

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
**«БЕЛГОРОДСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ
ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**
(Н И У « Б е л Г У »)

ИНСТИТУТ ИНЖЕНЕРНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ И ЕСТЕСТВЕННЫХ НАУК

КАФЕДРА ОБЩЕЙ МАТЕМАТИКИ

**КОМПЛЕКСНАЯ ОЦЕНКА РАЗВИТИЯ СТРАН МИРА НА ОСНОВЕ
ВЕРОЯТНОСТНОГО АНАЛИЗА СЛОЖНЫХ СОБЫТИЙ**

Выпускная квалификационная работа
обучающегося по направлению подготовки 01.03.01 Математика
очной формы обучения, группы 07001309
Синько Александры Александровны

Научный руководитель
д.т.н., профессор
Аверин Г.В.

БЕЛГОРОД 2017

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	3
1 АНАЛИЗ СОСТОЯНИЯ ВОПРОСА.....	5
1.1 Анализ баз данных для комплексной оценки состояния и развития стран мира.....	5
1.2 Обзор методов комплексной оценки.....	10
1.3 Сложные события при оценке состояния и развития стран мира.....	13
1.4 Анализ существующих методов оценки состояния и развития стран мира по комплексу индикативных показателей.	15
2 МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ КОМПЛЕКСНОЙ ОЦЕНКИ СОСТОЯНИЯ СИСТЕМ ПО ТРЕМ ПОКАЗАТЕЛЯМ.....	19
2.1 Гипотезы для построения моделей комплексной оценки.....	19
2.2 Дифференциальные уравнения для комплексной оценки систем	20
2.3 Выводы.....	24
3 СТАТИСТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ДАННЫХ О СОСТОЯНИИ И РАЗВИТИИ СТРАН МИРА.....	25
3.1 Характеристика использованной статистической информации	25
3.2 Статистический анализ данных и событий в областях экономики и энергетики.....	29
4 АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ МОДЕЛИРОВАНИЯ	47
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	49
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ	50

ВВЕДЕНИЕ

Проблема комплексной оценки развития стран мира является одной из фундаментальных проблем современной науки. Это направление исследования в своей базовой методологии опирается преимущественно на экспертные методы, которые повсеместно используются в научных и практических целях. Все экспертные оценки являются субъективными, поэтому достоверность их зависит от опыта эксперта и его аналитических возможностей при оценке развития ситуаций. Для того чтобы решить проблему комплексной оценки систем по множеству показателей необходимо уметь моделировать в совокупности природные, экологические и антропогенные процессы. Ориентироваться при этом нужно на вероятностные подходы анализа и описания количественных данных, которые получены в результате статистических наблюдений.

Актуальность данной работы связана с созданием комплексных моделей систем на основе вероятностного анализа сложных событий.

Разработкой методов комплексной оценки и анализа рисков занимались Дж.Форрестер, Д.Х. Медоуз, П. Анохин, Р. Уиттекер, А.А. Акаев, М.З. Згуровский, В.Д. Могилевский, К.Боулдинг, В.И. Кузнецов, Е.А. Яйли, Ю. Израэль, В. Маршал, С.Л. Авалиани, А.Б. Качинский, А.В. Кисилев и многие другие авторы.

Цель работы – комплексная оценка состояния и развития стран мира на основе данных международных организаций и вероятностного анализа сложных событий, характеризующих процессы их развития.

Задачи:

- создание базы данных состояния и развития стран мира на основе информации аналитического агентства Central Intelligence Agency (ЦРУ);
- разработка вероятностной модели развития стран мира по показателям экономики и энергетики и комплексная обработка информации по совокупности показателей;

- проведение предварительного статистического анализа данных, и анализ взаимосвязей;

- установление особенностей и закономерностей развития стран мира на основе комплексной оценки.

Объекты исследования – страны мира, показатели и характерные события их развития.

Предмет исследования – математические модели состояния и развития стран мира на основе вероятностных распределений событий.

Методы исследования: Исследования выполнены путем использования методов интеллектуального анализа данных и математического моделирования, проведения систематизации данных, применения методов событийной оценки, а также методов и средств статистического анализа данных. Также были проведены вычислительные эксперименты по полученным математическим моделям.

Структура выпускной квалификационной работы состоит из введения, четырёх разделов, а также заключения и списка используемой литературы.

1 АНАЛИЗ СОСТОЯНИЯ ВОПРОСА

1.1 Анализ баз данных для комплексной оценки состояния и развития стран мира

При изучении состояния и развития стран мира использовались:

- база данных индикаторов развития стран мира Всемирного банка;
- база данных Программы развития ООН;
- база данных Центрального Разведывательного Управления (ЦРУ)

по странам мира;

- база данных Федеральной Службы государственной статистики.

Всемирный банк (The World Bank) – это международная финансовая организация, созданная с целью организации финансовой и технической помощи развивающимся странам. В Группы Всемирного банка входят следующие пять организаций: Международный банк реконструкции и развития и Международная ассоциация развития, Международная финансовая корпорация, Многостороннее агентство по гарантиям инвестиций и Международный центр по урегулированию инвестиционных споров [13].

Помимо осуществления финансовой поддержки деятельность Всемирного банка направлена на оказание аналитических и консультационных услуг, в которых нуждаются развивающиеся страны. Исследовательская работа проходит по широкому кругу вопросов: окружающая среда, торговля, глобализация, бедность, отраслевые и экономические исследования в определенных секторах. Банк анализирует перспективы экономического развития стран, в том числе, например, банковского и/или финансового сектора, торговли, проблемы бедности и системы социальной защиты.

База данных Всемирного банка состоит из 21 компонента и аспекта развития стран мира, в которые входит более 1200 показателей с

ретроспективной 50 лет. Деятельность Всемирного банка охватывает широкую область деятельности:

- проблемы экономики: бедность, борьба с коррупцией, экономическая политика, задолженность развивающихся стран, снабжение продовольствием, развитие банковской системы, финансовые рынки, платежные системы, налогообложение, торговля, развитие частного сектора экономики, выработка стратегий развития и т.д.;

- сельское хозяйство, лесное хозяйство, развитие секторов экономики, связанных с использованием земель, проблемы развития энергетики, доступ к традиционным источникам и поиск новых источников энергии, энергетика, добыча газа и нефти, горнодобывающая промышленность и т.д.;

- проблемы здравоохранения: борьба со СПИДом в развивающихся странах, борьба с распространением вирусных заболеваний, борьба с малярией, борьба с детскими болезнями и т.д.;

- проблемы детства и юношества, проблемы эксплуатации детей, проблемы образования, стратегические задачи развития человечества и отдельных регионов, глобализация и урбанизация, проблемы миграции, интернет и коммуникации и т.д.;

- проблемы окружающей среды: проблемы изменения климата и его влияние на жизнь людей, проблемы сохранения наследия, проблемы водоснабжения и канализации сточных вод и т.д.

Программа развития ООН (ПРООН) – организация при ООН по оказанию помощи странам-участницам в области развития. ПРООН оказывает помощь правительствам в проведении изысканий и исследований природных ресурсов, в создании учебных заведений, в развитии энергетических ресурсов, предоставляет консультационные и экспертные услуги, обучает специалистов, поставляет оборудование и т.д. [12].

ПРООН была создана в 1966 году в результате слияния Специального фонда ООН, учрежденного в 1958 году, и расширенной программы технической помощи, основанной в 1949 году. Финансовые средства ПРООН образуются из добровольных вкладов участников организации, которыми могут быть страны-члены или наблюдатели ООН, и других крупных международных организаций. В настоящее время таких стран более двухсот.

С 1990 года ежегодно ПРООН издается доклад о человеческом развитии. Автором является группа независимых международных экспертов. В работе используют аналитические разработки и статистические данные которые получают от различных международных межправительственных организаций и международных агентств.

Программы развития ООН имеет в базе данных статистические таблицы данных почти по 100 странам мира в период 1975-1980 годов и по 187 странам в период 2011-2013 годов. База данных содержит около 100 индикаторов. По ним определяется несколько индексов, характеризующих различные аспекты человеческого развития.

Центральное разведывательное управление США, ЦРУ (Central Intelligence Agency, CIA) – агентство Федерального правительства США, основной функцией которого является сбор и анализ информации о деятельности иностранных граждан. Основной орган внешней разведки и контрразведки США. Агентство ведет обширную аналитическую работу по оценке состояния и развития стран мира, издает аналитические издания и формирует базы данных [1].

Всемирная книга фактов (Всемирный справочник ЦРУ или Справочник ЦРУ по странам мира) – справочник-альманах, сборник фактов о странах мира. Составляется и регулярно обновляется Центральным разведывательным управлением США. Впервые сборник был выпущен в 1962 году, но не был доступен широкой публике. Первая незасекреченная версия издана в июне 1971 года. С 1975 книгу фактов была доступна общественности через продажи Управления правительственной печати США. Сборник стал

доступным в интернете в июне 1997 года. Издания 2000-2013 годов доступны для скачивания в виде специальных файлов HTML (веб-страниц). С 2014 года ЦРУ прекратил печать книги, оставив доступ к ней в интернете, при этом сосредоточился на пополнении её онлайн-версии (все представляемые данные обновляются еженедельно).

База данных ЦРУ охватывает информацию для 257 стран мира по более, чем 200 индикативным показателям, включающего информацию разведывательного управления США по всем направлениям мирового развития (земельные, водные и людские ресурсы, правительство, экономика, коммуникации, обороноспособность страны и т.д.). Сегодня объем ежегодного справочника превышает 1000 страниц.

Книга фактов содержит следующие данные о странах мира:

- история;
- география;
- демография;
- государственный строй;
- экономика;
- энергетика;
- телекоммуникации;
- транспорт;
- вооруженные силы.

Федеральная служба государственной статистики (Росстат) – российский федеральный орган исполнительной власти, осуществляющий функции по формированию официальной статистической информации о социальном, экономическом, демографическом и экологическом положении, а также функции по контролю и надзору в области государственной статистической деятельности на территории Российской Федерации [33].

Основными функциями Федеральной службы государственной статистики являются:

- представление в установленном порядке статистической информации гражданам, Президенту Российской Федерации, Правительству Российской Федерации, Федеральному Собранию Российской Федерации, органам государственной власти, средствам массовой информации, другим организациям, в том числе международным;

- разработка и совершенствование научно-обоснованной официальной статистической методологии для проведения статистических наблюдений и формирование статистических показателей, обеспечение соответствия указанной методологии международным стандартам;

- разработка и совершенствование системы статистических показателей, характеризующих состояние экономики и социальной сферы;

- сбор статистической информации и формирование на её основе официальной статистической отчетности;

- контроль за выполнением организациями и гражданами, осуществляющими предпринимательскую деятельность без образования юридического лица, законодательства Российской Федерации в области государственной статистики;

- развитие информационной системы государственной статистики, обеспечение её совместимости и взаимодействия с другими государственными информационными системами;

- обеспечение хранения государственных информационных ресурсов и защиты конфиденциальной и отнесенной к государственной тайне статистической информации.

В данных базах есть информация о экологическом, социально-экономическом, торговом, энергетическом, промышленном, ресурсном, научно-технологическом и культурном потенциале России, ее регионов и городов.

В открытом доступе имеется также информация о более чем 30 основных индексах развития и более 20 рейтингах развития стран и регионов

[33]. Некоторые основные индексы человеческого развития для городов, регионов и стран мира приведены ниже.

1.2 Обзор методов комплексной оценки

В практической деятельности для оценки развития стран используются различные индексы:

- индекс человеческого развития;
- индекс глобальной конкурентоспособности;
- индекс экономической свободы;
- индекс экологической эффективности;
- индексы качества и безопасности жизни;
- индекс нестабильности стран;
- индекс восприятия коррупции;
- индекс демократии;
- индекс свободы прессы;
- индекс глобализации;
- индекс экологического следа;
- индекс счастья;
- индекс экологических достижений;
- индекс образования;
- индекс качества жизни и другие.

В экологической и промышленной безопасности применяют индекс загрязнения атмосферы, индекс пороговой массы опасных веществ для объектов повышенной опасности, суммарный индекс опасности отдельных компонентов, загрязняющих ту или иную биогеохимическую среду (водную, воздушную среды и грунты) и т.д. Индексы помогают представить

полученную информацию в интегрированном виде, помогающие обнаружить сложные явления или дать однозначные оценки.

