моделирование и статистическая обработка результатов осуществлялась с помощью программы Advanced Grapher V 2.11 и Origin Pro V 7.5.

Основные результаты проведенного исследования РР на земном уровне сведены в таблицы 3.1 и 3.2.

Таблица 3.1

Параметры геофизических ГРР

№	Название рангового распределения	Число объектов в системе, N	R ² из графика W(r)	R ² из графика ln W(ln r)	β из графика W(r)	β из графика ln W(ln r)
1	РР ресурсов воды на планете	7	1,00	0,85	8,6	6,98
2	РР состава океанической воды	50	1,00	0,97	3,1	7,10
3	РР состава гидросферы	79	0,95	0,78	3,1	8,92
4	РР состава атмосферы Земли	15	0,99	0,91	2,3	7,70
5	РР жизненно важных элементов в организме человека	34	0,99	0,93	1,76	8,90
6	РР состава литосферы	20	0,98	0,87	1,42	5,50
7	РР химического состава Мертвого моря	14	0,99	0,97	1,52	4,10
8	РР метеоритных кратеров на территории Земли	46	0,99	0,99	0,76	0,76
	<i>Среднее значение <R²></i>		0,986	0,944		
	<i>Пределы изменения β</i>				0,76-8,60	0,76-8,92

Из таблицы видно, что аппроксимация РР геофизических земных объектов гиперболической зависимостью (1.1) соответствует высокой степени точности: R² = 0,94-0,99, при этом ранговый коэффициент β изменяется в пределах 0,76-8,92.

Таблица 3.2

Параметры физических ГРР

№	Название рангового распределения	Число объектов в системе, N	R ² из графика W(r)	R ² из графика ln W(ln r)	β из графика W(r)	β из графика ln W(ln r)
1	РР металлов по модулю Юнга	28	0,91	0,82	0,60	0,94
2	РР металлов по теплопроводности	52	0,92	0,79	0,60	1
3	РР протонов по энергиям на единицу длины пробега	17	0,96	0,98	0,76	0,9
4	РР металлов по коэффициенту теплового расширения	11	0,97	0,93	0,70	0,71
5	РР электролитов по удельному сопротивлению	6	0,999	0,98	1,90	1,75
6	РР неорганических жидкостей по диэлектрической проницаемости	13	0,999	0,98	0,8	1,74
7	Ранговое распределение твердости металлов по шкале Бринелля	32	0,93	0,82	0,73	0,82
8	РР металлов по удельному сопротивлению (при 200 К)	22	0,99	0,91	1,00	1,33
	<i>Среднее значение R²</i>		0,96	0,944		
	<i>Пределы изменения β</i>				0,6-1,9	0,71-1,75

Примечание. Параметры РР № 8 металлов по удельному сопротивлению (при 200 К) взяты из главы 2 (рис. 2.3, прил. к главе 2, табл. П.2.1).

Из таблицы видно, что аппроксимация РР физических земных объектов гиперболической зависимостью (1.1) соответствует высокой степени точности: $R^2 \approx 0,96-0,94$, при этом ранговый коэффициент β изменяется в пределах 0,6-1,9. Следовательно, совокупности рассмотренных физических параметров являются характеристиками физических сообществ-ценозов (сред и веществ), к ним применим закон РР (1.1). Рассмотренные параметры являются системообразующими параметрами, по которым можно выделить вид, класс, группу веществ.

Таким образом, проверка применимости гиперболического ЗРР к анализу геофизических и физических систем показала, что РР объектов рассмотренных земных систем аппроксимируются математической зависимостью (1.1) с высокой степенью точности.

Полученные результаты позволяют утверждать, что материя на земном уровне самоорганизуется в системы ценологического типа (системы-ценозы).

3.3. Самоорганизация материальных объектов в ценозы на уровне Солнечной системы (планетарный уровень)

Является ли Солнечная система ценозом? Чтобы ответить на вопрос проводилась проверка применимости закона ГРР к космическим объектам естественного происхождения в масштабах Солнечной системы (СС), то есть проверка СС на «ценозность». Ниже приведены результаты построения параметрических ГРР со спрямлением в двойном логарифмическом масштабе следующих объектов СС:

- планет и спутников некоторых планет по массам и орбитальным характеристикам;
- ударных кратеров Луны, Марса, Венеры, Меркурия, Европы по диаметрам;
- химического состава атмосфер планет и спутников некоторых планет.

Обработка результатов, построение РР и их аппроксимация осуществлялись компьютерной программой Origin. Pro 7.5. Доверительный интервал допустимых значений W составлял 95-98 %. Относительная погреш-

ность определений параметров W , β , A составляла от 4 до 10 %. Табулированные РР построены на основе данных из справочных источников [107-111], а также интернет-ресурса [112]. Наиболее значимые из них приводятся в приложении к главе 3 в таблицах П.3.9-П.3.24.

3.3.1. Проверка РР планет и некоторых спутников планет СС по массам и орбитальным параметрам на соответствие закону ГРР

Графики РР масс планет представлены на рис. 3.17 и построены по табулированному РР (прил. к 3 главе, табл. П.3.9). Ранжируемая величина – массы планет. Самая массивная планета – Юпитер – имеет ранговый номер $r = 1$ и массу $318 M_{\oplus}$, Сатурн – $r = 2$, его масса $95,2 M_{\oplus}$; Плутон можно отнести и к планетам и к планетоидам, согласно результатам исследования СС методом РА [67], что будет рассмотрено в главе 4. Кривая РР масс восьми планет $W(r)$ без Плутона, выраженная в массах Земли $W = M/M_{\oplus}$, является гиперболой (рис. 3.16, а) и хорошо спрямляется в двойном логарифмическом масштабе (рис. 3.16, б). Аппроксимация эмпирической кривой показала математическую зависимость, соответствующую закону (1.1), где $A = 320$, $\beta = 2,08$ [67].

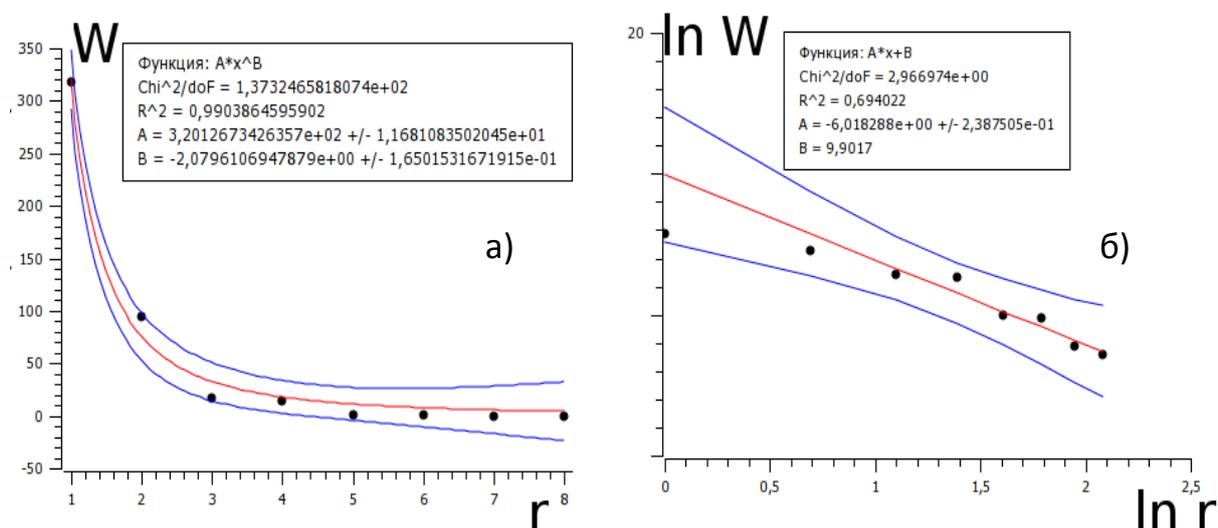


Рис. 3.17. Ранговое распределение масс планет СС с аппроксимацией, где W – масса планеты, выраженная в массах Земли, M/M_{\oplus} ; r – ранг:
 а) график $W(r)$; $A = 320,1 (M_{\oplus})$; $\beta = 2,08$; $R^2 = 0,999$;
 б) график $\ln W = f(\ln r)$; $\beta = 6,02$; $R^2 = 0,694$ [67, с. 173]

Обозначения на этом и последующих рисунках: точки – эмпирические данные; на рис. 3.17 (а) три линии – аппроксимационная кривая $W(r)$ в середине, верхняя и нижняя кривые ограничивают доверительный интервал значений W ; на рис. 3.17 (б) три линии – аппроксимационная прямая $\ln W = f(\ln r)$ (в середине) и доверительные границы (верхняя и нижняя линии); A и β – параметры аппроксимационных кривых $W(r)$. Из рисунков видно, что все точки графиков входят в доверительный интервал значений W .

Ниже представлено исследование методом РА последовательности Тициуса – Боде, которое устанавливает зависимость между расстояниями планет до Солнца. По этому правилу выраженные в астрономических единицах расстояния Меркурия, Венеры, Земли, Марса, средней части кольца малых планет, Юпитера, Сатурна, Урана, Плутона от Солнца (при этом Нептун выпадает из этой зависимости) получаются следующим образом. К каждому числу последовательности 0; 3; 6; 12; 24; 48; 96; 192; 384, образующей, начиная с 3-х, геометрическую прогрессию, прибавляется число 4, а затем все числа делятся на 10. Получается новая последовательность чисел: 0,4; 0,7; 1,0; 1,5; 2,8; 5,2; 10,0; 19,6; 38,8, которая с точностью около 3% представляет расстояния от Солнца в астр. ед. перечисленных тел Солнечной системы. Удовлетворительного теоретического объяснения этой зависимости не имеется [108]. Было построено ранговое распределение, отражающее это правило. Результаты представлены на рис. 3.18.

Из рис. 3.18 следует, что правило Тициуса – Боде подчиняется закону рангового распределения (1.1). Заметим, что, согласно графику, Плутон входит в планетную систему, а число Тициуса – Боде, соответствующее радиусу его орбиты, лежит на нижней границе доверительного интервала.

Ниже представлены графики распределения планет СС по усредненным орбитальным радиусам (рис. 3.19) и сидерическим периодам обращения планет (рис. 3.20), построенные по данным табулированных РР таблицы П.3.10 (прил. к главе 3).

Рассмотрим распределение планет по периодам обращения (рис. 3.20).

Из графиков видно: все точки значений входят в доверительный интервал.

На рис. 3.21 (а) представлен график ГРР скорости покидания планет земной группы и планетоподобных $W(r)$ (данные в табл. П.3.11, при этом в графике не рассматриваются планеты-гиганты).

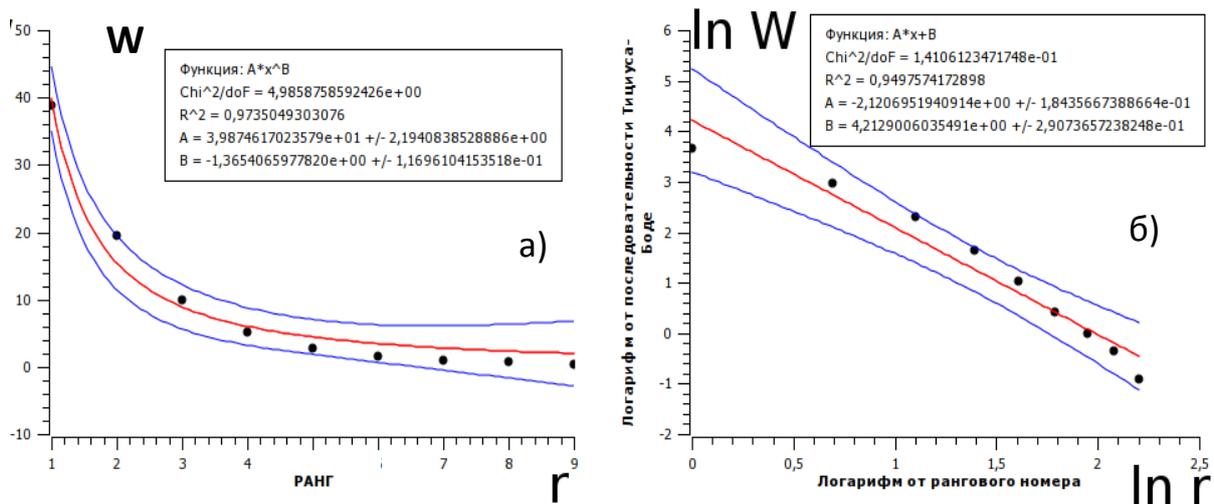


Рис. 3.18. Ранговое распределение чисел Тициуса – Бодэ W, r – их ранговый номер:
 а) график $W(r)$; $A = 39,9$; $\beta = 1,37$; $R^2 = 0,97$;
 б) график $\ln W = f(\ln r)$; $\beta = 2,12$; $R^2 = 0,95$ [68, с. 90]

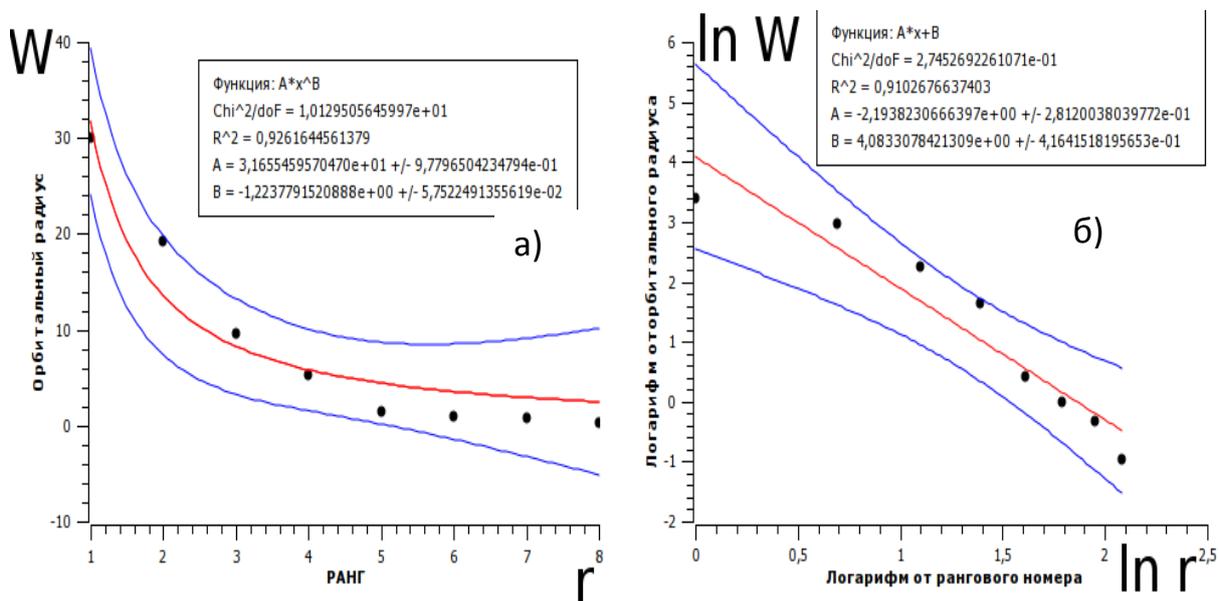


Рис. 3.19. Ранговые распределения планет по орбитальным радиусам, где W – радиус орбиты планет, а. е.; r – их ранговый номер: 1 – Нептун, 2 – Уран, 3 – Сатурн, 4 – Юпитер, 5 – Земля, 6 – Марс, 7 – Венера, 8 – Меркурий:
 а) график $W(r)$; $A = 31,60$ (а. е.), $\beta = 1,2$; $R^2 = 0,93$;
 б) график $\ln W = f(\ln r)$; $\beta = 2,13$; $R^2 = 0,91$ [67, с. 174]

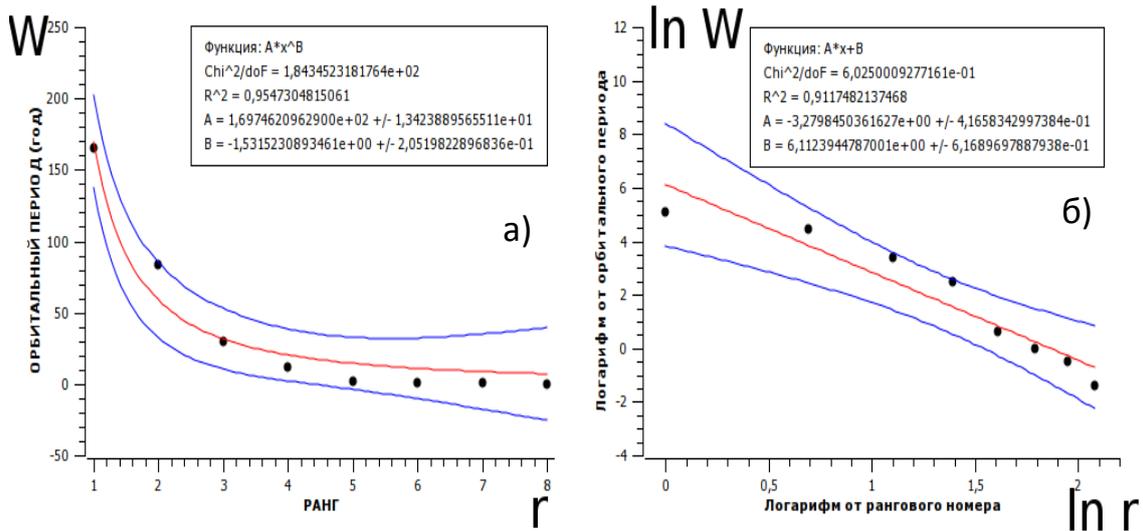


Рис. 3.20. Ранговое распределение планет СС по периодам обращения, где W – период обращения планет, r – их ранговый номер; 1 – Нептун, 2 – Уран, 3 – Сатурн, 4 – Юпитер, 5 – Земля, 6 – Марс, 7 – Венера, 8 – Меркурий:
 а) график $W(r)$; $A = 169,7$ (а. е), $\beta = 1,5$; $R^2 = 0,95$;
 б) график $\ln W = f(\ln r)$; $\beta = 3,28$; $R^2 = 0,91$ [67, с. 174]

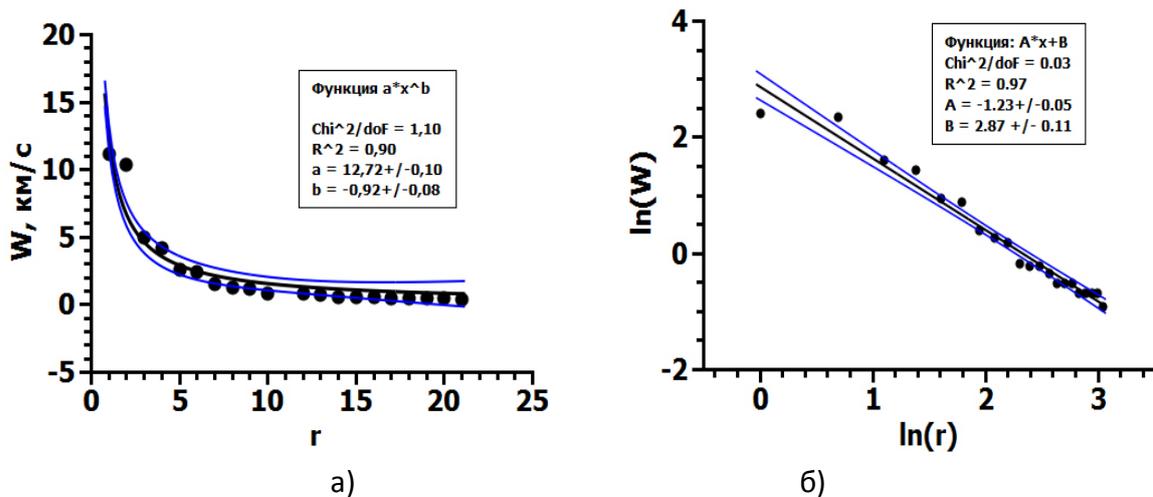


Рис. 3.21. Ранговое распределение скоростей покидания планет земной группы и планетоподобных, где W – скорость покидания, км/с, r – ранг; $r = 1$ – Земля:
 а) $W(r)$; $A = 12,75$ км/с; $\beta = 0,92$; $R^2 = 0,90$;
 б) $\ln W(\ln r)$; $\beta = 1,23$; $R^2 = 0,97$ [114, с. 8]

На рис 3.21 (б) – этот же график в двойном логарифмическом масштабе: спрямление доказывает принадлежность РР к (1.1). Относительная погрешность измерения β – 4 %.

На последующих рисунках обозначение такое же: а) – графики $W(r)$; б) – графики $\ln W = f(\ln r)$, где W – ранжируемый параметр, r – ранг.

Ниже показаны графики РР спутников Урана и Юпитера по массам (рис. 3.22, а; 3.23, а) и эти же графики в двойном логарифмическом масштабе (рис. 3.22, б; 3.23, б). Табулированные РР – в прил. к главе 3 (табл. П.3.12, П.3.13).

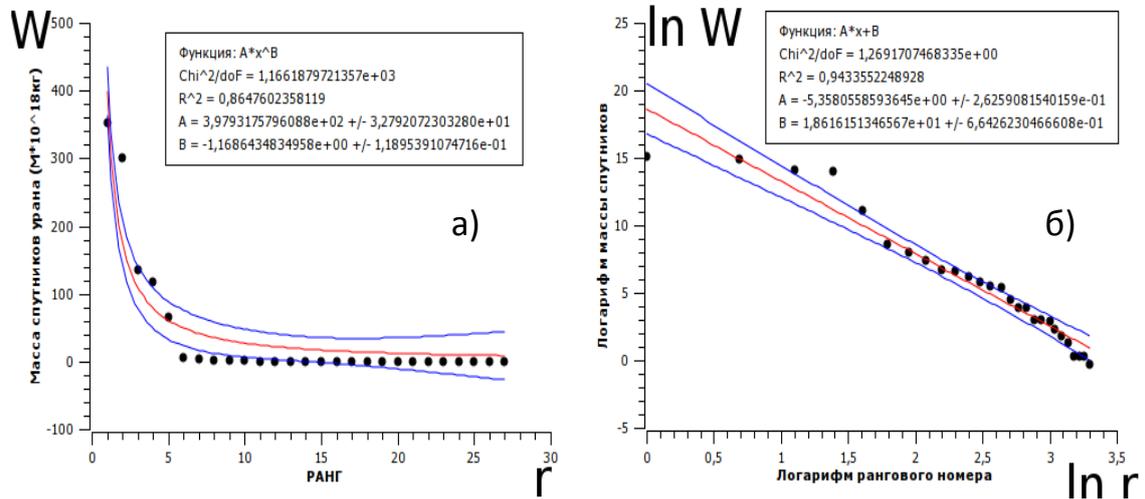


Рис. 3.22. Ранговое распределение спутников Урана по массам. W – массы спутников, r – их ранговый номер; 1 – Титания, 2 – Оберон, 3 – Ариэль, 4 – Умбриэль, 5 – Миранда:
 а) график $W(r)$, $A = 397,9$; $\beta = 1,16$; $R^2 = 0,86$;
 б) график $\ln W = f(\ln r)$; $\beta = 5,36$; $R^2 = 0,94$ [67, с. 178; 68, с. 92]

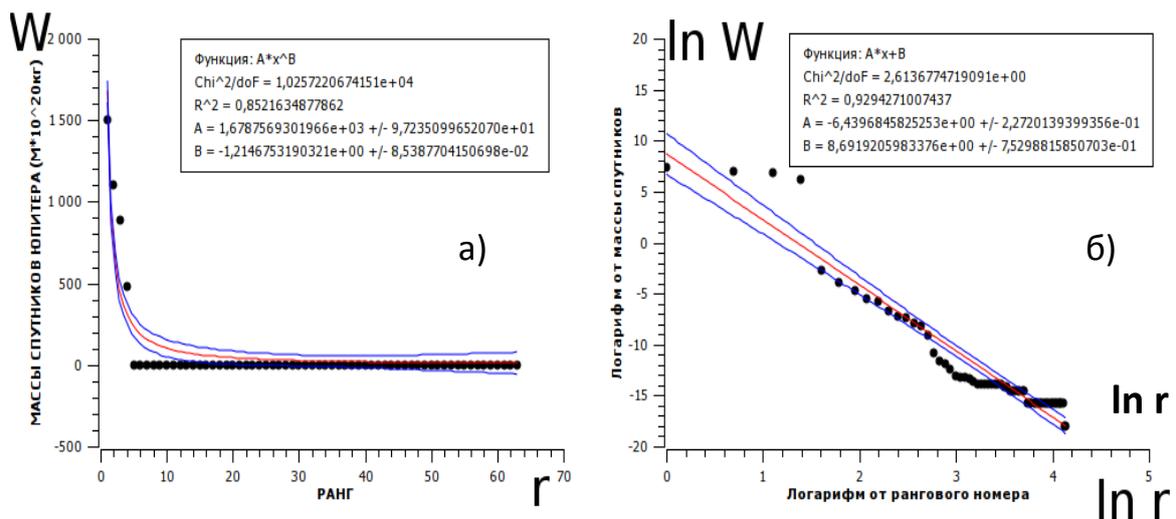


Рис. 3.23. Ранговое распределение спутников Юпитера по массам $W(r)$ (10^{20} кг);
 1 – Ганимед, 2 – Каллисто, 3 – Ио, 4 – Европа:
 а) график $W(r)$, $A = 1680$, $\beta = 1,21$, $R^2 = 0,85$; б) $\ln W(\ln r)$; $\beta = 6,44$; $R^2 = 0,03$ [67, с. 178]

Из рис. 3.23 (б) видно, что часть эмпирических точек не входит в доверительный интервал. При этом видно, что четыре самых массивных Галлилеевых спутника: Ганимед, Каллисто, Ио, Европа – явно выделяются в виде отдельной подсистемы. Выпадение 4-х точек из графиков (рис. 3.22 и 3.23) и их строгое выстраивание по прямому отрезку, образующему излом, свидетельствует о том, что крупные спутники этих планет образуют отдельные подсистемы. Можно сравнить с расщеплением спектральной полосы на 2 отдельные линии, что называется тонкой структурой спектров, при использовании более точного прибора.

Ниже показан график РР спутников Сатурна по диаметрам (рис. 3.24, а), также спрямление этого графика в двойном логарифмическом масштабе (рис. 3.24, б), построенные по данным табл. П.3.13.

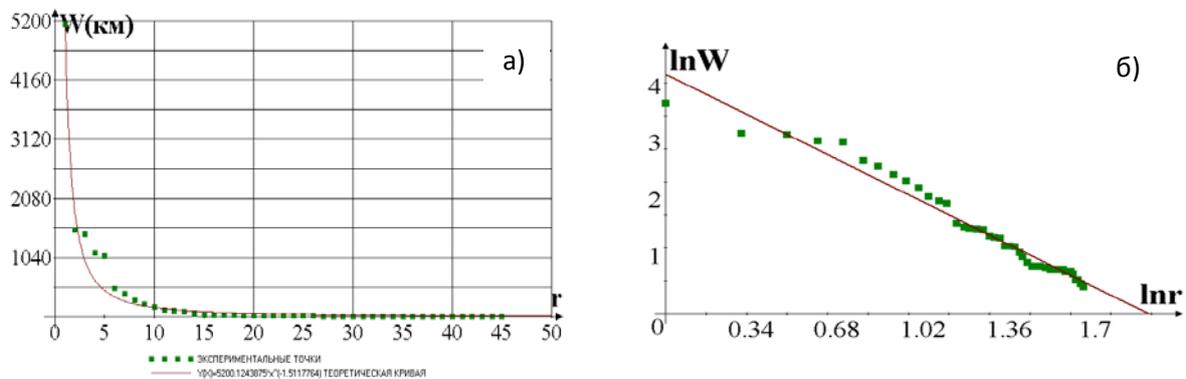


Рис. 3.24. Ранговое распределение спутников Сатурна по диаметрам $W(r)$ (км) со спрямлением в двойном логарифмическом масштабе $\ln W = f(\ln r)$; $A = 5200$ км, $\beta = 2,2$ (без доверительного интервала) [68, с. 93]

Из графиков видно, что реальные точки хорошо ложатся на аппроксимационные графики. Таким образом, показано соответствие ряда распределений объектов СС закону ГРР (1.1).

3.3.2. Проверка РР диаметров кратеров Луны

на соответствие закону гиперболического рангового распределения

Проверялась на ценозность совокупность кратеров на лунной поверхности, образовавшихся в результате ее бомбардировки астероидами в течение всего периода ее существования. Были измерены на правой части лунной карты (в мм, то есть в отн. ед.) диаметры изображений 550 крате-

ров в районе моря Кризисов, 90 кратеров в районе северной полярной области и 92 кратера в районе южной полярной области. Для всех 3-х случаев построены эмпирические ГРР и проведена их аппроксимация с помощью программы Excel. На рис. 3.25 показаны графики 550 ГРР диаметров изображений лунных кратеров на карте в относительных единицах, а также их РР, в двойном логарифмическом масштабе [115, с. 270].

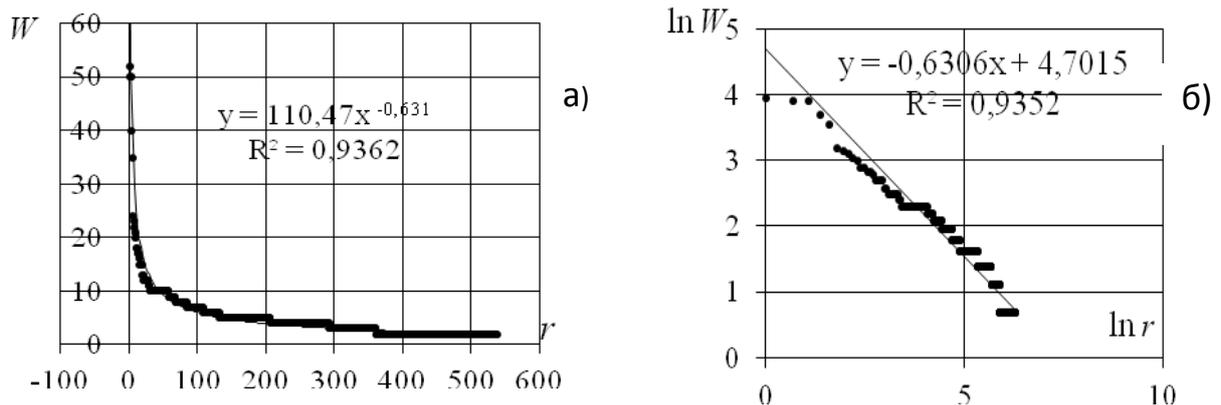


Рис. 3.25. ГРР диаметров 550 лунных кратеров W (в отн. ед.) в районе моря Кризисов: а) РР $W(r)$; $\beta = 0,63$; $R^2 = 0,94$; б) РР $\ln W(\ln r)$; $\beta = 0,63$; $R^2 = 0,94$ [115, с. 270]

Дополнив график новыми элементами, построим общее ГРР 815 лунных кратеров (рис. 3.26).

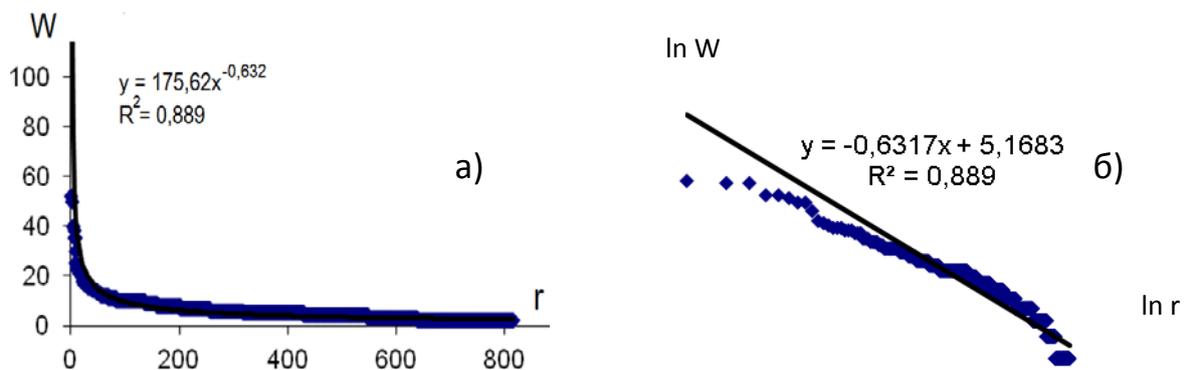


Рис. 3.26. ГРР диаметров 815 лунных кратеров (в отн. ед.); а) ГРР $W(r)$; $\beta = 0,63$; $R^2 = 0,89$; б) спрямление ГРР в координатах $\ln W(\ln r)$; $\beta = 0,63$; $R^2 = 0,89$ [117, с. 108]

Примечание: табулированные РР к графикам (рис. 3.24-3.26) не приводятся ввиду экономии объема издания.

Построение эмпирических РР показало, что они являются гиперболическими с высокой точностью (квадрат коэффициента регрессии составил около 0,9, в том числе для спрямления в двойном логарифмическом масштабе).

3.3.3. Исследование системы кратеров на Марсе, Венере, Меркурии, Европе методом РА

Размеры кратеров Марса взяты из источника [116].

В табл. П.3.11 (прил. к главе 3) приведены данные для диаметров кратеров более 100 км, по которым было составлено табулированное РР и построены графики РР (рис. 3.27), в том числе в двойном логарифмическом масштабе (рис. 3.27, б).

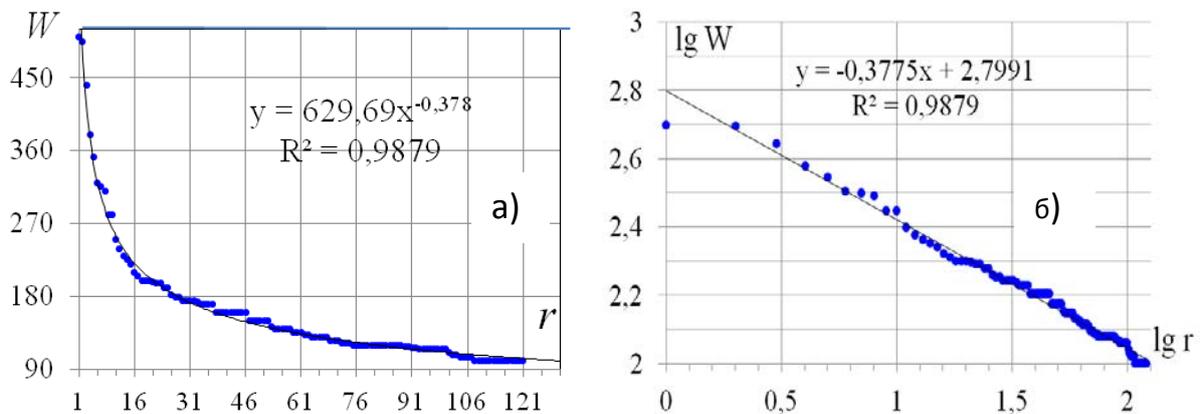


Рис. 3.27. ГРР диаметров кратеров W , км на Марсе с аппроксимацией:

- а) $W = f(r)$; $\beta = 0,38$; $R^2 = 0,988$; $r = 1$ – кратер Скиапарелли – 500 км;
 б) ГРР $\lg W(\lg r)$. $\beta = 0,38$; $R^2 = 0,99$ [117, с. 109]

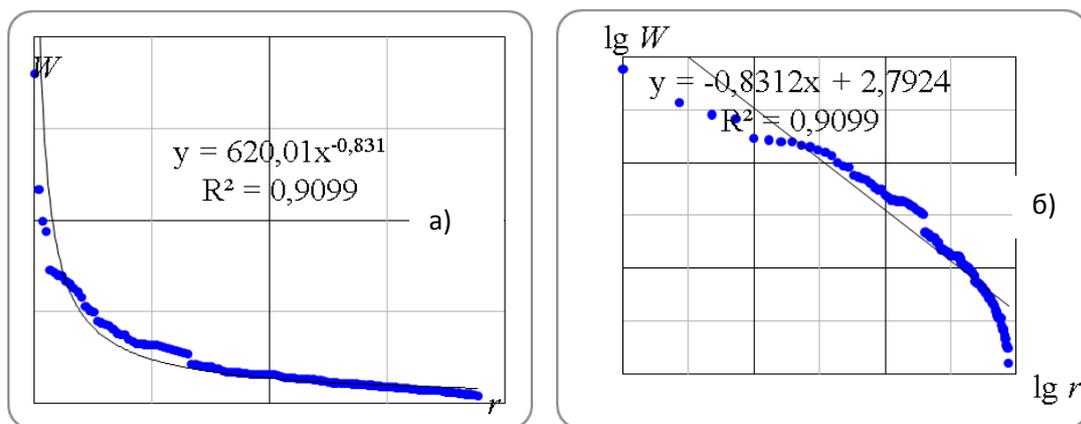


Рис. 3.28. ГРР диаметров кратеров на Венере (км):

- а) $W = f(r)$, $\beta = 0,83$; $R^2 = 0,91$; б) $\lg W(\lg r)$, $\beta = 0,83$; $R^2 = 0,91$

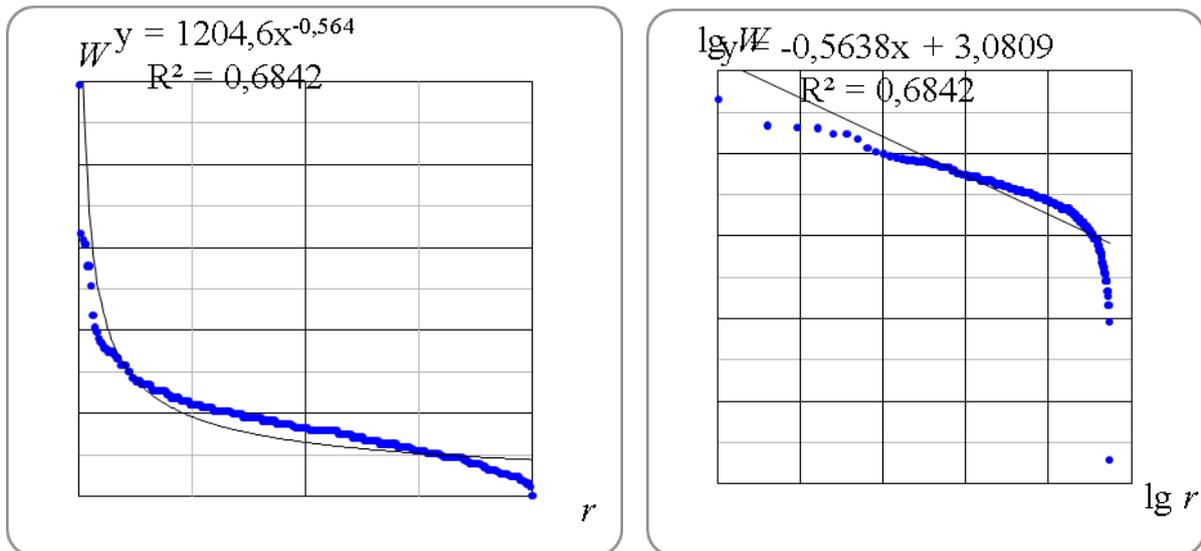


Рис. 3.29. ГРР диаметров кратеров на Меркурии (км);
 а) $W = f(r)$, $\beta = 0,56$; $R^2 = 0,68$; б) $\lg W(\lg r)$, $\beta = 0,56$, $R^2 = 0,58$

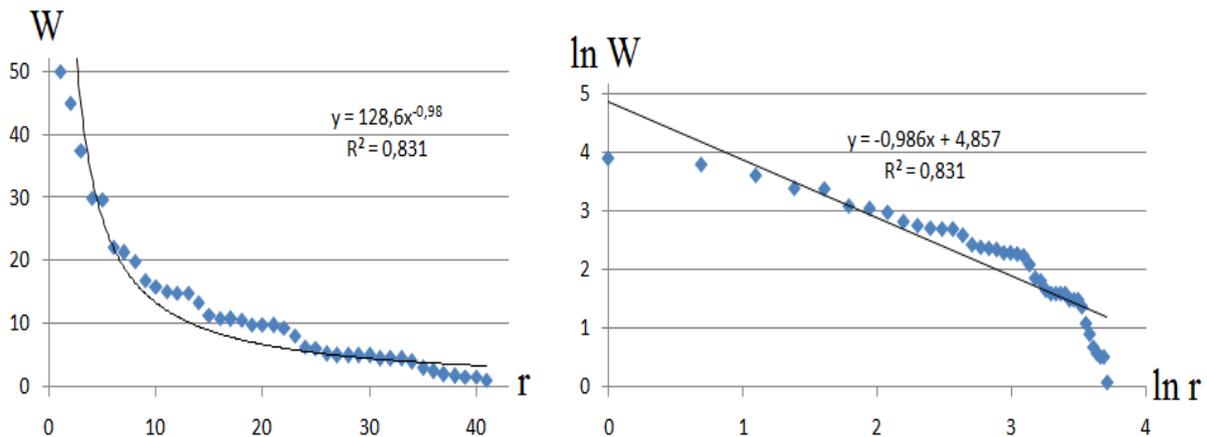


Рис. 3.30. ГРР диаметров кратеров на Европе:
 а) $W = f(r)$; $\beta = 0,980$; $R^2 = 0,83$; б) $\ln W(\ln r)$; $\beta = 0,986$; $R^2 = 0,83$

Из графиков видно, что эмпирические точки хорошо ложатся на аппроксимационные тренды. Это свидетельствует о том, что рассмотренное распределение подчиняется закону ГРР (1.1).

Высокий коэффициент регрессии R^2 около 0,9 показывает принадлежность семейства метеоритных кратеров планет и спутников планет к космическим системам-ценозам.

3.3.4. Проверка химических составов атмосфер и грунта планет СС на «ценозность»

С целью изучения составов атмосфер и грунта объектов СС методом РА были построены РР: процентного содержания веществ в атмосферах Венеры, Марса Меркурия, Нептуна, Юпитера; химического состава метеоритов (железных, каменных, железно-каменных); лунного грунта. Данные брались из справочных источников [108, 118]. Табулированные РР представлены в прил. к главе 3 (табл. П.3.16-П.3.24), графические РР – на рис. 3.31-3.39.

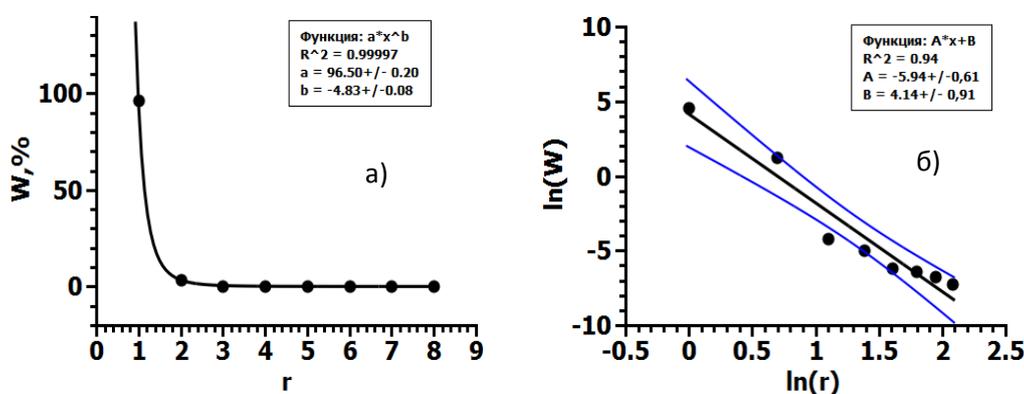


Рис. 3.31. РР состава атмосферы Венеры, W – количество вещества (%), r – ранг:
 а) график $W(r)$; $\beta = 4,83$; $A = 96,50 \%$; $R^2 = 0,999$; б) график $\ln W(\ln r)$; $\beta = 5,94$;
 $R^2 = 0,940$; $r = 1$ – CO_2 (углекислый газ), $W = 96,5 \%$; $r = 2$ – N_2 (азот), $W = 3,5 \%$;
 $r = 8$ – Ne (неон), $W = 0,0001 \%$

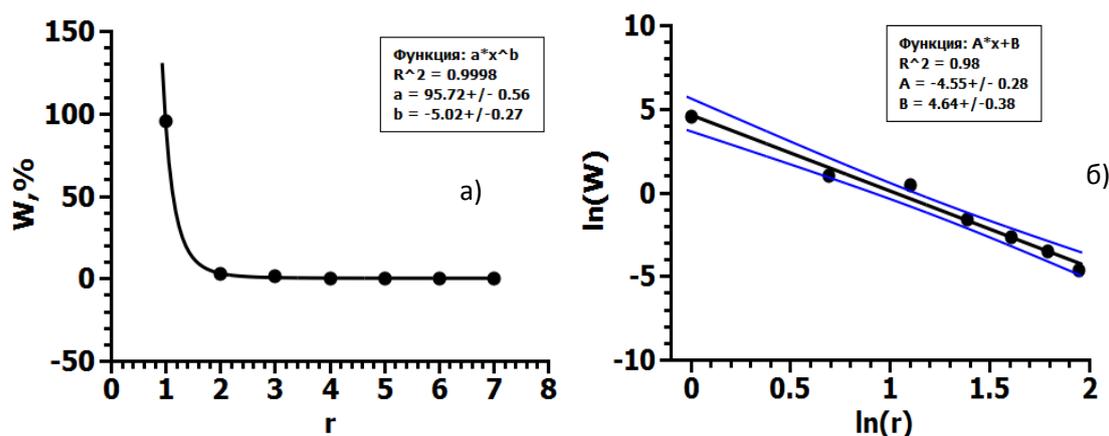


Рис. 3.32. РР состава атмосферы Марса, W – количество вещества (%), r – ранг:
 а) график $W(r)$; $\beta = 5,02$; $A = 95,72 \%$; $R^2 = 0,999$; б) график $\ln W(\ln r)$; $\beta = 4,55$;
 $R^2 = 0,980$; $r = 1$ – CO_2 (углекислый газ), $W = 95,72 \%$; $r = 2$ – N_2 (азот), $W = 2,7 \%$;
 $r = 7$ – NO (окись азота), $W = 0,01 \%$

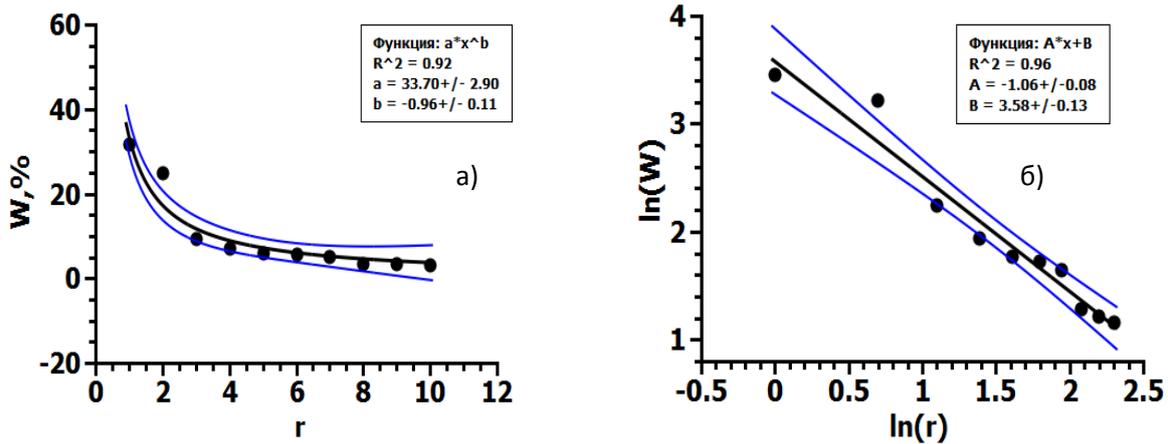


Рис. 3.33. PP состава атмосферы Меркурия, W – количество вещества (%), r – ранг:
 а) $W(r)$; $\beta = 0,96$; $A = 33,70$ %; $R^2 = 0,92$; б) $\ln W(\ln r)$; $\beta = 1,06$; $R^2 = 0,96$;
 элементы: $r = 1$ – К, $W = 31,7$ %; $r = 2$ – Na, $W = 24,9$ %; $r = 10$ – H_2 , $W = 3,2$ %

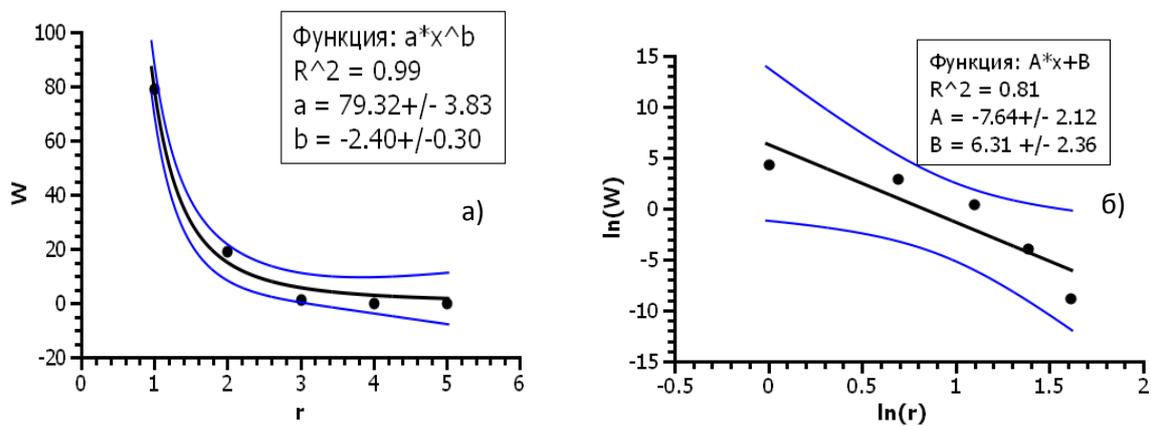


Рис. 3.34. PP состава атмосферы Нептуна, W – количество вещества, %, r – ранг:
 а) $W(r)$, $\beta = 2,40$; $A = 79,32$; $R^2 = 0,99$; б) $\ln W(\ln r)$, $\beta = 7,64$; $R^2 = 0,81$;
 элементы: $r = 1$ – H_2 , $W = 79$ %; $r = 2$ – He, $W = 19$ %; $r = 5$ – C_2H_6 (Этан), $W = 0,00015$ %

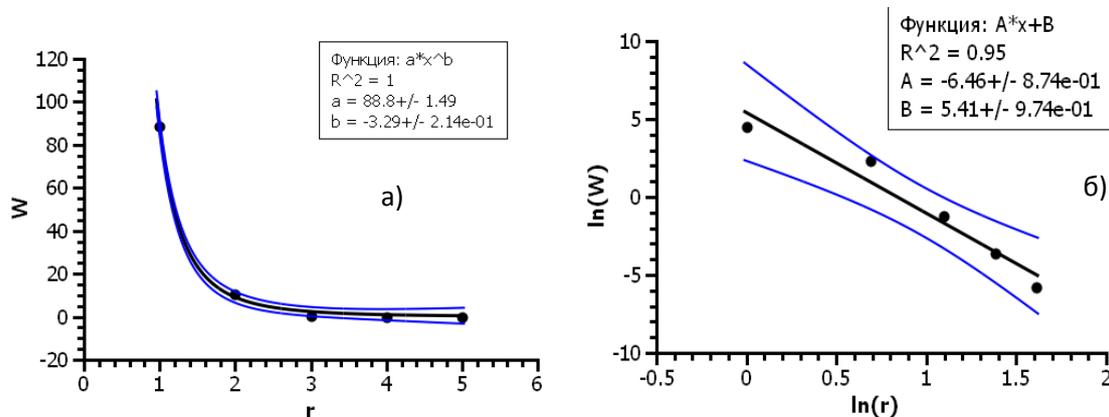


Рис. 3.35. PP состава атмосферы Юпитера, W – количество вещества, %, r – ранг:
 а) $W(r)$, $\beta = 3,29$; $A = 88,8$; $R^2 = 1$; б) $\ln W(\ln r)$, $\beta = 6,46$; $R^2 = 0,95$;
 элементы: $r = 1$ – H_2 , $W = 88,8$ %; $r = 2$ – He, $W = 10,2$ %; $r = 7$ – H_2O , $W = 0,0004$ %

Относительная погрешность определения β для составов атмосфер планет составила 1,7 % для РР (а) и 6 % для РР в логарифмическом масштабе (б), кроме атмосферы Нептуна. Для Нептуна относительная погрешность определения β – 12,5 % (а) и 26 % (б).

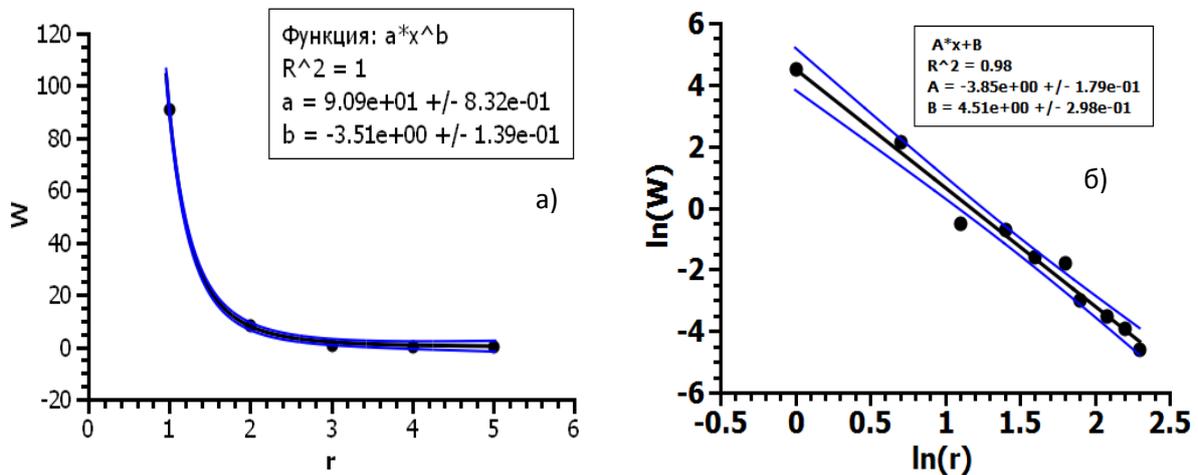


Рис. 3.36. РР состава железных метеоритов, W – количество вещества, %, r – ранг:
 а) $W(r)$, $\beta = 3,51$; $A = 90,9$; $R^2 = 1$; б) $\ln W = f(\ln r)$, $\beta = 3,85$; $R^2 = 0,98$;
 элементы: $r = 1$ – Fe, $W = 90,86$ %; $r = 2$ – Ni, $W = 8,5$ %; $r = 10$ – Cr, $W = 0,01$ %

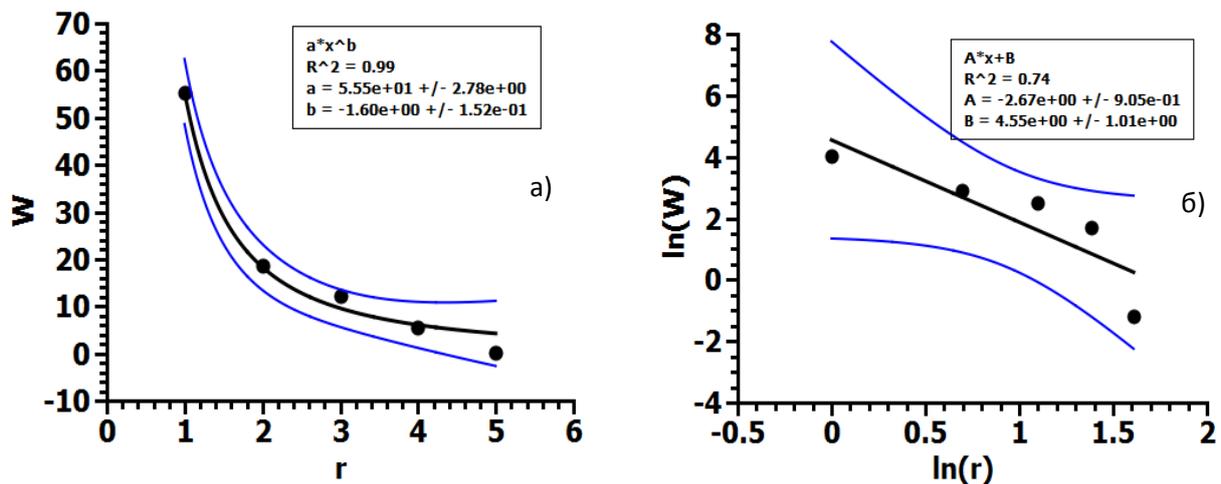


Рис. 3.37. РР состава железно-каменных метеоритов,
 W – количество вещества, %, r – ранг:
 а) $W(r)$, $\beta = 1,60$; $A = 55,5$; $R^2 = 0,99$; б) $\ln W = f(\ln r)$; $\beta = 2,67$; $R^2 = 0,74$;
 элементы: $r = 1$ – Fe, $W = 55,33$ %; $r = 2$ – O_2 , $W = 18,55$ %; $r = 5$ – Co, $W = 0,3$ %

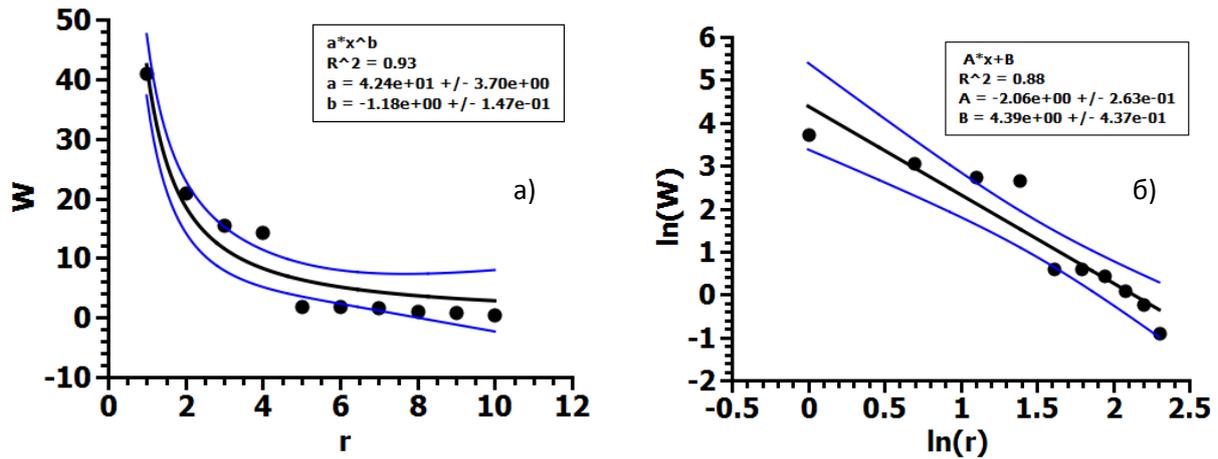


Рис. 3.38. РР состава каменных метеоритов, W – количество вещества, %, r – ранг:
 а) $W(r)$, $\beta = 1,18$; $A = 42,4$; $R^2 = 0,93$; б) $\ln W = f(\ln r)$, $\beta = 2,06$; $R^2 = 0,88$;
 элементы: $r = 1 - O_2$, $W = 41$ %; $r = 2 - Si$, $W = 21$ %; $r = 16 - Cu$, $W = 0,01$ %

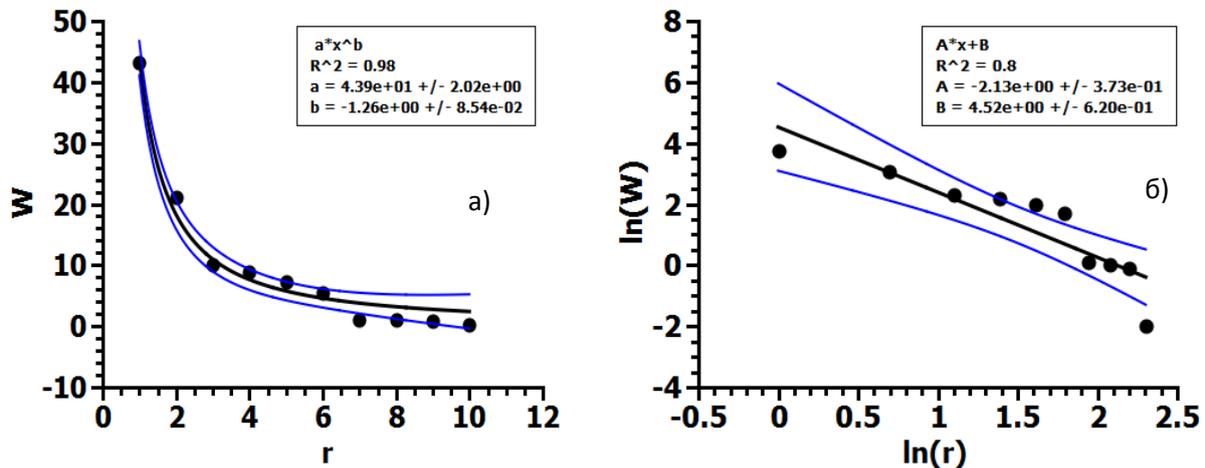


Рис. 3.39. РР состава лунного грунта, W – количество вещества (%), r – ранг:
 а) $W(r)$, $\beta = 1,26$, $A = 43,9$ %; $R^2 = 0,98$; б) $\ln W(\ln r)$, $\beta = 2,13$; $R^2 = 0,80$;
 элементы: $r = 1 - O_2$, $W = 43,1$ %; $r = 2 - Si$, $W = 21,1$ %; $r = 10 - K$, $W = 0,138$ %

Из табл. 3.4, 3.5 видно, что аппроксимация РР объектов СС гиперболической зависимостью (1.1) соответствует высокой степени точности: $R^2 \approx 0,94$, при этом ранговый коэффициент β изменяется в пределах 0,38-7,64.

Таким образом, анализ проверки применимости гиперболического ЗРР к астрофизическим системам в пределах СС показал, что РР объектов рассмотренных систем аппроксимируются математической зависимостью (1.1) с высокой степенью точности.

Таблица 3.4

**Параметры ГРР космических объектов СС планетарного уровня
(планет, спутников планет – рис. 3.17-3.30)**

№	Название рангового распределения и номер рисунка с графиками	Число элементов в составе, N	R ² из графика W(r)	R ² из графика ln W(ln r)	β из графика W(r)	β из графика ln W(ln r)
1	РР масс планет СС (рис. 3.17)	8	0,999≈ 1,00	0,69	2,08	6,02
2	РР чисел Тициуса – Боде (рис. 3.18)	8	0,97	0,95	1,37	2,12
3	РР планет по орбитальным радиусам (рис. 3.19)	8	0,93	0,91	1,2	2,19
4	РР планет по периодам обращения (рис. 3.20)	8	0,95	0,91	1,5	3,28
5	РР скоростей покидания планет земной группы и планетоподобных (рис. 3.21)	21	0,90	0,97	0,92	1,23
6	РР спутников Урана по массам (рис. 3.22)	27	0,86	0,94	1,16	5,36
7	РР спутников Юпитера по массам (рис. 3.23)	64	0,85	0,85	1,2	6,64
8	РР спутников Сатурна по диаметрам (рис. 3.24)	45	-	-	-	2,2
9	РР диаметров лунных кратеров (рис. 3.26)	815	0,89	0,89	0,63	0,63
10	РР диаметров кратеров W, км на Марсе (рис. 3.27)	121	0,99	0,99	0,38	0,38
11	РР диаметров кратеров на Венере (рис. 3.28)	120	0,91	0,91	0,83	0,83
12	РР диаметров кратеров на Меркурии (рис. 3.29)	233	0,68	0,68	0,56	0,56
13	РР диаметров кратеров на Европе (рис. 3.30)	41	0,83	0,83	0,98	0,98
	<i>Среднее <R²></i> <i>Пределы колебаний β</i>		0,97	0,88	0,38- 2,08	0,38- 6,64

Таблица 3.5

**Параметры ГРР составов атмосфер и грунта космических объектов
СС планетарного уровня (рис. 3.31-3.39)**

№	Название рангового распределения и номер рисунка с графиками	Число элементов в составе, N	R ² из графика W(r)	R ² из графика ln W(ln r)	Коэффициент β из графика W(r)	β из графика ln W(ln r)
1	РР состава атмосферы Венеры (рис. 3.31)	8	0,999≈ 1,00	0,94	6,75	5,94
2	РР состава атмосферы Марса (рис. 3.32)	7	0,999≈ 1,00	0,98	5,02	4,55
3	РР состава атмосферы Юпитера (рис. 3.33)	7	1,00	0,95	3,29	6,46
4	РР химического состава железных метеоритов (рис. 3.34)	10	1,00	0,98	3,51	3,85
5	РР состава атмосферы Нептуна (рис. 3.35)	5	0,99	0,81	2,4	7,64
6	РР химического состава железно-каменных метеоритов (рис. 3.36)	5	0,99	0,74	1,6	2,67
7	РР химического состава каменных метеоритов (рис. 3.37)	16	0,93	0,88	1,18	2,06
8	РР лунного грунта (рис. 3.38)	10	0,98	0,80	1,26	2,13
9	РР состава атмосферы Меркурия (рис. 3.39)	10	0,92	0,96	0,996≈ 1,00	1,06
	<i>Среднее <R²></i>		0,98	0,89		
	<i>Пределы колебаний β</i>				1,00- 6,75	1,06- 7,64

Полученные результаты позволяют утверждать, что материя на планетарном уровне в пределах СС самоорганизуется в системы ценологического типа так же, как и на земном уровне.

Заметим, что, в отличие от техноценозов, включающих в себя многочисленную совокупность слабо связанных особей, в астроценозах планетарного уровня *число особей может быть небольшим*, при этом они характеризуются не слабыми связями, а *жестко связаны между собой и центральным светилом силами гравитации*.

Другой специфической особенностью космоценозов, в отличие техноценозов, является их *неуправляемость человеком*.

Также важными признаками ценозов, в том числе космических, являются: *общность территории*, или единая среда обитания, и *конкурентная борьба* особей за ресурсы. Космическое пространство для астроценозов можно рассматривать как среду обитания и как специфический ресурс, за который идет борьба космических тел.

3.4. Самоорганизация галактических объектов в ценоз

Описываются ли космические системы в пределах нашей галактики «ципфойдой»?

В параграфе приведены результаты проверки применимости закона ГРР (1.1) к галактическому масштабу в виде параметрических РР и *рангово-видовых* распределений космических объектов.

Напомним, если в качестве параметра рассматривается численность видов объектов, входящих в астросистему (на ценологическом языке – численность особей, составляющих вид в ценозе или мощность популяции), то в этом случае распределение называется *ранговым видовым*. Таким образом, в ранговом видовом распределении ранжируются виды космических тел, то есть особью является вид, а параметр W выражает число объектов, составляющих вид.

На рис. 3.40 (а) представлено РР внесолнечных планет по величине их массы, которых было известно около 600 на момент построения графиков. Параметры экзопланет взяты с сайта [119]. Эмпирические точки приближены к аппроксимационной кривой с высокой точностью: $R^2 = 0,80$, $R = 0,90$, при этом $\beta = 0,50 \pm 0,01$, относительная погрешность $(\Delta \beta / \beta) - 2 \%$.

На рис 3.40 (б) – этот же график в двойном логарифмическом масштабе. На большем участке график $\ln W(\ln r)$ имеет линейный вид. Конец

графика имеет искажение в виде загибающегося вниз «хвоста», занимающего 1/5 часть всей длины графика. То есть в первом приближении выделяются 2 участка из отрезков прямых под углом друг к другу. В связи с этим искажением аппроксимация графика рис. 3.40 (б) к линейной зависимости показывает меньший коэффициент регрессии $R^2 = 0,64$, то есть $R = 0,8$. При этом $\beta = 1,47 \pm 0,04$, относительная погрешность ($\Delta \beta / \beta$) возросла до 8,5 %. Искажение может быть связано с недостаточной полнотой системы – график построен для 650 планет, а на данный момент их известно около 3000; недостаточной точностью измерений масс планет. Другой причиной может быть наличие 2-х или нескольких классов экзопланет, если в основе классификации – масса планет.

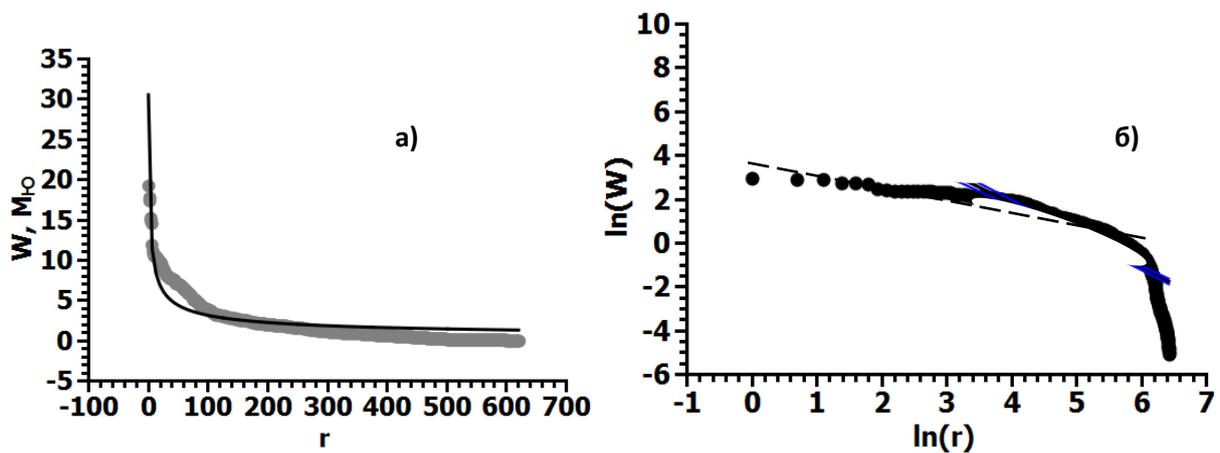


Рис. 3.40. РР экзопланет по величине их массы: W – масса, в массах Юпитера, r – ранговый номер: а) график $W(r)$, $R^2 = 0,80$; $\beta = 0,50 \pm 0,01$; б) график спрямления $\ln W(\ln r)$, $R^2 = 0,64$, $\beta = 1,47 \pm 0,04$

Рис. 3.41 иллюстрирует РР экзопланет по их орбитальным характеристикам с высокой степенью точности.

Для графиков (рис. 3.41, а, б) относительная погрешность измерения β ($\Delta \beta / \beta$) – 0,7 % и 2 % соответственно; для графиков (рис. 3.41, в, г) – 0,35 % и 2,4 % соответственно.