Известно, что индекс – это мера отклонения системы по комплексу свойств от уровня, принятого за базовый [37]. На сегодняшний день научные работы ведутся в области исследования индикаторов и индексов в рамках общей теории систем Берталанфи [11-12]. В результате совместных усилий ученых многих стран мира при активном участии 58-го комитета СКОПЕ (ISEM, г. Найроби, Кения) при UNEP и Комиссии по устойчивому развитию (CSD) научной общественности удалось достичь согласия относительно общих базовых свойств, которыми должны обладать индикаторы и индексы. Таковыми приняты чувствительность, способность к агрегированию, простота интерпретации и научная обоснованность [37].

Методики расчета интегральных индексов основываются на экспертных методах [37].

Методики расчетов индекса развития человеческого потенциала (ИРЧП), индекса оценки нищеты населения (ИНН), индекса развития оценки экологического следа и многие другие методики, могут использовать множество показателей, которые составляют в группы.

Методическая оценка индексов чаще проводится на основе нормирования показателей. Например, метод, используемый для вычисления ИРЧП предполагает следующую последовательность вычислений:

Перевод любого показателя x в индикатор, значение которого заключено между 0 и 1 (это позволит складывать различные показатели), осуществляется по формуле:

$$x = \frac{x - \min(x)}{\max(x) - \min(x)}, \quad (1.1)$$

где $\min(x)$ и $\max(x)$ являются минимальным и максимальным значениями показателя x среди всех исследуемых объектов.

Индекс развития человеческого потенциала (ИРЧП) определенной страны зависит от трёх следующих показателей [12 – 13]:

1. Индекс ожидаемой продолжительности жизни $LEI = \frac{LE-20}{85-20}$;
2. Индекс образования $EI = \frac{MYSI+EYSI}{2}$;
3. Индекс средней продолжительности обучения $MYSI = \frac{MYS}{15}$;
4. Индекс ожидаемой продолжительности обучения $EYSI = \frac{EYS}{18}$;
5. Индекс дохода $II = \frac{\ln(GNIpc)-\ln(100)}{\ln(75000)-\ln(100)}$;

ИРЧП является средним геометрическим этих трёх индексов:

$$HDI = \sqrt[3]{LEI \times EI \times II}, \quad (1.2)$$

где LE – ожидаемая продолжительность жизни, MYS – средняя продолжительность обучения населения в годах, EYS – ожидаемая продолжительность обучения населения, еще получающего образование, в годах, $GNIpc$ – ВНД на душу населения по ППС в долларах США.

Аналогичным образом рассчитываются индексы нищеты населения (ИНН-1, ИНН-2). Средний уровень достижений измеряет ИРЧП, а уровень бедности населения измеряет ИНН-1:

$$\text{ИНН} - 1 = \left(\frac{1}{3} (p_1^\alpha + p_2^\alpha + p_3^\alpha) \right)^{1/\alpha}, \quad (1.3)$$

где p_1 – доля населения, которая, как ожидается при рождении, не доживет до 40 лет, %; p_2 – доля неграмотного взрослого населения, %; p_3 – невзвешенное среднее арифметическое доли населения, не имеющего устойчивого доступа к улучшенным источникам воды (или доли детей с пониженной для своего возраста массой тела), %; $\alpha = 3$.

Все вышеуказанные индексы сформулированы экспертами, исходя из общепринятого соглашения между специалистами. Некоторые индексы и индикаторы, используемые при анализе развития стран, приведены в таблицах 1.1 и 1.2.

1.3 Сложные события при оценке состояния и развития стран мира

Изучим сложные события, связанные с наблюдением статистических показателей. При добыче нефти (газа), выработке электроэнергии и т.д. в момент записи соответствующих показателей реализуется событие, связанное с определением количества добытых природных ископаемых, как характеристической величины данного события. Наблюдения осуществляются применительно к различным странам и все последовательности наблюдений представляются временными рядами событий, каждое из которых относится к определенному объекту - стране. Все события являются несовместными, т.к. привязаны к различным годам.

Для случайной величины вероятность события, что в определенный момент времени наблюдаемая величина C меньше некоторого заданного значения c , определяется из функции распределения $P(c) = P(C < c)$, которая находится по данным наблюдений. Эта функция распределения для показателей стран мира чаще всего подчиняется логарифмически-нормальному закону распределения.

Таблица 1.1 – Некоторые международные индексы
для оценки развития стран мира

Название	Краткая характеристика	Адрес доступа
Индекс развития человеческого потенциала (ИРЧП)	Составной индекс, ежегодно определяемый Программой развития ООН и представляемый на докладе о человеческом развитии	http://hdr.undp.org/en/
Всемирный индекс благотворительности Giving Index (WGI)	Индекс активности населения в сфере благотворительности	http://www.cafrussia.ru
Индекс восприятия коррупции (Transparency International)	Индекс оценки уровня коррупции на глобальном и региональном уровнях	http://www.transparency.org/cpi2012/
Международный индекс счастья (Happy Planet Index)	Индекс, отражающий благосостояние людей и состояние окружающей среды	http://www.happyplanetindex.org/
Индекс развития информационно-коммуникационных технологий	Индекс достижения стран мира в развитии информационно-коммуникационных технологий	http://gtmarket.ru/ratings/ict-development-index/ict-development-index-info
Индекс свободы прессы Агентства «Репортеры без границ»	Рейтинг стран на индивидуальном опросе журналистов	http://en.rsf.org/press-freedom-index-2011-2012,1043.html

Индекс глобализации (Globalization Index)	Индекс составлен консалтинговой компанией А.Т. Kearney	http://www.atkearney.com/research-studies
Глобальный индекс миролюбия (Global Peace Index)	Индекс, характеризующий миролюбие стран мира, измеряя уровень насилия внутри государства и уровень агрессивности его внешней политики.	http://visionofhumanity.org

Таблица 1.2 – Некоторые показатели и индикаторы для комплексной оценки стран и регионов

№	Показатель или индикатор	Рекомендуемое значение
Социально-экономическая сфера		
	Численность населения, тыс. чел.	опр. спецификой задачи
	Территория, тыс. км ²	-
	Валовой внутренний продукт на душу населения, \$	max
	Экспорт товаров, млрд. \$	опр. спец-ой задачи
	Импорт товаров, млрд. \$	опр. спец-ой задачи
	Уровень безработицы, %	min
	Уровень инфляции (потребительские цены)	min
Промышленность и энергетика		
	Общее потребление энергии (в тоннах нефтяного эквивалента на душу населения), т.н.э./чел.	опр. спец-ой задачи
	Потребление электроэнергии, ГВт в час	опр. спец-ой задачи
	Использование природного газа, млрд. м ³ ; %	-
	Использование нефтепродуктов, тыс. т.; %	-
	Количество экспортируемой и импортируемой электроэнергии, ГВт в час	-

В одной стране все подобные наблюдаемые события (за год, месяц, сутки и т.д.) образуют полную группу. Для дискретных событий $\sum_{i=1}^k P_i = 1$, для непрерывных случайных величин $\int_0^{\infty} f(c)dc$, где i – текущий номер наблюдения событий в разные моменты времени, k – количество наблюдений, а $f(c)$ – функция распределения случайной величины, причем $c \geq 0$.

Если происходит наблюдение одной величины на нескольких точках наблюдения (в пределах одной страны на территории городов-

производителей), то все события также образуют полную группу или их вероятности могут быть нормируемы. Для дискретных событий $\sum_{i=1}^k P_i = 1$, для непрерывных случайных величин $\int_0^{\infty} f(c)dc$, где i – номер объекта наблюдений, c – среднегодовое значение наблюдаемой величины, m – количество объектов наблюдения, а $f(c)$ – функция распределения случайной величины, которая оценивается по данным для всех объектов. Все события в указанном случае можно рассматривать как совместные, так как они привязываются к одному и тому же моменту времени – годам.

При событийной оценке нескольких величин (нефть, газ, каменный уголь) на одном объекте (в определенной стране) реализуется совместное событие одновременного наблюдения указанных величин.

Для данного совместного события, в случае если все события независимы, вероятность сложного события равна произведению вероятностей более простых событий:

$$P_n(c) = P(c_1) * P(c_2) * \dots * P(c_n), \quad (1.4)$$

где c_1, \dots, c_n – количественное значение показателей для различных природных ископаемых.

Для зависимых событий вероятность сложного события будет равна

$$P_n(c) = P(c_1) * P_{c_1}(c_2) * \dots * P_{c_{n-1}}(c_n), \quad (1.5)$$

где условные вероятности $P_{c_{i-1}}(c_i)$ вычисляются в предположении, что все предыдущие события, связанные с добычей полезных ископаемых, произошли. Вероятности таких событий могут быть оценены по опытным данным путем определения распределений вероятности сложных и более простых событий и изучения взаимосвязей между ними.

1.4 Анализ существующих методов оценки состояния и развития стран мира по комплексу индикативных показателей.

Комплексная оценка состояния природно-антропогенных систем представляет собой очень трудоемкую процедуру из-за наличия большого количества показателей, отражающих самые разные аспекты развития систем и требующих анализа [7]. Обычно в таких исследованиях применяются три подхода:

1. разработка обширных докладов о состоянии и предполагаемых тенденциях в развитии систем [14, 25];
2. индикативный метод, использующий индексы для упрощения процедуры анализа [14, 19, 22 – 23];
3. системный анализ проблем развития, методология оценки рисков [29, 34] и теория системной динамики [7, 36].

Основные направления и тенденции исследований в области комплексной оценки связаны с совершенствованием средств аналитического и экспертного анализа различных систем, накоплением и созданием все более обширных баз данных показателей состояния, изменения и развития систем, применением новых методов визуализации и обработки данных, использованием статистических методов анализа данных, созданием информационно-аналитических систем хранения, представления и обработки данных, разработкой научно-обоснованных методов комплексной оценки, теории оценки рисков и методов системной динамики.

Доклады аналитиков и экспертов о состоянии и тенденциях развития различных сложных систем представлены в имеющейся литературе [1, 15, 27]. Анализ осуществляется для городов, регионов, стран, отдельных территорий и однотипных объектов.

Применение комплексной оценки позволяет существенно расширить пространство для выводов экспертов, однако этот путь часто приводит к обширным докладам по изучаемой проблеме [12, 15, 21]. В таких докладах разделы, посвященные оценке существующего состояния, по объему всегда существенно превышают разделы с практическими результатами, которые несут прогностические выводы. Оценка состояния объекта всегда является

первым этапом любого исследования. В докладах по комплексной оценке обычно дается информация о социально-экономическом развитии объектов исследования, загрязнении природных сред, формируется ретроспективный анализ, дается оценка состояния и прогноз развития объектов, изменения состояния окружающей среды и ресурсов, разрабатываются мероприятия и предложения в области исследуемой проблемы и т.д. Создание различных докладов является распространенной инициативой многих аналитических организаций, фондов, международных программ, институтов и университетов [15].

Комплексная оценка природно-антропогенных систем проводится также на основе самых разных индексов, которые различаются как способами их определения, так и методологическими принципами их построения. Существуют сотни достаточно известных индексов и мер в области социально-экономического развития стран и регионов, в области охраны окружающей среды, экологии и биоразнообразия. Гипотезы, которые положены в основу моделей, обычно носят частный и субъективный характер и не могут служить основой для надежных количественных методов оценки хотя бы потому, что биологические, экологические и социальные системы нельзя оценивать по одному, хотя и комплексному показателю. Для построения количественных моделей необходима разработка шкал измерения показателей состояния систем, которые бы не являлись в своей основе субъективными. Пока в биологии, экологии и общественных дисциплинах подобных систем количественной оценки не существует. В экологических и социальных науках, которые изучают состояния природно-антропогенных систем, формулировка объективных законов связана со значительными трудностями, так как методология комплексной оценки в своей основе направлена на качественное описание процессов и недостаточно ориентирована на поиск и установление количественных закономерностей в массивах статистической информации.

Анализ всего спектра исследований в области комплексной оценки природно-антропогенных систем выполнен в известных работах [7, 10, 30, 37].

Авторы отмечают, что в данной области существует целый ряд нерешенных методологических проблем. Причем наиболее существенные научные проблемы лежат в области теории комплексной оценки. Именно в области теоретических исследований существует несколько проблем, которые не позволяют многочисленным научным идеям превратиться в общепринятые теории.