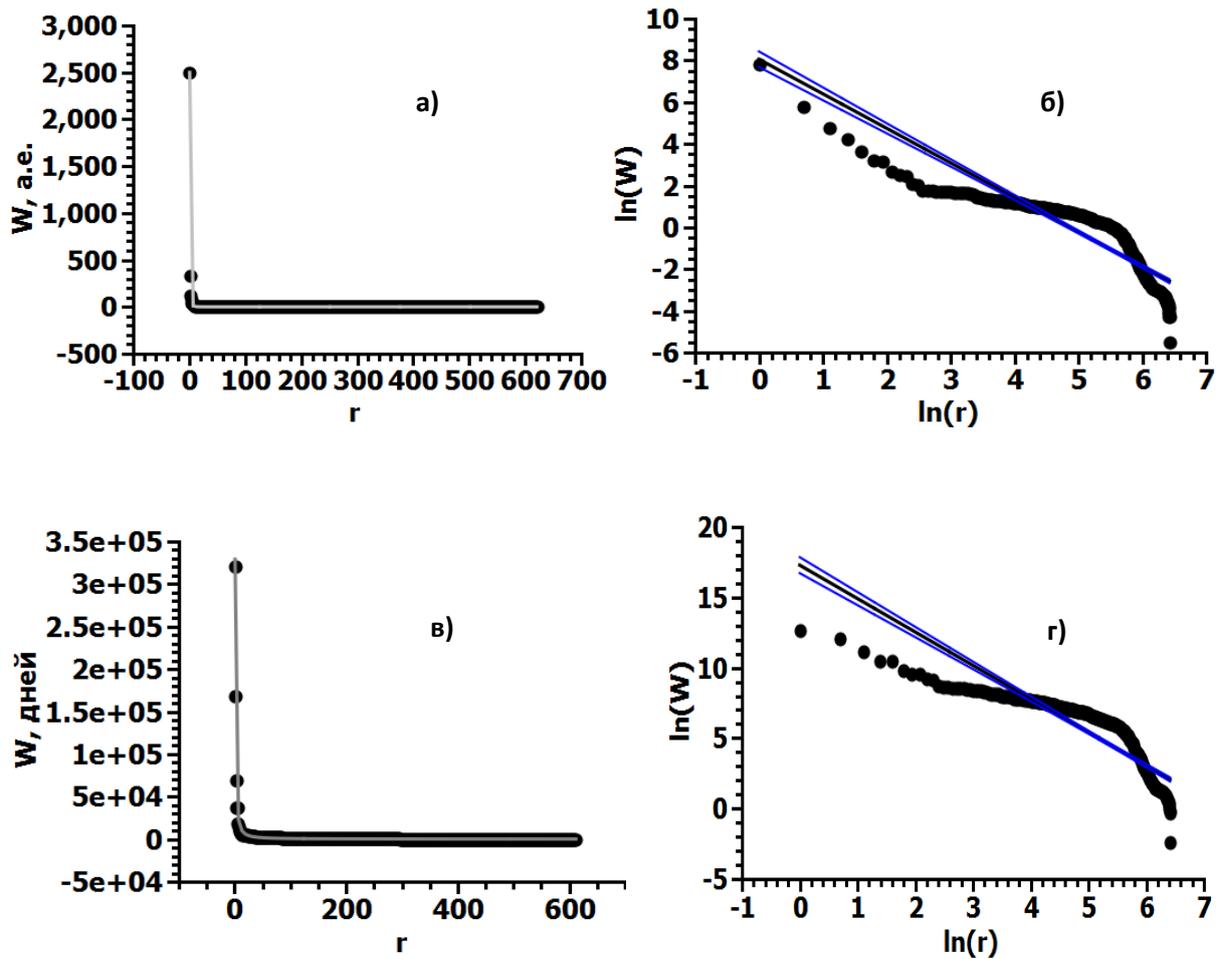


Рис. 3.41. РР экзопланет по орбитальным параметрам, W – параметр, r – ранг:
 а) РР экзопланет по величине орбитального периода W (дней), $R^2 = 0,98$;
 $\beta = 1,36 \pm 0,01$; б) спрямление $\ln W(\ln r)$, $R^2 = 0,77$, $\beta = 2,37 \pm 0,05$;
 в) РР экзопланет по величине их большой полуоси W (а. е.), $R^2 = 1,00$; $\beta = 2,86 \pm 0,01$;
 г) спрямление $\ln W(\ln r)$, $R^2 = 0,79$, $\beta = 1,66 \pm 0,04$

Рис. 3.42 показывает РР классов звезд нашей галактики по температуре их поверхности. Данные для построения РР взяты с сайта School-collection.iv-edu.ru [120].

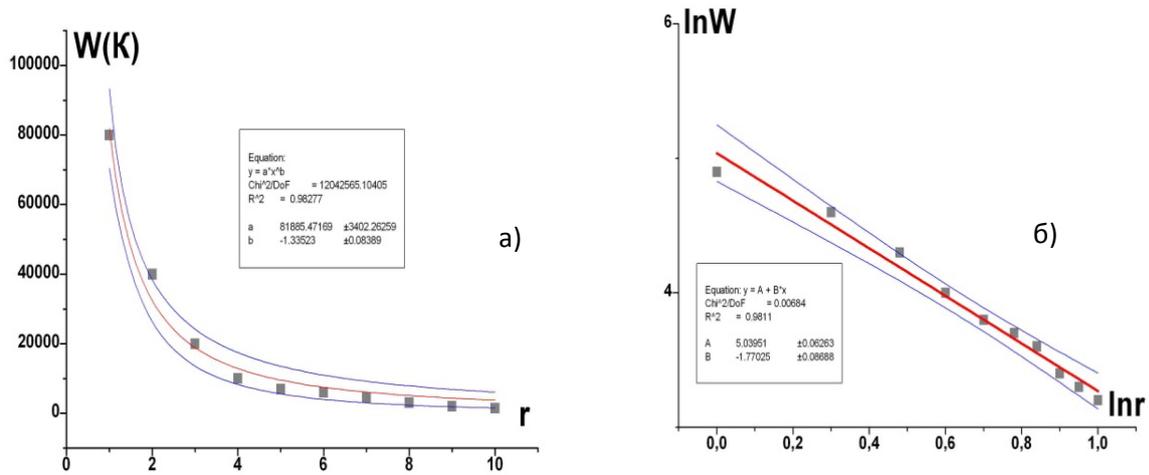


Рис. 3.42. РР классов звезд нашей галактики по температуре их поверхности $W(K)$, r – ранговый номер класса звезд; $r = 1$ – W (голубые – Вольфа-Райе, 80000 К), $r = 2$ – O (голубые, 40000 К), 3 – B (голубовато-белые, 20000 К), 4 – A (белые, 10000 К), 5 – F (желтоватые, 7000К), 6 – G (желтые, 6000 К), 7 – K (оранжевые 4500 К), 8 – M (красные, 3000 К), 9 – L (темно-красные, 2000 К), 10 – T (коричневые карлики, 1500 К):
 а) график $W(r)$, $R^2 = 0,983$; $A = 81892 \pm 3402$; $\beta = 1,34 \pm 0,06$;
 б) график спрямления $\ln W(\ln r)$, $R^2 = 0,981$; $\beta = 1,77 \pm 0,087$ [65, с. 182]

На рис. 3.43 изображено РР звезд по температуре их поверхности по Гарвардской классификации [118; 107, с. 980] с учетом подклассов звезд.

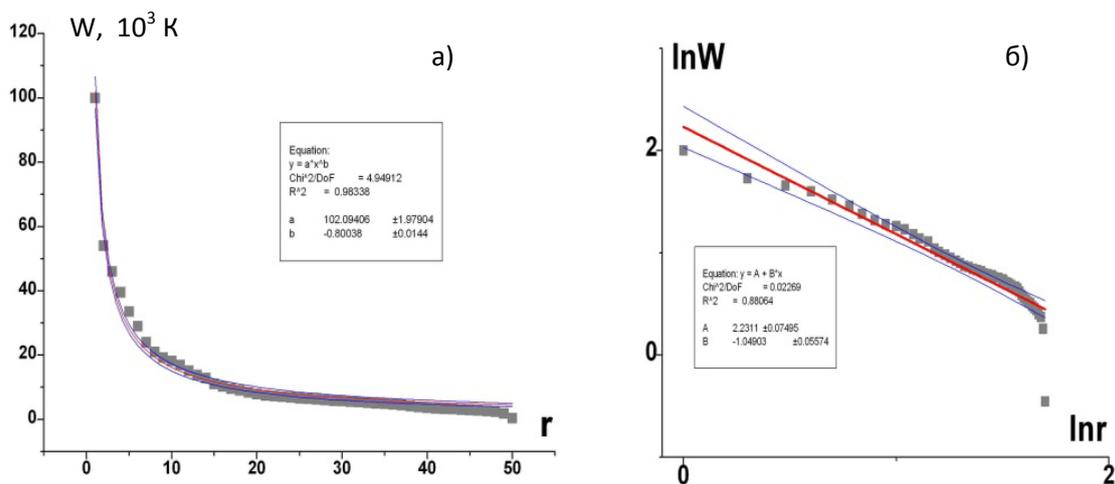


Рис. 3.43. РР звезд по температуре их поверхности $W, 10^3 K$, согласно Гарвардской классификации, r – ранговый номер подкласса звезды:
 а) график $W(r)$, $R^2 = 0,983$; $\beta = 2,80 \pm 0,014$;
 б) график $\ln W(\ln r)$, $R^2 = 0,881$; $\beta = 1,05 \pm 0,056$ [114, с. 9]

Каждый спектральный класс делится на 10 подклассов, обозначаемых арабскими цифрами от 1 до 9, которые ставятся после буквы, например, M5 (прил. к главе 3, табл. П.3.25). W – температура поверхности звезд (10^3 , K); r – ранговый номер звезд определенного подкласса. Последняя точка выпадает из графика и доверительного интервала. Обратимся к таблице: последнее значение температуры соответствует 350 K или 623 °C, следовательно, это тело по сути не является звездой, то есть не принадлежит звездному ценозу.

На рис. 3.44 представлено PP орбитальных периодов пульсаров, построенное по данным [120, с. 112].

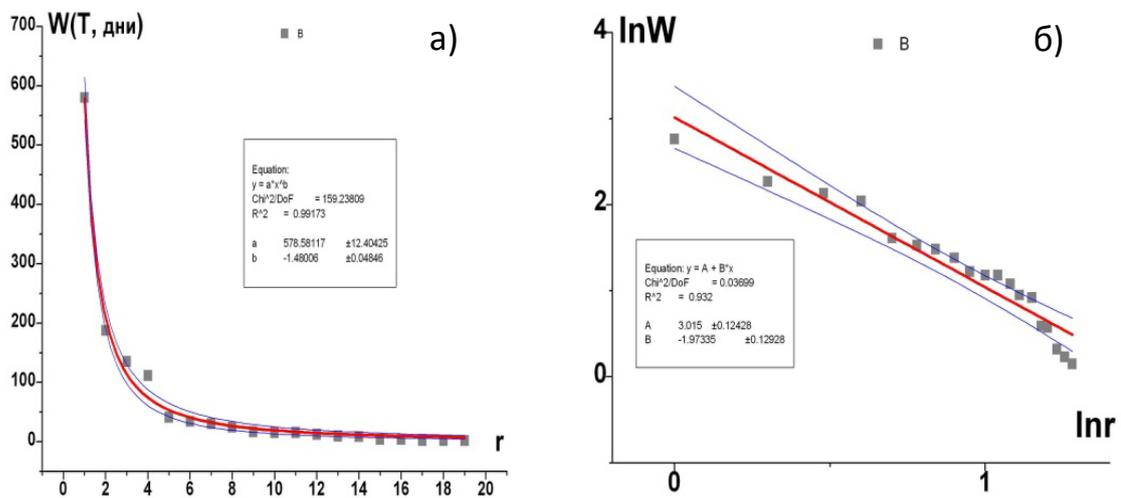


Рис. 3.44. PP орбитальных периодов пульсаров W (в днях),
 r – ранговый номер пульсара:
 а) график $W(r)$, $R^2 = 0,991$; $A = 578 \pm 12$; $\beta = 1,48 \pm 0,04$;
 б) график $\ln W(\ln r)$, $R^2 = 0,932$; $\beta = 1,97 \pm 0,13$ [65, с. 182]

Большинство эмпирических точек построенных графиков (рис. 3.42-3.44) входят в доверительный интервал значений или лежат на его границе, при высоком значении коэффициента регрессии и высокой точности определения β .

Рис. 3.45 иллюстрирует рангово-видовое распределение теоретически рассчитанного населения нашей Галактики по видам космических объектов, построенное с использованием данных табл. 46.19 из справочника [107, с. 985].

При этом РР численности населения нашей галактики представлено следующими видами космических объектов: 1 – субкарлики, в количестве 10^{11} ; 2 – белые карлики, 10^9 ; 3 – темные пылевые туманности, 10^8 ; 4 – долгопериодические переменные звезды, $1,3 \cdot 10^6$; 5 – новые звезды, 10^6 ; 6 – звезды класса В, $1,5 \cdot 10^5$; 7 – планетарные туманности, $1,3 \cdot 10^5$; 8 – долгопериодические переменные с периодом $P = 150-200$ дн., 10^5 ; 9 – переменные типа RV Тельца, $5 \cdot 10^4$; 10 – звезды класса RN, $3,35 \cdot 10^4$; 11 – рассеянные звездные скопления, $3,3 \cdot 10^4$; 12 – долгопериодические цефеиды, $2 \cdot 10^4$; 13 – долгопериодические цефеиды типа W Девы, $2 \cdot 10^4$; 14 – короткопериодические цефеиды, $1,7 \cdot 10^4$; 15 – звезды класса О, $6,5 \cdot 10^3$; 16 – звезды класса S, $5 \cdot 10^3$; 17 – шаровые звездные скопления. 250.

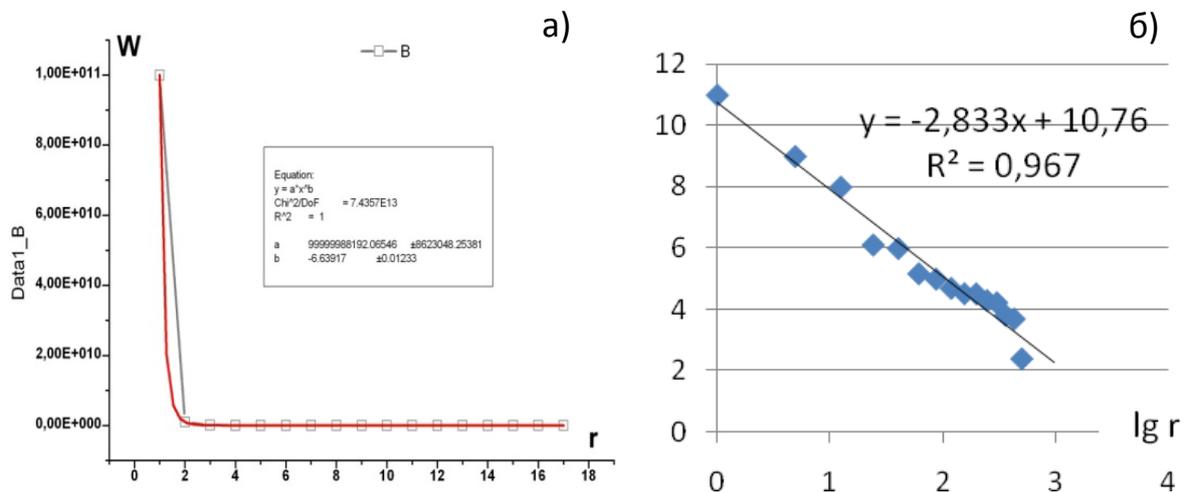


Рис. 3.45. Рангово-видовое распределение теоретически рассчитанного населения нашей Галактики, W – численность вида (количество объектов),
 r – ранговый номер вида (подсистемы):
 а) график $W(r)$, $R^2 = 1$; $A = 10^{11} \pm 0,05 \cdot 10^{11}$; $\beta = 6,64 \pm 0,01$;
 б) график $\ln W = f(\ln r)$, $R^2 = 0,967$; $\beta = 2,83$ [65, с. 183]

На рис. 3.46 показано реально наблюдаемое рангово-видовое распределение населения нашей галактики $W(r)$, построенное по данным табл. 46.19 [107, с. 985], в которой представлены также результаты реальной численности населения нашей галактики по подсистемам.

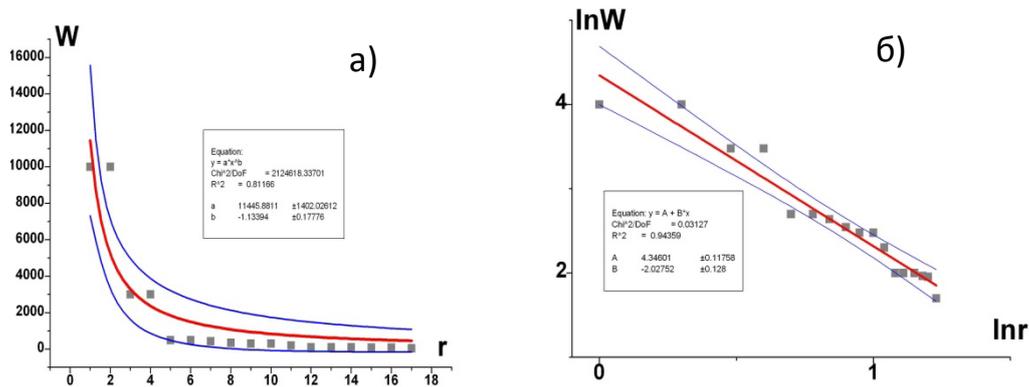


Рис. 3.46. Рангово-видовое распределение реально наблюдаемого населения нашей галактики; W – численность вида, r – ранговый номер вида:

а) график $W(r)$, $R^2 = 0,812$; $A = 11446 \pm 1402$; $\beta = 1,134 \pm 0,18$;

б) график $\ln W(\ln r)$, $R^2 = 0,943$; $\beta = 2,03 \pm 0,18$ [65, с. 183]

Из графиков (рис. 3.45-3.46) видно, что реальное население нашей галактики с меньшей, но достаточно высокой точностью ($R^2 = 0,812$, $R = 0,90$ для (а); $R^2 = 0,943$, $R = 0,97$ для (б)); соответствует ГРП (1.1).

Рис. 3.47 и 3.48 иллюстрируют графики РР составов фотосферы и атмосферы Солнца.

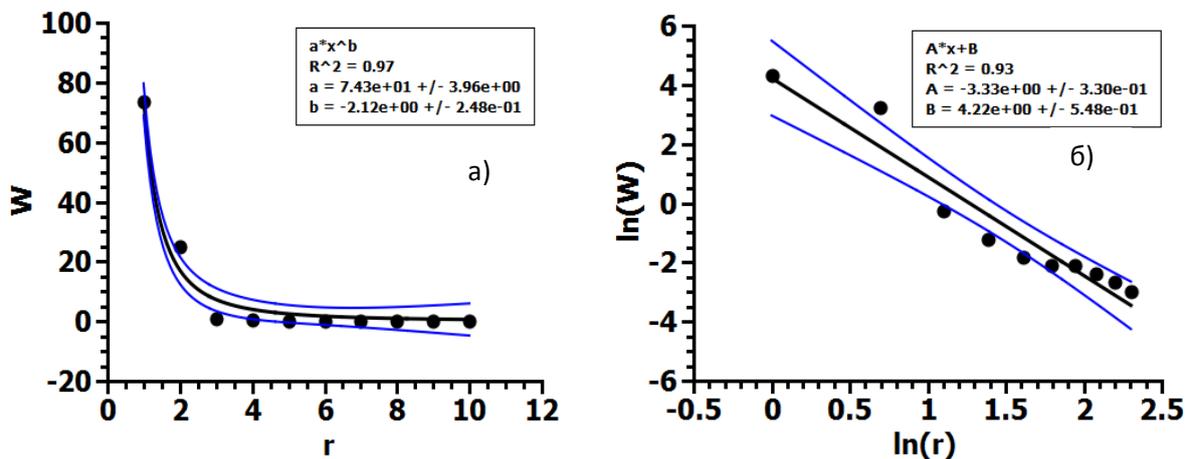


Рис. 3.47. РР химического состава фотосферы Солнца W (%), r – ранг; $r = 1$ – Н (Водород, 73,46 %); $r = 2$ – He (Гелий, 24,85 %); $r = 10$ – Mg (Магний, 0,05 %):

а) график $W(r)$, $R^2 = 0,97$; $\beta = 2,12 \pm 0,25$; $A = 74,3$;

б) график $\ln W = f(\ln r)$, $R^2 = 0,93$; $\beta = 3,33 \pm 0,33$

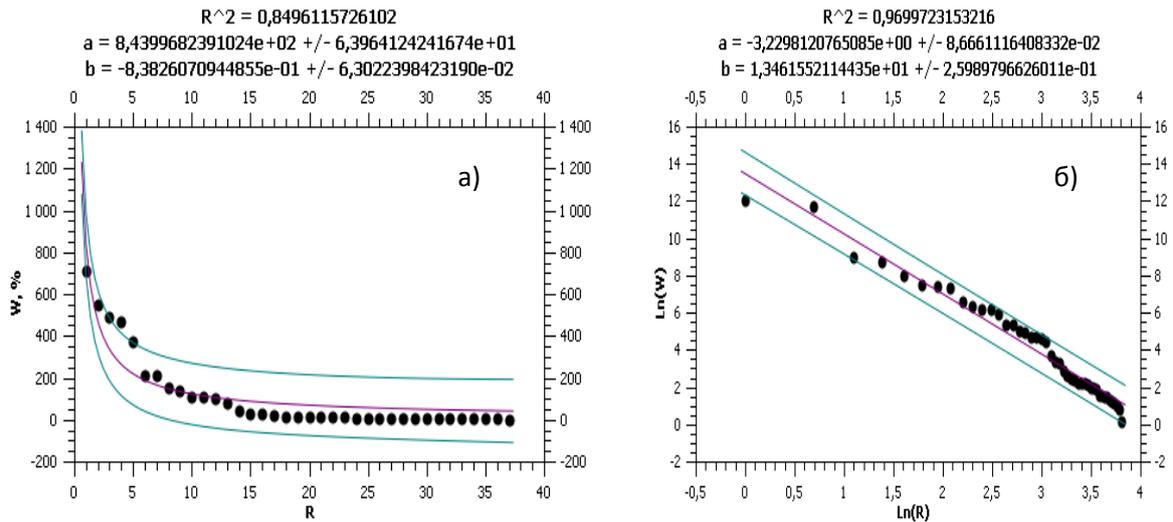


Рис. 3.48. РР состава атмосферы Солнца, выраженное в относительных единицах:
 а) график $W(r)$, $R^2 = 0,85$; $\beta = 8,383 \pm 0,063$; $A = 74,3$;
 б) график $\ln W(\ln r)$, $R^2 = 0,97$; $\beta = 3,230 \pm 0,087$

Атмосфера Солнца состоит из фотосферы, хромосферы, Солнечной Короны. Плотность каждой из них медленно падает с высотой.

На рис. 3.49 и 3.50 (а) представлены графики РР составов трёх звёзд в относительных единицах. Это значит, что в звезде γ Пегаса (рис. 3.50, а) на 8700 атомов водорода ($r = 1$) приходится 1290 атомов гелия ($r = 2$), 4,6 атомов неона ($r = 4$), 3,7 атомов кислорода ($r = 4$), 3,3 атома углерода ($r = 5$), 0,9 атомов азота ($r = 6$), 0,76 атомов магния ($r = 7$) и т.д. Для всех трёх звёзд ранг $r = 1$ занимает водород, ранг $r = 2$ – гелий. Данные составов взяты с сайта [122].

График (рис. 3.50, б) иллюстрирует РР масс шаровых скоплений нашей галактики, построенное по данным [118].

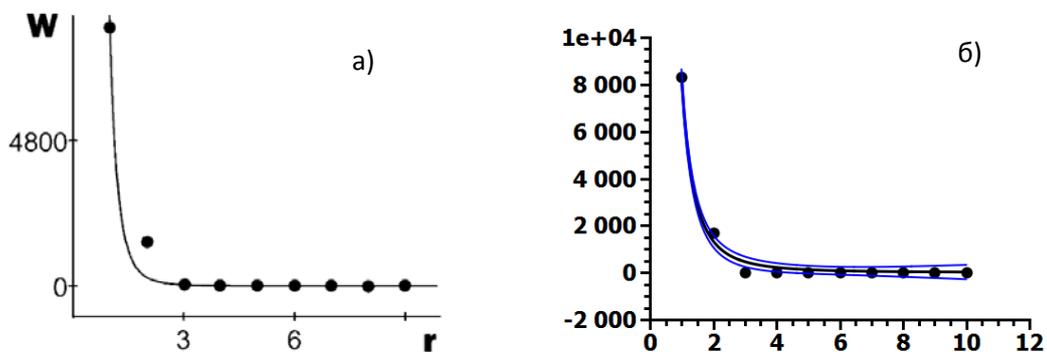


Рис. 3.49. РР составов звезд в относительных количествах атомов в звезде:
 а) $W(r)$, τ Скорпиона, $\beta = 4,90$; $R = 0,99$; б) $W(r)$ ξ Персея, $\beta = 4,88$; $R = 0,99$

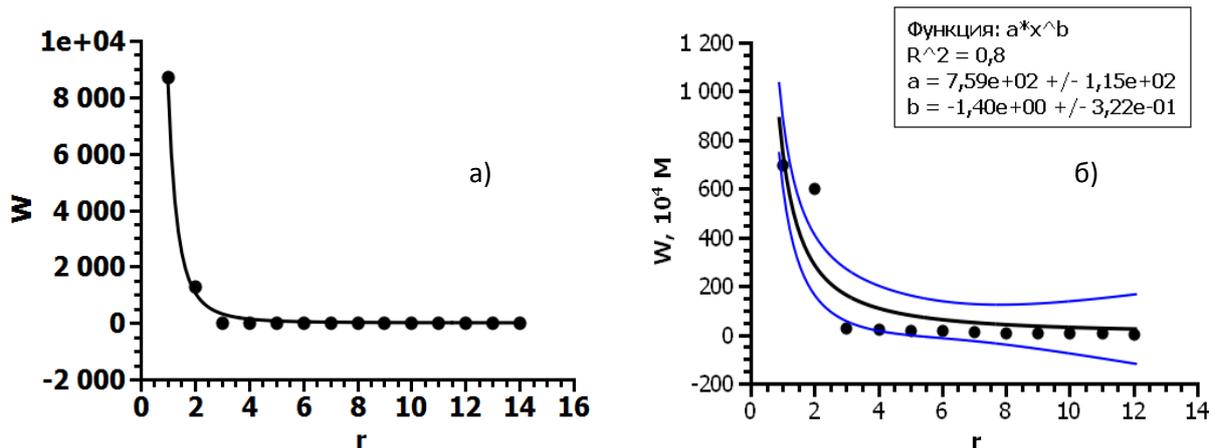


Рис. 3.50. Ранговые распределения:

- а) химического состава $W(r)$ γ Пегаса в относительных количествах атомов в звезде; $\beta = 5,34$, $R = 0,99$; б) масс шаровых скоплений $W(r)$, $M_{\odot} \cdot 10^4$, где M_{\odot} – масса Солнца; $R^2 = 0,80$; $\beta = 1,40 \pm 0,32$

Как опушка леса являет собой биоценоз, в котором представлены разнообразные виды растений, наша галактика представляет собой астроценоз, состоящий из различных объектов, объединенных в виды: звезды, туманности, звездные скопления, переменные звезды и т.д. В галактике (как и на опушке леса) есть редкие виды, представленные несколькими особями – «ноева каста» (новые звезды), и есть самый многочисленный вид объектов $r = 1$, – представляющий «саранчевую касту» ценоза (субкарлики).

Из табл. 3.6 видно, что аппроксимация РР объектов СС гиперболической зависимостью (1.1) соответствует высокой степени точности: $R^2 \approx 0,94-0,88$, при этом ранговый коэффициент β изменяется в пределах 0,5-8,4.

Таким образом, анализ проверки применимости гиперболического ЗРР к астрофизическим системам галактического масштаба показал, что РР объектов рассмотренных систем аппроксимируются математической зависимостью (1.1) с высокой степенью точности. Вышесказанное подтверждает, что наша галактика является ценозом.

Полученные результаты позволяют утверждать, что материя на галактическом уровне самоорганизуется в системы ценологического типа так же, как на земном и планетарном уровнях.

Таблица 3.6

**Параметры ГРР космических объектов галактического уровня
(графики – рис. 3.40-3.50)**

№	Название распределения и номер рисунка с графиками	Число элементов в системе, N	R^2 из $W(r)$	R^2 из $\ln W(\ln r)$	β из $W(r)$	β из $\ln W(\ln r)$
1.	РР экзопланет по величине их массы (рис. 3.40)	620	0,800	0,640	0,50	1,47
2.	РР по орбитальному периоду (рис. 3.41, а, б)	620	0,980	0,770	1,36	2,37
3.	РР по величине их большой полуоси (рис. 3. 41, в, г)	620	1,000	0,790	2,86	1,66
4.	РР классов звезд галактики по температуре их поверхности (рис. 3.42)	10	0,983	0,981	1,34	1,77
5.	РР звезд по температуре поверхности по Гарвардской классификации (рис. 3.43)	50	0,983	0,881	2,80	1,05
6.	РР орбитальных периодов пульсаров (рис. 3.44)	19	0,990	0,932	1,48	1,97
7.	РР теоретически рассчитанного населения нашей галактики (рис. 3.45)	16	0,999	0,952	6,64	5,998
8.	РР реального населения нашей галактики (рис. 3.46)	17	0,812	0,944	1,134	2,03
9.	РР химического состава фотосферы Солнца (рис. 3.47)	10	0,970	0,930	2,12	3,33
10.	РР химического состава атмосферы Солнца (рис. 3.48)	37	0,850	0,970	8,38	3,23
11.	РР состава звезды τ Скорпиона (рис. 3.9, а)	9	0,990	-	4,90	-
12.	РР состава звезды ξ Персея (рис. 3.49, б)	10	0,990	-	4,88	-
13.	РР состава звезды γ Пегаса (рис. 3.50, а)	14	0,990	-	5,34	-
14.	РР шаровых скоплений по массам (рис. 3.50, б)	12	0,800	-	1,40	-
	<i>Среднее $\langle R^2 \rangle$</i>		0,940	0,880		
	<i>Пределы колебаний β</i>				0,50-8,38	1,05-6,0

3.5. Самоорганизация метagalктических объектов в ценоз

В параграфе приведены результаты проверки применимости ЗРР к межгалактическому масштабу. На рис. 3.51 (а) представлено ранговое распределение 15 ближайших галактик по массам. На рис. 3.51 (б) – этот же график в двойном логарифмическом масштабе в виде прямой. Распределение построено по данным справочника [107, с. 986]. R^2 – квадрат коэффициента регрессии.

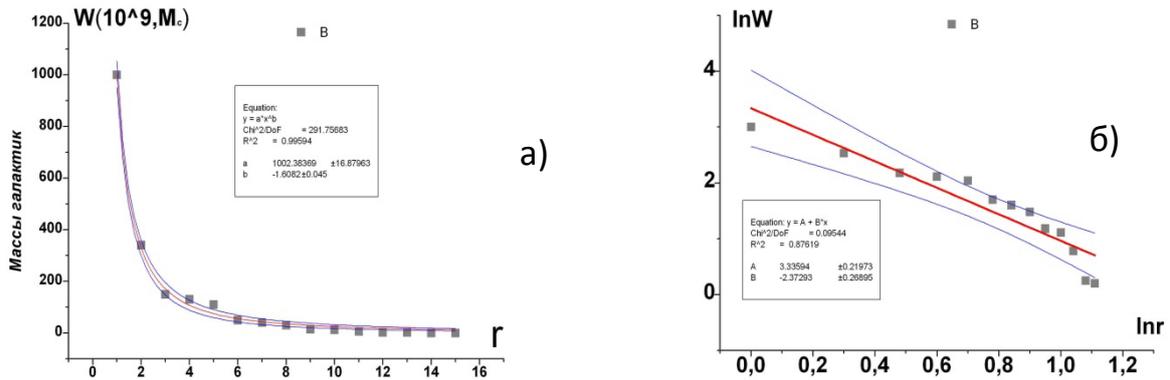


Рис. 3.51. Ранговое распределение масс ближайших галактик, выраженных в солнечных массах ($M_c \cdot 10^9$):
 а) график $W(r)$; $A = 1002 \pm 16$, $R^2 = 0,996$; $\beta = 1,600 \pm 0,045$;
 б) график $\ln W(\ln r)$, $R^2 = 0,876$; $\beta = 2,373 \pm 0,270$

Ниже построено (рис. 3.52) РР 29 масс местной группы галактик по данным сайта Астронет [123].

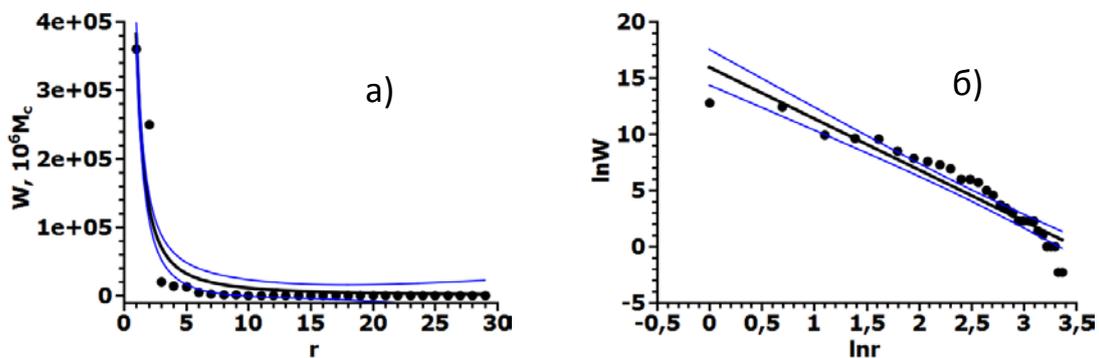


Рис. 3.52. РР 29 галактик местной группы по массам, в солнечных массах ($10^6 M_c$):
 $r = 1$ – Андромеда ($M31$), $M = 360\,000 (M_c \cdot 10^6)$; $r = 2$ – Млечный путь,
 $M = 250\,000 (M_c \cdot 10^6)$; а) график $W(r)$, $R^2 = 0,89$; $\beta = 1,53 \pm 0,17$;
 б) график $\ln W(\ln r)$, $R^2 = 0,90$; $\beta = 4,56 \pm 0,30$

Ниже представлено (рис. 3.53) РР светимостей ближайших галактик по данным сайта Кругосвет [124].

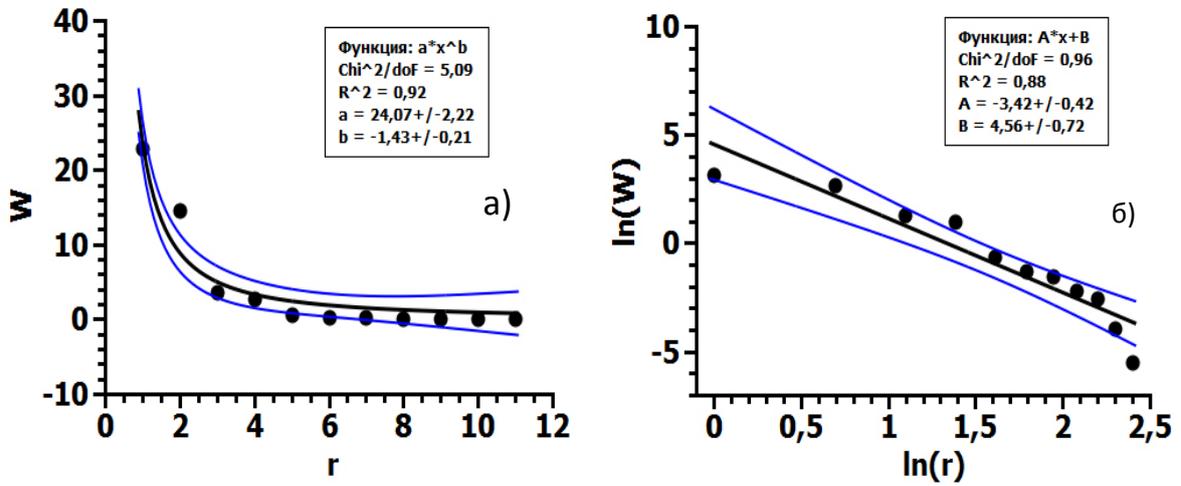


Рис. 3.53. РР светимостей галактик W , выраженных в относительных единицах по отношению к светимости Солнца ($W \cdot 10^9$ Солнечных единиц), r – ранг:
 а) $W(r)$; $A = 24,07$, $R^2 = 0,92$; $\beta = 1,43$; б) $\ln W(\ln r)$, $R^2 = 0,88$; $\beta = 3,42$

Большинство эмпирических точек графиков (рис. 3.51-3.53) входят в доверительный интервал значений. Их РР аппроксимируются зависимостью (1.1) с высокой степенью точности $R^2 \approx 0,9$.

Ниже приведено (рис. 3.54) РР скопления галактик. По оси ординат откладывается число галактик в скоплении.

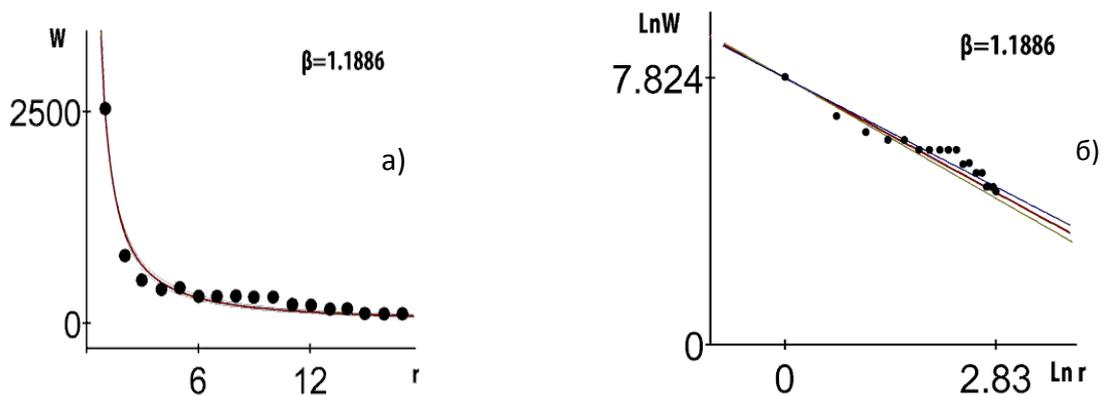


Рис. 3.54. РР числа галактик W в скоплениях галактик, r – ранг:
 а) график $W(r)$, $R^2 = 0,96$; $\beta = 1,19$; б) график $\ln W(\ln r)$, $R^2 = 0,96$; $\beta = 1,19$;
 $r = 1$ – количество галактик в скоплении созвездия Девы, $W = 2500$, $r = 2$ – в созвездии Волосы Вероники, $W = 800$; $r = 17$ – в Большой Медведице III, $W = 90$

Ниже приводится РР распространности элементов в космосе (рис. 3.55), построенное по данным [107, с. 990].

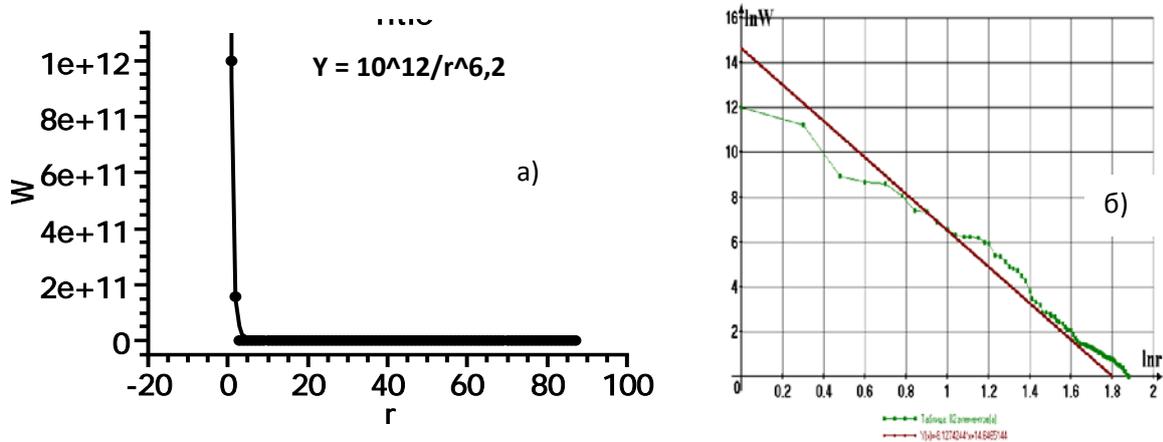


Рис. 3.55. РР космической распространности элементов: $r=1$ – водород Н, $r=2$ – гелий He, $r=3$ – кислород О, $r=4$ – неон Ne, $r=5$ – углерод С; W – число атомов относительно водорода по данным [107, с. 990]:
 а) $W(r)$, $R^2 = 0,979$; $\beta = 6,2$; б) $\ln W(\ln r)$, $R^2 = 0,99$; $\beta = 8,06$

Рис. 3.56 иллюстрирует РР процентного состава первичных космических лучей.

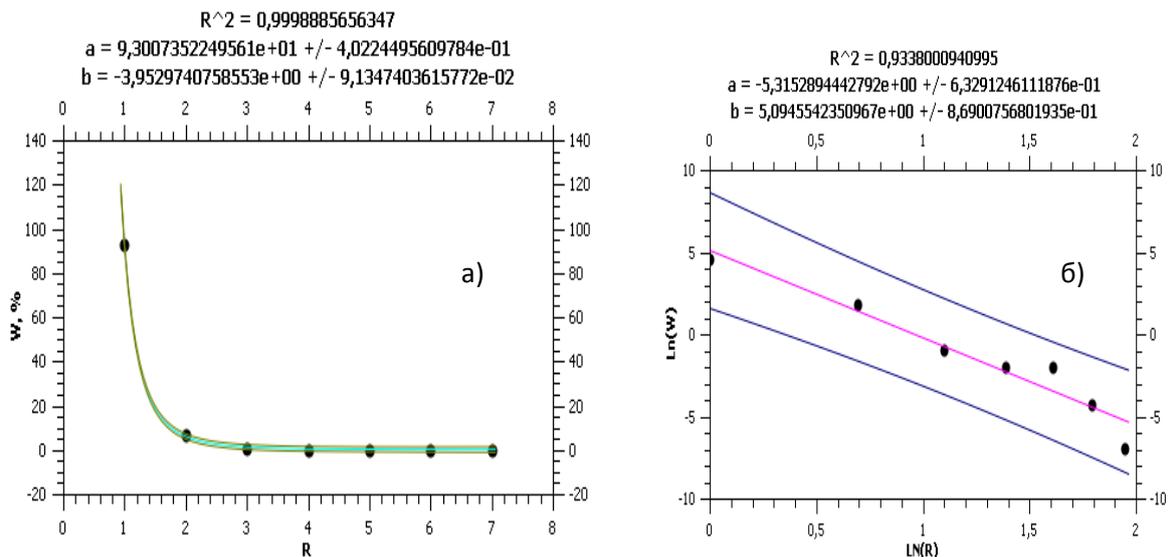


Рис. 3.56. РР состава первичного космического излучения, выраженного в %:
 а) график $W(r)$, $R^2 = 1,00$; $\beta = 3,953$; б) $\ln W(\ln r)$, $R^2 = 0,934$; $\beta = 5,315$;
 1 – протоны, 93 %; 2 – альфа-частицы, 6,3 %; 3 – М-группа ядер, 0,4 %; 4 – L-группа ядер, 0,14 %; 5 – Н-группа ядер, 0,14 %; 6 – железо, 0,014 %; 7 – другие ядра, 0,001 %

Первичное космическое излучение – поток атомных ядер очень высокой энергии, приходящих из мирового пространства в атмосферу Земли.

По происхождению космическое излучение подразделяется на внегалактические, галактические и солнечные. Оно образуется вследствие извержения и испарения материи с поверхности звезд и туманностей космического пространства.

В табл. 3.7 сведены параметры ГРР метагалактического уровня (рис. 3.51-3.56).

Таблица 3.7

Параметры ГРР космических объектов метагалактического уровня

№	Название распределения и номер рисунка с графиками	Число элементов в системе, N	R^2 из W(r)	R^2 из ln W (ln r)	β из W(r)	β из ln W(ln r)
1.	РР масс ближайших галактик (рис. 3.51)	15	0,996	0,88	1,6	2,37
2.	РР 29 галактик местной группы по массам (рис. 3.52)	29	0,890	0,90	1,53	4,56
3	РР светимостей галактик (рис. 3.53)	11	0,920	0,88	1,43	3,42
4.	РР числа галактик в скоплениях галактик (рис. 3.54)	17	0,960	0,96	1,19	1,19
5.	РР космической распространенности элементов (рис. 3.55)	85	0,980	0,99	6,20	8,06
6.	РР состава первичного космического излучения (рис. 3.56)	7	1,00	0,93	3,95	5,32
	Среднее значение $\langle R^2 \rangle$		0,96	0,92		
	Пределы колебания β				1,2-6,2	1,2-8,1

Из таблицы видно, что аппроксимация РР объектов СС гиперболической зависимостью (1.1) соответствует высокой степени точности: $R^2 \approx 0,92-0,96$, при этом ранговый коэффициент β изменяется в пределах 1,2-8,1.

Таким образом, анализ проверки применимости гиперболического ЗРР к астрофизическим системам метагалактического масштаба показал, что РР объектов рассмотренных систем аппроксимируются математической зависимостью (1.1) с высокой степенью точности.

3.6. Графическое представление уровневой самоорганизации космических объектов по ценологическому типу

Для наглядности на рис. 3.57 и 3.58 представлены сводные графики РР объектов разных космических уровней в двойном логарифмическом масштабе.

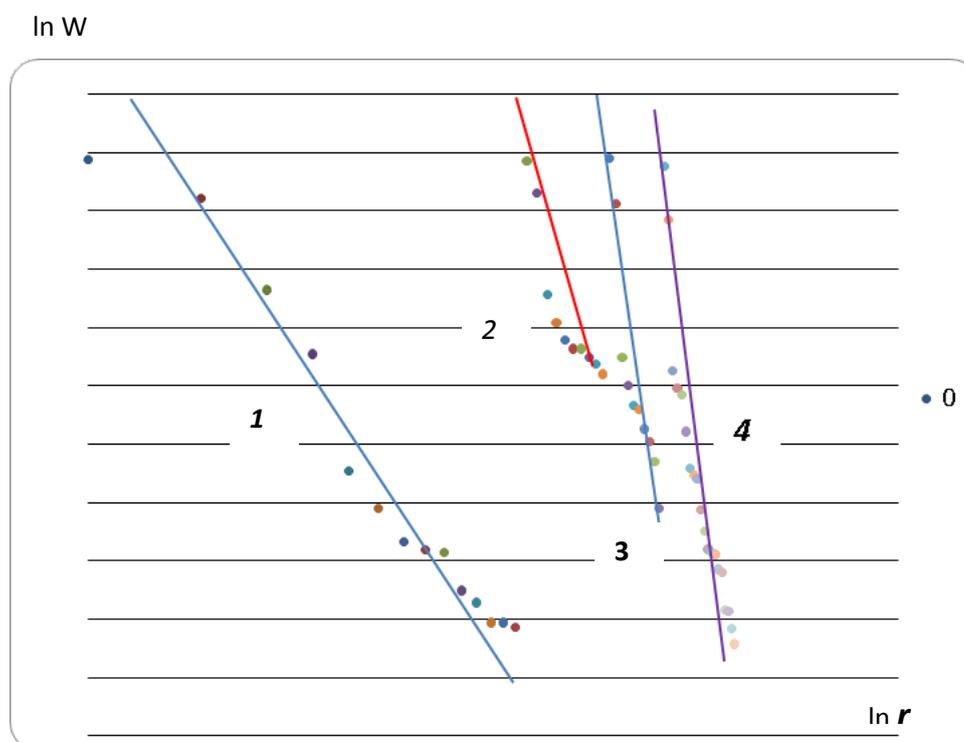


Рис. 3.57. РР в двойном логарифмическом масштабе процентного содержания веществ/элементов в космических объектах на четырех космических уровнях:
 1 – РР процентного состава веществ в атмосфере Земли (земной уровень); $\beta = 2,33$; $R^2 = 0,961$; 2 – РР процентного состава веществ в фотосфере Солнца (планетарный, уровень СС); $\beta = 2,12$; $R^2 = 0,806$; 3 – РР процентного состава веществ в фотосфере звезды из созвездия Персея (ξ Персея, галактический или звездный уровень); $\beta = 4,88$; $R^2 = 0,850$; 4 – РР процентного состава веществ, распространенных в космосе (метагалактический уровень); $\beta = 6,2$; $R^2 = 0,98$

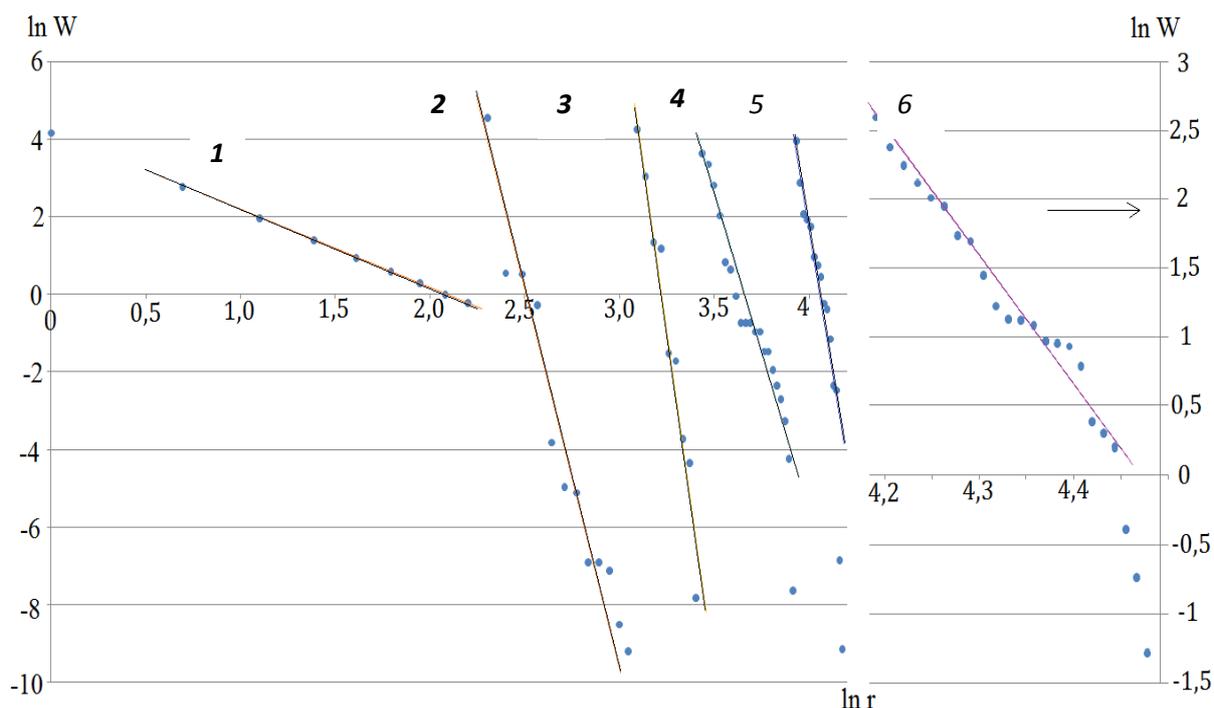


Рис. 3.58. РР в двойном логарифмическом масштабе масс космических объектов на пяти космических уровнях – микроуровне, земном, планетарном и метagalактическом – и светимости пульсаров на галактическом уровне:
 1 – РР уровней энергии атома водорода (микроуровень); $\beta = 1,99$, $R^2 = 1$;
 2 – РР массива вод на планете Земля (земной уровень); $\beta = 5,58$, $R^2 = 0,95$;
 3 – РР масс планет СС (планетарный уровень, уровень СС); $\beta = 2,08$, $R^2 = 0,95$;
 4 – РР светимости пульсаров (галактический уровень); $\beta = 2,95$, $R^2 = 0,92$;
 5 – РР масс скоплений галактик (метagalактический уровень); $\beta = 1,04$, $R^2 = 0,75$;
 6 – РР масс галактик (метagalактический уровень); $\beta = 1,6$, $R^2 = 0,81$

На рис. 3.58 добавлен график РР энергетических уровней атома водорода (микроуровень). На микроуровне – объектами ценоза (популяции) являются атомы и микрочастицы. Энергетическое состояние электрона в атоме водорода изменяется в зависимости от главного квантового числа n (номера Боровской орбиты), которое по сути является ранговым номером ($r = n$):

$$E = -A/n^2, \quad (3.1)$$

где $A = -13,55$ эВ при $n = 1$. Знак минус свидетельствует о том, что электрон находится в потенциальной яме с отрицательной энергией. График (рис. 3.58) построен в соответствии с данными табл. 3.8.

Таблица 3.8

PP энергетических уровней атома водорода, эВ

Модуль энергии электрона на стационарном уровне (орбите), эВ	Ранговый номер – номер Боровской орбиты
13,55	1
3,387	2
1,51	3
0,85	4
0,54	5
0,38	6
0,28	7

Из графиков видно, что PP объектов на всех космических уровнях, в том числе на микроуровне, аппроксимируются линейной зависимостью (1.1).

Полученные результаты позволяют утверждать, что материя в космосе на земном, планетарном, галактическом, метagalacticком уровнях самоорганизуется в системы ценологического типа.

Это свидетельствует в пользу высказанной ранее гипотезы о фрактальном характере организации материи на всех уровнях ее организации по ценологическому признаку.

3.7. Сравнительный анализ уровневой фрактальной космической самоорганизации материальных объектов по ценологическому типу методом Пирсона

3.7.1. Метод Пирсона

Линейный корреляционный анализ позволяет установить прямые связи между переменными величинами x и y по их абсолютным значениям, то есть **корреляционный метод Пирсона** позволяет использовать фактические значения параметров, а не удельные или процентные. Формула расчета коэффициента корреляции r_{xy} построена таким образом, что если связь между признаками имеет линейный характер, коэффициент Пирсона точно

устанавливает тесноту этой связи. Поэтому он называется также коэффициентом линейной корреляции Пирсона. Сильная связь характеризуется интервалом значений $r_{xy} = 0,9 - 1$ [125].

В общем виде формула Пирсона для подсчета коэффициента корреляции r_{xy} такова [125]:

$$r_{xy} = \frac{\sum_{i=1}^n \Delta x_i \Delta y_i}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (\Delta x_i)^2 \sum_{i=1}^n (\Delta y_i)^2}}, \quad (3.2)$$

где $\Delta x_i = x_i - \bar{x}$, $\Delta y_i = y_i - \bar{y}$, x_i – значения, принимаемые переменной x , y_i – значения, принимаемые переменной y , \bar{x} – средняя по x , \bar{y} – средняя по y . Средние величины \bar{x} и \bar{y} рассчитываются по известным формулам:

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n}, \quad \bar{y} = \frac{\sum_{i=1}^n y_i}{n}.$$

3.7.2. Исследование корреляции РР космических объектов на разных космических уровнях

Были рассчитаны коэффициенты Пирсона для 10 пар выборок x и y РР космических объектов, взятых умышленно с различных уровней организации космической материи. Для расчета r_{xy} в формуле (3.2) за x принимались значения параметров W_1 первого РР, за y – значения параметров второго РР – W_2 , n – величина выборки, то есть число особей РР, фактически – максимальный ранг. Условные обозначения космических уровней сомоорганизации материи в системы-ценозы:

I – **земной**, уровень самоорганизации на планете Земля.

II – **планетарный (или межпланетный)**, уровень самоорганизации материальных объектов в пределах СС.

III – **галактический**, уровень самоорганизации материальных объектов в пределах галактики Млечный путь.

IV – **метagalактический**, уровень самоорганизации материальных объектов в пределах метagalактики.

Результаты приведены в табл. 3.9-3.18. Данные о РР, приведенных в этих таблицах, даны в прил. к главе 3, а сопутствующие графические РР рассмотрены выше – в параграфах 3.2-3.5. Для каждого случая коэффициент корреляции Пирсона рассчитывался дважды:

– r_{xy} – для выборок x , y значений двух ГРР с разных уровней (или одного и того же уровня, но разных подуровней), графиками которых являются гиперболы;

– $r_{\ln x, \ln y}$ – для двух выборок линеаризованных ГРР $\ln x$ и $\ln y$ тех же значений РР для тех же уровней (то есть соответствующих графикам РР в двойном логарифмическом масштабе).

N – порядковый номер элемента выборки – фактически ранговый номер r . Следует различать обозначения величин: r – ранговый номер; r_{xy} – коэффициент Пирсона.

Сравнение РР земного и планетарного уровней (I и II уровней)

Таблица 3.9

Сравнительный анализ ГРР составов атмосфер Марса и Земли методом Пирсона; x и y – процентные содержания веществ в атмосферах Марса и Земли соответственно

$N = r$	$x, \%$	$y, \%$	$\ln x$	$\ln y$
	Марс	Земля	Марс	Земля
1	95,72	78,000	4,56143	4,356709
2	2,70	21,000	0,99325	3,044522
3	1,60	0,900	0,47000	-0,10536
4	0,20	0,100	-1,60944	-2,302590
5	0,07	$1,8 \cdot 10^{-3}$	-2,65926	-6,319970
6	0,03	$5 \cdot 10^{-4}$	-3,50656	-7,600900
$n = 7$	0,01	$1,6 \cdot 10^{-4}$	-4,60517	-8,740340
r_{xy}	$r_{xy} = 0,970$		$r_{\ln x, \ln y} = 0,957$	
Среднее значение		0,964		

Таблица 3.10

**Сравнительный анализ составов литосферы Земли и грунта Луны
методом Пирсона; x и y – процентные содержания веществ
в литосфере Земли и в грунте Луны соответственно**

N = r	x, %	y, %	ln x	ln y
	Земля	Луна	Земля	Луна
1	46,100	43,100	3,830813	3,763523
2	28,200	21,100	3,339322	3,049273
3	8,230	10,000	2,107786	2,302585
4	5,630	8,770	1,728109	2,171337
5	4,150	7,270	1,423108	1,983756
6	2,360	5,500	0,858662	1,704748
7	2,330	1,100	0,845868	0,09531
8	0,565	1,000	-0,57093	0
9	0,140	0,900	-1,96611	-0,105360
$n = 10$	0,105	0,138	-2,25379	-1,980500
r_{xy}	$r_{xy} = 0,958$		$r_{\ln x, \ln y} = 0,942$	
Среднее значение		0,950		

Таблица 3.11

**Сравнительный анализ составов Мертвого моря Земли и атмосферы
планеты Юпитера методом Пирсона; x и y – процентные содержания
веществ в Мертвом море Земли и в атмосфере Юпитера
соответственно**

N = r	x, %	y, %	ln x	ln y
	Земля	Юпитер	Земля	Юпитер
1	48,8	88,8000	3,88773	4,48639
2	17,8	10,2000	2,879198	2,32239
3	9,9	0,3000	2,292535	-1,20397
4	9,5	0,0260	2,251292	-3,64966
5	8,2	0,0030	2,104134	-5,80914
6	3,7	0,0006	1,308333	-7,41858
$n = 7$	1,6	0,0004	0,470004	-7,82405
r_{xy}	$r_{xy} = 0,9708$		$r_{\ln x, \ln y} = 0,9249$	
Среднее значение		0,9474		

**Сравнение объектов планетарного уровня
(II уровня – уровня СС)**

Таблица 3.12

Сравнительный анализ РР диаметров кратеров на Марсе и на Луне методом Пирсона; x – диаметры кратеров на Марсе в относительных единицах (в частях, относительно общей суммы диаметров кратеров на планете); y – диаметры кратеров на Луне в тех же единицах

N = r	$x, \%$	$y, \%$	$\ln x$	$\ln y$
	Марс	Луна	Марс	Луна
1	0,13724	0,086732	-2,44493	-1,98602
2	0,127596	0,074342	-2,59908	-2,05888
3	0,103858	0,072277	-2,62725	-2,26473
4	0,075668	0,047496	-3,04711	-2,5814
5	0,062315	0,046464	-3,06909	-2,77556
6	0,053412	0,036138	-3,3204	-2,92971
7	0,051929	0,036138	-3,3204	-2,95788
8	0,050445	0,035106	-3,34939	-2,98687
9	0,035608	0,030976	-3,47455	-3,33518
10	0,030045	0,028911	-3,54354	-3,50508
11	0,022255	0,026846	-3,61765	-3,80518
12	0,019288	0,025813	-3,65687	-3,94828
13	0,018546	0,025555	-3,66692	-3,9875
14	0,018546	0,022716	-3,78471	-3,9875
15	0,014837	0,021683	-3,83123	-4,21065
16	0,013353	0,020237	-3,90022	-4,31601
17	0,012982	0,019618	-3,93131	-4,34418
18	0,012611	0,019618	-3,93131	-4,37316
19	0,009644	0,01936	-3,94455	-4,64143
20	0,008902	0,018895	-3,96885	-4,72147
21	0,008531	0,018482	-3,99095	-4,76403
22	0,00816	0,018172	-4,00785	-4,80848
23	0,00816	0,01652	-4,10316	-4,80848
24	0,007789	0,016262	-4,11891	-4,855
25	0,007418	0,016004	-4,13491	-4,90379
$n = 26$	0,005935	0,013939	-4,27306	-5,12694
r_{xy}	$r_{xy} = 0,9911$		$r_{\ln x, \ln y} = 0,9793$	
Среднее значение		0,9852		

**Сравнение РР галактического (звездного) и планетарного уровней
(II и III уровней)**

Таблица 3.13

**Сравнительный анализ РР химического состава атмосферы планеты
Марс и звезды τ Скорпиона методом Пирсона; x и y – процентные
содержания веществ в атмосфере Марса и звезды τ Скорпиона
(из созвездия Скорпиона) соответственно**

N= r	$x, \%$	$y, \%$	$\ln x$	$\ln y$
	Марс	τ Скорпиона	Марс	τ Скорпиона
1	95,72	85,0000	4,561427	4,442651
2	2,70	14,5000	0,993252	2,674149
3	1,60	0,1100	0,470004	-2,207270
4	0,20	0,0450	-1,609440	-3,101090
5	0,07	0,0310	-2,659260	-3,473770
6	0,03	0,0200	-3,506560	-3,912020
$n = 7$	0,01	0,0075	-4,605170	-4,892850
r_{xy}	$r_{xy} = 0,9891$		$r_{\ln x, \ln y} = 0,929200$	
Среднее значение		0,9592		

**Сравнение РР галактического (звездного) и земного уровней
(III и I уровней)**

Таблица 3.14

**Сравнение РР составов элементов в фотосфере Солнца и атмосфере
Земли; x и y – процентные содержания веществ в составах фотосферы
Солнца и атмосферы Земли соответственно**

N= r	$x, \%$	$y, \%$	$\ln x$	$\ln y$
	Солнце	Земля	Солнце	Земля
1	73,46	78,00000	4,29674	4,35671
2	24,85	21,00000	3,21286	3,04452
3	0,77	0,90000	-0,26136	-0,10536
4	0,29	0,10000	-1,23787	-2,30259
5	0,16	0,00180	-1,83258	-6,31997
6	0,12	0,00050	-2,12026	-7,60090
7	0,12	0,00016	-2,12026	-8,74034
8	0,09	0,00012	-2,40795	-9,02802
9	0,07	0,00011	-2,65926	-9,11503
$n = 10$	0,05	0,00003	-2,99573	-10,41430
r_{xy}	$r_{xy} = 0,99780$		$r_{\ln x, \ln y} = 0,94210$	
Среднее значение		0,96700		

Таблица 3.15

**Сравнение *PP* составов литосферы Земли и звезды ξ Персея;
 x и y – процентные содержания веществ в литосфере Земли
и в звезде ξ Персея (из созвездия Персея)**

N = r	x, %	y, %	ln x	ln y
	Земля	ξ Персея	Земля	ξ Персея
1	46,100	82,85	3,83081	4,41703
2	28,200	16,97	3,33932	2,83145
3	8,230	0,089	2,10779	-2,41912
4	5,630	0,034	1,72811	-3,38139
5	4,150	0,017	1,42311	-4,07454
6	2,360	0,015	0,85866	-4,19971
7	2,330	0,0077	0,84587	-4,86653
8	0,565	0,0049	-0,57093	-5,31852
9	0,140	0,0025	-1,96611	-5,99146
$n = 10$	0,105	0,0005	-2,25379	-7,60090
	$r_{xy} = 0,92570$		$r_{\ln x, \ln y} = 0,89360$	
Среднее значение		0,90965		

**Сравнение *PP* объектов галактического (звездного) уровня
(III уровня)**

Таблица 3.16

**Сравнение *PP* составов фотосферы Солнца и звезды ξ Персея;
 x и y – процентные содержания веществ в фотосфере Солнца
и звезде ξ Персея (из созвездия Персея) соответственно**

N = r	x, %	y, %	ln x	ln y
	Солнце	ξ Персея	Солнце	ξ Персея
1	73,46	82,8500	4,29674	4,41703
2	24,85	16,9700	3,21286	2,83145
3	0,77	0,0890	-0,26136	-2,41912
4	0,29	0,0340	-1,23787	-3,38139
5	0,16	0,0170	-1,83258	-4,07454
6	0,12	0,0150	-2,12026	-4,19971
7	0,12	0,0077	-2,12026	-4,86653
8	0,09	0,0049	-2,40795	-5,31852
9	0,07	0,0025	-2,65926	-5,99146
$n = 10$	0,05	0,0005	-2,99573	-7,60090
	$r_{xy} = 0,9916$		$r_{\ln x, \ln y} = 0,9893$	
Среднее значение		0,90045		

**Сравнение РР планетарного и метагалактического уровней
(II и IV уровней)**

Таблица 3.17

Сравнение РР масс планет солнечной системы и масс ближайших галактик; x – процентное содержание масс планет относительно их общей массы; y – процентное содержание масс ближайших галактик относительно их общей массы

N = r	x, %	y, %	ln x	ln y
	Планеты	Галактики	Планеты	Галактики
1	71,1700	53,62	4,26507	3,981922
2	21,2600	18,23	3,05683	2,903069
3	3,8500	8,04	1,34807	2,084429
4	3,2700	6,97	1,18479	1,941615
5	0,2200	5,90	-1,51413	1,774952
6	0,1800	2,68	-1,71480	0,985817
7	0,0240	2,14	-3,72970	0,760806
8	0,0130	1,61	-4,34281	0,476234
$n = 9$	0,0004	0,80	-7,82405	-0,223140
	$r_{xy} = 0,99490$		$r_{\ln x, \ln y} = 0,95940$	
Среднее значение		0,97715		

**Сравнение РР земного и метагалактического уровней
(I и IV уровней)**

Таблица 3.18

**Сравнение РР содержания жизненно важных элементов в организме человека и распространенности элементов в космосе;
 x – долевое содержание жизненно важных элементов в организме человека относительно их общего количества;
 y – распространенность элементов в космосе в долях**

N = r	x	y	ln x	ln y
	Человек	Космос	Человек	Космос
1	0,61	8,62E-01	-0,4943	-0,14842
2	0,23	1,36E-01	-1,46968	-1,99358
3	0,1	7,68E-04	-2,30259	-7,17159
4	0,026	4,32E-04	-3,64966	-7,74732
5	0,014	3,43E-04	-4,2687	-7,97748
6	0,011	9,66E-05	-4,50986	-9,24543
7	0,002	2,73E-05	-6,21461	-10,5101

N = r	x	y	ln x	ln y
	Человек	Космос	Человек	Космос
8	0,002	2,17E-05	-6,21461	-10,7403
9	0,0014	1,93E-05	-6,57128	-10,8554
10	0,0012	6,54E-06	-6,72543	-11,9377
11	0,00027	3,20E-06	-8,21709	-12,6515
12	0,00026	1,72E-06	-8,25483	-13,2732
13	0,00006	1,53E-06	-9,72117	-13,3883
14	0,000037	1,43E-06	-10,2046	-13,4574
15	0,000033	8,62E-07	-10,319	-13,9639
16	4,6E-06	7,68E-07	-12,2895	-14,0791
17	4,6E-06	2,17E-07	-12,2895	-15,3455
18	2,9E-06	2,07E-07	-12,7508	-15,3915
19	1,7E-06	1,14E-07	-13,2849	-15,9902
20	0,000001	6,69E-08	-13,8155	-16,5198
21	9E-07	5,70E-08	-13,9209	-16,681
22	7E-07	4,85E-08	-14,1722	-16,8422
23	7E-07	9,67E-09	-14,1722	-18,454
24	3E-07	1,64E-08	-15,0195	-17,9244
25	2E-07	5,70E-09	-15,4249	-18,9836
26	2E-07	2,73E-09	-15,4249	-19,7204
27	2E-07	1,84E-09	-15,4249	-20,1118
28	1E-07	1,37E-09	-16,1181	-20,4112
29	1E-07	6,54E-10	-16,1181	-21,148
30	1E-07	6,10E-10	-16,1181	-21,2171
31	3E-08	5,44E-10	-17,3221	-21,3322
32	2E-08	4,32E-10	-17,7275	-21,5625
33	2E-08	3,85E-10	-17,7275	-21,6776
34	1E-09	2,73E-10	-20,7233	-22,023
	$r_{xy} = 0,9673$		$r_{\ln x, \ln y} = 0,9729$	
Среднее значение		0,97701		

Из табл. 3.9-3.18 видно, что средние коэффициенты корреляции Пирсона $\langle r_{xy} \rangle$ для всех пар выборок значений параметров объектов с разных космических уровней имеют очень высокие значения – более 0,9.

Таким образом, изложенные в главе факты и результаты исследований свидетельствуют в пользу высказанной ранее гипотезы о фрактальной самоорганизации материи на всех ее уровнях по ценологическому принципу.

Глава 4. РАНГОВЫЙ АНАЛИЗ В ОЦЕНКЕ РАЗНООБРАЗИЯ СИСТЕМ С ГИПЕРБОЛИЧЕСКИМ РАНГОВЫМ РАСПРЕДЕЛЕНИЕМ ОБЪЕКТОВ

4.1. Разнообразие

как важнейшая количественная характеристика статистических систем

Разнообразие – одна из основных характеристик состояния системы. *Разнообразный* – различный, неодинаковый по каким-нибудь признакам [126, с. 651]. *Разнообразие* определяет различия между группами объектов материального мира на основе выбранной меры. *Видовое разнообразие* – число видов, которое его образует и количественное соотношение особей этих видов. В его структуре имеются следующие компоненты [127-133]:

- *видовое богатство* (или *плотность видов*) – это общее число видов, обитающих в данной среде;
- *выравненность* характеризует относительное обилие – число особей данного вида на единицу площади или объема занимаемого пространства;
- *частота встречаемости* вида характеризует степень неравномерности распределения видов в ценозе. Она не связана прямой зависимостью с численностью вида. Вид может быть многочисленным, но с редкой встречаемостью;
- *степень доминирования* – показатель, отражающий относительную численность вида – отношение числа особей данного вида к общему числу всех особей ценоза. Характеризует значимость вида и положение его в структуре ценоза. Выделяют *руководящие* или «*доминантные*» виды; за ними следует группа «*субдоминантов*», остальные виды считаются *второстепенными*, среди которых отмечают *случайные* и *редкие*.

Количественно меру разнообразия определяют показатели (индексы). Например, видовое богатство Маргалефа предложил выражать как отношение числа видов к числу особей в них (индекс видового богатства Маргалефа d) [130, 131]:

$$d = (s - 1) / \ln N, \quad (4.1)$$

где s – число видов, N – число особей.

Если имеется лишь один вид: $s = 1$, показатель Маргалефа $d = 0$ – разнообразия нет.

Видовое богатство можно определять непосредственно количеством особей, представляющим вид, но придется оперировать числами с большими степенями. Поэтому исследователи вводят эмпирические показатели, которые в числовом отношении представлены небольшими цифрами, но позволяющими оценивать видовое богатство относительно друг друга. При этом с этой целью часто в формулу вводится параметр $\ln N$ или $\log N$, реже – $(N)^{1/2}$. Действительно, если число особей, представляющих вид, например, равно 10^{20} , то $\log N = 20$, $\ln N = 46$. Операции с маленькими числами облегчают обработку результатов исследований.