Поэтому на фоне громадного количества аналитических и оценочных докладов, известных и научно-обоснованных моделей и комплексных оценок состояния и развития сложных общественных систем очень мало. Сегодня научное направление комплексной оценки систем формируется в большей степени как описательная наука.

Таким образом, на данном этапе развития научных исследований следует признать, что в области комплексного анализа стран и регионов не существует фундаментальной теории, которая бы характеризовала состояние, изменение и развитие таких систем, исходя из оценки множества показателей. Методология фундаментальной теории в области комплексной оценки может быть сформулирована только на основе использования объективного подхода, проведения междисциплинарных исследований и установления количественных закономерностей. С этой целью применяют методы событийной оценки, позволяющие разрабатывать математические модели сложных систем в виде вероятностных распределений событий [17].

2 МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ КОМПЛЕКСНОЙ ОЦЕНКИ СОСТОЯНИЯ СИСТЕМ ПО ТРЕМ ПОКАЗАТЕЛЯМ

2.1 Гипотезы для построения моделей комплексной оценки

Гипотезы, которые позволят построить модель для комплексной оценки можно изложить в виде:

1. Предположим, что в пространстве состояний H^3 сложной системы можно сформировать некоторый комплексный индекс $T = T(p_1, p_2, p_3)$, на основе которого будет создаваться математическая модель для комплексной оценки объектов и их многопараметрического ранжирования;

2. Воспользуемся гипотезой о связи статистической вероятности характерных событий и комплексного индекса вида $dw = c_l \cdot dT$, где величины c_l определяются по статистическим данным, исходя из изменения величин w и T при осуществлении процесса l , для элементарной окрестности пространства состояний системы H^3 , которая фиксирована произвольной точкой $M = M(p_1, p_2, p_3)$, и для любого процесса в окрестности этой точки.

3. Пусть в пространстве состояний H^3 скалярные поля величин w и T однозначно связаны между собой. Если в окрестности любой точки M осуществляется некоторый процесс l , то для линии процесса l справедливо соотношение $dw = c_l \cdot dT$.

4. Будем считать, что статистическая вероятность совместных событий w наблюдения трех показателей p_1, p_2, p_3 может быть определена по статистическим данным. Для этой цели используем метод алгоритмического

определения вероятности [7]. Соответствующий скрипт для четырех показателей имеет вид:

```

Sub Main
Dim s As Spreadsheet, k As Integer
Set s = ActiveSpreadsheet
For i = 1 To 153
    k = 0
    For j = 1 To 153
        If i <> j Then
            If ((s.Cells(i,2)>=s.Cells(j,2)) And (s.Cells(i,3)>=s.Cells(j,3)) And
(s.Cells(i,4)>=s.Cells(j,4))And (s.Cells(i,5)>=s.Cells(j,5))) Then
                k = k+1
            End If
        End If
    Next j
    s.Cells(i,6) = k+1
Next i
End Sub

```

Данные гипотезы позволяют сформировать дифференциальные уравнения для комплексной оценки систем по сложным событиям.

2.2 Дифференциальные уравнения для комплексной оценки систем

Считаем, что в области H^3 можно задать комплексный индекс в виде аналитической функции $T(p_1, p_2, p_3)$, на основе которой будет формироваться математическая модель вероятностного пространства. При известном виде функции $T(p_1, p_2, p_3)$ и значениях переменных p_1, p_2, p_3 в области H^3

формируем два скалярных поля – поле статистической вероятности, определяемое по опытным данным, и поле комплексного индекса.

При построении моделей, исходя из гипотез, предполагаем, что в пространстве состояний H^3 скалярные поля величин w и T однозначно связаны между собой. Данная связь представляется в виде следующих феноменологических соотношений $dw = c_l \cdot dT$. При справедливости принятых выше гипотез математические описания статистических данных, представленных таблично-временными массивами информации, тесно связаны с уравнениями Пфаффа.

Выберем в области H^3 произвольную точку M . Будем считать, что вблизи данной точки осуществляется элементарный процесс, в результате которого состояние объекта изменяется от начального M до конечного состояния M' . Тогда полный дифференциал величины w можно представить в виде:

$$dw = \left(\frac{\partial w}{\partial T}\right)_{p_2 p_3} \left(\frac{\partial T}{\partial p_1}\right) dp_1 + \left(\frac{\partial w}{\partial T}\right)_{p_1 p_3} \left(\frac{\partial T}{\partial p_2}\right) dp_2 + \left(\frac{\partial w}{\partial T}\right)_{p_1 p_2} \left(\frac{\partial T}{\partial p_3}\right) dp_3 \quad (2.1)$$

$$dw = c_1 \cdot \left(\frac{\partial T}{\partial p_1}\right) dp_1 + c_2 \cdot \left(\frac{\partial T}{\partial p_2}\right) dp_2 + c_3 \cdot \left(\frac{\partial T}{\partial p_3}\right) dp_3, \quad (2.2)$$

где c_1, c_2, c_3 – феноменологические величины, характеризующие процессы изменения состояний объектов при изменении показателей p , которые в самом общем случае зависят от переменных p_1, p_2, p_3 , однако, в окрестности точки M их условно можно считать постоянными величинами.

Введение индекса $T(p_1, p_2, p_3)$ необходимо для построения комплексных моделей описания статистических данных в математическом виде. Уравнение Пфаффа при постоянных величинах c_k зависит от вида функции T и распределений вероятности w .

Так как изучается распределение статистической вероятности, то можно представить комплексный индекс в виде геометрической вероятности пространства H^3 или в виде меры относительных изменений:

$$T = \frac{p_1 \cdot p_2 \cdot p_3}{p_{1_{max}} \cdot p_{2_{max}} \cdot p_{3_{max}}}; \quad (2.3)$$

$$T = \frac{p_1 \cdot p_2 \cdot p_3}{p_{1_0} \cdot p_{2_0} \cdot p_{3_0}}, \quad (2.4)$$

где $p_{k_{max}}, p_{k_0}$ – соответственно максимальные или некоторые опорные (пороговые, допустимые и т.д.) значения исходных показателей.

Существуют различные способы формирования комплексных индексов при построении моделей систем. Это связано с особенностями той или иной предметной области, используемыми гипотезами и предположениями, или общепринятыми подходами. Кроме уравнений (2.3) – (2.4) также часто используются мультипликативные степенные функции и экспертные зависимости относительно исходных показателей соответственно в виде:

$$T = \beta \left(\frac{p_1}{p_{1_0}} \right)^{\alpha_1} \cdot \left(\frac{p_2}{p_{2_0}} \right)^{\alpha_2} \cdot \left(\frac{p_3}{p_{3_0}} \right)^{\alpha_3}; \quad (2.5)$$

$$T = \beta_1 \frac{p_1}{p_{1_0}} + \beta_2 \frac{p_2}{p_{2_0}} + \beta_3 \frac{p_3}{p_{3_0}}, \quad (2.6)$$

где β_k – весовые или стандартизованные коэффициенты. Могут также быть предложены и другие виды функций для задания значений комплексного индекса, например, функции в виде среднего геометрического $T = \sqrt[3]{p_1 \cdot p_2 \cdot p_3}$ или среднегеометрического взвешенного, а также самые разные экспертные зависимости относительно индикаторов вида $p_k = \frac{p_k - p_{k_{min}}}{p_{k_{max}} - p_{k_{min}}}$.

Будем считать, что комплексный индекс $T(p_1, p_2, p_3)$ может быть представлен в виде произведений функций, зависящих от показателей p_1, p_2, p_3 , а именно $T = \varphi_1(p_1) \cdot \varphi_2(p_2) \cdot \varphi_3(p_3)$. Эта гипотеза охватывает

класс уравнений вида (2.3) – (2.5). В этом случае для уравнения Пфаффа существует интегрирующий делитель, который обращает данное уравнение в полный дифференциал. Интегрирующим делителем будет функция $T = \varphi_1(p_1) \cdot \varphi_2(p_2) \cdot \varphi_3(p_3)$ [16]. Подставляя данную функцию в уравнение Пфаффа и деля это уравнение на величину T , получим:

$$ds = \frac{dw}{T} = c_1 \frac{\varphi_1'(p_1)}{\varphi_1(p_1)} dp_1 + c_2 \frac{\varphi_2'(p_2)}{\varphi_2(p_2)} dp_2 + c_3 \frac{\varphi_3'(p_3)}{\varphi_3(p_3)} dp_3. \quad (2.7)$$

Интегрируя уравнение, представим общий интеграл в виде:

$$s - s_0 = c_1 \ln \left(\frac{\varphi_1(p_1)}{\varphi_1(p_{1_0})} \right) + c_2 \ln \left(\frac{\varphi_2(p_2)}{\varphi_2(p_{2_0})} \right) + c_3 \ln \left(\frac{\varphi_3(p_3)}{\varphi_3(p_{3_0})} \right). \quad (2.8)$$

где $s_0, p_{1_0}, p_{2_0}, p_{3_0}$ – параметры опорного состояния.

Данную функцию состояния обычно называют энтропией. Таким образом, для скалярного поля вероятности $w(p_1, p_2, p_3)$ при задании комплексного индекса произведением функций $T = \varphi_1(p_1) \cdot \varphi_2(p_2) \cdot \varphi_3(p_3)$ и справедливости функциональных связей в виде $dw = c_l \cdot dT$ может быть определено скалярное поле энтропии вида, причем функция энтропии является аддитивной величиной относительно показателей p_k .

Для комплексного индекса согласно (2.7) – (2.8) энтропию состояния системы можно представить следующим образом:

$$ds = \frac{dw}{T} = c_1 \frac{dp_1}{p_1} + c_2 \frac{dp_2}{p_2} + c_3 \frac{dp_3}{p_3}, \quad (2.9)$$

$$s - s_0 = c_1 \ln \left(\frac{p_1}{p_{1_0}} \right) + c_2 \ln \left(\frac{p_2}{p_{2_0}} \right) + c_3 \ln \left(\frac{p_3}{p_{3_0}} \right). \quad (2.10)$$

В свою очередь, потенциал $P(p_1, p_2, p_3) = C$ может быть найден из уравнения:

$$\frac{p_1}{c_1} \cdot dp_1 + \frac{p_2}{c_2} \cdot dp_2 + \frac{p_3}{c_3} \cdot dp_3 = 0 \quad (2.11)$$

или

$$P(p_1, p_2, p_3) = \frac{1}{2} \left(\frac{p_1^2 - p_{1_0}^2}{c_1} + \frac{p_2^2 - p_{2_0}^2}{c_2} + \frac{p_3^2 - p_{3_0}^2}{c_3} \right), \quad (2.12)$$

где принято, что $P(p_{1_0}, p_{2_0}, p_{3_0}) = 0$.

Таким образом, для известного комплексного индекса можно ввести обобщенные координаты в виде энтропии и потенциала, которые позволят в преобразованном пространстве координат линеаризовать нелинейное скалярное поле вероятности состояния системы.

2.3 Выводы

Такие величины как энтропия s и потенциал P являются функциями состояния, и на основе их значений можно осуществить сравнительную оценку состояния объектов. Каждый объект, в процессе изменения и развития, будет занимать некоторое положение в пространстве N^3 . Именно функции состояния будут определять криволинейные координаты в этом пространстве.

Благодаря нелинейному преобразованию координат, пространство N^3 , где представлено скалярное поле вероятности состояния системы, может быть комплексно преобразовано в линейное пространство относительно величин энтропии и потенциала пространства состояний изучаемой системы. Это дает нам возможность провести многопараметрическое ранжирование объекта среди множества других объектов, используя для анализа данные функции состояния.

Применение данного метода подходит для медленно протекающих во времени процессов, для которых существуют функции распределения вероятностей характерных событий и непрерывные производные.

Для того чтобы применить метод обязательно должны быть структурированы (в таблично-временном виде) данные наблюдений изучаемых сложных систем. Основные процессы обычно являются медленно протекающими во времени, так как в основном показатели многих систем

достаточно устойчивы. Практика анализа данных также показывает, что для многих природно-антропогенных систем могут быть получены функции распределений вероятности для различных характерных событий, поэтому вполне возможно установление фундаментальных закономерностей на основе феноменологических описаний процессов изменения состояния систем.