Помимо показателя Маргалефа в методологии науки в настоящее время наиболее распространены в использовании индексы разнообразия Симпсона, Бергер – Паркера, Макинтоша, Джонсона, Шеннона, индекс выравнивания Пиелу [127-133]. Каждый из них имеет особенности, недостатки и специфику применения для тех или иных сообществ. Проведенный сравнительный анализ вышеназванных индексов для оценки разнообразия космических систем-ценозов показал, что наиболее приемлемым для этой цели является индекс Шеннона [134-146].

4.2. Оценка разнообразия рангово-видовых систем и составов методом Шеннона

Индекс Шеннона был разработан в рамках теории информации и подходит для расчета разнообразия любых объектов [134-136]. Особенностью индекса является то, что он придает большее значение редким видам, чем другие индексы. Индекс Шеннона рассчитывается по формуле [134-137]:

$$H = -\sum_{i=1}^n (p_i \cdot \log_2 p_i), \quad (4.2)$$

где H – коэффициент Шеннона, n – количество видов в системе, p_i – доля элементов данного (i -го) вида в общем количестве видов и вероятность его обнаружения в ценозе.

Так как математическая вероятность задается дробным числом, логарифм такого числа будет иметь отрицательное значение. Чтобы значение индекса Шеннона не было отрицательным, формула Шеннона применяется с отрицательным знаком.

Информационная интерпретация индекса Шеннона состоит в том, что разнообразие трактуется как приходящееся на один элемент количество информации, заключенной в распределении по этим элементам.

Разнообразие – количественная характеристика системы; оно измеряется логарифмом по основанию 2 числа различимых ее состояний. Из вышесказанного следует, что этот коэффициент может быть рассчитан только для рангово-видовых распределений ценозов и составов космических тел. Очевидно, что индекс Шеннона равен нулю, когда существует только одно значение p_i . Это ситуация максимальной определенности. Рис. 4.1 иллюстрирует этот случай, когда имеется в наличии только один вид в системе (вид $x = 2$) из возможных 10 видов. Вероятность P обнаружить вид и особь данного вида равна единице (или 100 %), индекс $H = 0$, разнообразие отсутствует [142].

На рис. 4.2 рассмотрен случай распределения, когда все возможные ситуации обнаружения пяти видов объектов системы равновероятны и равны 20 %. При этом индекс Шеннона всегда максимален. Это ситуация при равновероятном составе системы из k видов. Здесь $P = 0,2$. Нетрудно проверить, что значение индекса Шеннона при этом равно $\log 5$, а в общем случае индекс Шеннона равен $\log k$, где k – число видов объектов системы.

Ниже приведена методика расчета коэффициента Шеннона H применительно к астрономическим ценозам на конкретном примере. Сравним видовое разнообразие космических тел в 3-х воображаемых галактиках с различным долевым отношением в них пяти видов звездных объектов (табл. 4.1). Обозначим W – количество особей данного вида (мощность популяции); W_0 – общее количество особей в ценозе; $P = W/W_0$ – математи-

ческая вероятность обнаружить особь данного вида в ценозе. Также это число обозначает доленое содержание особей данного вида в ценозе.

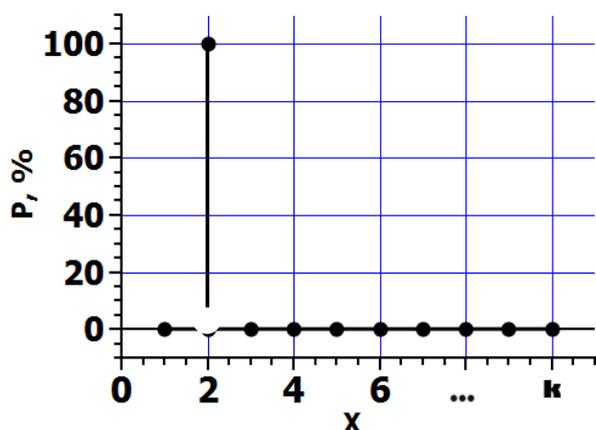


Рис. 4.1. Пример распределения с отсутствием разнообразия $H = 0$; x – номер вида [142]

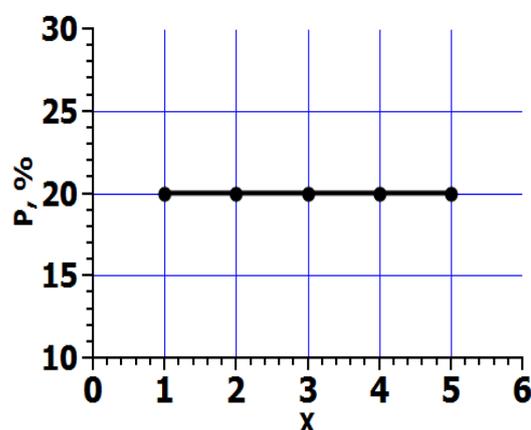


Рис. 4.2. Пример распределения с максимальным разнообразием; x – номер вида [142]

Таблица 4.1

Долевое отношение видов (классов) звездных объектов в трех разных галактиках и индекс Шеннона [142, с. 165]

№ п/п	Доля каждого класса звездных объектов в галактике (или вероятность обнаружения), $W/W_0 = p_i$					Индекс Шеннона, H
	Класс В голубые звезды	Класс G желтые звезды	Красные гиганты	Шаровые скопления	Черные дыры	
Галактика 1	0,60	0,20	0,15	0,04	0,01	1,269
Галактика 2	0,25	0,25	0,25	0,25	0	2,000
Галактика 3	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	2,322

Расчет по формуле (4.2) показывает:

$$H_1 = - (0,6 \log_2 0,6 + 0,2 \log_2 0,2 + 0,15 \log_2 0,15 + 0,04 \log_2 0,04 + 0,01 \log_2 0,01) = 1,269;$$

$$H_2 = - (0,25 \log_2 0,25 + 0,25 \log_2 0,25 + 0,25 \log_2 0,25 + 0,25 \log_2 0,25) = 2;$$

$$H_3 = - (0,2 \log_2 0,2 + 0,2 \log_2 0,2 + 0,2 \log_2 0,2 + 0,2 \log_2 0,2 + 0,2 \log_2 0,2) = 2,322.$$

Первая галактика с неравномерным распределением пяти видов звездных объектов менее разнообразна. В этой галактике чаще всего – с вероятностью 0,6 (или 60 %) будут попадаться голубые звезды класса В и гораздо реже – другие. Во второй галактике при количестве видов звездных объектов равном четырем система более разнообразна: будет восприниматься четыре вида звездных объектов с равной вероятностью 0,25 (25 %). Наконец, в третьей галактике с одинаковым количественным видовым составом все пять видов звездных объектов будут встречаться с одинаковой вероятностью – 0,2 (20 %). Эта галактика отличается большим разнообразием, чем первые две. Именно эта особенность оценивается индексом Шеннона, значение которого можно рассматривать как информационную оценку системы с точки зрения ее состава. Из таблицы видно, что неравномерное распределение особей по видам (галактика 1) характеризуется меньшим разнообразием и меньшим индексом Шеннона.

Ниже приведен еще один пример расчета индекса Шеннона для трех строго упорядоченных абстрактных систем с 10 видами [114, 142, 143]. Количественно распределение видовых составов (в процентах) равно:

$$(W/W_0) \cdot 100 \% = p_i. \quad (4.3)$$

Для этих систем РР видовых составов p_i (рис. 4.3) представляют:

- график 1 – прямая, параллельная оси ординат – в системе один вид № 10, вероятность обнаружения – 100 %. Разнообразия нет. $H = 0$. Вероятность обнаружить другие виды № 1-9 – 0;
- график 2 – прямая, параллельная оси абсцисс. Вероятность обнаружения каждого вида системы одинакова – 10 %, разнообразие максимально;
- график 3 – линейно убывающая зависимость;
- график 4 – идеальная гипербола.

Рассчитаем индексы Шеннона для этих систем и сравним их значения [143-144]. Вычисление индекса Шеннона проведем по этапам:

1. Найдем отношение W_i/W_0 , выражающее состав вида в долях от общего количества особей. Это также вероятность P_i обнаружения элемента i -го вида в системе.
2. Занесем полученные значения в табл. 4.2-4.4.
3. Рассчитаем индекс Шеннона по формуле (4.2).

Найдем индекс Шеннона для системы, в которой вероятности всех элементов равны.

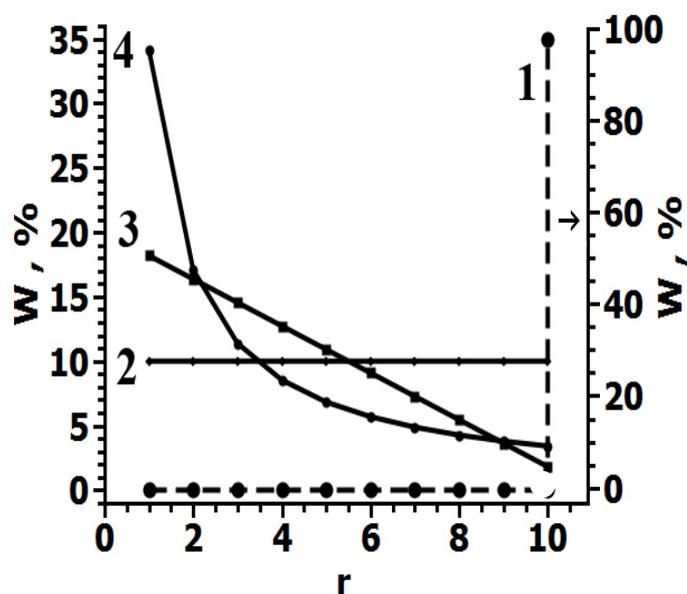


Рис. 4.3. Типы PP:
 1 – разнообразие отсутствует: в системе имеется только один вид (№ 10);
 2 – PP 10 видов в максимально разнообразной системе с вероятностью обнаружения особи каждого вида – 10 %;
 3 – линейно убывающее распределение видовых составов элементов;
 4 – гиперболическое PP видовых составов (меньшее разнообразие по сравнению с 2, 3, 4) [114, с. 10]

Таблица 4.2

Значения для равновероятностной системы (рис. 4.3, график 2)

r	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
P _i	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1

$$H_3 = - (0,1 \log_2 0,1 + 0,1 \log_2 0,1) = 3,322.$$

Таблица 4.3

Значения вероятностей P_i для линейно упорядоченной системы (рис. 4.3, график 3)

r	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
P _i	0,182	0,164	0,145	0,127	0,109	0,091	0,073	0,055	0,036	0,018

Найдем индекс Шеннона для этой системы.

$$H_2 = - (0,182 \log_2 0,182 + 0,164 \log_2 0,164 + 0,145 \log_2 0,145 + 0,127 \log_2 0,127 + 0,109 \log_2 0,109 + 0,091 \log_2 0,091 + 0,073 \log_2 0,073 + 0,055 \log_2 0,055 + 0,036 \log_2 0,036 + 0,018 \log_2 0,018) = 3,103.$$

**Значения вероятностей P_i для системы с гиперболическим РР
(рис. 4.3, график 4)**

r	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
P_i	0,341	0.171	0.114	0.085	0.068	0.057	0.049	0.043	0.038	0.034

$$H_1 = - (0,341 \log_2 0,341 + 0,171 \log_2 0,171 + 0,114 \log_2 0,114 + \\ + 0,085 \log_2 0,085 + 0,068 \log_2 0,068 + 0,057 \log_2 0,057 + 0,049 \log_2 0,049 + \\ + 0,043 \log_2 0,043 + 0,038 \log_2 0,038 + 0,034 \log_2 0,034) = 2,877.$$

Из сравнения трех индексов следует, что в первом случае система максимально разнообразна. Индексы Шеннона равны соответственно 3,322; 3,103; 2,877, т.е. чем круче ранговое убывание видовых составов в системе, тем меньше H .

Таким образом, индекс Шеннона может использоваться при оценке степени разброса значений номинального признака – разнообразия. Однако максимальное значение индекса Шеннона для максимально разнообразной системы зависит от числа его градаций k (в нашем случае – видов):

$$H_{\max} = \log_2 k. \quad (4.4)$$

Как было показано выше, для 5 видов $H_{\max} = 2,322$; для 10 видов в системе $H_{\max} = 3,322$. Следовательно, сам индекс Шеннона не может выступать в качестве меры разброса. Чтобы такое использование было правомерным, значение индекса Шеннона необходимо нормировать – поделить на величину максимального индекса Шеннона [114, 143, 146]:

$$\varepsilon = \frac{H}{H_{\max}} = \frac{H}{\log k}. \quad (4.5)$$

О такой нормировке также пишет Ю.Н. Толстова [141]. Она называет это отношение энтропийным коэффициентом, однако корректнее называть его относительным коэффициентом Шеннона.

Формула Шеннона (4.2) имеет одинаковую форму записи с формулой Больцмана для энтропии. Однако в последней речь идет о термодинамической вероятности состояний, а в формуле Шеннона – о математической вероятности, что не одно и то же. Поэтому употребление термина

«энтропийный» не совсем уместно. На таких же позициях стоит ряд авторов, например, А.М. Хазен [147].

Рассчитаем относительный коэффициент Шеннона ε для рассмотренных выше систем.

Для системы с гиперболическим распределением элементов (рис. 4.3, график 4):

$$\varepsilon = \frac{H}{H_{\max}} = \frac{2,877}{3,322} = 0,87. \quad (4.6)$$

Для линейно упорядоченного РР элементов системы (рис. 4.3, график 3) относительный коэффициент Шеннона равен:

$$\varepsilon = \frac{H}{H_{\max}} = \frac{3,103}{3,322} = 0,93. \quad (4.6 \text{ а})$$

Очевидно, что для системы с равновероятностным распределением видовых составов (рис. 4.3, график 2) $\varepsilon = 1$.

Зная значение относительного коэффициента Шеннона, можно сказать, насколько разнообразна система. Например, система с гиперболическим распределением элементов менее разнообразна, чем система с линейным распределением элементов.

Таким образом, разнообразие гиперболических РР можно и целесообразно оценивать относительно системы с максимальным разнообразием, т.е. за эталон сравнения условно можно принять максимально разнообразную систему. В принципе, за эталон можно принять и идеальную гиперболу с ранговым коэффициентом $\beta = 1$, как это делают при сравнении техноценозов.

Из рассмотренного выше примера следует, что индекс Шеннона связан с ранговым коэффициентом β в гиперболических РР. Эта связь установлена [142-146] и рассматривается ниже на примере реальных геофизических и астрономических рангово-видовых распределений.

**4.3. Связь индекса Шеннона с ранговым коэффициентом β
для рангово-видовых распределений и ранговых распределений
составов космических тел**

Как связан индекс Шеннона с ранговым коэффициентом β ? Были рассчитаны индексы Шеннона для РР, рассмотренных в главе 3, графики которых представлены на рис. 3.1-3.56. Результаты расчетов оформлялись в таблицы, пример одной из них приводится ниже (табл. 4.5), в которой представлены РР составов трех звезд и параметры их РР: ранговые коэффициенты β , индексы разнообразия Шеннона их составов. В таблицу включены результаты расчетов величины, обратной ранговому коэффициенту $1/\beta$, о важности которой будет изложено ниже.

Из всех РР (рис. 3.1-3.56) выбрано 24 рангово-видовых распределения и РР составов космических тел. Данные занесены в таблицу 4.6.

Таблица 4.5

**Долевое содержание веществ в составах звезд
 τ Скорпиона, ξ Персея, γ Пегаса и параметры их РР**

N	τ Скорпиона	ξ Персея	γ Пегаса
1	0,85	0,8285	0,869729
2	0,145	0,1697	0,12896
3	0,0011	0,00089	0,000465
4	0,00045	0,00034	0,00037
5	0,00031	0,00017	0,00033
6	0,0002	0,00015	0,00009
7	0,000075	0,000077	0,000076
8		0,000049	0,000055
9		0,000025	0,0000094
10		0,000005	0,000007
Коэффициент Шеннона	$H = 0,6262$	$H = 0,6783$	$H = 0,57269$
Ранговый коэффициент	$\beta = 4,90$	$\beta = 4,88$	$\beta = 5,34$
Величина, обратная ранговому коэффициенту	$1/\beta = 0,204$	$1/\beta = 0,205$	$1/\beta = 0,187$

Таблица 4.6

Рангово-видовые астрофизические и геофизические распределения и их параметры разнообразия N – число видов (градаций) в системе; ε – относительный индекс Шеннона: $\varepsilon = H/H_{\max}$

№	Название распределения	$N = k$	Индекс Шеннона, H	Ранговый коэффициент, β	$1/\beta$	$\varepsilon = H/H_{\max}$
1	РР состава атмосферы Титана	3	0,127	6,64	0,151	0,08
2	РР ресурсов воды на планете	7	0,2	8,6	0,116	0,07
3	РР состава атмосферы Венеры	8	0,213	6,75	0,148	0,07
4	РР состава атмосферы Марса	7	0,314	4,5	0,222	0,11
5	РР состава космического излучения	7	0,4	4,0	0,250	0,14
6	РР состава атмосферы Юпитера	7	0,517	5,9	0,169	0,18
7	РР химического состава железных метеоритов	10	0,545	4	0,250	0,16
8	РР состава γ Пегаса в относительных количествах атомов в звезде	14	0,573	5,34	0,187	0,15
9	РР состава τ Скорпиона в относительных количествах атомов в звезде	9	0,623	4,9	0,204	0,2
10	РР состава ξ Персея в относительных количествах атомов в звезде	10	0,675	4,88	0,205	0,2
11	РР состава океанической воды	8	0,74	3,1	0,323	0,24
12	РР состава гидросферы	7	0,75	3,1	0,323	0,26
13	РР состава атмосферы Нептуна	5	0,817	2,4	0,417	0,35
14	РР состава атмосферы Земли	15	0,9	2,3	0,438	0,23

№	Название распределения	$N = k$	Индекс Шеннона, H	Ранговый коэффициент, β	$1/\beta$	$\varepsilon = H/H_{\max}$
15	PP состава фотосферы Солнца	10	0,965	3,36	0,298	0,29
16	PP жизненно важных элементов в организме человека	12	1,2	1,8	0,556	0,34
17	PP химического состава железно-каменных метеоритов	5	1,549	1,5	0,667	0,67
18	PP состава атмосферы Солнца	22	1,56	1,5	0,667	0,35
19	PP состава литосферы	20	1,96	1,5	0,667	0,45
20	PP химического состава Мертвого моря	14	2,2	1,4	0,714	0,57
21	PP химического состава каменных метеоритов	16	2,334	1,24	0,806	0,58
22	PP лунного грунта	10	2,368	1,26	0,794	0,71
23	PP состава атмосферы Меркурия	10	2,809	0,996	1,004	0,85
24	PP содержания изотопов урана в руде	3	0,06	7,13	0,140	0,04
25	Распространенность элементов в космосе	34	0,30	7,1	0,141	0,06

На основании данных таблицы 4.6 построен эмпирический график зависимости $H(\beta)$ (рис. 4.4). Средняя линия – аппроксимационная, по обе стороны от нее – линии доверительного интервала, который составлял 0,95. PP (рис. 4.4, а) аппроксимируется уравнением (1.1) с высоким коэффициентом регрессии $R^2 = 0,95$, что подтверждается спрямлением этого графика в двойном логарифмическом масштабе $\ln H (\ln \beta)$ (рис. 4.4, б) с довольно высокой точностью приближения эмпирических точек к линейной зависимости: $R^2 = 0,87$.

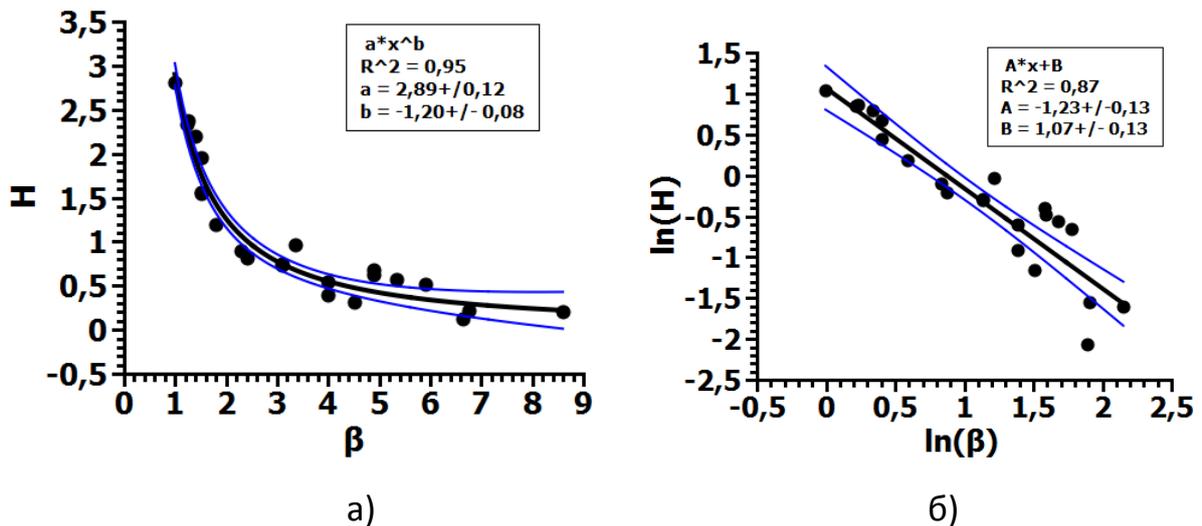


Рис. 4.4. Эмпирическая зависимость $H(\beta)$:

а) график $H(\beta)$; регрессия $R^2 = 0,95$; $H_0 = 2,89$; $\alpha = 1,2$; б) спрямление графика $H(\beta)$ в логарифмическом масштабе; регрессия $R^2 = 0,87$, $\alpha = 1,23$

Таким образом, из рис. 4.4 следует, что полученный эмпирический график $H(\beta)$ аппроксимируется гиперболической зависимостью:

$$H(\beta) = H_0/\beta^\alpha, \quad (4.7)$$

где $H_0 \approx 2,9$ – максимальное значение индекса Шеннона на графике.

$H(\beta) = H_0$ при $\beta = 1$; α – коэффициент, определяющий крутизну данной гиперболы, его среднее значение $\langle \alpha \rangle = 1,21$, близкое к единице. (Не путать H_0 с H_{\max} .)

Разнообразие гиперболических РР целесообразно оценивать относительно системы с максимальным разнообразием, т.е. нормированным относительным коэффициентом разнообразия $\varepsilon = H/H_{\max}$ (4.5); где H_{\max} – это индекс Шеннона системы с максимальным разнообразием – рассчитывается для каждого РР по формуле (4.4): $H_{\max} = \log_2 k$, где k – число видов в системе. Очевидно, что эта величина фигурирует в формуле Пирсона как N – число градаций в системе (объем выборки):

$$k = N. \quad (4.8)$$

Разумеется, связь ε с ранговым коэффициентом β будет также гиперболической, что подтверждается эмпирическими графиками (рис. 4.5).

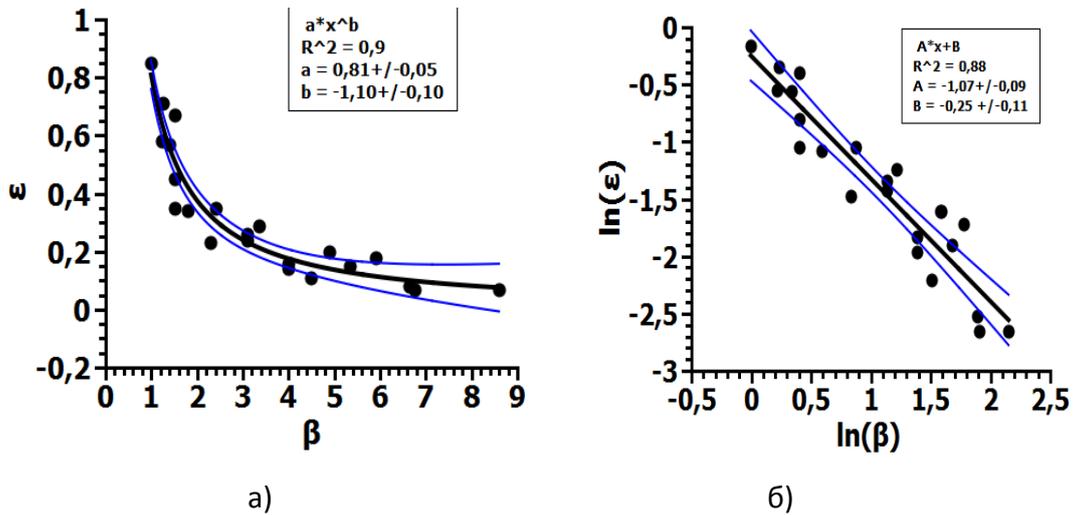


Рис. 4.5. Эмпирическая зависимость для астрофизических рангово-видовых систем-ценозов и РР составов $\varepsilon(\beta)$: а) график $\varepsilon(\beta)$; $R^2 = 0,9$; $\varepsilon_{\max} = 0,81$; $\alpha = 1,1$; б) спрямление графика в логарифмическом масштабе; $R^2 = 0,88$, $\alpha = 1,07$

При этом крутизна эмпирической гиперболы (рис. 4.5) также близка к единице $\langle \alpha \rangle = \alpha = 1,09 \approx 1$. Эмпирическая зависимость $\varepsilon(\beta)$:

$$\varepsilon = \varepsilon_{\max} / \beta^\alpha, \quad (4.9)$$

где $\varepsilon_{\max} = 0,81$ – максимальное значение относительного индекса Шеннона на графике $\varepsilon(\beta)$ при $\beta = 1$; $\langle \alpha \rangle = 1,09 \approx 1$.

Зная числовые значения H , ε , или β , можно сказать, насколько разнообразна система. При этом чем больше крутизна гиперболы, тем меньше индекс Шеннона и тем менее разнообразна система. Эмпирический закон (4.9) также теоретически вытекает из соотношений (4.5) и (4.7), что подтверждает его адекватность:

$$\begin{aligned} \varepsilon = H/H_{\max}; H = H_0/\beta^\alpha &\implies \\ \varepsilon = H_0/(\beta^\alpha H_{\max}) = H_0/H_{\max} \beta^\alpha = \text{Const}/\beta^\alpha, &\quad (4.9 \text{ а}) \end{aligned}$$

где $\text{Const} = H_0/H_{\max} = \varepsilon_{\max}$.

Некоторые точки графиков (рис. 4.4. и 4.5) накладываются друг на друга, поэтому число точек на графиках меньше, чем количество РР в табл. 4.6 (25 номинаций). Около половины точек выпадает из доверительного интервала, поэтому полученные эмпирические формулы (4.7) и (4.8) являются весьма приближенными.

Таким образом, относительный индекс Шеннона является адекватным показателем разнообразия для рангово-видовых систем и РР составов.

Однако, как показано выше, его расчет достаточно громоздок. Поэтому целесообразно применять величину $1/\beta$ как меру разнообразия рангово-видовых систем-ценозов и РР составов.

Введем буквенное обозначение показателя разнообразия – R_z , чтобы отличать его от обозначений радиуса R и квадрата коэффициента регрессии R^2 .

4.4. Величина, обратная ранговому коэффициенту, как мера разнообразия рангово-видовых систем-ценозов и ранговых распределений составов

Адекватный количественный показатель разнообразия R_z должен возрастать с увеличением разнообразия системы. Этому критерию удовлетворяет также величина, обратная ранговому коэффициенту – $1/\beta$. Учитывая, что $\langle \alpha \rangle \approx 1$, из (4.7) и (4.9) следует, что графики зависимостей $H(1/\beta)$ и $\varepsilon(1/\beta)$ будут линейными возрастающими. Построенные на основе табл. 4.6 эмпирические графики $H(1/\beta)$ (рис. 4.6) и $\varepsilon(1/\beta)$ (рис. 4.7) рангово-видовых астрофизических систем и РР составов (атмосфер планет, звезд, почв планет и т.п.) подтверждают это.

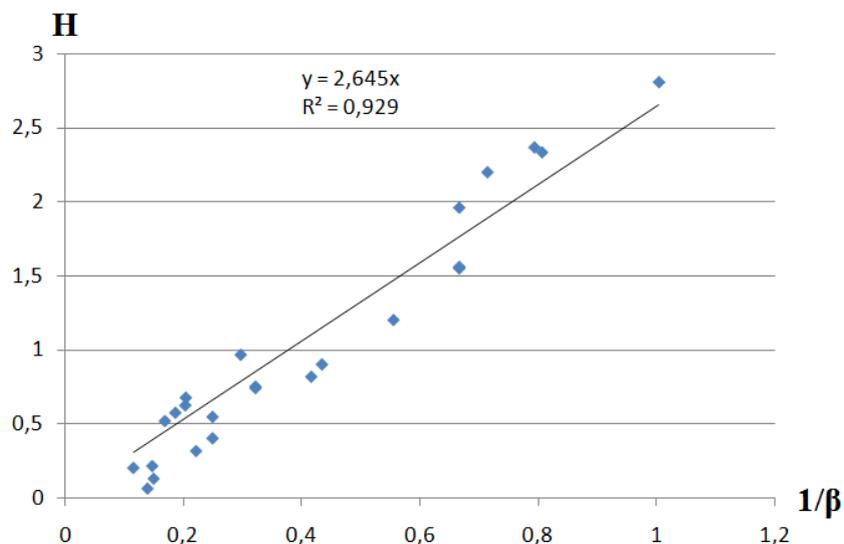


Рис. 4.6. Зависимость индекса Шеннона H от величины, обратной β , для рангово-видовых РР и составов: $R^2 = 0,929$; тангенс угла наклона прямой – 2,64

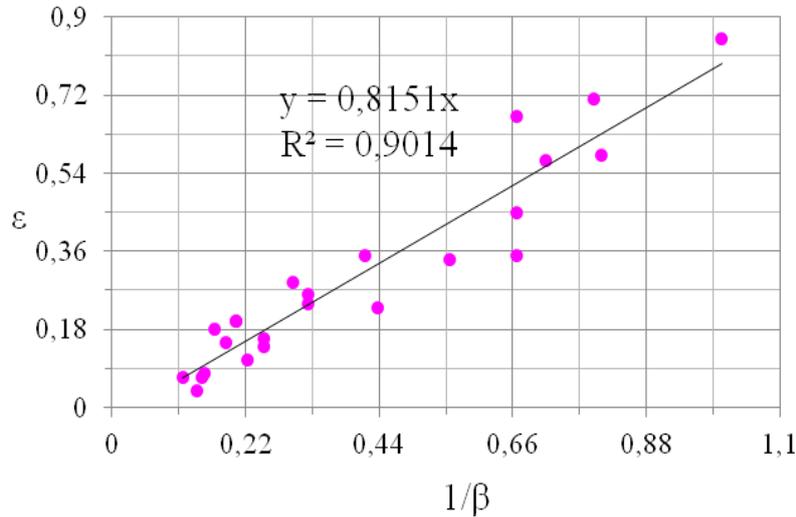


Рис. 4.7. Зависимость относительного индекса Шеннона ε от обратной величины рангового коэффициента ($1/\beta$) для рангово-видовых распределений и РР составов: $R^2 = 0,9$; тангенс угла наклона прямой – 0,81

Из вышеприведенного графика (рис. 4.6) следует, что коэффициент Шеннона H и обратная величина рангового коэффициента $1/\beta$ связаны линейным эмпирическим законом:

$$H = \text{const}(1/\beta), \quad (4.9 \text{ б})$$

где $\text{const} = H/\beta = \text{tg}\alpha = 2,65$ – тангенс угла наклона прямой к оси абсцисс.

Из графика $\varepsilon(1/\beta)$ (рис. 4.7) следует, что относительный коэффициент Шеннона ε и обратная величина рангового коэффициента также связаны прямо пропорциональной зависимостью (линейным эмпирическим законом):

$$\varepsilon = \text{const}^*(1/\beta), \quad (4.10)$$

где $\text{const}^* = \varepsilon/\beta = \text{tg}\alpha$ – тангенс угла наклона прямой графика к оси абсцисс. В нашем случае $\text{const}^* = 0,81$.

Следовательно, величина $1/\beta$ может являться полноценным показателем разнообразия, как H и ε . Коэффициенты регрессии обоих графиков (рис. 4.6 и 4.7) имеют высокое значение $R^2 \approx 0,9$, что свидетельствует об адекватности сделанных выводов. Однако формулы (4.9) и (4.10) надо считать весьма приближенными.

Таким образом, можно сделать следующие выводы.

- Относительный индекс Шеннона ε является более адекватным показателем разнообразия R_z , чем непосредственно индекс Шеннона H ,

так как является нормированным – не зависит от величины выборки, определяется по отношению к максимально разнообразной системе, поэтому прост для понимания (0,9 – большое разнообразие; 0,1 – разнообразие маленькое). Однако расчет ε требует включения в РА дополнительных математических действий после получения графических ГРР, что отягощает его нахождение.

- Показателем разнообразия R_z может служить величина, обратная ранговому коэффициенту β , то есть $1/\beta$. Для ее нахождения не надо производить громоздкий расчет индексов Шеннона H , H_{\max} и ε . То есть показателем разнообразия для рассмотренных выше систем предлагается величина:

$$R_z = 1/\beta. \quad (4.11)$$

Ее преимущество – простота нахождения.

Отметим, что сравнение коэффициентов Шеннона для разных уровней фрактальной самоорганизации материи позволило выявить их диапазоны разброса ΔH на каждом уровне.

Земной уровень: $H \in 0,75-2,214$; $\Delta H = 1,46$.

Планетарный: $H \in 0,3267-6,3027$; $\Delta H = 5,98$.

Галактический: $H \in 0,5727-8,3$; $\Delta H = 7,72$.

Метагалактический: $H \in 0,30-4,17$; $\Delta H = 3,87$.

Диапазоны разбросов ΔH на разных космических уровнях имеют разные значения, следовательно, закономерность не обнаруживается, однако это может означать и недостаток статистических данных.

Вышеизложенные результаты относятся к оценке разнообразия *рангово-видовых* распределений и РР составов космических тел. Определение разнообразия *параметрических* РР имеет некоторую специфику и рассматривается ниже.

4.5. Оценка разнообразия параметрических ранговых распределений

Объекты некоторых систем распределяются по рангу по конкретным параметрам (например, масса, скорость, температура и т.д.). Как рассчитать разнообразие параметрических ГРР? В формуле Шеннона (4.2) в этом случае p_i – вероятность обнаружения в системе объекта с данным параметром.

ром. Применяем процессы формализации и абстрагирования. «Видовая вероятность» превращается в этом случае в «параметрическую вероятность». «Параметрической вероятностью», в таком случае является отношение величины параметра объекта к сумме всех величин параметров. Например, «параметрической вероятностью» является удельная масса (масса, выраженная в долях от общей массы). Однако искать сумму всех параметров считается корректным в физике лишь для аддитивных параметров систем, которые подчиняются законам сохранения, т.е. таким, как масса, энергия, линейные размеры и т.д.

Конечно, сложение неаддитивных физических параметров, например, температуры не имеет физического смысла: температура всей системы не равна сумме температур отдельных ее компонентов. Однако, опираясь на методологические приемы *формализации, идеализации и абстрагирования*, правомерно использовать индекс Шеннона как показатель разнообразия и для таких параметрических распределений. Эти приемы идеализации приводят к созданию математической модели изучаемого процесса без его связей с другими предметами, в отвлечении от других его свойств и какого-либо отношения к другим предметам [148]. В процессе идеализации стороны явления несущественные в рассматриваемом отношении отбрасываются. Оставшиеся существенные стороны подвергаются процессу абстрагирования. Идеализация – как специфический вид абстрагирования – сводится к мысленному образованию абстрактных объектов в результате отвлечения от принципиальной невозможности осуществить их практически [148].

Идеализировав модель Шеннона для вычисления разнообразия любых систем, можно рассчитать таким же образом разнообразие для параметрических (аддитивных и неаддитивных) систем.

Однако, как было изложено выше, особенность параметрических РР заключается в том, что для них максимально разнообразная система – это линейно убывающее РР (рис. 4.10) и, следовательно, расчет индекса Шеннона H_{\max} и относительного индекса Шеннона ε производится относительно этой системы. Рассмотрим это на примере.

Для иллюстрации вышесказанного были смоделированы три строго упорядоченные системы из одинакового количества элементов – 10. Каждая система представляет параметрическое РР 10 объектов, например, по

массам. Причем максимальное значение параметра у всех систем одинаково – 10 кг. Ранговые распределения представляют собой: прямую, параллельную оси ординат (одинаковая масса у всех элементов) – разнообразие $Rz = 0$ (рис. 4.8); идеальную гиперболу с ранговым коэффициентом $\beta = 1$ (рис. 4.9) и линейно убывающее параметрическое РР – максимально разнообразная система Rz_{\max} (рис. 4.10).

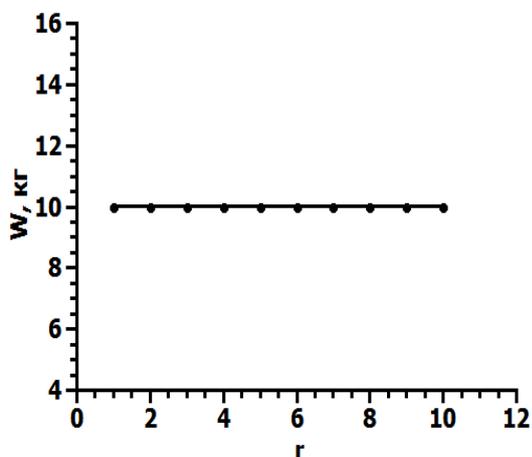


Рис. 4.8. РР параметров в минимально разнообразной системе из 10 объектов (все объекты одинаковой массы по 10 кг);
 $H = 0$; $Rz = 0$

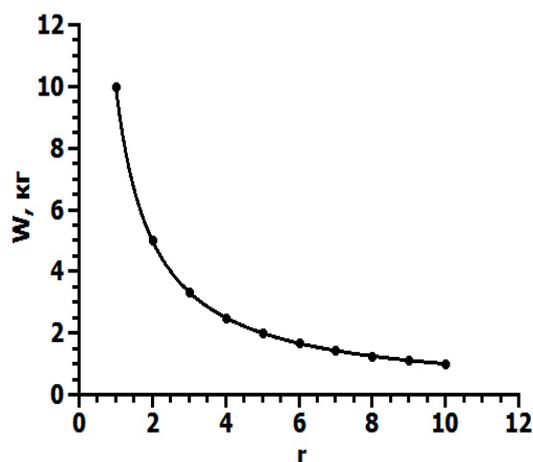


Рис. 4.9. РР масс 10 объектов системы по идеальной гиперболе с ранговым коэффициентом $\beta = 1$;
 $1/\beta = 1$ – «идеальное гиперболическое разнообразие»; $H = 0,866$; $\varepsilon = 0,28$;
 $Rz = 1/\beta = 1$

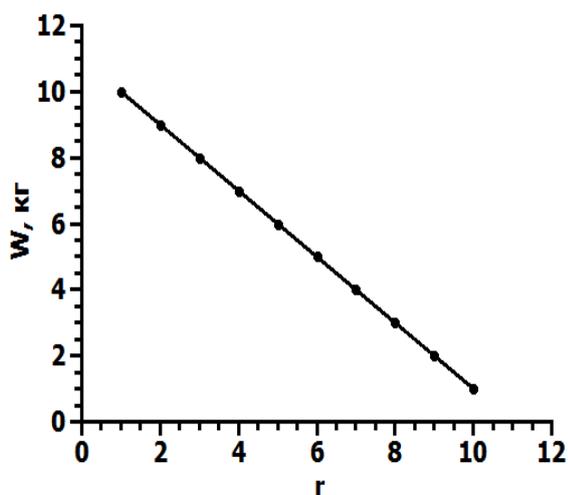


Рис. 4.10. Линейно убывающее параметрическое РР элементов системы по массе с максимальным разнообразием Rz_{\max} ; $H_{\max} = 3,10$; $\varepsilon = 1$

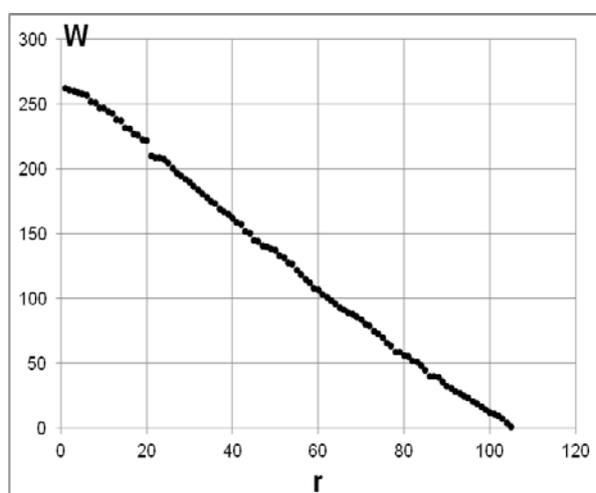


Рис. 4.11. Параметрическое РР элементов таблицы Менделеева по массам атомов – максимально разнообразная система

В качестве примера максимально разнообразной системы приведено РР элементов таблицы Менделеева по массам атомов (рис. 4.11).

К смоделированным системам была применена формула расчета индекса Шеннона (4.2). Для РР (рис. 4.8) вероятность встретить объект с параметром $W = 10$ кг равна единице:

$$p_i = 1, \text{ следовательно, } H = 0, \varepsilon = 0, R_z = 0.$$

Расчеты показали: для линейно убывающего РР – системы с максимальным разнообразием (рис. 4.10) индекс Шеннона равен $H_{\max} = 3,10$, то есть $\varepsilon = 1$; $R_z = 1$.

Для идеального гиперболического РР с $\beta = 1$ индекс Шеннона равен: $H = 0,866$. Относительный индекс Шеннона ε рассчитывался по отношению к максимально разнообразной системе (рис. 4.10), для которой $H_{\max} = 3,10$:

$$\varepsilon = H/H_{\max} = H/3,10 = 0,866/3,10 = 0,28, \quad (4.12)$$

$\varepsilon = 0,28$ показывает степень приближения данной системы с ГРР к максимально разнообразной системе с линейным РР. То есть степень приближения в процентном отношении – 28 %. С уменьшением рангового коэффициента β крутизна гиперболы уменьшается, индекс Шеннона H и разнообразие растут, и в пределе гипербола «вырождается» в прямую с линейным убыванием параметра. Степень приближения ГРР к максимально разнообразной линейной системе ε увеличивается и в пределе при их «слиянии» $\varepsilon = 1$. Наоборот, с увеличением рангового коэффициента β крутизна гиперболы увеличивается, соответственно увеличивается дистанция между ГРР и максимально разнообразной системой – индексы Шеннона H и ε уменьшаются, разнообразие системы уменьшается.

Аналогичным образом были рассчитаны величины разнообразия для реальных астрофизических систем с параметрическими РР объектов в них, представленных в табл. 4.7. Отметим, что для параметрических РР формула (4.4) для расчета $H_{\max} = \log_2 k$ не годится: она является частной, применимой лишь для рангово-видовых распределений и РР составов. Поэтому для каждого случая создавалась модель максимально разнообразной системы из реальных N объектов с линейным убыванием параметров в РР – эталон, относительно которого рассматривалось разнообразие соответ-

вующей системы. Для каждой такой системы рассчитывался индекс Шеннона H_{\max} по общей формуле Шеннона (4.2). Затем рассчитывался индекс Шеннона H для исследуемого РР и относительный индекс Шеннона $\varepsilon = H/H_{\max}$, показывающий, насколько система с ГРР параметров объектов приближается к идеальной системе с максимальным разнообразием – системе с линейным убыванием параметров.

Таблица 4.7

**Оценка параметрического разнообразия космических систем с ГРР методом Шеннона; N – число объектов в реальной системе или число градаций k рассматриваемого параметра, $N = k$.
 H_{\max} – индекс Шеннона идеальной модели системы с максимальным разнообразием N объектов**

№	Название рангового распределения	N	Индекс Шеннона, H	Ранговый показатель, β	Относительный индекс Шеннона, ε	$1/\beta$	H_{\max}
1	РР спутников Сатурна по массам	19	0,34	5,69	0,08	0,176	4,25
2	РР туманностей Андромеды по их массам	11	0,41	4,19	0,12	0,239	3,42
3	РР скоплений галактик по массам	8	0,43	4,10	0,14	0,244	3,07
4	РР периферии местной группы галактик по их массе	10	1,15	3,04	0,35	0,33	3,286
5	РР масс планет Солнечной системы	8	1,21	2,09	0,40	0,48	3,025
6	РР галактик по массам	29	1,57	1,53	0,44	0,65	3,568
7	РР шаровых скоплений по массам	12	1,64	1,40	0,46	0,71	3,565

№	Название рангового распределения	N	Индекс Шеннона, H	Ранговый показатель, β	Относительный индекс Шеннона, ε	$1/\beta$	H_{\max}
8	РР скоплений галактик в области сверхскопления Б. Медведица по массам	24	4,17	0,59	0,91	1,695	4,582
9	РР галактик по светимости	11	1,76	1,43	0,51	0,699	3,45
10	РР скоплений галактик в области сверхскопления Большая Медведица по светимости	14	3,16	0,79	0,83	1,266	3,81
11	РР температуры поверхности планет СС	8	2,64	0,77	0,88	1,3	1,136
12	РР температуры поверхности звезд	50	4,86	0,73	0,86	1,37	5,65
13	РР диаметров шаровых скоплений	13	3,53	0,51	0,95	1,96	3,72
14	РР диаметров кратеров Земли на территории России	17	2,26	1,28	0,54	0,78	4,19

Графики (рис. 4.12 и 4.13) показывают, что для параметрических РР индекс Шеннона H и относительный индекс Шеннона ε связаны с коэффициентом β обратной зависимостью, так же как и для рангово-видовых систем и РР составов с достаточно высоким коэффициентом регрессии $R^2 = 0,93$ и $0,95$ соответственно. Чем больше β , тем меньше разнообразие системы:

$$H(\beta) = H_0/\beta^\alpha. \quad (4.13)$$

Разница между (4.13) и (4.7) в численных значениях коэффициентов H_0 и α . При этом в обоих случаях $\alpha \approx 1$.

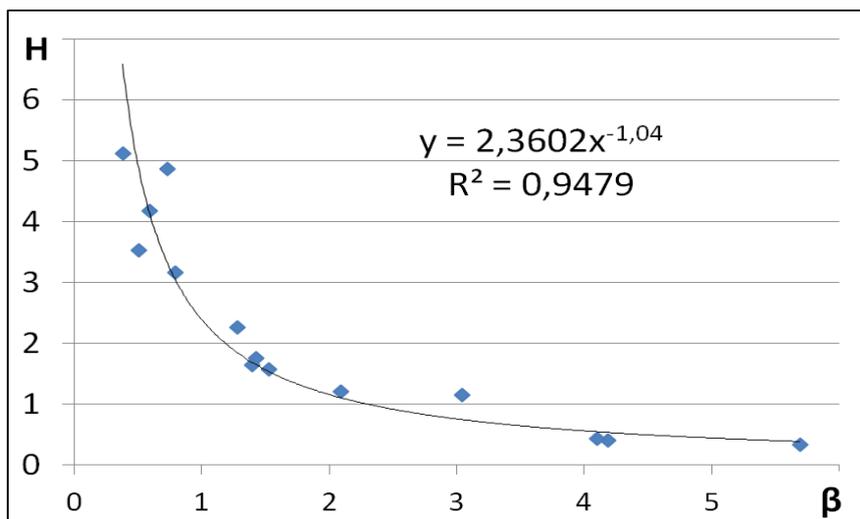


Рис. 4.12. Зависимость индекса Шеннона H от рангового показателя β для параметрических распределений; $\alpha = 1,04$; $R^2 = 0,95$

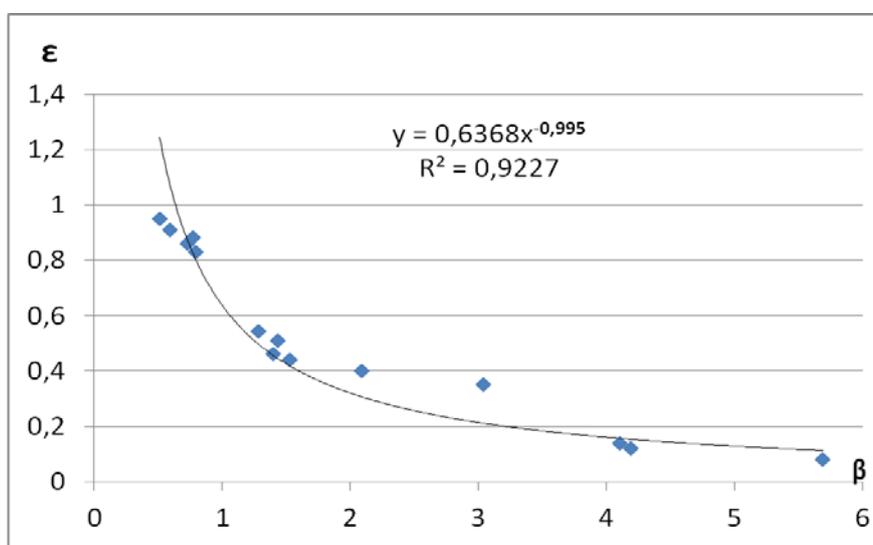


Рис. 4.13. Зависимость относительного индекса Шеннона ϵ от рангового показателя β для параметрических распределений; $\alpha = 1$; $R^2 = 0,93$

Однако вышеизложенная методика расчета ϵ громоздка и утомительна, поэтому для параметрических ГРР целесообразно в качестве показателя разнообразия вместо ϵ рассматривать величину, обратную ранговому коэффициенту – $1/\beta$. Тем более, что эти параметры связаны линейной прямо пропорционально возрастающей зависимостью (рис. 4.14 и 4.15 построены по табл. 4.7).

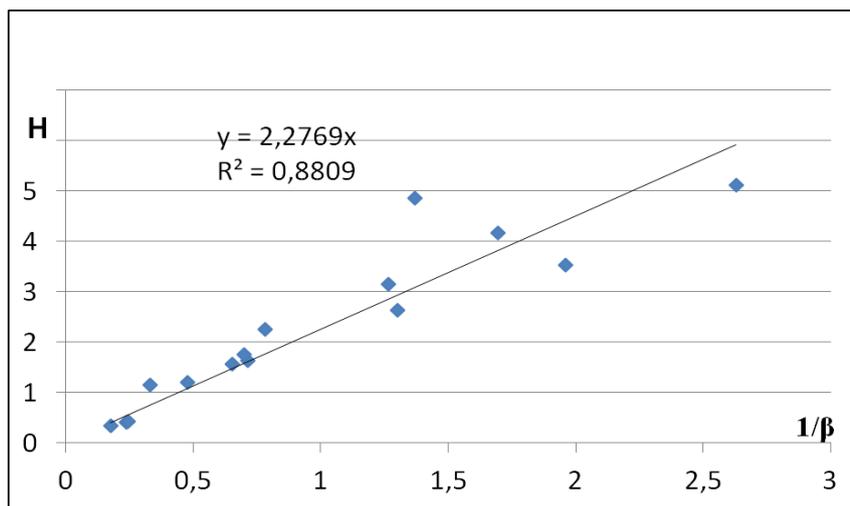


Рис. 4.14. Зависимость индекса Шеннона H от обратной величины рангового коэффициента $- 1/\beta$ для гиперболических параметрических РР;
 $\alpha = 2,28 \pm 0,10$; $R^2 = 0,88$

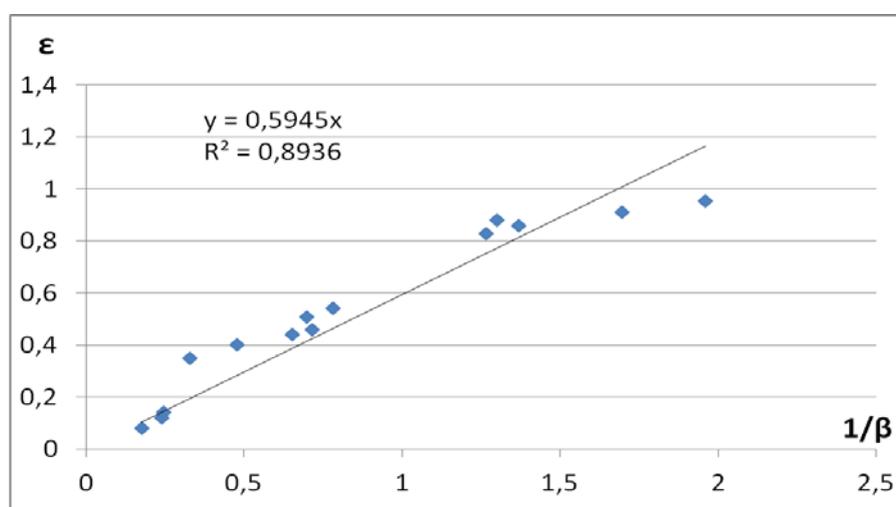


Рис. 4.15. Зависимость относительного индекса Шеннона ϵ от обратной величины рангового коэффициента $- 1/\beta$ для гиперболических параметрических РР;
 $\alpha = 0,595$; $R^2 = 0,89$

В этом случае мы совсем избавляемся от расчетов индексов Шеннона H и ϵ и его методики измерения разнообразия.

Таким образом, ранговый коэффициент β приобрел новый смысл: величина, обратная β , отражает степень разнообразия системы Rz :

$$Rz = 1/\beta. \quad (4.14)$$

В этом случае эталоном сравнения является идеальная гипербола с идеальной крутизной – ранговым показателем $\beta = 1$, для которой $1/\beta = 1$ и

$R_z = 1$. Идеальная гипербола иллюстрирует «идеальное гиперболическое разнообразие», для которого $R_z = 1$. Как отмечалось выше, такая система не является максимально разнообразной системой. Такой эталон сравнения годится *лишь для ценозов* – систем с гиперболическими РР объектов в них.

Тогда индекс разнообразия R_z показывает, насколько ГРР приближается к идеальной гиперболе с «идеальной» крутизной $\beta = 1$, отражающей «идеальное» гиперболическое разнообразие, которое соответствует закону Парето [39], что немаловажно, так как выше отмечалось, что закон ГРР (1.1) – это уточненный закон Парето.

4.6. Закон гиперболического рангового распределения как закон необходимого разнообразия. Закон Эшби – Седова

Существует еще одна важная причина, которая обуславливает введение показателя $1/\beta$ как индекса разнообразия для ценозов – это закон необходимого разнообразия Эшби.

У. Эшби (1959) сформулировал в кибернетической теории систем основной принцип управления, названный им законом необходимости разнообразия: разнообразие управляющей системы должно быть не меньше разнообразия управляемого объекта [149]. Это означает, что для управления большой (сложной) системой управляющая система должна иметь значительное собственное разнообразие.

В другой формулировке этот закон звучит следующим образом: при создании проблеморазрешающей системы необходимо, чтобы эта система имела большее разнообразие, чем разнообразие решаемой проблемы. Или: управляющая система должна быть способна изменить свое разнообразие в ответ на изменение разнообразия среды. В противном случае такая управляющая система не сможет решать задачи управления, будет малоэффективной и непригодной. Иначе говоря, система должна изменять свое состояние в ответ на возможное возмущение среды: разнообразие возмущений требует соответствующего ему разнообразия возможных состояний управления.

В настоящее время разнообразие признано одним из основополагающих характеристик системы и закону Эшби придается статус универ-

сального, так как он справедлив и для других систем – технических, естественно-научных, экономических, социальных.

Таким образом, закон Эшби принимает различные формулировки, но сущность его одна.

Однако этот закон в формулировке Эшби имеет качественный характер. Каким именно должно быть *необходимое* разнообразие? В чем состоит необходимость? Каков его характер? Каковы критерии необходимости и как измерить уровень необходимости? Каково должно быть необходимое разнообразие? Эшби не дает ответа. Эшби выделяет весьма расплывчатый критерий: разнообразия в системе должно быть столько, чтобы хватило обеспечить разнообразие среды, не меньше того.

В работах [53, 54, 142] показано, что для ценозов закон ГРР (1.1) является математическим выражением закона необходимого разнообразия Эшби, т.е. принцип Эшби и гиперболический закон РР (1.1) – две стороны одной медали. Значение понятия «*необходимое разнообразие*» приобретает конкретный смысл в ценологии – это *разнообразие параметров системы, которое в РР образует гиперболу*. График ГРР – это визуализированный в графическом исполнении закон необходимого разнообразия Эшби, а закон ГРР (1.1) – его математическая форма.

Всякое отклонение от гиперболы в ГРР и наличие искажений в гиперболе приводит систему-ценоз (техноценоз, бизнесценоз, биоценоз, социоценоз) к дисбалансу и затем к разрушению. А смысл оптимизации заключается в том, чтобы не допускать и предупреждать разбалансирование системы. Поэтому закон необходимого разнообразия по факту является «законом сохранения гиперболического разнообразия» и непосредственно связан с управлением оптимизацией систем-ценозов.

Отметим еще раз, что для космических ценозов процедура оптимизации не имеет смысла. Также отметим особенности реализации закона Эшби в социуме.

С позиций закона Эшби трудно объяснить необходимость многих социальных ограничений, таких как соблюдение дисциплины, нормы морали, права и обязанности и др. Излишнее разнообразие социальной среды всегда урезается «сверху» путем введения регламентирующих процедур.

Недостающее звено в законе Эшби было восполнено российским кибернетиком и философом Е. Седовым в виде теоретического положения,

которое сейчас трактуется как *закон Седова* или «*Закон иерархических компенсаций*» и также признается универсальным в теории систем [150-152]. Краткая формулировка закона Седова в трактовке его последователя А.П. Назаретяна такова: *в сложной иерархически организованной системе рост разнообразия на верхнем уровне обеспечивается ограничением разнообразия на предыдущих уровнях, и наоборот, рост разнообразия на нижнем уровне разрушает верхний уровень организации (то есть система как таковая гибнет)* [153]. Таким образом, в кибернетических терминах закон Седова выражает связь между потенциалом внешнего управления и устойчивостью системы. Этот закон развивает и уточняет известный кибернетический закон Эшби о необходимом разнообразии.

Закон Седова лишь фиксирует, что уровень организации системного центра с необходимостью должен быть **выше** по отношению к периферическим элементам. Одной из тенденций развития систем является тенденция прямого понижения уровня организации периферических элементов, приводящая к непосредственному ограничению их разнообразия: только при условии ограничения разнообразия нижележащего уровня можно формировать разнообразные функции и структуры, находящиеся на более высоких уровнях. Таким образом рост разнообразия на нижнем уровне [иерархии] разрушает верхний уровень организации. В структурном смысле закон означает, что «отсутствие ограничений... приводит к деструктуризации системы как целого, анархии, что приводит к общей диверсификации системы в контексте объемлющей ее среды» [150-153].

Введение «сверху» ограничений и унификаций всегда вызвано излишним разнообразием управляемой среды, создающей проблемы для управления ею. В целом же связь между ростом и ограничением разнообразия органична и закономерна. Когда разнообразие превышает «норму», оно становится неуправляемым: возникает хаос и в силу вступает закон Седова – разнообразие номенклатурным путем урезается «сверху» [150]. К примеру, ЕГЭ ряд лет назад выступило как необходимое средство секвестрации разнообразия форм приема в вузы, за которыми стало трудно осуществлять контроль (прием олимпиадников, победителей конкурсов, организация предварительных экзаменов и т.п.). Так происходит сейчас с номенклатурным введением школьной формы (которая была отменена также «сверху»). Оно вызвано излишним, чересчур широким диапазоном

неуправляемого разнообразия одежды учащихся в школах от хиджабов до одежды в стиле «порно».

Таким образом:

- Закон необходимого разнообразия Эшби принял конкретную интерпретацию – математическую оболочку в виде гиперболического закона РР (1.1). Значение понятия «необходимое разнообразие» приобретает конкретный смысл – *это разнообразие параметров системы, которое в РР образует гиперболу*, а величина рангового коэффициента β отражает разнообразие системы: чем круче гипербола, тем больше β , тем меньше разнообразие системы.

- Количественной мерой разнообразия целесообразно использовать показатель, обратный ранговому, – коэффициент $1/\beta$, который адекватно отражает динамику изменения разнообразия системы: с увеличением разнообразия $1/\beta$ увеличивается, и наоборот.

- Теория Эшби и Седова и теория РА, разработанная Б.И. Кудриным, взаимосвязаны: закон ГРР (1.1) и закон необходимого разнообразия и иерархических компенсаций – две стороны одной медали.

Глава 5. РАНГОВЫЙ АНАЛИЗ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ СЛУЧАЙНЫХ ВЕЛИЧИН

5.1. Распределение Гаусса и его параметры

Статистическое распределение Гаусса или *нормальное распределение* играет важнейшую роль во многих областях знаний. Физическая величина, подверженная влиянию значительного числа случайных помех, часто подчиняется нормальному распределению, поэтому из всех распределений в природе чаще всего встречается нормальное (отсюда и произошло его название). Распределение Гаусса используется физиками при расчете случайных погрешностей результатов измерений физических величин. Например, при многократных измерениях одной и той же величины получается набор значений случайных величин x_1, x_2, x_3 и т.д. Распределение Гаусса – это распределение вероятностей, которое задается функцией плотности распределения [154]:

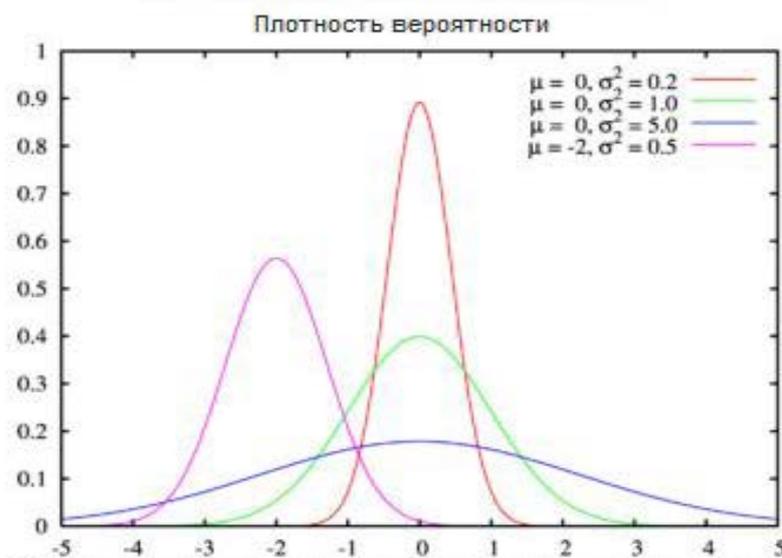
$$f(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} e^{-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}}, \quad (5.1)$$

где функция $f(x)$ плотность вероятности – функция, характеризующая вероятность обнаружения параметра x (при его многократном измерении) в определенном малом интервале значений x ; σ – среднее квадратичное отклонение случайной величины от среднего значения, величина σ^2 называется дисперсией. Параметр μ – среднее значение случайной величины, или *математическое ожидание* величины x , указывает координату максимума кривой плотности распределения (рис. 5.1, а).

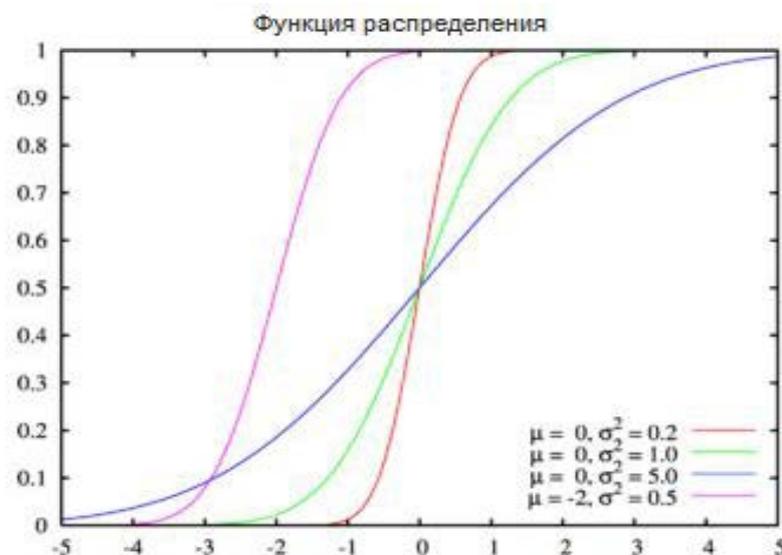
Вероятность обнаружения определяется как относительное число попаданий величины x в определенный интервал значений x , то есть равно отношению количества попаданий в этот интервал к общему количеству измерений.

Вероятность представляет собой интеграл плотности распределения, он называется функцией ошибок Лапласа (рис. 5.1, б) [154, с. 575]:

$$\Phi(X) = \int_{-\infty}^x f(x)dx = \text{erf} \left(\frac{(X - \langle x \rangle)}{\sqrt{2\sigma}} \right) \quad (5.2)$$



а)



б)

Рис. 5.1. Нормальное распределение плотности вероятности (а) и функции распределения (Лапласа) (б) [154, с. 575]

На рис. 5.1 изображены графики плотности вероятности и соответствующие им функции распределения Лапласа.

Значения интеграла (5.2) табулированы и представлены в соответствующих справочниках, но можно рассчитать его при помощи компьютера с помощью любого математического пакета (Maple, Mathematica, MathLab,) или табличного калькулятора (Excel).

Графики плотности вероятности нормального распределения для трех различных значений среднеквадратического отклонения приведены на рис. 5.2. Наглядно показана зависимость формы нормального распределения от среднеквадратического отклонения σ .

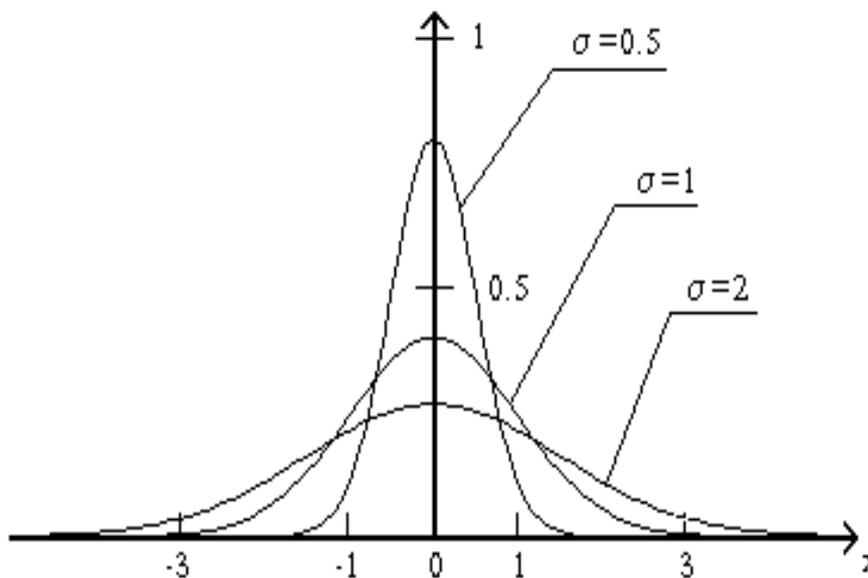


Рис. 5.2. Плотность вероятности нормального распределения; зависимость формы гауссовой кривой от σ

Для представленных на рис. 5.2 случаев математическое ожидание равно нулю. Математическое ожидание для нормального распределения представляет собой наиболее ожидаемый исход опыта.

Параметры гауссова распределения. Среднее. Предположим, что надо измерить некоторую величину x . Влияние всех источников систематической ошибки уменьшено до пренебрежимо малого уровня. Поскольку все оставшиеся источники ошибок случайны, мы будем в состоянии обнаружить их, многократно повторяя измерения. Например, измерения длины выполнены пять раз и получены результаты:

$$71, 72, 72, 73, 71 \text{ (см)}. \quad (5.3)$$

Тогда что мы должны принять за наилучшую оценку $x_{\text{наил}}$ величины x ? Очевидно, что наилучшей оценкой является *среднее значение* пяти найденных значений:

$$x_{\text{наил}} = (71+72+72+73+71) : 5 = 71,8 \text{ (см)}. \quad (5.4)$$

В более общем случае, если производятся n измерений величины x (используя одну и ту же аппаратуру и метод измерения), и получено n значений:

$$x_1, x_2, \dots, x_N. \quad (5.5)$$

И на этот раз наилучшей оценкой величины x будет *среднее значение* x_1, x_2, \dots, x_N , т.е.

$$x_{\text{наил}} = \langle x \rangle, \bar{x}. \quad (5.6)$$

Понятие среднего значения, или среднего, всем хорошо знакомо.

Следующее важное понятие – это *дисперсия* случайной величины – мера разброса данной случайной величины, то есть ее отклонения от среднего значения. Формула для расчета дисперсии:

$$D = \frac{\sum_{i=1}^n (x - \bar{x})^2}{n} \text{ (см}^2\text{)}, \quad (5.7)$$

где D – дисперсия, x – анализируемая величина, \bar{x} – среднее значение величины x , n – количество значений в анализируемой совокупности данных.

Дисперсия для нормального закона распределения определяется как σ^2 . *Дисперсия* – это средний квадрат отклонений. То есть вначале рассчитывается среднее значение, затем берется разница между каждым исходным и средним значением, возводится в квадрат, складывается и затем делится на количество значений в данной совокупности. Разница между отдельным значением и средним отражает меру отклонения. В квадрат возводится для того, чтобы все отклонения стали исключительно положительными числами и чтобы избежать взаимоуничтожения положительных и отрицательных отклонений при их суммировании. Затем, имея квадраты отклонений, мы просто рассчитываем среднюю арифметическую.

Чтобы использовать результат расчета дисперсии для более приземленных целей, из нее извлекают квадратный корень. Получается так назы-

ваемое **стандартное отклонение**, которое также характеризует меру рассеяния данных, но в отличие от дисперсии его можно сравнивать с исходными данными, так как единицы измерения у них одинаковые. Формула стандартного отклонения:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x - \bar{x})^2}{n}} \quad (\text{см}). \quad (5.8)$$

Этот показатель еще называют **среднеквадратическим отклонением**, или **сигмой** – от греческой буквы, которой его обозначают. Этот показатель имеет недостатки – в нем заложено много промежуточных расчетов (отклонение, в квадрат, сумма, среднее, корень). Но свойства данного показателя хорошо изучены, и он широко применяется. Например, для технических приложений большое значение имеет величина 3σ .

Правило трех сигм. Для технических приложений большое значение имеет величина 3σ . В пределах $[a-3\sigma, a+3\sigma]$ сосредоточивается 99,73 % исходов случайных экспериментов для случайной величины, распределенной по нормальному закону.

В интервал $a \pm \sigma$ попадает 68,27 % результатов.

В интервал $a \pm 2\sigma$ попадает 95,45 % результатов.

В интервал $a \pm 3\sigma$ попадает 99,73 % результатов (рис. 5.3).

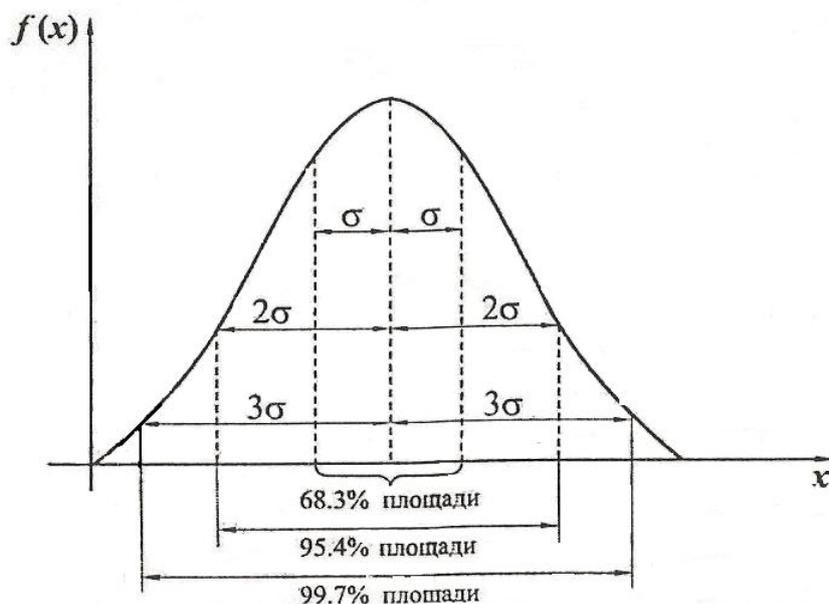


Рис. 5.3. Правило трех сигм

Другими словами, отклонение от среднего значения более, чем на 3σ , произойдет только в 3-х случаях из 1000, а при проведении серии из ста опытов за пределами этого интервала может оказаться не более одного результата. Это соотношение принято называть *правилом трех сигм*. Таким образом, говорят, что доверительный интервал $[a-3\sigma, a+3\sigma]$ соответствует доверительной вероятности 99,73 %.