3 СТАТИСТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ДАННЫХ О СОСТОЯНИИ И РАЗВИТИИ СТРАН МИРА

3.1 Характеристика использованной статистической информации

Статистические данные для анализа были использованы из книги фактов ЦРУ [1]. На основе имеющихся данных была сформирована база данных показателей стран в экономике и энергетике.

Первый сборник был опубликован в августе 1962 года, а первая несекретная версия – в июне 1971. Выпуск 1975 года был первым, который стал доступным общественности с продажей через Государственную типографию США. До 1980 года аналитическое агентство ЦРУ выпускало сборник раз в полгода. С 1981 году публикации выпускаются ежегодно с новым наименованием как «Всемирная книга фактов». На тот момент были получены данные о 165 странах мира. Сборник выпускался на 225 страницах. Информация была разделена на секции: Земля, Вода, Люди, Правительство, Экономика, Коммуникации и Силы обороны. В 1987 году в результате объединения разделов образовалась новая секция - География. Сборник 1988 года составляет уже 300 страниц. В 1992 году число стран увеличивается до 188. Размер сборника 1994 года увеличивается до 512 страниц. В 1995 году книгу фактов выпустили на CD-ROM. Доступ к сборнику в интернете

появился в июне 1997 года. На 2001 книга расширилась в итоге для 267 стран и других географических объектов. В 2004 году происходят обновления каждые две недели нового сайта книги фактов. На 2005 год сборник достигает 702 страниц. В 2010 еженедельно обновляется веб-сайт Всемирной книги фактов. В сборнике на 2011 год становится 195 стран. В 2012 книга фактов достигает 847 страниц. Издания 2000—2013 годов доступны для скачивания в виде специальных файлов HTML. Согласно объявлению, опубликованному на сайте справочника, ЦРУ больше не планирует печатать данную книгу, а сосредоточится на наполнении её онлайн-версии (в частности, обновляя представляемые данные еженедельно).

Разделы книги фактов:

История – краткое описание стран, *география* – 20 разделов с 62-мя показателями, *демография* – 35 разделов с 83-мя показателями, *государственный строй* – 22 раздела с 50 показателями, *экономика* – 41 раздел с 77 показателями, *телекоммуникации* – 7 разделов с 14 показателями, *транспорт* – 10 разделов с 32 показателями, *вооруженные силы* – 6 разделов с 10 показателями, *энергетика* – 22 раздела с 44 показателями.

The World Factbook



South Asia :: Afghanistan

Introduction :: Afghanistan

Background:

Ahmad Shah DURRANI unified the Pashtun tribes and founded Afghanistan in 1747. The country served as a buffer between the British and Russian Empires until it won independence from notional British control in 1919. A brief experiment in democracy ended in a 1973 coup and a 1978 communist counter-coup. The Soviet Union invaded in 1979 to support the tottering Afghan communist regime, touching off a long and destructive war. The USSR withdrew in 1989 under relentless pressure by internationally supported anti-communist mujahedin rebels. A series of subsequent civil wars saw Kabul finally fall in 1996 to the Taliban, a hardline Pakistani-sponsored movement that emerged in 1994 to end the country's civil war and anarchy. Following the 11 September 2001 terrorist attacks, a US, Allied, and anti-Taliban Northern Alliance military action toppled the Taliban for sheltering Osama BIN LADIN. The UN-sponsored Bonn Conference in 2001 established a process for political reconstruction that included the adoption of a new constitution, a presidential election in 2004, and National Assembly elections in 2005. In December 2004, Hamid KARZAI became the first democratically elected president of Afghanistan and the National Assembly was inaugurated the following December. KARZAI was re-elected in August 2009 for a second term. Despite gains toward building a stable central government, a resurgent Taliban and continuing provincial instability - particularly in the south and the east - remain serious challenges for the Afghan Government.

Рис. 3.1 – Пример страницы книги фактов ЦРУ,
раздел – история Афганистана

Раздел экономика состоит из 41 раздела: описание экономики; ВВП - паритет покупательной способности, официальный курс, темпы роста, на душу населения, группы и сектора в процентном соотношении; ВВП экономики; промышленные темпы роста производства; количество рабочих людей; процентное соотношение количества рабочих по профессии; уровень безработицы; население ниже черты бедности; доля потребления; индекс Джини; бюджет; налогообложение; профицит и дефицит бюджета; государственный долг; отчетный год; уровень инфляции; центральный банк ставки дисконтирования; коммерческий банк ставки кредитования; запас узкой денежной массы; запас денежной массы; запас внутреннего кредита; рыночная стоимость публично торгуемых акций; баланс текущего счета; экспорт; экспорт-товары; экспорт-партнеры; импорт; импорт-товары; импорт-партнеры; резервы иностранной валюты и золота; внешний долг; фонд прямых иностранных инвестиций в домашних условиях; фонд прямых иностранных инвестиций за рубежом и курсы валют.

Раздел энергетика состоит из 22 разделов: производство, потребление, экспорт и импорт электроэнергии; установленная генерирующая мощность; электроэнергия от ископаемых видов топлива, от ядерного топлива, от гидроэлектростанций, из других возобновляемых источников; добыча, экспорт, импорт и запасы нефти; производство, потребление, экспорт и импорт нефтепродуктов; добыча, потребление, экспорт, импорт и запасы газа; выбросы диоксида углерода от потребления энергии.

Значение некоторых показателей разделов экономики и энергетике представлены в таблице 3.1.

Таблица 3.1 – Пример энергетических и экономических показателей из созданной базы данных по книге фактов ЦРУ

Статистические показатели по состоянию на 2015 год		Страны								
		Россия	США	Германия	Франция	Китай	Бразилия	Япония	Норвегия	Канада
<i>Электроэнергия</i>										
Электрическое производство	ТВт в час	1057	4099	526,6	530,6	4977	0,05	936,2	125,2	618,9
Потребление электроэнергии		1038	3886	582,5	471	4951	0,046	859,7	120,9	499,9
Установленная генерирующая мощность		0,22	1,04	0,18	0,12	1,15	0,00004	0,29	0,03	0,14
<i>Нефть</i>										
Добыча нефти	баррелей ¹ * 10 ⁶ в день	10,44	11,11	0,17	0,07	4,16	0	0,14	1,9	3,9
Запасы нефти	баррелей * 10 ⁹	80	20,68	0,25	0,09	17,30	0	0,04	5,37	173,1
Производство нефтепродуктов	баррелей * 10 ⁶ в день	4,8	18,45	2,20	1,55	9,37	0	3,86	0,31	2,01
<i>Газ</i>										
Добыча газа	куб м * 10 ⁹	669,7	681,4	9	0,508	107,2	0	3,27	114,7	143,1
Запасы газа		47800	9459	125	10,7	3100	0	20,9	2070	1930
<i>Экология</i>										
Выбросы диоксида углерода от	ед * 10 ⁶	1788	5491	814	374,3	8715	0,15	1181	45,87	552,6

¹Нефтяной баррель — единица измерения объема нефти, равная 42 галлонам или 158,988 литрам.

потребления энергии										
<i>Экономика</i>										
ВВП (паритет покупательной способности)	\$ * 10 ⁹	2553	1672 0	3227	2273	1337 0	2442	472,9	282,2	1518
Экспорт товаров	\$ * 10 ⁹	515	1575	1493	570	2210	0,03	697	154,2	458,7
Импорт товаров	\$ * 10 ⁹	341	2273	1233	640	1772	0,31	766,6	90,14	471
Уровень инфляции	%	6,8	1,5	1,6	1,1	2,6	1,6		1,9	1
Индекс Джини	%	42	45	27	32,7	47,4		37,6	25	32,1

3.2 Статистический анализ данных и событий в областях экономики и энергетики

Анализ информации о состоянии и развитии стран мира основывался на данных The World Factbook [1]. Соответствующая база данных, характеризующая состояние географии, демографии, экономики и энергетики, включает информацию по каждому из 159 объектов. Для каждой страны использовалась информация по 87 показателям, которые формировали 4 групп статистической информации:

- география (8 показателей);
- демография (24 показателя);
- экономика (32 показателя);
- энергетика (23 показателей).

В результате выполненных работ был сформирован массив статистических данных, который включал 5 таблиц (за 2008 и 2015 годы), содержащих в каждой таблице информацию по 87 показателям для 159 стран.

В время проведения статистического анализа данных были выполнены следующие исследования:

- предварительный статистический анализ данных;
- корреляционный анализ данных;
- регрессионный анализ данных.

В процессе первичной обработки статистических данных [8] были выполнены следующие виды исследований: определение основных статистик и пределов изменения переменных при статистическом описании исходных данных; исследование резко выделяющихся наблюдений; проверка однородности исходных данных; анализ одномерных эмпирических распределений исследуемых показателей; для последующего описания массива данных выборка наиболее влияющих показателей.

Результаты исследования эмпирических функций распределения вероятностей наблюдения для показателей экономики и энергетики за 2008 и 2015 год представлены на рисунках 3.2 – 3.6.

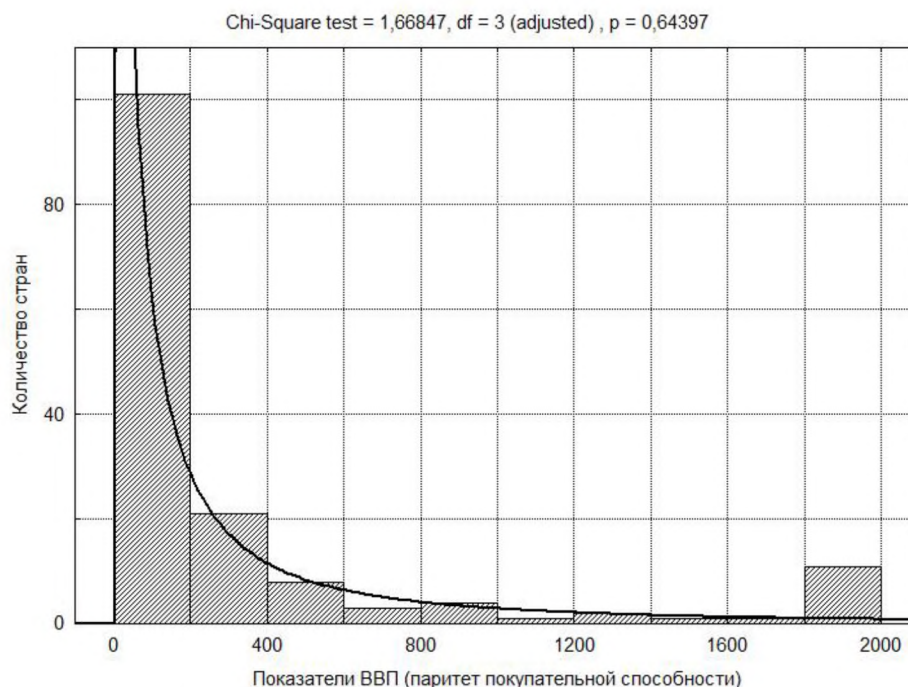


Рис. 3.2 – Эмпирическая функция распределения для показателей *ВВП* (паритет покупательной способности) за 2015 год

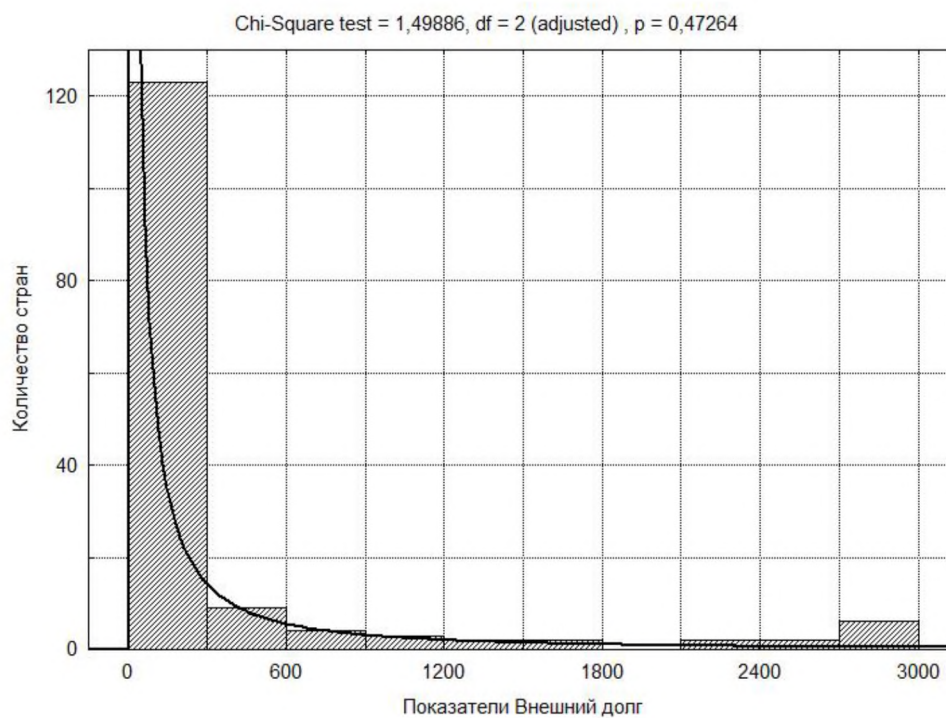


Рис. 3.3 – Эмпирическая функция распределения
для показателя *внешний долг* за 2015 год