Практические применения правила трех сигм:

1. Для оценки нормальности распределения выборочных данных: вычисляют σ и смотрят, если результаты измерений выходят за пределы $\bar{x} \pm 3\sigma$, то распределение приближенно считают нормальным.

2. Для выявления ошибочно полученных результатов: если результат измерения более, чем на 3σ , отличается от среднего значения, то такой «выброс» считают ошибочно полученным.

3. Оценка величины σ . Если размах варьирования ($x_{\text{наиб}} - x_{\text{наим}}$) разделить на 6, то мы получим грубо приближенное значение σ .

Сигма как мера неопределенности участвует во многих статистических расчетах. С ее помощью устанавливают степень точности различных оценок и прогнозов.

Медиана. Это мера, которая делит упорядоченное распределение случайной величины пополам так, что одна половина оказывается меньше медианы, а другая – больше. Числа располагают в ряд в порядке убывания (или возрастания) и определяют *медианное значение*, которое находится в середине ряда. Определение медианы зависит от того, какое количество значений случайная величина принимает в распределении. Если количество значений оказывается нечетным, то медиана является значением, стоящим точно посередине упорядоченного ряда чисел.

Если ряд содержит четное количество значений, то медианное значение вычисляется как среднее арифметическое двух значений, находящихся в середине ряда.

Мода. Модой называется такое значение случайной величины, которое встречается наиболее часто. Мода является, возможно, самой простой из мер центральной тенденции. Для ее вычисления необходимо просто подсчитать, сколько раз встречается каждое значение случайной величины, и наиболее частое и будет являться модой. Соотношение вышеназванных параметров иллюстрирует рис. 5.4. Как видно из рис. 5.4, все три парамет-

ра – среднее, медиана и мода – совпадают лишь для нормальных строго симметричных распределений.

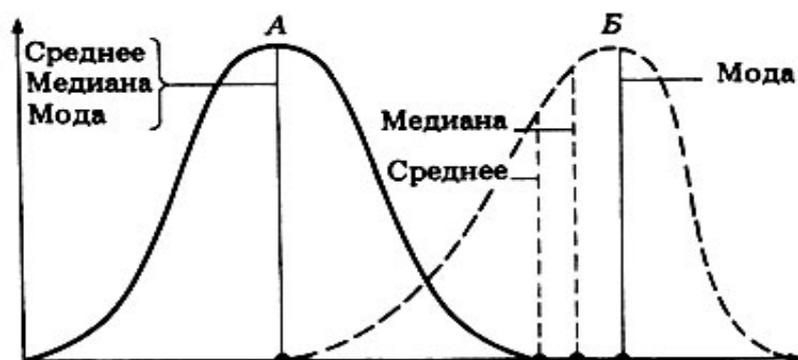


Рис. 5.4. К понятию среднего, медианы, моды и их соотношения:
А – нормальное распределение; Б – асимметричное распределение

При отклонениях от нормального распределения эти три величины расходятся тем больше, чем больше отклонение от «гауссовости».

Центральная предельная теорема. Нормальный закон распределения занимает особое положение в силу того, что большинство реальных случайных величин имеет распределение, близкое к нормальному. Последнее обстоятельство связано с тем, что на практике случайные величины обычно являются результатом совокупного действия многих независимых случайных факторов, и при некоторых условиях по мере увеличения числа этих факторов закон распределения асимптотически приближается к нормальному. Условия эти определяются центральной предельной теоремой теории вероятности, которая в упрощенном виде может быть сформулирована следующим образом: «Сумма большого числа независимых, одинаково распределенных случайных процессов $\xi_1(t), \xi_2(t), \dots, \xi_N(t)$, имеющих конечные средние и дисперсии, является нормальным процессом». Доказательство этой теоремы основано на исследовании характеристической функции суммы этих процессов [154, с. 566].

Материал параграфа с графиками изложен в соответствии с содержанием [154] и учебников по теории вероятности для студентов вузов¹.

¹ Колмогоров А.Н. Введение в теорию вероятностей / А.Н. Колмогоров, И.Г. Журбенко, А.В. Прохоров. М.: Наука, 1982. 160 с.; Б-ка «Квант». Вып. 23; Тарасов Л.В. Неслучайная случайность. Экспериментальный учебник развивающего типа по интегративному предмету «Закономерности окружающего мира». М.: Авангард, 1994. 162 с. и др.

5.2. Асимметричные негауссовы распределения

Вероятностное распределение называют гауссовым, если для него выполняется центральная предельная теорема, если зависимость его среднего и дисперсии от объема выборки незначительна в рамках данной конкретной задачи.

Но мы живем в мире, где «средней температурой по больнице» нельзя руководствоваться. Если залить в бак машины рассчитанное по среднему количество горючего и попасть на разбитую дорогу – «от Гаусса» ничего не останется. Также ничего не останется и от цифры, определяющей средний расход семьи в месяц на жизнь, – стоит только заболеть одному из членов семьи. Среднее не характеризует большинство процессов, явлений, фактов. Рис. 5.5 иллюстрирует реальное распределение населения по величине среднедушевых денежных доходов, которое не является гауссовым (http://images.myshared.ru/5/466817/slide_21.jpg).

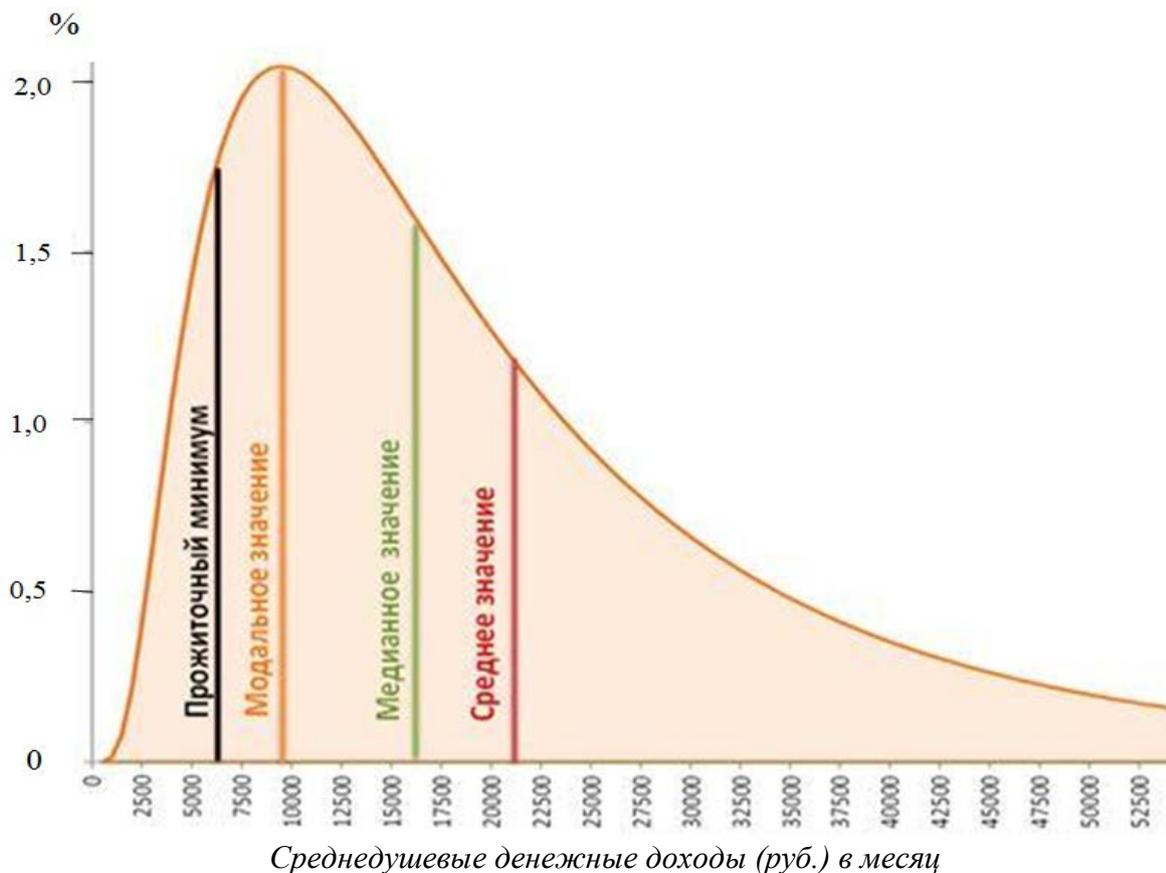


Рис. 5.5. Распределение населения по величине среднедушевых денежных доходов

По оси ординат отложена относительная плотность распределения от общей численности населения, %; по горизонтали – среднедушевые денежные доходы в месяц, при этом: среднее значение – около 21 тыс., медианное – около 16 тыс., модальное – около 10 тыс., прожиточный минимум – около 6 тыс. рублей.

Очевидно, что средняя зарплата населения страны (как показатель уровня жизни) может рассчитываться лишь для гауссовых распределений доходов. Только тогда этот показатель будет адекватным. В ряде стран за показатель уровня доходов взят медианный показатель. Ни среднее значение, ни медианное значение «длиннохвостого» асимметричного распределения не отражают реальный уровень жизни населения. Наиболее реально отражает уровень доходов населения *мода*. Таким образом, антинаучно, непрофессионально и антигуманно производить расчет средней заработной платы граждан России и выдавать ее за показатель уровня жизни населения.

Научно обоснованно: расчет средней величины (математическое ожидание) в любой выборке правомерно производить лишь для гауссовых (нормальных) распределений [154]. К таковым, например, относится распределение населения по весу, по росту и т.д., но не по доходам.

Ранговое распределение доходов граждан на всех уровнях (предприятие, город, регион, страна) соответствует закону ГРР (1.1), и это давно известно в научных кругах [155]. Теоретически среднее можно вычислить для любого ряда значений. Но распределение стран по ВВП, доходов населения любых стран относится к негауссовым распределениям, для которых в понятийном научном аппарате отсутствует понятие «средняя величина», так как оно не имеет смысла.

Для подтверждения вышесказанного на рис. 5.6 показан график ГРР доходов (средней зарплаты) граждан по регионам РФ в 2016 г. График построен по данным таблицы «Зарплата по регионам России» (www.oposuu.com/zarplaty-po-regoinam-rf.htm)

Следовательно, основная часть доходов (показатель – средняя зарплата) 80-90 % падает на небольшую часть населения – 10-20 %.

«Средняя зарплата» – это неадекватный, антинаучный показатель, завышенный для 80 % населения и заниженный для 20-процентной прослойки с высоким уровнем доходов.

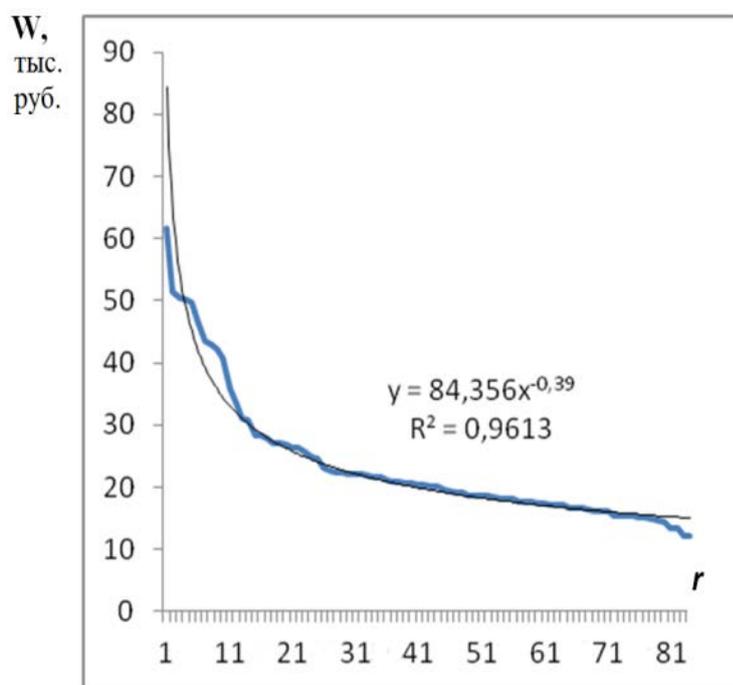


Рис. 5.6. ГРР доходов граждан РФ по субъектам РФ, всего субъектов – 84;
W – средняя зарплата;
r – ранговый номер региона;

r = 1 – Ямало-Ненецкий автономный округ,
W = 61,6 тыс. руб.;
r = 3 – г. Москва,
W = 50,4 тыс. руб.,
r = 64 – Ульяновская область,
W = 17,3 тыс. руб.,
r = 84 – Новосибирская область, W = 12,1 тыс. руб.;
 $\beta = 0,39$; $R^2 = 0,96$

При этом, чем больше показатель степени β , тем круче гипербола, тем длиннее «саранчевый хвост» распределения, тем более РР отличается от распределения Гаусса, тем больше разрыв между элитной прослойкой с высокими доходами и саранчевым бедным большинством, и тем хуже отражает показатель «средняя зарплата» истинный уровень доходов населения. Наличие табулированного ряда значений любых параметров (зарплата, баллы) не дает оснований для расчета средней величины – необходимо сначала убедиться, что рассматриваемая выборка принадлежит к гауссову распределению.

Как же учитывать доходы граждан и проводить их мониторинг? Согласно ценологической теории есть только один путь – разделить ГРР доходов на две подсистемы не по медиане, а по закону 20/80 – на кластер богатых (r = 1-20 % – финансовая элита) и кластер бедных (r = 20-100 %) и считать отдельно для каждого кластера средний доход в соответствии с законом Парето – Кудрина 20/80 (то есть вводить 2 адекватных показателя для двух подсистем). Отметим, что и в этом случае в каждой подсистеме распределение не будет гауссовым, а будет гиперболическим. Но такой подход более адекватно отразит реальное состояние уровня жизни населения.

5.3. Ранговое распределение выборки случайных величин распределения Гаусса

Представляло несомненный интерес узнать, *какую форму будет иметь график РР набора чисел случайных величин гауссова распределения.* Если «длиннохвостные» вероятностные распределения в ранговой интерпретации соответствуют гиперболическим ранговым распределениям (РР), то какой вид имеет график РР случайных величин гауссова распределения, построенного в порядке убывания случайной величины W ?

Для решения этой задачи был составлен алгоритм генерации псевдослучайных чисел (выборка 10 000) в рамках программы Matlab с использованием метода обратных функций, что позволяет осуществить имитационное компьютерное моделирование случайных чисел с заданным гауссовым распределением. Были построены 9 графиков нормальных распределений с сигмами 5, 10, 15, 20, 25, 30, 50, 75, 100. Далее значения всех случайных величин были проранжированы в порядке убывания параметра W и было построено 9 соответствующих им графиков РР $W(r)$. На рис. 5.7 (а) представлен пример из 4 идеальных гауссовых частотных распределений $f_i = f(W)$ и РР этих же величин $W(r)$ (рис. 5.7, б).

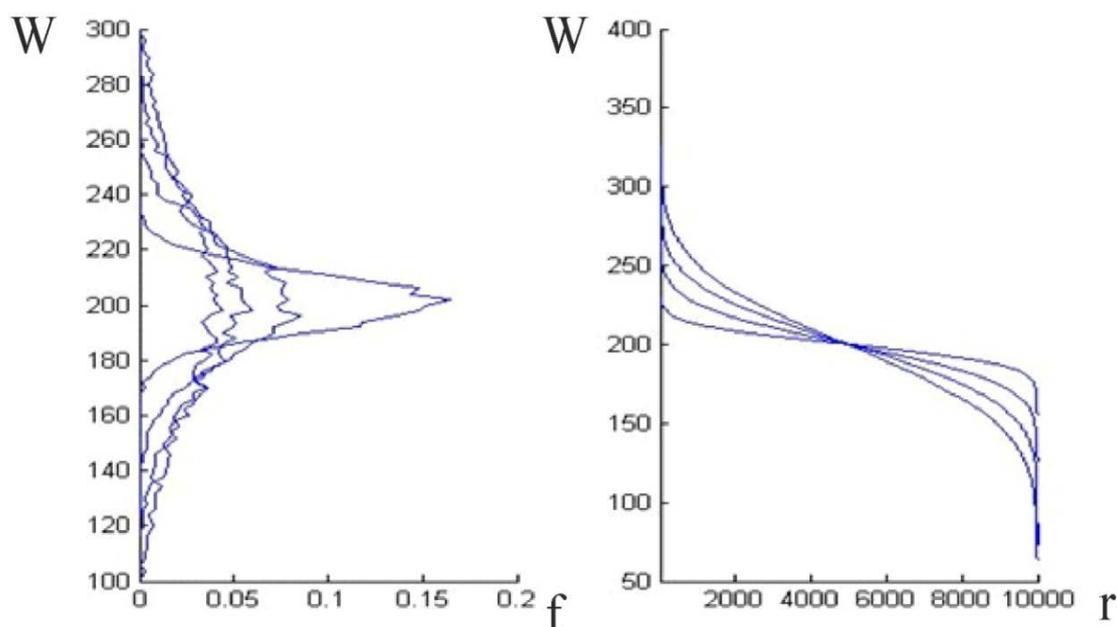


Рис. 5.7. Гауссовы распределения: а) $f_i = f(W)$ 10000 случайных величин со стандартными отклонениями $\sigma = 10, 20, 30, 50$ и математическим ожиданием 200; б) соответствующее им РР этих же величин $W(r)$ [156, с. 48]

График гауссова распределения $f(W)$ (рис 5.7, а) для наглядности повернут на 90° в плоскости рисунка по отношению к графику рис. 5.7 (б). Отдельные 3 графика $f(W)$ с дисперсиями 10, 30 и 50 и соответствующие им РР этих же величин $W(r)$ приведены на рис. 5.8.

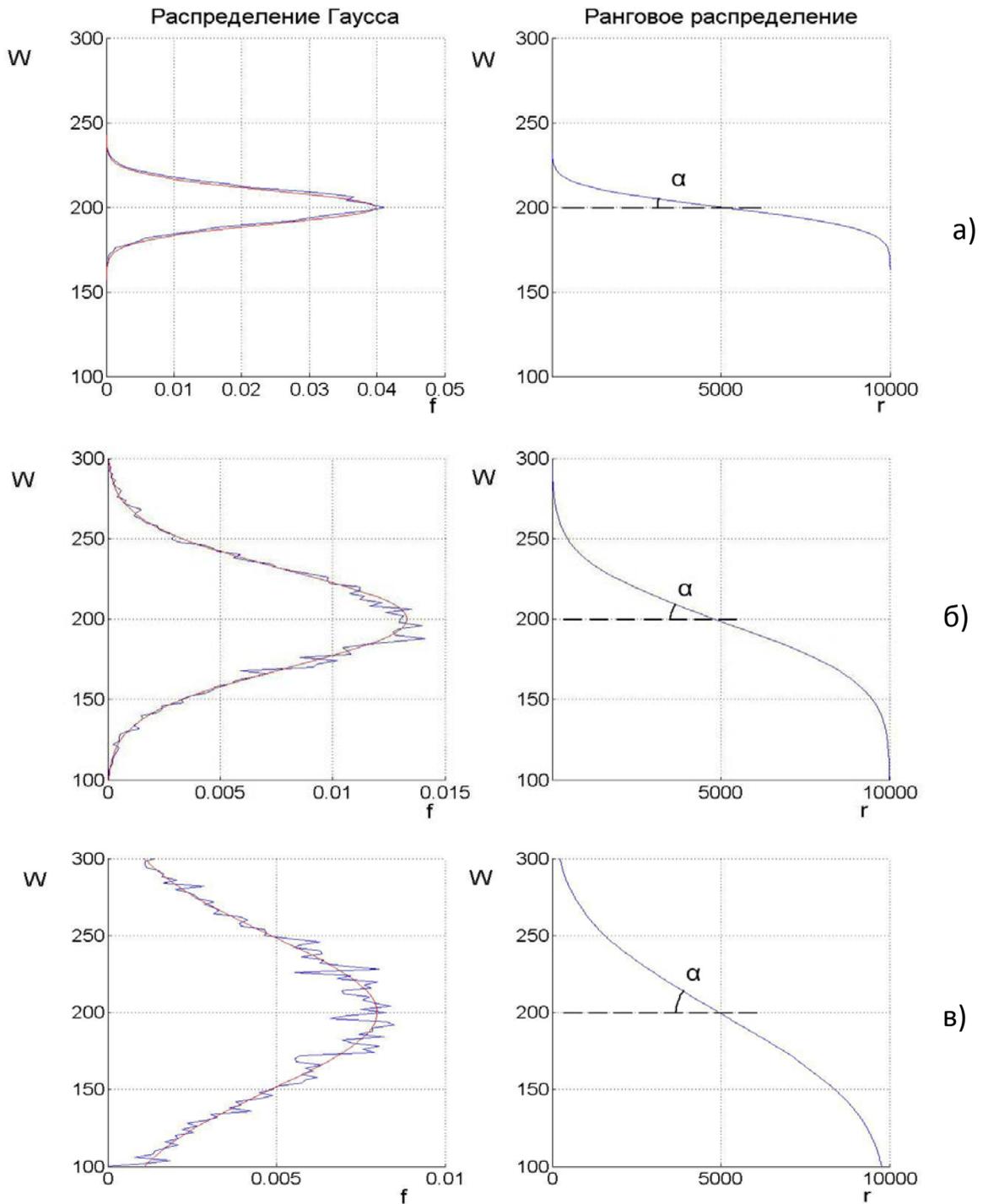


Рис. 5.8. Гауссовы частотные распределения f_i с разными сигмами (а – 10, б – 30, в – 50) и соответствующие им РР этих же величин $W(r)$ [157, с. 63], где r – ранговый номер случайной величины

Среднее значение случайной величины $W = 200$ (математическое ожидание) соответствует точке перегиба на S-образной кривой.

Следовательно, S-образный вид эмпирического PP $W(r)$ свидетельствует о принадлежности совокупности параметров W к гауссову распределению, при этом с уменьшением дисперсии гауссова распределения крутизна S-образной характеристики PP увеличивается, угол α между касательной к S-кривой в точке перегиба и горизонтальной осью уменьшается. При этом диапазон значений величин W также увеличивается. Дальнейшее исследование свелось к нахождению ответа на вопрос: какова эмпирическая зависимость тангенса угла наклона касательной к S-образной кривой в точке перегиба и горизонтальной осью от стандартного отклонения соответствующих гауссовых распределений $\text{tg}\alpha(\sigma)$?

Результаты построения такого графика для 9 значений представлены на рис. 5.9 в соответствии с табл. 5.1 эмпирических данных.

Таблица. 5.1

Эмпирические данные к графику (рис. 5.9)

σ	5	10	15	20	25	30	50	75	100
$\text{tg}\alpha(\sigma)$	1,4	2,8	3,6	4,8	6,4	8	12,8	18	24

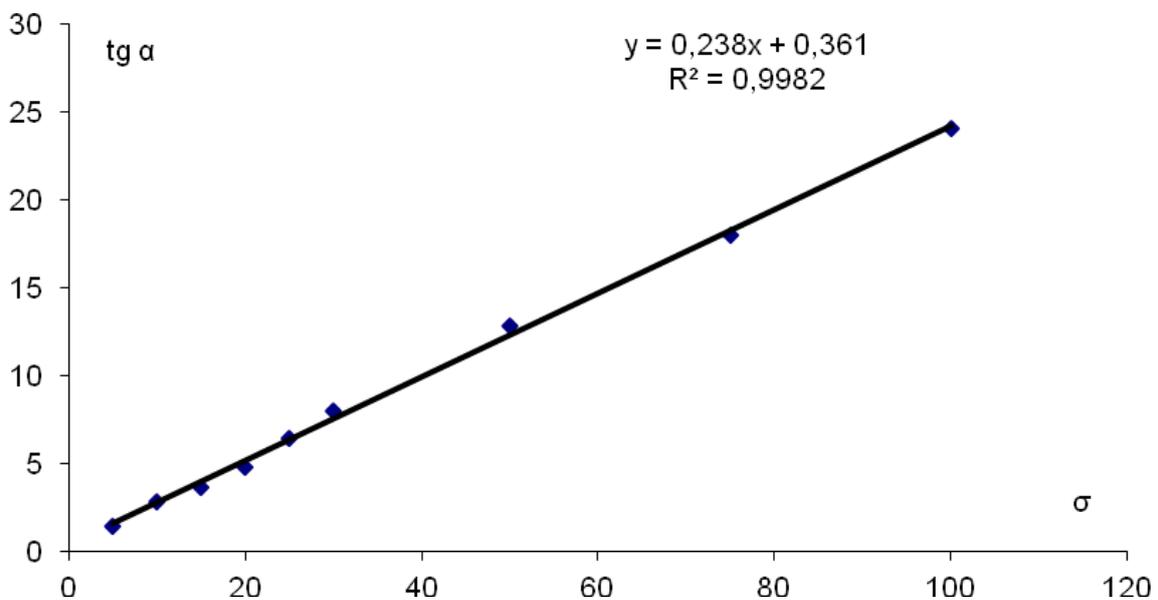


Рис. 5.9. Эмпирическая зависимость $\text{tg}\alpha(\sigma)$ [157, с. 64]

Из графика (рис. 5.9) следует, что зависимость $\operatorname{tg}\alpha(\sigma)$ является прямо пропорциональной зависимостью с высокой степенью точности: квадрат коэффициента регрессии приближается к единице.

Таким образом:

- Идеальный график РР набора чисел случайных величин $W(r)$ из гауссова распределения представляет собой S-образную кривую, симметричную относительно биссектрисы прямого угла, образующего координатные оси W и r .

- Методология научных исследований пополнилась дополнительным способом, позволяющим идентифицировать принадлежность выборки значений случайных величин к гауссову распределению. Для этого необходимо построить графическое РР этих случайных величин и убедиться, что оно имеет S-образный характер.

- Выявлена линейная эмпирическая зависимость тангенса угла наклона касательной к точке перегиба S-образной кривой рангового распределения выборки случайных величин и горизонтальной осью от дисперсии соответствующего гауссова распределения $\operatorname{tg}\alpha(\sigma)$.

5.4. Формула для рангового S-распределения случайных величин

Представляет несомненную теоретическую и практическую значимость знание математической формулы S-образного РР. Математический вид S-образного РР получен Д.В. Безбатько, подкреплен модельным компьютерным экспериментом Д.А. Евсеевым [157-159]. Вывод рассмотрен ниже. Рассмотрим нормальное распределение случайных величин (СВ) (5.1).

Задача: проранжировать распределение случайных величин (СВ) по убыванию параметра, в качестве которого выступает значение случайной величины x .

Обозначим: N_0 – общее число СВ, а $N(\xi)$ – число СВ, лежащих в интервале $(\xi; +\infty)$. Тогда для них можно записать:

$$N(\xi) = N_0 \int_{\xi}^{+\infty} f(x) dx = \frac{N_0}{2} \left[1 - \operatorname{erf}\left(\frac{\xi - \mu}{\sqrt{2}\sigma}\right) \right], \quad (5.9)$$

где $\operatorname{erf}(x)$ – функция ошибок [154, с. 575].

Заметим: положив $N(\xi_1) = 1$, мы получим, что в интервале $(\xi_1; +\infty)$ лежит только одна СВ. Если положить $N(\xi_2) = 2$, $(\xi_2 < \xi_1)$, то в интервале $(\xi_2; +\infty)$ лежат две СВ, причем одна из них («первая») соответствует предыдущему случаю и так далее. Т.е. $N(\xi)$ есть не что иное, как ранг (отражает ранговый номер последней СВ из своего интервала). Поэтому обозначим:

$$N(\xi) = r \text{ и } r = \frac{N_0}{2} \left[1 - \operatorname{erf}\left(\frac{\xi - \mu}{\sqrt{2}\sigma}\right) \right]. \quad (5.10)$$

Для нахождения вида ранговой кривой нужно решить уравнение (5.10) относительно ξ . Решение уравнения запишется в виде:

$$\xi(r) = \sqrt{2}\sigma \operatorname{erfinv}\left(1 - \frac{2}{N_0}r\right) + \mu, \quad (5.11)$$

где $\operatorname{erfinv}(x)$ – функция, обратная функции ошибок.

Представленная выше зависимость $\xi(r)$ решает задачу. Ее график из «эмпирических» точек сгенерированной СВ с $N_0 = 5000$, $\sigma = 1$ и $\mu = 0$ представлен на рис. 5.10 (а). На рис. 5.10 (б) приведены графики теоретической и эмпирической кривых, совпадающие с высокой точностью.

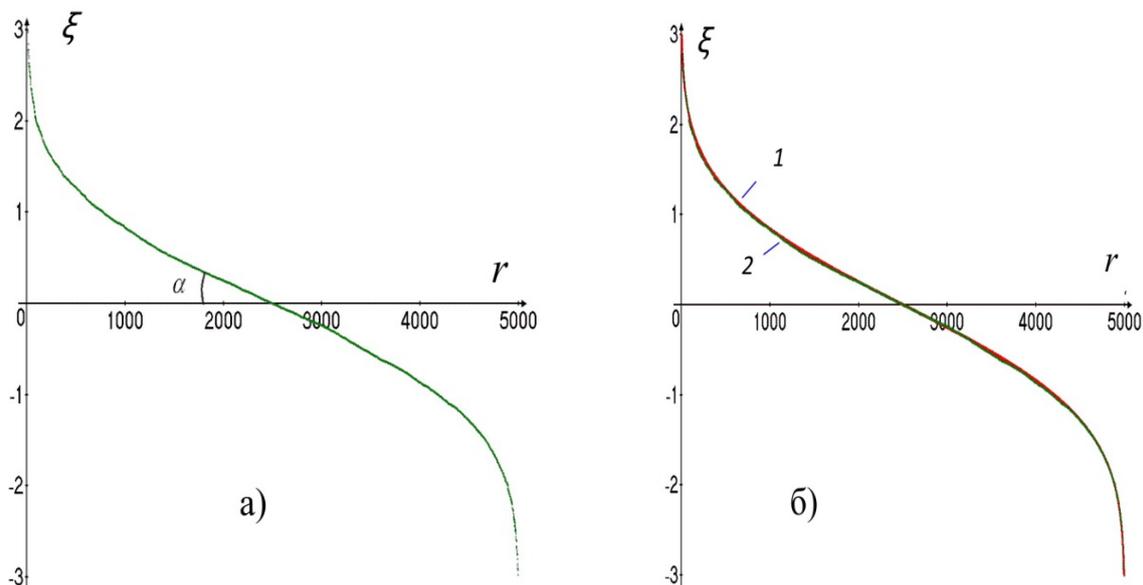


Рис. 5.10. S-образные ранговые кривые для $\mu = 0$, $\sigma = 1$ и $N_0 = 5000$:
 а) эмпирическая, смоделированная из 5000 точек – случайных величин;
 б) теоретическая – 1 и эмпирическая – 2 кривые (совпадают) [158, с. 40]

Из сравнения графиков (рис. 5.10 и 5.8, б) видно, что кривые $\xi(r)$ и $W(r)$ имеют одинаковую S-образную форму, различия лишь в обозначении случайной величины ($\xi = W$) и численных значениях μ , σ и N_0 .

Таким образом:

- Графиком РР случайных величин ГР является S-образная кривая (**S-распределение**), математическая формула (5.11).
- Результаты свидетельствуют о высоком уровне соответствия эмпирической S-образной ранговой кривой формуле (5.11).

Теперь найдем общую формулу для тангенса угла α , обозначенного на графике. Он ищется в точке перегиба кривой. Найдем ранг, при котором функция достигает значения μ . Для этого нужно решить уравнение:

$$\sqrt{2}\sigma \operatorname{erf}\operatorname{inv}\left(1 - \frac{2}{N_0}r\right) = 0. \quad (5.12)$$

Его корень $r = \frac{N_0}{2}$. Производная $\xi'(r) = -\frac{\sqrt{2\pi}\sigma}{N_0} \exp[\operatorname{erf}\operatorname{inv}^2(1 - \frac{2r}{N_0})]$ в точке $r = \frac{N_0}{2}$ есть $\operatorname{tg}(\pi - \alpha)$.

Для тангенса угла α получаем:

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{\sqrt{2\pi}\sigma}{N_0}. \quad (5.13)$$

Из (5.13) следует: тангенс угла α прямо пропорционален дисперсии, что подтверждает эмпирические данные [157, 159].

Используя (5.13), вычислено теоретическое значение угла наклона для смоделированной выборки: $\alpha \approx 0,0287^\circ$. При этом для эмпирической кривой получен угол $\alpha \approx 0,02896^\circ$. Результаты с высокой степенью точности подтверждают правильность полученной формулы (5.11) для S-образной ранговой кривой.

Отметим, что зависимость тангенса угла α от числа случайных величин мешает сравнивать выборки разного размера. Чтобы избавиться от N_0 , целесообразно проводить ранжирование по отношению $\frac{N(\xi)}{N_0} = R$, где

R – *нормированный ранг*. В таком случае уравнение ранговой кривой будет иметь вид:

$$\xi = \sqrt{2}\sigma \operatorname{erfinv}(1 - 2R) + \mu. \quad (5.14)$$

Оно уже не зависит непосредственно от объема выборки, а для тангенса угла α будем иметь:

$$\operatorname{tg} \alpha = \sqrt{2\pi}\sigma. \quad (5.15)$$

В данном случае «ранг» R будет изменяться непрерывно в промежутке $(0;1)$ с шагом $\Delta = \frac{1}{N_0}$.

Отметим, S-образные функции нередко попадаются в математической области знания, отражая явления реальной действительности. Например, подобный S-образный вид имеет Probit-функция в регрессивном анализе (<https://en.wikipedia.org/wiki/Probit>).

5.5. Примеры эмпирических ранговых S-образных кривых

Ниже приводятся экспериментальные данные, подтверждающие вышеизложенные результаты.

Пример 1. Исследование статистического распределения числа импульсов от счетчика Гейгера – Мюллера

В лабораторной работе, которую выполняют студенты инженерно-физического факультета высоких технологий УлГУ по исследованию статистического распределения числа импульсов от счетчика Гейгера-Мюллера, зарегистрированных за определенный промежуток времени от источника β -излучения, строится гистограмма гауссова распределения. С высокой степенью точности (используя метод «хи-квадрат») доказывается, что зависимость числа зарегистрированных частиц от частоты попадания в определенный интервал описывается функцией Гаусса. Определяется среднее значение случайной величины $\langle W \rangle$ и дисперсия σ^2 . Результаты эксперимента были переформатированы для проведения рангового анализа случайных величин. Для этого полученная в работе совокупность случай-

ных величин W (число импульсов счетчика Гейгера-Мюллера) была про-ранжирована в порядке убывания случайной величины и построено сначала табулированное, затем графическое РР $W(r)$. В результате графических построений получились эмпирический S-образный график РР $W(r)$ случайных величин и эмпирическая гауссова гистограмма числа импульсов от счетчика Гейгера – Мюллера.

Эксперимент № 1. Экспериментатор Д.А. Евсеев. На рис. 5.11 изображены результаты графических построений. При этом среднее значение случайной величины $\langle W \rangle = 95,39$, а дисперсия $\sigma^2 = 94$.

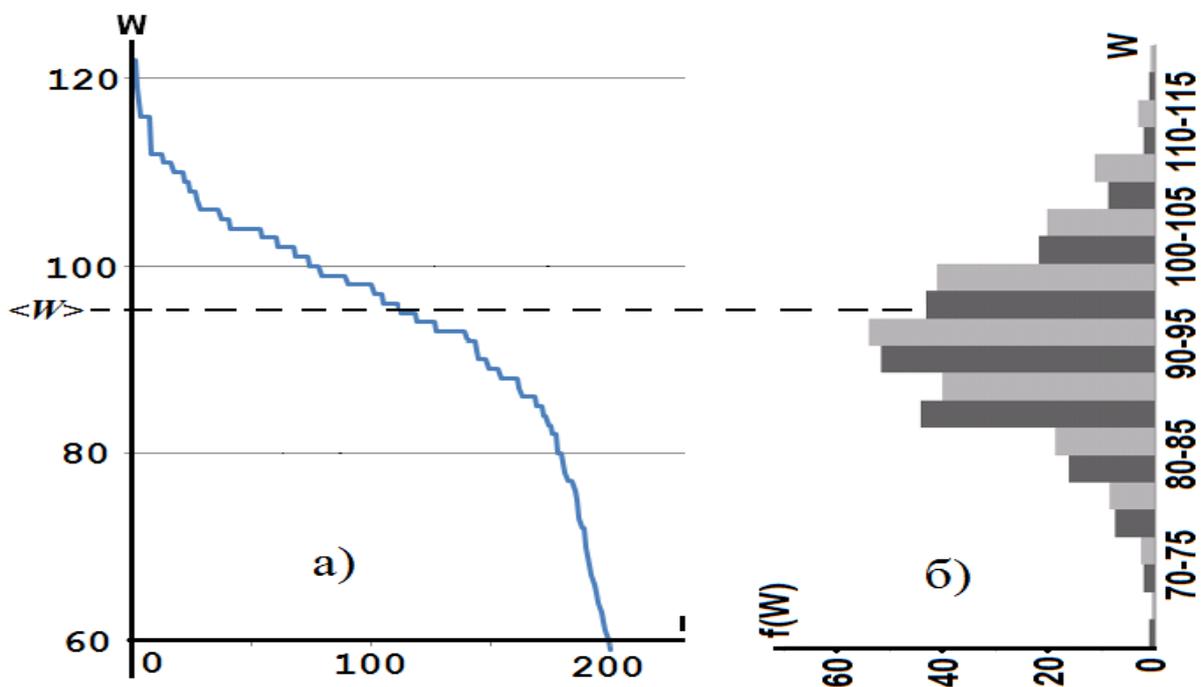


Рис. 5.11. Результаты эксперимента № 1:

- а) S-образное РР 200 случайных величин – числа зарегистрированных частиц от счетчика Гейгера – Мюллера $W(r)$; r – ранговый номер случайной величины;
- б) гистограмма гауссова распределения; $f(W)$ – частота попадания случайной величины в заданный интервал ΔW [160, с. 16]

Эксперимент № 2. Экспериментатор С.А. Васильев. На рис. 5.12 изображены результаты этой же лабораторной работы.

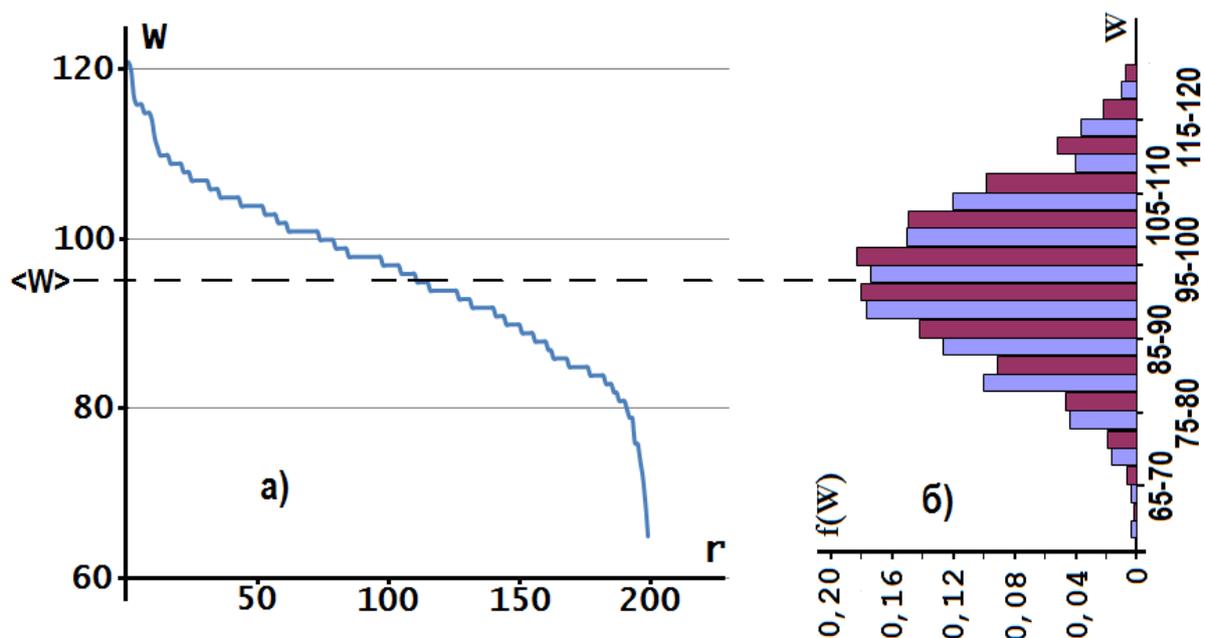


Рис. 5.12. Результаты эксперимента № 2 [160, с. 17]

В этом опыте математическое ожидание $\langle W \rangle = 95,37$; дисперсия $\sigma^2 = 112$. Для наглядности гистограммы (рис. 5.11, б; 5.12, б) повернуты на 90° относительно S-образных графиков РР случайных величин. Далее проводилось сопоставление двух распределений – гауссова и рангового.

Графики рангового и гауссова распределений числа зарегистрированных частиц от счетчика Гейгера-Мюллера $W(r)$ второго эксперимента идентичны графикам рисунка 5.11. Горизонтальная пунктирная линия пересекает вертикальную ось координат графика (а) в точке математического ожидания (среднего значения случайной величины $\langle W \rangle$) и проходит через точку перегиба S-кривой.

Эмпирические S-кривые имеют некоторые незначительные отклонения от идеальной S-кривой и обусловлены погрешностью измерений.

Пример 2. Ранговый анализ рейтинга участников тестирования

Ниже приводится один из результатов построения РР рейтинга в баллах (математика) участников централизованного компьютерного тестирования (ЦКТ) учащихся 11-х классов, проведенного в 2005 году в УлГУ (рис. 5.13).

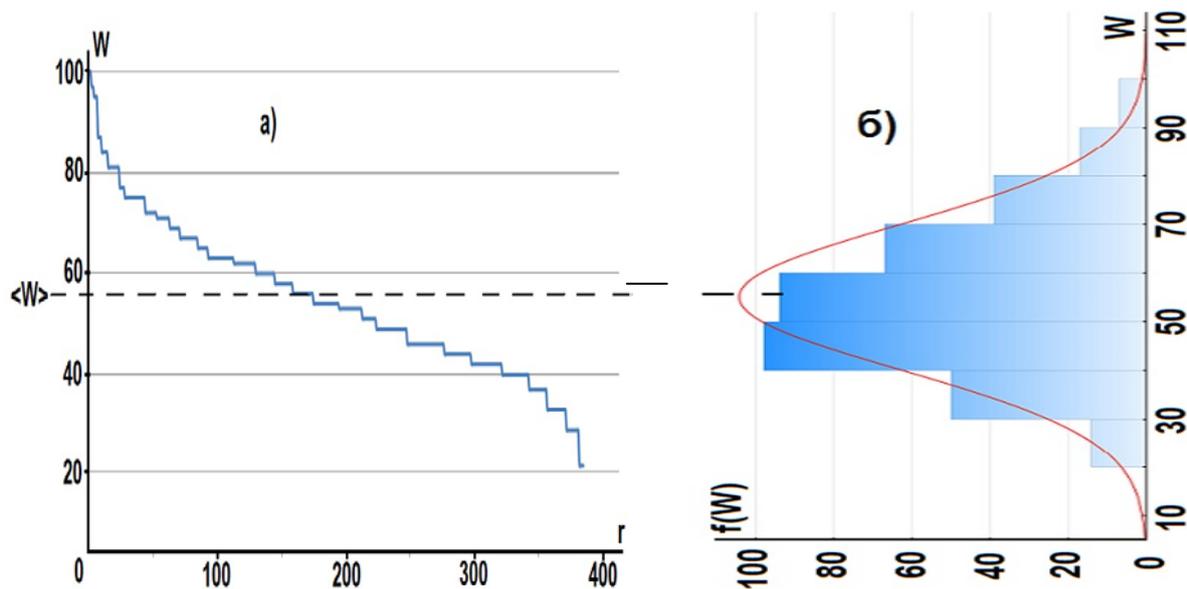


Рис. 5.13. Графики РР рейтинга в баллах (а) участников ЦКТ по математике в УЛГУ в 2005 году (380 участников) и распределение Гаусса, построенное по тем же данным (б). $\langle W \rangle = 55$ [160, с. 18]

Типичный S-образный график РР (а) свидетельствует о том, что рейтинговые показатели учащихся представляют собой набор случайных величин, который описывается распределением Гаусса. С помощью компьютерной программы было осуществлено построение частотной гистограммы, подтвердившей «гауссовость» РР (рис. 5.13, б).

Из графиков (рис. 5.13) видно, что совокупность оценок респондентов в пределах 20-100 баллов представляет собой набор случайных величин, при этом математическое ожидание $\langle W \rangle = 55$. Анализируя график РР с учетом среднеквадратичного отклонения 34 % в обе стороны от математического ожидания, можно заключить, что условия тестирования были такие: вопросы теста были такого уровня трудности и учащиеся имели такой уровень подготовки, что основная масса участников тестирования (около 70 %) получила баллы в интервале от 40 до 70 баллов.

Построение подобных графиков РР и гистограмм результатов тестирования абитуриентов по истории, русскому языку дали аналогичный результат с другими значениями параметров гауссова распределения.

Пример 3. Ранговый анализ времени падения камня

Было выполнено построение РР по данным задачи № 6.12 на гауссово распределение из известного источника [161]. В условии этой задачи приведены данные сорока измерений времени падения камня от окна до земли в сотых долях секунды ($t \cdot 10^{-2}$, с). Эти значения были проранжированы и по ним построено табулированное РР (табл. 5.2), а затем графическое РР [162, 163] (рис. 5.14). При этом если встречались несколько одинаковых значений t , для них бралось среднее ранговое число $\langle r \rangle$, для него записывалось одно значение времени.

Таблица 5.2

**РР значений времени падения камня,
ранжируемая величина – время: $W = t$**

r	1	2	3	4	5	6	8	10	12	15	17
$t \cdot 10^{-2}$, с	88	86	84	82	81	80	79	78	77	76	75
r	19	23	26	29	31,5	33	35	37	38	39	40
$t \cdot 10^{-2}$, с	74	72	70	69	68	66	65	63	62	60	58

График (рис. 5.14) имеет S-образный вид, симметричный относительно биссектрисы прямого угла, образованного осями координат.

Данное построение подтверждает ранее полученный результат.

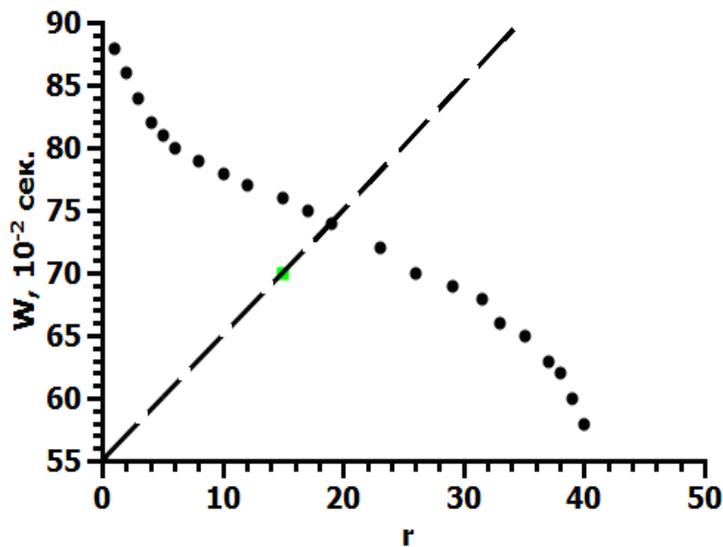


Рис. 5.14. Ранговое распределение 40 значений времени падения камня $W(r)$; W – время (сотые доли секунды), r – ранговое число [163, с. 300]

Пример 4. РР численности студентов вузов по субъектам РФ на 10 000 человек населения в 2010 году по данным [164]

График этого РР представляет собой S-образную кривую, почти симметричную относительно биссектрисы прямого угла, образующего координатные оси (рис. 5.15). Согласно вышеизложенному, внешний вид данного РР свидетельствует о принадлежности совокупности эмпирических данных к гауссову распределению.

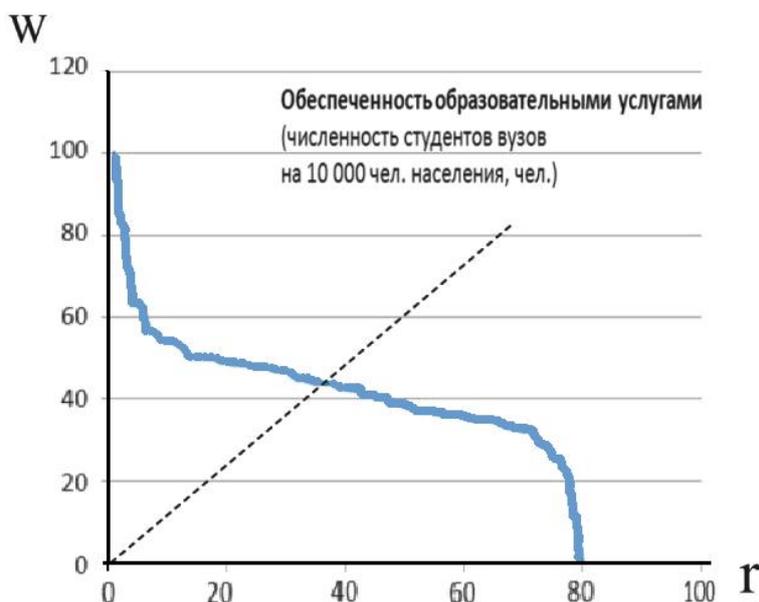


Рис. 5.15. Эмпирическое РР численности студентов вузов на 10 000 чел. населения W по регионам России: r – ранговый номер субъекта РФ; 1 – г. Москва, 2 – г. Санкт-Петербург, 3 – Томская область, 34 – Республика Башкортостан, 36 – Ульяновская область, 80 – Чукотский автономный округ ($W = 0$) [163, с. 301]

Была проведена проверка параметров этого РР на «гауссовость», которая показала, что данная совокупность параметров с высокой степенью точности соответствует нормальному распределению.

На рис. 5.16 (а) представлена эмпирическая гистограмма и теоретическая кривая Гаусса для выборки тех же самых параметров – численности студентов вузов в регионах РФ (на 10 000 населения), построенные с помощью компьютерной программы. При этом значение коэффициента Колмогорова – Смирнова d , отражающего максимальную степень удаленности (разрыва) эмпирического распределения от теоретического, составляет $d = 0,11$ при уровне статистической значимости $p = 0,032$. Сравнение ко-

эфициента d с его табличным критическим значением [125, с. 329] показало, что наблюдаемое значение критерия принадлежит области принятия гипотезы о достоверности соответствия эмпирического и теоретического распределений.

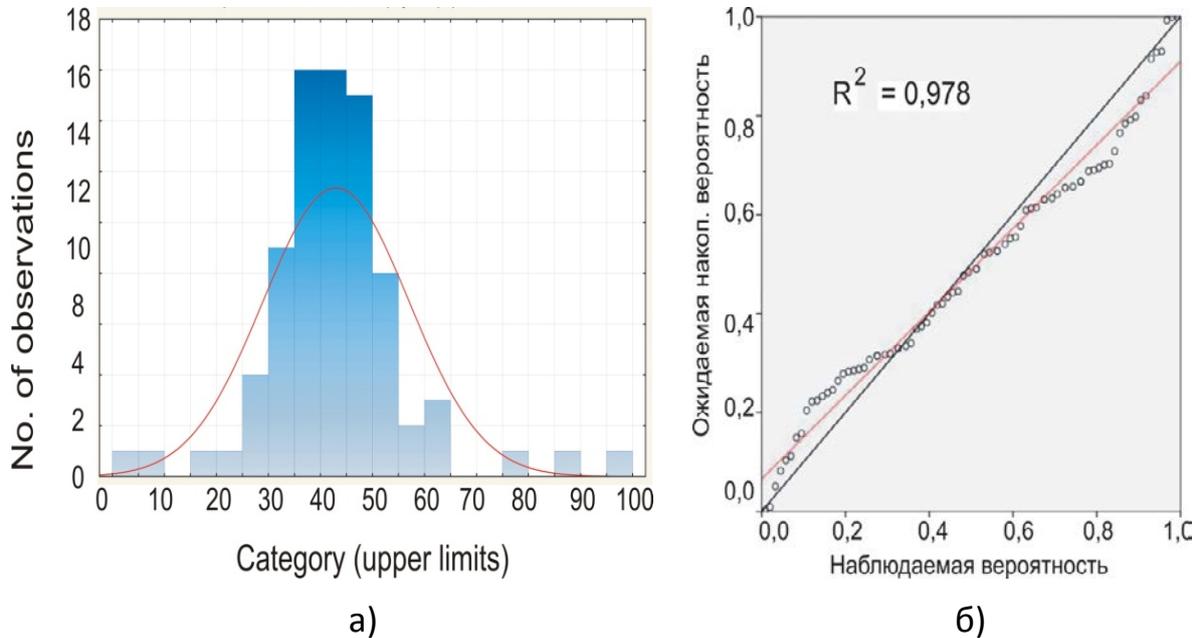


Рис. 5.16. Проверка на «гауссовость» выборки параметров РР численности студентов вузов на 10 000 чел. населения W по регионам России в 2010 году:

- а) эмпирическая гистограмма и теоретическая кривая нормального распределения;
- б) спрямленное распределение в координатах «ожидаемая вероятность – эмпирическая вероятность», $R^2 = 0,978$ [163, с. 302]

В целях подтверждения надежности полученного результата была осуществлена проверка соответствия эмпирических точек гауссова распределения путем построения эмпирического и теоретического распределений в координатах «ожидаемая вероятность – наблюдаемая вероятность». График из эмпирических точек и теоретический график должны в этих координатах «спрямиться», что и иллюстрируют графики (рис. 5.16, б). На этом рисунке представлено спрямленное распределение в координатах «ожидаемая вероятность – эмпирическая вероятность». При этом коэффициент регрессии между эмпирическим и теоретическим спрямленными распределениями довольно высок: $R^2 = 0,978$, что свидетельствует о достоверности сделанного вывода.

Из вышеизложенного следует, что для доказательства принадлежности совокупности каких-либо статистических данных к гауссову распределению не обязательно строить гистограмму или представлять гауссов колокол в линейном виде в координатах спрямления. Достаточно построить РР этих статистических данных. S-образный вид графика РР, симметричного относительно биссектрисы прямого угла, образованного координатными осями, будет свидетельствовать о том, что исследуемая совокупность статистических данных представляет собой набор случайных величин распределения Гаусса. Это свойство используется в методике изучения гауссовых распределений.

5.6. Применение рангового анализа при изучении нормального распределения

Статистические закономерности являются фундаментальными закономерностями природы: распределение молекул по скоростям, в поле тяготения Земли; распределение электронов по энергиям внутри твердого тела и отдельного атома; нормальное распределение случайных величин (гауссово распределение) и др. Изучение статистических закономерностей способствует формированию адекватной физической картины мира, развитию теоретического мышления и вероятностного стиля мышления [165-166]. Формирование у учащихся представлений о статистических закономерностях при обучении физике является важной задачей преподавателя.

Распределение Гаусса изучается в курсе математической физики и в курсе общей физики, в частности, в контексте его использования при расчете погрешностей измерений [161]. Опыт показывает, что часть студентов испытывают затруднения в понимании гауссова распределения и его главных параметров – *стандартного отклонения, дисперсии, коэффициента доверия и математического ожидания*. Однако наблюдения и результаты проведения практических занятий по решению задач и лабораторных работ на эту тему показали, что изучение распределения Гаусса и его параметров существенно упрощается при использовании РА. При этом метод РА не замещает, а дополняет и улучшает понимание вероятностного нормального распределения (не вместо, а плюс).

Выше было показано: РА предполагает наглядное представление объектов гауссова распределения в виде графического рангового распределения: график РР набора чисел случайных величин $x(r)$ из гауссова распределения представляет собой *S-образную кривую*, симметричную относительно биссектрисы прямого угла, образующего координатные оси x и r . При этом *S-образный вид эмпирического РР $x(r)$ свидетельствует о принадлежности совокупности параметров x к гауссову распределению*, а с уменьшением σ крутизна S-образной характеристики РР увеличивается, угол α между касательной к S-кривой в точке перегиба и горизонтальной осью уменьшается [156-159].

РА случайных величин можно применить в методике изучения нормальных распределений в виде эффективного приема. При этом реализуется принцип наглядности, позволяющий осуществить учащимся более глубокое понимание нормального распределения. Используя оба построения – РР и гауссовой кривой – учащиеся более глубоко и быстрее усваивают смысл параметров нормального распределения: *стандартного отклонения, среднего (математического ожидания), коэффициента доверия*, что наглядно представляет рис. 5.17. На нем представлены гауссово частотное распределение $f(x)$ случайных величин (а) и соответствующее ему РР этих же величин $x(r)$ (б). График гауссова распределения $f(x)$ (рис. 5.17, а) для наглядности повернут на 90° в плоскости рисунка по отношению к графику рис. 5.17 (б).

Приведенные на рис. 5.17 графики построены в рамках программы Matlab с использованием метода обратных функций, позволяющих осуществить имитационное моделирование случайных чисел (выборка 10 000) с заданным гауссовым распределением со стандартным отклонением $\sigma = 30$. Среднее значение случайной величины $\langle x \rangle = 200$ (математическое ожидание) соответствует точке перегиба на S-образной кривой.

В теории погрешностей *стандартное отклонение* результатов измерений $x_1, x_2 \dots x_n$ – это оценка средней погрешности результатов измерений $x_1, x_2 \dots x_n$. В теории ошибок оно рассматривается как 68 %-ный доверительный предел: вероятность того, что результат измерения окажется в пределах одного стандартного отклонения σ от истинного результата (т.е. среднего значения измеряемой величины, которая выступает как истинное ее значение) составляет 68 %. Если рассматривать стандартное отклонение

как погрешность в измерениях (т.е. $\Delta x = \sigma$), то на 68 % можно быть уверенным, что результат измерения будет в пределах σ от правильного результата [161, с. 124-125]. При этом значение 68 % имеет смысл *коэффициента доверия*.

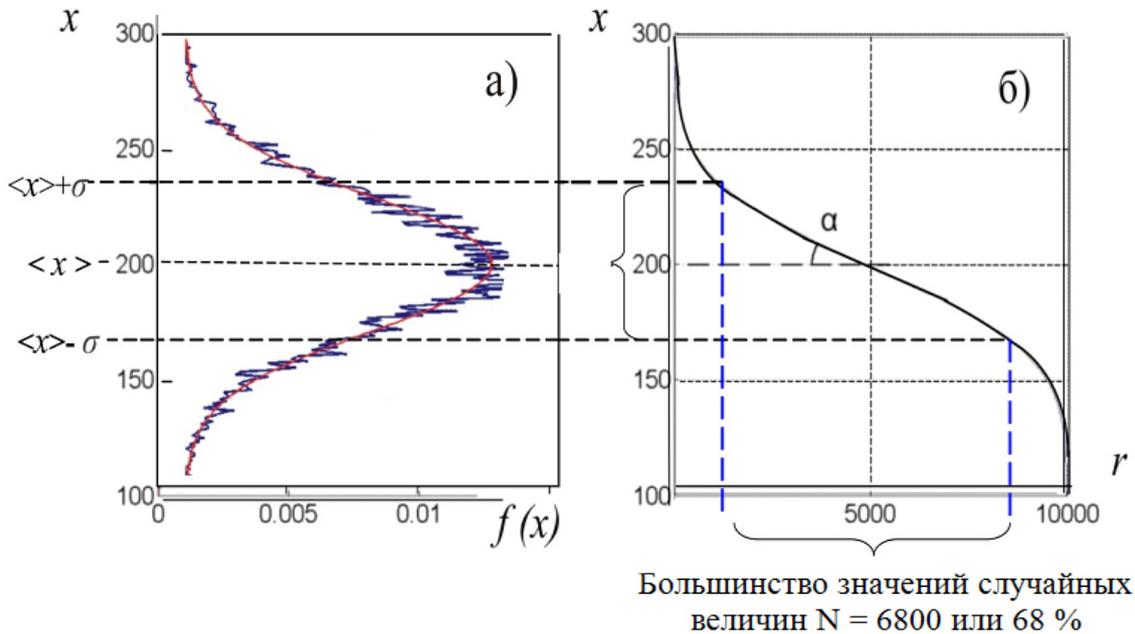


Рис. 5.17. Гауссовы распределения: а) частотное $f(x)$ 10 000 случайных величин со стандартным отклонением $\sigma = 30$, математическим ожиданием 200; б) соответствующее ему РР этих же величин $x(r)$

Из сопоставления графиков видно, что большинство значений параметра x лежит в пределах значений $\langle x \rangle + \sigma = 230$ и $\langle x \rangle - \sigma = 170$, отложенных по оси ординат графика нормального распределения до пересечения с S-кривой, затем точки пересечения вертикальными линиями соединить с осью рангов, мы получим границы значений N , внутри пределов которых лежат большинство – 6800 или 68 % – значений случайных величин (общее число случайных величин в смоделированной выборке $N_0 = 10\,000$). Из S-образного графика РР $x(r)$ (рис. 5.17, б) видно, что эти точки образуют почти линейный отрезок части графика, лежащий под малым углом α к горизонтали, за пределами которого начинается резкий спад (справа) и резкое увеличение (слева) значений x .

Специфика деятельности на занятиях по изучению гауссова распределения с использованием РА в следующем [167-168].

- **На теоретических занятиях** объяснение гауссова распределения ведется параллельно с объяснением РР случайных величин (формулы, графики, параметры) и их соотношения с иллюстрацией обоих распределений (рис. 5.17).

- **На практическом занятии** (семинаре, лабораторной работе) порядок действий обучаемых выглядит следующим образом.

1. Построение рангового распределения:

- проранжировать совокупность значений параметров гауссова распределения x в порядке убывания x и построить табулированное РР случайных величин;

- построить график РР $x(r)$, используя табулированное РР; график будет иметь вид S-образной кривой, подобный графику (рис. 5.17, б);

2. Определение параметров нормального распределения из графика РР (первый способ):

- посчитать среднее арифметическое $\langle x \rangle$;

- найти на S-образном графике РР среднее значение измеряемой величины $\langle x \rangle$ и убедиться, что оно соответствует точке перегиба графика;

- построить касательную к ранговой кривой в этой точке;

- отметить точки пересечения касательной с осями координат $(0, Y)$ и $(X, 0)$.

- определить тангенс угла наклона касательной в точке перегиба S-кривой к оси рангов $\operatorname{tg}\alpha$ по формуле:

$$\operatorname{tg}\alpha = Y/X.$$

- определить стандартное отклонение σ из формулы (5.15):

$$\operatorname{tg}\alpha = \sqrt{2\pi}\sigma.$$

3. Определение стандартного отклонения из графика РР вторым способом:

- из точки перегиба S-образного графика провести горизонтальную и вертикальную линии до пересечения с осями ординат и абсцисс. Обозначить *среднее значение измеряемой величины* $\langle x \rangle$ в точке пересечения горизонтальной прямой с осью ординат; от этой точки отложить вверх и вниз значения x , соответствующие 34 % всей выборки значений x – это будут значения стандартных отклонений $\pm\sigma$; записать результат в виде $\langle x \rangle + \sigma$ и $\langle x \rangle - \sigma$;

– сравнить полученное значение σ со значением, полученным в предыдущем случае;

– провести горизонтальные линии из точек $\langle x \rangle + \sigma$ и $\langle x \rangle - \sigma$ до пересечения с S-кривой и из этих точек провести вертикальные линии (перпендикуляры) до пересечения с осью рангов; на оси рангов обозначится диапазон ранговых чисел Δr , соответствующих стандартным отклонениям $\pm\sigma$ от среднего, в который входит 68 % случайных величин;

– на оси абсцисс найти точку пересечения вертикальной прямой, проведенной из точки перегиба S-графика, – это значение ранга, соответствующее среднему;

4. Построение гистограммы нормального распределения случайных величин производят известным способом и определяют по известным формулам (5.6)-(5.8) среднюю величину $\langle x \rangle$ и стандартное отклонение; а также определяют эти параметры графически – по гистограмме.

5. Сопоставляют два графика распределений – S-образного рангового и частотного нормального, а также параметры случайных величин гауссова распределения, полученные в результате построения обоих графиков.

Методологическая значимость использования РА при изучении гауссова распределения заключается в следующем [167-168].

- Использование РА как способа наглядного представления случайных величин в виде рангового распределения интенсифицирует процесс обучения: он позволяет преподавателю преподнести, а учащимся с меньшими усилиями, с большим пониманием и в более сжатые сроки освоить учебный материал по гауссову распределению.

- РА можно использовать при изучении нормального распределения в курсе математики (в теме «Теория вероятности») в целях реализации принципов наглядности и доступности.

- Методология научных исследований пополнилась дополнительным методом идентификации принадлежности выборки значений параметров исследуемой системы к гауссову распределению.

- Построение графика РР выборки случайных величин из нормального распределения позволяет расширить границы представлений о вероятностных способах описания научной картины мира у учащихся.

В третьей квантово-релятивистской физической картине мира (ФКМ) среди способов описания мира наряду с классической механикой И. Нью-

тона, электронной теорией (микроскопической электродинамикой); геометрий Римана, описывающих пространство вероятностным способом описания термодинамических систем, появляется квантовая теория, описывающая изменение состояния микрочастиц и их систем с помощью функции вероятности. Адекватное восприятие учащимися ФКМ невозможно без вероятностного стиля мышления и знания статистических закономерностей, понимание которых значительно упрощается при привлечении РА.

РА открывает новые возможности в методологии изучения физических измерений и определения их погрешностей. При этом важно отметить простоту вышеизложенного метода, который может освоить любой школьник.

5.7. S-образные графики ранговых распределений случайных величин в координатах спрямления

Как было показано выше, *S-образный вид эмпирического РР $W(r)$ свидетельствует о принадлежности совокупности параметров W к гауссову распределению*, при этом с уменьшением дисперсии гауссова распределения крутизна *S-образной характеристики РР увеличивается*, угол α между касательной к *S-кривой* в точке перегиба и горизонтальной осью уменьшается [156-157]. Выше показано, что математическая формула *S-образной кривой* (5.11) имеет вид:

$$\xi(r) = \sqrt{2}\sigma \operatorname{erf} \operatorname{inv}\left(1 - \frac{2}{N_0} r\right) + \mu,$$

где $\operatorname{erf} \frac{\xi - \mu}{\sqrt{2}\sigma}$ – функция ошибок, или функция Лапласа, а $\operatorname{erf} \operatorname{inv}(x)$ – функция, обратная функции ошибок.

В методологии науки известен способ определения принадлежности эмпирически полученного графика к той или иной математической зависимости. Этот метод идентификации заключается в построении полученной выборки эмпирических физических величин в «координатах спрямления» и широко используется физиками-экспериментаторами.

Представляет несомненный интерес и методологическую значимость нахождение координат спрямления для *S-образной кривой РР*. Чтобы найти координаты спрямления, нужно подставить (5.11) в функцию ошибок, при этом получается уравнение убывающей прямой:

$$\operatorname{erf} \left[\frac{\xi(r) - \mu}{\sqrt{2}\sigma} \right] = a - 2r / N_0 = a - kr, \quad (5.16)$$

где r – ранговый номер случайной величины ξ в порядке ее убывания; a, k – постоянные, при этом $k = 2/N_0$ отражает значение тангенса угла наклона прямой к оси рангов.

Была произведена проверка полученных теоретических результатов при помощи компьютерного модельного эксперимента [167-171].

Были построены гистограммы гауссовых распределений при различных значениях сигмы (10, 20, 30, 40, 50) и соответствующие им S-образные кривые пузырьковым методом (ранжирование случайной величины по убыванию). Таким образом была проверена формула (5.11) (рис. 5.18, а, б).

Еще ниже представлены графики, иллюстрирующие описанный выше модельный эксперимент для двух величин стандартных отклонений – 50 и 30 (рис. 5.19).