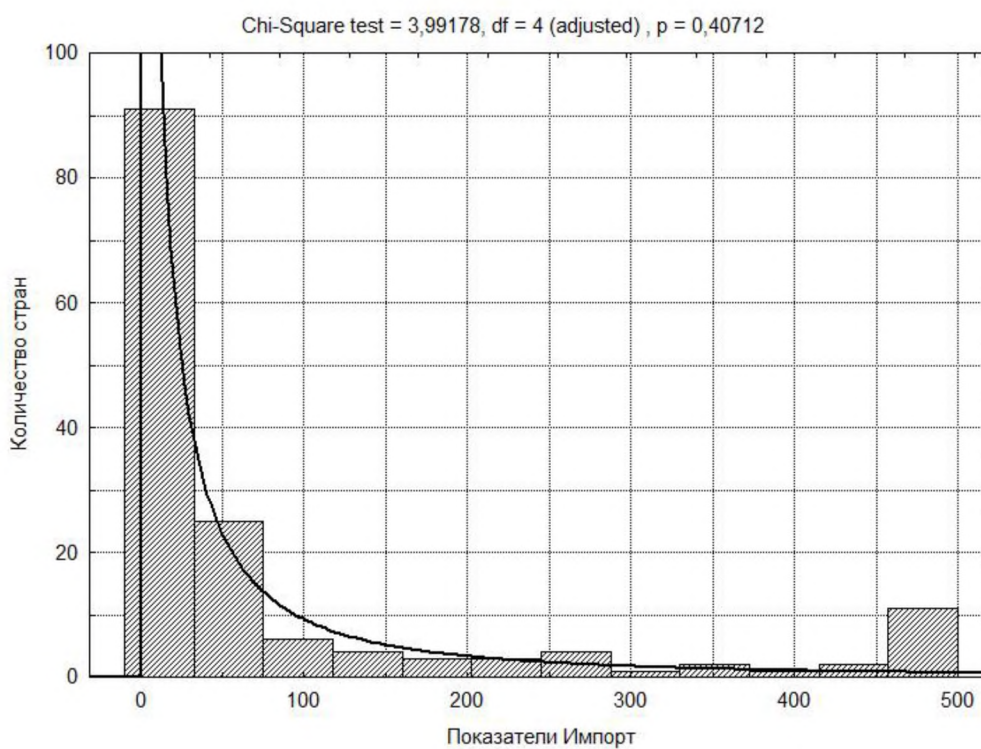


Рис. 3.4 – Эмпирическая функция распределения
для показателей *импорт* за 2015 год

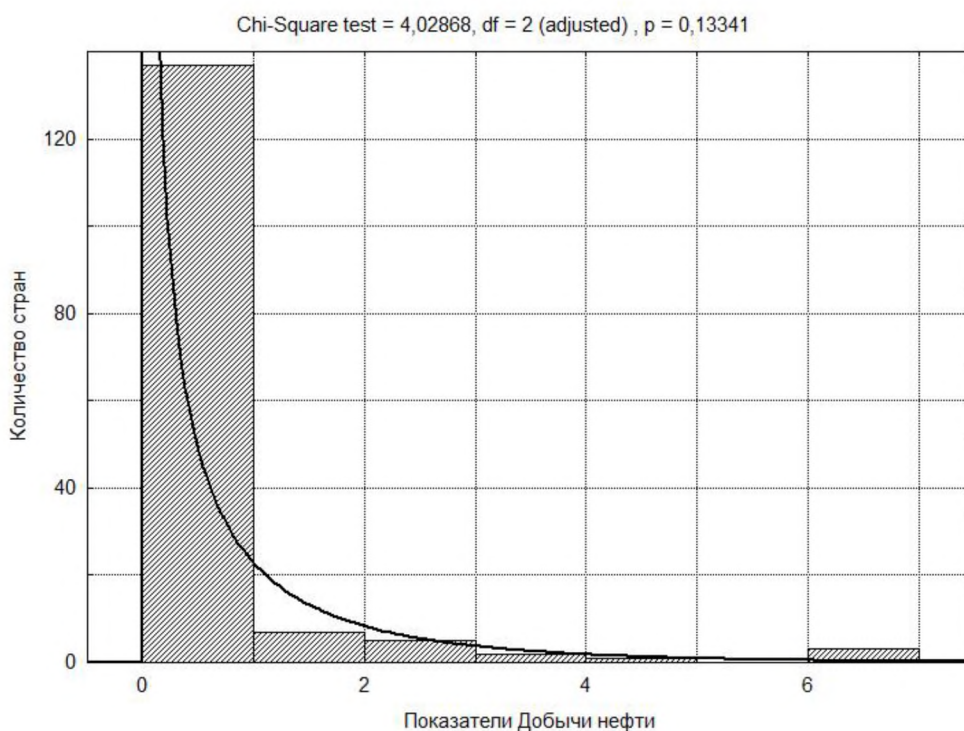


Рис. 3.5 – Эмпирическая функция распределения для показателя *добыча нефти* за 2015 год

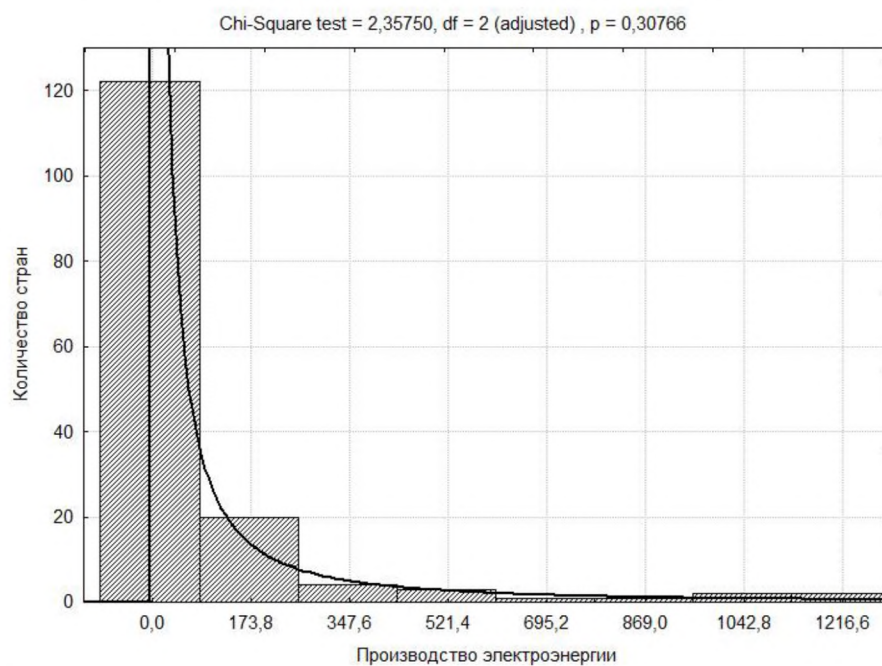


Рис. 3.6 – Эмпирическая функция распределения для показателя *производство электроэнергии* за 2015 год

Характеристики данных по средним, максимальным и минимальным значениям показателей, а также среднеквадратичное отклонение приведены в

таблицах 3.2 – 3.3. В результате анализа видно, что имеется существенная неоднородность и значительный разброс значений показателей для исследуемых стран мира. Такую неоднородность в данных подтверждают эмпирические вероятностные распределения, которые в основном подчиняются логарифмически нормальному закону распределения.

Анализ резко выделяющихся наблюдений проводился путем визуализации данных, а также с помощью статистических процедур. Для этой цели использовался критерий, основанный на T_n -статистике:

$$T_n = \frac{(x_n - x_s)}{\sigma^2} \quad (3.1)$$

где x_n – аномальное наблюдение; x_s – среднее значение; σ^2 – дисперсия [17].

Выбор наиболее влияющих показателей для описания массива данных основывался на рекомендациях специалистов, исследовавших процессы глобализации и развития стран мира [10, 11, 17, 26], изучении изменчивости показателей, анализе корреляционных связей между показателями и вероятностями событий наблюдения данных показателей [7].

Таблица 3.2 – Основные статистики и пределы изменения
основных показателей экономики стран мира

№ п.п.	Показатель	Среднее значение	Минимум	Максимум	Среднеквадр. отклонение, σ
1	ВВП (паритет покупательной способности) *10 ⁹	551	0,846	16 720	1 846
2	Экспорт *10 ⁹	114	0,009	2 210	277
3	Импорт *10 ⁹	114	0,123	2 273	281
4	Внешний долг *10 ⁹	469	0,000005	15 680	1 663

Таблица 3.3 – Основные статистики и пределы изменения
основных показателей энергетики стран мира

№ п.п.	Показатель	Среднее значение	Минимум	Максимум	Среднеквадр. отклонение, σ
--------	------------	------------------	---------	----------	-----------------------------------

1	Производство электроэнергии, ГВт в час	131,97	0,00005	4977,00	534,35
2	Добыча нефти, баррелей * 10 ⁶ в день	0,53	0	11,73	1,68
3	Добыча газа, м ³ * 10 ⁹	20,69	0	681,40	79,76
4	Выбросы диоксида углерода, ед * 10 ⁹	0,20	0	8,71	0,85

Первичная статистическая обработка данных [8] о состоянии и развитии стран мира в области экономики и энергетики позволила изучить характер распределения показателей, определить вероятности простых событий наблюдения каждого из показателей, выбрать наиболее значимые переменные и приемлемые методы дальнейшего статистического анализа информации.

При корреляционном анализе связи между показателями и вероятностями событий наблюдения соответствующих показателей исследовались на основе анализа многомерных корреляционных матриц (см. Таблицы 3.4 – 3.5).

Таблица 3.4 – Корреляционная матрица по показателям энергетики стран мира за 2015 год

Показатели	Электропроизводство	Потребление электроэнергии	Экспорт электроэнергии	Импорт электроэнергии	Установленная генерирующая мощность	Добыча нефти	Запасы нефти	Производство нефтепродуктов	Потребление нефти	Добыча газа	Потребление газа	Запасы газа	Выбросы диоксида углерода
Электропроизводство	1,00	0,74	0,00	0,04	0,03	0,30	- 0,00	0,51	0,51	0,33	0,39	0,14	0,56
Потребление электроэнергии	0,74	1,00	0,00	0,05	0,04	0,34	0,00	0,59	0,59	0,38	0,46	0,17	0,66
Экспорт электроэнергии	0,00	0,00	1,00	-0,00	-0,01	0,02	0,98	0,02	0,02	0,03	0,04	- 0,00	0,01
Импорт электроэнергии	0,04	0,05	-0,00	1,00	-0,00	0,28	0,01	0,11	0,07	0,39	0,30	0,53	0,09
Установленная генерирующая мощность	0,03	0,04	-0,01	-0,00	1,00	0,09	0,00	0,07	0,06	0,05	0,05	0,05	0,08
Добыча нефти	0,30	0,34	0,02	0,28	0,09	1,00	0,11	0,67	0,66	0,81	0,76	0,67	0,53
Запасы нефти	-0,00	0,00	0,98	0,01	0,00	0,11	1,00	0,03	0,03	0,06	0,06	0,04	0,02
Производство нефтепродуктов	0,51	0,59	0,02	0,11	0,07	0,67	0,03	1,00	0,99	0,76	0,87	0,36	0,86
Потребление нефти	0,51	0,59	0,02	0,07	0,06	0,66	0,03	0,99	1,00	0,72	0,85	0,29	0,86
Добыча газа	0,33	0,38	0,03	0,39	0,05	0,81	0,06	0,76	0,72	1,00	0,92	0,77	0,55
Потребление газа	0,39	0,46	0,04	0,30	0,05	0,76	0,06	0,87	0,85	0,92	1,00	0,62	0,64
Запасы газа	0,14	0,17	-0,00	0,53	0,05	0,67	0,04	0,36	0,29	0,77	0,62	1,00	0,28

Выбросы диоксида углерода	0,56	0,66	0,01	0,09	0,08	0,53	0,02	0,86	0,86	0,55	0,64	0,28	1,00
Таблица 3.5 – Корреляционная матрица по показателям экономики стран мира за 2015 год													

Показатели	ВВП паритет Покупательной способности	ВВП	Рабочая сила	Доход	Расход	Налог	Профицит бюджета	Инфляция	Экспорт	Импорт	Внешний долг
ВВП паритет покупательной способности	1,00	0,92	0,66	0,73	0,74	0,05	-0,04	-0,05	0,75	0,80	0,56
ВВП	0,92	1,00	0,36	0,88	0,88	0,18	-0,01	-0,10	0,83	0,86	0,70
Рабочая сила	0,66	0,36	1,00	0,17	0,20	-0,20	-0,09	0,07	0,26	0,33	0,10
Доходы	0,73	0,88	0,17	1,00	0,99	0,23	0,02	-0,11	0,81	0,82	0,76
Расходы	0,74	0,88	0,20	0,99	1,00	0,20	-0,03	-0,09	0,78	0,81	0,75
Налог	0,05	0,18	-0,20	0,23	0,20	1,00	0,36	-0,25	0,22	0,18	0,28
Профицит бюджета	-0,04	-0,01	-0,09	0,02	-0,03	0,36	1,00	-0,22	0,08	0,02	-0,06
Инфляция	-0,05	-0,10	0,07	-0,11	-0,09	-0,25	-0,22	1,00	-0,13	-0,13	-0,13
Экспорт	0,75	0,83	0,26	0,81	0,78	0,22	0,08	-0,13	1,00	0,95	0,70
Импорт	0,80	0,86	0,33	0,82	0,81	0,18	0,02	-0,13	0,95	1,00	0,76
Внешний долг	0,56	0,70	0,10	0,76	0,75	0,28	-0,06	-0,13	0,70	0,76	1,00

В результате из 87 показателей развития стран мира было отобрано восемь показателей, которые рассматривались как основные переменные при построении моделей:

- ВВП паритет покупательной способности в \$;
- экспорт в \$;
- импорт в \$;
- внешний долг в \$;
- производство электроэнергии кВт в час;
- добыча нефти баррелей в день;
- добыча газа куб м;
- выбросы диоксида углерода ед.

Данные показатели формировали группы из трех-четырех величин для создания математических моделей и установления связей вероятностей совместных событий с вероятностями простых и сложных событий наблюдения показателей [17], характеризующих состояние и развитие стран мира. По результатам статистической обработки базы данных экономики и энергетики стран мира было установлено, что выбранные выше показатели имеют значимые взаимосвязи с другими показателями и могут быть сгруппированы. При наблюдении групп рассматривать сложные совместные события, отражающие особенности развития стран по определенным аспектам.

При регрессионном анализе данных происходит оценка значений коэффициентов множественной корреляции и детерминации. При анализе коэффициентов $beta - c$ для каждой независимой переменной выяснилось – какие переменные являются значимыми (см. Рис. 3.7 – 3.8).

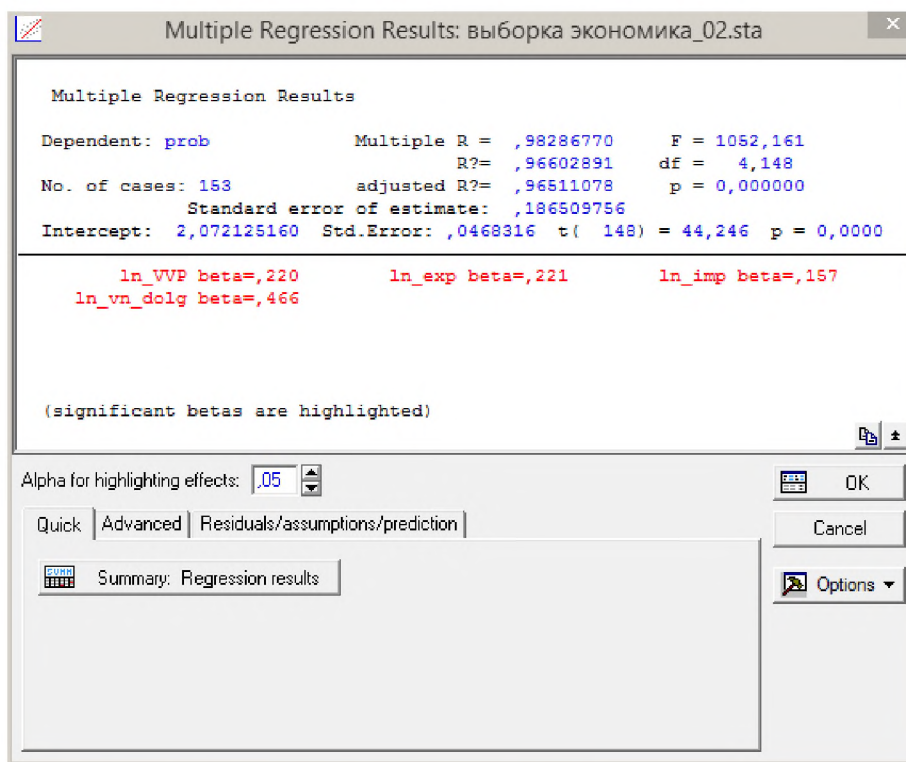


Рис. 3.7 – Окно результатов множественной регрессии для таблицы данных экономики стран мира

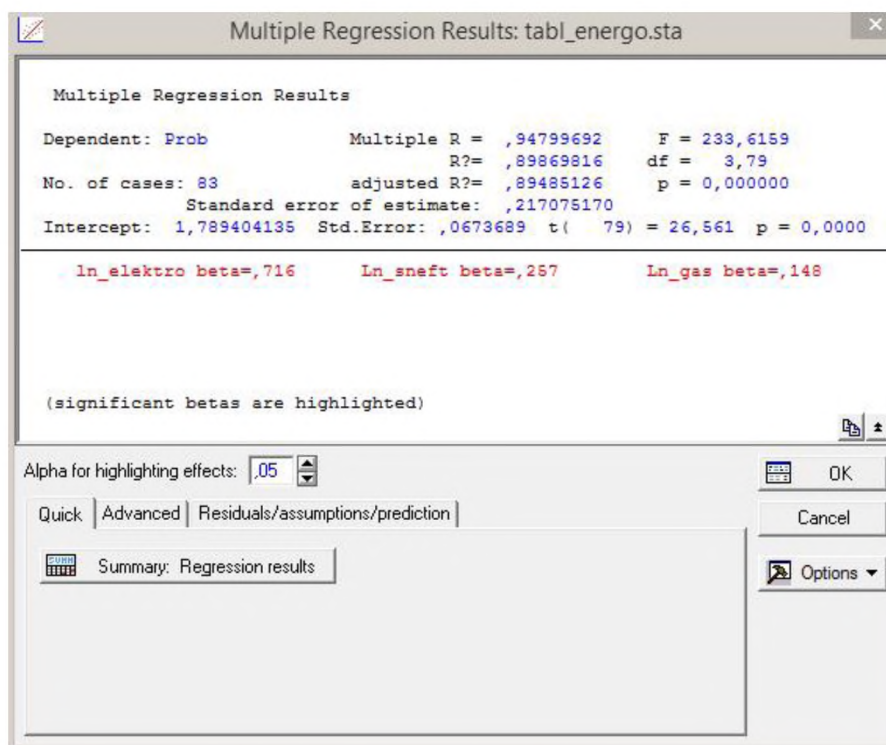


Рис. 3.8 – Окно результатов множественной регрессии для таблицы данных энергетики стран мира

Регрессионные зависимости статистической вероятности совместного события наблюдения трех (четырёх) показателей для определенной таблицы данных (для выбранного года наблюдения) определялись в виде:

$$Prob = c_0 + s; \quad (3.2)$$

$$s = c_1 \ln \frac{p_1}{p_{1_0}} + c_2 \ln \frac{p_2}{p_{2_0}} + c_3 \ln \frac{p_3}{p_{3_0}}; \quad (3.3)$$

$$s = c_1 \ln \frac{p_1}{p_{1_0}} + c_2 \ln \frac{p_2}{p_{2_0}} + c_3 \ln \frac{p_3}{p_{3_0}} + c_4 \ln \frac{p_4}{p_{4_0}}, \quad (3.4)$$

где c_0, c_1, c_2, c_3, c_4 – эмпирические константы, а p_1, p_2, p_3, p_4 – выбранные показатели. В качестве опорных величин принимались максимальные значения показателей $p_{i_0} = p_{i_{max}}$ в группе стран, которые наблюдались в 2015 году.

В результате получена следующая зависимость вероятности w от энтропии состояния системы:

$$Prob = 2,0721 + s;$$

$$Prob = 1,8174 + s;$$

$$Prob = 1,7894 + s;$$

$$s = 0,1135 \cdot \ln \left(\frac{p_1}{p_{1_0}} \right) + 0,0897 \cdot \ln \left(\frac{p_2}{p_{2_0}} \right) + 0,0773 \cdot \ln \left(\frac{p_3}{p_{3_0}} \right) + 0,1638 \cdot \ln \left(\frac{p_4}{p_{4_0}} \right);$$

$$s = 0,2224 \cdot \ln \left(\frac{p_1}{p_{1_0}} \right) + 0,0337 \cdot \ln \left(\frac{p_2}{p_{2_0}} \right) + 0,0698 \cdot \ln \left(\frac{p_3}{p_{3_0}} \right);$$

$$s = 0,2625 \cdot \ln \left(\frac{p_1}{p_{1_0}} \right) + 0,057 \cdot \ln \left(\frac{p_2}{p_{2_0}} \right) + 0,0284 \cdot \ln \left(\frac{p_3}{p_{3_0}} \right).$$

Результаты обработки данных приведены на рисунках 3.9 – 3.10.

Из приведенных данных видно, что феноменологические константы c_i , отражающие процессы наблюдения показателей, исходя из группового поведения объектов, соответственно равны: для экономики – $c_1 = 0,1135$, $c_2 = 0,0897$, $c_3 = 0,0773$, $c_4 = 0,1638$; для энергетики за 2008 год – $c_1 = 0,2224$, $c_2 = 0,0337$, $c_3 = 0,0698$ и за 2015 год $c_1 = 0,2625$, $c_2 = 0,057$, $c_3 = 0,0284$.

Зависимости статистической вероятности состояния w от энтропии s для совместно наблюдаемых значений показателей экономики и энергетики представлены на рисунках 3.9 – 3.11.