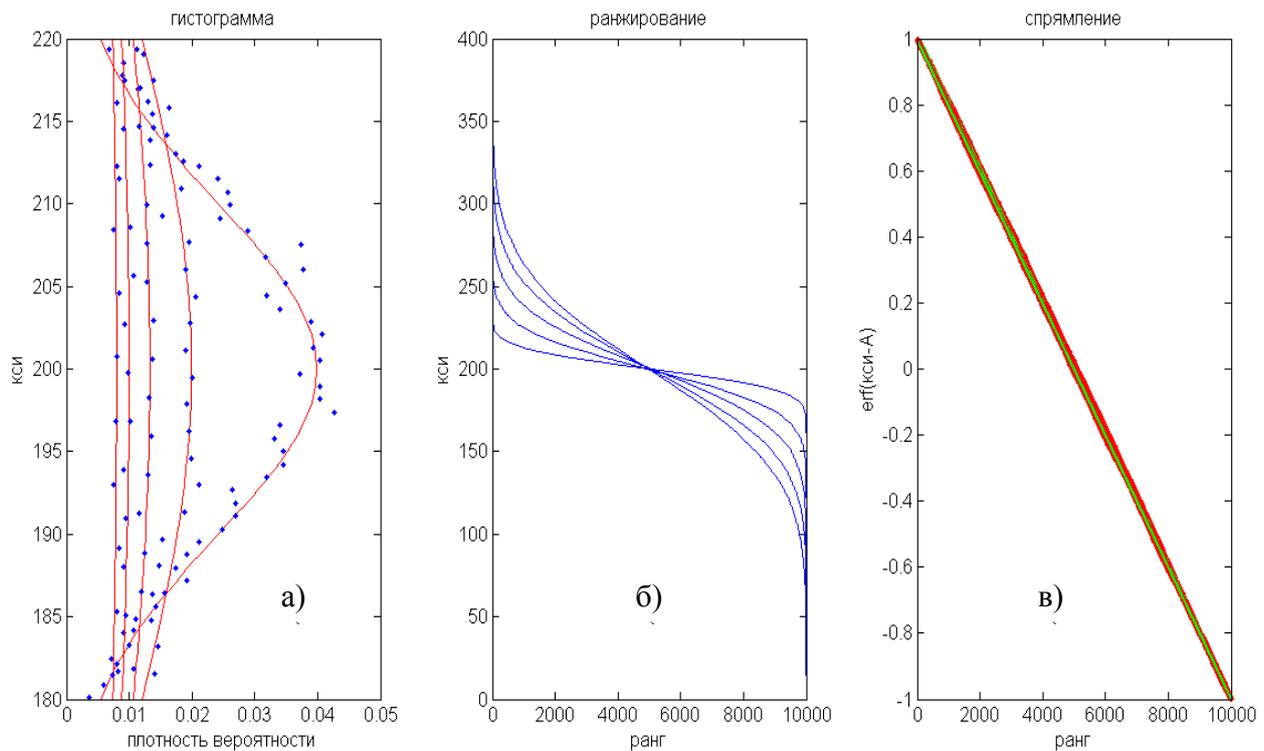


Рис. 5.18. К вопросу идентификации распределений случайных величин функции Гаусса с S-образными PP:

- а) гистограммы распределений случайных величин с сигмами 10, 20, 30, 40, 50;
- б) соответствующие им S-образные кривые PP;
- в) спрямление S-образных кривых PP в координатах $\operatorname{erf}(\xi - A) = f(r)$

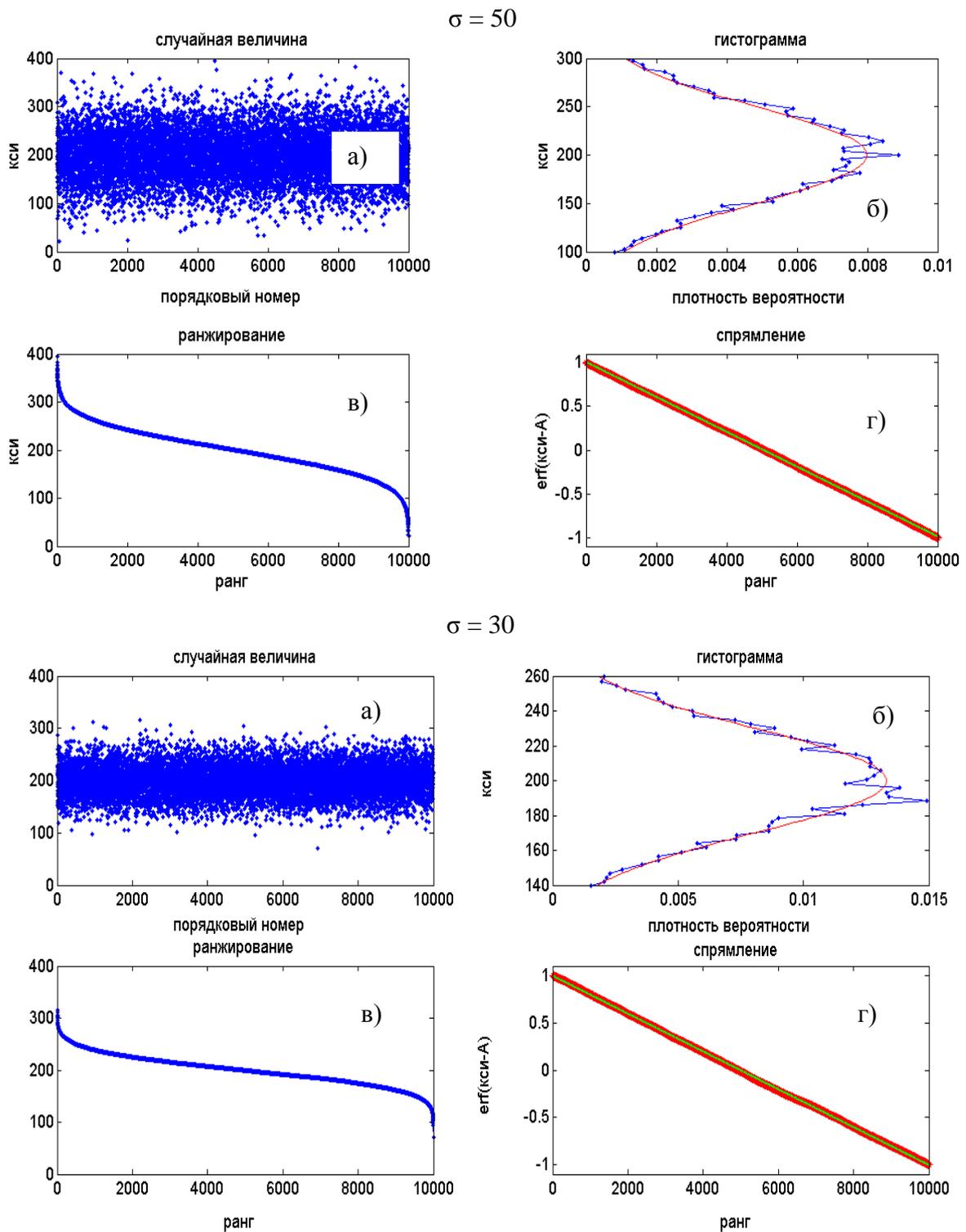


Рис. 5.19. К вопросу спрямления S-функции при $\sigma = 50$ и 30 :
 а) поле случайных величин; б) распределения Гаусса; в) соответствующие им S-образные кривые РР; г) S-образные кривые РР в координатах спрямления

Проверка данного утверждения была осуществлена на ряде примеров. Приведем два из них.

Пример 1. Ранговое распределение числа импульсов от счетчика Гейгера – Мюллера

Выше были изложены результаты лабораторного эксперимента по исследованию статистического распределения числа импульсов счетчика Гейгера – Мюллера от источника β -излучения. Было показано, что зависимость числа зарегистрированных импульсов от частоты попадания в определенный интервал описывается функцией Гаусса. В процессе выполнения работы была построена гистограмма гауссова распределения и S-образная кривая. При построении РР случайных величин – числа импульсов в координатах спрямления $\text{erf}(\xi - A) = f(r)$ – S-образная кривая линейризуется.

Спрявление S-характеристики близко к идеальному случаю, когда все точки ложатся на кривую или попадают в доверительный интервал.

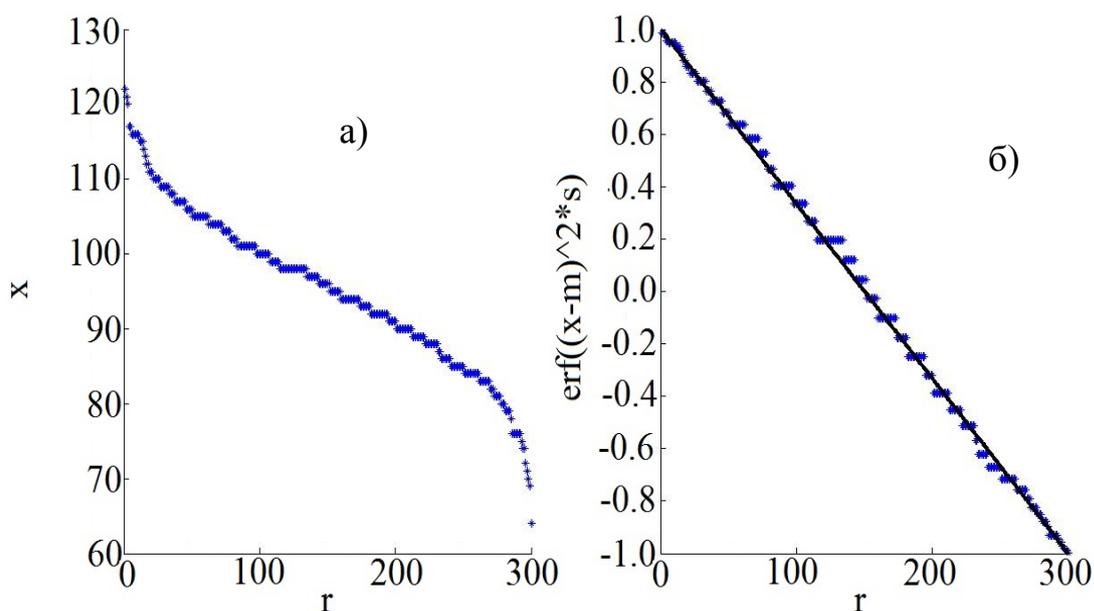


Рис. 5.20. S-образное РР $\xi(r)$ 200 случайных величин – числа зарегистрированных частиц ξ от счетчика Гейгера-Мюллера (а); б) РР в координатах спрямления $\text{erf}(\xi - A) = f(r)$; r – ранговое число

Пример 2. Задача с падением камня

По данным табулированного РР (табл. 5.2) было построено графическое РР (рис. 5.21, а), а также выполнено построение этой зависимости в координатах спрямления (рис. 5.21, б).

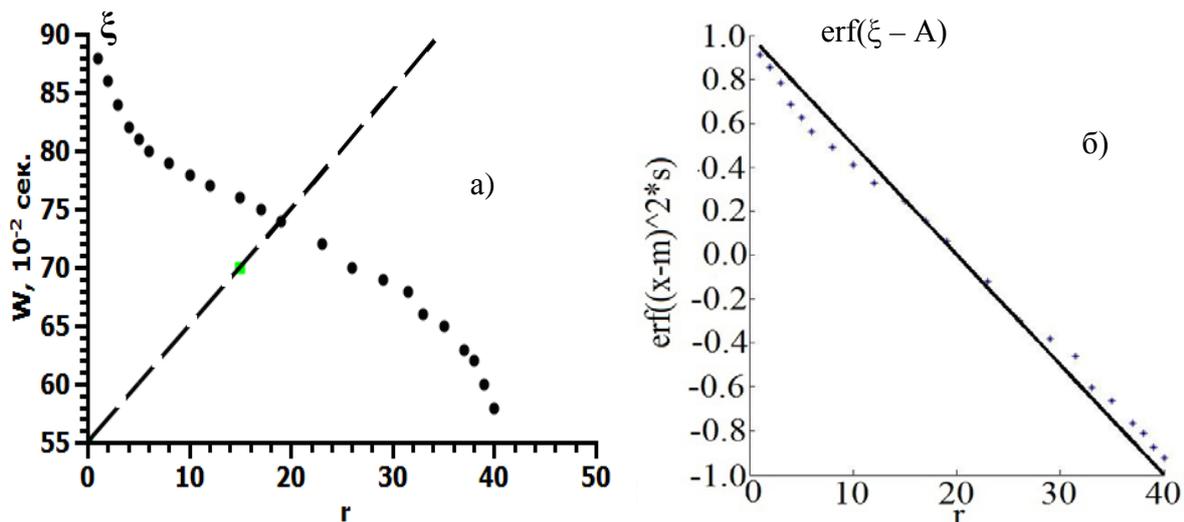


Рис. 5.21. S-образное ранговое распределение 40 значений времени падения камня в координатах $\xi(r)$, где ξ – время (сотые доли секунды) (а); б) построение РР в координатах спрямления $\text{erf}(\xi - A) = f(r)$; r – ранговое число

В рассмотренных случаях моделирование доверительного интервала не предусмотрено, но большинство точек лежит примерно на прямой. Незначительные отклонения реальных графиков от идеальных видов обусловлены погрешностью и недостаточным числом измерений.

График S-образного РР 380 участников компьютерного тестирования по математике в УлГУ по данным 2005 года, рассмотренный ранее (рис. 5.12) в координатах спрямления $\text{erf}(\xi - A) = f(r)$, имеет подобный вид (не приводится).

Таким образом:

- Найдены координаты спрямления для S-образного РР случайных величин.
- Результаты модельного компьютерного эксперимента подтвердили спрямление S-образного РР в координатах $\text{erf}\xi(r)$, где ξ – функция ошибок, r – ранговый номер исследуемой случайной величины.
- Спрявление S-образного РР случайных величин в найденных координатах спрямления доказывает принадлежность исследуемой выборки случайных величин к вероятностному распределению Гаусса.
- Простота вышеизложенного метода позволяет сделать вывод о несомненной практической значимости проведенного исследования.

Результаты исследования имеют теоретическую и практическую значимость, которая заключается в том, что *ранговый анализ открывает но-*

вые возможности в методологии научных исследований, использующих построения нормальных распределений: линеаризация S-образных РР в координатах спрямления $\text{erf}(\xi - A) = f(r)$ свидетельствует о принадлежности совокупности значений исследуемой величины к гауссову распределению. Процедура проверки на «гауссовость» может быть выполнена вышеизложенным методом. Достаточно построить РР совокупности исследуемых величин в координатах спрямления $\text{erf}(\xi - A) = f(r)$, чтобы идентифицировать эту выборку с нормальным распределением, не используя специальных методик построения гауссовых гистограмм.

5.8. Функция Гаусса в координатах спрямления [172]

Как было сказано выше, метод спрямления заключается в приведении исследуемой экспериментальной зависимости к линейному виду:

$$y = kx \text{ или } y = kx + b \text{ или } y = b - Bx.$$

Применим этот метод к функции Гаусса:

$$f(x) = Ae^{-Bx^2}, \quad (5.17)$$

где A и B – постоянные.

Прологарифмируем (5.17):

$$\ln(f) = \ln(A) - Bx^2. \quad (5.18)$$

Обозначив $y = \ln(f)$, $b = \ln(A)$, $x^2 = z$, получаем равномерно убывающую линейную функцию $y(z)$:

$$y = b - Bz. \quad (5.19)$$

То есть если по оси абсцисс откладывать x^2 (квадрат x), а по оси ординат $\ln(f)$, графиком будет прямая, которая свидетельствует о принадлежности эмпирических точек к гауссову распределению. На рис. 5.22 представлена линеаризация гауссовых распределений рассмотренных выше опытов со счетчиков Гейгера-Мюллера.

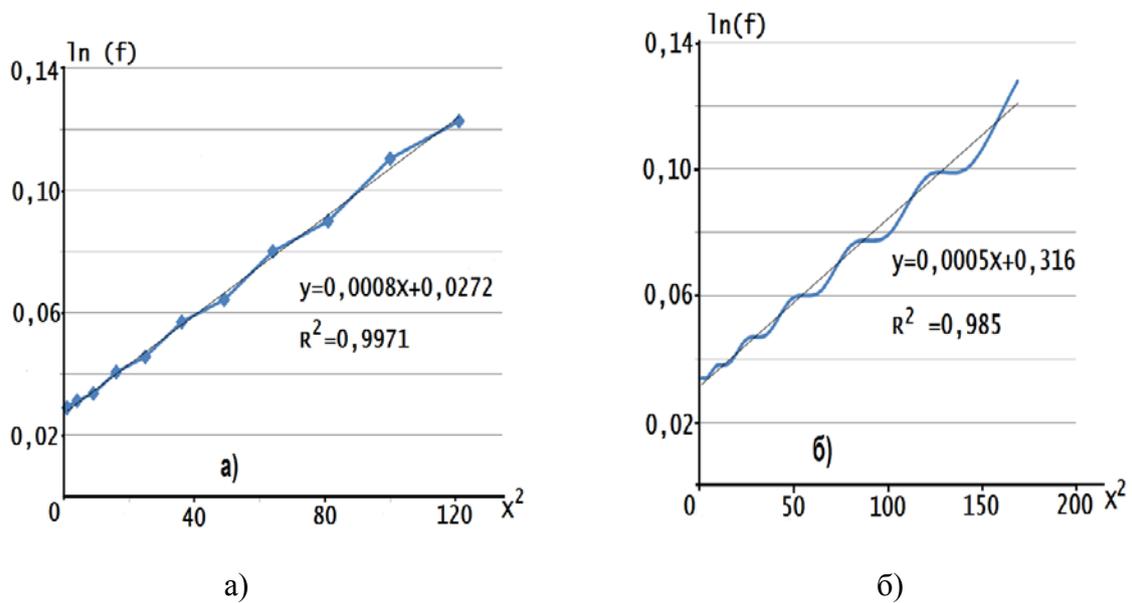


Рис. 5.22. Спрямление функции Гаусса в координатах $\ln(f)$, (x^2) :
а) для первого эксперимента; б) для второго эксперимента [172, с. 16]

Значения коэффициентов регрессии $R^2 = 0,985$ и $R^2 = 0,997$ свидетельствуют о высоком уровне совпадения эмпирических и теоретических прямых (рис. 5.22).

5.9. Разнообразие гауссовых распределений и его расчет методом Шеннона

Выше была изложена методика расчета разнообразия методом Шеннона по формуле (4.2). Очевидно, что с увеличением стандартного отклонения разнообразие РР случайных величин возрастает.

Для расчета разнообразия РР с гауссовым распределением объектов здесь использована формула, аналогичная формуле Шеннона:

$$H = \sum_i W_i \ln W_i, \quad (5.20)$$

где W_i – абсолютное значение параметра объекта в гауссовом распределении в S-образном РР; H – коэффициент разнообразия.

Формула (5.20) позволяет оценить разнообразие совокупности объектов с S-образным РР. Для определения зависимости коэффициента разнообразия H от стандартного отклонения гауссова распределения был про-

веден компьютерный эксперимент моделирования 10 000 случайных величин для нескольких значений σ (10, 20, 30, 50, 75 и 100). Затем были построены графики гауссова и S-образного распределений, вычислены коэффициенты разнообразия для каждой σ по формуле (5.20) (табл. 5.11).

По таблице 5.11 построен эмпирический график зависимости $H(\sigma)$ (рис. 5.23).

Таблица 5.11

Значения σ и H

σ	10	20	30	50	75	100
H	9538	9542	9549	9570	9606	9664

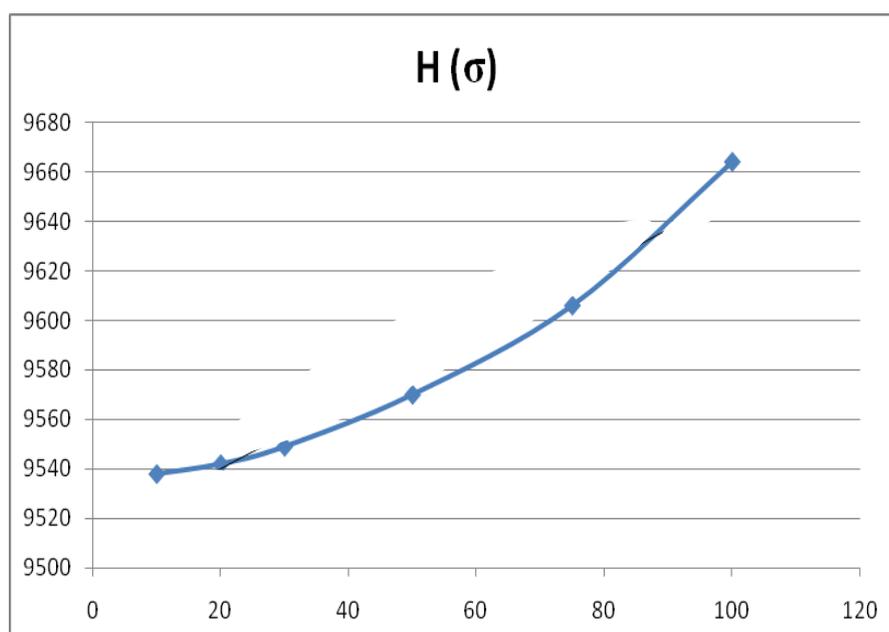


Рис. 5.23. График зависимости $H(\sigma)$ и аппроксимация к линейной функции

Из графика видно: с увеличением сигмы коэффициент разнообразия увеличивается.

Представляет несомненный интерес связь ранговых распределений с другими статистическими негауссовыми распределениями (прил. к главе 5, табл. П.5.1).

Также представляет интерес вопрос о природе самой случайности. Однако в задачи исследований, составляющих данную работу, такой вопрос не входил, ответ на него отчасти можно найти в работах Ю.В. Чайковского и др. [173-175].

5.10. О соотношении гиперболического рангового распределения и распределения Гаусса: взаимопревращаемость «ципфоиды» и «гауссоиды»

Выше отмечено, что в обычной жизни распределение Гаусса рушится, когда происходит крупное событие («промах») в результате процесса усиления, и этот процесс вызывает бесконечную дисперсию.

Покажем это на примере физических измерений какого-либо параметра. Были использованы готовые результаты измерений выходного напряжения логического нуля интегральной микросхемы (ИМС) выборки по данным таблицы известного пособия Ю.Г. Семенова [173, с. 76]. В этой таблице представлена совокупность значений случайных величин – пятидесяти измерений напряжения, лежащих в интервале 720-920 мВ в порядке полученных измерений. Автор пособия приводит частотную гистограмму гауссова распределения, построенную по этим 50 значениям напряжения через интервал 20 мВ (0,02 В) (рис. 5.24).

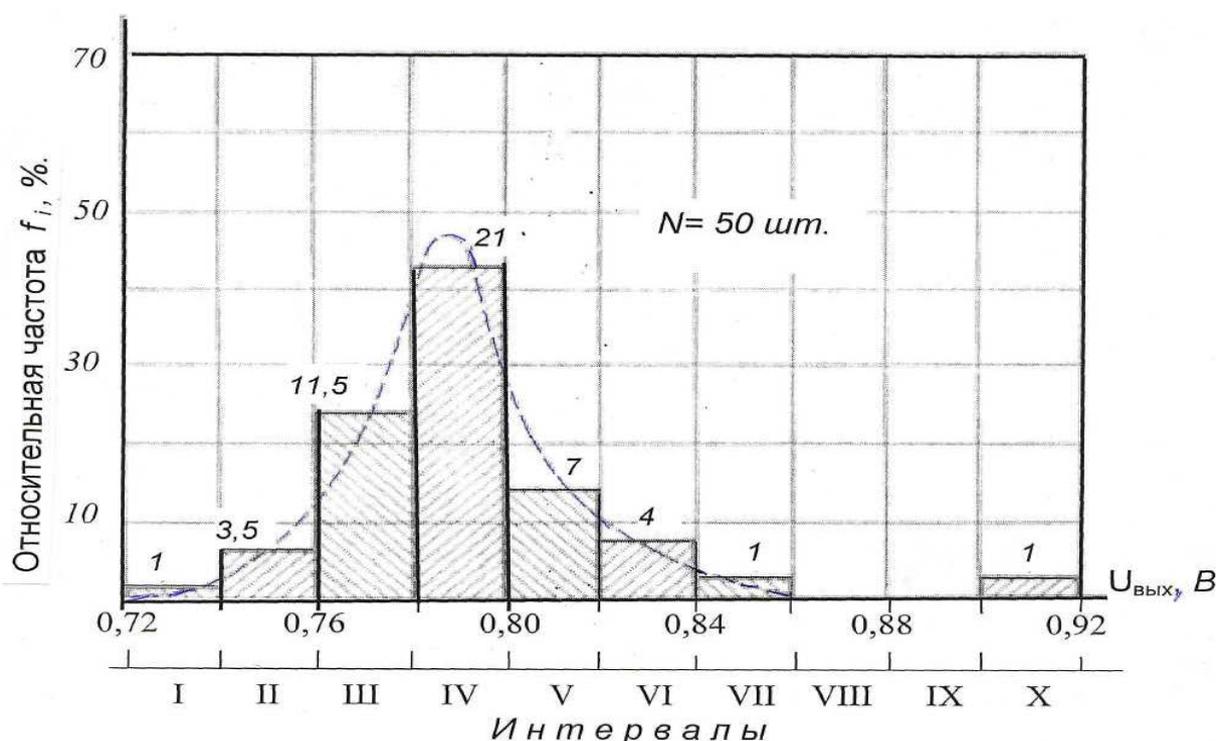


Рис. 5.24. Гистограмма распределения выходного напряжения $U_{\text{вых}}$ [173, с. 76] f_i , % – относительная частота попадания значений выходного напряжения в заданный интервал (в процентах); пунктиром обозначена кривая распределения; цифры над столбиками – количество попаданий в данный интервал (в X интервале – промах)

При этом 49 значений выходного напряжения лежат на колоколообразной кривой *нормального* распределения, а последнее измерение – 916 мВ попало в десятый (X) последний столбик гистограммы, в интервал значений 0,9-0,92. Это значение не учитывалось, так как являлось явным промахом.

Значения напряжения $U_{\text{вых}}$ таблицы [173, с. 76] были проранжированы и построено табулированное РР этих случайных величин (табл. 5.12) $W(r)$. При этом, следуя принятым обозначениям измеряемых величин в РА, ранжируемая величина $W = U_{\text{вых}}$. Первое значение напряжения ($W = U_{\text{вых}} = 915 \cdot 10^{-3}$ В при $r = 1$) является промахом.

Таблица 5.12

Табулированное РР значений выходного напряжения ИМС
 $W = U_{\text{вых}}$ [163, с. 297]

r	$W \cdot 10^{-3}$, В	13	801	26	787	39	766
1	915 промах	14	797	27	786	40	765
2	862	15	796	28	785	41	765
3	836	16	795	29	783	42	764
4	827	17	794	30	782	43	763
5	823	18	793	31	781	44	762
6	818	19	792	32	781	45	761
7	817	20	791	33	781	46	760
8	812	21	790	34	781	47	757
9	807	22	790	35	778	48	752
10	803	23	788	36	774	49	743
11	802	24	787	37	773	50	725
12	802	25	787	38	771		

Среднее значение измеряемой величины без учета промаха $\langle W \rangle = 786,45$.

Среднее значение измеряемой величины с учетом промаха $\langle W \rangle = 789,02$.

На следующем этапе по данным таблицы построено РР без учета первого значения (промаха), то есть 49 значений гауссовой выборки величин выходного напряжения. Результат построения РР (без первой точки) представлен на рис. 5.25 (а), из которого видно, что график РР – это

S-образная кривая, симметричная относительно биссектрисы прямого угла, образующего координатные оси. При этом большинство эмпирических точек заключено в пределах 760-800 мВ.

Для наглядности на рис. 5.25 (б) приведено соответствующее ему гауссово распределение 49 измеренных значений напряжения, повернутое на 90° относительно графика (рис. 5.25, а). При этом максимум гауссова распределения приходится на интервал 770-790 мВ, а его ось симметрии проходит через значение $U_{\text{вых}} = 780 \cdot 10^{-3}$ В.

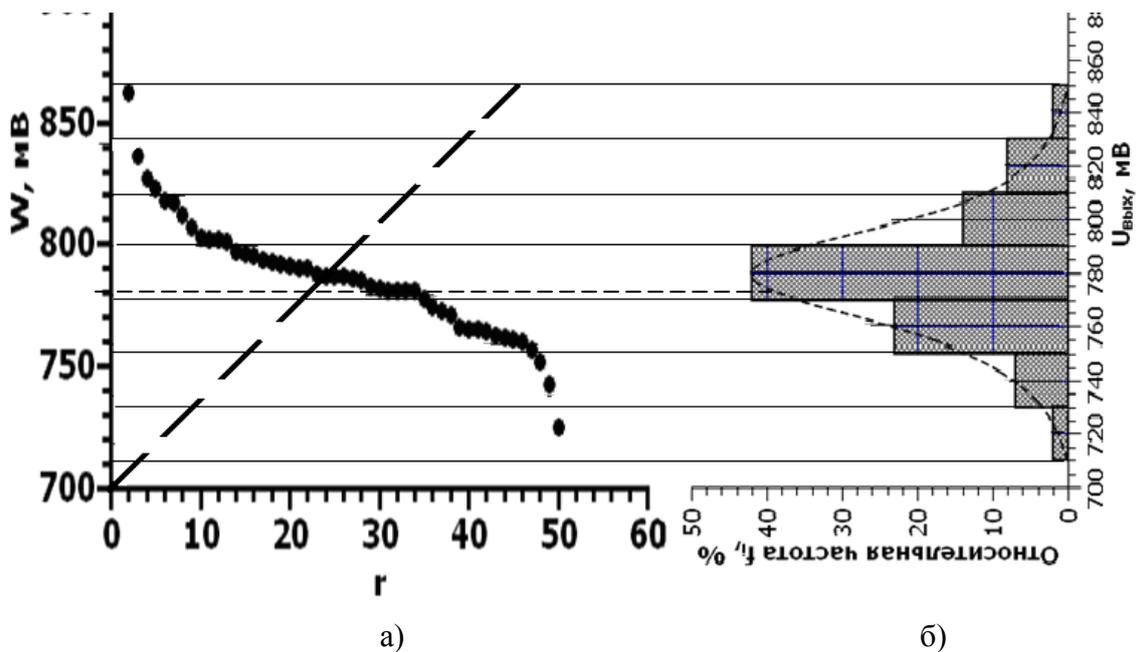


Рис. 5.25. РР значений измерений выходного напряжения $W(r)$ без промаха: W – выходное напряжение, r – ранговый номер значения напряжения (а); соответствующее ему гауссово частотное распределение f_i , %, этих же величин (б); [163, с. 297]. Среднее $\langle W \rangle =$ медиана = мода = 786,45

Из графика (рис. 5.25, б) также видно, что большинство значений напряжения заключено в пределах 760-800 мВ.

Далее по данным таблицы было построено графическое РР с учетом первого значения напряжения – промаха. Результат построения 50 измерений выходного напряжения ИМС представлен на рис. 5.26 (а), из которого видно: РР представляет собой несимметричный S-образный график.

Для наглядности на рис. 5.26 (б) приведено соответствующее ему «длиннохвостое» несимметричное частотное распределение 50 измеренных значений напряжения, повернутое на 90° относительно графика (рис. 5.26, а).

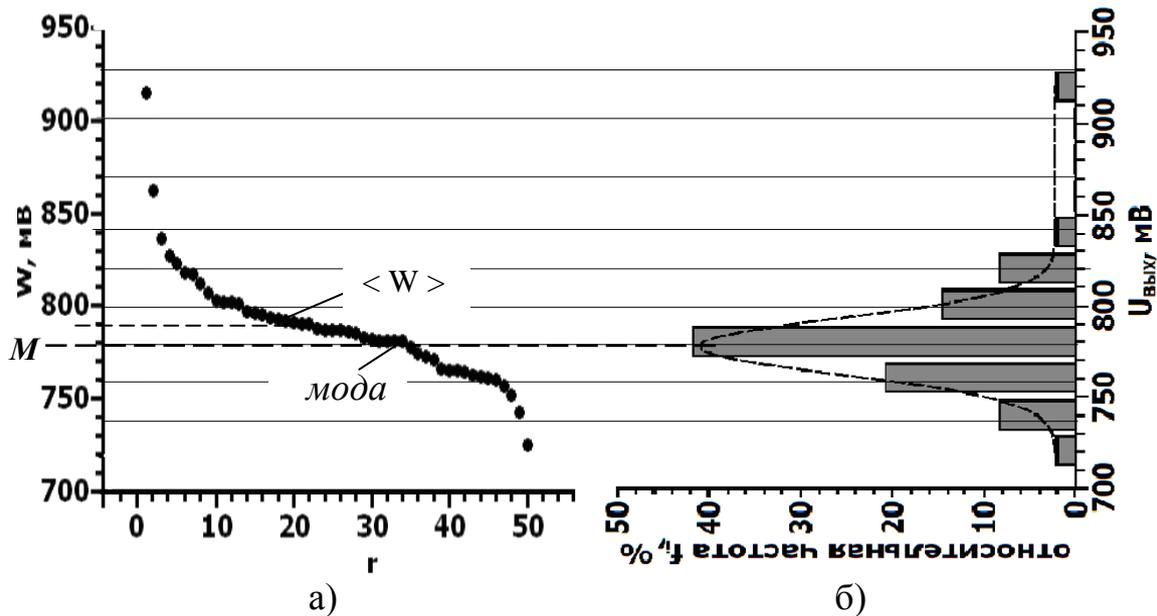


Рис. 5.26. РР значений выходного напряжения с учетом промаха $W(r)$ (а) соответствующее ему частотное распределение $f(x)$, % этих же величин (б).
 $M = 780$ – мода; среднее $\langle W \rangle = 789$

График (рис. 5.26, а) легко узнаваем – это типичный график *реального* гиперболического РР с заваливающимся вниз «хвостом». Как известно из рангового анализа, реальное гиперболическое РР включает эмпирические точки, образующие «завал хвоста» гиперболы. Маргинальные объекты, соответствующие этим точкам, подлежат параметрической или номенклатурной оптимизации [25, 26]. Верхняя точка графика соответствует «ноевой касте» РР. Таким образом, в данном случае РР представляет собой несимметричный S-образный график (рис. 5.26, а), и этот график РР соответствует «длиннохвостому» частотному распределению (рис. 5. 26, б). На верхнем участке РР параметр начинает следовать обратному степенному закону, что дает удлинение «хвоста» гистограммы частотного распределения.

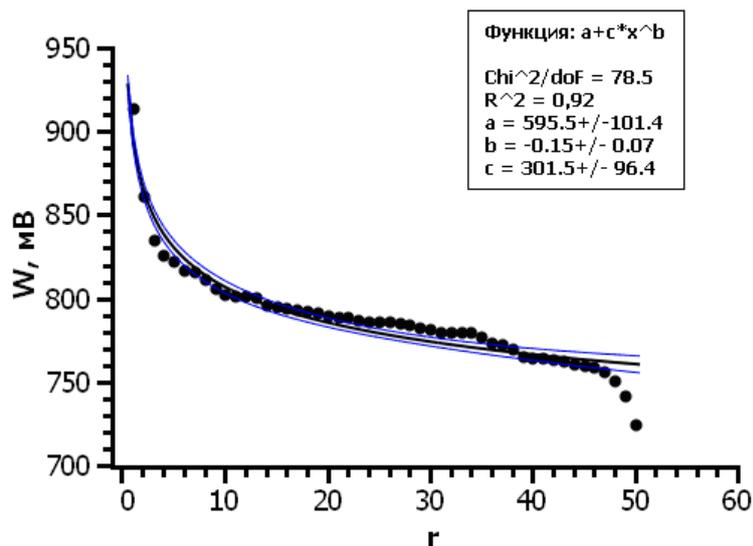
Однако аппроксимируется ли график реального РР (рис. 5.26, а) формулой (1.1)?

Была проведена аппроксимация РР (рис. 5.26, а) к математической зависимости (1.1) с помощью программы QtiPlot, а также выполнено построение РР в двойном логарифмическом масштабе (рис. 5.26, б). Аппроксимация показала соответствие эмпирического графика с учетом промаха формуле (1.1), отражающей гиперболическое РР, приподнятое над осью абсцисс на некоторую величину b , то есть:

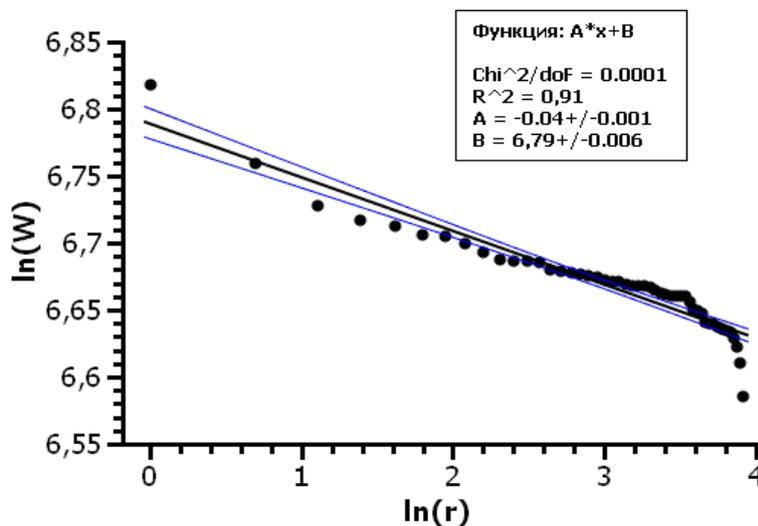
$$W = b + \frac{A}{r^\beta}, \quad (5.21)$$

где W – ранжируемый параметр (напряжение), $b = W = 595,5 \pm 101,4$; $\beta = 0,15 \pm 0,07$. Коэффициент регрессии $R^2 = 0,92$.

Графическое выражение этого РР представлено на рис. 5.27 (а). Нижняя часть гиперболы асимптотически приближается к прямой $W = b$. При $r = 1$, $W = b + A$. На рис. 5.27 (б) представлен спрямленный график РР в двойных логарифмических координатах $\ln W = f(\ln r)$, при этом $\beta = 0,04 \pm 0,001$; $R^2 = 0,91$.



а)



б)

Рис. 5.27. Графики параметрического РР выходного напряжения ИМС с аппроксимацией. W – ранжируемый параметр – выходное напряжение, r – ранговый номер значения напряжения:
а) график $W(r)$; $\beta = 0,15$; $R^2 = 0,925$; б) график $\ln W = f(\ln r)$; $R^2 = 0,91$

Выпадение точек из доверительного интервала, составляющего 0,95, обусловлено погрешностью измерений. В обоих случаях коэффициент регрессии R^2 имеет высокое значение – более 0,9, что свидетельствует о высоком уровне соответствия эмпирических и теоретических графиков.

Из вышеизложенного следует: если «убрать» из любого *реального* гиперболического РР «элитные» точки, соответствующие объектам «ноевой касты» (самые яркие звезды из галактики, олимпийцев и отличников из учебной группы, самую мощную популяцию из биоценоза и т.д.), то оставшаяся часть РР – «саранчевая каста» с «маргинальным хвостом» – в частотном выражении будет соответствовать распределению Гаусса, и об этом свидетельствует S-образный симметричный график РР (рис. 5.25).

Таким образом, распределение Гаусса в реальных представляет собой распределение «саранчевой касты» (в терминологии Б.И. Кудрина), включая ее «заваливающийся вниз хвост», который мы называем «маргинальным хвостом», продолжая яркую терминологическую традицию Б.И. Кудрина.

- График РР $W(r)$ набора чисел случайных величин гауссова распределения представляет собой S-образную кривую симметричную относительно биссектрисы прямого угла, образующего координатные оси.

- S-образный вид РР $W(r)$ свидетельствует о принадлежности совокупности эмпирических данных к гауссову распределению.

- По S-образному графику РР можно определить среднюю величину – соответствует W-координате в точке перегиба S-кривой – и стандартное отклонение по вышеописанной методике.

- Форма реальных гиперболических ранговых распределений в частотно-вероятностной форме по сравнению с формой нормального распределения характеризуется высокими пиками и длинными «хвостами» (которые некоторые авторы предпочитают называть «толстыми хвостами»).

- Форма нормальных распределений является частным случаем реальных *гиперболических ранговых распределений с «заваливающимися хвостами»*. В экономической литературе они носят названия Парето, или Парето – Леви, или устойчивые паретовские распределения.

- Результаты эмпирического исследования имеют теоретическую и практическую значимость, которая заключается в том, что ранговый анализ открывает новые возможности в методологии научных исследований,

которая пополнилась дополнительным методом идентификации принадлежности выборки значений параметров исследуемой системы к гауссову распределению.

- Построение графика РР выборки случайных величин нормального распределения позволяет расширить границы представлений о вероятностных способах описания научной картины мира у учащихся. Адекватное восприятие учащимися научной картины мира невозможно без вероятностного стиля мышления и знания статистических закономерностей, понимание которых значительно упрощается при привлечении РА.

Глава 6. РАНГОВЫЙ АНАЛИЗ В ИЗУЧЕНИИ АСТРОФИЗИЧЕСКИХ СИСТЕМ И МЕСТО ЦЕНОЛОГИИ В СОВРЕМЕННОЙ НАУЧНОЙ КАРТИНЕ МИРА

6.1. Применение рангового анализа к изучению астрофизических систем

Исследования последних лет показали, что совокупности космических объектов многих систем (галактики, Солнечная система, скопления галактик и т.д.) представляют собой ценозы (космоценозы, астроценозы) [64-69, 82, 113-115, 117]. Астроценозы отличаются от техноценозов и социоценозов тем, что человек не может влиять на их состояние (изменять, оптимизировать). В космосе объекты жестко связаны между собой силами тяготения, которые обуславливают сильную связь между объектами, в отличие от техно-, био- и социоценозов, в которых превалируют слабые связи между особями. Изучая ГРР астроценозов, можно лишь извлечь ту или иную полезную научную информацию о состоянии астроценоза, тем самым расширив представления об астрономической картине мира.

Каков характер отклонений в реальных ГРР объектов астрофизических ценозов от идеального H -распределения, на что они указывают и какую информацию содержат об их состоянии? Метод РА подробно рассмотрен в главе 2. Методика применения РА к астрофизическим системам с учетом ее специфики применительно к астрофизическим ценозам включает следующие действия [69, 72-74, 113].

- Создание электронной базы данных – характеристик объекта исследования, которые берутся из научных справочников или достоверных электронных ресурсов.

- Построение табулированного эмпирического РР, затем графического РР и его аппроксимация математической зависимостью (1.1) с помощью компьютерных программ $W(r)$. При аппроксимации эмпирического графика РР вырисовывается теоретическая гипербола, находятся ее пара-

метры: A , b , а также квадрат коэффициента регрессии R^2 . Коэффициент регрессии R (также употребляется обозначение Re) показывает степень приближения эмпирической кривой к аппроксимационной.

- При необходимости производится спрямление гиперболического PP в двойном логарифмическом масштабе и его аппроксимация линейной зависимостью.

- Анализ PP – выявление и интерпретация аномалий – отклонений от закона (1.1).

На графиках GPP объектов систем-астроценозов обнаруживаются 2 вида искажений:

I. Ряд точек выпадает из теоретического графика или доверительного интервала GPP или гипербола искажена (наличие «горбов», «впадин», «хвостов»), что свидетельствует о неполноте системы, т.е. о недостаточно полной информации элементов системы (еще не все объекты ценоза открыты), либо о неточности их измерений. Возможно, что современные приборы не позволяют произвести более точные измерения тех или иных параметров объектов астроценоза.

II. Резкий излом логарифмической прямой $\ln W(\ln r)$, разделяющий ее на 2 отрезка (под углом друг к другу или со смещением по оси y). Если наблюдается резкий излом на графике спрямления, это означает, что система состоит из двух подсистем.

Рис. 6.1 иллюстрирует искажения первого вида – графики PP 19 спутников Сатурна по массам (а) и 45 спутников по диаметрам (б).

В силу несовершенства измерительной техники или методов астрономических измерений из всех 62 спутников Сатурна есть сведения о массах 19 спутников и о диаметрах 45 спутников. Из графиков хорошо видно, что в системе с большим количеством особей (рис. 6.1, б) эмпирические точки, отражающие размеры спутников, лучше ложатся на логарифмическую прямую, чем на графике (рис. 6.1, а) с 19 спутниками, что указывает на более адекватную информацию о полноте системы. Сказанное позволяет утверждать, что применение PA дает возможность прогнозировать наличие недостающих объектов в космических системах.

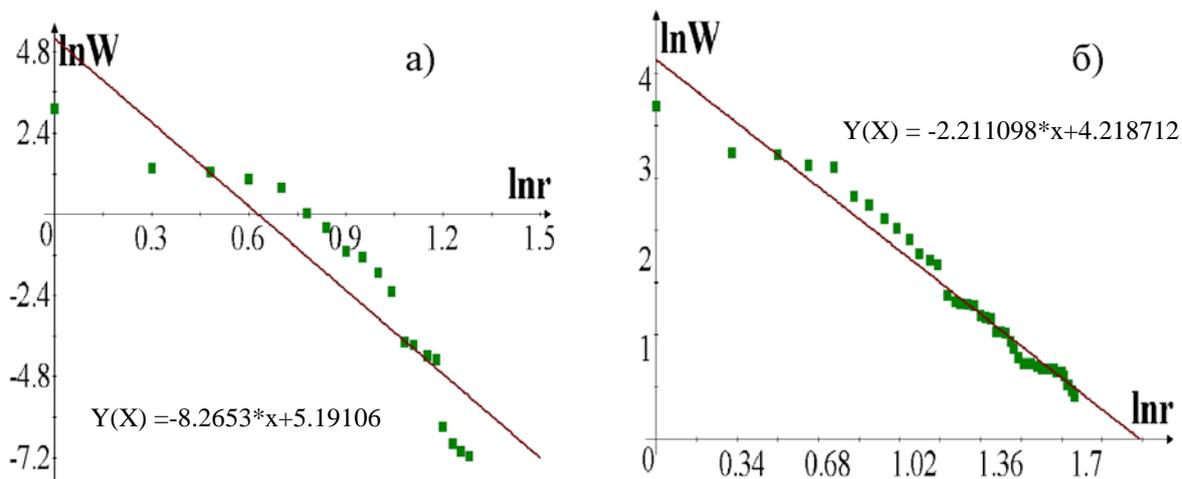


Рис. 6.1. Ранговое распределение спутников Сатурна в двойном логарифмическом масштабе $\ln W = f(\ln r)$; r – ранговый номер спутника: а) РР 19 спутников по известным массам; б) РР спутников в той же системе с большим количеством особей – 45 спутников по известным диаметрам [73, с. 448]

При изучении графических РР астроценозов выяснено – **первый вид искажений** может свидетельствовать о том, что:

- измерения параметров объектов астроценоза не точны;
- недостаточно сведений о полноте астрофизической системы-ценоза. При этом чем полнее система, тем лучше эмпирические точки ложатся на аппроксимационную линию тренда и больше коэффициент регрессии R .

Рис. 6.2-6.5 иллюстрируют второй вид искажений графиков – изломы логарифмических прямых.

На графике $W(r)$ (рис. 6.2, а) острый излом образуется двумя «наползающими друг на друга» гиперболами.

На рис. 6.2 изображены графики ГРР известных галактик по расстоянию от нашей Солнечной системы (всего 40 объектов).

Если наблюдается резкий излом на графике спрямления, это означает, что система состоит из двух подсистем. РА позволяет теоретически разделить систему галактик на два класса: периферийную (удаленную) группу – 1 и местную (близлежащую) группу галактик – 2, что соответствует астрономическим классификационным данным.

Как известно из курса астрономии, в нашей планетной системе выделяется 2 подсистемы: планеты-гиганты и планеты земной группы. На рис. 6.3 представлены ГРР планет СС по массам. Заметим, что непосредст-

венно на графиках гиперболических РР $W(r)$ изломы могут недостаточно явно просматриваться и на них невозможно выделить подсистемы (рис. 6.3, а), поэтому необходимо обязательное построение РР в двойном логарифмическом масштабе, на которых изломы ярко выражены (рис. 6.3, б).

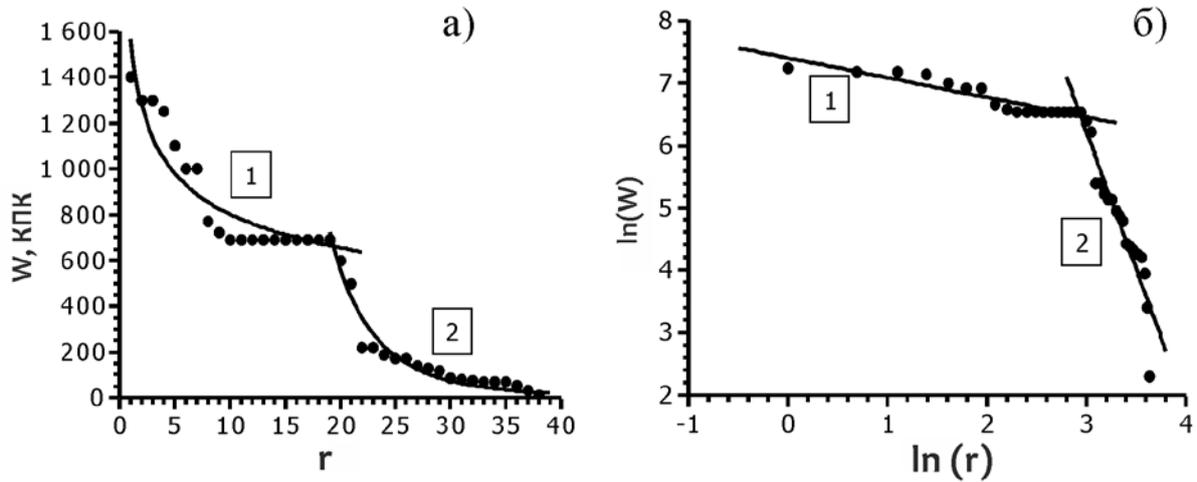


Рис. 6.2. Ранговое распределение галактик по расстоянию от Солнечной системы, где 1 – периферийная группа галактик, при этом $R^2 = 0,97$; 2 – местная группа галактик, $R^2 = 0,86$; W – расстояние галактики, кпк; r – ранговый номер галактики. Всего 40 объектов: а) график $W(r)$, $R^2 = 0,97$; б) график $\ln W = f(\ln r)$, $R^2 = 0,86$ [73, с. 449]

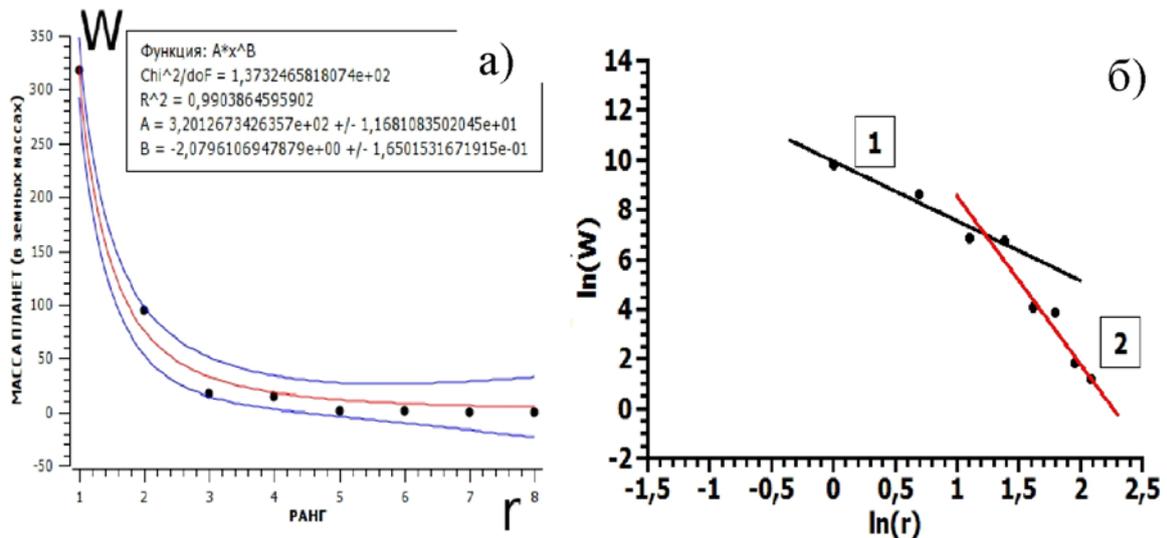


Рис. 6.3. РР масс планет Солнечной системы (в земных массах), W – масса планеты, M/M_3 ; r – ранговый номер планеты. Всего 8 объектов, без Плутона: а) график $W(r)$, $R^2 = 0,99$; б) график $\ln W = f(\ln r)$, 1 – планеты гиганты (Юпитер, Сатурн, Уран, Нептун), $R^2 = 0,86$; 2 – планеты земной группы; $R^2 = 0,86$ [73, с. 449]

В главе 3 (рис. 3.7 и 3.8) изображены РР диаметров метеоритных кратеров на поверхности Земли: 18 и 46 кратеров соответственно. Из графиков (рис. 3.7, а, б) видно, что ряд точек выпадает из аппроксимационных трендовых линий, при этом средний квадрат коэффициента регрессии R^2 для графиков (а) и (б) равен 0,8. При добавлении 28 кратеров эмпирические и теоретические графики РР слились (рис. 3.8), а R^2 возрос до 0,99 [117, с. 110].

М.В. Учайкин, изучая изломы линейных логарифмических графиков планет и планетоидов по усредненным орбитальным радиусам и сидерическим периодам (рис. 6.4 и 6.5), пришел к выводу, что согласно РА планетоиды можно рассматривать как самостоятельную подсистему. Аппроксимация проводилась с помощью программы QtiPlot.

На графиках для наглядности иллюстрируются распределения периодов обращения планет с планетоидами без линий доверительных интервалов. На графиках (рис. 6.4, а; 6.5, а) визуально регистрируются две гиперболы. Соответственно, графики $\ln W = f(\ln r)$ представляют собой две пересекающиеся прямые.

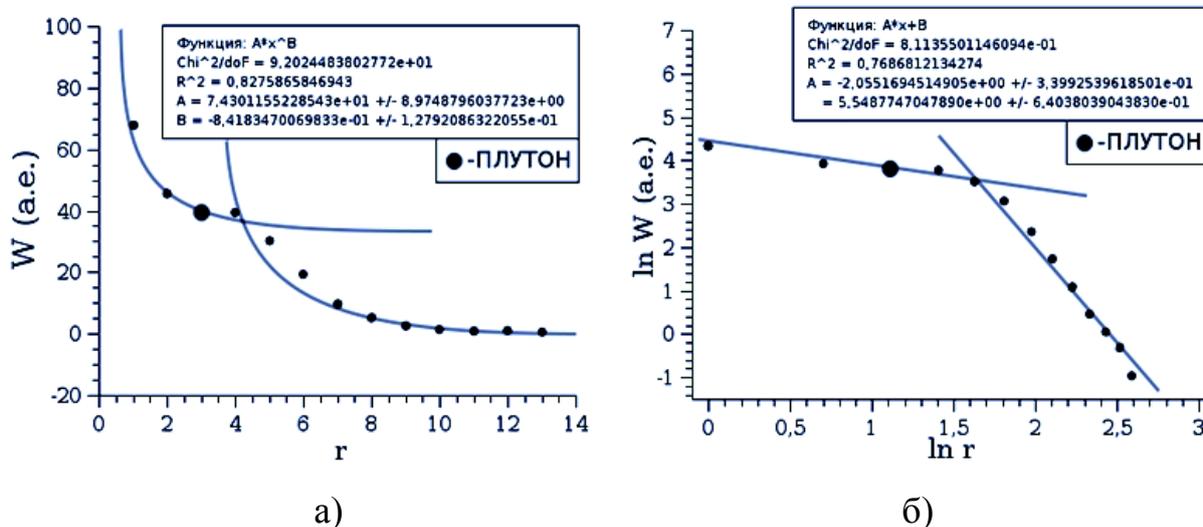


Рис. 6.4. РР планет и планетоидов по усредненным орбитальным радиусам, с визуальным разделением на две подсистемы, где W – радиус их орбит, r – их ранговый номер; 1 – Эрида, 2 – Макемаке, 3 – Плутон, 4 – Хаумеа, 5 – Уран, ... 9 – пояс астероидов (Фээтон), ... 13 – Меркурий:
а) график $W(r)$; б) график $\ln W = f(\ln r)$ [67, с. 176]

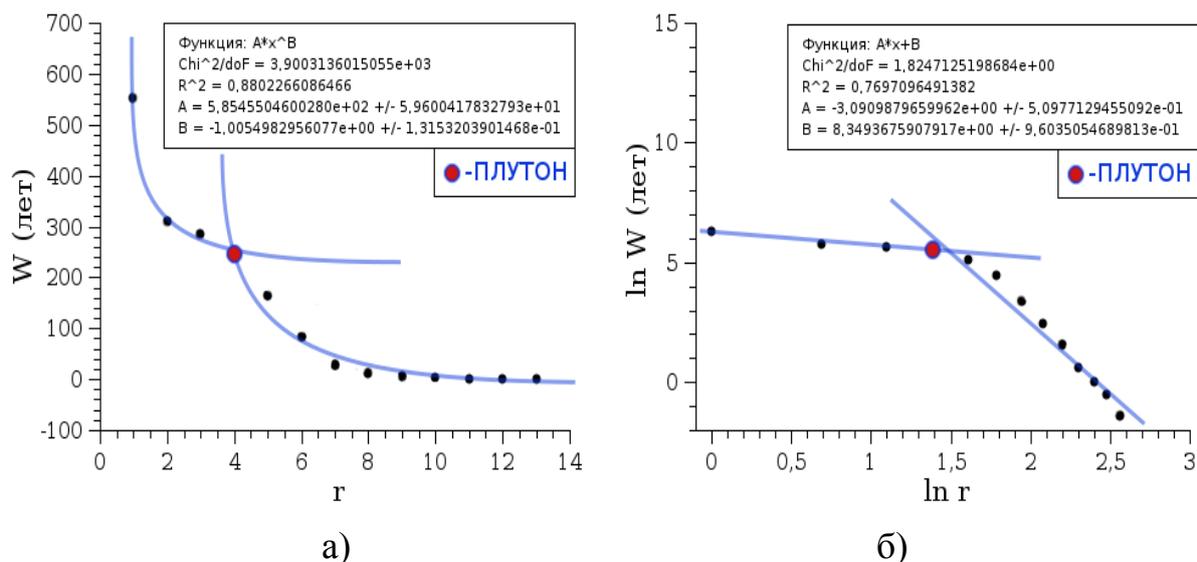
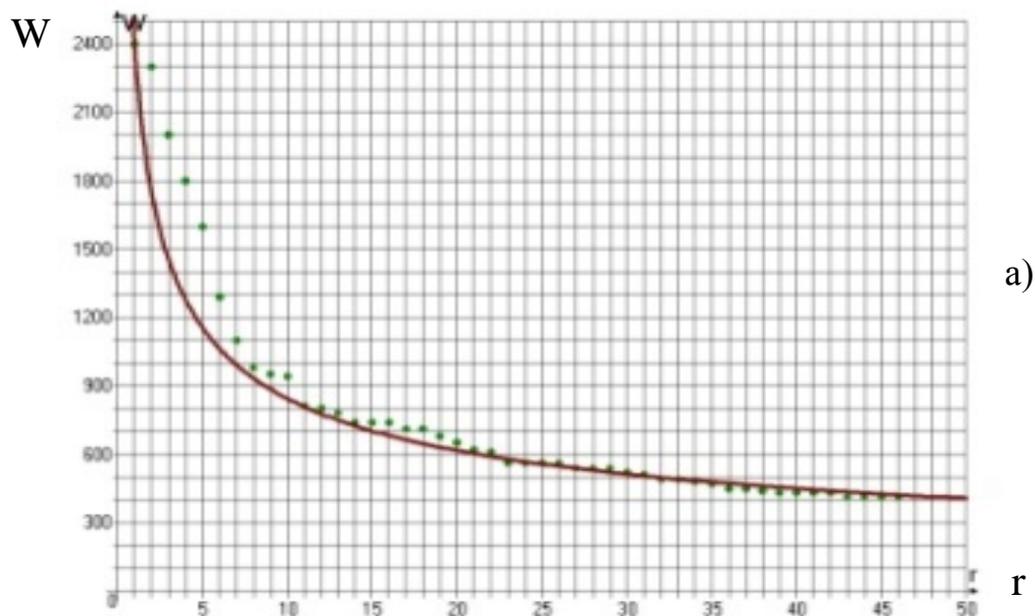


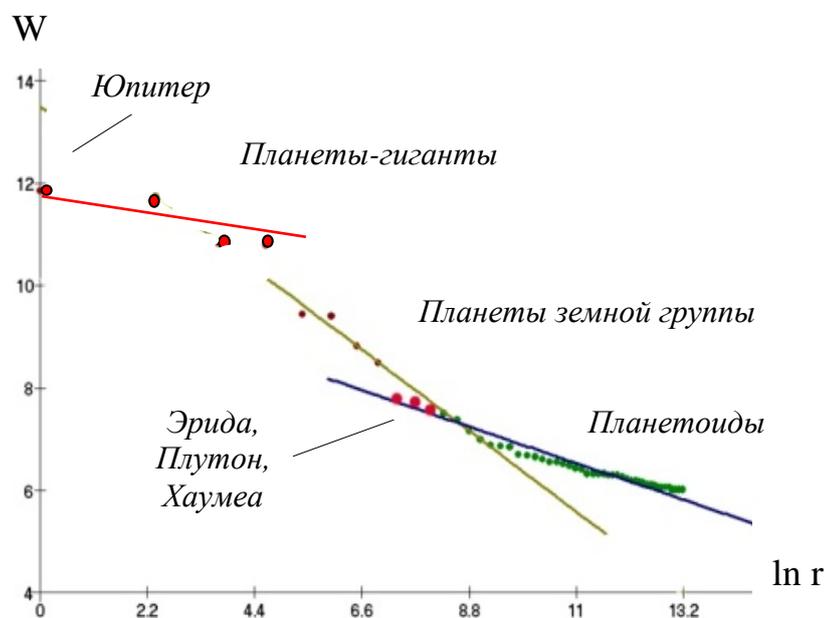
Рис. 6.5. Графики распределения планет, включая карликовые планеты, по периодам обращения, с визуальным разделением на две системы – систему планет и подсистему планетоидов; W – период обращения планет, r – их ранговый номер: а) график $W(r)$; б) график $\ln W = f(\ln r)$ [67, с. 178]

Заметим, что на графике (рис. 6.4) граничное положение между системами планет и планетоидов занимает Хаумеа, а Плутон в этом РР попадает в группу планетоидов. Однако графики РР (рис. 6.5) показывают, что Плутон является пограничным объектом между подсистемами, то есть относится и к системе планет, и к системе планетоидов, что свидетельствует о двойственности Плутона.

Непосредственно на гиперболическом графике зачастую излом не всегда так ярко выражен как на графике в двойном логарифмическом масштабе или совсем не заметен, но проявляется лишь на графике $\ln W(\ln r)$, так как построение в двойном логарифмическом масштабе отражает с большей чувствительностью «тонкую структуру» системы. Чем больше угол между линеаризованными отрезками на графике $\ln W(\ln r)$, тем более выражен излом гиперболы на графике $W(r)$. В качестве примера на рис. 6.6 изображена кривая РР диаметров планет и планетоидов Солнечной системы (всего 50 особей).



а)



б)

Рис. 6.6. РР диаметров планет и планетоидов Солнечной системы:
а) график $W(r)$; б) график $\ln W = f(\ln r)$

Подобные графики получены для РР масс спутников Юпитера, Сатурна, Урана, на которых явно выделяются 2 подсистемы – группы спутников-гигантов и группы мелких спутников. РР спутников Урана и Юпитера приведены на рис. 6.7 и рис. 6.8.

На графиках (рис. 6.7, б; 6.8, б) явно выделяются 2 подсистемы спутников-гигантов.

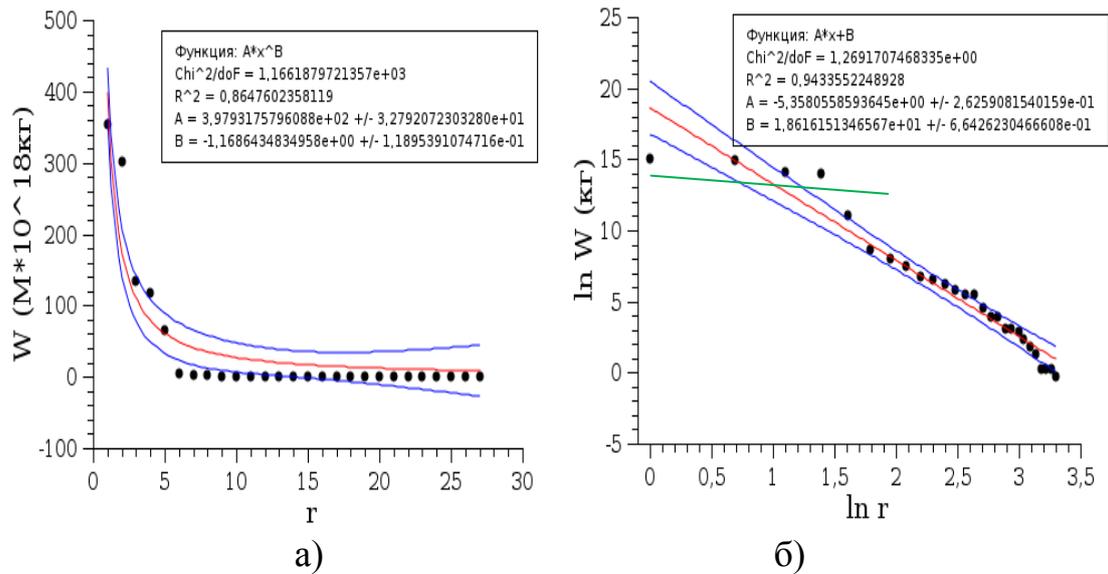


Рис. 6.7. Ранговое распределение спутников Урана по массам. W – массы спутников, r – их ранговый номер; 1 – Титания, 2 – Оберон, 3 – Ариэль, 4 – Умбаризель, 5 – Миранда; $A = 397,9 \pm 32,8$; $\beta = 1,16 \pm 0,12$:
 а) график $W(r)$, $R^2 = 0,86$; б) график $\ln W = f(\ln r)$, $R^2 = 0,94$ [73, с. 178]

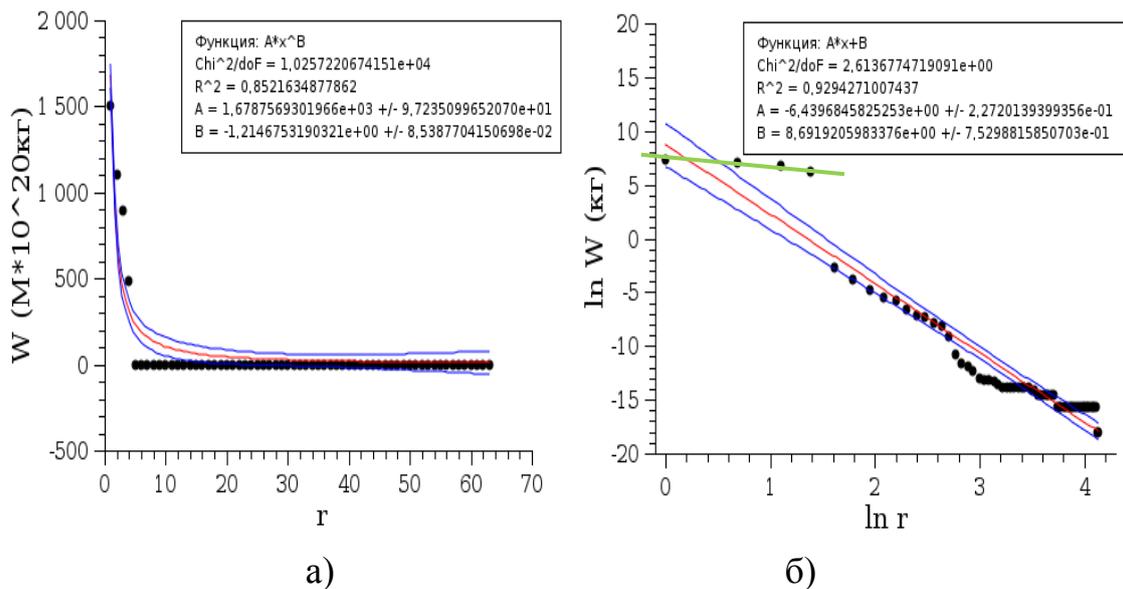


Рис. 6.8. Распределение спутников Юпитера по массам $W(r)$ ($M \cdot 10^{20} \text{ кг}$) со спрямлением в двойном логарифмическом масштабе $\ln W = f(\ln r)$; 1 – Ганимед, 2 – Каллисто, 3 – Ио, 4 – Европа; $A = 1680 \pm 0,97$, $\beta = 1,21 \pm 0,085$:
 а) график $W(r)$, $R^2 = 0,85$; б) график $\ln W = f(\ln r)$, $R^2 = 0,93$ [73, с. 178]

На рис. 6.8 (б) видно, что четыре самых массивных Галлилеевых спутника: Ганимед, Каллисто, Ио, Европа – явно выделяются в виде отдельной подсистемы.

Выпадение эмпирических точек из доверительных интервалов в нижней части графиков РР (рис. 6.8) свидетельствует либо о недостаточно полной информации о системах (еще не все объекты ценоза открыты), либо о недостаточно точных измерениях параметров мелких спутников системы. Если со временем дополнится информация о новых объектах системы или увеличится точность измерений, дополненное реальное ранговое распределение будет лучшим образом отражать ЗРР (1.1).

Приведенные результаты демонстрируют прогностические возможности рангового анализа:

- можно ожидать, что планетные системы других звезд имеют подобную модель, т.е. подчиняются ЗРР, но с другими параметрами A , β ;
- можно предсказывать существование еще не открытых космических объектов или предсказывать недоступные измерениям параметры известных объектов.

6.2. Применение рангового анализа к определению параметров гипотетических планет Солнечной системы Фэтона и Койпера (планеты X)

Упоминания о гипотетической планете Прозерпине (Немезиде, Тихе, Нибиру), существующей за орбитой Плутона, встречается в работах астрономов разных периодов. Например, в «Справочнике любителя астрономии» (1971 г.) было высказано предположение о существовании трансплутонической планеты с периодом обращения 675.7 года, большой полуосью 77.0 а.е., с углом наклона – 38.0 и значительной массой – на базе расчетов возмущений в движении других планет Солнечной системы, которые не могли быть следствием влияния уже открытых тел [108, с. 78]. Это утверждение согласуется с выводами астрономов Паведы и Лары, которые недавно уточнили формулу Тициуса и Боде для средних радиусов орбит планет Солнечной системы, и по их уточненной формуле Солнечная система должна включать еще одну планету в пределах пространства пояса Койпера [177]. Следовательно, вполне возможно, что непосредственно пояс астероидов Койпера является несостоявшейся планетой, либо эта планета существует в этом поясе пока вне зоны видимости.

Существование этой планеты было предсказано также 13 лет назад методом РА при построении РР масс планет СС и при обнаружении его искажений, что свидетельствует о справедливости и адекватности этого метода, а также подтверждает его прогностические возможности в области астрономии.

РА показал: в СС должны существовать еще две довольно крупных планеты, массами около 20-30 масс Земли. Одна из них – планета Фэтон, существующая поныне в виде пояса астероидов между Юпитером и Марсом, другая – планета пояса Койпера [178-181]. Поэтому сообщение М. Брауна и К. Батыгина о существовании планеты X в поясе Койпера не явилось сенсацией [182].

К поиску гипотетических планет был привлечен новый в астрономической практике инструмент исследования – метод РА, или *ценологический подход*, разработанный для технических систем более 30 лет назад профессором Б.И. Кудриным (www.kudrinbi.ru) – основателем ценологической школы [16-23]. Выше была изложена суть метода РА и возможности прогнозирования с его помощью. Напомним, что ядром метода РА является закон гиперболического РР (1.1):

$$W = \frac{A}{r^\beta}, \quad (1.1)$$

где W – ранжируемый параметр объектов ценоза; r – их ранговый номер в порядке убывания W ; A – максимальное значение W с рангом $r = 1$, β – ранговый коэффициент, определяющий крутизну гиперболы.

6.2.1. Определение масс гипотетических планет Фэтона и Койпера (планеты X) методом РА [178-181]

В РР масс планет Солнечной системы обнаружены отклонения в эмпирической кривой РР по сравнению с аппроксимационной (1.1) [178-180]. Рис. 6.9 (а) иллюстрирует график РР масс девяти планет Солнечной системы с аппроксимацией. Точка $r = 1$ соответствует первой, самой массивной планете СС – Юпитеру. Точка $r = 9$ – девятая планета в РР – Плутон. Точки довольно хорошо ложатся на гиперболу: коэффициент регрессии $R^2 = 0,981$, ранговый коэффициент показывает довольно большую крутиз-

ну гиперболы $\beta = 2,5$. Однако видно, что точка $r = 2$, соответствующая массе планеты Сатурн, выбивается из графика. Было высказано предположение о неполноте нашей планетной системы – существовании двух планет между Марсом и Юпитером и в поясе Койпера. При добавлении двух точек в графиках РР, соответствующих гипотетическим планетам Солнечной системы на места $r = 3$ и $r = 4$ (рис. 6.9, б), видно, что 11 точек лучше ложатся на аппроксимационную кривую РР.