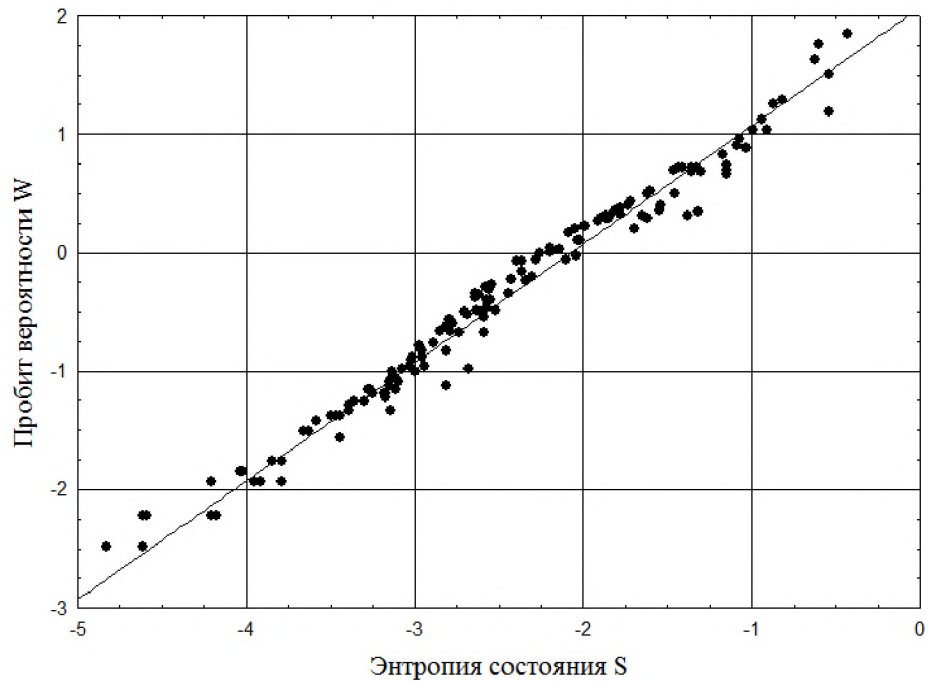


Рис. 3.9 – Зависимость статистической вероятности состояния w от энтропии s для совместно наблюдаемых значений показателей экономики 2015 года

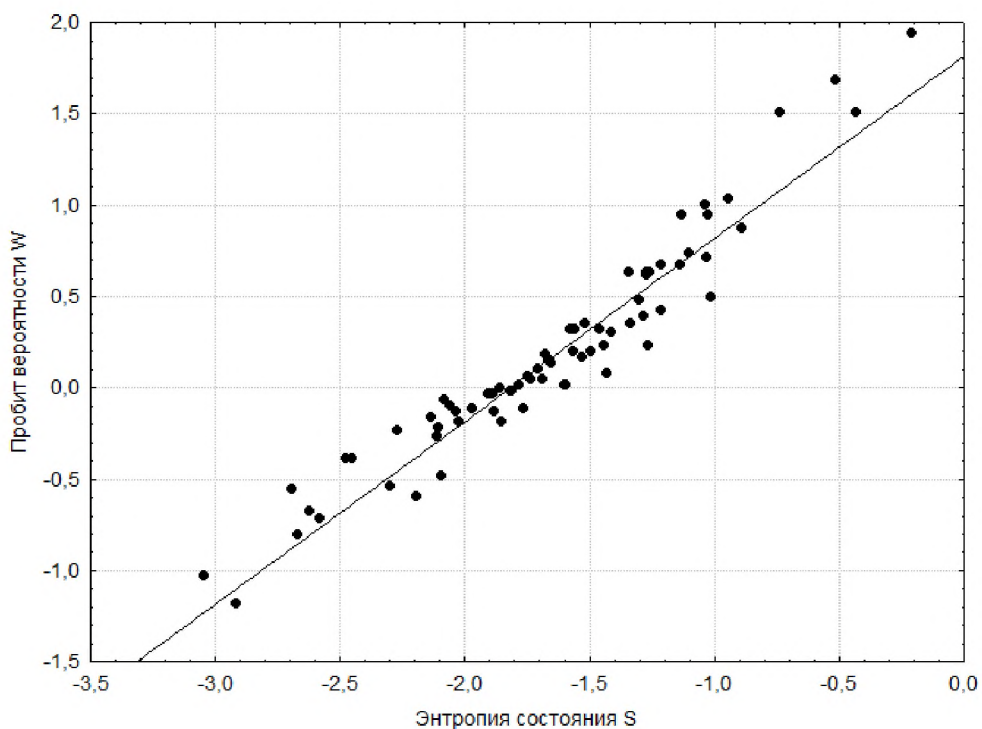


Рис. 3.10 – Зависимость статистической вероятности состояния w от энтропии s для совместно наблюдаемых значений показателей энергетики 2008 года

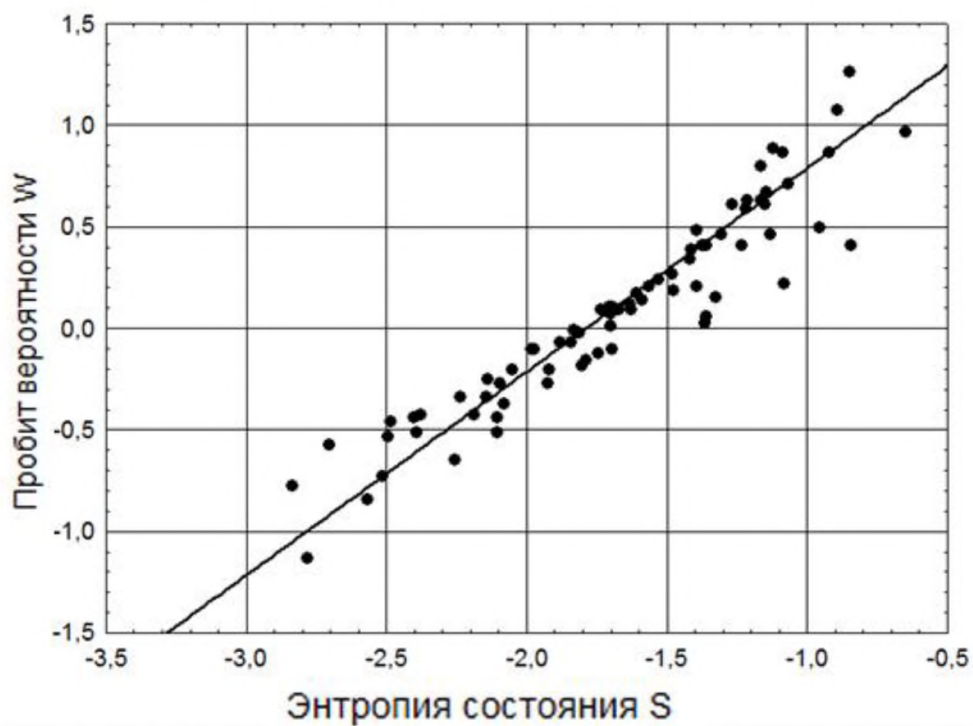
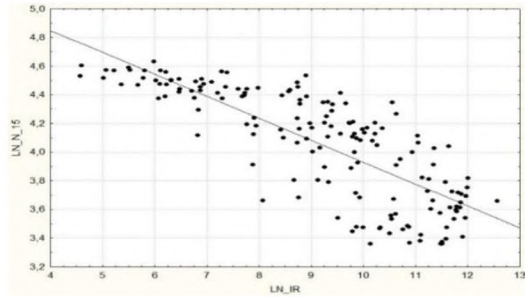


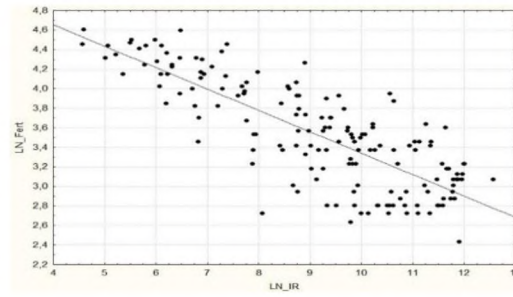
Рис. 3.11 – Зависимость статистической вероятности состояния w от энтропии s для совместно наблюдаемых значений показателей энергетики 2015 года



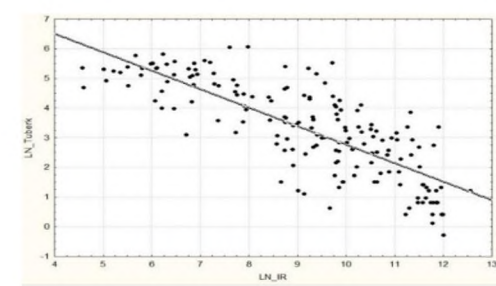
Рис. 3.12 – Зависимость логарифма индекса развития от логарифма удельного потребления энергии для стран мира за 2015 год



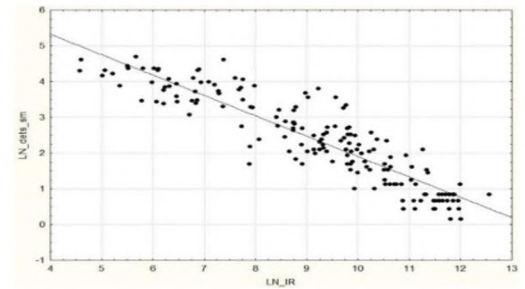
Население в возрасте до 15 лет



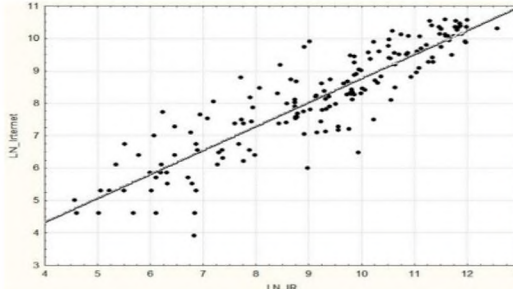
Фертильность



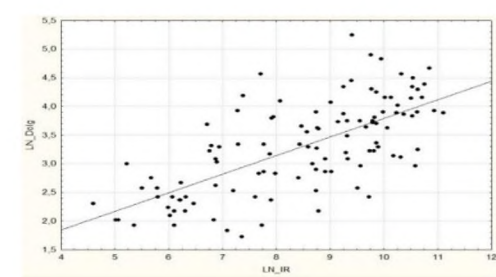
Заболееваемость туберкулезом



Детская смертность



Пользователи Интернет



Обслуживание госдолга

Рис. 3.13 – Примеры построения моделей индекса развития по различным индикаторам

Комплексная оценка осуществляется по потенциалу состояния объектов путем определения положения каждой страны в криволинейных координатах данного пространства с учетом среднестатистических тенденций развития всех стран. Оценка проводится относительно средних значений экономических и энергетических показателей по отношению к опорной точке. В качестве опорной точки принималось состояние с максимально наблюдаемыми значениями изучаемых показателей. Ранги стран устанавливались по возрастанию значения потенциала (см. Таблица 3.6 – 3.8).

Таблица 3.6 – Значение потенциала P для стран мира относительно средних значений энергетических показателей на 2015 год

Страны мира	Потенциал страны P	Ранг страны	Страны мира	Потенциал страны P	Ранг страны
США	49520,40	1	Узбекистан	270,13	20
Российская Федерация	43886,27	2	Великобритания	170,83	21
Саудовская Аравия	9425,47	3	Австралия	162,81	22
Китай	7387,20	4	Ангола	162,36	23
Канада	2640,27	5	Боливия	140,90	24
Катар	1558,76	6	Казахстан	139,88	25
Норвегия	1254,95	7	Япония	137,25	26
ОАЭ	815,57	8	Оман	103,06	27
Мексика	740,48	9	Аргентина	102,85	28
Алжир	726,85	10	Ливия	86,06	29
Индонезия	487,56	11	Тайланд	74,28	30
Нидерланды	482,99	12	Пакистан	71,71	31
Ирак	469,32	13	Перу	31,71	32
Кувейт	447,77	14	Азербайджан	23,99	33
Нигерия	422,34	15	Колумбия	12,79	34
Венесуэла	386,49	16	Германия	12,57	35
Индия	351,27	17	Франция	5,39	36
Египет	288,70	18	Южная Корея	-5,06	37
Малайзия	285,72	19	Украина	-15,33	38

Таблица 3.7 – Значение потенциала P для стран мира относительно средних значений энергетических показателей на 2008 год

Страны мира	Потенциал страны P	Ранг страны	Страны мира	Потенциал страны P	Ранг страны
Венесуэла	278324,65	1	Индонезия	87,17	20
Казахстан	81693,87	2	ОАЭ	52,92	21
Российская Федерация	18289,42	3	Египет	49,22	22
США	16528,67	4	Германия	47,27	23
Китай	2617,70	5	Австралия	45,44	24
Албания	1895,19	6	Аргентина	38,76	25
Канада	1510,55	7	Франция	18,78	26
Норвегия	316,79	8	Бразилия	0,19	27
Алжир	260,97	9	Пакистан	-6,56	28
Япония	224,16	10	Южная Корея	-8,91	29
Саудовская Аравия	205,46	11	Тайланд	-17,38	30
Великобритания	203,55	12	Оман	-24,00	31
Нидерланды	198,85	13	Италия	-24,70	32
Туркменистан	151,17	14	Украина	-24,76	33
Узбекистан	130,87	15	Испания	-29,30	34
Малайзия	129,03	16	Тайвань	-37,59	35
Катар	102,07	17	Бангладеш	-38,00	36
Мексика	97,60	18	Ливия	-39,01	37
Индия	96,68	19	Боливия	-39,40	38

Таблица 3.8 – Значение потенциала P для стран мира относительно средних значений экономических показателей на 2015 год

Страны мира	Потенциал страны P	Ранг страны	Страны мира	Потенциал страны P	Ранг страны
США	16913,23	1	Швейцария	105,82	20
Китай	7758,12	2	Бельгия	90,66	21
Великобритания	2996,65	3	Саудовская Аравия	77,84	22
Германия	2456,31	4	Тайвань	52,34	23
Франция	1181,29	5	ОАЭ	52,26	24
Япония	1160,77	6	Индонезия	43,72	25
Индия	748,24	7	Турция	35,69	26
Италия	397,95	8	Швеция	32,33	27
Нидерланды	343,61	9	Польша	22,32	28
Российская Федерация	322,05	10	Гонконг	20,51	29
Испания	302,87	11	Тайланд	18,55	30
Люксембург	241,11	12	Австрия	15,85	31
Южная Корея	227,59	13	Малайзия	13,82	32
Канада	209,53	14	Норвегия	8,17	33
Мексика	152,61	15	Аргентина	-1,14	34
Бразилия	147,49	16	Дания	-4,82	35
Ирландия	128,53	17	Чешская республика	-6,14	36
Сингапур	126,51	18	Финляндия	-7,91	37
Австралия	109,15	19	Вьетнам	-9,93	38

4 АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ МОДЕЛИРОВАНИЯ

На сегодняшний день энергетика и экономика тесно связаны друг с другом. Многие энергетические показатели состоят в основе экономического роста. Тем самым, без энергетики невозможно развитие страны в целом.

По оценкам Международного Энергетического Агентства (МЭА) [19] рост потребления ископаемых ресурсов расположен в 2000 – 2008 годах. Глобальный спрос на энергию вырастет на 37% к 2040 году. Распределение спроса на энергию поменяет позиции в мире: в Европе, Японии, Корее и Северной Америке ожидается стагнация; в Азии, Африке, Латинской Америке и на Ближнем Востоке будет бурный рост, где мировой спрос на энергию будет составлять 60 %. На начало 2030-го года Китаю предстоит стать крупнейшим потребителем нефти. Индия, Юго-Восточная Азия, Ближний Восток и часть Африки к югу от Сахары будут занимать лидирующие позиции в мировом энергетическом спросе.

По полученным данным за 2008 год в области энергетики лидирующие позиции занимали следующие страны: Венесуэла, Казахстан, Российская Федерация, США и Китай. Уже на 2015 год лидерами стали США, Россия, Саудовская Аравия, Китай и Канада. Три страны поменяли свои места – это связано с тем, что на протяжении периода были найдены новые источники полезных ископаемых, также играет роль более современное оборудование. Венесуэла и Казахстан остались на прежнем уровне – по данным Книги фактов ЦРУ количество добытой нефти в день для этих стран сократилось в несколько раз. В ближайшее время на 2020 год в нефтяном производстве появятся новые лидеры – это Китай и Саудовская Аравия.

Самый быстрый темп роста среди ископаемых видов топлива приходится на природный газ. Мировой спрос на него вырастет в два и более раза. Основными регионами добычи газа станут Китай и страны Ближнего Востока. Рост не прекратится также и в традиционных регионах.

Мировой спрос на уголь в ближайшее время вырастет на 10%. По данным МЭА – рост не прекратится до 2040 года, хотя уже сейчас в некоторых странах вводится ограничение на добычу угля, так как происходит загрязнение окружающей среды и увеличиваются выбросы диоксида углерода. На данный момент спрос растет в Китае и Индии. Уголь достаточно дешевое ископаемое по цене, но в связи с закрытием шахт из-за загрязнений воздуха цена, возможно, поднимется.

Быстрорастущим рынком среди энергоносителей является электрическая энергия. Она способствует сокращению доли ископаемого топлива в энергетическом балансе мира.

Также в энергетику внедряются новые технологии использования возобновляемых источников энергии. По данным МЭА, генерация энергии из возобновляемых источников вырастет в два и более раза в Китае, Индии, Латинской Америке и Африке. Наибольшую долю займет ветроэнергетика – около 34%, далее будет гидроэнергетика – 30% и солнечная энергетика – 18%.

Ядерная энергетика будет оставаться составной частью национальных энергетических стратегий. В Китае ожидается рост атомной генерации на 45%; в суммарном проценте будут – Индия, Корея и Россия; США увеличит потребление на 16%, Европейский Союз уменьшит на 10%. В связи с опытом последних лет, в кругах общественности возникает беспокойство на счет безопасности работы реакторов, должного обращения с радиоактивными отходами и предотвращения распространения ядерного оружия.

По обработанным показателям Книги Фактов ЦРУ в данной работе можно сделать вывод о развитии энергетики стран мира к 2020 году. В десятку стран по производству электроэнергии, добыче нефти и газа лидирующие позиции займут – Китай, Саудовская Аравия, Индия, Российская Федерация, США, Катар, Объединенные Арабские Эмираты, Нигерия, Канада и Норвегия.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе выполнения выпускной квалификационной работы решена научно-техническая задача комплексной оценки состояния и развития стран мира на основе данных международных организаций и вероятностного анализа сложных событий.

Выводы и результаты работы сводятся к следующему.

Собраны и систематизированы данные по группам показателей аналитического агентства ЦРУ, связанные с экономикой и энергетикой стран мира. Собранная информация охватывает показатели по 87 показателям стран мира за 2008 и 2015 год.

На основе статистического анализа данных выбраны по три атрибутивных показателя характеризующих состояние и развитие стран мира для групп показателей в сферах экономики и энергетики. Используя методы событийной оценки установлены основные особенности и закономерности развития стран мира по совокупности энергетических показателей и построены математические модели состояния и развития стран по комплексу показателей.

В процессе анализа данных установлено, что возможно получение вероятностных распределений совместных событий наблюдения нескольких показателей и установление связей вероятностей таких событий и событий, характеризующих отдельные аспекты развития стран. На основе алгоритмической оценки вероятности событий наблюдения нескольких показателей предложены математические модели в виде вероятностных распределений.

На основе полученных результатов оценены среднестатистические тенденции стран мира в области энергетики и проведено ранжирование стран в многомерном пространстве соответствующих показателей.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Central Intelligence Agency (US). – Available at: <https://www.cia.gov/library/pulications/>
2. European Green City Index. Assessing the environmental impact of Europe's major cities. A research project conducted by the Economist Intelligence Unit, sponsored by Siemens. Munich, Germany: Siemens AG, 2009, 100 p. – Available at: www.siemens.com/greencityindex
3. Manual of Industrial Hazard Assessment Techniques. 1985. Office of Environmental and Scientific Affairs, World Bank, Washington, DC, 188 p.
4. Risk Assessment Methods, Approaches for Assessing Health and Environmental Risks. Vincent T. Covvello, Miley W. Merkhofer. New York: Plenum Press, 1993, 317 p.
5. Аверин Г.В., Звягинцева А.В. Взаимосвязь термодинамической и информационной энтропии при описании состояний идеального газа // Системный анализ и информационные технологии в науках о природе и обществе, Донецк: ДонНТУ, №1(4)-2(5), 2013. – С. 26 – 38.
6. Аверин Г.В. Общая теория систем: проблема создания формализованных теорий в области гуманитарного знания // Системный анализ и информационные технологии в науках о природе и обществе, Донецк: ДонНТУ, №1(6)-2(7), 2014. – С. 30 – 41.
7. Аверин Г.В. Системодинамика. – Донецк: Донбасс, 2014. – 405 с.
8. Айвазян С.А., Енюков И.С., Мешалкин Л.Д. Основы моделирования и первичная обработка данных. – М.: Финансы и статистика, 1983. – 471 с.
9. Алексеев В.В. и другие. Физическое и математическое моделирование экосистем. – С.-Пб.: Гидрометеиздат, 1992. – 368 с.

10. Артюхов В.В., Мартынов А.С. Системная методология оценки устойчивости природно-антропогенных комплексов: теория, алгоритмы, количественные оценки. 2013. – 142 с. – Электр. рес. URL: <http://www.sci.aha.ru/ots/Metodology.pdf>
11. База данных индикаторов развития стран мира Всемирного банка. – Электр. рес. URL: <http://data.worldbank.org/>
12. База данных Программы развития ООН. – Электр. рес. URL: <http://hdr.undp.org/en/data>
13. Всемирный банк / The World Bank. – Электр. рес. URL: <http://www.vsemirnyjbank.org/>
14. Википедия. Свободная энциклопедия. – Электр. рес. URL: <https://ru.wikipedia.org/wiki>
15. Доклады о человеческом развитии (1990 – 2015 гг.). – Электр. рес. URL: <http://www.un.org/en/reports>
16. Захаров А., Овакимян М. Тенденции развития мировой энергетики // Мировое и национальное хозяйство, М.: МГИМО, №1(32), 2015.
17. Звягинцева А.В. Вероятностные методы комплексной оценки природно-антропогенных систем / А.В. Звягинцева – М: Спектр, 2016 г. – 256 с.
18. Кондратьев В. Долгосрочные тенденции развития мировой экономики. – Электр. рес. URL: <http://www.perspektivy.info/print.php?ID=363030>
19. Международное энергетическое агентство / International Energy Agency – Электр. рес. URL: <http://www.iea.org/>
20. Международный индекс счастья. – Электр. рес. URL: <http://www.happuplanetindex.org/>
21. Международный интернет – ресурс о развитии стран мира. – Электр. рес. URL: <http://www.tradingeconomics.com/>

22. Моделирование и прогнозирование мировой динамики / В.А. Садовничий, А.А. Акаев, А.В. Коротаев, С.Ю. Малков. – М.: ИСПИ РАН, 2012. – 359 с.
23. Музалевский А.А., Исидоров В.А. Индексы и составляющие экологического риска в оценке качества городской экосистемы // Вестник С.-Пб. ун-та. Сер. 4. 1998. №11. Выпуск 2. – С. 74 – 83.
24. Мэгарран Э. Экологическое разнообразие и его измерение. – М.: Мир, 1992. – 184 с.
25. Песенко Ю.А. Принципы и методы количественного анализа в фаунистических исследованиях. / Ю.А. Песенко – М.: Наука, 1982. – 287 с.
26. Рейтинги стран мира и регионов – Электр. рес. URL: <http://gtmarket.ru/research/countries-ranking>
27. Российский совет по международным делам. Статистика. – Электр. рес. URL: <http://russiancouncil.ru/spec/stat>
28. Салми Д., Сароян Э. Рейтинги и ранжирования как инструмент политики: политические аспекты экономической политики отчетности в высшем образовании // Высшее образование в Европе, №1. 2007.
29. Сафонов В.С., Одишария Г.Э., Швыряев А.А. Теория и практика анализа риска в газовой промышленности. / В.С. Сафонов, Г.Э. Одишария, А.А. Швыряев – М.: Олита, 1996. – 207 с.
30. Смольянинов В.М., Русинов П.С., Панков Д.Н. Комплексная оценка антропогенного воздействия на природную среду при обосновании природоохранных мероприятий. / В.М. Смольянинов, П.С. Русинов, Д.Н. Панков – Воронеж: ВГАУ, 1996. – 126 с.
31. Терехина А.Ю. Анализ данных методами многомерного шкалирования. / А.Ю. Терехина – М.: Наука, 1986. – 168 с.
32. Тихомиров Н.П., Потравный И.М., Тихомирова Т.М. Методы анализа и управления эколого-экономическими рисками. / Н.П. Тихомиров, И.М. Потравный, Т.М. Тихомирова – М.: Юнити-Дана. 2003. – 350 с.

33. Федеральная служба государственной статистики. – Электр. рес.
URL: <http://www.gks.ru/>
34. Форрестер Дж. Мировая динамика. / Дж. Форрестер – М.: Наука, 1978 – 168 с.
35. Центр гуманитарных технологий. – Электр. рес. URL:
<http://gtmarket.ru/research/>
36. Эльсгольц Л.Э. Дифференциальные уравнения и вариационное исчисление. / Л.Э. Эльсгольц – М.: Наука, 1969. – 424 с.
37. Яйли Е.А. Научные и прикладные аспекты управления урбанизированными территориями на основе инструмента риска и новых показателей качества окружающей среды. / Е.А. Яйли – С.-Пб: РГГМУ, 2006. – 448 с.