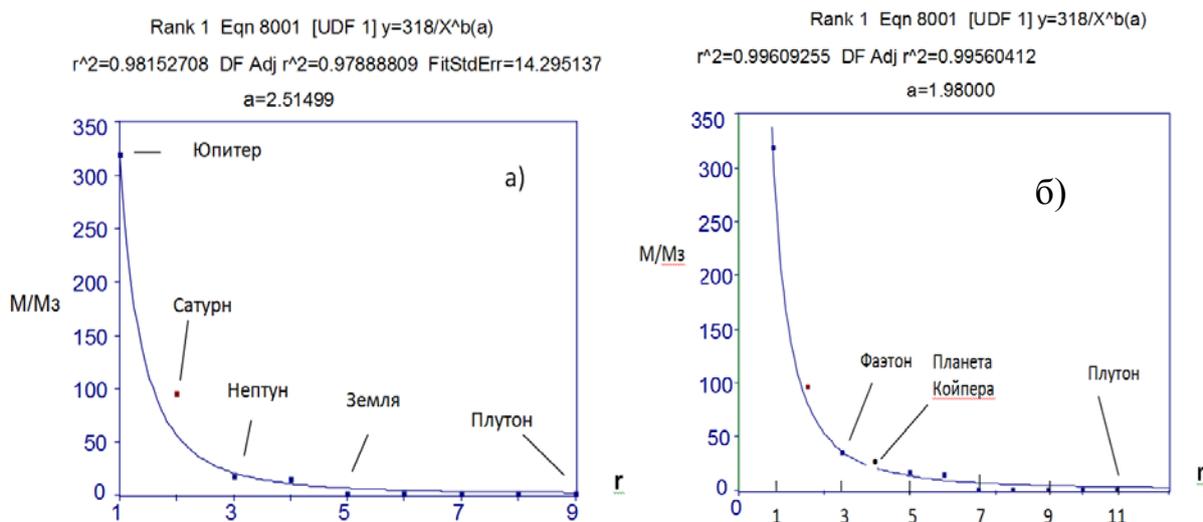


Рис. 6.9. РР масс планет Солнечной системы $W(r)$ в M/M_{\odot} :

а) 9 планет, $R^2 = 0,981$;

б) 11 планет с добавлением двух гипотетических планет с ранговыми номерами $r = 3$ и $r = 4$ (Фэтона и планеты пояса Койпера), $R^2 = 0,996$ [180]

При этом график РР растянулся, крутизна гиперболы закономерно уменьшилась: $\beta = 1,98$, а коэффициент регрессии увеличился $R^2 = 0,996$ (близок к 1). По этому графику определены массы гипотетических планет Фэтона и планеты пояса Койпера (последнюю далее называем в целях сокращения «планетой Койпера»), которые составляют $20 M_{\odot}$ и $30 M_{\odot}$ [180]. При этом Плутон, которого в 2006 году лишили статуса планеты, согласно РА может быть отнесен и к планетам, и к планетоидам [67, 69].

Эти доводы подтверждаются эмпирической формулой Тициуса и Боде для радиусов орбит планет Солнечной системы (включая Плутон), которая предполагает существование еще одной планеты Солнечной системы – Фэтона, между Юпитером и Марсом, которая распалась. По расче-

там Титиуса и Бодде была открыта («на кончике пера») малая планета Церера и целый пояс астероидов между Юпитером и Марсом.

Отметим, что график РР не дает возможности определить, какой конкретно из 2-х гипотетических планет (Фаэтону или планете Койпера) можно приписать значения масс $30 M_3$ и $20 M_3$. Это станет известным после реального обнаружения и измерения приборами параметров планеты Койпера.

6.2.2. Определение орбитальных характеристик планеты Койпера методом РА с помощью программного пакета Excel

Ценологический подход был применен для определения орбитальных характеристик планеты Койпера: большой полуоси и сидерического периода [181].

А) Определение величины большой полуоси планеты Койпера

Было составлено табулированное РР известных 9 планет Солнечной системы, включая Плутон (табл. 6.1). При этом ряд известных значений больших полуосей 9 планет Солнечной системы распределяется по рангу от 2 до 10. Большие полуоси ранжируются по их убыванию. Ранг № 1 остается пустым, он предназначается самой дальней планете Койпера. Плутон занимает второе место $r = 2$, Нептун занимает третье $r = 3$ и так далее, Меркурий, самая ближняя к Солнцу планета, – на последнем, 10 месте.

Таблица содержит 4 колонки цифр, позволяющих построить два графических РР $W(r)$ и $\lg W(\lg r)$. Компьютерная программа строит графики, работая с набором значений от $r = 2$ до $r = 10$, то есть с девятью точками. При заполнении табл. 6.1 на графиках (рис. 6.10) прорисовываются соответствующие эмпирические точки, кроме точки $r = 1$ на графике (а) и точки $\lg r = 0$ на графике (б).

Программа аппроксимирует эмпирические точки 2-10, при этом в легенде графика $W(r)$ для этих значений отображается степенная функция:

$$y = 781,06x^{-3,1}.$$

Или в обозначениях параметров, принятых в РА:

$$W = 781,06/r^{-3,1}.$$

Формула показывает крутизну гиперболы $\beta = 3,1$. При $r = 1$ значение W – максимальное, то есть $W_{\max} = y_{\max} = 781,06$. Это и будет значение искомой величины – большой полуоси планеты X. Эту цифру вбиваем в первую строку второй колонки таблицы, соответствующей $r = 1$. Программа аппроксимирует все 10 эмпирических точек и продолжает тренд теоретической кривой до пересечения с осью ординат – на графике $W(r)$ появляется искомая точка, соответствующая рангу 1, то есть планете X.

Цифру 0 вбиваем в первую строку третьей колонки таблицы ($\lg r$), так как $\lg 1 = 0$. Соответственно на линеаризованном логарифмическом графике появляется искомая точка, соответствующая координатам $\lg 1 = 0$, $\lg W = 2,910090546$.

Таблица 6.1

Табулированное РР десяти планет Солнечной системы по большим полуосям, включая планету X без Фэтона

r	Большая полуось W, а.е.	lg r	lg W	Название планеты
1	781,06	0	2,910090546	Планета Койпера (X)
2	39,23107	0,301029996	1,593630153	Плутон
3	30,0209	0,477121255	1,477423708	Нептун
4	19,18722	0,602059991	1,283012055	Уран
5	9,58378	0,698970004	0,981536836	Сатурн
6	5,20441	0,77815125	0,716371503	Юпитер
7	1,52363	0,84509804	0,182879515	Марс
8	1	0,903089987	0	Земля
9	0,72333	0,954242509	-0,140663522	Венера
10	0,3871	1	-0,412176829	Меркурий

На рис. 6.10 представлены РР больших полуосей 10 планет Солнечной системы, включая планету Койпера $r = 1$ и Плутон $r = 2$.

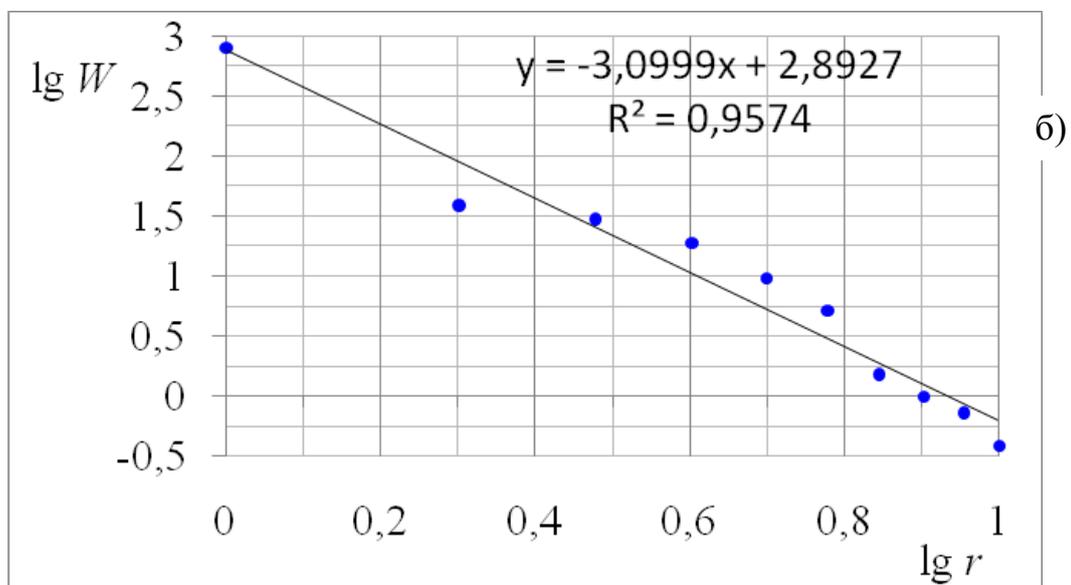
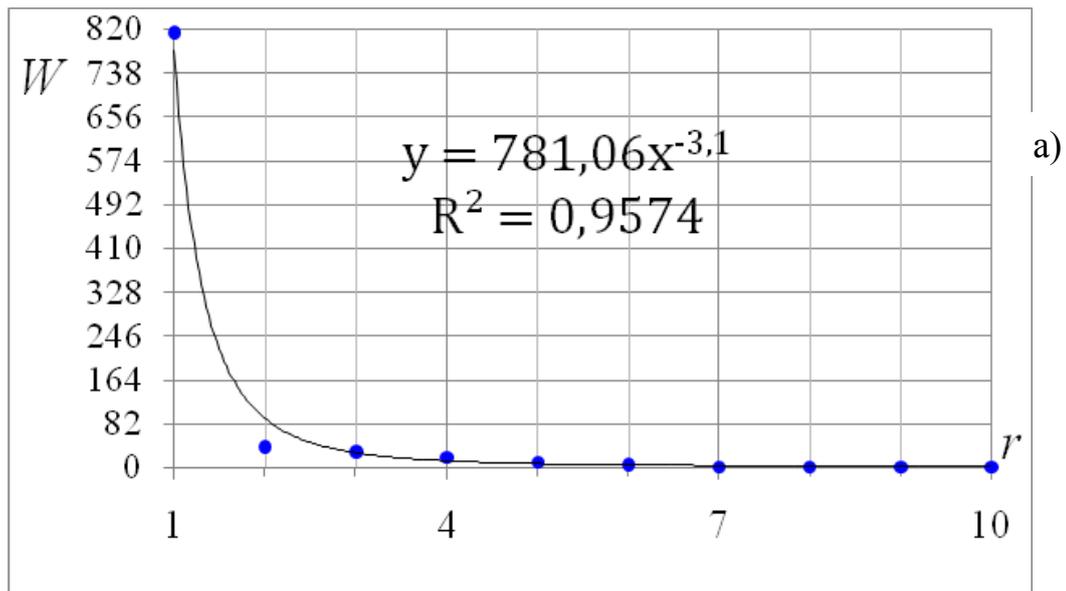


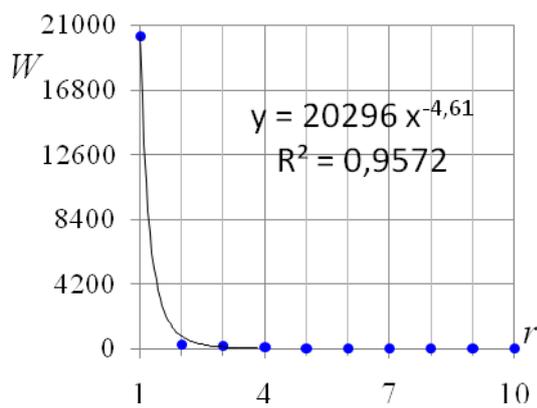
Рис. 6.10. Ранговое распределение 10 планет Солнечной системы по большим полуосям, включая планету Койпера (X), $r = 1$, без Фэтона:
 а) РР $W(r)$; б) РР в двойном логарифмическом масштабе:
 1 – планета Койпера (X), 2 – Плутон, 3 – Нептун, 4 – Уран ... 10 – Меркурий

Б) Определение периода обращения планеты Койпера вокруг Солнца
 Подобные операции с данными сидерических периодов планет Солнечной системы приводят к результатам, отраженным в таблице 6.2 и на графиках (рис. 6.11).

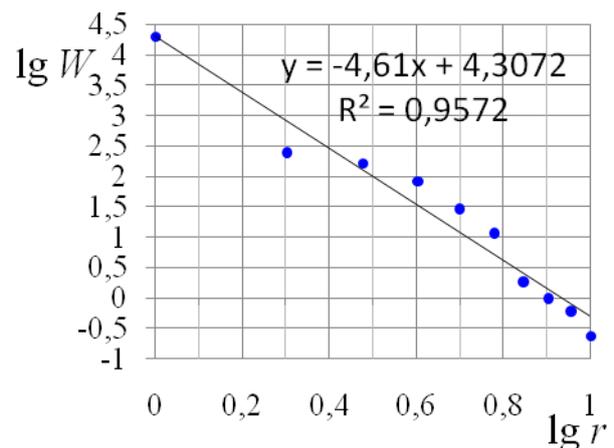
Таблица 6.2

PP планет СС по периодам, включая планету X ($r = 1$)

Ранг r	Период W , лет	$\lg r$	$\lg W$	Название планеты Солнечной системы
1	20296	0	4,307	Планета Койпера (X)
2	248,09	0,301029996	2,394609259	Плутон
3	164,79	0,477121255	2,216930854	Нептун
4	84,01	0,602059991	1,924330985	Уран
5	29,46	0,698970004	1,469232743	Сатурн
6	11,862	0,77815125	1,07415792	Юпитер
7	1,881	0,84509804	0,274388796	Марс
8	1	0,903089987	0	Земля
9	0,615	0,954242509	-0,211124884	Венера
10	0,241	1	-0,617982957	Меркурий



а)



б)

Рис. 6.11. PP десяти планет Солнечной системы по периодам, включая планету Койпера (X), $r = 1$, без Фэтона:

а) PP $W(r)$; б) PP в двойном логарифмическом масштабе:

1 – планета Койпера (X), 2 – Плутон, 3 – Нептун, 4 – Уран ... 10 – Меркурий

Наши данные примерно совпали с данными, полученными астрономами Майклом Брауном и Константином Батыгиным из Калифорнийского технологического института, опубликовавшими результаты своих работ в журнале *The Astronomical Journal* [182]. Это еще раз доказывает верность метода РА и справедливость ценологической теории на мегауровне. Их расчеты показали, что ее масса в 10 раз больше массы Земли, планета уда-

ляется от Солнца на максимальное расстояние ~700 а.е. и делает полный оборот вокруг Солнца за 10-20 тыс. лет [182]. В силу такой удаленности от Солнца планета не видна.

В итоге представляем сравнительную табл. 6.3 параметров планеты Койпера (X), полученных методом РА и Брауном и Батыгиным.

Таблица 6.3

Сравнительная таблица орбитальных параметров планеты Койпера (X), определенных методом РА для 10 планет Солнечной системы и по данным Брауна и Батыгина

Метод определения	Масса планеты (X), M/M_3	Сидерический период, лет	Большая полуось (а.е.)
Метод РА без учета планеты Фэтон	20-30 масс Земли	~20000	~800
Метод, используемый Брауном и Батыгиным	10 масс Земли	15000±5000	~700

Для сравнения подобная работа была проделана с моделью Солнечной системы из 11 планет, включая на место $r = 7$ планету Фэтон и на место $r = 1$ планету X, параметры астероида Цереры (значения периода обращения и большой полуоси) взяты за параметры Фэтона. Результаты представлены в табл. 6.4 и на рис. 6.12.

Таблица 6.4

**PP больших полуосей и сидерических периодов планет Солнечной системы, включая планету Койпера (X) и Фэтон;
W – величина большой полуоси в а.е.**

r	W, а.е.	Период W, лет	Планета
1	597	14687	Планета X
2	39,231	248,09	Плутон
3	30,021	164,79	Нептун
4	19,187	84,01	Уран
5	9,5838	29,46	Сатурн
6	5,2044	11,862	Юпитер
7	2,7653	4,6	Фэтон
8	1,5236	1,881	Марс
9	1	1	Земля
10	0,7233	0,615	Венера
11	0,3871	0,241	Меркурий

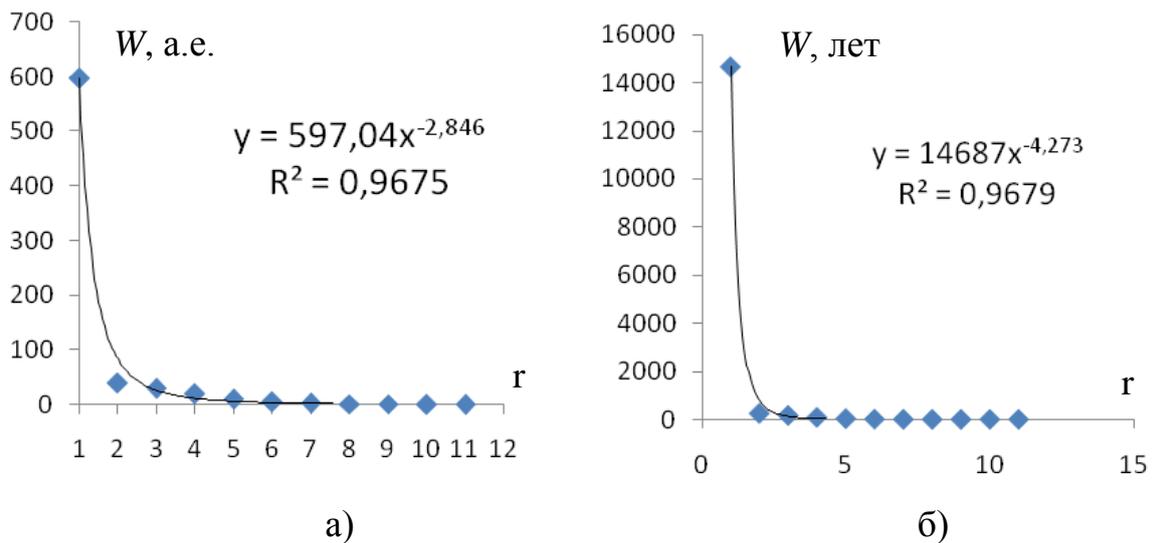


Рис. 6.12. РР больших полуосей (а) и сидерических периодов (б) 11 планет Солнечной системы, включая Фэтон и планету X:

1 – планета Койпера (X), 2 – Плутон, 3 – Нептун ... 6 – Юпитер, 7 – Фэтон (Церера), 8 – Марс, 9 – Земля, 10 – Венера, 11 – Меркурий

С включением Фэтона в модель Солнечной системы орбитальные параметры планеты Койпера (X) уменьшились, крутизна гиперболы несколько уменьшилась. Однако орбитальные параметры близки к параметрам, полученным Бутыгиным и Брауном (табл. 6.5).

В итоге представляем сравнительную табл. 6.5 параметров планеты Койпера (X), полученных методом РА и Брауном и Батыгиным.

Таблица 6.5

Сравнительная таблица орбитальных параметров планеты Койпера (X), определенных методом РА для 11 планет Солнечной системы, и по данным Брауна и Батыгина

Метод определения	Масса планеты Койпера (X)	Период обращения вокруг Солнца, лет	Большая полуось (а.е.)
Метод рангового анализа с учетом планеты Фэтон	20-30 масс Земли	~15000	~600
Метод, используемый Брауном и Батыгиным	10 масс Земли	15000±5000	~700

Таким образом:

- Результаты проведенного РА свидетельствуют о существовании трансурановой планеты. Возможность того, что **Солнце** имеет еще одну крупную планету с массой около 20-30 M_{\oplus} , органично вписывается ценологической теорией и ранговым анализом в астрономическую модель нашей СС с десятью и одиннадцатью планетами. Ее период обращения вокруг Солнца согласно РА ~15000-20000 лет; большая полуось ~700-800 а.е.

- Результаты ценологической теории по оценке параметров планеты Койпера (X) согласуются с теоретическими предсказаниями М. Брауна и К. Батыгина 2015 года с разницей оценки массы этой планеты в 2-3 раза.

- Полученные результаты подтверждают справедливость и адекватность ценологической теории Б.И. Кудрина не только для техноценозов на макроуровне, но и для космических ценозов на мегауровне, а также подтверждают ее прогностические возможности.

- Однако в научном мире новая планета X Солнечной системы будет признана только после того, как она будет реально зафиксирована приборами (в том числе обнаружена визуально), то есть когда это будет доказано на практике.

6.3. Синергетика экзопланетных систем

Статистические методы обработки научной информации с использованием новых информационных технологий открывают большие возможности для исследования экзопланетных систем (ЭПС). В настоящее время открыто более 3000 экзопланет. Огромные возможности для этого предоставляет сайт «Планетные системы allplanets.ru», на котором можно найти орбитальные и физические параметры всех известных внесолнечных планетных систем и их звезд. Эмпирические данные сайта позволили провести исследования методом РА 20 пар экзопланетных систем, среди которых лишь ЭПС HD 10180 HIP созвездия Южной Гидры содержит 9 планет, как Солнечная система. Проведено сравнение этой системы с Солнечной системой и установлена идентичность с высокой степенью точности в РР планет по массам, сидерическим периодам, большим полуосям орбит [183].

В главе 1 показано, что эмпирические РР космических объектов, в том числе планет СС по массам, орбитальным периодам вращения, большим полуосям орбит, диаметрам планет аппроксимируются гиперболой (1.1). На рис. 6.13 (а) представлен график РР масс планет СС с делением на 2 подсистемы и аппроксимацией.

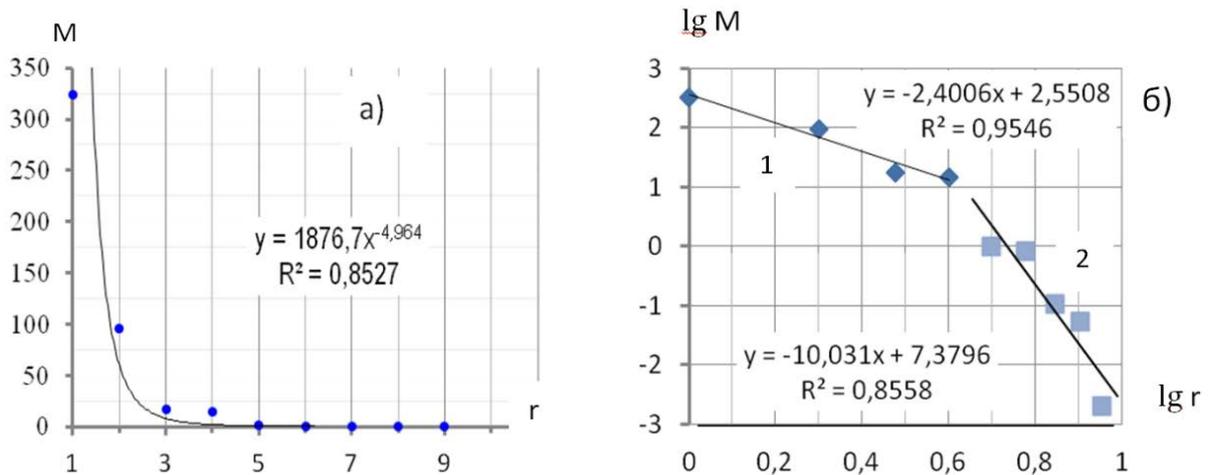


Рис. 6.13. Гиперболическое РР девяти масс планет Солнечной системы, включая Плутона:

- а) $M(r)$, где M – масса планеты в массах Земли (M/M_3);
 б) линеаризированный график $\lg M = f(\lg r)$ с изломом, где 1 – планеты-гиганты;
 2 – планеты земной группы [183, с. 529]

Точка $r = 1$ соответствует Юпитеру. Точка $r = 9$ – Плутому. Эмпирические точки ложатся на гиперболу с высокой степенью аппроксимации: коэффициент регрессии $R = 0,92$. Ранговый коэффициент β показывает довольно большую крутизну гиперболы $\beta = 5$.

При этом ЭПС HD 10180 HIP 7599 из созвездия Южной Гидры находится на расстоянии 39,4 пк от Солнца. Ее параметры близки к солнечным: масса звезды – 1,06 солнечных масс, эффективная температура – 5911 К, возраст – 4,3 млрд лет. Построены РР экзопланет этой системы по массам (рис. 6.14) [173].

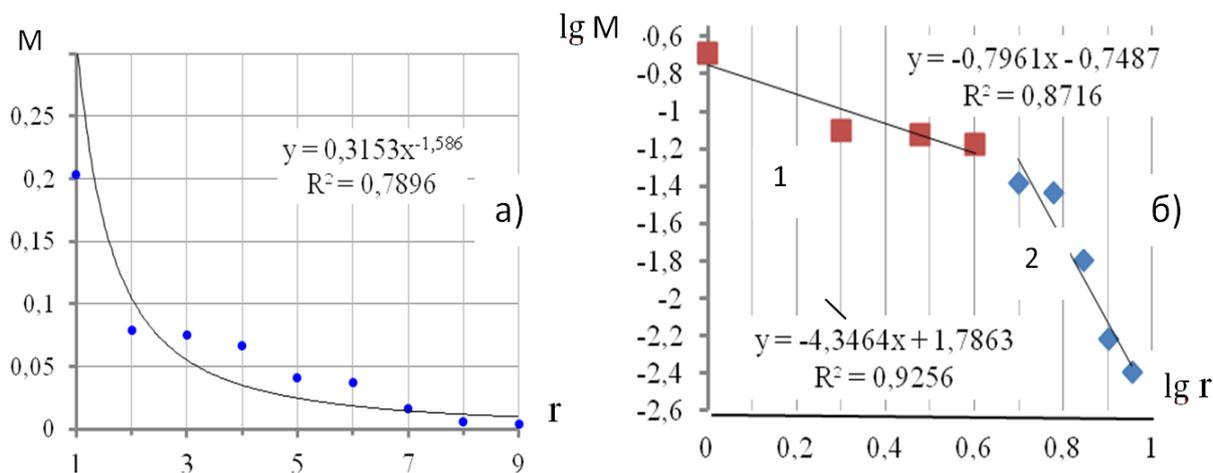


Рис. 6.14. Гиперболическое РР девяти масс планет звезды HD 10180 HIP:
 а) $M(r)$, где M – масса планеты в массах Юпитера ($M/M_{\text{Ю}}$);
 б) линеаризованный график $\lg M = f(\lg r)$ с изломом;
 1 – газовые гиганты, 2 – планеты земной группы [183, с. 530]

Закономерно возникают вопросы. Случайно ли такое совпадение? Каково РР подобных параметров у других ЭПС?

Одной из важных задач исследования являлось изучение с применением РА нескольких десятков ЭПС и сравнение их РР. Новым в исследовании являлось включение метода линейной корреляции Пирсона для их сравнения. Обработка результатов производилась с использованием программы Excel. Результаты исследований 20 пар ЭПС – РР планет по различным параметрам иллюстрируются в табл. 6.6.

Сочетание этих двух методов позволило провести сравнение РР экзопланетных систем и установить их идентичность с высокой степенью точности в ранговых распределениях по массам, радиусам планет, сидерическим периодам, большим полуосям орбит. Сравнительный анализ РР исследованных систем проводился методом корреляционного анализа Пирсона [125], который устанавливает тесноту связи между выборками значений параметров x и y .

Результаты исследования 20 пар РР по массам, радиусам и большим полуосям экзопланет представлены в табл. 6.6-6.10. Коэффициент Пирсона r_{xy} рассчитывается по формуле (3.2).

Таблица 6.6

Результаты сравнения РР экзопланет по массам методами РА и Пирсона; R^2 – квадрат коэффициента регрессии; β – ранговый коэффициент в РР

N	Название РР планетарных систем	Кол-во планет	β	R^2	Коэфф-т Пирсона r_{xy}
1	Солнечная система и HD 10180 HIP 7599	9	2,08	0,999	0,936
		9	1,58	0,789	
2	Kepler-11 KIC 6541920 KOI-157 и Kepler-20 KOI-70 KIC 6850504	6	1,48	0,959	0,861
		6	0,79	0,667	
3	55 Cancri HD 75732 HIP 43587 и tau Ceti HD 10700 HIP 8102	5	2,90	0,950	0,937
		5	0,66	0,935	
4	Kepler-20 KOI-70 KIC 6850504 и HD 219134 HIP 114622 HR 8832	6	0,79	0,667	0,784
		6	1,75	0,956	
5	Kepler-62 KOI-701 KIC 9002278 и Kepler-102 KOI-82 KIC 10187017	5	1,33	0,821	0,836
		5	0,64	0,984	
6	Kepler-11 KIC 6541920 KOI-157 и HD 40307 HIP 27887 GJ 2046	6	1,48	0,959	0,920
		6	0,54	0,922	

Таблица 6.7

Результаты сравнения РР экзопланет по радиусам методами РА и Пирсона; R^2 – квадрат коэффициента регрессии; β – ранговый коэффициент в РР

N	Название планетарных систем	Кол-во планет	β	R^2	Коэфф-т Пирсона r_{xy}
1	Kepler-90 KOI-351 KIC 11442793 и Солнечная система (без Плутона)	8	1,15	0,935	0,979
		8	1,73	0,878	
2	Kepler-11 KIC 6541920 KOI-157 и Kepler-20 KOI-70 KIC 6850504	6	0,40	0,853	0,942
		6	0,72	0,874	
3	Kepler-154 KOI-435 KIC 11709124 и Kepler-169 KOI-505 KIC 5689351	5	1,01	0,994	0,898
		5	0,56	0,898	
4	Kepler-89 KOI-94 KIC 6462863 и Kepler-87 KOI-1574 KIC 10028792	4	1,24	0,888	0,968
		4	1,60	0,952	

Результаты сравнения 20 пар РР планет ЭПС по большим полуосям методами РА и Пирсона также показали высокую степень корреляции РР и высокие значения коэффициента Пирсона: $r_{xy} = 0,813 - 0,999$ (табл. 6.8).

Таблица 6.8

Результаты сравнения РР экзопланет по большим полуосям методами РА и Пирсона; R^2 – квадрат коэффициента регрессии; β – ранговый коэффициент в РР

N	Название планетарных систем	Кол-во планет	β	R^2	Коэфф-т Пирсона r_{xy}
1	Солнечная система и HD 10180 HIP 7599	9	2,23	0,866	0,918
		9	2,11	0,943	
2	Kepler-90 KOI-351 KIC 11442793 и Солнечная система (без Плутона)	8	1,28	0,846	0,966
		8	2,19	0,912	
3	Kepler-11 KIC 6541920 KOI-157 и Kepler-20 KOI-70 KIC 6850504	6	0,89	0,984	0,994
		6	1,11	0,965	
4	Kepler-80 KOI-500 KIC 4852528 и HD 40307 HIP 27887 GJ 2046	6	0,86	0,804	0,923
		6	1,31	0,954	
5	Kepler-122 KOI-232 KIC 4833421 и Kepler-150 KOI-408 KIC 5351250	5	0,89	0,888	0,813
		5	2,09	0,970	
6	Kepler-154 KOI-435 KIC 11709124 и Kepler-169 KOI-505 KIC 5689351	5	2,07	0,954	0,997
		5	1,28	0,969	
7	Kepler-186 KOI-571 KIC 8120608 и Kepler-238 KOI-834 KIC 5436502	5	1,45	0,985	0,935
		5	1,17	0,898	
8	Kepler-62 KOI-701 KIC 9002278 и Kepler-55 KOI-904 KIC 8150320	5	1,64	0,943	0,978
		5	1,22	0,906	
9	Kepler-444 KOI-3158 KIC 6278762 и Kepler-84 KOI-1589 KIC 5301750	5	0,40	0,928	0,982
		5	0,94	0,935	
10	Kepler-296 KOI-1422 KIC 11497958 и Kepler-292 KOI-1364 KIC 6962977	5	0,95	0,943	0,999
		5	0,86	0,958	

Пример расчета коэффициента Пирсона для двух РР по массам планет СС (W_H, x_i) и ЭПС HD 10180 HIP 7599 созвездия Южной Гидры (W_S, y_i) с использованием программы Excel приведен в табл. 6.9.

Таблица 6.9

**Сравнение методом Пирсона ранговых распределений СС
с системой Гидры по массам**

W_H, x_i	W_S, y_i	Δx_i	Δy_i	$\Delta x_i \Delta y_i$	$(\Delta x_i)^2$	$(\Delta y_i)^2$
0,203	317,83	0,1443	268,1996	38,7101	0,0209	71931,05
0,079	95,159	0,0203	45,5286	0,9257	0,0004	2072,857
0,075	17,204	0,0163	-32,4264	-0,5296	0,0002	1051,469
0,067	14,5	0,0083	-35,1303	-0,2928	6,94E-05	1234,142
0,041	1	-0,0177	-48,6303	0,8591	0,000312	2364,912
0,037	0,815005	-0,0217	-48,8154	1,0577	0,0005	2382,939
0,016	0,10745	-0,0427	-49,5229	2,1130	0,0018	2452,518
0,006	0,055274	-0,0527	-49,5751	2,6109	0,0027	2457,689
0,004	0,0025	-0,0547	-49,6279	2,7129	0,0029	2462,924

Σx_i	Σy_i	$\langle x \rangle$	$\langle y \rangle$	$\Sigma \Delta x_i \Delta y_i$	$\Sigma (x_i^2)$	$\Sigma (y_i^2)$	r_{xy}
0,528	446,6732	0,0587	49,6304	48,1672	0,0299	88410,5	0,9361

Пример расчета коэффициента Пирсона для двух РР по массам планет этих же двух планетных систем в логарифмических координатах $\lg W_H, x_i$ (Гидра) и СС ($\lg W_S, y_i$) приведен в табл. 6.10.

Таблица 6.10

**Сравнение методом Пирсона ранговых распределений
Солнечной системы с системой Гидры по массам
в двойном логарифмическом масштабе**

$\lg W_H, x_i$	$\lg W_S, y_i$	Δx_i	Δy_i	$\Delta x_i \Delta y_i$	$(\Delta x_i)^2$	$(\Delta y_i)^2$
-0,6925	2,5022	0,7884	2,2844	1,8011	0,6216	5,2183
-1,1024	1,9784	0,3786	1,7606	0,6665	0,1433	3,0998
-1,1249	1,2356	0,3559	1,0178	0,3623	0,1267	1,0359
-1,1739	1,1614	0,3070	0,9435	0,2897	0,0943	0,8903
-1,3872	0	0,0937	-0,2178	-0,0204	0,0088	0,0475
-1,4318	-0,0888	0,0491	-0,3067	-0,0151	0,0024	0,09405
-1,7958	-0,9688	-0,3149	-1,1866	0,3737	0,0992	1,4081
-2,2218	-1,2575	-0,7409	-1,4753	1,0931	0,5489	2,1765
-2,3979	-2,6021	-0,9170	-2,8199	2,5859	0,8409	7,9518

Σx_i	Σy_i	$\langle x \rangle$	$\langle y \rangle$	$\Sigma \Delta x_i \Delta y_i$	$\Sigma (x_i^2)$	$\Sigma (y_i^2)$	r_{xy}
-13,3284	1,9605	-1,4809	0,2178	7,1367	2,4862	21,9221	0,966704

Из табл. 6.9 и 6.10 следует: $\langle r_{xy} \rangle = 0,95$, то есть обнаруживается сильная идентичность между РР по массам планет двух 9-планетных систем нашей Галактики, несмотря на изломы в их РР (рис. 6.13, б; 6.14, б). То есть подсистемы идентифицируются с высокой степенью корреляционной связи.

Примеры графиков РР с аппроксимацией формулой (1.1) (рис. 6.15-6.20) иллюстрируют вышесказанное с высокой степенью достоверности – квадрат коэффициента регрессии R^2 колеблется в пределах 0,79-0,99. Разброс в значениях рангового коэффициента $\beta = 0,54-4,9$ свидетельствует о большом разнообразии крутизны гиперболических РР экзопланетных систем.

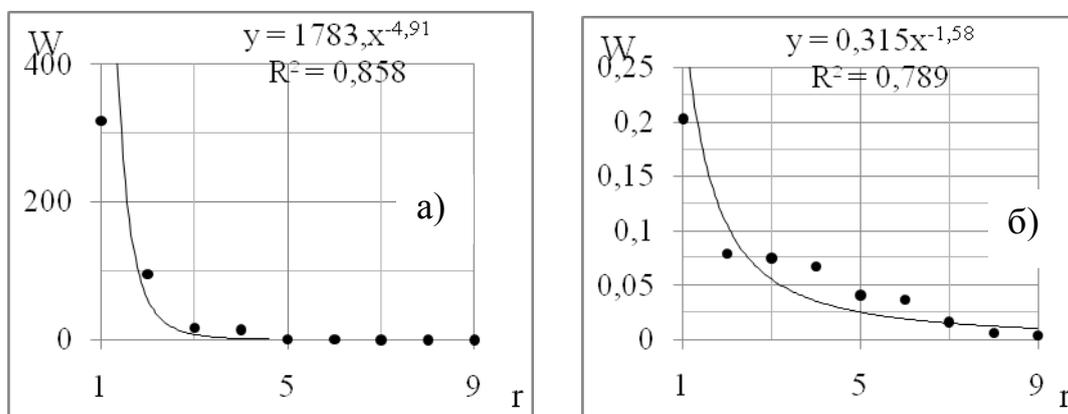


Рис. 6.15. РР девяти планет Солнечной системы по массам (а) и системы HD 10180 HIP 7599 (б);

W – масса планеты в массах Юпитера; коэффициент Пирсона $r_{xy} = 0,936$

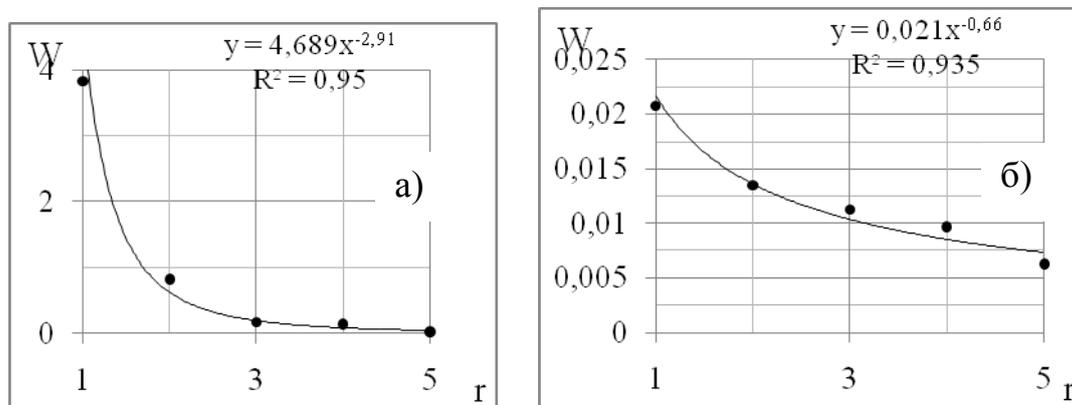


Рис. 6.16. РР $W(r)$: по массам 55 Cancri HD 75732 HIP 43587 и tau Ceti HD 10700 HIP 8102; W – масса планеты в массах Юпитера; коэффициент Пирсона $r_{xy} = 0,937$

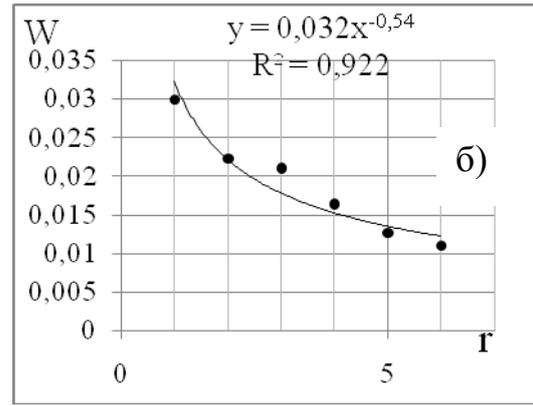
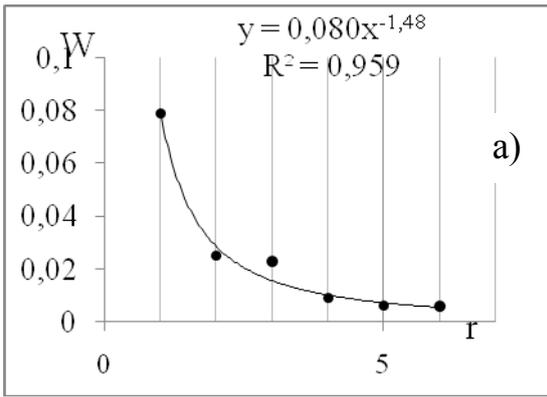


Рис. 6.17. PP масс планет W (r) ЭПС

Kepler-11 KIC 6541920 KOI-157 (a) и HD 40307 HIP 27887 GJ 2046 (б);
 W – масса планеты в массах Юпитера ($M/M_{\text{Ю}}$); коэффициент Пирсона $r_{xy} = 0,920$

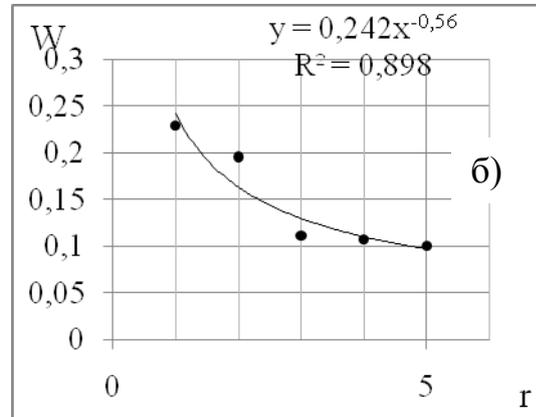
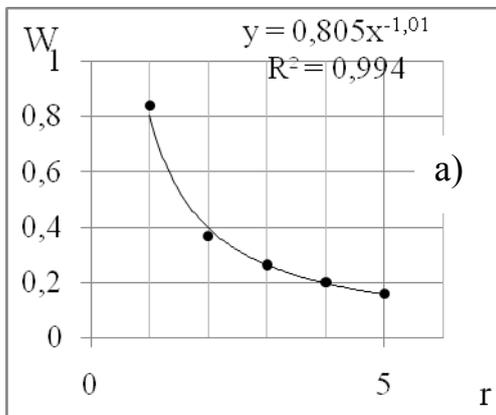


Рис. 6.18. PP пяти планет по радиусам ЭПС

Kepler-154 KOI-435 KIC 11709124 (a) и Kepler-169 KOI-505 KIC 5689351 (б)
 W – радиус планеты в радиусах Юпитера; коэффициент Пирсона $r_{xy} = 0,898$

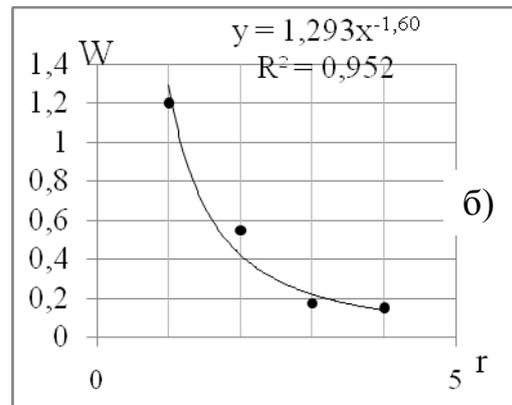
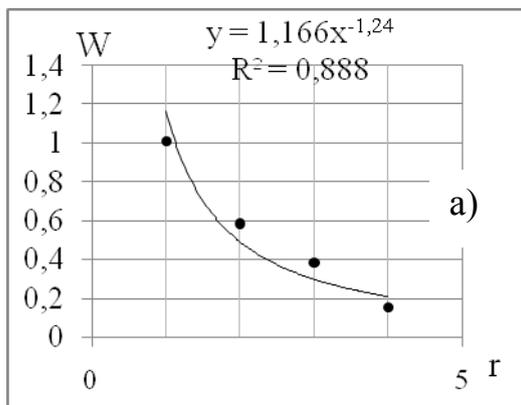


Рис. 6.19. PP четырех планет по радиусам ЭПС Kepler-89 KOI-94 KIC 6462863 (a) и Kepler-87 KOI-1574 KIC 10028792 (б); W – радиус планеты в радиусах Юпитера; коэффициент Пирсона $r_{xy} = 0,968$

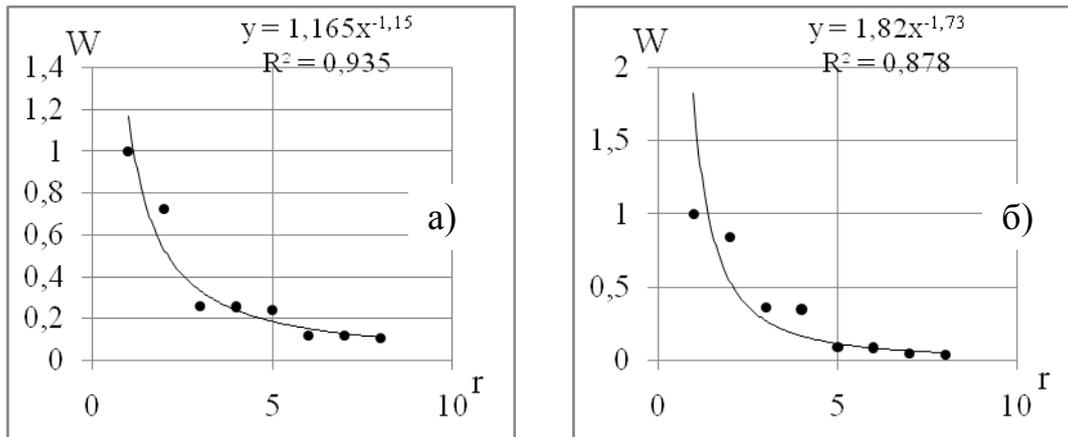


Рис. 6.20. РР 8 планет по радиусам в ЭПС Kepler-90 KOI-351 KIC 11442793 (а) и в Солнечной системе (без Плутона) (б); W – радиус планеты в радиусах Юпитера; коэффициент Пирсона $r_{xy} = 0,979$

Таким образом:

- Обнаружены соответствия параметрических РР внесолнечных планетных систем, планет Солнечной системы гиперболическому закону РР (1.1) с высокими коэффициентами регрессии и высокими значениями коэффициентов Пирсона.
- Исследования РР параметров планет Солнечной системы, экзопланет и их орбитальных характеристик показали, что планетные системы нашей Галактики являются жестко детерминированными системами с гиперболическими РР (1.1).
- Обнаружена сильная идентичность между РР по массам планет двух 9-планетных систем нашей Галактики: СС и системы HD 10180 HIP 7599, несмотря на изломы в их РР (рис. 6.13, б; 6.14, б). То есть РР подсистем планет гигантов и планет земной группы в этих системах идентифицируются с высокой степенью корреляционной связи.
- Полученные результаты позволяют сделать вывод о том, что космогонические процессы во Вселенной происходят по строго детерминированному сценарию, а также о законе (1.1) как законе, носящем вселенский характер.

6.4. Место ценологии в современной научной картине мира

6.4.1. О понятиях «научная картина мира» и «система ценологических знаний»

Мир – совокупность всех форм существования материи. Вселенная во всем многообразии [185, с. 333].

Ключевым понятием в определении **картины мира (КМ)** в целом является «представление» или «видение мира», данное еще В. Фон Гумбольдтом. *Картина мира* – это целостный образ мира. КМ – это субъективный образ объективного мира, существующий в человеческом сознании, иначе говоря, это отражение реальности, которое в свою очередь может быть искаженным или нет. Например, *религиозная КМ* – образ мира, сформированный на основе религиозных ненаучных представлений. Научная картина мира (НКМ) – образ мира, сформированный на основе научных знаний [186-188].

Ключевыми словами в интерпретации любой картины мира является слова «представление» и «образ». «*Представление* – чувственно-наглядный, обобщенный образ предметов и явлений действительности, сохраняемый и воспроизводимый в сознании без непосредственного воздействия самих предметов и явлений на органы чувств» [126, с. 457]. *Образ* – результат и идеальная форма отражения предметов и явлений материального мира в сознании человека [126, с. 435].

На рис. 6.21 изображены виды НКМ и их специфические языки.

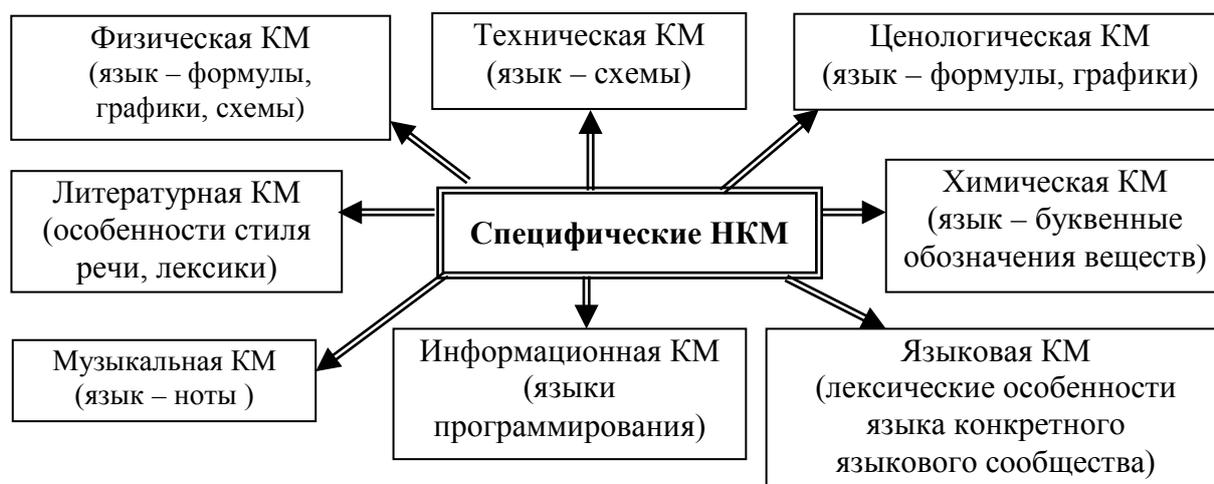


Рис. 6.21. Специфические (частнометодические) научные картины мира и их специфические языки как способы представления соответствующих КМ

Как мы видим, в основе данной классификации – деления НКМ на специфические КМ – лежат языковые особенности представления соответствующих картин мира, а также специфический понятийный аппарат.

Функцией сообщества ученых является добывание новых знаний и их систематизация. Как образ мира, НКМ включает также систему представлений о материальном мире, о его свойствах и атрибутах – пространстве, времени, движении, а также способы описания мира. НКМ аккумулирует в себе все частные картины мира – физическую, техническую, экологическую, астрономическую, историческую, языковую и т.д. Эти виды различаются особенностями отражения реального мира и использованием специфических языков. Например, физическая картина мира (ФКМ) использует язык формул, химическая – буквенные обозначения веществ, информационная – языки программирования, музыкальная – ноты и т.д. [188]. При этом ФКМ, как базирующаяся на фундаментальных науках, является основной и главной по отношению к другим [189-192].

ФКМ рассматривается в историческом аспекте в виде трех картин мира: I – механистической (XVI-XIX вв.), II – электродинамической (XIX – начало XX в.), III – квантово-релятивистской (XX в.). Они отличаются по содержанию теорий, описывающих модели мира и по способам их описания; представлениями о материи (ее формах и свойствах, структуре) и ее атрибутах – пространстве, времени, формах движения; о взаимодействиях; о происхождении и эволюции Вселенной; по уровням изучения природы (первая ФКМ рассматривает макромир и мегамир, во второй добавляется микромир, в третьей ФКМ добавляется наномир) [188, 192]. Три вышеназванные ФКМ являются по сути лишь этапами ее эволюционного исторического развития во времени. Ее этапы и звенья представлены табл. П.6.1 в прил. к главе 6.

Ядром общей и любой частнометодической НКМ является система знаний. Е.С. Кубрякова определяет *знание* как «то, что отложилось в сознании и составляет часть памяти; это не собрание случайных фактов, а набор сведений, объединенных в определенную упорядоченную систему» [191, с. 29]. Для философов *знания* – результат процесса познания действительности, получивший подтверждение в практике; адекватное отражение объективной реальности в сознании человека (представления, понятия, суждения, теории) [185]. Таким образом, «знания – проверенный обществен-

но-исторической практикой и удостоверенный логикой результат процесса познания действительности, адекватное ее отражение в сознании человека в виде представлений, понятий, суждений, теорий» [192, с. 58]. Система *ценологических* знаний и ее структурные компоненты представлены на рис. 6.22.

<p>1. Теоретические знания (ценологическое учение Б.И. Кудрина) Состав теоретических знаний:</p> <ul style="list-style-type: none"> • основные ценологические законы и закономерности: закон ГРР, закон Ципфа, закон Парето, закон разнообразия Эшби, закон иерархических компенсаций Седова и др.; • основные понятия и величины, отражающие ценологические свойства явлений природы, мира, социума (ценоз, особь, ранговое распределение и т.д.); • научные факты и результаты ценологических исследований во всех областях знания; • теоремы (предельная теорема), гипотезы, принципы, постулаты, следствия.
<p>2. Методологические знания, обеспечивающие реализацию научных исследований в области ценологии. Состав:</p> <ul style="list-style-type: none"> • методы и способах освоения содержания научной информации о ценозах; • метод РА как способ исследования ценозов разной природы; • методы познания (аналогия, анализ, синтез и т.д.) и история получения ценологического знания.
<p>3. Оценочные ценологические знания:</p> <ul style="list-style-type: none"> • оценка результатов и сравнение с ценологической теорией; • оценка погрешностей измерений; • оценка состояния систем-ценозов и прогнозирование с помощью РА.
<p>4. Операциональные (процедурные, компетентностные) ценологические знания, то есть знать, как осуществлять на практике:</p> <ul style="list-style-type: none"> • анализ результатов исследований; • прогнозирование состояния систем-ценозов с использованием РА; • оптимизация систем-ценозов (кроме астроценозов).



<p>Результат освоения системы ценологических знаний:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Сформированность целостной ценологической картины мира (естественно-научной на микро-, макро- и мегауровнях, социальной и экономической). • Развитие ценологического мышления. • Приобретение научного целостного ценологического мировоззрения, отражающего современный уровень развития науки о природе и обществе.

Рис. 6.22. Структурные компоненты системы ценологических знаний и их содержание

Схема (рис. 6.22) составлена на основании и по аналогии со структурными компонентами системы физических знаний [188, 191, 192].

Отметим, что свойствами и/или **критериями** любого **научного знания** являются *объективность, достоверность, точность, системность* [194, 195].

К специфическим свойствам ценологического научного знания относятся:

- *применение языка математики для описания ценологических явлений;*
- *наличие специального понятийного аппарата.*

Отметим также, что отличительными признаками *псевдонаучных знаний* являются [194, 195]:

- фрагментарность;
- некритический подход к исходным данным;
- невосприимчивость к критике;
- отсутствие общих законов;
- невоспроизводимость;
- неверифицируемость (или непроверяемость).

Как соотносятся понятия «система знаний», «научная картина мира» и «научное мировоззрение»?

Современная философия выделяет три компонента научного мировоззрения. Ими являются [196]:

- **Онтологический** (онтология – бытие) – воззрение на бытие, отражение бытия в сознании.
- **Аксиологический** (ценностный компонент).
- **Эпистимиологический = гносеологический** (познавательный).

Эпистимиология – теория познания.

НКМ отражает только онтологическую составляющую научного мировоззрения. Таким образом, понятие «научное мировоззрение» шире понятия «научная картина мира» и включает в себя последнее. В свою очередь научные знания являются важной составляющей НКМ, которая как целостный психический образ мира и как модель мира формируется как результат освоения системы научных знаний.

Теории являются методологическими единицами научного знания: в них представлены все уровни научного познания вместе с методологиче-

скими процедурами по получению и обоснованию знания. Научная теория включает, объединяет в себе все другие формы научного познания: ее основной «строительный материал» – *понятия*, они связываются между собой суждениями, из них по правилам логики делаются умозаключения; в основе любой теории лежит одна или несколько *гипотез* (идей), которые являются ответом на значимую проблему (или комплекс проблем); ядром теории являются *законы* (рис. 6.23) [188, 191, 192]:



Рис. 6.23. Структура теории

Функцией сообщества ученых является добывание новых знаний и их систематизация.

Образ мира создается в представлениях сообщества ученых-физиков, в их общественном (коллективном) сознании в результате научной деятельности. При этом этот образ создается на основе системы научных знаний, накопленных сообществом ученых на протяжении существования человечества. В контексте причинно-следственной связи НКМ является следствием, результатом освоения системы научных знаний (рис. 6.24).

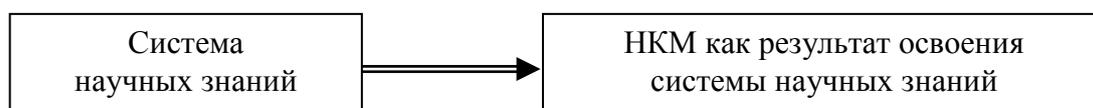


Рис. 6.24. Соотношение понятий «система научных знаний» и «НКМ»

6.4.2. О включении ценологических знаний в содержание образования

Ценология и ценологические представления о реальности фактически стали неотъемлемой частью общей НКМ. Это признано научным сообществом. Их распространение во всех частных НКМ свидетельствует об универсальности закона (1.1), следовательно, его важности в системе научных знаний, на философском уровне и в теории познания. ГРР составляют неотъемлемую часть теоретических знаний. Представления о них формируют адекватное восприятие реального мира. Поэтому включение материала по ценологии при изучении физической, естественно-научной, социальной картин мира и НКМ в целом с целью формирования у учащихся ценологических представлений и, в конечном счете, ценологического мышления является важной и актуальной задачей современного образования [198-200].

Несмотря на вышесказанное, изучение РР не входит в содержание школьных и вузовских программ. Материал по ценологии отсутствует в учебниках по субъективным причинам – инертности, неосведомленности, незаинтересованности, отсутствия должного взаимодействия между сферами науки и образования.

Известно, что научная информация в нашей стране в учебники попадает спустя десятки лет – это факт. Например, школьный учебник астрономии Б.А. Воронцова-Вельяминова для 10-х классов за 1977 год (астрономия изучалась как отдельная дисциплина) в параграфе 34 о картине мироздания представляет для изучения средневековую Ньютоновскую модель Вселенной XVIII века: *«Вселенная в свете научных данных оказывается бесконечной во времени, т.е. вечной и вечно меняющейся. Она никогда не имела начала и никогда не будет иметь конца, она всегда существовала и будет существовать»*. Вызывают особое недоумение выражение «в свете научных данных»: уже в начале двадцатых годов XX века благодаря открытиям Хаббла и Фридмана в науке утвердилась модель нестационарной, невечной и небесконечной, неэвклидовой расширяющейся Вселенной с возрастом 13-15 млрд лет, берущей начало от Большого Взрыва. Опоздание поступления научной информации в наши учебники более чем на 50 лет! Несмотря на объединение министерств науки и образования сроки обновления научных сведений в учебниках не сократились. Отметим, что первые научные

работы по техноценозам появились около 40 лет назад [16-19]. Очевидно (с учетом российских темпов), что мы приближаемся к временному порогу трансформации ценологических научных сведений в содержание образования – учебники и образовательные программы.

Ценологические знания все же распространяются локально в ряде вузов стараниями последователей школы Б.И. Кудрина, но лишь на уровне научных исследований при подготовке бакалавриатских выпускных квалификационных работ, магистерских и кандидатских диссертаций, однако этот процесс носит эпизодический, несистемный характер, и число участников в нем – лишь единицы. Однако описание ценологической составляющей НКМ как целостного фрагмента в научной литературе или как отдельной частнометодической ценологической картины мира в учебниках отсутствует, тем самым НКМ представляется современному обществу неполной и неадекватной [198, 199]. Тем не менее, создаются предпосылки для внедрения в учебный процесс ценологического учения [23].

Например, антинаучно производить расчет средней заработной платы граждан и выдавать ее за показатель уровня жизни населения. Распределение доходов граждан на всех уровнях (предприятие, город, регион, страна) соответствует закону ГРР (1.1), и это давно известно в научных кругах. Следовательно, основная часть доходов 80-90 % падает на меньшую часть населения – 10-20 %. Для подтверждения вышесказанного на рис. 6.25 показан график ГРР доходов (средней зарплаты) граждан по регионам РФ в 2016 году.

Научно обоснованно: расчет средней величины (математическое ожидание) в любой выборке правомерно производить лишь для гауссовых (нормальных) распределений [200]. К таковым, например, относится распределение населения по весу, по росту и т.д., но не по доходам. ГРР доходов населения относится к негауссовым распределениям, для которых в понятийном научном аппарате отсутствует понятие «средняя величина», так как оно не имеет смысла.

В ГРР чем больше показатель степени β , тем круче гипербола, тем длиннее «саранчевый хвост» распределения, тем более РР отличается от распределения Гаусса, тем больше разрыв между элитной прослойкой с высокими доходами и бедным большинством, тем хуже отражает антинаучный показатель «средняя зарплата» истинный уровень доходов населения.

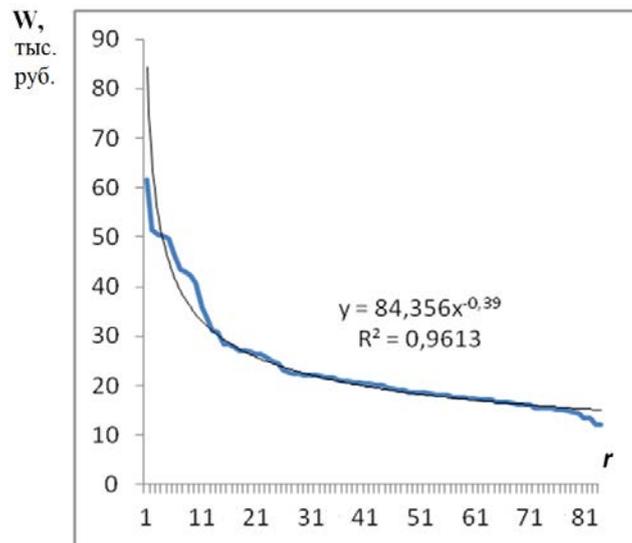


Рис. 6.25. ГРР доходов граждан РФ по субъектам РФ, всего субъектов – 84;
 W – средняя зарплата; r – ранговый номер региона;
 r = 1 – Ямало-Ненецкий автономный округ, W = 61,6 тыс. руб.,
 r = 3 – г. Москва, W = 50,4 тыс. руб.,
 r = 64 – Ульяновская область, W = 17,3 тыс. руб.,
 r = 84 – Новосибирская область, W = 12,1 тыс. руб. [200].
 Параметры РР: $R^2 = 0,96$; $\beta = 0,39$

«Средняя зарплата» – это неадекватный показатель, завышенный для 80 % населения и заниженный для 20%-ной прослойки с высоким уровнем доходов. Наличие табулированного ряда значений любых параметров (зарплата, баллы) не дает оснований для расчета средней величины – необходимо сначала убедиться, что рассматриваемая выборка принадлежит к гауссову распределению (например, с помощью компьютерных технологий).

Как же учитывать доходы граждан и проводить их мониторинг? Только один путь – разделить ГРР доходов на две подсистемы – кластер богатых (с r = 1-20 % – финансовая элита) и кластер бедных (r = 20-100 %) и считать отдельно для каждого средний доход в соответствии с законом Парето – Кудрина (то есть вводить 2 адекватных показателя для двух подсистем) [200].

Таким образом, ценологические представления о реальности и закон ГРР стали неотъемлемой частью общей научной картины мира.

Система астрофизических знаний и НКМ пополнились теорией рангового анализа и блоком ценологических понятий и представлений. Материал по ценологии отсутствует в учебниках, которые в связи с этим не полно отражают современную НКМ, что свидетельствует о недоработан-

ности в содержании общего среднего и высшего образования. В результате обучения по таким учебникам в сознании выпускников школ и будущих специалистов формируется неполная и неадекватная индивидуальная НКМ. Введение системы ценологических знаний в содержание учебников «Философия», «Астрономия», «История и методология физики», «Методика преподавания физики», «Курс современного естествознания» как неотъемлемой части НКМ – важная и актуальная методологическая задача ближайшего будущего [200].

Восполнение этого пробела – важная и актуальная методологическая задача ближайшего будущего.

Если говорить честно, мы хотим не только знать, как устроена природа..., но и, по возможности, достичь цели утопической и дерзкой на вид – узнать, почему природа является именно такой...

А. Эйнштейн

Заключение

Одним из видов самоорганизации живой и неживой природы является самоорганизация в **ценозы** – системы с гиперболическим ранговым распределением (ГРР) объектов в них. В этом случае фрактальность выражена в самоорганизации материи на разных иерархических уровнях не по геометрическому принципу, а в системы (**ценозы**), свойства которых описываются единым математическим аппаратом. В его основе – закон ГРР – (1.1), по которому самоорганизуются материальные объекты на всех космических уровнях. Самоорганизация и фрактальность – вот общие признаки, характеризующие ценозы.

Таким образом, ценозы обладают фрактальностью функционального типа, в отличие от геометрической фрактальности Мандельброта и Шарлье. Поэтому эти понятия разнесены, и фрактальность ценозов названа *ценологической фрактальностью*.

Благодаря исследованиям, освещенным в монографии, ценологическая теория распространена на области астрофизики и образования, что составило новизну исследования (сайт: <http://www.gurinarv.ulsu.ru>).

Метод рангового анализа (РА), или ценологический подход, основы которого заложены около 40 лет назад Б.И. Кудриным для техноценозов и детально разработаны для оптимизации техноценозов В.И. Гнатюком, авторами был адаптирован и применен впервые к астрофизическим и образо-

вательным системам. Ядром метода является применение закона ГРР и выявление отклонений и аномалий в реальных ГРР ценозов от канонического (идеального) ГРР. Аномалии в реальных астрофизических ГРР могут быть нескольких видов.

- *Одна или несколько точек, выпадающие из графика*, означают, что соответствующие точкам объекты ценоза (популяции) – «промахи» в измерениях параметра.

- *Выпадающие из графика точки образуют на гиперболе «горбы», «впадины», «хвосты»*, свидетельствующие о неполноте системы или о недостаточности сведений о полноте системы. При добавлении объектов в систему график реальной гиперболы приближается к каноническому виду.

- *Резкий излом на логарифмическом графике прямой $\ln W(\ln r)$* , разделяющий ее на 2 отрезка под углом друг к другу. Это означает, что система состоит из двух подсистем. Несколько изломов – несколько подсистем.

Ценологический подход позволил выделить в ряде экзопланетных систем подсистемы планет-гигантов и планет «земной» группы, подобные имеющимся в нашей Солнечной системе.

Рассмотрен и апробирован ценологический подход в образовании как организационно-управленческое условие эффективной подготовки учащихся.

Выявлено:

- Образовательные системы также в большинстве случаев представляют собой ценозы.

- Гиперболический закон рангового распределения отражает рейтинговую систему оценки знаний, является ее математическим выражением, а графическая визуализация обеспечивает ее наглядность.

- Учет закона рангового распределения является управленческим условием функционирования образовательной системы. Ранговый анализ может быть использован в технологии оценки и контроля качества образования в образовательных учреждениях и качества средств образовательного процесса (валидности и надежности тестовых, контрольных заданий) и в выборе пути их оптимизации. Выпадающие из графика ГРР точки, образующие на гиперболе загибающийся вниз «хвост» («маргинальный хвост»), в реальной социальной системе – это та часть особей, которая

тормозит ее функционирование. В техноценозах – это металлолом, изношенная техника, в социуме – это маргинальные элементы. В студенческом социуме – это двоечники-студенты, которых следует либо отчислить (номенклатурная оптимизация), либо подтянуть их успеваемость хотя бы до минимально необходимого уровня (параметрическая оптимизация).

- Применение РА в образовательных системах имеет широкие прогностические возможности. Он позволяет прогнозировать результаты обучения: количество двоек на группу на любом экзамене должно составлять около 10 % от общего числа оценок. То же относится к отличным оценкам.

- Использование рангового анализа в обучении формирует ценологическое мышление у учащихся.

В монографии рассмотрен специфический вид техноценоза – околоземной космический мусор (КМ*).

Вокруг Земли в последние десятилетия образовался космический мусор – организованная человеком техническая реальность – совокупность обломков космических кораблей и ИСЗ, являющаяся опасным фактором воздействия на функционирующие космические аппараты, вращающиеся вокруг Земли.

На основании построений ГРР объектов КМ* сделано заключение, что КМ сформировался как новый вид техноценоза – *космотехноценоз*.

Специфическими особенностями КМ* как космотехноценоза являются следующие.

1. Среда обитания КМ* – космос. Ресурсом в космосе является пространство и борьба тел за этот ресурс, которая осуществляется механизмом гравитационного притяжения.

2. Свойство КМ* как космотехноценоза, в отличие от наземного техноценоза, заключается в его удаленности, что затрудняет управление им человеком, обуславливая более слабую связь «человек-техноценоз». Данное свойство делает весьма затруднительным или вообще невозможным осуществление оптимизации космотехноценоза.

3. КМ*, в отличие от наземного техноценоза, имеет свойство бесконтрольно саморазмножаться. Человек лишь может просчитывать скорость и масштабы размножения.

Так как законы развития реальных техноценозов хорошо изучены, полученные знания позволят выработать механизмы и выявить специфику

управления КМ* как новым видом техноценоза. Пути дальнейших исследований – на основании техноценологической теории и метода РА разработать модель способа борьбы с КМ* с целью снижения техногенного засорения околоземного пространства.

В монографии рассматривается фрактальная иерархия материи Вселенной с позиций ценологической теории. При этом выделены 5 уровней организации космической материи по признаку «*ценозности*», или «*ценологическому принципу*», то есть организации материи в ценозы с гиперболическим РР объектов в них:

1. Земной уровень.
2. Уровень Солнечной системы – планетарный.
3. Галактический (наша Галактика).
4. Метагалактический уровень (метегалактика).
5. Микроуровень (микрочастицы), распространяющийся на все предыдущие уровни.

Показано, что на каждом уровне организации материи выполняется закон ГРР (1.1) с высокой степенью точности (коэффициент регрессии эмпирической и аппроксимационной кривых ГРР – около 0,9), что доказывает фрактальность строения Вселенной и Теорию Бесконечной вложенности материи.

При этом рассмотрены следующие РР на каждом уровне:

- На Земном уровне – РР объектов различных геофизических систем и составов (атмосферы, гидросферы, литосферы, кратеров на поверхности планеты Земля).
- На уровне Солнечной системы – РР планет, спутников планет и астероидов, комет по различным параметрам.
- На галактическом уровне – системы и объекты, входящие в состав нашей Галактики (классы звезд, звездные скопления, внесолнечные планетные системы и другие объекты) и их ранговые распределения по различным параметрам.
- На метагалактическом уровне – РР галактик и скоплений галактик по массам, светимости галактик, РР состава межгалактической среды.
- На микроуровне – РР состава космического излучения, РР энергии атома водорода по энергетическим уровням.

Во всех случаях и на всех уровнях показана самоорганизация материи в системы-ценозы с ГРР объектов в них.

Проведен сравнительный анализ уровневой фрактальной космической самоорганизации материальных объектов по ценологическому типу методом Пирсона. Показано, что средние коэффициенты корреляции Пирсона $\langle r_{xy} \rangle$ для 20 пар выборок значений параметров объектов разных космических уровней имеют очень высокие значения – 0,8-0,99.

Отметим правомерность использования метода линейной корреляции Пирсона для оценки тесноты связи нелинейных функций, каковыми являются ГРР, так как для них возможно преобразование уравнения (1.1) в линейную форму. Это положение доказывается И.И. Елисеевой в учебниках по эконометрике [201, 202]: если нелинейное уравнение регрессии при линеаризации принимает форму линейного уравнения парной регрессии, то для оценки тесноты связи может быть использован линейный коэффициент корреляции Пирсона. При этом переменные x и y в выборках должны быть независимыми, каковыми и являются сравниваемые парные ГРР.

Таким образом, факты и результаты исследований, изложенные в монографии, свидетельствуют в пользу высказанной ранее гипотезы о фрактальной самоорганизации материи на всех ее уровнях по ценологическому принципу.

Авторами впервые применен РА в оценке разнообразия систем с гиперболическим ранговым распределением объектов.

Разнообразие – важнейшая количественная характеристика статистических систем. Оценка разнообразия рангово-видовых систем и составов, а также параметрических ГРР произведена методом Шеннона. Показана целесообразность в качестве показателя разнообразия вместо индекса Шеннона рассматривать величину, обратную ранговому коэффициенту – $1/\beta$, которая адекватно отражает динамику изменения разнообразия системы: с увеличением разнообразия показатель $1/\beta$ увеличивается прямо пропорционально индексу Шеннона, и наоборот.

Доказано, что закон ГРР (1.1) уточняет и дополняет известный закон необходимого разнообразия Эшби. Качественный закон Эшби дополнен количественным содержанием и принял математическую оболочку в виде ЗРР (1.1), в котором ранговый коэффициент β приобрел новый смысл – он отражает степень разнообразия системы. Индекс Шеннона H и относи-

тельный индекс Шеннона ϵ связаны с коэффициентом β обратной зависимостью. Значение понятия «необходимое разнообразие» приобретает конкретный смысл – это разнообразие параметров системы, которое в РР образует гиперболу, а величина рангового коэффициента β отражает разнообразие системы: чем круче гипербола, тем больше β , тем меньше разнообразие системы.

Теория Эшби и теория РА, разработанная Б.И. Кудриным, взаимосвязаны: закон ГРР (1.1) и закон необходимого разнообразия – две стороны одной медали.

Поиск в космосе систем, состоящих из объектов, параметры которых отражают распределение Гаусса, привел к исследованию связи ГРР с нормальным распределением.

Выявлено:

- График РР $W(r)$ набора чисел случайных величин гауссова распределения представляет собой S-образную кривую, симметричную относительно биссектрисы прямого угла, образующего координатные оси.
- S-образный вид РР $W(r)$ свидетельствует о принадлежности совокупности эмпирических данных к гауссову распределению.
- По S-образному графику РР можно определить среднюю величину ранжируемого параметра $\langle W \rangle$, которая соответствует координате точке перегиба S-кривой; по S-графику определяется стандартное отклонение по описанной в монографии методике.
- Форма реальных гиперболических ранговых распределений в частотно-вероятностном представлении по сравнению с видом нормальных распределений характеризуется высокими пиками и длинными «хвостами» (которые некоторые авторы предпочитают называть «толстыми хвостами»). В экономической литературе такие распределения носят названия Парето, или Парето – Леви, или устойчивые паретовские распределения.
- Форма нормальных распределений является частным случаем реальных гиперболических ранговых распределений с «заваливающимися хвостами».
- Результаты эмпирического исследования имеют теоретическую и практическую значимость, которая заключается в том, что РА открывает новые возможности в методологии научных исследований. Это дополни-

тельный метод идентификации принадлежности выборки значений параметров исследуемой системы к гауссову распределению.

- Построение графика РР выборки случайных величин нормального распределения позволяет расширить границы представлений о вероятностных способах описания научной картины мира у учащихся. Адекватное восприятие учащимися научной картины мира невозможно без вероятностного стиля мышления и знания статистических закономерностей, понимание которых значительно упрощается при привлечении РА.

В монографии рассмотрена методика применения РА для исследования астрофизических и экзопланетных систем и приводятся конкретные примеры – определение параметров гипотетических планет: Фаэтона и планеты X пояса Койпера.

Получено соответствие реальных и теоретических зависимостей параметрических и рангово-видовых H -распределений астрономических объектов. Доказано с высокой степенью точности, что многие астрофизические системы представляют собой ценозы, а их подсистемы – популяции, то есть закон рангового параметрического и рангово-видового H -распределений применим к процессам космического масштаба.

Выделены следующие специфические свойства астроценозов (космоценозов естественного происхождения).

1. Борьба космических тел за пространство как за специфический ресурс.

2. Сильная гравитационная связь между объектами космоценоза и центральным телом, создающим поле гравитационных сил. Как следствие: астрономические ценозы, будучи жесткими системами, связанными силами гравитации, в отличие от других видов ценозов, могут иметь в своем составе небольшое число особей.

Последнее согласуется с парадигмой, согласно которой выполнение закона Ципфа определяется не объемом выборки, а свойством быть целостной системой. Отметим, что этот вывод согласуется с результатами исследования текстов лингвистами, которые также показали, что соответствие «ципфоиде» не зависит от величины текста, определяется не объемом текста, но свойством быть целостным текстом.

Таким образом, ГРР особей в астрономических системах следует рассматривать как системное свойство.

3. Динамическое состояние – непрерывное движение объектов в центральном гравитационном поле.

4. Понятие «оптимизация» абсурдно для астроценозов.

Результаты проведенного в 2005 году РА применительно к Солнечной системе (совместно с С.А. Ланиным) свидетельствуют о существовании в ней еще двух гипотетических планет. Было высказано предположение о неполноте нашей планетной системы – существовании двух планет между Марсом и Юпитером (распавшаяся на астероиды планета Фэтон) и вторая планета в поясе Койпера. Это предположение подтвердилось при применении РА к планетам СС: при добавлении двух точек в график РР девяти планет СС по массам на места с ранговыми номерами $r = 3$ и $r = 4$, эмпирические точки (их уже 11) точнее ложатся на аппроксимационную кривую ГРР. По полученному графику определены массы планет с этими ранговыми номерами – около $20 M_{\odot}$ и $30 M_{\odot}$. Теоретические предсказания М. Брауна и К. Батыгина 2015 года относительно массы планеты X (около $10 M_{\odot}$) удовлетворительно согласуются с нашими результатами.

Возможность того, что Солнце имеет крупную трансурановую планету за орбитой Плутона с массой около $20-30 M_{\odot}$, органично вписывается ценологической теорией и ранговым анализом в астрономическую модель нашей Солнечной системы. Ее орбитальные характеристики определены методом РА в 2017 году: период обращения вокруг Солнца согласно РА $\sim 15000-20000$ лет; большая полуось $\sim 700-800$ а.е., что хорошо согласуется с результатами Брауна и Батыгина.

- Результаты ценологической теории по оценке орбитальных параметров планеты Койпера согласуются с теоретическими предсказаниями М. Брауна и К. Батыгина 2015 года с разницей оценки массы этой планеты в 2-3 раза.

- Полученные результаты подтверждают справедливость и адекватность ценологической теории Б.И. Кудрина не только для техноценозов на макроуровне, но и для космических ценозов на мегауровне, а также показывают ее прогностические возможности.

- Однако в научном мире новая планета X Солнечной системы будет признана только после того, как она будет реально зафиксирована приборами (в том числе обнаружена визуально в телескоп), то есть когда это будет доказано на практике.

Исследования внесолнечных планетных систем привели к следующим результатам.

Обнаружены соответствия параметрических РР внесолнечных планетных систем, планет СС гиперболическому закону РР (1.1) с высокими коэффициентами регрессии и высокими значениями коэффициентов Пирсона.

Исследования РР параметров планет СС, экзопланет и их орбитальных характеристик показали, что планетные системы нашей галактики являются жестко детерминированными системами с гиперболическими РР объектов в них (1.1).

Обнаружена идентичность между РР по массам планет двух 9-планетных систем нашей Галактики: СС и системы HD 10180 HIP 7599, включая изломы в их РР. То есть РР подсистем планет гигантов и планет земной группы в этих системах идентифицируются с высокой степенью корреляционной связи (около 0,9).

Полученные результаты позволяют сделать вывод о том, что космогонические процессы во Вселенной происходят по строго детерминированному сценарию, а также о законе (1.1) как законе, носящем вселенский характер.

В монографии рассмотрен также вопрос о месте ценологии в современной научной картине мира и о необходимости включения ценологических знаний в содержание современного образования. Ценологические представления о реальности и закон ГРР стали неотъемлемой частью общей научной картины мира. Однако материал по ценологии отсутствует в учебниках, которые в связи с этим не полно отражают современную НКМ, что свидетельствует о недоработанности содержания общего среднего и высшего образования. В результате в сознании выпускников школ и будущих специалистов формируется неполная и неадекватная индивидуальная НКМ. Введение системы ценологических знаний в содержание учебников «Философия», «Астрономия», «История и методология физики», «Методика преподавания физики», «Курс современного естествознания» как неотъемлемой части НКМ – важная и актуальная методологическая задача ближайшего будущего.

Таким образом:

- Методология научных исследований в областях астрофизики и образовательных технологий пополнилась методом РА.
- Система астрофизических знаний и НКМ дополнена теорией рангового анализа и блоком ценологических понятий и представлений.
- Ценологическая картина мира как частная научная картина мира основывается на общности закономерностей негауссовых ГРР на уровнях микро-, макро- и мегамира.

Однако не удастся найти универсального ответа на главный вопрос. Какие процессы и какие механизмы формируют указанные закономерности на всех уровнях живой и неживой природы?

На этот вопрос пока нет ответа.

Библиографический список

1. Хакен Г. Синергетика / Г. Хакен. – М. : Мир, 1980. – 404 с.
2. Пригожин И. От существующего к возникающему / И. Пригожин. – М. : УРСС, 2002. – 287 с.
3. Пригожин И. Порядок из хаоса / И. Пригожин, И. Стенгерс. – М., 1986. – 431 с.
4. Николис Г. Самоорганизация в неравновесных системах / Г. Николис, И. Пригожин. – М. : Мир, 1979. – 512 с.
5. Эбелинг В. Образование структур при необратимых процессах / В. Эбелинг. – М. : Мир, 1979. – 277 с.
6. Дульнев Г. Н. Введение в синергетику / Г. Н. Дульнев. – СПб. : Проспект, 1998. – 256 с.
7. Дульнев Г. Н. Энергоинформационный обмен в природе / Г. Н. Дульнев. – СПб. : ИТМО, 2000. – 135 с.
8. Закономерности самоорганизации. Принципы универсального эволюционизма [Электронный ресурс]. – URL: <http://lektsii.org/2-91749.html>; http://studopedia.ru/3_209028_tema---printsip-vozzrastaniya-entropii.html.
9. Ушаковская Е. Д. Синергетика и причины эволюции Вселенной [Электронный ресурс] / Е. Д. Ушаковская. – URL: <http://spkurdyumov.ru/evolutionism/sinergetika-i-prichiny-evolyucii-vselennoj>.
10. Волькенштейн М. В. Биофизика / М. В. Волькенштейн. – М. : Наука, 1988. – 591 с.
11. Васильев Ю. М. Взаимодействие в биологических системах / Ю. М. Васильев, И. М. Губерман, Ш. А. Губерман // Природа. – 1969. – № 6. – С. 13-21.
12. Шургин С. М. Солнечная активность и биосфера / С. М. Шургин, А. М. Обут. – Новосибирск : Наука, 1986.
13. Хокинг С. От большого взрыва до черных дыр. Краткая история времени / С. Хокинг. – М. : Мир, 1990. – 167 с.

14. Девис П. Суперсила : пер. с англ. / П. Девис ; под ред. и с предисл. Е. М. Лейкина. – М. : Мир, 1989. – 272 с.
15. Николсон И. Тяготение, черные дыры и Вселенная / И. Николсон ; под ред. и с предисл. Н. В. Мицкевича. – М. : Мир, 1983. – 240 с.
16. Кудрин Б. И. Введение в технетику / Б. И. Кудрин. – 2-е изд., перераб. и доп. – Томск : Изд-во Томск. гос. ун-та, 1993.
17. Кудрин Б. И. Техногенная самоорганизация: для технариев электрики и философов / Б. И. Кудрин. – М. : Центр системных исследований, 2004. – 248 с. – (Ценологические исследования. Вып. 25).
18. Кудрин Б. И. Возникновение и законы развития технической реальности / Б. И. Кудрин // Ценологическое видение сообществ материальных и идеальных реальностей: фундаментальность теории и всеобщность практики: теоретические основания и практические результаты. Общая и прикладная ценология. Обобщающие материалы по общей и прикладной ценологии. – М. : Технетика, 2014. – С. 404-421. – (Ценологические исследования. Вып. 53).
19. Кудрин Б. И. Выделение и описание электрических ценозов / Б. И. Кудрин // Электромеханика. – № 7. – М. : Энергоатомиздат, 1985. – С. 49-54.
20. Кудрин Б. И. Технетика: новая парадигма философии техники (третья научная картина мира) / Б. И. Кудрин. – Томск : Изд-во ТГУ, 1998. – 40 с.
21. Кудрин Б. И. Целочисленное аппроксимирование ранговых распределений и идентификация техноценозов / Б. И. Кудрин, Ю. К. Крылов. – М. : Центр системных исследований, 1999. – 79 с. – (Ценологические исследования. Вып. 11).
22. Математическое описание ценозов и закономерности технетики. Философия и становление технетики / под ред. Б. И. Кудрина. – Абакан : Центр системных исследований, 1996. – 452 с. – (Ценологические исследования. Вып. 1-2).
23. Кудрин Б. И. Семнадцать лекций по общей и прикладной ценологии / Б. И. Кудрин. – 3-е изд. – М. : Технетика, 2014. – 227 с.
24. Zipf J. K. Human behaviour and the principle of least effort / J. K. Zipf. – Cambridge (Mass.) : Addison-Wesley Pres, 1949, XI. – 574 p.
25. Гнатюк В. И. Закон оптимального построения техноценозов / В. И. Гнатюк. – М. : Изд-во ТГУ – Центр системных исследований, 2005. – 384 с. (<http://www.baltnet.ru/~gnatukvi>).

26. Гнатюк В. И. Ранговый анализ в управлении техноценозом : моногр. / В. И. Гнатюк. – М. : Директ-Медиа, 2014. – 540 с.

27. Жилин Б. В. Техноценологический подход И. Кудрина и его развитие / Б. В. Жилин // Ценологическое видение сообществ материальных и идеальных реальностей: фундаментальность теории и всеобщность практики: теоретические основания и практические результаты. Общая и прикладная ценология. Обобщающие материалы по общей и прикладной ценологии. – М. : Технетика, 2014. – С. 389-404. – (Ценологические исследования. Вып. 53).

28. Жилин Б. В. Использование моделей $H-i$ -распределения как развитие ценологического подхода / Б. В. Жилин // Ценологическое моделирование: теоретические основания и практические результаты : материалы XV конф. по философии техники и технетике и семинара по ценологии (Москва, 19 ноября 2010 г.). – М. : Технетика, 2011. – С. 120-130. – (Ценологические исследования. Вып. 47).

29. Шрейдер Ю. А. Ранговые распределения как системное свойство / Ю. А. Шрейдер // Математическое описание ценозов и закономерности технетики. – Абакан : Центр системных исследований, 1996. – С. 33-42.

30. Гурина Р. В. Ранговое распределение как системное свойство физических ценозов / Р. В. Гурина, Е. В. Валежанина, М. В. Дятлова // Актуальные проблемы современной науки и образования : материалы Всеросс. научно-практической конф. с междунар. участием г. Ульяновск, УлГУ, 15-16 сентября 2010 г.). – Ульяновск : УлГУ, 2010. – С. 33-36.

31. Система. Симметрия. Гармония / под ред. В. С. Тюхтина, Ю. А. Урманцева. – М. : Мысль, 1988. – 315 [2] с.

32. Кудрин Б. И. Технетика как наука о технической реальности / Б. И. Кудрин // Технетика и ценология: от теории к практике. Общая и прикладная ценология / под общ. ред. Б. И. Кудрина. – М. : МОИП МГУ-Технетика, 2009. – С. 9-27. – (Ценологические исследования. Вып. 35).

33. Кудрин Б. И. Самодостаточность общей и прикладной ценологии / Б. И. Кудрин // Техногенная самоорганизация и математический аппарат ценологических исследований. – М. : Центр системных исследований, 2005. – С. 7-52. – (Ценологические исследования. Вып. 28).

34. Щапова Ю. Л. Древнейшие техноценозы: каменный век / Ю. Л. Щапова, С. Н. Гринченко // Ценологическое видение сообществ материальных и идеальных реальностей: фундаментальность теории и всеобщ-

ность практики. – М. : Технетика, 2014. – С 422-431. – (Ценологические исследования. Вып. 53).

35. Фуфаев В. В. Структурно-топологический анализ динамики сообщества банков России в условиях финансового кризиса / В. В. Фуфаев, М. Г. Ламанский, Д. В. Фуфаев // Технетика и ценология: от теории к практике. Общая и прикладная ценология / под общ. ред. Б. И. Кудрина. – М. : МОИП МГУ-Технетика, 2009. – С. 139-157. – (Ценологические исследования. Вып. 35).

36. Фуфаев В. В. Ценологический анализ структуры банковской системы России / В. В. Фуфаев, С. В. Ченцов, М. Г. Ламанский // Техногенная самоорганизация и математический аппарат ценологических исследований. – М. : Центр системных исследований, 2005. – С. 310-320. – (Ценологические исследования. Вып. 28).

37. Гурина Р. В. О важности изучения гиперболических ранговых распределений / Р. В. Гурина // Школа будущего. – 2014. – № 3. – С. 28-34.

38. Парето В. Компендиум по общей социологии / В. Парето. – М. : ГУ ВШЭ, 2008. – 511 с.

39. Кох Р. Закон Парето или принцип 80/20 / Р. Кох // Общая и прикладная ценология. – 2007. – № 4. – С. 76-79.

40. Moebius K. Die Auster und die Austernwirthschaft / K. Moebius. – Berlin : Wiegandt, Hempel und Parey, 1877. – 136 S.

41. Гурина Р. В. Закон рангового распределения в педагогических системах / Р. В. Гурина // Материалы 4-й Междунар. научно-методической конф. памяти И. Н. Ульянова «Гуманизация и гуманитаризация образования XXI века» (16-18 мая 2002 г. г. Ульяновск) / под общ. ред. Л. И. Петриевой. – Ульяновск : УлГУ, 2002. – С. 231-236.

42. Гурина Р. В. Ранговый анализ в педагогических образовательных системах / Р. В. Гурина // Школьные технологии. – 2003. – № 5. – С. 102-108.

43. Гурина Р. В. Метод рангового анализа в педагогических системах : тез. докл. / Р. В. Гурина // Методика преподавания блока фундаментальных дисциплин : тр. научно-практической конф. – Ульяновск : УлГУ, 2003. – С. 145.

44. Гурина Р. В. Ценологические исследования педагогических образовательных систем / Р. В. Гурина // Ползуновский вестник. – 2004. – № 3. – С. 133-138.

45. Гурина Р. В. Начальная профессиональная подготовка учащихся в профильных физико-математических классах : моногр. / Р. В. Гурина. – Ульяновск : УлГУ, 2004. – 290 с.

46. Гурина Р. В. Использование рангового анализа в педагогике / Р. В. Гурина // Техногенная самоорганизация и математический аппарат ценологических исследований. – М. : Центр системных исследований, 2005. – С. 203-212. – (Ценологические исследования. Вып. 28).

47. Гурина Р. В. Ранговый анализ образовательных систем (ценологический подход) : методические рекомендации для работников образования / Р. В. Гурина. – М. : Технетика, 2006. – 40 с. – (<http://www.gurinarv.ulsu.ru>). – (Ценологические исследования. Вып. 32).

48. Гурина Р. В. Ранговый анализ в методологии педагогических исследований / Р. В. Гурина // Общая и прикладная ценология. – 2007. – № 3. – С. 46-49.

49. Гурина Р. В. Ранговый анализ или Ценологический подход в образовании / Р. В. Гурина // Школьные технологии. – 2007. – № 5. – С. 160-166.

50. Гурина Р. В. Ценологический подход в учебно-воспитательном процессе физико-математических классов / Р. В. Гурина, Р. А. Хайбуллов // Физика и ее преподавание в школе и вузе : материалы Регион. научно-практической конф. «VI Емельяновские чтения», посвященной педагогу-исследователю М. И. Емельянову (Йошкар-Ола, 27-28 апреля 2009 г.) / под ред. В. А. Беянина. – Йошкар-Ола : МГПИ им. Н. К. Крупской, 2009. – С. 48-52.

51. Гурина Р. В. Подготовка учащихся физико-математических классов к будущей профессиональной деятельности в области физики : моногр. / Р. В. Гурина. – Ульяновск : ВАО «МДЦ», 2009. – 394 с.

52. Гурина Р. В. Ранговый анализ в определении валидности тестов и рейтинговых систем оценки / Р. В. Гурина, В. В. Бедаш // Материалы XII Междунар. научно-методической конф. «Физическое образование: проблемы и перспективы развития», посвященной 90-летию со дня рождения С. Е. Каменецкого 4-6 марта 2013. – Ч. 1. – М. : МПГУ, 2013. – С. 133-137.

53. Гурина Р. В. Проблема наук гуманитарной сферы / Р. В. Гурина, В. В. Бедаш // Материалы 4-й Междунар. научно-практической конф. на тему: «Обеспечение продовольственной, экономико-социальной безопасности в процессе глобализации и конкурентоспособности государств», г. Душанбе.

Технологический университет Таджикистана, 1-2 ноября 2013 г. – Душанбе : «Эр-граф», 2013. – С. 149-155.

54. Гурина Р. В. Закон гиперболического разнообразия в образовательных системах / Р. В. Гурина, В. В. Бедаш // Симбирский научный вестник. – 2013. – № 4(14). – С. 77-81.

55. Гурина Р. В. Ранговый анализ в управлении качеством образования / Р. В. Гурина, В. В. Бедаш // Материали за 9-я международна научна практичеа конференция «Навини на научния прогресс», 2013. Том 4. Психология и социология. Педагогические науки. – София : «Бял ГРАД-БГ» ООД. – С. 41-48.

56. Гурина Р. В. Метод рангового анализа в управлении качеством образования / Р. В. Гурина, В. В. Бедаш // Междунар. журн. экспериментального образования. International journal of experimental education. Часть I. Научный журнал. Scientific journal. – № 7. – 2014. – С. 108-111.

57. Гурина Р. В. Ценологический подход и закон разнообразия в образовании / Р. В. Гурина // Ценологическое видение сообществ материальных и идеальных реальностей: фундаментальность теории и всеобщность практики. – М. : Технетика, 2014. – С. 47-62. – (Ценологические исследования. Вып. 53).

58. Гурина Р. В. Законы наук социальной сферы / Р. В. Гурина, В. В. Бедаш // Тр. науч. работ VIII Междунар. научно-практической конф. «Современные концепции научных исследований». 28-29 ноября 2014 г. – М. : Евразийский союз ученых, 2014. – С. 16-20.

59. Mandelbrot B. Information Theory and Psycholinguistics: A Theory of Words Frequencies, in Readings in Mathematical Social Science / B. Mandelbrot ; P. Lazafeld and N. Henry, Editors. – Cambridge MA, MIT Press (1966).

60. Мандельброт Б. Фрактальная геометрия природы / Б. Мандельброт. – М. : Ин-т компьютерных исследований, 2002. – 656 с.

61. Лагуткин О. Е. Фрактальные свойства техноценозов / О. Е. Лагуткин // Ценологическое моделирование: теоретические основания и практические результаты : материалы XV конф. по философии техники и технетике и семинара по ценологии (Москва, 19 ноября 2010 г.). – М. : Технетика, 2011. – С. 98-102. – (Ценологические исследования. Вып. 47).

62. Lambert J. H. Cosmologische Briefen über die Einrichtung des Weltbaues / J. H. Lambert. – Augsburg, 1761.

63. Шарлье К. Небесная механика / К. Шарлье. – М. : Наука, 1966. – 623 с.

64. Гурина Р. В. Границы применимости закона рангового распределения / Р. В. Гурина, А. А. Ланин // Техногенная самоорганизация и математиче-

ский аппарат ценологических исследований. – М. : Центр системных исследований, 2005. – С. 429-437. – (Ценологические исследования. Вып. 28).

65. Гурина Р. В. Космические системы как астроценозы / Р. В. Гурина // Ценологическое моделирование: теоретические основания и практические результаты : материалы XV конф. по философии техники и технетике и семинара по ценологии (Москва, 19 ноября 2010 г.). – М. : Технетика, 2011. – С. 178-185. – (Ценологические исследования. Вып. 47).

66. Гурина Р. В. Астрономические ценозы / Р. В. Гурина, Р. А. Хайбуллов // Актуальные проблемы современной науки и образования : материалы Всеросс. научно-практической конф. с междунар. участием (г. Ульяновск, УлГУ, 15-16 сентября 2010 г.). – Ульяновск : УлГУ, 2010. – С. 74-77.

67. Гурина Р. В. Солнечная система как астроценоз / Р. В. Гурина, М. В. Учайкин // Междисциплинарность ценологических исследований. Общая и прикладная ценология : материалы XIV конф. по технетике и общей ценологии с междунар. участием (Москва, МЭИ, 19 ноября 2009 г.). – М. : Технетика, 2010. – С. 170-180. – (Ценологические исследования. Вып. 43).

68. Хайбуллов Р. А. Ранговый анализ космических систем / Р. А. Хайбуллов // Известия ГАО в Пулкове. – № 219. – Вып. 3. Тр. второй Пулковской молодежной конф. – СПб., 2009. – С. 95-105.

69. Учайкин М. В. Применение закона рангового распределения к объектам Солнечной системы / М. В. Учайкин // Известия ГАО в Пулкове. – № 219. – Вып. 3. Тр. второй Пулковской молодежной конф. – СПб., 2009. – С. 87-95.

70. Учайкин М. В. Закон техносферы / М. В. Учайкин // Российская молодежь – будущее науки : сб. материалов Всеросс. студенческой научно-практической конф. с междунар. участием (14-15 мая 2009 г.). – Ульяновск : УлГПУ, 2009. – В 2-х ч. Ч. 2. – С. 119-122.

71. Магазинник Л. Т. Ранговая оценка электропотребления ряда образовательных учреждений / Л. Т. Магазинник, А. В. Кузнецов, А. П. Белов // Электрика. – № 5. – М. : Наука и технологии, 2001. – С. 30-35.

72. Гурина Р. В. Ранговый анализ как метод исследования / Р. В. Гурина, Р. А. Хайбуллов // Университетское образование: проблемы и перспективы : сб. материалов Молодежного науч. форума (24 января 2009 г.) / под общ. ред. В. В. Кузнецовой. – Ульяновск : УлГПУ, 2009. – С. 350-356.

73. Устинова К. А. Ранговый анализ как метод исследования и возможность его применения к астрофизическим системам / К. А. Устинова,

Р. В. Гурина, Д. А. Козырев // Международный студенческий научный вестник. – 2015. – № 3-4. – С. 446-449.

74. Гурина Р. В. Метод рангового анализа в прикладных исследованиях / Р. В. Гурина, Д. А. Козырев // Опто-, наноэлектроника, нанотехнологии и микросистемы : тр. 18-й Междунар. конф. / под ред. С. В. Булярского. – Ульяновск : УлГУ, 2015. – С. 262-264.

75. Гурина Р. В. Концепция подготовки учащихся профильных физико-математических классов к профессиональной деятельности в области физики : моногр. / Р. В. Гурина. – М. : Дополнительное образование и воспитание ; Витязь-М, 2006. – 210 с.

76. Волков А. И. Большой химический справочник / А. И. Волков, И. М. Жарский. – Минск : Современная школа, 2005. – 608 с.

77. Гурина Р. В. Применение рангового анализа для оценки полноты физических систем / Р. В. Гурина, М. В. Дятлова // Физика и ее преподавание в школе и вузе. IX Емельяновские чтения : материалы Всеросс. научно-практической конф. 24-27 апреля 2011 г. / Марийский гос. ун-т ; под ред. В. А. Беянина, Н. А. Курилевой. – Йошкар-Ола, 2011. – 304 с. – С. 85-90.

78. Гурина Р. В. Гиперболические ранговые распределения в физике / Р. В. Гурина // Тр. междунар. конф. «Подготовка специалистов и научных кадров новой формации в свете инновационного развития государств» (Душанбе, Технологический ун-т Таджикистана, 18-20 сентября 2010 г.). – Душанбе : ТУТ, 2010. – С. 65-70.

79. Гурина Р. В. Физические ценозы / Р. В. Гурина, Р. А. Хайбуллов // Междисциплинарность ценологических исследований. Общая и прикладная ценология : материалы XIV конф. по технетике и общей ценологии с международным участием (Москва, МЭИ, 19 ноября 2009 г.). – М. : Технетика, 2010. – С. 181-191. – (Ценологические исследования. Вып. 43).

80. Гурина Р. В. Метод рангового анализа в оценке состояния техноценозов / Р. В. Гурина, А. В. Евстегнеев // Физика и ее преподавание в школе и вузе : материалы Регион. научно-практической конф. «VI Емельяновские чтения», посвященной педагогу-исследователю М. И. Емельянову (Йошкар-Ола, 27-28 апреля 2009 г.) / под ред. В. А. Беянина. – Йошкар-Ола : МГПИ им. Н. К. Крупской, 2009. – С. 175-181.

81. Гурина Р. В. Новые подходы в образовании / Р. В. Гурина // Физика в школе. – 2012. – № 4. – С. 30-35.

82. Дятлова М. В. О возможности применения рангового анализа в физике и астрофизике / М. В. Дятлова, Р. А. Хайбуллов, Р. В. Гурина // Физическое образование в вузах. – Т. 17, № 1. – 2011. – Приложение. Труды конференции-конкурса молодых физиков Москва, 31 января 2011 г. – М. : Изд. дом Моск. физ. о-ва. – С. П16.

83. Хайбуллов Р. А. Применение рангового анализа (ценологического подхода) для оценки распределения студентов по регионам Ранговый анализ как метод исследования / Р. А. Хайбуллов // Университетское образование: проблемы и перспективы : сб. материалов Молодежного науч. форума (24 января 2009 г.) / под общ. ред. В. В. Кузнецовой. – Ульяновск : УлГПУ, 2009. – С. 424-428.

84. Гурина Р. В. Ценологический подход в образовании / Р. В. Гурина, Р. А. Хайбуллов // Ученые записки Пед. ин-та Саратов. гос. ун-та им. Н. Г. Чернышевского. Сер. Психология. Педагогика. – 2009. – Т. 1, № 1 (5). – С. 56-62.

85. Гурина Р. В. Метод рангового анализа и закон разнообразия в педагогике / Р. В. Гурина // Пед. журн. Башкортостана. – 2013. – № 3-4. – С. 111-122.

86. Гурина Р. В. Использование рангового анализа в творческих проектах школьников / Р. В. Гурина // Материалы II Междунар. научно-практической конф. «Физико-математическое и технологическое образование: проблемы и перспективы развития». – Ч. 1. – М. : МПГУ «Onebook.ru», 2016. – С. 83-89.

87. Гурина Р. В. Ценологический подход в образовательном процессе физико-математических классов / Р. В. Гурина // Физика в системе современного образования (ФССО-09): материалы X Междунар. конф. (Санкт-Петербург, 31 мая – 4 июня 2009 г.). Т. 2. – СПб. : Изд-во РГПУ им. А. И. Герцена, 2009. – С. 49-51.

88. Гурина Р. В. Ценологические исследования в системе образования / Р. В. Гурина, Р. А. Хайбуллов // Повышение эффективности электрического хозяйства потребителей в условиях ресурсных ограничений : материалы Всеросс. научно-практической конф. с междунар. участием (Москва, 16-20 ноября 2009 г.) / под ред. Б. И. Кудрина и Ю. В. Матюниной. – В 2-х т. : 1 т. Электроснабжение ; 2 т. Электрооборудование и менеджмент. – М. : Технетика, 2009. – Том II. – С. 217-226.

89. Запорожнов А. А. Ценологические подходы к построению модели процесса обучения в высшей школе / А. А. Запорожнов, Ю. В. Сушко // Ценологическое моделирование: теоретические основания и практические результаты: материалы XV конф. по философии технетики (Москва, 19 ноября 2010 г.). – М. : Технетика, 2011. – С. 183-198. – (Ценологические исследования. Вып. 47).

90. Ракетно-космический комплекс [Электронный ресурс]. – URL: www.kuzyk.ru/allbooks/get_book.php?id=284&bookId=108.

91. Исследования фрагментов космического мусора в геостационарной области / А. Е. Румянцев, В. В. Молотов, И. Е. Вольвач [и др.] // Космическая наука и технология. – 2006. – Т. 12, № 5-6. – С. 50-57. Сайт проекта «Пулкон»: <http://lfvn.astronomer.ru/main/pulcoo.htm>.

92. Агапов В. Результаты исследований популяции малоразмерных объектов искусственного происхождения в геостационарной области и предложения по организации международного мониторинга космического мусора в области ГСО : докл. на 44 сес. Научно-технического подкомитета ООН по использованию космического пространства в мирных целях 19 февраля 2007 г. «ПРОЕКТ ПУЛКОН» «Известия ГАО РАН» [Электронный ресурс] / В. Агапов, Э. Аким, И. Молотов. – URL: <http://lfvn.astronomer.ru/report/0000020/index.htm>.

93. Кудрин Б. И. Проблемы создания и управления ценозами искусственного происхождения / Б. И. Кудрин // Кибернетические системы ценозов: Синтез и управление. – М. : Наука, 1991. – С. 5-17.

94. Гурина Р. В. Космический мусор как техноценоз / Р. В. Гурина, К. В. Шарипова, С. А. Васильев // Материалы IX Междунар. научно-практической заочной конф. (Москва – Ульяновск, 5 апреля 2014 г.) / Управление довузовского образования УлГУ. – М. ; Ульяновск : ООО «Колор-Принт», 2014. – С. 52-57.

95. Гурина Р. В. Искусственный космический мусор как техноценоз / Р. В. Гурина, К. В. Шарипова // Опто-, наноэлектроника, нанотехнологии и микросистемы : тр. 18-й Междунар. конф. / под ред. С. В. Булярского. – Ульяновск : УлГУ, 2015. – С. 265-266.

96. Фурнье. Два новых мира. Инфрамир и Супрамир / Фурнье. – 1907.

97. Oldershaw R. L. Discrete Scale Relativity / R. L. Oldershaw // Astrophysics and Space Science. – Vol. 311, No. 4. – October 2007. – P. 431-433.

98. Федосин С. Г. Физические теории и бесконечная вложенность материи / С. Г. Федосин. – Пермь, 2009. – 844 с.
99. Федосин С. Г. Физика и философия подобия от преонов до метагалактик / С. Г. Федосин. – Пермь : Стиль-МГ, 1999. – 544 с. – URL: <https://pe56d.s3.amazonaws.com/p19948jg3o11mcbai3t814qa1868b.pdf>.
100. Справочник геофизика. Гравиразведка. – М. : Недра, 1990. – 607 с.
101. Бадюков Д. Д. Метеоритные кратеры на территории России [Электронный ресурс] / Д. Д. Бадюков. – URL: http://www.meteorites.ru/menu/encyclopaedia/ruscraters_full.html.
102. Федынский В. В. О вероятном количестве метеоритных кратеров на территории Советского Союза / В. В. Федынский, Л. П. Хрянина // *Астрономический вестник*. – 1976. – Т. 10, № 2. – С. 81-87.
103. Martin Schmieder & Elmar Buchner. Dating impact craters: palaeogeographic versus isotopic and stratigraphic methods – a brief case study (Institut fur Planetologie, Universit at Stuttgart, Herdweg 51, D-70174 Stuttgart, German) (*PDF Download Available*). Available from: https://www.researchgate.net/publication/248686950_Dating_impact_craters_Palaeogeographic_versus_isotopic_and_stratigraphic_methods_-_A_brief_case_study [accessed Sep 4, 2017].
104. Геология астроблем / В. Л. Масайтис [и др.]. – Л. : Недра, 1980. – 231 с.
105. Алмазоносные импактиты Попигайского кратера / В. Л. Масайтис [и др.]. – Л. : Недра, 1998. – 179 с.
106. Дабижа А. И. О распределении метеоритных кратеров на поверхности Земли / А. И. Дабижа, И. Г. Зоткин, В. В. Федынский // *Метеоритные структуры на поверхности планет*. – М. : Наука, 1979. – С. 117-125.
107. Таблицы физических величин. Справочник / под ред. акад. И. К. Кикоина. – М. : Атомиздат, 1976. – 1008 с.
108. Куликовский П. Г. Справочник любителя астрономии / П. Г. Куликовский ; под ред. В. Г. Сурдина. – Изд. 5-е, перераб. и полн. обновл. – М. : Эдиториал УРСС, 2002. – 688 с.
109. Дермот С. Ф. Закон Бодде и преобладание приблизительной соизмеримости среди пар орбитальных периодов в Солнечной системе / С. Ф. Дермот // *Происхождение Солнечной системы*. – М. : Мир, 1976. – С. 466-495.

110. Бронштэн В. А. Планеты и их наблюдение / В. А. Бронштэн. – Изд. 2-е, перераб. и доп. – М. : Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит., 1979. – 240 с.
111. Кэрри У. В поисках закономерностей развития Земли и Вселенной / У. Кэрри. – М. : Мир, 1991. – 447 с.
112. Место Земли в Солнечной системе [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.geokniga.org/sites/geokniga/files/inbox/5226/6.pdf>.
113. Гурина Р. В. Применение рангового анализа к исследованию Солнечной системы / Р. В. Гурина, М. В. Учайкин // Актуальные проблемы современной науки и образования : материалы Всеросс. научно-практической конф. с междунар. участием (г. Ульяновск, УлГУ, 15-16 сентября 2010 г.). – Ульяновск : УлГУ, 2010. – С. 36-39.
114. Гурина Р. В. Ранговый анализ астрофизических и физических систем / Р. В. Гурина, М. В. Дятлова, Р. А. Хайбуллов // Казанская наука. – 2010. – № 2. – С. 8-11.
115. Шарипова К. В. Исследование карты лунной поверхности методом рангового анализа / К. В. Шарипова, К. А. Глазов, Т. А. Кирилова // Опто-, наноэлектроника, нанотехнологии и микросистемы : тр. 18-й Междунар. конф. / под ред. С. В. Булярского. – Ульяновск : УлГУ, 2015. – С. 269-270.
116. Шевченко В. Н. Глобус Марса – еще одна планета у нас на столе / В. Н. Шевченко, Ж. Ф. Родионова. – М. : Гос. ин-т им. П. К. Штернберга, 1993. – 28 с.
117. Гурина Р. В. Исследование метеоритных кратеров планет Солнечной системы методом рангового анализа / Р. В. Гурина, С. А. Васильев // Научный вестник. – 2017. – № 3(12). – С. 105-112.
118. Гид в мире космоса [Электронный ресурс]. – URL: <http://spacegid.com>.
119. Экзопланеты [Электронный ресурс]. – URL: http://www.allplanets.ru/extrasolar_all.php?order=distance.
120. Спектральные классы звезд [Электронный ресурс]. – URL: School-collection.iv-edu.ru.
121. Липунов В. М. В мире двойных звезд / В. М. Липунов. – М. : Наука. Гл. ред. физ. мат лит., 1986. – 208 с.
122. Звезды. Химический состав звезд [Электронный ресурс]. – <http://astrolab.ru/cgi-bin/manager.cgi-id=16&num=185.html>.
123. Галактики [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.astronet.ru/db/msg/1180524/index.html>.

124. Местная группа галактик. Большая российская энциклопедия [Электронный ресурс]. – URL: bigenc.ru/physics/text/2206896; Энциклопедия Кругосвет. Местная группа галактик [Электронный ресурс]. – URL: http://www.krugosvet.ru/enc/nauka_i_tehnika/astronomiya/MESTNAYA_GRUPPA_GALAKTIK.html?page=0,1.
125. Сидоренко Е. В. Методы математической обработки в психологии / Е. В. Сидоренко. – СПб. : ООО «Речь», 2000. – 350 с.
126. Ожегов С. И. Толковый словарь русского языка / С. И. Ожегов, Н. Ю. Шведова. – М. : Азбуковник, 1997. – 939 с.
127. Лебедева Н. В. Биоразнообразие и методы его оценки / Н. В. Лебедева, Н. Н. Дроздов, Д. А. Криволицкий. – М. : Изд-во МГУ, 1999. – 94 с.
128. Одум Ю. Основы экологии / Ю. Одум. – М. : Мир, 1975. – 740 с.
129. Одум Ю. Экология / Ю. Одум ; под ред. акад. В. Е. Соколова ; пер. с англ. Б. Я. Виленкина. – М. : Мир, 1986. – Т. 2. – 376 с.
130. Маргалев Р. Облик биосферы / Р. Маргалев. – М. : Наука, 1992. – 214 с.
131. Margalef R. Information theory in ecology / R. Margalef // Gen. Syst. – 1958. – Vol. 3. – P. 36-71.
132. Песенко Ю. А. Принципы и методы количественного анализа в фаунистических исследованиях / Ю. А. Песенко. – М. : Наука, 1982. – 287 с.
133. Протасов А. А. Биоразнообразие и его оценка. Концептуальная диверсиконология / А. А. Протасов. – Киев : Ин-т гидробиологии НАН Украины, 2002. – 105 с.
134. Шеннон К. Э. Работы по теории информации и кибернетике : сб. ст. / К. Э. Шеннон ; пер. с англ. под ред. Р. Л. Добрушина и О. Б. Лупанова. – М. : Изд. ин. литер., 1963. – 829 с.
135. Shannon C. E. The Mathematical Theory of Communication / C. E. Shannon // The Bell Syst. Techn. J. – 1948. – Vol. 32. – P. 373-449.
136. Shannon C. E. The Mathematical Theory of Communication / C. E. Shannon, W. Weaver. – Urbana (Illinois) : Univ. of Illinois Press, 1963. – 345 p.
137. Яглом А. М. Вероятность и информация / А. М. Яглом, И. М. Яглом. – М. : Наука, 1973. – 512 с.
138. Колмогоров А. Н. Теория информации и теория алгоритмов / А. Н. Колмогоров. – М. : Наука, 1987. – 304 с.

139. Чебанов С. В. Язык-метод РНА для описания составов многокомпонентных объектов и процессов их измерения / С. В. Чебанов, Т. Г. Петров // Техногенная самоорганизация и математический аппарат ценологических исследований. – М. : Центр системных исследований, 2005. – С. 345-379. – (Ценологические исследования. Вып. 28).
140. Орлов Ю. К. Обобщенный закон Ципфа-Мандельброта и частотные структуры информационных единиц различных уровней / Ю. К. Орлов // Вычислительная техника. – М. : Наука, 1976. – С. 179-202.
141. Толстова Ю. Н. Анализ социологических данных / Ю. Н. Толстова. – М. : Науч. мир, 2000. – 352 с.
142. Гурина Р. В. Закон рангового распределения как закон разнообразия. Специфика ценологических представлений разных школ / Р. В. Гурина, М. В. Дятлова // Материалы XVI конф. по философии технетики и семинара по ценологии (Москва, 11 ноября 2011 г.). – М. : Технетика, 2012. – С. 162-171. – (Ценологические исследования. Вып. 46).
143. Гурина Р. В. Метод Шеннона в оценке разнообразия астрофизических систем / Р. В. Гурина, М. В. Дятлов // Materiály VIII mezinárodní vědecko – praktická konference «Moderní vymoženosti vědy – 2012». – Díl 24. Chemie a chemická technologie. Fyzika: Praha. Publishing House «Education and Science» s.r.o – 88 stran. – С. 82-85.
144. Гурина Р. В. Закон гиперболического разнообразия в образовательных системах / Р. В. Гурина, В. В. Бедаш // Симбирский научный вестник. – 2013. – № 4(14). – С. 77-81.
145. Гурина Р. В. Гиперболическое ранговое распределение как закон разнообразия образовательных систем / Р. В. Гурина // Материалы XII Междунар. научно-методической конф. «Физическое образование: проблемы и перспективы развития», посвященной 90-летию со дня рождения С. Е. Каменецкого. – Ч. 2. – М. : МПГУ, 2013. – С. 194-199.
146. Гурина Р. В. Оценка разнообразия астрофизических систем / Р. В. Гурина, М. В. Дятлова // Сб. материалов 2-й Междунар. научно-практической конф. «Роль науки в устойчивом развитии общества». 24-25 декабря 2010. – Тамбов : ТАМБОВТРИНТ, 2010. – С. 114-115.
147. Хазен А. М. Принцип максимума производства энтропии и движущая сила прогрессивной биологической эволюции / А. М. Хазен // Биофизика. – 1993. – Т. 38. – № 3. – С. 531-551.

148. Философия и методология науки / под ред. В. И. Купцова. – М. : Аспект Пресс, 1996. – 396 с.
149. Эшби У. Р. Введение в кибернетику / У. Р. Эшби. – М. : Изд-во иностр. лит., 1959. – 432 с.
150. Седов Е. А. Взаимосвязь информации, энергии и физической энтропии в процессах управления и самоорганизации. Информация и управление / Е. А. Седов. – М. : Наука, 1986.
151. Седов Е. А. Эволюция и информация / Е. А. Седов. – М. : Наука, Совр. шк., 1976. – 200 с.
152. Седов Е. А. Информационно-энтропийные свойства социальных систем // ОНС. – 1993. – № 5.
153. Назаретян А. П. Антропология насилия и культура самоорганизации: Очерки по эволюционно-исторической психологии / А. П. Назаретян. – М. : Изд-во ЛКИ, 2007. – 256 с.
154. Корн Г. Справочник по математике (для научных работников и инженеров) / Г. Корн, Т. Корн ; под общ. ред. И. Г. Арамановича. – М. : Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит., 1974. – 832 с.
155. Хайтун С. Д. Негауссовость социальных явлений на фоне универсальной эволюции / С. Д. Хайтун // Общая и прикладная ценология. – 2007. – № 3. – С. 12-23.
156. Гурина Р. В. О соотношении гауссового и рангового распределений / Р. В. Гурина, Д. А. Евсеев // Теоретические и прикладные вопросы науки и образования : сб. науч. тр. по материалам Междунар. научно-практической конф. 31 августа 2013 г. – Ч. 1. – М-во образования и науки РФ. – Тамбов : Изд-во ТРОО «Бизнес-Наука-Общество», 2013. – С. 47-49. URL: http://www.usom.ru/doc/conf/2013_08_31_1.pdf.
157. Евсеев Д. А. Исследование соотношения рангового и гауссового распределений / Д. А. Евсеев, Д. Н. Безбатько // Актуальные вопросы современного образования : материалы IX Междунар. научно-практической конф. (Москва-Ульяновск, 5 апреля 2014 года) / Управление довузовского образования УлГУ. – М. ; Ульяновск : ООО «Колор-Принт», 2014. – С. 61-67.
158. Гурина Р. В. Формула для рангового S-распределения случайных величин / Р. В. Гурина, Д. Н. Безбатько // Наука и образование в жизни современного общества : сб. науч. тр. по материалам Междунар. научно-практической конф. 29 ноября 2013 г. – Ч. 12. – М-во образования и науки

РФ. – Тамбов : Изд-во ТРОО «Бизнес-Наука-Общество», 2013. – С. 39-41. – URL: http://www.ucom.ru/doc/conf/2013_11_29_12.pdf.

159. Евсеев Д. А. Исследование соотношения рангового и гауссового распределений / Д. А. Евсеев // VI Междунар. студенческая электронная науч. конф. «Студенческий научный форум 2014» [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.scienceforum.ru/2014/pdf/829.pdf>.

160. Гурина Р. В. Ранговый анализ случайных величин / Р. В. Гурина, С. А. Васильев // Физика и ее преподавание в школе и вузе. IX Емельяновские чтения : материалы Всеросс. научно-практической конф. 28-29 апреля 2014 г. / Марийский гос. ун-т ; под ред. В. А. Белянина, Н. А. Курилевой. – Йошкар-Ола, 2014. – С. 14-19.

161. Тейлор Дж. Введение в теорию ошибок : пер. с англ. / Дж. Тейлор. – М. : Мир, 1985. – 272 с.

162. Дятлова М. В. О соответствии распределений Ципфа и Гаусса / М. В. Дятлова, Д. А. Евсеев // Физика и ее преподавание в школе и вузе : материалы Всеросс. научно-практической конф. преподавателей высшей и средней шк. «IX Емельяновские чтения». – Йошкар-Ола, 2011. – С. 100-103.

163. Гурина Р. В. О соотношении гиперболического рангового распределения и распределения Гаусса / Р. В. Гурина, К. В. Шарипова, М. В. Потапова // Общая и прикладная ценология. Обобщающие материалы по общей и прикладной ценологии. – М. : Технетика, 2014. – С. 296-303. – (Ценологические исследования. Вып. 53).

164. Балацкий Е. В. Капитал страны [Электронный ресурс] / Е. В. Балацкий, Н. А. Екимова // Сайт интернет-журнала об инвестиционных возможностях России «Капитал страны». – URL: <http://www.kapital-rus.ru/articles/article/174270>.

165. Пономарев Ю. И. Особенности формирования вероятностного мышления учащихся / Ю. И. Пономарев, Т. Г. Шаповаленко // Наука и школа. – 2008. – № 3. – С. 20-22.

166. Маланов С. В. Психологические механизмы мышления человека: мышление в науке и учебной деятельности : учеб. пособие / С. В. Маланов. – М. : Изд-во Моск. психолого-социального ин-та ; Воронеж : Изд-во НПО «МОДЭК», 2004. – 480 с.

167. Гурина Р. В. Использование рангового анализа при изучении Гауссовых распределений / Р. В. Гурина // Современное общество, образование

и наука : сб. науч. тр. по материалам Междунар. конф. 31 марта 2015 г.: в 16 ч. Ч. 16. – Тамбов : ООО «Консалтинговая компания Юком», 2015. – С. 28-30.

168. Гурина Р. В. Применение рангового анализа при изучении нормального распределения / Р. В. Гурина // Материалы XIII Междунар. научно-методической конф. «Физическое образование: проблемы и перспективы развития» (МПГУ 3-6 марта). Ч. 2. – М. : МПГУ, 2014. – С. 210-213.

169. Евсеев Д. А. Гауссово распределение случайных величин как S-образное ранговое распределение / Д. А. Евсеев, К. В. Шарипова, Р. В. Гурина // International student scientific bulletin. – № 3 (ч. 4). – 2015. – С. 435-438.

170. Шарипова К. В. Ранговое распределение случайных величин в координатах спрямления / К. В. Шарипова, Д. А. Евсеев // Eurasian Union of Scientists. – 2014. – С. 142-146. – URL: <http://euroasia-science.ru/zhurnaly/18-zhurnal-4/fiziko-matematicheskie-nauki>.

171. Шарипова К. В. Эмпирические ранговые распределения S-образные распределения случайных величин в координатах спрямления / К. В. Шарипова, Д. А. Евсеев. – URL: scienceforum.ru/2015/pdf/9137.pdf.

172. Гурина Р. В. Ранговый анализ случайных величин / Р. В. Гурина, С. А. Васильев // Физика и ее преподавание в школе и вузе. IX Емельяновские чтения : материалы Всеросс. научно-практической конф. 28-29 апреля 2014 года / Марийский гос. ун-т ; под ред. В. А. Белянина, Н. А. Курилевой. – Йошкар-Ола, 2014. – (205 с.). – С. 14-19.

173. Чайковский Ю. В. О природе случайности : моногр. / Ю. В. Чайковский // Ценологические исследования. – Вып. 18. – Центр системных исследований – Институт истории естествознания и техники РАН, 2001. – 272 с.

174. Трубников Б. А. Семь великих распределений вероятностей / Б. А. Трубников // Электрика. – 2008. – № 2. – С. 45-47.

175. Арапов М. В. О смысле ранговых распределений / М. В. Арапов, Е. Н. Ефимова, Ю. А. Шрейдер // Научно-техническая информация. Сер. 2. – 1975. – № 1. – С. 9-20.

176. Семенов Ю. Г. Контроль качества / Ю. Г. Семенов // Технология полупроводниковых приборов и изделий микроэлектроники. – Кн. 10. – М. : Высш. шк., 1990. – 111 с.

177. Poveda A. The exo-planetary system of 55 Cancri and the Titius-Bode law / A. Poveda, P. Lara // Revista Mexicana de Astronomía y Astrofísica. – 2008. – Vol. 44. – P. 243-246.

178. Гурина Р. В. Ценологические исследования космических объектов / Р. В. Гурина, А. А. Ланин // Тр. Междунар. форума по проблемам науки, техники и образования. Т. 3 / под ред. В. П. Савиных, В. В. Вишневого. – М. : Акад. наук о Земле, 2004. – С. 6-8.
179. Гурина Р. В. Границы применимости закона рангового распределения / Р. В. Гурина, А. А. Ланин // Техногенная самоорганизация и математический аппарат ценологических исследований. – М. : Центр системных исследований, 2005. – С. 429-437. – (Ценологические исследования. Вып. 28).
180. Гурина Р. В. О прогностических возможностях ценологической теории: существование планеты-Х предсказано в 2005 году / Р. В. Гурина // Науч. вестн. (физ.-мат. науки). – 2016. – № 1 (7). – С. 235-246. – URL: <http://ucom.ru/doc/mv.2016.01.235.pdf>.
181. Гурина Р. В. Определение орбитальных параметров планеты X пояса Койпера методом рангового анализа / Р. В. Гурина // Науч. альм. – 2018. – № 1-2(39). – С. 86-92.
182. Batygin K. Brown Evidence for a Distant Giant Planet in the Solar System / K. Batygin, E. Michael // The Astronomical Journal. – 2016. – Vol. 151, iss. 2. – P. 22. – ISSN1538-3881. – DOI:10.3847/0004-6256/151/2/22.
183. Гурина Р. В. Исследование экзопланетной системы HD 10180 НР методом рангового анализа / Р. В. Гурина, С. А. Васильев, К. А. Глазов // Материалы VII Всеросс. научно-практической конф. с междунар. участием 27-28 октября 2017 г. / под ред. к.т.н., доц. С. А. Гончарова ; к.ф-м.н., доц. Е. А. Дудник ; Рубцовский индустриальный ин-т. – Рубцовск, 2017. – С. 528-531.
184. Гурина Р. В. Ранговый анализ внесолнечных планетных систем / Р. В. Гурина, А. А. Харламова // Физика для школьников. – 2016. – № 3. – С. 43-48.
185. Философский словарь / под ред. И. Т. Фролова. – 7 изд., перераб. и доп. – М. : Республика, 2001. – 719 с.
186. Гурина Р. В. Научная картина мира. Что мы формируем у наших учеников? / Р. В. Гурина, Е. Е. Соколова // Народное образование. – 2009. – № 8. – С. 200-206.
187. Гурина Р. В. О соотношении языковой и научной картин мира / Р. В. Гурина, Е. Е. Соколова // Знание. Умение. Понимание. – 2010. – № 3. – С. 83-88.

188. Пурьшева Н. С. Интерпретации физической картины мира / Н. С. Пурьшева, Р. В. Гурина // Знание. Понимание. Умение. – 2011. – № 2. – С. 50-55.
189. Мансуров А. Н. Физическая картина мира : учеб. для студентов вузов, обучающихся по специальности «Физика» / А. Н. Мансуров. – М. : Дрофа, 2008. – 270 с.
190. Мултановский В. В. Физические взаимодействия и картина мира в школьном курсе / В. В. Мултановский. – М. : Просвещение, 1988.
191. Каменецкий Е. С. Теория и методика обучения физике в школе: Общие вопросы : учеб. пособие для студентов высш. пед. учеб. заведений / Е. С. Каменецкий, Н. С. Пурьшева, Н. Е. Важеевская ; под. ред. С. Е. Каменецкого и Н. С. Пурьшевой. – М. : Изд. центр «Академия», 2000. – 368 с.
192. Гурина Р. В. Лекции по методике преподавания физики : учеб. пособие / Р. В. Гурина. – Ульяновск : УлГУ, 2013. – 369 с.
193. Краткий словарь когнитивных терминов / Е. С. Кубрякова, В. В. Демьянков, Ю. Г. Панкрац, Л. Г. Лузина ; под общ. ред. Е. С. Кубряковой. – М. : Филол. фак. МГУ им. М. В. Ломоносова, 1996. – 245 с.
194. Медведев Л. Н. История и методология физики. Курс лекций / Л. Н. Медведев ; Сиб. федер. ун-т ; Ин-т фундамент. биол. и биотехнол. ; Каф. биофизики. – 2013. – 191 с. – URL: bio.sfu-kras.ru...Istoriya...metodologiya_fiziki.pdf.
195. Кузьменко Г. Н. Философия и методология науки : учеб. для магистратуры высш. учеб. заведений / Г. Н. Кузьменко, Г. П. Отюцкий. – М., 2014. – URL: biblio-online.ru ; static.ozone.ru.
196. Степин В. С. О третьей научной картине мира / В. С. Степин // Общая и прикладная ценология. – 2007. – № 1. – С. 5-14.
197. Гурина Р. В. Ценологические представления в третьей научной физической картине мира / Р. В. Гурина // Философия. Толерантность. Глобализация. Восток и Запад – диалог мировоззрений : тез. докл. VII Росс. филос. конгр. (г. Уфа, 6-10 октября 2015 г.) : в 3-х т. Т. II. – Уфа : РИЦ БашГУ, 2015. – С. 142.
198. Гурина Р. В. Проблема формирования у студентов ценологических знаний и представлений как составляющих научной картины мира / Р. В. Гурина // Ученые записки ЗабГУ. – 2017. – Т. 12, № 6. – С. 74-79.

199. Гурина Р. В. Управленческие эксперименты с содержанием образования и педагогическая наука: телега впереди лошади / Р. В. Гурина // Проф. образование в современном мире. – 2018. – Т. 8, № 1. – С. 1610-1617.

200. Гурина Р. В. О включении ценологических знаний в содержание образования / Р. В. Гурина // Проф. образование в современном мире. – 2017. – Т. 7, № 3. – С. 1246-1253.

201. Елисеева И. И. Эконометрика / И. И. Елисеева. – М. : Финансы и статистика, 2003. – 344 с.

202. Эконометрика : учеб. для бакалавриата и магистратуры / И. И. Елисеева [и др.] ; под ред. И. И. Елисеевой. – М. : Изд-во Юрайт, 2018. – 449 с.

ПРИЛОЖЕНИЯ

Приложение к главе 2

Таблица П.2.1

Ранговое распределение 29 металлов по удельному сопротивлению при разных температурах, построенное по данным справочника [76, с. 449]

№	Элемент	ρ , Ом·м·10 ⁻⁸ при 200 К	r	ρ , Ом·м·10 ⁻⁸ при 273 К	r	ρ , Ом·м·10 ⁻⁸ при 300 К	r	ρ , Ом·м·10 ⁻⁸ при 600 К	r
1	Mn	139	1	143	1	144	1	151	1
2	Bi	70	2	107	2	117	2		
3	Zr	26,3	3	38,8	3	75	3	129	2
4	Hf	21	4	30,4	4	34	5	78,5	4
5	Ba	20,2	5	30,2	5	34,3	4	98,2	3
6	Pb	13,6	6	19,2	7	21,3	6		
7	V	12,4	7	18,1	6	20,2	8	41,1	5
8	Cs	12,2	8	18,7	8	21	7		
9	Sr	9,04	9	12,3	9	13,5	9	26,7	8
10	Ta	8,66	10	12,2	10	13,4	10	27,4	7
11	Cr	7,7	11	11,5	12	13,3	11		
12	Rb	7,49	12	11,8	11	12,7	12	24,7	10
13	Pd	6,88	13	9,78	13	10,08	13	21,2	12
14	Pt	6,77	14	9,6	14	10,08	13	21,9	11
15	Li	5,71	15	8,53	16	9,55	15		
16	Fe	5,2	16	8,57	15	9,98	14	32,9	6
17	K	4,26	17	6,49	17	7,47	16		
18	Zn	3,83	18	5,46	19	6,06	18	13,49	13
19	Ni	3,67	19	6,16	18	7,20	17	25,5	9
20	W	3,18	20	4,82	21	5,44	20	13,00	16
21	Mo	3,13	21	4,85	20	5,52	19	13,1	15
22	Na	2,89	22	4,33	22	4,93	22		
23	Mg	2,75	23	4,05	23	4,51	21	9,52	17
24	Ca	2,19	24	3,11	24	3,45	24	7,3	18
25	Al	1,585	25	2,417	26	2,733	25	6,13	19
26	Cu	1,54	26	2,051	27	2,271	27	4,87	20
27	Au	1,462	27	3,02	25	3,76	23	13,2	14
28	Be	1,29	28	1,467	29	1,629	28	3,53	22
29	Ag	1,029	29	1,678	28	2,4	26	4,514	21

Приложения к главе 3

Приложения к параграфу 3.1

Логнормальное распределение

Логнормальное распределение случайной величины – это распределение, в котором логарифмы случайных величин x распределены нормально, то есть имеют нормальное распределение (рис. П.3.1).

Случайная величина X имеет **логнормальное** распределение с параметрами μ , σ , если распределение случайной величины задается плотностью вероятности, имеющей вид:

$$f(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi x} \sigma} \exp\left(-\frac{(\ln x - \mu)^2}{2\sigma^2}\right)$$

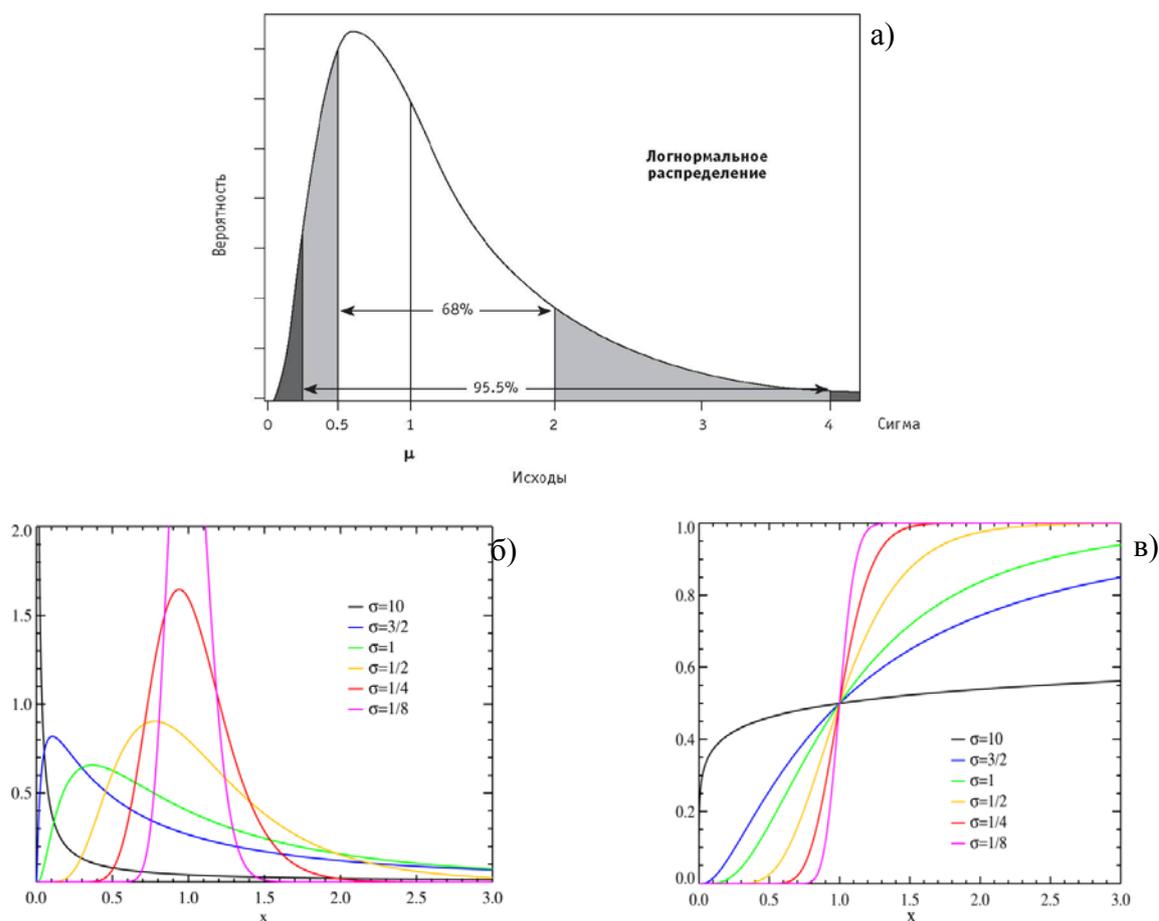


Рис. П.3.1. Логнормальное распределение:
а), б) – плотность вероятности; в) – функция распределения

Состав литосферы [100]

Элемент	Содержание, %	Ранговый номер	Элемент	Содержание, %	Ранговый номер
O	46,1	1	Er	3,5e-4	41
Si	28,2	2	Yb	3,2e-4	42
Na	2,36	3	Cs	3e-4	43
Mg	2,33	4	Hf	3e-4	44
Al	8,23	5	Be	2,8e-4	45
Fe	5,63	6	U	2,7e-4	46
Ca	4,15	7	Sn	2,3e-4	47
Ti	5,65e-1	8	Ta	2e-4	48
H	1,4e-1	9	Eu	2e-4	49
P	1,05e-1	10	As	1,8e-4	50
Mn	9,5e-2	11	Ho	1,3e-4	51
F	5,85e-2	12	W	1,25e-4	52
Ba	4,25e-2	13	Tc	1,2e-4	53
Sr	3,7e-2	14	Mo	1,2e-4	54
S	3,5e-2	15	Tl	8,5e-5	55
C	2e-2	16	Lu	8e-5	56
Zr	1,65e-2	17	I	4,5e-5	57
Cl	1,45e-2	18	In	2,5e-5	58
V	1,2e-2	19	Cd	1,5e-5	59
Cr	1,02e-2	20	Hg	8,5e-6	60
Rb	9e-3	21	Ag	7,5e-6	61
Ni	8,4e-3	22	Se	5e-6	62
Zn	7e-3	23	Pd	1,5e-6	63
Ce	6,65e-3	24	Bi	8,5e-7	64
Nd	4,15e-3	25	He	8e-7	65
La	3,9e-3	26	Ne	5e-7	66
Y	3,3e-3	27	Pt	5e-7	67
Co	2,5e-3	28	Au	4e-7	68
Sc	2,2e-3	29	Os	1,5e-7	69
Nb	2e-3	30	Te	1e-7	70
Li	2e-3	31	Ir	1e-7	71
N	1,9e-3	32	Rh	1e-7	72
Ga	1,9e-3	33	Ru	1e-7	73
Pb	1,4e-3	34	Re	7e-8	74
Th	9,6e-4	35	Kr	1e-8	75
Pr	9,2e-4	36	Xe	3e-9	76
Sm	7,05e-4	37	Pa	1,4e-10	77
Gd	6,2e-4	38	Ra	9e-11	78
Dy	5,2e-4	39	Rn	4e-17	79
Ar	3,5e-4	40			

Примечание. Запись чисел с порядком в экспоненциальной форме

Очень большие числа в алгебре принято представлять в виде степеней числа 10. В языках программирования такая запись тоже практикуется и называется **нормализованная (экспоненциальная) форма**. При этом использованы следующие обозначения:

-	1.17	E (или e)	+08 (или 8)
Знак мантиссы	Мантисса (число от 1 до 10)	Символ, заменяющий 10	Порядок степени числа 10 (со знаком)

Напомним эквивалентное значение записей:

$$5,65 \cdot 10^{-1} = 5,65 \cdot 10e^{-1} = 5,65 \cdot 10^{-1} = 0,565;$$

$$1,3 \cdot 10e^{-4} = 1,3 \cdot 10^{-4} = 0,00013$$

или $-1.17 \cdot 10^8$ записывается как $-1.17E+08$ или $-1.17E8$

Другие примеры (обращаем внимание, что знак умножения ставить не надо)

алгебраическая запись	запись на языке Паскаль
$9.1 \cdot 10^{-21}$	9.1E-21
$-0.17 \cdot 10^3$	-0.17E3 или -1.7E2
10^5	1E5

Состав гидросферы [100]

Элемент	Содержание, %	Ранговый номер	Элемент	Содержание, %	Ранговый номер
O	85,7	1	Xe	5e-9	39
H	10,8	2	Ag	4e-9	40
Cl	1,94	3	Ga	3e-9	41
Na	1,08	4	Hg	3e-9	42
Mg	1,29e-1	5	Zr	3e-9	43
S	9,05e-2	6	Co	2e-9	44
Ca	4,12e-2	7	Bi	2e-9	45
K	3,99e-2	8	Tl	1,9e-9	46
Br	6,73e-3	9	Y	1,3e-9	47
C	2,8e-3	10	Nb	1e-9	48
Sr	7,9e-4	11	He	7e-10	49
B	4,44e-4	12	Hf	7e-10	50
Si	2,2e-4	13	Be	5,6e-10	51
F	1,3e-4	14	Sn	4e-10	52
N	5e-5	15	Au	4e-10	53
Ar	4,5e-5	16	Re	4e-10	54
Rb	1,2e-5	17	La	3,4e-10	55
I	6e-6	18	Nd	2,8e-10	56
Sb	2,4e-6	19	Ta	2e-10	57
In	2e-6	20	Th	1e-10	58
Ba	1,3e-6	21	Dy	9,1e-11	59
Mo	1e-6	22	Er	8,7e-11	60
Zn	4,9e-7	23	Yb	8,2e-11	61
As	3,7e-7	24	Gd	7e-11	62
U	3,2e-7	25	Ru	7e-11	63
V	2,5e-7	26	Pr	6,4e-11	64
Fe	2e-7	27	Sc	6e-11	65
Al	2e-7	28	Sm	4,5e-11	66
Ti	1e-7	29	Ho	2,2e-11	67
Ni	5,6e-8	30	Tm	1,7e-11	68
Cr	3e-8	31	Lu	1,5e-11	69
Cs	3e-8	32	Tc	1,4e-11	70
Cu	2,5e-8	33	Eu	1,3e-11	71
Se	2e-8	34	Ra	8,9e-15	72
Mn	2e-8	35	Pa	5e-15	73
Ne	1,2e-8	36	Po	1,5e-18	74
Cd	1,1e-8	37	Rn	6e-20	75
W	1e-8	38			

Таблица П.3.2, а

Химический состав океанических вод
 (<https://ru.wikipedia.org/wiki/https://yandex.ru/search/?text=основной%20химический%20состав%20океанических%20вод%20википедия&lr=195>)

Элемент	%	Элемент	%	Элемент	%
Кислород	85,7	Натрий	1,05	Кальций	0,04
Водород	10,8	Магний	0,1350	Калий	0,0380
Хлор	1,9	Сера	0,0885	Бром	0,0065
				Углерод	0,0026

Таблица П.3.2., б

Солевой состав океанических и речных вод
 (<https://studfiles.net/preview/398113/page:3/Таблица 2>)

Химические вещества	Воды океанов, %	Речные воды, %
Хлориды – NaCl, MgCl ₂	88,7	5,2
Сульфаты – Mg(SO ₄), Ca(SO ₄), K ₂ (SO ₄)	10,8	9,9
Карбонаты – Ca(CO ₃)	0,3	60,1
Прочие вещества	0,2	24,8

Таблица П.3.3

Рангово-видовое распределение ресурсов воды на Земле [100]

Ресурсы	г	V, км ³
Океаны и моря	1	13,36·10 ⁸
Полярный лед	2	3,5·10 ⁶
Озера	3	2,5·10 ⁵
Подземные озера	4	2,5·10 ⁵
Реки	5	5·10 ⁴
Болота	6	6000
Снежный покров	7	250

Таблица П.3.4

Ранговое распределение состава океанической воды [100]

Элемент	Формула	Ранговый номер	Содержание, W, %
Кислород	O	1	85,94
Водород	H	2	10,8
Хлор	Cl	3	1,898
Натрий	Na	4	1,056
Магний	Mg	5	0,1272
Сера	S	6	0,0884
Кальций	K	7	0,04
Калий	Ca	8	0,038
Бром	Br	9	0,0065
Углерод	C	10	0,003
Азот	N	11	0,0017
Стронций	Sr	12	0,00133
Бор	B	13	$4,6 \cdot 10^{-4}$
Кремний	Si	14	$2 \cdot 10^{-4}$
Фтор	F	15	$1,3 \cdot 10^{-4}$
Аргон	Ar	16	$6,4 \cdot 10^{-5}$
Рубидий	Rb	17	$2 \cdot 10^{-5}$
Литий	Li	18	$1 \cdot 10^{-5}$
Фосфор	P	19	$1 \cdot 10^{-5}$
Йод	I	20	$5 \cdot 10^{-6}$
Барий	Ba	21	$5 \cdot 10^{-6}$
Мышьяк	As	22	$1,5 \cdot 10^{-6}$
Цинк	Zn	23	$1 \cdot 10^{-6}$
Алюминий	Al	24	$1 \cdot 10^{-6}$
Железо	Fe	25	$1 \cdot 10^{-6}$
Медь	Cu	26	$6 \cdot 10^{-7}$
Свинец	Pb	27	$4 \cdot 10^{-7}$
Марганец	Mn	28	$4 \cdot 10^{-7}$
Селен	Se	29	$4 \cdot 10^{-7}$
Цезий	Cs	30	$2 \cdot 10^{-7}$
Уран	U	31	$1,5 \cdot 10^{-7}$
Молибден	Mo	32	$5 \cdot 10^{-8}$
Галлий	Ga	33	$5 \cdot 10^{-8}$
Торий	Th	34	$5 \cdot 10^{-8}$
Никель	Ni	35	$3 \cdot 10^{-8}$
Ванадий	V	36	$3 \cdot 10^{-8}$
Церий	Ce	37	$3 \cdot 10^{-8}$
Иттрий	Y	38	$3 \cdot 10^{-8}$
Лантан	La	39	$3 \cdot 10^{-8}$
Криптон	Kr	40	$2,8 \cdot 10^{-8}$
Висмут	Bi	41	$2 \cdot 10^{-8}$
Неон	Ne	42	$1,1 \cdot 10^{-8}$
Кобальт	Co	43	$1 \cdot 10^{-8}$
Серебро	Ag	44	$1 \cdot 10^{-8}$
Ксенон	Xe	45	$9,4 \cdot 10^{-9}$
Скандий	Sc	46	$4 \cdot 10^{-9}$
Ртуть	Hg	47	$3 \cdot 10^{-9}$
Гелий	He	48	$5,2 \cdot 10^{-10}$
Золото	Au	49	$5 \cdot 10^{-10}$
Радий	Ra	50	$3 \cdot 10^{-10}$

Таблица П.3.5

Ранговое распределение химического состава Мертвого моря [100]

Элемент	С, мг/л	W, %	Ранговый номер
Cl	208,02	48,8	1
K	75,6	17,8	2
Hg	41,96	9,9	3
Mg	40,7	9,5	4
Na	34,9	8,2	5
Ca	15,8	3,7	6
Br	6,92	1,6	7
H ₂ SO ₄	0,54	0,13	8
HSO ₄	0,5	0,12	9
Sr	0,3	0,07	10
H ₂ CO ₃	0,24	0,06	11
HCO ₃	0,2	0,05	12
Ru	0,06	0,01	13
Li	0,02	0,005	14

Таблица П.3.6

Ранговое распределение химического состава атмосферы Земли [100]

Газ	Ранговый номер	Объемные проценты
Азот N ₂	1	78
Кислород O ₂	2	21
Аргон Ar	3	0,9
Водяной пар H ₂ O	4	~ 0,1
Неон Ne	5	1,8·10 ⁻³
Гелий He	6	5·10 ⁻⁴
Метан CH ₄	7	1,6·10 ⁻⁴
Угарный газ CO	8	1,2·10 ⁻⁴
Криптон Kr	9	1,1·10 ⁻⁴
Углекислый газ CO ₂	10	3·10 ⁻⁵
Водород H ₂	11	~ 2·10 ⁻⁵
Озон O ₃	12	~ 10 ⁻⁵
Аммиак NH ₃	13	~ 10 ⁻⁵
Ксенон Xe	14	8,7·10 ⁻⁶
Двуокись серы SO ₂	15	~ 5·10 ⁻⁹

**Список достоверных и предполагаемых взрывных метеоритных кратеров,
расположенных на территории России [102-104]**

Наименование кратера	Координаты		Диаметр, км	Возраст, млн лет
	широта	долгота		
Попигай	71°38'	111°11'	100	35,7±0,2
Кара	69°06'	64°09'	65 ?	70,3±2,2
Пучеж-Катункский	56°58'	43°43'	80	167±3
Каменский	48°21'	40°30'	25	49,15±0,18
Логанча	65°31'	95°56'	20	40±20
Эльгыгытгын	67°30'	172°05'	18	3,5±0,5
Калужский	54°30'	36°12'	15	380
Янисъярви	61°58'	30°55'	14	700±5
Карлинский	54°55'	48°02'	10	5±1
Рагозинский	58°44'	61°48'	9	46±3
Беенчиме-Салаатинский	71°00'	121°40'	8	40±20
Курский	51°42'	36°00'	6	250±80
Чукча	75°42'	97°48'	6	75±25
Гусевский	48°26'	40°32'	3	49,15±0,18
Мишиногорский	58°43'	28°03'	3	300±50
Суавъярви	63°07'	33°23'	16	~2400
Смердячее	55°44'	39°49'	0,25	<0,01
Гагарин	55°42'	33°40'	1,2	?

Ранговое распределение жизненно важных элементов [100]

Элемент	Ранговый номер	W, %
O	1	61
C	2	23
H	3	10
N	4	2,6
Ca	5	1,4
P	6	1,1
S	7	0,20
K	8	0,20
Na	9	0,14
Cl	10	0,12
Mg	11	0,027
Si	12	0,026
Fe	13	0,006
F	14	0,0037
Zn	15	0,0033
Rb	16	0,00046
Sr	17	0,00046
Br	18	0,00029
Pb	19	0,00017
Cu	20	0,00010
Al	21	0,00009
Cd	22	0,00007
B	23	<0,00007
Ba	24	0,00003
Sn	25	<0,00002
Mn	26	0,00002
I	27	0,00002
Ni	28	0,00001
Au	29	<0,00001
Mo	30	<0,00001
Cr	31	<0,000003
Cs	32	0,000002
Co	33	0,000002
U	34	0,0000001

Приложения к параграфу 3.2

Таблица П.3.9

РР масс планет Солнечной системы в массах Земли,
построенное по данным справочника [107, с. 975]

	W, M_З	r	ln W	ln r
Юпитер	318	1	2,5	0
Сатурн	95	2	1,98	0,3
Нептун	17,2	3	1,23	0,48
Уран	14,6	4	1,16	0,6
Земля	1	5	0	0,7
Венера	0,82	6	-0,09	0,78
Марс	0,11	7	-0,96	0,84
Меркурий	0,06	8	-1,22	0,9
Эрида	0,003	9	-2,52	0,95
Плутон	0,002	10	-2,62	1

Таблица П.3.10

РР параметров планет Солнечной системы относительно земных [107, с. 975]

Планета	Среднее расстояние от Солнца (средний орбитальный радиус)		Средний сидерический период
	а.е.	Ранг, r	Лет
Меркурий	0,38710	9	0,24085
Венера	0,72333	8	0,61521
Земля	1,00000	7	1,00004
Марс	1,52363	6	1,88078
Юпитер	5,20441	5	11,8677
Сатурн	9,58378	4	29,6661
Уран	19,18722	3	84,048
Нептун	30,02090	2	164,491
Плутон	39,23107	1	245,73

Таблица П.3.11

**Скорость покидания планет и планетоподобных
(вторая космическая скорость), км/с; КП – карликовая планета**

1	Меркурий	планета	4,2	16	Титан	спутник	2,6
2	Венера	планета	10,4	17	Япет	спутник	0,5
3	Земля	планета	11,2	18	Уран	планета	21,3
4	Луна	спутник	2,4	19	Ариэль	спутник	0,6
5	Марс	планета	5	20	Умбриэль	спутник	0,5
6	Церера	КП	0,5	21	Титания	спутник	0,8
7	Юпитер	планета	59,6	22	Оберон	спутник	0,7
8	Ио	спутник	2,6	23	Нептун	планета	23,6
9	Европа	спутник	2	24	Тритон	спутник	1,5
10	Ганимед	спутник	2,7	25	Плутон	КП	1,2
11	Каллисто	спутник	2,5	26	Харон	спутник	0,6
12	Сатурн	планета	35,5	27	Хаумеа	КП	0,84
13	Тефия	планета	0,4	28	Макемаке	КП	0,8
14	Диона	спутник	0,5	29	Эрида	КП	1,3
15	Рея	спутник	0,6				

Таблица П.3.12

PP масс спутников Сатурна, по данным [108, с. 420]

Название	Ранг, г	Масса, М (10^{20} кг)	$\ln r$	$\ln M$, (10^{20} кг)
Титан	1	1345,2	0	3,13
Рея	2	23,06	0,3	1,36
Япет	3	18,05	0,48	1,26
Диона	4	10,95	0,6	1,04
Тефия	5	6,17	0,7	0,79
Энцелад	6	1,08	0,78	0,03
Мимас	7	0,384	0,84	-0,41
Феба	8	0,083	0,9	-1,08
Гиперион	9	0,055	0,95	-1,26
Янус	10	0,019	1	-1,72
Эпиметей	11	0,0053	1,04	-2,27
Прометей	12	0,00016	1,08	-3,79
Пандора	13	0,000135	1,11	-3,87
Атлас	14	0,000066	1,15	-4,18
Пан	15	0,000049	1,18	-4,31
Дафнис	16	0,0000005	1,2	-6,3
Паллена	17	0,00000017	1,23	-6,77
Полидевк	18	0,0000001	1,255	-7
Метона	19	0,00000007	1,28	-7,15

RR диаметров спутников Сатурна, по данным [108, с. 420]

Название	Ранг, r	Средний диаметр, <D>, км	ln r	ln <D>, км
Титан	1	5150	0	3,71
Рея	2	1528,8	0,3	3,18
Япет	3	1459,8	0,48	3,16
Диона	4	1123,4	0,6	3,05
Тефия	5	1066	0,7	3,03
Энцелад	6	504,3	0,78	2,7
Мимас	7	397,8	0,84	2,6
Гиперион	8	288,3	0,9	2,46
Феба	9	220	0,95	2,34
Янус	10	167,6	1	2,22
Эпиметей	11	116	1,04	2,06
Прометей	12	97,3	1,08	1,99
Пандора	13	86,6	1,11	1,94
Сиарнак	14	40	1,15	1,6
Атлас	15	34,3	1,18	1,53
Елена	16	32,6	1,2	1,51
Альбиорикс	17	32	1,23	1,5
Пан	18	31	1,255	1,49
Телесто	19	23,6	1,28	1,37
Калипсо	20	22,3	1,3	1,35
Палиак	21	22	1,32	1,34
Кивиок	22	16	1,34	1,2
Имир	23	16	1,36	1,2
Тарвос	24	15	1,38	1,18
Иджирак	25	12	1,4	1,08
Эррипо	26	10	1,41	1
Гироккин	27	8	1,43	0,9
Дафнис	28	7	1,45	0,84
Бестла	29	7	1,46	0,84
Кари	30	7	1,48	0,84
Нарви	31	6,6	1,5	0,82
Скади	32	6,4	1,505	0,81
Бергельмир	33	6	1,52	0,78
Хати	34	6	1,53	0,78
Эгир	35	6	1,54	0,78
Сурт	36	6	1,56	0,78
Логи	37	6	1,57	0,78
Мундилфари	38	5,6	1,58	0,75
Суттунг	39	5,6	1,59	0,75
Трюм	40	5,6	1,6	0,75
Фарбаути	41	5	1,61	0,7
Паллена	42	4	1,62	0,6
Фенрир	43	4	1,63	0,6
Полидевк	44	3,5	1,64	0,54
Метона	45	3	1,65	0,48

Параметры кратеров Марса (в км), по данным [116]

Название	Широта, град.	Долгота, град.	Диаметр, км	Название	Широта, град.	Долгота, град.	Диаметр, км
Агассис	-70	89	110	Лайелл	-70	15	120
Адаме	+31	197	100	Лассвиц	-9	222	ПО
Анри	+11	337	170	Лау	-74	107	ПО
Антониади	+22	299	380	Леверье	-38	343	120
Араго	+10	330	150	Лио	+50	331	220
Аррениус	-40	237	120	Ли Фан	-47	153	100
Архангельский	-41	24	170	Лиэ	-75	253	122
Аудеманс	-10	92	120	Лозе	-43	16	160
Бакхойзен	-23	344	140	Ломоносов	+65	8	135
Бальде	+23	294	190	Лоуэлл	-52	81	200
Барабашов	+47	69	130	Лузин	+27	328	115
Барнард	-61	298	122	Лю Синь	-53	172	122
Беддикер	-15	197	ПО	Магеллан	-32	174	ПО
Беккерель	+22	8	175	Маджини	+28	350	140
Бернард	-23	154	130	Маральди	-62	32	115
Берроуз	-72	242	ПО	Маринер	-35	164	160
Бертон	-14	156	120	Март	+13	3	100
Бонд	-33	36	120	Матч	+1	55	196
Брашир	-54	120	115	Медлер	-11	357	100
Бугер	-19	333	100	Мейн	-77	310	115
Бэрд	-66	232	120	Ми	+48	220	100
Вери	-50	177	140	Мийошо	-21	275	118
Вин	-11	220	120	Миланкович	+55	147	120
Виноградов	-20	38	225	Митчел	-68	284	179
Вирц	-49	26	130	Море	+42	316	135
Вислиценус	-18	348	150	Моулсуорт	-28	211	175
Галилей	+6	27	133	Мюллер	-26	232	120
Галле	-51	31	210	Николсон	0	164	10
Гейл	-6	222	160	Нистен	-28	302	ПО
Гексли	-63	259	100	Нобель	-7	227	125
Гельмгольц	-46	21	ПО	Ньюком	-24	358	250
Гершель	-14	230	320	Ньютон	-41	158	280
Гилберт	-68	274	117	Пастер	+19	335	125
Графф	-21	206	160	Перидье	+26	276	100
Грин	-52	8	160	Пикеринг	-34	134	ПО
Гук	-45	44	140	Портер	-51	114	105
Гусев	-14	184	170	Проктор	-48	330	160
Гюйгенс	-14	304	495	Птолемей	-46	158	160
Да Винчи	+2	39	100	Рабе	-44	325	105
Дарвин	-57	19	173	Радо	+17	5	120
Дауэс	-9	322	190	Райт	-59	151	115
Дежнев	-26	164	142	Резерфорд	+19	11	100
Деннинг	-18	326	150	Рессел	-55	348	140
Дю Мартере	+6	266	100	Рэлей	-76	240	182
Дю Тойт	-72	46	200	Саут	-77	339	105
Жансен	+3	322	160	Секки	-58	258	198
Жарри-Делож	-9	276	100	Скиапарелли	-3	343	500
Кайзер	-47	341	205	Складовская	+34	3	120
Кассини	+24	328	440	Чемберлин	-66	124	120
Кениссе	+34	319	130	Черулли	+32	338	125
Ковальский	-30	142	315	Шарлье	-69	168	ПО
Колумб	-29	166	ПО	Шаронов	+27	59	115
Комас Сола	-20	158	136	Шеберле	-24	310	160
Коперник	-49	169	280	Шенер	+20	*309	200
Криштофович	-48	262	ПО	Шмидт	-72	79	196
Кроммелин	+5	10	107	Шретер	-2	304	310
Кэмпбелл	-54	195	133	Эдди	+12	218	100
Кюри	+29	5	115				

Таблица П.3.15

РР диаметров кратеров Марса (км), построенное по данным таблицы П.3.14

r	d, км						
1	500	25	160	49	118	73	107
2	495	26	160	50	120	74	107
3	440	27	160	51	120	75	107
4	380	28	160	52	120	76	107
5	352	29	160	53	120	77	107
6	320	30	150	54	120	78	107
7	315	31	150	55	120	79	107
8	280	32	150	56	120	80	105
9	250	33	142	57	120	81	105
10	230	34	140	58	120	82	105
11	220	35	140	59	118	83	105
12	220	36	140	60	119	84	100
13	210	37	140	61	117	85	100
14	200	38	135	62	115	86	100
15	200	39	135	63	115	87	100
16	179	40	133	64	115	88	100
17	175	41	133	65	115	90	100
18	175	42	130	66	115	91	100
19	170	43	130	67	115	92	100
20	170	44	130	68	110	93	100
21	170	45	125	69	110		
22	160	46	125	70	110		
23	160	47	122	71	110		
24	160	48	122	72	110		

Таблица П.3.16

Состав атмосферы Венеры [167]

Вещество	W, %	r	ln r	ln W
CO ₂ (Углекислый газ)	96,5	1	0	4,6
N (Азот)	3,5	2	0,7	1,3
SO ₂ (Диоксид серы)	0,015	3	1,1	-4,2
Ar (Аргон)	0,007	4	1,4	-5
H ₂ O (Водный пар)	0,002	5	1,6	-6,2
CO (Угарный газ)	0,0017	6	1,8	-6,4
He (Гелий)	0,0012	7	1,9	-6,7
Ne (Неон)	0,0007	8	2,1	-7,3

Таблица П.3.17

Состав атмосферы Марса [167]

Вещество	r	W	ln r	ln W
CO ₂ (Углекислый газ)	1	95,72	0	4,56
N (Азот)	2	2,7	0,7	1
Ar (Аргон)	3	1,6	1,1	0,47
O (Кислород)	4	0,2	1,4	-1,6
CO (Угарный газ)	5	0,07	1,6	-2,7
H ₂ O (Водный пар)	6	0,03	1,8	-3,5
NO (Окись азота)	7	0,01	1,9	-4,6

Таблица П.3.18

Состав атмосферы Меркурия [167]

Вещество	r	W	ln r	ln W
K (Калий)	1	31,7	0	3,5
Na (Натрий)	2	24,9	0,7	3,2
O (А. Кислород)	3	9,5	1,1	2,3
Ar (Аргон)	4	7	1,4	1,9
He (Гелий)	5	5,9	1,6	1,8
O (М. Кислород)	6	5,6	1,8	1,72
N (Азот)	7	5,2	1,9	1,65
CO ₂ (Углекислый газ)	8	3,6	2,1	1,3
H ₂ O (Вода)	9	3,4	2,2	1,28
H (Водород)	10	3,2	2,3	1,16

Таблица П.3.19

Состав атмосферы Нептуна [167]

Вещество	r	W	ln r	ln W
H (Водород)	1	79	0	4,4
He (Гелий)	2	19	0,7	2,94
CH ₄ (Метан)	3	1,5	1,1	0,4
HD (Дейтерид водорода)	4	0,019	1,4	-4
C ₂ H ₆ (Этан)	5	0,00015	1,6	-8,8

Таблица П.3.20

Состав атмосферы Юпитера [167]

Вещество	r	W	ln r	ln W
H (Водород)	1	88,8	0	4,5
He (Гелий)	2	10,2	0,7	2,3
CH ₄ (Метан)	3	0,3	1,1	-1,2
NH ₄ ⁺ (Аммоний)	4	0,026	1,4	-3,7
HD (Дейтерид водорода)	5	0,003	1,6	-5,8
C ₂ H ₆ (Этан)	6	0,0006	1,8	-7,4
H ₂ O (Вода)	7	0,0004	1,9	-7,8

Таблица П.3.21

Химический состав железных метеоритов [167]

Вещество	r	W	ln r	ln W
Fe (Железо)	1	90,86	0	4,5
Ni (Никель)	2	8,5	0,7	2,14
Co (Кобальт)	3	0,6	1,1	-0,5
S (Сера)	4	0,5	1,4	-0,7
Ca (Кальций)	5	0,2	1,6	-1,6
P (Фосфор)	6	0,17	1,8	-1,8
Mn (Марганец)	7	0,05	1,9	-3
Mg (Магний)	8	0,03	2,08	-3,5
Cu (Медь)	9	0,02	2,2	-3,9
Cr (Хром)	10	0,01	2,3	-4,6

Таблица П.3.22

Химический состав железно-каменных метеоритов [167]

Вещество	r	W	ln r	ln W
Fe (Железо)	1	55,33	0	4
O (Кислород)	2	18,55	0,7	2,9
Mg (Магний)	3	12,33	1,1	2,5
Ni (Никель)	4	5,43	1,4	1,7
Co (Кобальт)	5	0,3	1,6	-1,2

Таблица П.3.23

Химический состав каменных метеоритов [167]

Вещество	r	W	ln r	ln W
O (Кислород)	1	41	0	3,7
Si (Кремний)	2	21	0,7	3
Fe (Железо)	3	15,5	1,1	2,74
Mg (Магний)	4	14,3	1,4	2,66
S (Сера)	5	1,82	1,6	0,598
Ca (Кальций)	6	1,8	1,8	0,587
Al (Алюминий)	7	1,56	1,9	0,44
Ni (Никель)	8	1,1	2,1	0,1
Na (Натрий)	9	0,8	2,2	-0,2
Cr (Хром)	10	0,4	2,3	-0,9
Mn (Марганец)	11	0,16	2,4	-1,8
Ti (Титан)	12	0,12	2,5	-2,1
P (Фосфор)	13	0,1	2,56	-2,3
Co (Кобальт)	14	0,08	2,64	-2,5
K (Калий)	15	0,07	2,7	-2,66
Cu (Медь)	16	0,01	2,8	-4,6

Таблица П.3.24

Химический состав лунного грунта [167]

Вещество	r	W	ln r	ln W
O (Кислород)	1	43,1	0	3,8
Si (Кремний)	2	21,1	0,7	3
Al (Алюминий)	3	10	1,1	2,3
Ca (Кальций)	4	8,77	1,4	2,17
Fe (Железо)	5	7,27	1,6	1,98
Mg (Магний)	6	5,5	1,8	1,7
Ti (Титан)	7	1,1	1,9	0,1
Na (Натрий)	8	1	2,1	0
S (Сера)	9	0,9	2,2	-0,1
K (Калий)	10	0,138	2,3	-1,98

Гарвардская спектральная классификация звезд [108]

	$W (10^3)$	r	$\ln W (10^3)$	$\ln r$
<i>W (голубые)</i>	100	1	2	0
<i>O2 (голубые)</i>	54	2	1,73	0,3
<i>O5</i>	46	3	1,66	0,48
<i>O7</i>	39,5	4	1,6	0,6
<i>O9</i>	33,5	5	1,52	0,7
<i>B0 (бело-голубые)</i>	29	6	1,46	0,78
<i>B1</i>	24	7	1,38	0,84
<i>B2</i>	21	8	1,32	0,9
<i>B2.5</i>	19,2	9	1,28	0,95
<i>B3</i>	18,2	10	1,26	1
<i>B4</i>	16,9	11	1,23	1,04
<i>B5</i>	15,2	12	1,18	1,08
<i>B6</i>	13,8	13	1,14	1,11
<i>B7</i>	12,8	14	1,11	1,15
<i>B8</i>	11	15	1,04	1,18
<i>B9</i>	10,2	16	1,01	1,2
<i>A0 (белые)</i>	9,6	17	0,98	1,23
<i>A2</i>	9	18	0,95	1,255
<i>A4</i>	8,4	19	0,92	1,28
<i>A7</i>	7,9	20	0,9	1,3
<i>A9</i>	7,4	21	0,87	1,32
<i>F0</i>	7,2	22	0,86	1,34
<i>F1 (желтовато-белые)</i>	7	23	0,84	1,36
<i>F2</i>	6,8	24	0,83	1,38
<i>F3</i>	6,6	25	0,82	1,4
<i>F6</i>	6,4	26	0,8	1,41
<i>F8</i>	6,2	27	0,79	1,43
<i>G0 (желтые)</i>	6	28	0,78	1,45
<i>G2</i>	5,8	29	0,76	1,46
<i>G4</i>	5,7	30	0,755	1,48
<i>G5</i>	5,5	31	0,74	1,5
<i>G9</i>	5,4	32	0,73	1,505
<i>K0 (оранжевые)</i>	5,15	33	0,71	1,52
<i>K1</i>	5	34	0,7	1,53
<i>K2</i>	4,85	35	0,685	1,54
<i>K4</i>	4,65	36	0,67	1,56
<i>K5</i>	4,45	37	0,65	1,57
<i>K7</i>	4,15	38	0,62	1,58
<i>M0 (красные)</i>	3,85	39	0,585	1,59
<i>M2</i>	3,65	40	0,56	1,6
<i>M3</i>	3,45	41	0,54	1,61
<i>M4</i>	3,31	42	0,52	1,62
<i>M5</i>	3,22	43	0,51	1,63
<i>M6</i>	3,01	44	0,48	1,64
<i>M7</i>	2,89	45	0,46	1,65
<i>M7.5</i>	2,78	46	0,44	1,66
<i>M8</i>	2,51	47	0,4	1,67
<i>M9</i>	2,37	48	0,37	1,68
<i>M9.5</i>	1,8	49	0,255	1,69
<i>C</i>	0,35	50	-0,455	1,7

Химический состав звезд

Относительные количества атомов в звездах					
Элемент	τ Скорпиона	Элемент	ξ Персея	Элемент	γ Пегаса
Водород	8530	Водород	8300	Водород	8700
Гелий	1450	Гелий	1700	Гелий	1290
Кислород	11	Кислород	9	Неон	4,65
Неон	4,5	Неон	3,4	Кислород	3,7
Азот	3,1	Азот	1,7	Углерод	3,3
Углерод	2	Углерод	1,5	Азот	0,9
Кремний	0,75	Кремний	0,77	Магний	0,76
Магний	0,46	Магний	0,49	Сера	0,55
Алюминий	0,032	Сера	0,25	Кремний	0,094
Сера	-	Алюминий	0,05	Аргон	0,07
Аргон	-	Аргон	-	Фтор	0,028
Фтор	-	Фтор	-	Хлор	0,014
Хлор	-	Хлор	-	Алюминий	0,005
Фосфор	-	Фосфор	-	Фосфор	0,0028

Приложение к главе 5

Обобщенный метод наименьших квадратов

Пусть имеется несколько независимых наборов измерений зависимой величины y_i , полученных при комбинации независимых переменных $\vec{x}_i = (x_i^1, x_i^2, \dots, x_i^n)$. Например, измерение сбросовой характеристики вакуумной лампы при различных анодных напряжениях и различных температурах катода. Предлагается гипотеза, что величины y_i зависят от \vec{x}_i по закону $g(\vec{x}_i) = \sum_{a=1}^M A_a f_a(\vec{x}_i)$, где A_a – коэффициенты модели, $f_a(\vec{x}_i)$ – предполагаемые функциональные зависимости модели. Независимые однотипные эксперименты нумеруются индексом $i = 1, \dots, N$. Целью метода является вычисление коэффициентов выбранной гипотезы A_a , которые наилучшим образом соответствуют выбранной модели. Для этого нужно, чтобы средняя сумма квадратов отклонений $\varepsilon_i = y_i - \sum_{a=1}^M A_a f_a(\vec{x}_i)$ измеренных значений была минимальной.

$$\sigma_0^2(A_1, \dots, A_M) = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \varepsilon_i^2 \rightarrow \min$$

Чтобы найти коэффициенты A_1, \dots, A_M , необходимо решить задачу на нахождение экстремума функционала $\sigma_0^2(A_1, \dots, A_M)$, иными словами найти минимум этого функционала. Для этого необходимо решить систему уравнений:

$$\frac{\partial \sigma_0^2(A_1, \dots, A_M)}{\partial A_a} = 0.$$

Полученную систему также можно записать в матричном виде $\hat{R}\vec{A} = \vec{F}$, где \hat{R} – симметричная положительно определенная матрица ковариаций, элементы которой имеют вид:

$$\hat{R} = R_{ab} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N f_a(\vec{x}_i) f_b(\vec{x}_i), \quad a, b = 1, \dots, M,$$

а вектор правых частей:

$$\vec{F} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N y_i f_a(\vec{x}_i), \quad a = 1, \dots, M.$$

Если вектор \vec{F} не нулевой, то существует единственное решение уравнения $\hat{R}\vec{A} = \vec{F}$ в виде $\vec{A} = \hat{R}^{-1}\vec{F}$, где \hat{R}^{-1} – матрица, обратная \hat{R} . Когда найде-

ны все коэффициенты модели необходимо оценить погрешность определения их величины. Для этого предположим, что нам известны истинные значения всех коэффициентов для большого количества однотипных экспериментов $\vec{A}_0 = A_a^0$, где $a = 1, \dots, M$. Вычислим вектор $\vec{F}_0 = \hat{R}^{-1} \vec{A}_0$ и посчитаем разницу соответствующих коэффициентов в виде:

$$\delta A_a = A_a - A_a^0 = \sum_{b=1}^M R_{ab}^{-1} \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (y_i - y_i^0) f_b(\bar{x}_i),$$

где y_i^0 – истинное значение зависимой величины. Предполагается, что отклонения измеренных величин от истинных $y_i - y_i^0$ взаимонезависимы при разных \bar{x}_i и распределены по нормальному закону с нулевым средним значением μ среднестатистическим отклонением σ_0 . Другими словами среднее по ансамблю экспериментальных выборок $\langle y_i \rangle = 0$ и $\langle y_i y_j \rangle = \sigma_0^2 \delta_{ij}$. Тогда отклонения величин коэффициентов модели A_a можно вычислить:

$$\begin{aligned} \sigma_{A_a}^2 &= \left\langle (A_a - A_a^0)^2 \right\rangle = \left\langle \sum_{b=1}^M R_{ab}^{-1} \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (y_i - y_i^0) f_b(\bar{x}_i) \sum_{c=1}^M R_{ac}^{-1} \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N (y_j - y_j^0) f_c(\bar{x}_j) \right\rangle = \\ &= \sum_{b=1}^M \sum_{c=1}^M R_{ab}^{-1} R_{ac}^{-1} \left\langle \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (y_i - y_i^0) f_b(\bar{x}_i) \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N (y_j - y_j^0) f_c(\bar{x}_j) \right\rangle = \\ &= \sum_{b=1}^M \sum_{c=1}^M R_{ab}^{-1} R_{ac}^{-1} \frac{1}{N} \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N \left\langle (y_i - y_i^0)(y_j - y_j^0) \right\rangle f_b(\bar{x}_i) f_c(\bar{x}_j) = \\ &= \sum_{b=1}^M \sum_{c=1}^M R_{ab}^{-1} R_{ac}^{-1} \frac{1}{N} \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N \sigma_0^2 \delta_{ij} f_b(\bar{x}_i) f_c(\bar{x}_j) = \\ &= \sigma_0^2 \sum_{b=1}^M \sum_{c=1}^M R_{ab}^{-1} R_{ac}^{-1} \frac{1}{N} \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N f_b(\bar{x}_i) f_c(\bar{x}_i) = \\ &= \sigma_0^2 \sum_{b=1}^M \sum_{c=1}^M R_{ab}^{-1} R_{ac}^{-1} R_{bc} = \sigma_0^2 \sum_{b=1}^M R_{ab}^{-1} \delta_{ab} = \sigma_0^2 R_{aa}^{-1} \end{aligned}$$

Вывод.

Методом наименьших квадратов при заданной модели $g(\bar{x}_i) = \sum_{a=1}^M A_a f_a(\bar{x}_i)$

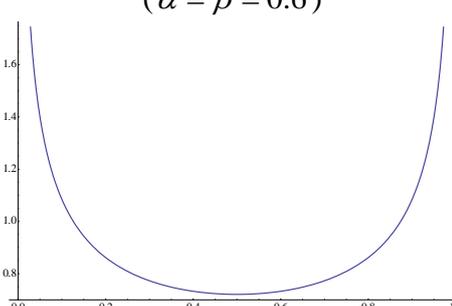
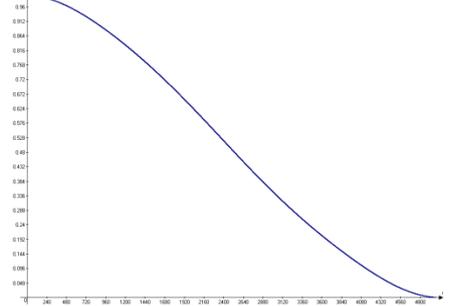
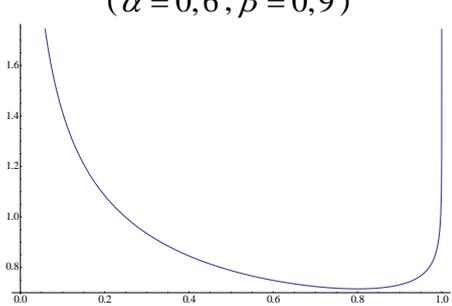
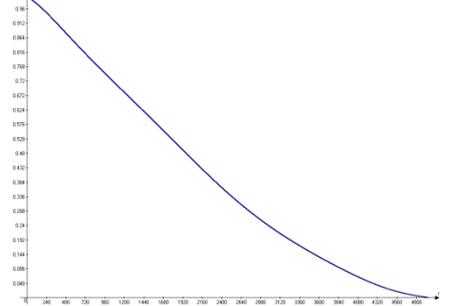
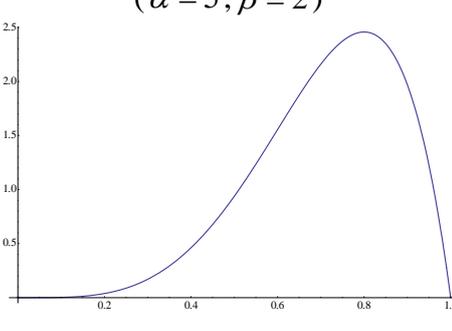
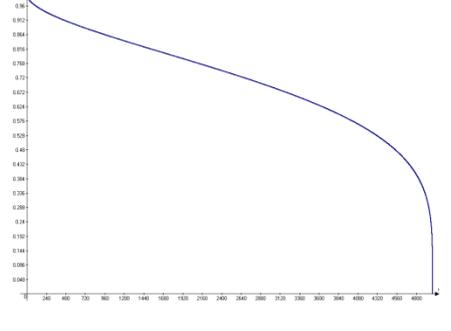
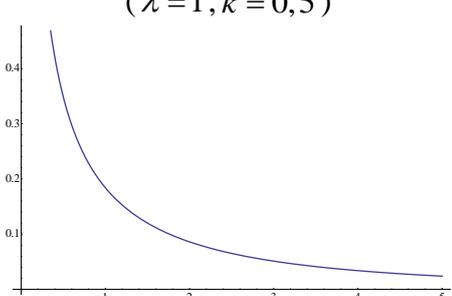
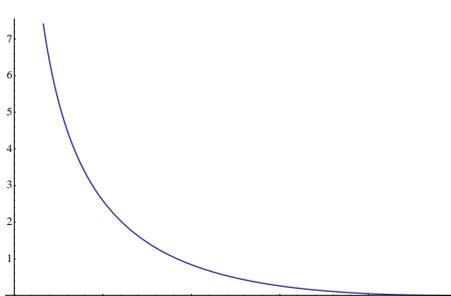
и известных $\{y_i, \bar{x}_i\}$ можно определить ее коэффициенты в виде $A_a = R_{ab}^{-1} F_b$,

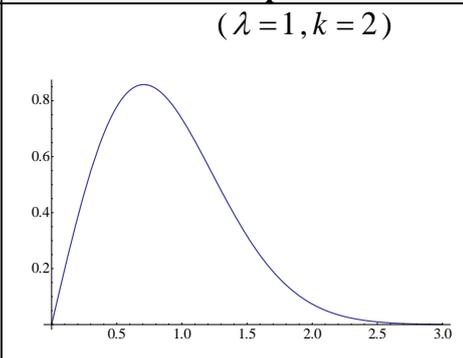
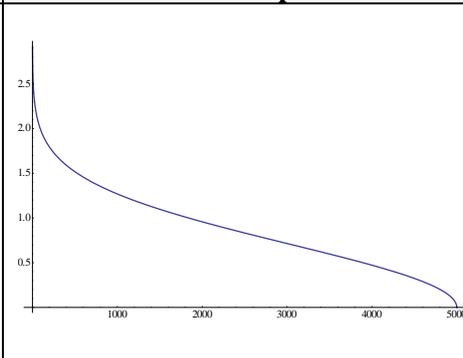
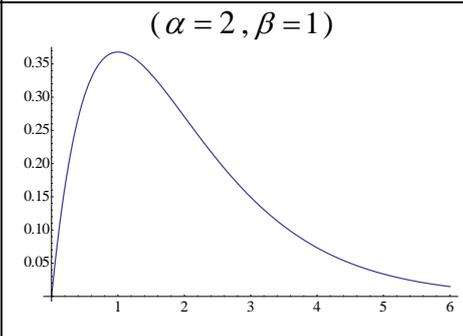
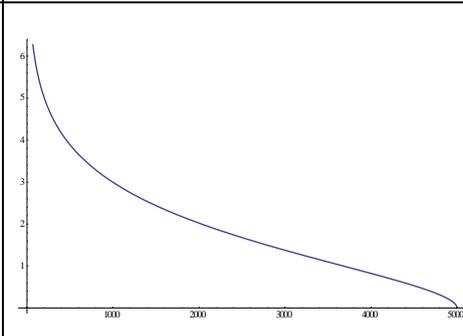
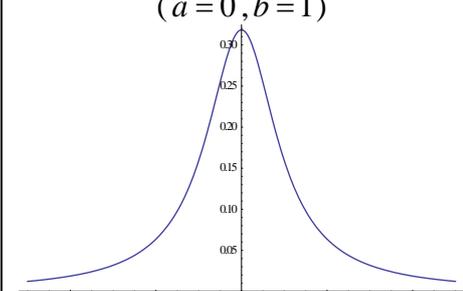
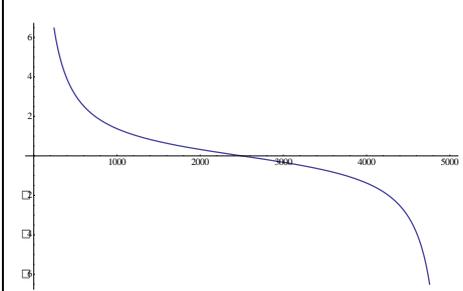
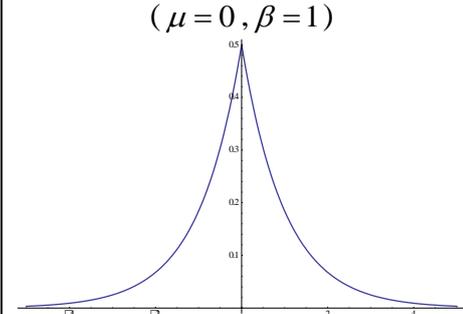
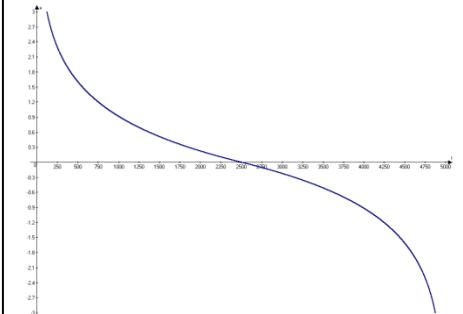
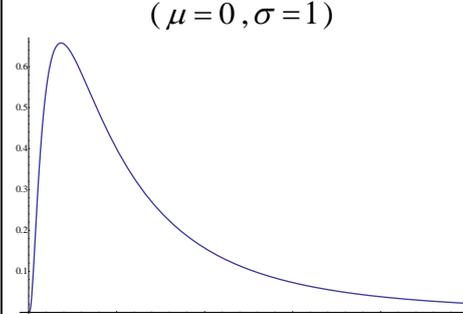
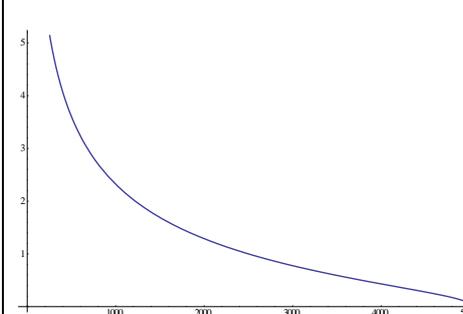
где $R_{ab} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N f_a(\bar{x}_i) f_b(\bar{x}_i)$, а $F_b = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N y_i f_b(\bar{x}_i)$ с погрешностью

$$\sigma_{A_a}^2 = \sigma_0^2 R_{aa}^{-1}, \text{ где } \sigma_0^2 = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (y_i - g(\bar{x}_i))^2.$$

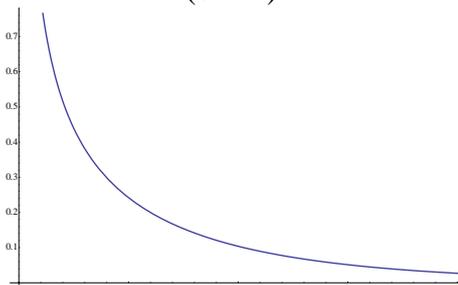
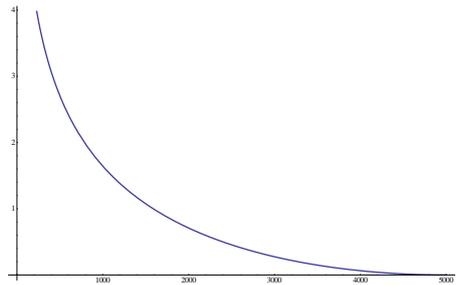
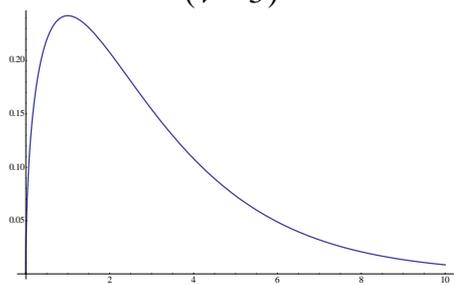
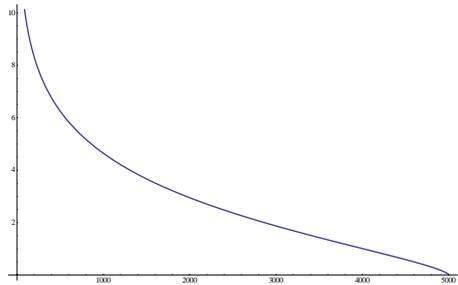
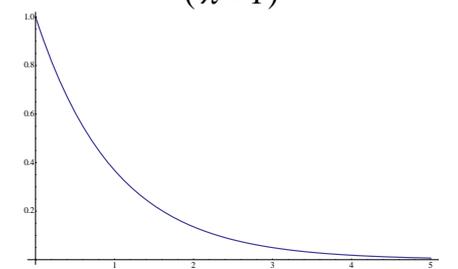
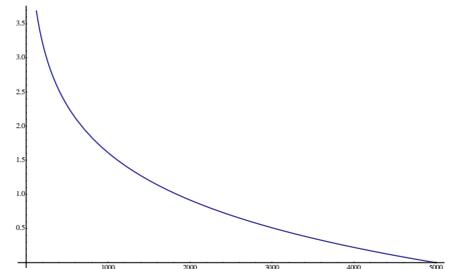
В заключение приведем краткую таблицу соответствия плотностей распределения разных ранговых кривых, полученную Д.В. Безбатько (в первой графе после названия распределения идет сначала плотность вероятности $f(x)$, а затем явный вид ранговой кривой $x(r)$, если его удалось вычислить) (прочерк означает «то же»).

Таблица П.5.1

Распределение	Плотность вероятности	Ранговая кривая
<p>Бета-распределение</p> $f(x) = \frac{x^{\alpha-1}(1-x)^{\beta-1}}{B(\alpha, \beta)}$ <p>(найти явно $x(r)$ не удалось, построение велось численно).</p>	<p>$(\alpha = \beta = 0.6)$</p> 	
-	<p>$(\alpha = 0.6, \beta = 0.9)$</p> 	
-	<p>$(\alpha = 5, \beta = 2)$</p> 	
<p>Распределение Вейбулла</p> $f(x) = \frac{k}{\lambda} \left(\frac{x}{\lambda}\right)^{k-1} e^{-\left(\frac{x}{\lambda}\right)^k}$ $x(r) = \lambda \ln^{\frac{1}{k}}\left(\frac{N_0}{r}\right)$	<p>$(\lambda = 1, k = 0.5)$</p> 	

Распределение	Плотность вероятности	Ранговая кривая
-	<p>($\lambda = 1, k = 2$)</p> 	
<p>Гамма-распределение</p> $f(x) = \frac{1}{\beta^\alpha \Gamma(\alpha)} x^{\alpha-1} e^{-\frac{x}{\beta}}$ $x(r) = \beta Q_{inv}(\alpha, 0, 1 - \frac{r}{N_0})$ <p>(где Q_{inv} – функция, обратная $\frac{\gamma(\alpha, z)}{\Gamma(\alpha)}$)</p>	<p>($\alpha = 2, \beta = 1$)</p> 	
<p>Распределение Коши</p> $f(x) = \frac{1}{\pi b (1 + (\frac{x-a}{b})^2)}$ $x(r) = a + b \operatorname{tg}[\frac{\pi}{2} (1 - \frac{2}{N_0} r)]$	<p>($a = 0, b = 1$)</p> 	
<p>Распределение Лапласа</p> $f(x) = \frac{1}{2\beta} e^{-\frac{ x-\mu }{\beta}}$ $x(r) = \begin{cases} \beta \ln(\frac{N_0}{2r}) + \mu; & r \leq \frac{N_0}{2} \\ \beta \ln(2 - \frac{2}{N_0} r) + \mu; & r \geq \frac{N_0}{2} \end{cases}$	<p>($\mu = 0, \beta = 1$)</p> 	
<p>Логнормальное распределение</p> $f(x) = \frac{e^{-\frac{(\ln x - \mu)^2}{2\sigma^2}}}{\sqrt{2\pi\sigma} \cdot x}$ $r(x) = e^{\mu + \sqrt{2}\sigma \operatorname{erfinv}(1 - \frac{2}{N_0} r)}$	<p>($\mu = 0, \sigma = 1$)</p> 	

Распределение	Плотность вероятности	Ранговая кривая
<p>Нормальное распределение</p> $f(x) = \frac{e^{-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}}}{\sqrt{2\pi}\sigma}$ $r(x) = \mu + \sqrt{2}\sigma \operatorname{erfinv}\left(1 - \frac{2}{N_0} r\right)$	<p>$(\mu = 0, \sigma = 1)$</p>	
<p>Логистическое распределение</p> $f(x) = \frac{e^{-\frac{x-\mu}{\beta}}}{\beta(1 + e^{-\frac{x-\mu}{\beta}})^2}$ $x(r) = \mu + \beta \ln\left(\frac{N_0}{r} - 1\right)$	<p>$(\mu = 0, \beta = 1)$</p>	
<p>Распределение Парето</p> $f(x) = \frac{\alpha k^\alpha}{x^{\alpha+1}}$ $x(r) = k \sqrt[\alpha]{\frac{N_0}{r}}$	<p>$(k = 1, \alpha = 1)$</p>	
<p>Равномерное распределение</p> $f(x) = \frac{1}{b-a}$ $x(r) = b - \frac{b-a}{N_0} r$	<p>$(a = -1, b = 1)$</p>	
<p>Распределение Стьюдента</p> $f(x) = \frac{\left(\frac{\nu}{x^2 + \nu}\right)^{\frac{\nu+1}{2}}}{\sqrt{\nu} B\left(\frac{\nu}{2}, \frac{1}{2}\right)}$ $r(x) = \begin{cases} \frac{\sqrt{\nu \operatorname{In}\left(1 - \frac{2r}{A} \cdot \frac{1}{2}, \frac{\nu}{2}\right)}}{\sqrt{1 - \operatorname{In}\left(1 - \frac{2r}{A} \cdot \frac{1}{2}, \frac{\nu}{2}\right)}}, & x \leq \frac{N_0}{2} \\ \frac{\sqrt{\nu - \nu \cdot \operatorname{In}\left(2 - \frac{2r}{A} \cdot \frac{1}{2}, \frac{\nu}{2}\right)}}{\sqrt{\operatorname{In}\left(2 - \frac{2r}{A} \cdot \frac{1}{2}, \frac{\nu}{2}\right)}}, & x \geq \frac{N_0}{2} \end{cases}$ <p>(где In – функция обратная $\frac{B(z, a, b)}{B(a, b)}$)</p>	<p>$(\nu = 2)$</p>	

Распределение	Плотность вероятности	Ранговая кривая
<p>Распределение хи-квадрат</p> $f(x) = \frac{e^{-\frac{x^2}{2}} x^{\frac{\nu}{2}-1}}{2^{\frac{\nu}{2}} \Gamma(\frac{\nu}{2})}$ $x(r) = 2 \text{Qinv}(\frac{\nu}{2}, 0, 1 - \frac{r}{N_0})$	<p>($\nu = 1$)</p> 	
-	<p>($\nu = 3$)</p> 	
<p>Экспоненциальное распределение</p> $f(x) = \lambda e^{-\lambda x}$ $x(r) = \frac{1}{\lambda} \ln \frac{N_0}{r}$	<p>($\lambda = 1$)</p> 	

Приложение к главе 6

Таблица П.6.1

Физическая картина мира и этапы ее создания

Структура	ЭТАПЫ и их содержание		
	1 этап Механистическая КМ (МКМ)	II этап Электродинамическая КМ (ЭДКМ)	III этап Создание квантово-реляти- вистской КМ (КРКМ)
1. Основной период	XVI – XIX вв.	XIX – начало XX в.	XX в.
2. Представители	Леонардо да Винчи, Н. Коперник, Г. Галилей, П. Лаплас, И. Кеплер, И. Ньютон.	М. Фарадей, Д. Максвелл, Г.А. Лоренц, А. Эйнштейн.	М. Планк, Э. Шредингер, В. Гейзенберг, Н. Бор.
3. Представления о материи, ее формах и свойствах	Вещество (дискретно) Дискретная корпускулярная модель реальности: материя – это вещественная субстанция.	1. Вещество (дискретно). 2. Поле (непрерывно) Развитие МКМ. Образ материи: материя – единое непрерывное поле с точечными силовыми центрами.	1. Вещество. 2. Поле. 3. Физический вакуум. 4. Темная материя. 5. Темная энергия (квинт-эссенция). Свойства: вещество и поле связаны между собой (квантово-волновой дуализм). Вещество и энергия взаимопревращаемы. Материя имеет свойство волны и частицы.
4. Структура материи	1. Тела. 2. Атомы. Они неделимы, абсолютно прочны и не проницаемы.	1. Тела. 2. <i>Молекулы, атомы.</i> 3. Элементарные частицы. Атом делим: <i>протоны, нейтроны, электроны.</i>	Кроме названных структурных единиц материи в ЭДКМ: 4. <i>Кварки</i> , входящие в состав элементарных частиц.
5. Представления о пространстве и времени	Сформулирована концепция абсолютного эвклидова пространства и времени. Пространство – вместительница вещей. Время – это длительность событий. Они неизменны.	Относительность пространства и времени, их взаимосвязь. Их зависимость от материи: искривление пространства, замедление времени. Отвергается идея механистической картины мира о независимости пространства и времени от материи. Идея относительности пространства и времени.	Релятивистски связанные пространство и время, их неразрывная связь с материей. Пространство и время взаимозависимы.

Структура	ЭТАПЫ и их содержание		
	1 этап Механистическая КМ (МКМ)	II этап Электродинамическая КМ (ЭДКМ)	III этап Создание квантово-реляти- вистской КМ (КРКМ)
6. Преставления о движении и формах движения	1. Движение – механическое перемещение физических тел в пространстве.	Движение материи – переход от одного состояния к другому. Виды: 1. Механическое. 2. Тепловое движение (молекул). 3. Колебательное и волновое движение (распространение электромагнитного поля). 4. Процессы переноса (диффузия, теплопроводность, вязкость). 5. Фазовые переходы.	Движение – это частный случай физического взаимодействия, основанное на принципе близкодействия электромагнитной картина мира. <i>Виды движения</i> <i>Кроме пяти видов движения в ЭДКМ:</i> 6. Радиоактивный распад. 7. Химические и ядерные реакции. 8. Эволюция живых организмов. 9. Метаболизм.
7. Представления о взаимодействиях	1. Гравитационное.	1. Гравитационное. 2. Электромагнитное	1. Гравитация. 2. Электромагнитное. 3. Сильное (ядерное). 4. Слабое (взаимодействие элементарных частиц: радиоактивный распад; химические и ядерные реакции; взаимодействия микрочастиц).
8. Уровни представлений о мире	1. Мегамир. 2. Макромир. Научное описание микромира отсутствует.	1. Мегамир. 2. Макромир. 3. Микромир.	1. Мегамир. 2. Макромир. 3. Микромир. 4. Наномир.
9. Представление о происхождении и эволюции мира	Мир вечен, бесконечен, стационарен, однороден, с евклидовым пространством (модель мира И. Ньютона).	Мир вечен, бесконечен (с конечным объемом), стационарен, однороден, с неевклидовым пространством (модель мира Эйнштейна).	Мир не вечен, небесконечен, нестационарен, неоднороден, с неевклидовым пространством. Его возраст около 13 млн лет.
10. Теории, описывающие модель мира, способы описания мира	1. Классическая механика И. Ньютона	1. Классическая механика И. Ньютона. 2. Электронная теория или микроскопическая электродинамика. 3. Теория вероятности, вероятностный способ описания	Кроме четырех названных в ЭДКМ: 5. Квантовая теория: изменение состояния системы (микрочастицы), описываемое функцией вероятности. Квантовый способ описания микромира.

Структура	ЭТАПЫ и их содержание		
	1 этап Механистическая КМ (МКМ)	II этап Электродинамическая КМ (ЭДКМ)	III этап Создание квантово-реляти- вистской КМ (КРКМ)
		термодинамических систем. 4. Пространство описывается геометриями Римана.	
Основные особенности этапов (общих характеристик ФКМ)	Все процессы подчиняются принципу детерминизма.	1. Формулируется принцип близкодействия, противоречащий принципу дальнодействия: скорость взаимодействия конечна. 2. Не исключается случайность.	Закономерности выступают в вероятностной форме. Формулируется принцип неопределенности и принцип дополненности. Разнообразие микрочастиц. Новый уровень структуры материи – наномир.

ПОСЛЕСЛОВИЕ

Как я стала «гиперболистом»

В начале педагогической деятельности в 80-е годы, работая в Ульяновском Высшем военном командном училище связи им. Г.К. Орджоникидзе ассистентом, я вела практические занятия по физике на 1-м курсе параллельно в 8-10 группах. И я заметила устойчивую закономерность: по рейтингу успеваемости соотношение количества сильных курсантов, слабых и середняков в каждой группе примерно одинаково. При этом отличников было примерно 10-20 % и столько же двоечников. Кроме того, из 10 групп всегда 1-2 выделялись более сильной школьной подготовкой и 1-2 были очень слабые. Когда я поинтересовалась у начальника учебного отдела, почему так неравномерно формируют группы, он мне ответил, что этого не делают, так случайно выходит. Но эта «случайность» повторялась из года в год. Тогда я не знала о синергетике, но я поняла, что существует некий скрытый закон, и стала искать истоки.

Точки над «i» поставила статья «Бог играет в кости?» о Борисе Ивановиче Кудрине, опубликованная в Российской газете в 1997 году (прилагается в сокращенном варианте). В статье в форме интервью корреспондента с Б.И. Кудриным просто и ясно раскрывалась сущность его теории и этого скрытого общего закона, который действует во всех сферах человеческой деятельности. Борис Иванович назвал его «законом информационного отбора».

С этого момента я начала строить рейтинговые кривые школ, вузов, успеваемости в учебных группах, в которых я работала, и продолжала эту деятельность уже будучи преподавателем УлГУ, работая в лицейских физико-математических классах. В кандидатской диссертации по педагогике (2002 г.) одна из глав посвящена методу рангового анализа в исследовании педагогических систем, где доказано, что педагогические системы являют-

ся ценозами. Позже более глубокие исследования рангового анализа в области педагогики и методики преподавания были изложены в докторской диссертации (2008 г.)

Знакомство с Борисом Ивановичем произошло позже, в «нулевые года», когда он в очередной раз приехал на Любищевские чтения в Ульяновск и выступал на энергетическом факультете Ульяновского технического университета по приглашению декана Л.Т. Магазинника на ценологическом семинаре, пропагандируя свою теорию, рассказывая и знакомя с электрикой как наукой о техноценозах. Я показала свои результаты Борису Ивановичу и была приглашена на Ценологические чтения в МЭИ, и с тех пор являюсь постоянным участником этого уникального семинара, на котором каждый год в ноябре собираются последователи научной школы и делятся своими результатами.

Так я влилась в ценологическое сообщество «гиперболистов», члены которого занимаются применением рангового анализа в разных областях человеческого знания – технике, математике, лингвистике, биологии, экономике, археологии и др., углубляя и развивая теорию Бориса Ивановича.

Позже, работая на физико-техническом факультете УлГУ (ныне – Инженерно-физический факультет высоких технологий) на кафедре физических методов в прикладных исследованиях доцентом, затем профессором, совместно с дипломниками и магистрантами успешно применяла ранговый анализ в области астрофизики. В течение более 10 лет создавалась доказательная база о том, что многие астрофизические системы являются ценозами. Результаты изложены в бакалавриатских выпускных квалификационных работах, пяти магистерских диссертациях, опубликованы в статьях и материалах конференций, а также представлены в настоящей монографии.

Благодаря нашим усилиям ценологическая теория Бориса Ивановича нашла подтверждение в области знаний о мегамире.



Р.В. Гурина и Б.И. Кудрин на Ценологических чтениях
в Национальном исследовательском университете «МЭИ»

БОГ ИГРАЕТ В КОСТИ?

**Профессор Борис КУДРИН в беседе с журналистом
Александром АФАНАСЬЕВЫМ размышляет о непомерной цене,
выплачиваемой человечеством за пропуск в XXI век**

Борис Иванович Кудрин, профессор МЭИ, доктор наук, главный конструктор САПР громадного проектного института, еще 20 лет назад придумал теорию. И если она действительно верна, то, как я понял, мы живем несколько в другом мире, нежели искренне думаем.

Впрочем, вот что сказал для начала сам Борис Иванович:

– В 1976 году я открыл закон информационного отбора. Частный случай моего закона – закон Дарвина. Винер доказал: существует общность управления в живом и неживом. Мой шаг после Винера: не только управление одинаково, сама структура, схема – в живом и неживом – одна.

Например: «опушка леса». Можно, верно, пересчитать все растения на опушке. Но зачем, если опушек миллионы и они все разные? Опушки есть ценозы. Мебиус придумал биологические ценозы. Так возникла экология. Началось изучение не отдельных растений, но их сообществ.

Моя идея – техноценозы. Тоже сообщества, но появившиеся с помощью человека. Это заводы. Города. Кто создал Москву? Юрий Долгорукий? Нет. Он основал ценоз. А ценоз фактически сам стал создавать себя.

– **То есть саморазвитие помимо воли человека?**

– Нет, воля участвует. Но развитие происходит так: с использованием воли и разума человека. По законам, которые, очевидно, выше и физических, и человеческих. В пределе же получается: мы, к примеру, думаем, что управляем автомобилем. Фактически же автомобиль управляет нами: едва появившись на свет, он стал диктовать нам свои условия – он подталкивает нас улучшать дорогу, топливо, загоняет пешеходов под землю и т.д. Вдумайтесь: техника очищает себе путь, делает себя лучше, используя человека.

– **Как? Ведь прогресс создается разумом?**

– При помощи его... По сути за последние 2–3 века создалась иная планета с иной жизнью. И эта жизнь в основном даже не порождение разума. А порождение непознанных сил. Порождение самой технической реальности...

Совсем недавно, еще в Великую Отечественную, народ выжил, так как буквально был близок к природе. У большинства были свои дома. Топили углем, дровами, питались с огорода... А если теперь отключить отопление, электричество в Москве – что будет? В Москве после войны, по-моему, один раз выключался свет. А в Америке была страшная паника по тому же случаю... Кроме печек, домов, мы растеряли и навыки. И все это диктует наше будущее. И все это развивается вне человека. Вне его разума. Потому что разум, осознавая он вполне происходящее, стал бы неотвратимо принимать меры против собственного уничтожения. Тысячи, миллионы процессов, когда-то запущенных и упущенных, идут помимо нашей воли и сознания. Новые процессы запускаются без учета последствий, губительных для всего живого. И это все свидетельствует: конечно, тут должны быть законы. Но они, скорее, выше человеческого разумения.

– **Тогда что же открыли вы, коли законы вне разумения?**

– Неясно направление: зачем? «кто» (или «что») диктует? Но можно уловить закономерности. Закон информационного отбора – отбираются наиболее живучие, перспективные коды. И, отбираясь, складываются в ценозы. А ценозы имеют свои законы. Например, в любом классе, в любой школе есть отличники и двоечники – так? Но если собрать всех отличников в одном классе, то спустя время в нем образуются свои двоечники. Если еще и еще раз отберем – отсев будет повторяться. Так в социуме. Так в природе. Так и в технике. Причем нигде нельзя обойтись без «двоечников» и без «отличников». Если тех или других не будет – ценоз развалится, рухнет. Это я вам не по интуиции говорю. Это математически, на графиках, на сотнях кривых просчитано. Вот руководитель одной нашей авиакомпании сетует: все машины у него разные. А 20 процен-

тов самолетов перевозят 80 процентов грузов. И надо-де оставить 20 процентов рабочих лошадок. Но это приведет к провалу авиакомпании.

– Почему?

– Объясню на другом примере. В торговой палатке только 10 процентов ходового товара, а от него до 60 процентов выручки. Но стоит хозяину отказаться от редких товаров – покупателя тотчас отпугнет бедность выбора, в результате упадет спрос и на ходовой товар. То есть разнообразие обязательно для поддержания спроса на «однообразии». Скажем, в Германии хозяева берут товары малыми партиями, составляя богатую витрину. В целом же равенство невозможно ни в чем. Ни в зарплате. Ни в природе. Ни в оплате электроэнергии.

– А как устроен ценз под названием «общество»?

– Вот это на Западе хорошо изучено. (Технику они почему-то не просчитывали, может, быстро меняется). По ценологической теории, 10 самых богатых должны быть богаче 10 самых бедных в 10 раз.

– А если больше или меньше?

– Еще в конце XIX века было доказано: соотношение должно быть 1 к 10. Здесь устойчивость общества. В этом суть кривой Лоренца. Если, как в России сейчас, от 55 до 74 раз разрыв, громадный рост монополий, налоги не платятся, то мы видим, как начинаем разрушаться. Территориально. Экономически. Социально. В Швеции же противоположная проблема. Там разрыв всего в 6 раз. И это у шведов тоже вызывает тревогу.

По законам торговли? По законам эстетики? Или, если вам верить, то в основе по законам биологии?

– Э, нет! Ведь в биологии, в коммерции, в обществе, в техническом цензе работают одни законы. Я предложил для понимания два термина. Ноева каста – это новые виды от всего числа особей лишь 5–10 процентов, но 40–60 процентов от общего количества видов. Саранчевая каста – это массовые, так сказать, серийные виды, те, что были недавно новыми, их 40–60 процентов количества особей, но 5–10 процентов количества видов... Саранча – это что-то массовое, как я уже сказал, серийное, но пока модное. Но из 10 тысяч членов Союза писателей несколько – известные писатели. Однако вывод такой: любое сообщество не может состоять из гениев, из уникалов, из одной ноевой касты. И любое государство в целях собственной безопасности обязано соблюдать данную кривую, чтобы просто выжить и народ не умертвить. Тут абсолютно никакой идеологии, одна математика, и только.

Не означает ли это, в конечном счете, что естественное человечество финиширует и на смену ему идет управляемое техногенное сообщество?

Или это Бог спасается от неудавшегося эксперимента?..

– Вы меня спрашиваете, – усмехнулся профессор. – Я не знаю, да и не могу знать, но скорее всего то, что вы говорите, близко к правде. Есть, конечно, шанс: коли законы «окажутся вариативны»? Одно я могу сказать определенно. Человечество все более вываливается из Ноевой касты и становится саранчей. А природа саранчу «от-

стреливает». И мы это видим сейчас. Человека стало много. Если нет больших войн – появляется СПИД, просыпается туберкулез, оживает холера...

– **Выхода нет?**

– Выход есть. Открытые закономерности сделать работающими регуляторами. Это первое. Второе. Сохранить разнообразие. Если кто-то захочет превратить всех в саранчу, то исчезнет и Ноева каста.

Я просчитал однажды Орду... по лукам. Известно, что Чингисхан в своем войске ввел, по-нашему, «ГОСТы» на луки. Основная масса луков была рассчитана на среднесильное большинство. Но примерно один процент луков был предназначен для богатых. У Чингисхана его саранча (бедняки) жили несравненно хуже наших бомжей. И сам хан был неизмеримо беднее какого-нибудь строителя наших финансовых пирамид. Но что из этого? Отсюда напрашивается вывод: хочешь быть сегодня миллиардером, соблюдай ту же классическую кривую, но в пропорции – теперь бедняков больше и их надо кормить лучше, чем рабов. Иначе просто не будет миллиардеров. В этом, повторяю, ноль идеологии. Так устроен техноценоз. Одна математика и ничего больше.

Российская газета. 1997. 18 февраля

ОГЛАВЛЕНИЕ

Список сокращений.....	3
Введение.....	4
Глава 1. САМООРГАНИЗАЦИЯ – ЗАКОН ПРИРОДЫ	9
1.1. Свойства синергетических систем и закономерности их образования.....	9
1.2. Случайность и детерминизм в синергетике. Междисциплинарный характер синергетики.....	12
1.3. Самоорганизация объектов различной природы в системы с гиперболическим ранговым распределением.....	14
1.3.1. Гиперболические ранговые распределения (<i>H</i> -распределения) различной природы	14
1.3.2. Фрактальность – неотъемлемое свойство техноценозов	24
Глава 2. РАНГОВЫЙ АНАЛИЗ В ИССЛЕДОВАНИИ ЦЕНОЗОВ РАЗЛИЧНОЙ ПРИРОДЫ.....	27
2.1. Метод рангового анализа в исследовании техноценозов	27
2.2. Ранговый анализ как универсальный метод в изучении любых видов ценозов.....	30
2.3. Ценологический подход в образовании как организационно-управленческое условие эффективной подготовки учащихся.....	36
2.3.1. Использование рангового анализа в педагогических исследованиях	36
2.3.2. Ранговый анализ в оценке и оптимизации диагностического инструментария рейтинга образовательных учреждений	38
2.3.3. Оптимизация валидности тестов, олимпиадных, контрольных и тестовых заданий методом рангового анализа.....	43
2.3.4. Формирование ценологического мышления	47
2.4. Исследование космического мусора методом рангового анализа.....	48
2.4.1. Космический мусор как часть техносферы и его опасность для Земли.....	48
2.4.2. Космический мусор как новый вид техноценоза	49
Глава 3. ИЕРАРХИЯ САМООРГАНИЗУЮЩИХСЯ КОСМИЧЕСКИХ СИСТЕМ С ГИПЕРБОЛИЧЕСКИМИ РАНГОВЫМИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯМИ.....	55
3.1. Фрактальная иерархическая самоорганизации материи.....	55
3.2. Самоорганизация объектов в геофизические системы с гиперболическим ранговым распределением.....	59
3.3. Самоорганизация материальных объектов в ценозы на уровне Солнечной системы (планетарный уровень)	73
3.3.1. Проверка РР планет и некоторых спутников планет СС по массам и орбитальным параметрам на соответствие закону ГРР	74
3.3.2. Проверка РР диаметров кратеров Луны на соответствие закону гиперболического рангового распределения	79
3.3.3. Исследование системы кратеров на Марсе, Венере, Меркурии, Европе методом РА	81
3.3.4. Проверка химических составов атмосфер и грунта планет СС на «ценозность»	83
3.4. Самоорганизация галактических объектов в ценоз	89
3.5. Самоорганизация метагалактических объектов в ценоз.....	99
3.6. Графическое представление уровневой самоорганизации космических объектов по ценологическому типу	103
3.7. Сравнительный анализ уровневой фрактальной космической самоорганизации материальных объектов по ценологическому типу методом Пирсона.....	105

3.7.1. Метод Пирсона	105
3.7.2. Исследование корреляции РР космических объектов на разных космических уровнях	106
Глава 4. РАНГОВЫЙ АНАЛИЗ В ОЦЕНКЕ РАЗНООБРАЗИЯ СИСТЕМ С ГИПЕРБОЛИЧЕСКИМ РАНГОВЫМ РАСПРЕДЕЛЕНИЕМ ОБЪЕКТОВ.....	114
4.1. Разнообразие как важнейшая количественная характеристика статистических систем.....	114
4.2. Оценка разнообразия рангово-видовых систем и составов методом Шеннона.....	115
4.3. Связь индекса Шеннона с ранговым коэффициентом β для рангово-видовых распределений и ранговых распределений составов космических тел.....	122
4.4. Величина, обратная ранговому коэффициенту, как мера разнообразия рангово-видовых систем-ценозов и ранговых распределений составов.....	127
4.5. Оценка разнообразия параметрических ранговых распределений	129
4.6. Закон гиперболического рангового распределения как закон необходимого разнообразия. Закон Эшби-Седова.....	137
Глава 5. РАНГОВЫЙ АНАЛИЗ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ СЛУЧАЙНЫХ ВЕЛИЧИН.....	141
5.1. Распределение Гаусса и его параметры	141
5.2. Асимметричные негауссовы распределения	148
5.3. Ранговое распределение выборки случайных величин распределения Гаусса.....	151
5.4. Формула для рангового S-распределения случайных величин	154
5.5. Примеры эмпирических ранговых S-образных кривых	157
5.6. Применение рангового анализа при изучении нормального распределения	164
5.7. S-образные графики ранговых распределений случайных величин в координатах спрямления	169
5.8. Функция Гаусса в координатах спрямления.....	174
5.9. Разнообразие гауссовых распределений и его расчет методом Шеннона.....	175
5.10. О соотношении гиперболического рангового распределения и распределения Гаусса: взаимопревращаемость «ципфойды» и «гауссойды».....	177
Глава 6. РАНГОВЫЙ АНАЛИЗ В ИЗУЧЕНИИ АСТРОФИЗИЧЕСКИХ СИСТЕМ И МЕСТО ЦЕНОЛОГИИ В СОВРЕМЕННОЙ НАУЧНОЙ КАРТИНЕ МИРА	184
6.1. Применение рангового анализа к изучению астрофизических систем.....	184
6.2. Применение рангового анализа к определению параметров гипотетических планет Солнечной системы Фэтона и Койпера (планеты X)	192
6.2.1. Определение масс гипотетических планет Фэтона и Койпера (планеты X) методом РА	193
6.2.2. Определение орбитальных характеристик планеты Койпера методом РА с помощью программного пакета Excel	195
6.3. Синергетика экзопланетных систем.....	201
6.4. Место ценологии в современной научной картине мира	210
6.4.1. О понятиях «научная картина мира» и «система ценологических знаний».....	210
6.4.2. О включении ценологических знаний в содержание образования.....	215
Заключение	219
Библиографический список.....	229
Приложения	249
Послесловие.....	279

Научное издание

**Гурина Роза Викторовна
Евсеев Дмитрий Александрович**

**РАНГОВЫЙ АНАЛИЗ,
ИЛИ ЦЕНОЛОГИЧЕСКИЙ ПОДХОД,
В МЕТОДОЛОГИИ ПРИКЛАДНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ**

Директор Издательского центра УлГУ *Т. В. Филиппова*
Редактор *О. А. Нагаева*
Дизайн обложки *Н. В. Пеньковой*
Подготовка оригинал-макета *Е. Е. Гусевой*

Подписано в печать 30.10.2018.
Формат 60×84/16. Усл. печ. л. 16,6. Уч.-изд. л. 14,2.
Тираж 500 экз. Заказ № 146 /

Оригинал-макет подготовлен и тираж отпечатан в Издательском центре
Ульяновского государственного университета
432017, г. Ульяновск, ул. Л. Толстого, 42



ГУРИНА **Роза Викторовна**

доктор педагогических наук,
профессор кафедры физических
методов в прикладных исследованиях
инженерно-физического факультета
Ульяновского государственного
университета, почётный работник
общего образования РФ (2001 г.),
дважды удостоена звания
«Соросовский учитель» (1998–2000 гг.).

Область научных интересов:
методология науки, ранговый анализ,
астрофизика, космология, методика
преподавания физики.

Автор более 250 научных
и учебно-методических работ,
в т.ч. 6 монографий
и 18 методических пособий.



ЕВСЕЕВ **Дмитрий Александрович**

аспирант кафедры радиофизики
и электроники, ассистент кафедры
физических методов в прикладных
исследованиях инженерно-
физического факультета высоких
технологий УлГУ, младший научный
сотрудник Научно-исследовательского
технологического института
им. С.П. Капицы УлГУ.

Область научных интересов:
плазмоника, нанофотоника,
нелинейная оптика, электродинамика
сплошных сред, теория вероятностей.

Автор 6 научных работ.

ISBN 978-5-88866-748-4



9 785888 667484 >